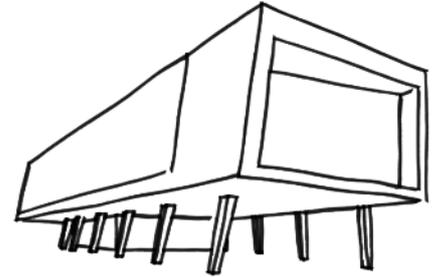
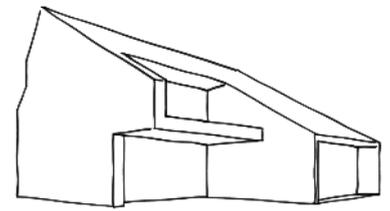


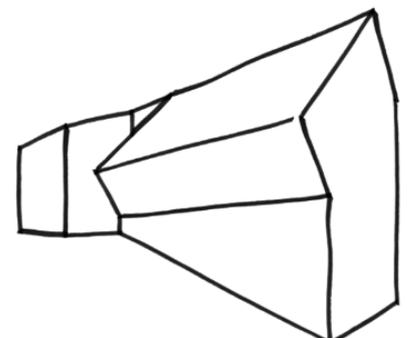
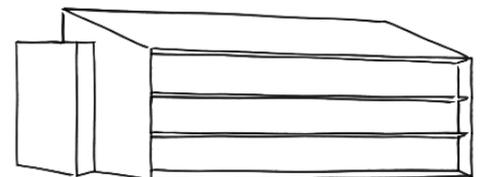
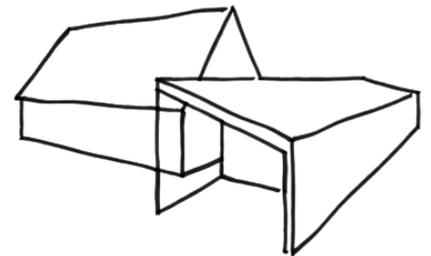
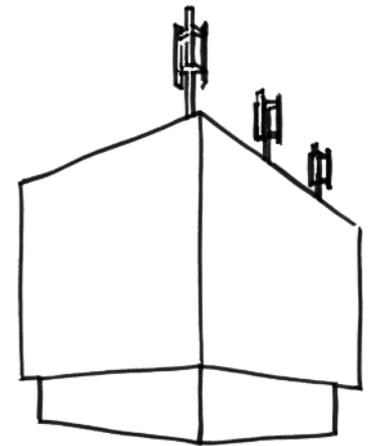


Bergische Universität Wuppertal  
Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen  
Lehrgebiet Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung



## **Klimaneutrale Gebäude – Internationale Konzepte, Umsetzungsstrategien und Bewertungsverfahren für Null- und Plusenergiegebäude**

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr.-Ing.  
vorgelegt von Eike Musall, M.Sc.Arch.



Die Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20160205-115728-8

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3Ahbz%3A468-20160205-115728-8>]



Bergische Universität Wuppertal  
Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen  
Lehrgebiet Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung



## **Klimaneutrale Gebäude – Internationale Konzepte, Umsetzungsstrategien und Bewertungsverfahren für Null- und Plusenergiegebäude**



Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr.-Ing.  
vorgelegt von Eike Musall, M.Sc.Arch.



Gutachter der Dissertation:

Prof. Dr.-Ing. Karsten Voss (Bergische Universität Wuppertal)

Prof. Dr.-Ing. Dirk Henning Braun (RWTH Aachen)

Vorsitz der Prüfungskommission:

Prof. Dr.-Ing. Karl Schwalbenhofer (Bergische Universität Wuppertal)



Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen der Bergischen Universität Wuppertal genehmigten Dissertation.

Die Dissertation wurde am 26.01.2015 bei der Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen der Bergischen Universität Wuppertal eingereicht. Die Disputation fand am 15.09.2015 statt.





*Gestaltet die Form  
aus dem Wesen der Aufgabe  
mit den Mitteln unserer Zeit*  
Ludwig Mies van der Rohe, 1923



## Danksagung

Mein persönlicher und unermesslicher Dank gilt meiner Frau Steffi, die mir trotz vieler Entbehrungen stets Vertrauen, Rückendeckung, Anschub, Geduld und vor allem langanhaltendes Verständnis entgegengebracht hat. Ohne dich und dein Zutun hätte diese Arbeit niemals entstehen können!

Vielen engen Freunden danke ich für fortwährende Freundschaften, die mir - teils unbewusst - Zerstreuung und Halt gaben. Meiner Familie danke ich sehr für ihr ausdauerndes Verständnis für meine geringe Teilnahme am gemeinsamen Familienleben. Meine Gedanken sind im Besonderen bei meiner Mutter.

Mein fachlicher und außerordentlicher Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. Karsten Voss. Bereits während des Architekturstudiums hat er mich für die Themen des energiesparenden Bauens begeistern können und hat mir in der gemeinsamen Projektarbeit sowie durch seine konstruktive Betreuung und vor allem zielführenden Ratschläge in der Endphase dieser Arbeit ausnehmend geholfen. Ohne seine Initiative wäre ich nicht bis zu diesem Punkt gekommen.

Herr Prof. Dr.-Ing. Braun danke ich für die Bereitschaft, diese Arbeit als Zweitgutachter zu begleiten.

Meinen ehemaligen Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl B+TGA danke ich für anregende Diskussionen und die angenehme Arbeitsatmosphäre während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Wuppertal. Hier schließe ich die studentischen Mitarbeiter/-innen ausdrücklich ein.

Bene Völkel, Oli Hans, Herrn Prof. Frank Werner und Herrn Prof. Dr. Guido Spars danke ich für spezifische Ratschläge im Verlauf dieser Arbeit. Gleiches gilt für die vielen Kollegen/-innen und weltweit verstreuten Mitstreiter/-innen der drei Forschungsprojekte „Towards Net Zero Energy Solar Buildings“, „Towards Nearly Zero-Energy Buildings - Definition of Common Principles under the EPBD“ und „Dezentrale Stromerzeugung im Kleinleistungsbereich als Beitrag zur Emissionsminderung im Gebäudebestand – Potentialanalyse und beispielhafte Umsetzung für Hauseigentümer in NRW“. Die Projektarbeit, viele gemeinsame Gespräche und Diskussionen auch im Zuge der gemeinsamen Publikationen sowie der fachliche Austausch haben die Basis dieser Arbeit und meines Schaffens geprägt. Zudem haben sie die Projektrecherche und -datenbank mit Informationen, Daten und Fotos und damit mit Leben gefüllt. Bei den Fördermittelgebern möchte ich neben der WestLB Stiftung „Zukunft NRW“ und der Europäischen Kommission besonders das Forschungsvorhaben „EnOB - Forschung für Energieoptimiertes Bauen“ und dessen Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie dankend erwähnen.

Des Weiteren danke ich dem MINERGIE®-Verein für das Überlassen von Daten von realisierten Minergie-A-Gebäuden, der Bayer MaterialScience AG für den Zugang zu Informationen und Messdaten des Kindergartens „Die Sprösslinge“, der Firma VELUX für die Informationen und Fotomaterial zu Gebäuden des Programms Model Home 2020, den Interviewpartnern für ihre Bereitschaft meine Fragen mit interessanten Stellungnahmen zu beantworten sowie dem DETAIL-Verlag für die Möglichkeit, gemeinsam entwickelte Piktogramme nutzen zu können.

Meinen Kollegen und Vorgesetzten der Bilfinger RealEstate GmbH danke ich für die Möglichkeit, diese Arbeit ohne zusätzlichen Zeitdruck fertig stellen zu können.

## Kurzfassung

Der Gebäudesektor hat sowohl in Deutschland als auch in den übrigen Industrienationen einen entscheidenden Anteil am Gesamtenergieverbrauch und Klimagasausstoß. Seine energetische Verbesserung nimmt daher im Zuge des anstehenden Klimawandels und der Verknappung der (Energie-)Ressourcen eine entscheidende Rolle ein. Abgesteckte Ziele geben für die Baubranche - isoliert betrachtet - Einsparungen bei den CO<sub>2</sub>-Gesamtemissionen in Höhe von rund 90 % in den nächsten vier Dekaden vor. Die Europäische Union fordert hierzu für Neubauten ab 2019 (öffentlich) bzw. 2020 (privat) einen national zu definierenden Standard des Niedrigstenergiegebäudes. In Deutschland ist im Rahmen der Energiewende zudem das Ziel des klimaneutralen Gebäudebestands bis 2050 formuliert. Aufbauend auf der Motivation Energie(-kosten), Klimagasemissionen und/oder den Ressourcenverbrauch zu verringern, entstehen weltweit bereits seit vielen Jahren Gebäude mit dem Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz - sog. Nullenergiegebäude. Diese weisen die - laut der von der EU vorgegebenen „Directive on the Energy Performance of Buildings (EPBD)“ - zwei entscheidenden Faktoren einer sehr hohen Gesamtenergieeffizienz und einer Deckung des fast bei null liegenden Energiebedarfs durch Energie aus erneuerbaren Quellen auf. Somit wird also ein über die bisherigen Anforderungen von Immobilien hinausgehender, energetischer Anspruch sowie die Übernahme ebensolcher Verantwortung für Gebäude formuliert. Die Umsetzung dieser Ziele und Gebäudekonzepte, ihr Einfluss auf die Gebäudegestaltung sowie die mögliche Kompensation werden durch die Architekturschaffenden weitreichend diskutiert und im Zuge dieser Arbeit analysiert.

Ziel und Inhalt der vorliegenden Arbeit werden durch vier - teils aufeinander aufbauende - Kernaspekte bestimmt. Zu Beginn wird das Szenario des klimaneutralen Gebäudebestands dahingehend eingeordnet, dass energetische Alternativen außerhalb des Gebäudesektors skizziert und damit die Wichtigkeit und Verantwortung des Gebäudesektors für das Erreichen der formulierten (Klimaschutz-)Ziele dargestellt werden. Es zeigt sich, dass die Deckung des gesamten gebäudeinduzierten Energieverbrauchs in Deutschland nicht durch die externe Nutzung erneuerbarer Energien außerhalb des Gebäudesektors kompensiert werden kann. Für Gebäude bietet sich die Möglichkeit, ihren Energiebedarf durch eigene lokale Erträge zu decken. Da sich eine Analogie zwischen den beiden Größen auf Grund des heizungsdominierten Klimas bzw. Energiebedarfs in Mitteleuropa selten ergibt, und deren Herbeiführung in technischen Sonderlösungen mit großem Speicheraufwand mündet, eignet sich hierzu die Energiebilanz im Zuge eines Jahres - die sog. Netto-Nullenergiebilanz.

Der zweite Kernaspekt beinhaltet die möglichen methodischen Festlegungen innerhalb einer solchen Energiebilanz. Da zum Zeitpunkt des Verfassens der Arbeit kein einheitliches (normatives) Verständnis des Nullenergiegebäudes etabliert ist, aber bereits etwa 80 solcher Definitionen aus der Gebäudepraxis sowie weitere wissenschaftlich diskutierte Ansätze bekannt sind, werden verschiedene Optionen zu unterschiedlichen Festlegungen und deren Auswirkungen auf die Architektur bzw. die Umsetzbarkeit an Gebäuden untersucht. Hier sind vor allem Indikatoren und Bewertungsverfahren, Bilanzgrenze und -rahmen sowie mögliche Quantifizierungsgrößen zu nennen.

Gegenüber der theoretischen Analyse der Methodik bilden die in der Praxis genutzten Umsetzungsstrategien und -maßnahmen auf dem Weg zu Nullenergiegebäuden und deren Querschnitt sowie ein Vergleich mit normativen Anforderungen bzw. der üblichen Baupraxis den dritten Kernaspekt. Hier lassen sich Trends für die typische und typologiespezifische Umsetzung von Nullenergiegebäuden darstellen und Empfehlungen für das zukünftige Bauen ablesen.

Der vierte Kernaspekt beschreibt, inwiefern die Architektur von Nullenergiegebäuden durch das energetische Konzept beeinflusst bzw. gegenüber herkömmlichen Gebäuden gestalterisch und formal verändert wird. Hierüber und durch die Gegenüberstellung mit den Gegebenheiten des deutschen Gebäudebestands lässt sich das Potenzial des klimaneutralen Gebäudebestands in Deutschland sowie die Frage einer neuen Architekturepoche diskutieren.

Die zentralen Erkenntnisse der Arbeit lassen sich auf die Kernaspekte aufteilen. Allem voran steht die Erkenntnis, dass Nullenergiegebäude möglich sind, jedoch im Gegensatz zu üblichen Gebäuden bestimmte,

sowie im Falle von Sanierungen weitreichende Voraussetzungen (z.B. Lage, Dichte oder Baustandard) erfordern bzw. mindestens formale Konsequenzen (bspw. Kompaktheit oder Dachform) nach sich ziehen. Darüber hinaus kann festgehalten werden, dass der auszumachende Anstieg der Wohnfläche pro Person sowohl ein Hindernis als auch Wegbereiter für den Ausgleich der Energiebilanz und damit das Ziel eines Klimaneutralen Gebäudebestands darstellt. Sofern der gesteigerte Flächenbedarf in urbanen Stadtquartieren oder tendenziell effizienten, weil dichten (Mehrfamilien-)Häusern gedeckt wird, verringern sich die Potenziale für den Ausgleich der Energiebilanz dieser Gebäude. Mündet er in kleinen Wohngebäuden, steigt zwar der Flächenverbrauch weiter, aber parallel auch das Verhältnis zwischen Nutz- und über Solaranlagen nutzbarer Dachfläche. Ein gesteigertes Pendleraufkommen zehrt allerdings die Einsparungen dieser Gebäude auf, was stellvertretend für die generellen Anstrengungen im Zuge der Energiewende steht. Es gilt Energiebedarfe ganzheitlich und absolut zu betrachten (Suffizienz), zu verringern (Effizienz) sowie durch erneuerbare Energie zu decken (Konsistenz).

Im Bereich der Methodik erweist sich die Fortführung der tlw. bereits eingeführten asymmetrischen und nicht-statischen Gewichtung von Primärenergiebedarfen und -erträgen bzw. den damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen als architektonisch schwerlich umsetzbar. Sofern die Gutschriften gegenüber den Energiebedarfen durch die Verwendung dieser Indikatoren stark abgewertet werden, steigen die benötigten Erzeugungskapazitäten so massiv an, dass diese weder auf den Gebäuden installiert noch ausgeglichene Energiebilanzen erreicht werden können. Der Einfluss auf die Indikatoren bzw. Umrechnungsfaktoren aus Politik und der sich wandelnden Energieinfrastruktur verzerrt die Gebäudebewertung, so dass die Berechnung weiterer Quantifizierungsgrößen vorgeschlagen wird. Hierüber kann die energetische Verknüpfung der Nullenergiegebäude mit der Infrastruktur und deren Umgang mit saisonalen Lastunterschieden beschrieben werden. Es zeigt sich, dass eine Harmonisierung von Energiebedarf und -ertrag (hohe Raten bei der Eigenbedarfsdeckung und -ertragsnutzung) mit teils mäßig vergrößerten Solarstromanlagen zu realisieren ist, während netzreaktive Anpassungen hinsichtlich zeitvariabler Ertragsüberschüsse auf Gebäudeebene durch vergrößerte Solarstromkapazitäten erneut kaum umsetzbar sind. Eine Lastgangadaption lässt sich vielmehr durch den Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung und/oder kleine Batteriespeicher ohne formale Eingriffe realisieren, wobei die KWK auch auf saisonaler Ebene Vorteile erbringt. Anforderungen an einen bestimmten Anteil an erneuerbaren Energieträgern können entfallen, da Nullenergiegebäude hier ohnehin sehr hohe Anteile erreichen. Die Hinzunahme der nutzungsspezifische Verbraucher in die Bilanzgrenze (sie machen ca. 60 % des Gesamtprimärenergieverbrauchs aus) verdoppelt die nötigen Ertragskapazitäten bei Nullenergiegebäuden gegenüber solchen, die allein die Verbräuche der bisher gängigen Normung ausgleichen. Dennoch findet dies sowohl in der Theorie als auch in der Praxis überwiegend Anwendung. Dies gilt nicht für die Hinzunahme der Grauen Energie. Zwar erscheint deren bilanzieller Ausgleich unter ökologischen Gesichtspunkten als konsequent, und nimmt sie bei Nullenergiegebäuden gegenüber sonstigen Gebäuden nicht zu, doch führt ihr Ausgleich zu einem weiteren Anstieg der nötigen Erträge und damit zu Schwierigkeiten in der Umsetzung. Hier gilt allerdings, dass der Aufwand der Grauen Energie durch den Zusammenhang mit der Quote an erneuerbaren Energieträgern in der Energieinfrastruktur zukünftig sinkt, und eine Kompensation einfacher wird. Die Erweiterung der Bilanzgrenze um die (Elektro-)Mobilität führt ebenfalls zu größeren Erzeugungskapazitäten, während die Nutzung von Elektroautos als reiner Speicherersatz Einspeisespitzen verringert und eine Entlastung des Stromnetzes ermöglicht.

Der Querschnitt bekannter Nullenergiegebäude zeigt typische und typologiespezifische Umsetzungsstrategien auf. Neben einer Dominanz von Solarstromanlagen, die durchgehend Verwendung finden, sind die übrigen Strategien und Maßnahmen geprägt durch das Passivhauskonzept, umfängliche Maßnahmen zur Vermeidung der aktiven Kühlung und Ambitionen zum Einsparen nutzungsspezifischer Stromverbräuche. Die sehr häufige Nutzung von Wärmepumpen führt zu vielen Nur-Strom-Gebäuden. KWK-Anlagen als alternative Wärmeerzeuger ergänzen vor allem bei großen (Nichtwohn-)Gebäuden zusätzlich die Solarstromerträge und bieten die besten Optionen zu hohen Quoten bei der saisonalen Betrachtung von Eigenbedarfsdeckung und Eigenertragsnutzung. Windkraftanlagen auf Gebäuden sind hingegen eine Ausnahme. Während sich die Merkmale zur Gebäudeeffizienz typologieübergreifend ähneln und durchschnittliche Werte, die die normativen wie auch passivhaustauglichen Anforderungswerte unterbieten, durchweg angestrebt werden (z.B. mittlerer Primärenergieverbrauch meist deutlich unter 100 kWh<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGE</sub>), driften die techni-

schen Parameter oft auseinander (z.B.  $\emptyset$  Solarstromleistung bei kleinen Wohnhäusern 51, bei Verwaltungsbauten  $36 \text{ W}_p/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ ).

Generell entwickeln Nullenergiegebäude wegen der vorangegangenen Aspekte formale Eigenheiten (Kompaktheit, asymmetrische Satteldächer, funktionale Einfachheit) und darüber eine eigene Identität. Eine gestalterische Dominanz des Konzepts der ausgeglichenen Energiebilanz kann hingegen auf Basis vergleichbarer Trends im Baugeschehen der letzten Dekade nicht allgemeingültig ausgemacht werden. Da Solarstromanlagen im Fokus des Konzepts stehen, gelingt ihre konzeptionelle Einbindung überwiegend. Aus Sicht der Planer müssen energetisch relevante Themen dazu unmittelbar in den Entwurfsprozess eingehen. Sofern die gestellten Anforderungen dies ermöglichen, steigt die Bereitschaft, Nullenergiegebäude zu entwickeln und darüber das Thema Energieerzeugung als eine weitere Grundfunktion von Gebäuden zu etablieren. Dabei bleibt es fraglich, ob sich eine Bauepoche der Energiewende ausprägen wird, da der klimaneutrale Gebäudebestand trotz der beschriebenen Möglichkeiten ohne externes Zutun kaum zu realisieren sein wird und heutige Gebäude meist weder energetisch noch formal die Voraussetzungen bieten, ausgeglichene Energiebilanzen auf Gebäudeebene durchgehend zu erreichen. Externe Veränderungen und sich wandelnde Einflüsse werden dies im Sinne einer ausgeglichenen Energiebilanz auf Gebäudeebene zukünftig weiter erschweren.

## Abstract

The building sector is responsible for a significant share of total energy consumption and the emission of greenhouse gases, both in Germany and in other industrialised countries. Improving the energy-related performance of buildings thus plays a decisive role with respect to climate change and diminishing (energy) resources. Goals announced for the building sector – viewed in isolation – define savings in total CO<sub>2</sub> emissions of around 90 % for the next four decades. The European Union requires each member state to define a national standard for Nearly Zero Energy Buildings, which will apply to new public buildings from 2019 and new private buildings from 2020. In Germany, the goal of a climate-neutral building stock by 2050 has also been formulated within the context of the energy revolution. Based on the motivation to reduce energy consumption or costs, greenhouse gas emission and/or consumption of resources, buildings have been constructed around the world for many years which aim to achieve an equalized energy balance – so-called net-zero-energy buildings. According to the EU “Directive on the energy performance of buildings”, these feature two crucial characteristics, a very high energy efficiency and a supply of the nearly-zero energy demand by renewable sources. The Directive thus formulates a more ambitious energy-related goal for buildings than elsewhere and thereby recognises the responsibility which the building sector must assume for its energy consumption. Implementation of these goals and building concepts, their influence on building design and possibilities for compensation are topics that are being widely discussed by architectural professionals and will be analysed in this thesis.

The objectives and contents of the thesis presented here are determined by four core aspects, which are interdependent to some extent. Initially, the scenario of a climate-neutral building stock is placed in perspective by sketching energy-related alternatives outside the building sector, thereby clarifying the importance and the responsibility of the building sector for attaining the formulated climate-conservation goals. It becomes evident that meeting the entire building-induced energy demand in Germany cannot be compensated by the external application of renewable energy sources outside the building sector. Buildings have the option to meet their energy demand by their own supplies generated on site. As supply and demand seldom vary in parallel in Central Europe with its heating-dominated energy demand, and as matching them on a short time scale calls for special technical solutions requiring large storage capacity, the energy balance averaged over a year is a useful measure – the so-called net-zero energy balance.

The second core aspect encompasses possible methodological definitions for such an energy balance. A single (normative) understanding of the “zero-energy building” concept had not yet been established at the time of writing the thesis but already about 80 such definitions were already known from building practice beside other scientifically discussed approaches. Therefore, different options for various definitions and their effect on architecture or the feasibility of implementing them in buildings were investigated. Primarily indicators and evaluation methods, balance boundaries and frameworks, and quantitative parameters are examined.

Complementing the theoretical analysis of methodology, the third core aspect consists of a cross-sectional analysis of implementation strategies and measures, which are used in practice to achieve zero-energy buildings, and a comparison with standards specifications and the usual building practice. Trends for typical and typology-specific implementation of zero-energy buildings are presented and recommendations derived for future building practice.

The fourth core aspect describes the extent to which the architecture of zero-energy buildings is influenced by the energy concept or is changed in design or formal aspects compared to conventional buildings. On this basis, and by comparing zero-energy buildings with the existing features of the German building stock, the potential for a climate-neutral building stock and the question of a new architectural era can be discussed.

The central findings of the thesis can be allocated to the four core aspects. The most important is the insight that zero-energy buildings are feasible but, unlike conventional buildings, they demand certain pre-conditions (e.g. location, density or building standard) or at least design specifications (e.g. compactness or

roof form) which can have wide-reaching consequences in the case of renovation. Beyond this, it should be noted that the identifiable increase in living area per capita can act as both a hindrance and a promoter for a neutral energy balance and thus the goal of a climate-neutral building stock. If the increased demand for floor area is met in medium-density housing or urban neighbourhoods, which already tend to be energy-efficient due to their density, the potential for balancing the energy budget of these buildings drops. If it leads to small houses, the land area consumption continues to increase, but so does also the ratio of the roof area which can be used for solar systems to utilized living area. However, increased commuting volume saps the savings achieved by the buildings themselves, which is representative in general for isolated efforts made as part of the energy revolution. It is necessary to examine energy demands holistically and absolutely (sufficiency), to reduce them (efficiency) and to meet them with renewable energy sources (consistency).

Within the area of methodology, it is architecturally difficult to achieve continuity of implementation, given the asymmetric and non-static weighting factors for primary energy demand and supply and the associated CO<sub>2</sub> emissions, which has already been introduced in some cases. As soon as the credits with respect to the energy demands are strongly devalued by usage of these weighting factors, the required generation capacity increases so enormously that it cannot be installed on the buildings and balanced energy budgets cannot be achieved. The influence on the indicators or conversion factors, which is defined by politics and the changing energy infrastructure, distorts the building energy evaluation, such that the calculation of further quantifying parameters is proposed. They allow the energy-related connection of zero-energy buildings to energy infrastructure and its treatment of seasonal load differences to be described. It becomes evident that energy demand and supply can be harmonised (high rates for “load match index” and “supply cover factor”) often by moderate extension of photovoltaic systems, whereas grid-reactive adaptation with regard to fluctuating excess yields at the building level can again hardly be replaced by increased photovoltaic capacity. Adaptation of the load profile is much better achieved by application of combined heat and power (CHP) plants and/or small battery units without affecting the building form; CHP also brings advantages at a seasonal level. Specifications for a certain ratio of renewable energy (RER), by contrast, are not needed, as zero-energy buildings reach very large ratios anyway. Including usage-specific loads within the balance boundary (they can constitute up to 60 % of the total primary energy consumption) doubles the required supply capacity for zero-energy buildings compared to those which solely balance the consumption which has been conventionally considered up to now. Nevertheless, the conventional approach is the one that has been applied predominantly to date, both in theory and in practice. This does not apply for the inclusion of embodied energy. Although it appears consistent from ecological viewpoints to compensate for it also in the energy balance, and although it is not necessarily higher for zero-energy buildings than for conventional buildings, its compensation leads to a further increase in the required energy yields and thus to difficulties in implementation. However, the energy effort of embodied energy will sink in future due to its correlation with the quota of renewable energy within the energy mix, such that compensation will become simpler. Extending the balance boundary to include (electro-)mobility also leads to larger required generation capacity on the building, whereas the usage of electric cars purely as a substitute for stationary electric storage units flattens feed-in peaks and reduces the demands on the electricity grid.

The cross-sectional analysis of known zero-energy buildings reveals typical and typology-specific implementation strategies. In addition to the dominant photovoltaic systems, which are used ubiquitously, the remaining strategies and measures include passive house concepts, extensive measures to avoid active cooling and efforts to reduce usage-specific electricity consumption. Very frequent usage of heat pumps leads to many all-electric buildings. CHP systems, as alternative heating sources, also complement the photovoltaic yields, particularly in large (non-residential) buildings, and offer the best options for high utilisation factors and self-consumption ratios when evaluated on a seasonal basis. By contrast, wind energy systems on buildings are an exception. Whereas the features leading to building efficiency resemble each other, regardless of the building typology, and the planned average values are lower in all cases than those required by conventional building or passive-building standards (e.g. average primary energy consumption significantly lower than 100 kWh<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>nfa</sub>a), the technical parameters often diverge (e.g. average photovoltaic capacity of 51 W<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>nfa</sub> for small houses but 36 W<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>nfa</sub> for commercial buildings).

In general, zero-energy buildings develop their own identity due to individual design characteristics reflecting the aspects mentioned previously (compactness, asymmetric pitched roofs, functional simplicity) and other features. By contrast, design dominance of the net zero-energy concept cannot be generally identified on the basis of comparable trends in construction over the past decade. As photovoltaic systems form the core of the concept, their conceptual integration is predominantly successful. From the planner's perspective, energy-relevant topics must enter directly into the early design process. If the specified demands allow it, the willingness to develop zero-energy buildings is increasing, allowing energy supply to become established as a further basic function of a building. Nevertheless, it is unclear whether a building era of the energy revolution will become identifiable, as it will hardly be possible to achieve a climate-neutral building stock, despite the described possibilities, and most of the buildings existing today possess neither the energy-relevant characteristics nor the design features needed to achieve equalized energy balances at the building level on a widespread basis. External variations and changing influences will make this still more difficult in future.

## Abrégé

En Allemagne comme dans les autres pays industrialisés, le secteur du bâtiment a une part déterminante dans la consommation totale d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. Son amélioration énergétique prend pour cela une importance décisive au vu du processus du changement climatique actuel et de la raréfaction des ressources. Les objectifs fixés pour le secteur de la construction prévoient - considéré isolément - une réduction d'environ 90 % du total des émissions de CO<sub>2</sub> sur les quatre prochaines décennies. L'Union Européenne exige dans cette optique une norme du bâtiment à consommation d'énergie quasi nulle à définir à l'échelle nationale à partir de 2019 (public) ou 2020 (privé). En Allemagne, l'objectif du parc de logements climatiquement neutre dans le cadre du tournant énergétique a par ailleurs été fixé à 2050. Dans le souci de réduire les coûts énergétiques, les émissions de gaz à effet de serre et/ou la consommation de ressources, des bâtiments exigeant un bilan énergétique équilibré (encore appelés bâtiment à consommation d'énergie nulle) voient le jour partout dans le monde depuis plusieurs années. Ceux-ci présentent - selon la directive sur la performance énergétique des bâtiments (PEB) fixée par l'UE - les deux facteurs décisifs d'une performance énergétique très élevée et de la satisfaction des besoins énergétiques quasi inexistantes par l'énergie des ressources renouvelables. C'est ainsi qu'une exigence énergétique allant largement au-delà de celles jusqu'ici en vigueur pour l'immobilier ainsi que la prise d'une responsabilité semblable pour les bâtiments, a été formulée. La réalisation de ces objectifs et concepts de bâtiment, leur impact sur la conception des bâtiments, ainsi que la compensation éventuelle sont sujets de nombreux débats entre architectes et seront analysés au cours de ce travail.

L'objectif et le contenu du présent travail seront déterminés par quatre aspects fondamentaux. Tout d'abord, le scénario du parc de logements climatiquement neutre sera classé de telle manière que des alternatives énergétiques en dehors du secteur du bâtiment soient définies et que l'importance et la responsabilité du secteur du bâtiment pour la réalisation des objectifs (relatifs à la protection du climat) fixés soient présentées. Il s'avère qu'en Allemagne, la satisfaction de la consommation totale en énergie induite par le bâtiment ne peut pas être compensée par l'utilisation externe d'énergies renouvelables en dehors du secteur du bâtiment. Le secteur du bâtiment a la possibilité de satisfaire ses besoins énergétiques à travers ses propres rendements locaux. Étant donné la faible éventualité d'une analogie entre ces deux dimensions en raison du climat d'Europe centrale dominé par le chauffage ou les besoins énergétiques en chauffage et le fait que leur intégration dans des solutions techniques spéciales entraîne des frais de stockage élevés, un bilan énergétique pendant l'année en cours, encore appelé - « bilan énergétique net zéro » est approprié.

Le deuxième aspect comprend les définitions méthodiques possibles dans le cadre d'un bilan énergétique de ce type. Étant donné qu'une compréhension commune (normative) de la notion de « bâtiment à consommation d'énergie nulle » n'était pas établie au moment de la rédaction de ce travail mais que déjà environ 80 définitions issues du secteur du bâtiment ainsi que d'approches discutées sur le plan scientifique sont connues, diverses options relatives à différentes définitions ainsi que leur impact sur l'architecture ou leur applicabilité sur les bâtiments, seront analysées. Dans ce cadre, il faut particulièrement citer les indicateurs et les procédures d'évaluation, la limite de bilan et les cadres ainsi que les tailles de quantification possibles.

Outre l'analyse théorique de la méthodologie, les stratégies et les mesures de mise en œuvre utilisées dans la pratique en vue de la réalisation de l'objectif des bâtiments à consommation d'énergie nulle et leur transversalité ainsi que la comparaison avec les exigences normatives ou la pratique normale en matière de construction, constituent le troisième aspect. Ici, on peut illustrer les tendances pour la réalisation typique et spécifique à la typologie des bâtiments à consommation d'énergie nulle et identifier des recommandations pour la construction du futur.

Le quatrième aspect décrit dans quelle mesure le concept énergétique influence l'architecture des bâtiments à consommation d'énergie nulle ou les modifications architecturales que présenteront ces derniers en comparaison avec les bâtiments classiques. Ce sujet ainsi que la comparaison avec les données du parc

de logements allemand permettent de discuter du potentiel du parc de logements climatiquement neutre en Allemagne ainsi que de la question du nouveau style architectural.

Les points essentiels de ce travail sont répartis sur ces aspects fondamentaux. La constatation principale étant que la mise en œuvre de bâtiments à consommation d'énergie nulle est possible mais requiert, contrairement aux bâtiments classiques, des conditions précises et importantes en cas d'assainissement (p.ex. emplacement, étanchéité ou standard de construction) ou entraînent au moins des conséquences liées à l'architecture (p.ex. compacité ou forme du toit). On peut par ailleurs relever que l'augmentation discernable de la surface habitable par personne représente tout autant un obstacle qu'un élément précurseur de l'équilibre du bilan énergétique et donc de l'objectif d'un parc de logements climatiquement neutre. Du moment que les besoins en surface à la hausse dans les quartiers urbains ou en immeubles (collectifs) tendanciellement plus performants car étanches sera satisfait, les potentiels de compensation du bilan énergétique de ces bâtiments diminue. Si ces besoins s'orientent plutôt vers les petits bâtiments résidentiels, l'occupation des sols continue d'augmenter et avec elle le rapport entre la surface utile au sol et la surface de toiture utilisable à travers des installations photovoltaïques. Une augmentation du trafic consume cependant les économies de ces bâtiments ce qui représente les efforts généraux dans le cadre du tournant énergétique. Il s'agit d'étudier les besoins en énergie de manière globale et absolue (suffisance) ; de les réduire (performance) et de les satisfaire avec des énergies renouvelables (consistance).

Dans le domaine de la méthodologie, poursuivre la pondération asymétrique et non statique déjà partiellement introduite des besoins et des rendements en énergie primaire ou des émissions en CO<sub>2</sub> y étant liées se révèle comme difficile à réaliser sur le plan architectural. Si les crédits par rapport aux besoins énergétiques sont sujets à une forte perte de valeur à cause de l'utilisation de ces indicateurs, les capacités de production vont connaître une augmentation telle que ces derniers ne pourront ni être installés sur les immeubles, ni atteindre des bilans énergétiques équilibrés. L'impact sur les indicateurs ou les facteurs de conversion issus de la politique et les infrastructures énergétiques en évolution déforment la notation du bâtiment de telle manière que le calcul de tailles de quantification supplémentaires sera recommandé. À ce sujet, le lien énergétique entre les bâtiments à consommation d'énergie nulle et l'infrastructure ainsi que leur gestion des différences saisonnières de charges peut être décrit. Il s'avère que l'harmonisation des besoins et des rendements en énergie est réalisable avec en partie des installations photovoltaïques modérément élargies, pendant que des adaptations « réactives au réseau » ne sont de nouveau que très difficilement réalisables au vu d'excédents de rendements au niveau des bâtiments causés par des capacités photovoltaïques accrues. Un ajustement de la courbe de charge est plus facilement réalisable avec l'utilisation de la cogénération de chaleur et d'électricité et/ou de batteries de stockage, la cogénération apportant également des avantages à l'échelle saisonnière. Les bâtiments à consommation d'énergie nulle atteignant de toutes les façons des pourcentages très élevés, les exigences d'un pourcentage précis en sources d'énergie renouvelables peuvent être supprimés. L'inclusion de consommateurs adaptés aux besoins dans les limites de bilan (ils représentent environ 60 % de la consommation en énergie primaire) double les capacités de rendement nécessaires chez les bâtiments à consommation d'énergie nulle par rapport à ceux qui compensent uniquement les consommations de la normalisation jusqu'ici habituelle. Cependant, ceci s'applique principalement autant en théorie qu'en pratique. Ceci ne concerne pas l'inclusion de l'énergie grise. Malgré le fait que leur compensation bilancielle paraisse cohérente du point de vue environnemental et qu'elle n'augmente pas chez les bâtiments à consommation d'énergie nulle contrairement aux autres, leur compensation entraîne la hausse des rendements nécessaires et avec elle les difficultés de réalisation. Ici, on note toutefois que le coût de l'énergie grise diminue à l'avenir par rapport au lien avec le quota des sources d'énergie renouvelables dans les infrastructures énergétiques, et qu'une compensation sera plus facile. L'élargissement des limites de bilan en matière de mobilité (électrique) conduit également à des capacités de productions plus importantes pendant que l'utilisation de véhicules électriques en tant que simple espace de stockage de remplacement réduit les pics de consommation et permet une décharge du réseau électrique.

La transversalité de bâtiments à consommation d'énergie nulle révèle des stratégies de mise en œuvre typiques et spécifiques à la typologie. Outre la prédominance des installations photovoltaïques qui sont en constant usage, les stratégies et mesures restantes sont caractérisées par le concept de maison passive, des

mesures complètes pour éviter la réfrigération active ainsi que des projets de réduction des consommations en électricité en fonction de l'utilisation. L'usage très fréquent de pompes à chaleur mène à trop de bâtiments « tout électrique ». Les installations de cogénération de chaleur et d'électricité en remplacement des générateurs de chaleur complètent les rendements photovoltaïques particulièrement dans les grands bâtiments (non habités) et offrent les meilleures options à des quotas élevés au vu de la satisfaction des besoins propres et de l'utilisation du propre rendement au niveau saisonnier. Les installations de parcs d'éoliennes sur les bâtiments sont par contre une exception. Alors que les caractéristiques de l'efficacité des bâtiments de toutes les typologies sont similaires et qu'on cherche vraiment à atteindre les valeurs moyennes en dessous des valeurs normatives et adaptées à la maison passive requises, les paramètres techniques divergent souvent.

Généralement, les bâtiments à consommation d'énergie nulle développent à cause des aspects susmentionnés des particularités en matière de forme (compacité, toits asymétriques en bâtière, simplicité fonctionnelle) et donc une identité propre. Une prédominance architecturale du concept du bilan énergétique équilibré ne peut par contre pas être envisagée sur le plan général au vu des tendances similaires dans la construction des dernières décennies. L'inclusion conceptuelle des installations photovoltaïques réussit principalement car ces derniers sont au centre du concept. Selon les planificateurs, les thèmes importants sur le point de vue énergétique doivent être directement intégrés dans le processus d'élaboration. Pour autant que les exigences posées le permettent, la volonté de développer des bâtiments à consommation d'énergie nulle et d'établir le thème de la production d'énergie comme une fonction de base supplémentaire des bâtiments, augmente. La question se pose cependant de savoir si un style architectural liée au tournant énergétique va s'implanter, car le parc de logements climatiquement neutre restera presque impossible à réaliser malgré les possibilités décrites et les bâtiments contemporains n'offrent ni les conditions énergétiques ni architecturales nécessaires pour atteindre en permanence des bilans énergétiques équilibrés. Des changements extérieurs ainsi que des influences changeantes compliqueront encore plus cette situation dans le futur.

## Inhaltsverzeichnis

Danksagung .....	I
Kurzfassung .....	II
Abstract .....	V
Abrégé .....	VIII
Inhaltsverzeichnis .....	XI
1 Einleitung .....	2
1.1 Anlass und Hintergrund .....	2
1.1.1 Energieverbrauch von Gebäuden .....	2
1.1.2 Energiepolitische Zielvorgaben .....	4
1.2 Stand der Diskussion um die Architektur des energiesparenden Bauens .....	6
2 Ziele und Methodik der Arbeit .....	10
2.1 Hypothesen .....	12
2.2 Zum Aufbau der Arbeit .....	12
3 Der Kontext klimaneutraler Gebäude in Deutschland .....	17
3.1 Normatives Umfeld .....	17
3.1.1 Europäische Vorgaben .....	17
3.1.2 Die Gesetzgebung zum energiesparenden Bauen in Deutschland .....	19
3.2 Die Veränderung der Energieversorgung .....	26
3.2.1 Die Entwicklung von Umrechnungsfaktoren für die Primärenergie- und CO <sub>2</sub> - Bilanzierung .....	28
3.3 Die Klimaveränderung als bauliche Herausforderung .....	29
3.4 Der Gebäudebestand in Deutschland .....	37
3.4.1 Baubestand .....	37
3.4.2 Energetisch-gestalterische Sanierungspotenziale .....	38
4 Definition Klimaneutraler Gebäudebestand .....	46
4.1 Potenziale einer externen Energieversorgung des Gebäudesektors .....	46
4.2 Die Aufgaben im Gebäudesektor .....	49
4.3 Die Fokussierung auf (einzelne) Gebäude .....	50
4.4 Die Analogie von Energieangebot und -nachfrage .....	51
4.4.1 Energieautarkie durch Energiespeicher .....	51
4.5 Das Prinzip der Energiebilanzierung durch Netzkopplung .....	52
4.6 Vom klimaneutralen Gebäude zum Klimaneutralen Gebäudebestand .....	58
5 Architekturhistorische Entwicklung und Vorläufer heutiger Nullenergiegebäude .....	64
5.1 Wegbereiter und Umwege auf dem Weg zu heutigen Nullenergiegebäuden .....	64

5.1.1	Solares Bauen als Forschungsdisziplin .....	65
5.1.2	Die solare Renaissance während der Postmoderne .....	67
5.1.3	Vom Passivhaus zur ausgeglichenen Energiebilanz .....	71
5.2	Die Generation Nullenergiegebäude .....	73
5.2.1	Nullenergiegebäude - Konzept und Motivation .....	77
6	Die Architektur von Nullenergiegebäuden - Teil I.....	83
6.1	Qualitative Interviews .....	83
6.1.1	Fragestellung zu (politischen) Rahmenbedingungen .....	84
6.1.2	Auswirkungen auf Entwurfsprozesse und -konzepte .....	86
6.1.3	Auswirkungen auf Form und Gestalt .....	87
6.1.4	Allgemeine Einschätzungen zur Architektur von Nullenergiegebäuden .....	89
6.2	Zwischenfazit: Meinungsbild aus der Architekturpraxis .....	90
7	Festlegungen und Quantifizierungsgrößen bekannter Bilanzierungsmethoden .....	92
7.1	Energiebezugsgröße .....	93
7.2	Bilanzart .....	98
7.3	Indikatoren und Bewertungsverfahren.....	101
7.3.1	Umrechnungs- und Gewichtungsfaktoren.....	103
7.3.2	Die Auswirkungen unterschiedlicher Gewichtungsstrategien.....	109
7.4	Bilanzgrenze .....	122
7.4.1	Nutzungsspezifische Verbrauchsbereiche .....	124
7.4.2	(Elektro-)Mobilität .....	127
7.4.3	Baustoffe und Materialien - Graue Energie .....	133
7.5	Bilanzrahmen .....	139
7.6	Bilanzierungszeitraum.....	145
7.7	Nebenanforderungen.....	146
7.8	Quantifizierungsgrößen .....	150
7.8.1	Fiktive Eigenbedarfsdeckung „ $f_{load}$ - load match index“ .....	159
7.8.2	Fiktive Eigenenergieerzeugung „ $\gamma_s$ - supply cover factor“ .....	160
7.8.3	Fiktive Überschusseinspeisung $F_{surplus}$ .....	161
7.8.4	Faktor der fiktiven Netznutzung „ $F_{grid}$ - grid utilization factor“ .....	162
7.8.5	Faktor des fiktiven Netto-Stromexports „ $F_{export}$ - Net Yearly Export“ .....	163
7.8.6	Verschiebung und Flexibilisierung von (Strom-)Lasten und -erträgen .....	167
7.8.7	Anteil erneuerbarer Energiebereitstellung.....	178
7.9	Zwischenfazit: Einfluss von Festlegungen und Quantifizierungsgrößen.....	182
8	Umsetzungsstrategien im Querschnitt.....	186
8.1	Energieeinsparung .....	186
8.1.1	Gebäudeeffizienz und (passive) Einsparung gebäudespezifischer Energieverbräuche ..	187

8.1.2	Nutzungsspezifische Verbräuche reduzieren .....	212
8.2	Energiebereitstellung und -erzeugung .....	215
8.2.1	Thermische Energie .....	215
8.2.2	Strom erzeugen .....	220
8.3	Energie speichern .....	229
8.3.1	Thermische Warmwasser- und Pufferspeicher .....	229
8.3.2	Elektrische Speicher.....	232
8.4	Schnittstelle Gebäudeautomation und (Nutzer-)Informationstechnik .....	234
8.4.1	Regel- und Steuerungsfunktion.....	234
8.4.2	Nutzerinformation.....	236
8.5	Der Aspekt der Clusterbildung.....	238
8.6	Deckungsraten erhöhen .....	239
8.7	Zwischenfazit: Maßnahmenkatalog auf dem Weg zum klimaneutralen Gebäude .....	243
9	Die Architektur von Nullenergiegebäuden - Teil II.....	249
9.1	Form follows energy? <sup>212</sup> .....	249
9.1.1	Die Gebäudeform als energetisches Vehikel und Resultat .....	249
9.1.2	Flächenbedarf kontra Flächenbedarf - die mangelnde Dichte des Klimaneutralen Gebäudebestands.....	256
9.2	Ästhetische Aspekte von Nullenergiegebäuden .....	261
9.2.1	Solaranlagen .....	262
9.2.2	Gliederung und Materialität der Gebäudehülle .....	268
9.2.3	Vergleich mit dem allgemeinen Baugeschehen .....	274
9.3	Zwischenfazit: Einfluss von Umsetzungsstrategien und Maßnahmen .....	279
10	Schlussbetrachtung .....	282
10.1	Diskurs der Hypothesen.....	282
10.1.1	Architektonischer Einfluss methodischer Festlegungen .....	282
10.1.2	Quantifizierbare Umsetzungsmaßnahmen und typische Handlungsmuster .....	286
10.1.3	Gestalterische Freiheiten und Erhalt/Entwicklung der Baukultur bei ausgeglichener Energiebilanz .....	290
10.2	Fazit und Ausblick .....	299
	Literatur.....	305
	Nomenklatur .....	323
	Länderkürzel nach ISO 3166.....	323
	Abkürzungen .....	324
	Symbole, Zeichen und Einheiten.....	327
	Einheitenpräfixe, dezimale SI-Vielfache.....	328
	Indizes.....	328

---

Erklärungen.....	330
Eidesstattliche Erklärung .....	330
Rechtlicher Hinweis .....	330
Kurzvita Eike Musall.....	331
Veröffentlichungen im Zuge dieser Arbeit .....	332
Bücher und Buchbeiträge.....	332
Zeitschriftenartikel .....	332
Tagungsbeiträge.....	333
Projektberichte.....	333
A. Anhang .....	II
A.1 Klimazuordnung der in der Datenbank erfassten Nullenergiegebäude .....	II
A.2 Unterstützende Angaben zum Kontext klimaneutraler Gebäude in Deutschland .....	III
A.3 Merkmale deutscher (Wohn-)Gebäude unterteilt nach Gebäudealtersklassen .....	IV
A.3.1 Häuser aus der Gründer- und Vorkriegszeit .....	IV
A.3.2 Gebäude der 1920er und -30er Jahre.....	VI
A.3.3 Nachkriegsbauten und Gebäude der 1950er Jahre .....	VII
A.3.4 Häuser der 1960er Jahre.....	VIII
A.3.5 Häuser aus den 1970er Jahren .....	IX
A.3.6 Wohngebäude ab den 1980er Jahren .....	X
A.3.7 Häuser um die Jahrtausendwende .....	XI
A.4 Weitere Darstellungen zur Entstehung und Entwicklung von Nullenergiegebäuden .....	XII
A.5 Interviewleitfaden.....	XIII
A.6 Aufstellung aktueller Umrechnungs- bzw. Bewertungsfaktoren für Primärenergie- und CO <sub>2</sub> -Aufwendungen.....	XVII
A.7 Reduzierte Darstellungen zum Einfluss von Umrechnungs- bzw. Gewichtungsfaktoren für Primärenergie und CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	XVIII
A.7.1 Kindergarten „Die Sprösslinge“ .....	XVIII
A.7.2 Mehrfamilienhäuser „Kleehäuser“ .....	XXI
A.8 Auswahl an Nebenanforderungen bekannter Nullenergiedefinitionen .....	XXIII
A.9 Ergebnisse von Parameterstudien zu den Tests der Faktoren „F <sub>surplus</sub> “, „F <sub>grid</sub> “ und „F <sub>export</sub> “ ....	XXIV
A.9.1 Ergebnisse bei variierenden Technologien zur Wärme- und Warmwasserbereitstellung sowie Bilanzergebnissen.....	XXIV
A.9.2 Ergebnisse bei variierender zeitlicher Auflösung .....	XXXI
A.10 Ergebnisse der Parameterstudien zu den Faktoren „F <sub>surplus</sub> “, „F <sub>grid</sub> “ und „F <sub>export</sub> “ sowie „f <sub>load</sub> “ und „γ <sub>s</sub> “ bei unterschiedlichen Technologie- und Gewichtungsoptionen .....	XXXII

---

A.10.1	Ergebnisse des Kindergartens „Die Sprösslinge“ .....	XXXII
A.10.2	Ergebnisse der „Kleehäuser“ .....	XXXVI
A.11	Vorstellung des Gründerzeit-Beispielgebäudes mit KWK-Steuerung .....	XXXIX
A.12	Ergänzungen zu den Umsetzungsstrategien.....	XLI
A.13	Typische, monatliche Stromlastprofile von Nullenergiegebäuden samt Darstellung der Deckungsraten .....	XLII
A.14	Merkmale bekannter städtebaulicher Projekte .....	L



# Kapitel 1

## Einleitung

Anlass und Hintergrund

Stand der Diskussion um die Architektur des energiesparenden Bauens



# 1 Einleitung

## 1.1 Anlass und Hintergrund

### 1.1.1 Energieverbrauch von Gebäuden

#### Begrifflichkeiten

Im Laufe dieser Arbeit werden der Einsatz von Energie in Gebäuden thematisiert und Begriffe wie Energieverbrauch oder -erzeugung genutzt. Dazu gilt, dass es sich bei der Verwendung des Begriffs Energie in der Regel um Synonyme für Wärme, Kälte oder elektrische Energie handelt und der Energieerhaltungssatz, der besagt, dass sich die Gesamtenergie innerhalb eines abgeschlossenen Systems in einem Zeitintervall weder erzeugen noch verbrauchen lässt, anerkannt wird. Die Verwendung der Begriffe geschieht in Anlehnung an die Normen und Richtlinien [DIN 18599 2011; VDI 3807-1 2013; DIN EN 15603 2008; EnEV 2014]

Die Begriffe Treibhausgas- bzw. CO<sub>2</sub>-Emissionen oder -Ausstoß werden in dieser Arbeit zur Vereinfachung CO<sub>2</sub>-äquivalenter Treibhausgasemissionen nach den Vorgaben des Weltklimarates IPCC genutzt.

Der Begriff Nullenergiegebäude und seine Synonyme werden gemäß Kapitel 4.5 stellvertretend für die in dieser Arbeit besprochenen Gebäude mit dem Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz oder Klimaneutralität genutzt.

In den vergangenen Dekaden stieg der weltweite Energieverbrauch auf Grund des überregionalen Wandels von Agrar-, über Industrie- hin zu Konsumgesellschaften stark an und führte zu einer steten Steigerung bei der Nutzung fossiler und atomarer Energiere Ressourcen. Die zu erwartende Zunahme der Weltbevölkerung durch Zuwächse in Schwellen- und Entwicklungsländern sowie die ebenfalls dort angestrebte Anpassung des Lebensstandards auf das Niveau mitteleuropäischer und nordamerikanischer Staaten lässt einen weiteren Anstieg des Energiebedarfs erahnen. Auf Grund der Endlichkeit fossiler Energiere serven, daraus resultierenden Versorgungsschwierigkeiten, steigenden Rohstoff- bzw. Energiepreisen und Importabhängigkeiten sowie des Ausstoßes von Treibhausgasemissionen zählen die Problematik der Energieversorgung und der Umgang mit dem drohenden bzw. bereits begonnenen Klimawandel zu den größten Herausforderungen unserer Gesellschaft [IPCC 2014]. Damit sind vor allem die Abwendung bzw. Minderung klimatischer Veränderungen, mögliche ökologische wie ökonomische Folgen und nachgelagerte gesellschaftliche Auswirkungen gemeint.

Weltweit kann der Gebäudesektor als einer der Hauptverursacher von Treibhausgasemissionen ausgemacht werden [IPCC 2014]. Schwankende Zahlen besagen, dass mehr als ein Drittel des Endenergieverbrauchs und der globalen Emissionen auf den Betrieb und die Nutzung von Gebäuden zurückzuführen sind (vgl. Abbildung 1-1), mit steigender Tendenz. Zudem verbraucht der Bau-sektor ca. 50 % aller Rohstoffe [Hegger 2008]. Die oben beschriebene Bevölkerungsentwicklung sowie eine weiterhin zunehmende Migration aus ruralen Räumen in urbane (Metropol-)Regionen werden die Bautätigkeit und damit den Fokus auf den Energieeinsatz in Gebäuden verstärken. Heute in Bezug auf Energieeffizienz und Nutzung solarer Energie unzureichend ausformulierte Gebäudekonzepte stellen vor dem Hintergrund erkannter Energie- und Klimaprobleme sowie der Langlebigkeit von Gebäuden ein langfristiges Hemmnis dar, welches später (außerhalb des Gebäudesektors) kompensiert werden muss.

In Deutschland entfallen ca. 33 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf den Gebäudebetrieb (s. Abbildung 1-2), wobei die hohe Quote von Altbauten, die vor der ersten Wärmeschutzverordnung 1977 errichtet wurden (70 %), hieran einen entscheidenden Anteil hat (s. Kapitel 3.4) [Vahlenkamp 2007]. Im Bereich des Endenergieverbrauchs bestätigt sich für Deutschland und das Jahr 2010 die oben genannte Zahl bei der Betrachtung von Raumwärme, Warmwasser, Kühlung und Beleuchtung in Höhe von knapp 38 % (s. Abbildung 1-1) [BMVBS 2012a]. Der Haushaltsstromverbrauch ist gemäß statistischer Zuordnung hierin nicht einbezogen. Zwei Drittel des Gebäudeenergieverbrauchs gehen zu Lasten von Wohngebäuden, bei denen die Wärmebereitstellung gegenüber anderen Verbräuchen überwiegt. Sie machen allerdings mehr als 90 % des Gesamtgebäudebestands in Deutschland aus (s. Abbildung 1-3). Nichtwohngebäude weisen größere Flächen pro Gebäude und einen teils deutlich höheren flächenbezogenen Energieverbrauch aus. Hierbei dominieren elektrische Verbraucher wie die

Beleuchtung, Lüftung und Kühlung sowie Nutzungsspezifische Verbräuche wie Geräte, Computer oder Maschinen den Energieverbrauch (s. Abbildung 1-1).

Verbrauchszahlen deutscher Gebäude weisen in den letzten Jahren auf Grund stetiger Verschärfungen bei Normen und Gesetzen, technologischer und materieller Weiterentwicklungen sowie einem veränderten Verbraucherverhalten rückläufige Werte aus (Bezug auf normative Verbrauchsbereiche). So fiel der Endenergieeinsatz für Raumwärme und Warmwasser seit 2002 typologieübergreifend um mehr als 20 %. In deutschen Haushalten sank der Gesamtendenergieverbrauch trotz gesteigener Stromverbräuche in den letzten 20 Jahren um 17 %, wobei dies im Wesentlichen auf Einsparungen im Bereich der Raumwärme zurückzuführen ist. Im Jahr 2010 wurden dennoch ca. 900 TWh Endenergie für Raumwärme und Warmwasser in deutschen Gebäuden aufgewendet [Bigalke 2012]. Übergreifend gilt, dass der steigende Wohnflächenbedarf in Deutschland Anstrengungen zu einem verringerten Gebäudeenergieverbrauch entgegenwirkt. Zwischen 1960 und 2010 stieg die Wohnfläche pro Person durch soziale und demografische Veränderungen von 19 auf 43 m<sup>2</sup> bzw. die zu beheizende Gesamtwohnfläche auf nahezu 3,5 Milliarden Quadratmeter. Eine Trendwende ist nicht in Sicht [Bigalke 2012].

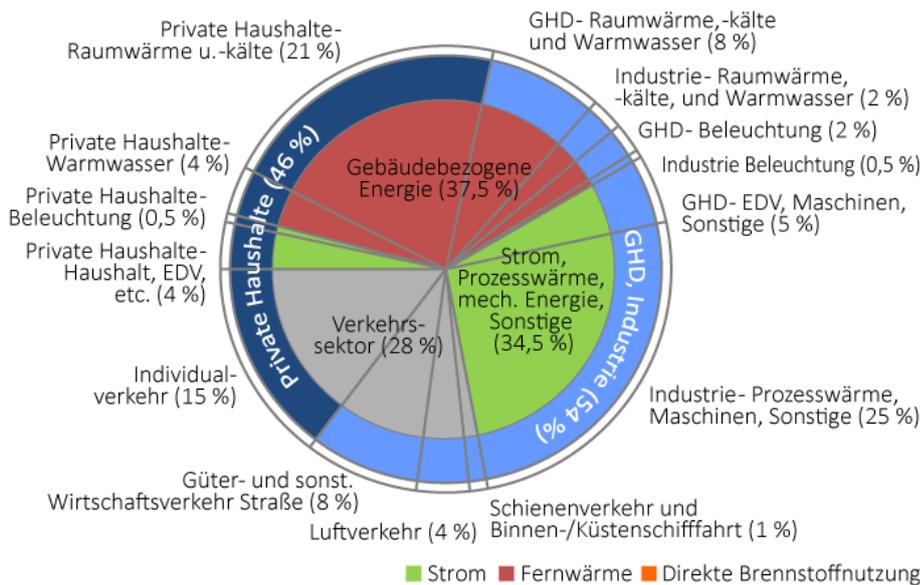


Abbildung 1-1: Aufteilung des Gesamtendenergieverbrauchs in Höhe von 2.516 TWh in Deutschland 2010 nach Anwendungen (äußerer), Verbrauchergruppen (mittlerer) und Anwendungssegmenten (innerer Ring). Quelle frei nach [BMVBS 2012a]

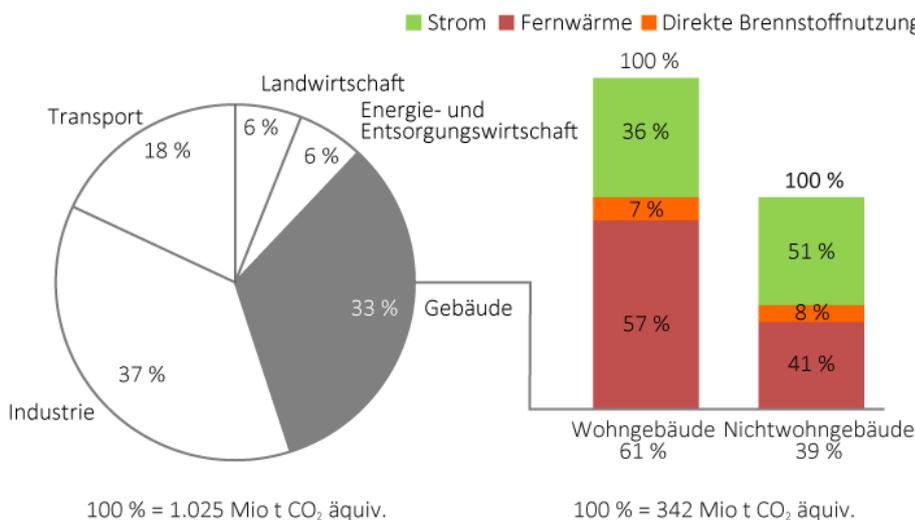
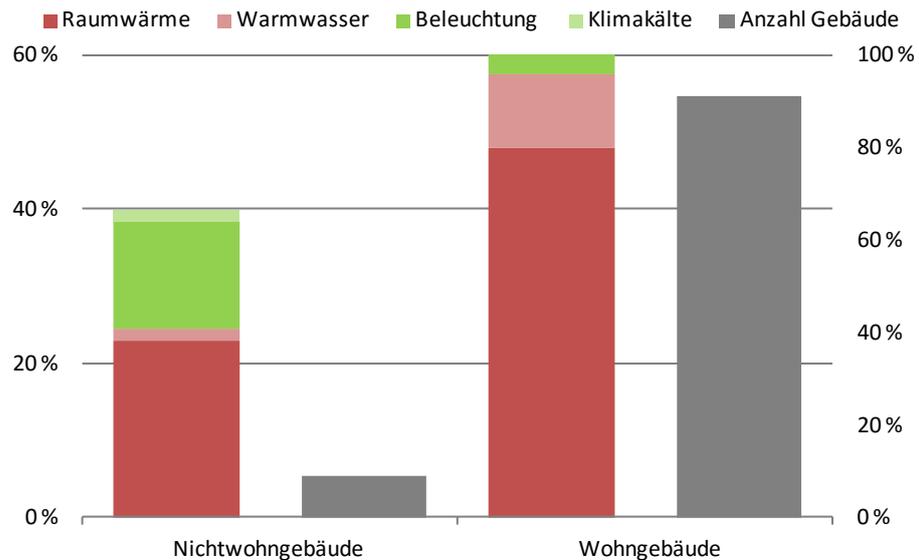


Abbildung 1-2: Aufteilung der Treibhausgasemissionen in Deutschland in Sektoren und Gebäudetypologien für das Jahr 2004. Für den gesamten Gebäudebestand teilen sich die Energieträger wie folgt auf: 42% Strom, 7% Fernwärme, 51% Brennstoffnutzung. Quelle frei nach [Vahlenkamp 2007]

Abbildung 1-3: Aufteilung der Primärenergie verschiedener Verbrauchssektoren deutscher Gebäude mit Zuordnung zum Gebäudesektor (Nichtwohngebäude machen weniger als 10 % der deutschen Gebäude aber 40 % des Primärenergieverbrauchs des Gebäudesektors aus) [Bigalke 2012]



### 1.1.2 Energiepolitische Zielvorgaben

Seit der Veröffentlichung des vierten Klimaberichts des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) durch den UN-Weltklimarat 2007 wird der anthropogene Einfluss auf den Klimawandel durch eine gestiegene CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Erdatmosphäre international anerkannt.<sup>1</sup> Hierauf aufbauend wurden 1992 in Rio de Janeiro durch die Vereinten Nationen internationale Klimarahmenkonventionen formuliert, die den Anstieg der durchschnittlichen globalen Mitteltemperatur um höchstens 2° C gegenüber dem Niveau vor der Industrialisierung sowie eine hierzu notwendige weltweite Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 50 % bis 2050 vorsehen [IPCC 2007]. Sie waren Basis für das 1997 verabschiedete Kyoto-Protokoll mit verbindlich festgesetzten Zielen zur CO<sub>2</sub>-Einsparung (Ø 5,2 % bis 2012 gegenüber dem Referenzjahr 1990). Innerhalb der Europäischen Union sollte die Minderung im Mittel 8 % betragen [Kyoto 2001]. Da das Kyoto-Protokoll erst 2005 in Kraft trat, der weltweite CO<sub>2</sub>-Ausstoß in der Zwischenzeit aber anstieg, machte die EU eigene, weiterreichende Ziele aus. Basierend auf dem im Jahr 2000 verabschiedeten Programm für den Klimaschutz, das die Umsetzung des Kyoto-Protokolls regeln sollte, folgte 2007 eine europäische Energiestrategie mit konkreten aber unterschiedlichen Zielvorgaben für die Mitgliedsländer. Übergreifend gibt sie eine Verringerung des Treibhausgasausstoßes durch die EU in Höhe von 20 % gegenüber dem Basisjahr 1990 bis 2020 vor [European Commission 2012]. Bis zum Jahr 2050 sollen die Emissionen um 80 % gesenkt werden. Im Jahr 2010 kamen die Ziele zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Gesamtverbrauch auf bzw. eine angestrebte Energieeffizienzsteigerung um 20 % hinzu. Hierzu vorgesehene und bereits eingesetzte Maßnahmen sind u.a. der Erlass von Richtlinien und Verordnungen zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien sowie einer gesteigerten Energieeffizienz und -einsparung. Dazu zählt auch die durch die Europäische Union 2002 erlassene und im Mai 2010 geänderte „Directive on the Energy Performance of Buildings“ (EPBD, s. Abschnitt 3), die den Standard des „Nearly Zero Energy Building“ für Neubauten ab 2020 in den Mitgliedsländern fordert [EU 2010b; BPIE 2011].

In Deutschland wurden erste CO<sub>2</sub>-Minderungsziele bereits im Jahr 1995 vereinbart. Hiernach sollte der Treibhausgasausstoß bis 2005 um 25 % gegenüber dem Wert von 1990 gesenkt werden. Laut Bundesumweltamt wurden bislang

<sup>1</sup> Die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre ist seit Beginn des Industriezeitalters um 1850 von 280 ppm auf über 380 ppm 2012 angestiegen

etwa 20 % erreicht. Aufbauend auf den Beschlüssen von Kyoto startete die Bundesregierung im Jahr 2000 das Nationale Klimaschutzprogramm. Formulierten Ziele waren neben der weiteren Senkung der Treibhausgasemissionen auch eine festgelegte Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energieträger an der Gesamtenergieerzeugung. Das Programm sollte sicherstellen, dass die von Deutschland auf europäischer Ebene zugesagten Ziele erreicht werden konnten [BMU 2000].<sup>2</sup> Parallel wurde das Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG) als Ersatz für das Stromerzeugungsgesetz (StromEinspG) erlassen (s. Abschnitt 3.1.2.5). Wichtigste ordnungspolitische Auswirkung für den Gebäudesektor war jedoch die Verabschiedung der Energieeinsparverordnung 2002 (EnEV 2002, s. Abschnitt 3.1.2.1). Das Nationale Klimaschutzprogramm wurde im Juli 2005 durch die Bundesregierung fortgeschrieben [BMU 2005]. Seit 2007 setzt die Bundesregierung die EU-Vorgaben 20/20/20 auf nationaler Ebene mit dem Integrierten Energie- und Klimaprogramm (IEKP) um, wobei das konkrete Maßnahmenprogramm und die Klimaschutzziele über die Forderungen hinaus gehen (s. [BMU, BMWi 2007]). Weitere Eckpunkte, die in nationalen Energieeffizienzplänen formuliert werden, sind u.a. der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung, eine Erhöhung der Beiträge von Biomasse, Biogas und Biokraftstoffen sowie eine Reduktion des Energieverbrauchs von Gebäuden [Bigalke 2012]<sup>3</sup>. Umsetzungen finden diese Ziele u.a. in darauffolgenden Veränderungen der EnEV und des EEG sowie durch die Einführung des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG, s. Abschnitt 3.1.2.3).

<sup>2</sup> National resultierten hieraus u.a. Förderprogramme der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) zur energetischen Gebäudesanierung oder das Marktanzreizprogramm (MAP) zur Förderung neuer Technologien

<sup>3</sup> Hinzukommen u.a. die Ausschöpfung von Effizienzverbesserungspotenzialen in Wirtschaft und Verkehr

In den Jahren 2010 bzw. 2011 läutete die Bundesregierung durch ein umfassendes Energiekonzept bzw. das darauf aufbauende sechste Energieforschungsprogramm den als Energiewende bezeichneten dauerhaften Umstieg von endlichen fossilen sowie atomaren Energieträgern auf eine erneuerbare Energieversorgung ein und manifestierte bzw. konkretisierte die oben genannten Ziele. Die in diesen Vorhaben beschriebenen langfristigen Strategien sehen bis 2050 u.a. die bereits durch EU und World Resources Institute beschriebene Reduktion der Treibhausgasemissionen um 80 bis 95 % gegenüber 1990 vor. Hierzu und zur Vermeidung der Abhängigkeiten von Importen fossiler Energieträger soll der Gesamtprimärenergieverbrauch vollumfänglich und sektorübergreifend um 50 % gegenüber 2008 sinken. Der Anstieg der erneuerbaren Energien auf einen Anteil von 60 % am Bruttoendenergieverbrauch bzw. 80 % am Bruttostromverbrauch bezieht den Verzicht auf das verlustbehaftete Umwandeln und Verteilen von Energie ein. Dies zieht Konsequenzen bei der Energieversorgung sowie einen Netzaus- und -umbau nach sich (s. Kapitel 3.2) [BMWi; BMU 2010; BMWi 2011].

#### 1.1.2.1 Die Zielsetzung Klimaneutraler Gebäudebestand

Bereits 2005 formulierte die Bundesregierung im fünften Energieforschungsprogramm

*Das Fernziel sind Nullemissionshäuser.*  
[BMWA 2005]

Im 2010er Energiekonzept sowie dem folgenden sechsten Energieforschungsprogramm wird der Gebäudesektor als einer von neun Kernpunkten mit dem Ziel des nahezu Klimaneutralen Gebäudebestands bis 2050 beschrieben.

Dort heißt es

*Unser zentrales Ziel ist es [...], den Wärmebedarf des Gebäudebestandes langfristig mit dem Ziel zu senken, bis 2050 nahezu einen Klimaneutralen Gebäudebestand zu haben. Klimaneutral heißt, dass die Gebäude nur noch einen sehr geringen Energiebedarf aufweisen und der verbleibende Energiebedarf überwiegend durch erneuerbare Energien gedeckt wird.*

[BMWi; BMU 2010]

Auch wenn wortgetreu Emissionen fokussiert werden, wird klimaneutral also darüber definiert, dass der Energiebedarf von Gebäuden stark verringert und überwiegend durch erneuerbare Energien gedeckt werden soll. Sowohl der Wärmebedarf im Gebäudebestand als auch der gesamte Primärenergiebedarf sollen um 80 % gemindert werden, wobei im Gegensatz zu bisherigen Formulierungen und der Forderung durch die EPBD 2010 (s. Abschnitt 3) der gesamte Gebäudebestand eingeschlossen und die Nullenergie- bzw. -emissionsziele nicht mehr nur auf den Neubau und jedes einzelne Gebäude beschränkt werden. Daraus folgt, dass die Bestandssanierung eine wichtige Rolle einnimmt. Die Sanierungsrate soll daher durch eine Modernisierungsoffensive von 1 auf 2 % verdoppelt werden [BMWi; BMU 2010; BMWI 2011]. Genauere Ziele zur Gebäudeeffizienz oder der Verortung von Systemen zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen werden nicht genannt.

Im Dezember 2014 hat das Bundeskabinett das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 beschlossen, mit dem die Bundesregierung sicherstellen will, dass Deutschland seine Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40 % gegenüber 1990 reduziert. Der Gebäudesektor und insbesondere dessen Sanierung nimmt hier eine wichtige Rolle ein.

## 1.2 Stand der Diskussion um die Architektur des energiesparenden Bauens

Die formulierten politischen Zielsetzungen, die EPBD-Vorgabe für zukünftige Gebäude(-standards) (s. Kapitel 3.1.1), sowie deren angekündigte Übertragung in schärfere Normen lösen bei Planern, Immobilienbesitzern und Investoren intensive und konträre Debatten im Spannungsfeld zwischen Energieeffizienz, Ökonomie und Gestaltung aus (s. u.a. [BKULT 2012]). Hierbei stehen die Möglichkeiten zur Umsetzung von großumfänglichen Effizienzsteigerungen bis hin zu Nullenergiegebäuden im Fokus und im Kontrast zu externen Energielandschaften. Entsprechend mindestens nötige und maximal mögliche Effizienzvorgaben, Energieeinsparpotenziale (bei Bestandsgebäuden), deren baukulturelle Vertretbarkeit sowie eine Verlagerung auf externe Erzeugungskapazitäten werden diskutiert [Leibundgut 2010]. Bei der Sanierung ist die Rede vom „Dammoklesschwert der Zwangssanierung“ oder einem „Dämmwahn“ (s. u.a. [Bauer 2012; Haimann 2012]). Befeuert werden die Debatten durch architektonisch weniger gelungene (energetisch begründete) Transformationen. Die durch die Einspeisevergütung (s. Kapitel 3.1.2.5) geförderte, nachträgliche Installation von Solarstromanlagen geschieht und geschah bspw. meist unter ökonomischen Motiven, additiv und damit losgelöst von der Gestaltung.<sup>4</sup> Mehrheitlich verbreitete teilflächige und aufgesetzte solaraktive Anlagen sowie vorgegebene Parameter wie Modulmaße oder Farbigekeit werden als fremd, störend und dominant empfunden und führen zu wenig Akzeptanz [IFEU 2013; Pehnt 2013].

<sup>4</sup> Als Hauptgrund gelten vor-konfektionierte und wenig anpassbare Module. Sie sind kaum in kleinteilige Dachlandschaften mit Gauben, Dachflächenfenstern oder Schornsteinen einzupassen und bilden mit ihrem dunklen Farbton einen harten Kontrast zu vorhandenen Dacheindeckungen

Einzelmaßnahmen zur Verbesserung der energetischen Qualität und/oder des Komforts lassen die Ausstrahlung und Individualität von Gebäude und Standort mitunter ebenso außer Acht wie partielle Solaranlagen. Hier wird u.a. von Verbänden Wärmedämmung allein auf das Einpacken mit geschäumten Kunststoffen reduziert und Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) auf Altbaufassaden als Synonym für eine mangelnde Auseinandersetzung mit der Baukultur durch alleinige Abwägung zwischen ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten angeführt [Bodenbach 2011; Saint-Gobain 2011; Braun 2013]. Identifikation und Identität gehen auch auf Grund mangelnder Materialgerechtigkeit verloren oder werden verfälscht [BMVBS 2010; IFEU 2013; Pehnt 2013]. Eine Tatsache die bspw. dem Bauen der Moderne komplett entgegensteht, obwohl diese Epoche für eine aus energetischer Sicht ganz andere Denkweise steht<sup>5</sup> und heutigen Ansichten ebenfalls kaum standhält - siehe die Worte des Präsidenten der Bundesarchitektenkammer zur Verleihung des Deutschen Architekturpreises 2013:

*Zukunftsfähige Gebäude müssen hohe Ansprüche an Qualität, Nachhaltigkeit und Energieeffizienz erfüllen. Sie sollen mit ihrer Gestalt und Funktion ihre Orte bereichern und beleben, sollen Betrachter und Benutzer anregen und erfreuen [...].*

[Kraft 2013]

Die Einbeziehung lokaler Aspekte zur (Steigerung der) Nutzung von Sonnenenergie war in der Baugeschichte ein zentrales Element des Formfindungsprozesses - wenn auch meist auf die passive Nutzung bezogen (s. Kapitel 5). Heute wird dies zuweilen durch technische Komponenten kompensiert, da die (konzeptionelle) Auseinandersetzung mit energetischen Fragestellungen in der Ausbildung von Architekten bis vor einigen Jahren kaum Anwendung fand. Integrale Entwurfsansätze und interdisziplinäre Zusammenarbeit wurden nicht geschult [WR 1999]. Entsprechende Institute wie „Entwerfen und Energieeffizientes Bauen“ an der Technischen Universität Darmstadt oder „Bauklimatik und Haustechnik“ an der Fakultät für Architektur der TU München haben sich erst nach 2001 etabliert. Vertiefende oder interdisziplinär ausgerichtete Masterstudiengänge wie „ClimaDesign“ (ab 2006, ebenfalls TU München) sind sogar erst einige Jahre später in der Hochschullandschaft zu finden. Auch die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) bot bisher kaum Anreize hieran etwas zu ändern. So stieg die Honorarempfehlungen für das Leistungsbild „Wärmeschutz und Energiebilanzierung“ erst mit der Novelle 2013 an. Zudem wird auch das „Bauen im Bestand“ wieder innerhalb der anrechenbaren Kosten berücksichtigt und die hierzu zu erbringenden Leistungen (höher) vergütet [Eich 2013]. Umfragen verdeutlichen hingegen, dass den Aufgabefeldern Nachhaltiges Bauens, Sanierung und vor allem dem energiesparendem Bauen zukünftig größte Aufmerksamkeit zukommen wird [detail 2011].

All dem steht eine Vielzahl von weltweit realisierten Gebäuden gegenüber, die sich der Verringerung oder gar dem kompletten Ausgleich des Energiebezugs für ihren Betrieb oder den damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen widmen (s. Kapitel 5.2). Nicht wenige davon haben bereits Architekturpreise erhalten (s. [Voss Musall 2011]). Diese Bauvorhaben lassen erkennen, dass Gebäude für das post-fossile Zeitalter möglich sind, auch wenn den besonderen Erfordernissen, Hindernissen aber auch Chancen<sup>6</sup> der Bestandssanierung bei den sog. Nullenergiegebäuden bisher kaum Beachtung geschenkt wird (s. Kapitel 5.2.1) [Musall 2011b; Musall 2011d]. Den Nullenergiegebäuden werden zudem Befürchtungen zu mangelnder Nachhaltigkeit gegenübergestellt. So sollen Ener-

<sup>5</sup> Siegfried Giedion beschreibt den Zeitgeist der Klassischen Moderne und des International Style, bei dem energetische Fragestellungen und die Anforderungen des Innenraumkomforts der Internationalisierung von Gebäuden und dem Wunsch der formalen Konsequenz u.a. durch Auflösung der Außenhaut untergeordnet bzw. persifliert werden (s. bspw. [Schittich 2006a; Frampton 2001]), in seinem Buch „Befreites Wohnen“ 1929 wie folgt:

„SCHÖN ist ein Haus, das unserem Lebensgefühl entspricht. Dieses verlangt LICHT, LUFT, BEWEGUNG; ÖFFNUNG. [...]

SCHÖN ist ein Haus, das an Stelle von Schatten (Fensterpfeiler) Licht hat (Fensterwände).

SCHÖN ist ein Haus, dessen Räume kein Gefühl von EINGESPERRTSEIN aufkommen lassen.“

[Giedion 1985]

<sup>6</sup> Wie z.B. der mit einer energetischen Sanierung einhergehenden (Wohn-)Wert- und Komfortsteigerung durch höhere Raumluftqualitäten und Oberflächentemperaturen, gleichmäßigere Temperaturniveaus, mehr Tageslichtangebot oder eine Gewissensberuhigung, etc.

gieeinsparungen und -erträge durch vergrößerte Aufwendungen Grauer Energie bei den verwendeten Systemen und Baustoffen energetisch unrentabel erkaufte werden [Bodenbach 2011]. Studien und Kapitel 7.4.3 belegen jedoch, dass die Energieeinsparungen bei der Betriebsenergie den Anstieg der Grauen Energie deutlich überkompensieren [Berggren 2013b]. Die Bedeutung nachhaltiger Gebäude sowie das Streben nach dem Erlangen von Gütesiegeln nehmen - angefaht durch marktökonomische Aspekte - generell zu. Ökologische, ökonomische, technische sowie prozessuale Ansprüche und deren Quantifizierung stoßen zu ursprünglich allein subjektiv bewerteter Architekturqualität und gestiegenen Komfortansprüchen (s. Kriterien des DGNB, bspw. [DGNB 2012]). Aufbauend auf den Entwicklungen der letzten Dekaden (s. Kapitel 5) steigt die technische Komplexität von Gebäuden sowie deren integrale Planungsanforderungen (vgl. [Löhnert 2012; SDE 2010] und Seite 76).

# Kapitel 2

## Ziele und Methodik der Arbeit

Hypothesen

Zum Aufbau der Arbeit



## 2 Ziele und Methodik der Arbeit

<sup>7</sup> Mit einer Übertragbarkeit auf heizungsdominierte Klimate und andere mittel-europäische Länder

Gegenstand und Ziel dieser Arbeit ist, die Bedeutung der Umsetzung des Klimaneutralen Gebäudebestands für die Architektur bezogen auf Gebäude in Deutschland darzustellen und dies zu diskutieren.<sup>7</sup> Dabei sollen einerseits die Ansprüche und Verfahren der aktuell gültigen Normung, methodische Inhalte bestehender Bilanzierungsansätze sowie Maßnahmen und Strategien von Gebäudebeispielen aus der Umsetzung untersucht und diskutiert werden. Eine architektonische Einordnung erfolgt über Interviews mit Architekten mit praktischer Erfahrung im Bereich der Nullenergiegebäude und durch formale wie auch gestalterische Vergleiche mit der Baupraxis. Die Arbeit beinhaltet sechs inhaltliche Schwerpunkte:

1. Im ersten Arbeitsschwerpunkt werden Anlass und Hintergrund, das normative Umfeld, die Veränderung der Energieversorgung und des Klimas sowie die Situation des Gebäudebestands als externe Rahmenbedingungen erläutert. Sie stellen maßgebliche Einfluss- und Anforderungsgrößen für Gebäude des Klimaneutralen Gebäudebestands dar (Kapitel 1 und 3).
2. Der zweite Arbeitsschwerpunkt dient dem Beschrieb eines Szenarios des Klimaneutralen Gebäudebestands. Durch die Einordnung der Wichtigkeit von Gebäuden für das Erreichen formulierter Klimaschutzziele werden der übertragene Anspruch bzw. die Verantwortung des Gebäudesektors aufgezeigt. Hierzu sollen energetische Alternativ- und Kompensationsmaßnahmen außerhalb des Gebäudesektors skizziert werden. Anhand der theoretischen Festlegungen können die Konzepte der in dieser Arbeit genutzten Beispielgebäude (s. Arbeitsschwerpunkt 5) eingeordnet werden (Kapitel 4).
3. Eine architekturgeschichtliche Einordnung des Themas dient zur Unterstützung der abschließenden Diskussion architektonischer Einflüsse. Ein chronologischer Überblick über die Entstehung von Null- und Plusenergiegebäuden zeigt den Umfang des Themas auf den Gebäudesektor auf und beinhaltet Aussagen zur Motivation und Einflüssen von Akteuren (Rahmenbedingungen) bei der Umsetzung entsprechender Projekte (Kapitel 5).

Zusätzlich wird ein Meinungsbild der Architekturpraxis zum Einfluss des energetischen Ziels auf die Architektur von Nullenergiegebäuden wiedergegeben. Qualitative Interviews mit Architekturbüros, die bereits solche Gebäude geplant haben, geben Aufschluss über subjektiv zu bewertende Fragen der Gebäudegestalt, Herausforderungsschwerpunkte oder Konzepteinflussnahme und Hemmnisse bei der Umsetzung (Kapitel 6).

4. Im vierten Arbeitsschwerpunkt werden die für eine ganzheitliche energetische Bilanzierung notwendigen und innerhalb eines methodischen Anforderungsrahmens eingehenden Bewertungsparameter dargestellt und hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Architektur mittels Parameterstudien analysiert.<sup>8</sup> Als Grundlage dienen 80 bekannte und bereits in der Gebäudepraxis angewandte Bilanzierungsmethoden, Definitionen, Label und Vorschriften.

<sup>8</sup> Die hierzu überwiegend genutzte Software ist [EnerCalC 2014]

Da die Energiewende nicht nur den Energiebedarf des Gebäudesektors einbezieht (s. Abschnitt 1.1.2), finden angedachte und teils durch Bilanzierungsmethoden bereits berücksichtigte Aspekte und Wechselwirkungen zu anderen Disziplinen, die mit dem Gebäudesektor verbunden sind (bspw. Individualverkehr oder Netzinfrastruktur), ebenfalls Beachtung. Sie werden um (in der Forschung) diskutierte Quantifizierungsgrößen ergänzt (Kapitel 7).

5. Der fünfte Arbeitsschwerpunkt umfasst die qualitative und quantitative Analyse technischer wie baulicher Umsetzungsstrategien bzw. Maßnahmen zur Gebäudeeffizienz, Energieeinsparung und Nutzung erneuerbarer Energien realisierter Null- und Plusenergiegebäude (Kapitel 8). Grundlage hierzu ist eine im Zuge dieser Arbeit erstellte Datenbank mit 415 bekannten Beispielprojekten, die mit dem Ziel einer ausgeglichenen Energie- oder Emissionsbilanz weltweit realisiert wurden.<sup>9</sup> Die Daten und Informationen zu den Gebäuden wurden durch Kollegen aus dem Forschungsprojekt „Towards Net Zero Energy Solar Buildings“ [IEA 2008] übermittelt, aus persönlicher Korrespondenz mit Planern, Bauherren und wissenschaftlichen Institutionen erfragt sowie im Zuge der Buchpublikation von [Voss Musall 2011] größtenteils aus eigenen Recherchen zusammengetragen.<sup>10</sup> Insgesamt sind hierzu mehr als 2.000 unterschiedliche Quellen wie Zeitschriftenartikel<sup>11</sup>, Buchpublikationen<sup>12</sup>, Internetberichte sowie Broschüren und Ähnliches genutzt worden. Sie werden auf Grund des Umfangs nicht einzeln referenziert, liegen jedoch dem Verfasser vor. Fehlende Angaben wie bspw. Fenster- oder Nettogrundflächen bzw. (mittlere) U-Werte wurden - wenn möglich bzw. nötig - mittels gängiger Berechnungsgrundlagen und Umrechnungsfaktoren anhand von Plänen oder Bauteilaufbauten durch eigene Berechnungen bestimmt.

Die Sammlung der Beispielgebäude ist im Zeitraum zwischen November 2008 und Januar 2014 stetig angewachsen. Dabei wurde nicht nur die Zahl der Gebäude kontinuierlich erhöht, sondern auch die abgefragte bzw. in der Datenbank hinterlegte Informationsdichte. Hierdurch, und weil nicht von allen Gebäuden sämtliche Angaben vorliegen, ist diese unter den Gebäuden unterschiedlich. Für spezifische Aussagen für die Bedeutung des Themas in Deutschland wird die Auswahl auf Projekte der gemäßigten Klimazone (heizungsdominierte Standorte) beschränkt. Zudem wird nach Typologie und Neubau bzw. Sanierung unterschieden. Als Mindestvoraussetzung zur Auswahl der Gebäude für die Querschnittbetrachtungen gilt die Kenntnis über die Energiebilanz (anhand von gemessenen oder berechneten Energiekennwerten), Bilanzgrenzen und Bilanzrahmen sowie die Art der Energieversorgung. Zudem müssen detaillierte Kenngrößen, (Flächen-)Angaben und das Maß der technischen Ausstattung bekannt sein. Letztlich können etwa 250 Gebäude mit hoher Daten- und Informationsdichte in die Analysen eingehen.<sup>13</sup>

Vergleiche gegenüber der Gebäudepraxis und der gültigen Normung ordnen die Maßnahmen energetisch ein. Ebenfalls erfasste Erfahrungen aus der Gebäudeplanung und dem -betrieb werden ergänzt und geben Aufschluss über die Schwerpunkte der Planung von Gebäuden für das postfossile Zeitalter.

<sup>9</sup> Es befinden sich auch einige wenige noch nicht realisierte aber bereits vollständig konzipierte Gebäude in der Datenbank

<sup>10</sup> Den im Verlauf der Arbeit gezeigten Verteilungen im weltweiten Kontext als Output aus der Datenbank kann daher keine Vollständigkeit zugesprochen werden. Es ist bekannt, dass sowohl in Deutschland als auch in anderen Staaten weitere Gebäude, die bspw. durch einen guten Effizienzstandard und eine eigene PV-Anlage eine der bekannten Nullenergiebilanzansätze erfüllen könnten, existieren

<sup>11</sup> Hauptsächlich aus den Reihen „detail green“, „XIA - intelligente Architektur“ ab Heft 65/2008, „DBZ - Deutsche Bauzeitschrift“ ab Ausgabe 12/2010, „zeno“ und „green building“ ab Ausgabe 01/2009)

<sup>12</sup> Stellvertretend werden neben [Voss Musall 2011] die Bücher [Fisch 2012; Hegger 2012; Rühm 2013; Drexel 2009; Guzowski 2010] genannt. Beispiele für projektbezogene Publikationen sind [Jäger 2002; Dias 2010] und [Leibundgut 2011]

<sup>13</sup> Die Zahl der zur Auswertung genutzten Gebäude schwankt je nach Analyse

<sup>14</sup> Die Schrägbilddarstellungen der Datenbankgebäude konnten auf Basis der eigens erstellten online-Weltkarte (s. Randnotiz und QR-Code auf Seite 15) und von dort in GoogleEarth exportierter KMZ-files eingesehen werden

<sup>15</sup> „Towards Net Zero Energy Solar Buildings“ [IEA 2008]

„Towards nearly zero-energy buildings - Definition of common principles under the EPBD“ [Ecofys 2013]

„Dezentrale Stromerzeugung im Kleinleistungsbereich als Beitrag zur Emissionsminderung im Gebäudebestand – Potentialanalyse und beispielhafte Umsetzung für Hauseigentümer in NRW“

6. Aufbauend auf dem unter Punkt drei geführten Meinungsbild aus der Architekturpraxis wird der diskutierte Einfluss einer ausgeglichenen Energiebilanz von Gebäuden auf deren Architektur und Gestaltung aufgegriffen und Trends mit dem aktuellen Neubaugeschehen verglichen. Anhand von etwa 3.000 archivierten Fotos und Luftbild- bzw. vierseitigen Schrägbilddarstellungen der Datenbankgebäude<sup>14</sup> können objektiv auswertbare Aspekte wie bspw. die Gebäudekubatur oder die Art der Einbindung von Solaranlagen analysiert und Grundmustern zugeordnet werden (Kapitel 9).

## 2.1 Hypothesen

Im Zuge der Mitarbeit in drei Forschungsprojekten<sup>15</sup> wurden Nullenergiegebäude und deren Rahmenbedingungen in vielfältiger Weise evaluiert. Die folgenden Hypothesen sind Ausdruck der Forschungstätigkeit:

1. Methodische Festlegungen formulierter Definitionsansätze zu Nullenergiegebäuden nehmen je nach Auslegung erkenn- und quantitativ belegbaren Einfluss auf die Architektur der Gebäude.
2. Durch den Bezug der ausgeglichenen Energiebilanz auf den Zeitraum eines Jahres entstehen saisonale Ungleichgewichte zwischen selbst-erzeugter und genutzter Energie am Gebäude. Diese lassen sich ebenso darstellen wie Optionen einer gebäudeeigenen Adaption.
3. Anhand umgesetzter Nullenergiegebäude zeichnen sich eindeutige Maßnahmen in Bezug auf die Gebäudeeffizienz sowie Strategien zur Nutzung erneuerbarer Energien am Gebäude ab. Diese können quantifiziert, Rahmenbedingungen zugeordnet und als Handlungsempfehlung spezifiziert werden.
4. Das Ziel der ausgeglichenen Energiebilanz prägt die Architektur von Nullenergiegebäuden, lässt gestalterische Freiheiten aber zu.
5. Das Ziel des Klimaneutralen Gebäudebestands ist bei Einbeziehung heutiger Bestandsgebäude und deren energetischer Sanierung grundsätzlich und durchgehend erreichbar.
6. Vermeidet der Klimaneutrale Gebäudebestand externe Energielandschaften, erfordert dies die Veränderung etablierter Grundsätze von Neubauten sowie der Fassung des heutigen Baubestands. Dies führt zu einer zukünftig ablesbaren Architekturepoche.

Zum Abschluss der Arbeit werden die Inhalte und Erkenntnisse aus den Schwerpunkten zwei bis sechs den Hypothesen gegenübergestellt und diskutiert (Kapitel 10).

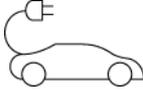
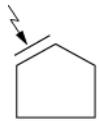
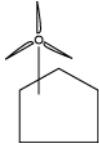
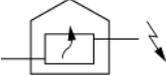
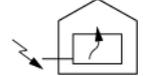
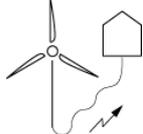
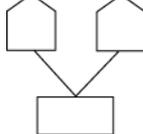
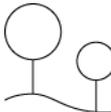
## 2.2 Zum Aufbau der Arbeit

Zur Unterstützung der Argumentation in den Arbeitsschwerpunkten vier und fünf sowie zur Dokumentation gewählter Strategien werden im Verlauf der Arbeit 15 ausgewählte Nullenergiegebäude exemplarisch und stellvertretend gezeigt bzw. neun entsprechend zu Grunde gelegte Definitionsbeispiele vergleichbar angeführt. Um die Beispiele gemäß ihrem Kontext einzufügen, werden sie jeweils ganzseitig aufgeführt und unterbrechen daher bisweilen den Fließtext. Bei den Gebäudebeispielen werden Aspekte und Größenordnungen ver-

gleichend dargestellt sowie Ausführungsschwerpunkte bzw. Besonderheiten spezifisch erläutert. Es erfolgt eine Einteilung hinsichtlich des Klimas, der Typologie sowie der Bilanzgrenze und des Bilanzrahmens (s. hierzu Piktogramme in Tabelle 2-1). Die bei den Gebäudebeispielen aufgeführten Primärenergiekennwerte berechnen sich auf Basis lokaler und auf das Jahr der Messung bezogener Primärenergiefaktoren. Die gezeigten Referenzwerte für den Energieverbrauch sind stets auf den Neubau der Typologie und das mitteleuropäische Klima bezogen. Die Stromverbräuche sind entsprechend zur gewählten Technologie der Wärmebereitstellung (bspw. Nur-Strom-Gebäude) angegeben. Die Grafik zur Energiebilanz beschreibt in Anlehnung an die energetische Bilanzierung nach EnEV (s. Kapitel 3.1.2.4) und Abbildung 4-7 den Gesamtprimärenergieverbrauch (a), den verbleibenden Primärenergieverbrauch nach Abzug der anrechenbaren Stromerzeugung gegenüber dem Gesamtstromverbrauch auf monatlicher Ebene (b) und das Ergebnis der Gegenüberstellung von verbliebenen Verbräuchen und Erträgen (c). In Sonderfällen werden Stromerträge aus externen Windkraftanlagen („Kleehäuser“ - DE\_7) oder Wärmeexporte („Kraftwerk B“ - CH\_8 und „Verwaltungsbau Groendalsvej 1“ - DK\_6) extra ausgewiesen (d).

Ähnlich zu den Verbrauchskennwerten zeigen graue Balken Referenzwerte für die Gebäudetechnik der Typologie gemäß Kapitel 8 auf. Sofern diese im gezeigten Beispiel nicht verwendet sind, gilt dies als Hinweis auf eine üblicherweise vernommene Anwendung. Die Referenzgrößen sind zwischen den 15 Gebäudebeispielen nicht vergleichbar. Sie stellen lediglich den spezifischen Wert des Objekts im Vergleich mit dem Durchschnitt der Typologie dar. Der Referenzwert für den Batteriespeicher gilt typologieübergreifend für netzgekoppelte Gebäude, der Wert für thermische Speicher ist abhängig vom gewählten technischen Konzept der Wärmeerzeugung.

Tabelle 2-1: Genutzte Piktogramme zur Einteilung von Gebäudebeispielen nach Bilanzgrenze und Bilanzrahmen

Bilanzgrenze					
Technische Gebäudeausrüstung	Beleuchtung	Nutzungsspezifische Verbraucher	(Elektro-)Mobilität	Baustoffe und Materialien - Graue Energie	
					
Bilanzrahmen / Technologiekonzept Energieversorgung					
Solarstrom „on-site“	Windkraft „on-site“	KWK „on-site“	Wärmepumpe, Kälteanlage	(Biomasse-) Kessel	Solarthermie
					
Thermischer (Puffer-)Speicher	Batteriespeicher	„grüner“ Strom „nearby“ und/oder „off-site“		Wärmenetz „nearby“ und/oder „off-site“	Biogene Energieträger
					

Für die Parameterberechnungen und zur Veranschaulichung etwaiger Auswirkungen unterschiedlicher bilanzieller Ansätze sowie technologischer Maßnahmen werden drei realisierte Projekte aus Deutschland genutzt. Sie folgen jeweils einem unterschiedlichen Bilanzansatz und bilden verschiedene Typologien, Nutzerprofile, technische Konzepte sowie formale Aspekte ab. Das Mehrfamilienhausprojekt „Kleehäuser“ (DE\_7) aus Freiburg ist auf Seite 95 umfangreich vorgestellt. Die Kindertagesstätte „Die Sprösslinge“ aus Monheim (DE\_43) befindet sich auf Seite 80, das Experimental- und Demonstrationshaus der Universität Wuppertal als Wettbewerbsbeitrag zum Solar Decathlon 2010 auf Seite 237 (DE\_37). Zu allen Projekten liegen Messdaten vor, so dass die aufgesetzten Gebäudemodelle zur energetischen Berechnung und Variantenanalyse hinsichtlich vergleichbarer Ergebnisse für Energiebedarf bzw. -verbrauch sowie -erträgen überprüft werden konnten. Zur Orientierung wird bei der Darstellung von Ergebnissen von Vergleichsrechnungen und Parameterstudien durch Grafiken oder Tabellen vor allem in Kapitel 7 ein Foto des jeweils untersuchten Projekts in der Randspalte gezeigt.

In der Regel werden energetische Analysen und Beispielberechnungen auf monatliche Bilanzen beschränkt, da dies der aktuellen Normung entspricht (s. Kapitel 3.1.2). Zudem können somit sämtliche Verbrauchsbereiche einbezogen und saisonale Unterschiede abgebildet werden. Für die Berechnung von Energie- und Emissionsbilanzen wird das Excel-basierte Werkzeug EnerCalC genutzt [EnerCalC 2014].

Zusätzlich zu den drei für die Parameterstudien genutzten Gebäudebeispielen und den anderen näher beschriebenen Projektbeispielen werden im Verlauf

der Arbeit weitere Gebäudebeispiele aus der der Dissertation zu Grunde liegenden Datenbank als Referenz genannt. Diese sind mit einem Foto, einem Kurzbeschrieb sowie einem Weblink, der jeweils auf eine externe Internetseite zur Gebäudevorstellung weiterleitet, unter [Musall 2014a] - einer interaktiven Weltkarte - hinterlegt.<sup>16</sup> Die Gebäude werden dort per Länderkürzel und Nummer benannt (bspw. DE\_7 für die „Kleehäuser“). Die Gebäudebeispiele sind lediglich als beispielhafte Referenz zu verstehen, die den beschriebenen Aspekt exemplarisch anhand eines Praxisbeispiels belegen. Zusätzlich werden am Anfang eines jeden Kapitels insgesamt zwölf weitere Nullenergiegebäude mit einem Foto gezeigt. Der Verweis hierauf enthält dann zusätzlich eine Seitenangabe. Auf diesem Weg werden im Laufe der Arbeit rund 100 unterschiedliche Nullenergiegebäude der Datenbank referenziert.

<sup>16</sup> Die Weltkarte kann zusätzlich zum referenzierten Weblink per Smartphone bzw. Tablet über diesen QR-Code zur parallelen Ansicht geöffnet bzw. angezeigt werden



# Kapitel 3

## Der Kontext klimaneutraler Gebäude in Deutschland

**Normatives Umfeld**

**Die Veränderung der Energieversorgung**

**Die Klimaveränderung als bauliche Herausforderung**

**Der Gebäudebestand in Deutschland**



## 3 Der Kontext klimaneutraler Gebäude in Deutschland

### 3.1 Normatives Umfeld

#### 3.1.1 Europäische Vorgaben

Als europaweite Rahmenvorgabe zur Umsetzung von Normen zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden in den einzelnen Mitgliedsstaaten hat die Europäische Union 2002 erstmals die „Directive on the Energy Performance of Buildings (EPBD)“ erlassen. Hintergrund und Ziel ist die Senkung des Energieverbrauchs um 20 % bis 2020 durch eine Steigerung der Energieeffizienz sowie die vermehrte Nutzung von erneuerbaren Energie im Gebäudesektor. Die EPBD wurde im Mai 2010 durch das Europäische Parlament verschärft, nahm die fortgeschrittenen technischen Möglichkeiten von bereits realisierten Nullenergiegebäuden auf (s. Kapitel 5.2) und beinhaltet nach Artikel 9 Absatz 1 u.a. die Forderung zur Implementierung des Standards des „*Nearly Zero Energy Buildings*“ [EU 2010b]. Demnach müssen Neubauten in allen EU-Mitgliedsstaaten, die nach dem Jahr 2020 errichtet werden, den Standard des Niedrigstenergiegebäudes erreichen (dt. Fassung [EU 2010a]). Für Neubauten von öffentlichen Bauherren gilt dies bereits ab Januar 2019. Eine genaue Definition des Standards oder wie nah „nearly zero“ an einer komplett ausgeglichenen Energiebilanz liegt, wird auf Grund klimatischer und baukultureller Unterschiede sowie variierenden Nutzerbedürfnissen innerhalb der EU ebenso wenig vorgegeben wie feste numerische Kennwerte für die Gesamtenergieeffizienz oder (Primär-)Bedarfswerte (wie bspw. aus dem Passivhausstandard bekannt<sup>17</sup>). Festlegungen und Konkretisierungen obliegen gemäß europäischer Handhabung und in Anbetracht nationaler oder lokaler Gegebenheiten den Mitgliedsstaaten. Hierzu sind neben der allgemeinen Definition

*„Niedrigstenergiegebäude“ [ist] ein Gebäude, das eine sehr hohe [...] Gesamtenergieeffizienz aufweist. Der fast bei Null liegende oder sehr geringe Energiebedarf sollte zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen - einschließlich Energie aus erneuerbaren Quellen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird - gedeckt werden [...].*  
[EU 2010a]

weitere Rahmenkriterien, die u.a. in Kapitel 7 betrachtet werden, zu beachten. Als erneuerbare Energie gelten Sonne, Wind, Wasserkraft mit Meeresenergie, Biomasse, aerothermische, geothermische und hydrothermische Energie sowie Deponie-, Klär- und Biogas. Als wichtigste Parameter und Systeme, die bei der Erstellung nationaler Berechnungs- und Bewertungsverfahren einfließen sollen, sind folgende genannt:

- Wärmebereitstellung durch Heizungsanlagen
- Warmwasserbereitstellung
- Kältebereitstellung durch Klimaanlage
- Raumluftqualität durch natürliche wie mechanisch Belüftung
- (natürliche) Beleuchtung

<sup>17</sup> Als Hauptbewertungskriterien für die Zertifizierung von Passivhäusern gilt ein Luftdichtheitswert von weniger als  $0,6 \text{ h}^{-1}$  bei einem Drucktestluftwechsel von  $n_{50}$ , ein maximaler Heizwärmebedarf von  $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  und/oder eine maximale Heizlast von weniger als  $10 \text{ W/m}^2$  sowie ein maximaler Primärenergiebedarf für Heizen, Kühlen, Trinkwarmwasser, Hilfsstrom, Haushalts- und Gemeinstrom von  $120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  [Feist 2013]

- Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen
- thermische Eigenschaften des Gebäudes (Wärmekapazität, Wärmedämmung, Sonnenschutz, interne Lasten und Gewinne, passive Heizung und Kühlung sowie Wärmebrücken)
- Nutzungsart, Gestaltung, Lage, Ausrichtung und Außenklima des Gebäudes

Neben der EPBD sind weitere EU-Direktiven maßgebend für die deutsche Normung bzw. deren Umsetzung. Die EN 15217 beinhaltet Verfahren zur Gebäudezertifizierung durch die Erstellung von Gebäudeenergieausweisen, während die DIN EN 15603 (Energieeffizienz von Gebäuden – Gesamtenergiebedarf und Festlegung der Energiekennwerte) als EU-Vorlage der Energieeinsparverordnung (EnEV) bzw. deren Bewertungsgrundlage DIN V 18599 (s. Abschnitt 3.1.2) gilt. Sie bildet den allgemeinen Rahmen für die Berechnung der Energieeffizienz und des daraus resultierenden Gesamtenergiebedarfs sowie deren Bewertung anhand von Kennwerten [DIN EN 15603 2008]. Dies beinhaltet auch den Bezug der Energiekennwerte auf Primärenergie, CO<sub>2</sub>-Emissionen oder andere national festzulegende Parameter, um Einflüsse der Umwandlungsketten von Energieträgern einzubeziehen. In die Berechnungen können zudem gebäudeeigene Energieerträge hinsichtlich der Eigenbedarfsdeckung und des Exports einfließen. Die DIN EN 15603 lässt die Berechnungsbedingungen ebenso offen, wie die Anwendung der Ergebnisse auf unterschiedliche Typologien und Bilanzgrenzen wie einen Gebäudeteil (z.B. eine Wohnung), ein gesamtes Gebäude oder ein Gebäudecluster. Im Mai 2013 ist auch zur DIN EN 15603 ein Neuentwurf erschienen. Dieser Entwurf greift einige der in der EPBD bisher nur vage formulierten Aspekte auf und enthält Beschreibungen für u.a. die Bilanzgrenze, den Anteil der erneuerbaren Energien als zusätzlichen Leistungsindikator sowie für die Erstellung einer (Primär-)Energiebilanz. Demnach soll sich eine jährliche Netto-End-Primärenergiebilanz durch die Differenz von gewichtetem Endenergieimport und -export aller Energieträger ergeben und ist durch einen numerischen Indikator auszuweisen [DIN prEN 15603 2013]. In der DIN EN 15603 variiert die primärenergetische Gewichtung von Strom hinsichtlich der Entfernung, aus der der Strom geliefert wird („näher“ oder „weiter vom Gebäude entfernt“), und der Verwendung des Exports (exportiert und überlassen, vorübergehend exportiert und zu einem späteren Zeitpunkt reimportiert bzw. für den sofortigen Gebrauch exportiert; s. Tabelle 7-2).

Durch die „Renewable Energy Directive“ (RED) werden EU-Mitgliedstaaten dazu aufgefordert, Maßnahmen in Bauvorschriften aufzunehmen, um den Anteil an Energie aus erneuerbaren Quellen im Gebäudebereich zu erhöhen. Dazu zählt auch die kompensatorische Steigerung der Energieeffizienz auf Passiv-, Niedrigenergie- oder Nullenergiehausniveau oder die Einbindung von Kraft-Wärme-Kopplung [RED 2009]. Die RED gilt als Vorlage für das Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG; s. Abschnitt 3.1.2.3).

Die angesprochenen vielen weiteren gebäudebezogenen EU-Normen werden anlässlich des Ziels einer europaweiten Harmonisierung der Berechnungsmethodik zur Gebäudeenergieeffizienz im sog. „Umbrella Document“ (CEN/TR 15615) gegenüber- bzw. in Beziehung zueinander gestellt.

### 3.1.2 Die Gesetzgebung zum energiesparenden Bauen in Deutschland

Die für den Energieverbrauch von Gebäuden maßgebliche Gesetzgebung in Deutschland basiert auf dem Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (EnEG), welches gemeinhin als Energieeinsparungsgesetz bezeichnet wird. Es wurde erstmals 1976 als Reaktion auf die weltweite Ölkrise sowie den steigenden Energiebedarf von nicht auf die klimatischen Bedingungen abgestimmten (Nachfolger-)Gebäude (des International Style, s. Randnotiz Seite 7) erlassen, und bildete damit die Basis für den Erlass der ersten Wärmeschutzverordnung (WSchV). Es ermächtigt seither die Bundesregierung Anforderungen u.a. an die Effizienz von Gebäuden samt deren technischen Anlagen zu stellen. Zudem beinhaltet es die grundsätzlichen Absichten zur Energieeffizienz von Gebäuden sowie der Nutzung erneuerbarer Energien. Die vierte Änderung des EnEG trat im Juni 2013 in Kraft und dient als gesetzlicher Rahmen für die ursprünglich für 2012 geplante Novellierung der nachgegliederten Energieeinsparverordnung (EnEV; s. Abschnitt 3.1.2.1) [EnEG 2013b]. Paragraph 2a Absatz 1 übernimmt dabei die Vorgabe der EPBD 2010 über zu errichtende Niedrigstenergiegebäude:

*Wer nach dem 31. Dezember 2020 ein Gebäude errichtet, das nach seiner Zweckbestimmung beheizt oder gekühlt werden muss, hat das Gebäude, um Energie zu sparen, als Niedrigstenergiegebäude [...] zu errichten. Für zu errichtende Nichtwohngebäude, die im Eigentum von Behörden stehen und von Behörden genutzt werden sollen, gilt die Pflicht [...] nach dem 31. Dezember 2018. Ein Niedrigstenergiegebäude ist ein Gebäude, das eine sehr gute Gesamtenergieeffizienz aufweist; der Energiebedarf des Gebäudes muss sehr gering sein und soll, soweit möglich, zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden [...].*  
[EnEG 2013b]

#### 3.1.2.1 EnEV - Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung)

Als wichtigstes Gesetz für den Gebäudesektor gilt die Energieeinsparverordnung (EnEV). Sie ersetzte und kombinierte 2002 erstmals die Heizungsanlagenverordnung (HeizAnV) und die Wärmeschutzverordnung (WSchV), wodurch bauliche und anlagenspezifische Parameter in einem Gesamtsystem zusammengefasst wurden.<sup>18</sup> Sie stellt bei Neubauten keine generellen Anforderungen an die Energieeffizienz von Bauteilen oder die Anlagentechnik, da beides gemeinsam bewertet wird und somit zwischen eigens gesetzten Prioritäten abgewogen werden kann.<sup>19</sup> Allerdings muss ein maximaler Jahresprimärenergiebedarf,<sup>20</sup> der anhand von vorgegebenen Wärmedurchgangskoeffizienten und einer Referenzausführung (Nutzungsrandbedingungen, Gebäudedichtheit, Gas-Brennwertkessel sowie zentrale Abluftanlage) für ein Referenzgebäude mit identischer Geometrie, Gebäudenutzfläche und Ausrichtung ermittelt wird, eingehalten werden. Bei den Bauteilqualitäten gilt es zusätzlich, den Grenzwert für den Transmissionswärmeverlust  $H'T$ , welcher wiederum von den Gebäudeeigenschaften (freistehend, angebaut, etc.) abhängig ist, einzuhalten. Die Berechnungen erfolgen gemäß DIN V 18599 (s. Abschnitt 3.1.2.2) oder bei Wohngebäuden bis zur Neufassung der EnEV 2014 alternativ durch die DIN 4108/DIN 4701. Für Sanierungen ab einem Sanierungsanteil von mehr als 10 %

<sup>18</sup> Die WSchV führte mit ihrem ersten Erlass 1977 erstmals die Quantifizierung des Energieverbrauchs von Gebäuden ein [WSchV 1977]

<sup>19</sup> So kann beispielweise eine verbesserte Wärmedämmung gegen einen schlechteren Wirkungsgrad einer Heizungsanlage verrechnet werden

<sup>20</sup> Durch die primärenergetische Betrachtung werden auch die Verluste durch Gewinnung, Umwandlung und Transport des jeweils eingesetzten Energieträgers einbezogen

der Außenhülle darf der Referenzwert nach Neubaustandard nicht um mehr als 40 % überschritten werden [EnEV 2009].

Das Referenzgebäudeverfahren der EnEV klammert formale Vorgaben bewusst aus. Durch die exakte Übernahme der geometrischen Parameter (wie bspw. der Kompaktheit) sowie der Anzahl oder Verteilung von Fensterflächen in das Referenzgebäude wird die Planung von bewusst und besonders effizient geplanten Gebäuden in einem typologischen Vergleich nicht extra honoriert. Andererseits wirken sich das Aufweiten von (bspw. solaraktivierbaren) Fassadenteilen und eine damit einhergehende Hüllflächenerweiterung ebenfalls nicht aus. Durch konzeptionelle Aspekte und formale Besonderheiten werden keine Nachteile generiert. Eine architektonische Vielfalt bleibt grundsätzlich gewahrt und Sanierungsgebäude bedürfen keinerlei Transformation, um einen bestimmten Standard einhalten zu können.

Ab 2012 erfolgte eine Überarbeitung der EnEV, die auch eine Einführung des von der EU geforderten Standards für Niedrigstenergiegebäude ab Ende 2018 bzw. 2020 beinhalten sollte. Seit Mai 2014 gilt die aktuelle Fassung der EnEV. Die für den Verzug verantwortlichen Diskussionen standen unter dem Einfluss der EPBD-Modifikation (s. Abschnitt 3.1.1) sowie dem Energiekonzept der Bundesregierung jeweils aus 2010 (s. Abschnitt 1.1.2). Auf Grund vieler Einwände sowie durch das EU-Gebot der Wirtschaftlichkeit wurde schließlich vereinbart, die Mindesteffizianzforderungen für Neubauten erst zum Anfang des Jahres 2016 einmalig zu verschärfen [EnEG 2013a]. Dann sollen die Referenzwerte für den Jahresprimärenergiebedarf um 25 % sowie der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient der Gebäudehülle um 20 % unter den heutigen Werten liegen. Die Höchstwerte der bauteilbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten werden entsprechend verringert. Verschärfungen oder ein Sanierungszwang für bestehende Gebäude gibt es nicht. Die Effizienzklassen für die Gebäudeenergieausweise wurden angepasst und deren Vorgaben zur Offenlegung verschärft. Ansonsten ist die EnEV 2014 geprägt von eher moderaten Anforderungsverschärfungen [EnEV 2014].<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Bspw. sind alte Heizkessel mit Einbaudatum vor 1985 auszutauschen, wobei selbstgenutzte Ein- und Zweifamilienhäuser hiervon ausgenommen werden. Die Pflicht zur Außerbetriebnahme von Nachtspeicherheizungen wurde gestrichen

### 3.1.2.2 DIN V 18599 - Energetische Bewertung von Gebäuden

Die Vornorm zur energetischen Bewertung von Gebäuden DIN V 18599 bildet das rechnerische Nachweisverfahren zur Feststellung der Gesamtenergieeffizienz [DIN 18599 2007] bzw. ab der neuen Version aus 2011 zur Durchführung der Gesamtenergiebilanz von Gebäuden [DIN 18599 2011]. Sie wurde im Jahr 2005 erstmals veröffentlicht und folgte damit den Forderungen der EPBD 2002 (s. Abschnitt 3.1.1). Die Fassung aus Dezember 2011 ist sowohl Bestandteil als auch Grundlage der eigentlich für 2012 geplanten Novellierung der EnEV und wurde mit deren Einführung wirksam.

Während die DIN V 18599 anfangs lediglich die aufzuwendenden Nutz-, End- und Primärenergiemengen für Nichtwohngebäude erfasste, beinhaltet sie nach der Neuerung der EnEV 2009 auch eine Berechnungsmethode für Wohngebäude. In beiden Fällen ist dies unabhängig von der Planung für Neu- oder Bestandsgebäude. Gemäß den Vorgaben aus EPBD und EnEV folgt die DIN V 18599 bei der Bestimmung der Energieeffizienz bzw. -bilanz dem integralen Ansatz der gemeinsamen Bewertung von Gebäudecharakteristika und Anlagentechnik und berücksichtigt hierdurch die jeweiligen gegenseitigen Wechselwirkungen. Um diese einfließen lassen zu können, ist die Berechnungsgrenze weiter gefasst als die der EnEV. Neben dem Energiebedarf für

Heizung und Trinkwarmwasser werden auch die (Hilfsenergien für) Klimatisierung sowie der elektrische Energiebedarf von raumluftechnischen Anlagen und der künstlichen Beleuchtung berücksichtigt und in Energieteilkennwerten ausgegeben. Somit sind alle gebäuderelevanten Wärmequellen und -senken abgebildet und gehen in einem iterativen Verfahren in die Bestimmung von Heiz-, Kühl- und Gesamtenergiebedarf ein. Zentrale Dienste wie Aufzüge oder Sicherheitstechnik und sog. nutzungsspezifische Verbraucher wie EDV, Entertainmentssysteme oder Haushaltsgeräte werden nicht im Gesamtenergiebedarf abgebildet bzw. fließen nur indirekt in die Bestimmung von Heiz- bzw. Kühlenergiebedarf ein. Im Wohngebäudebereich ist zudem sämtliche Beleuchtung ausgeklammert. Hierzu gilt, dass einerseits für eine Einbeziehung dieser Bedarfsbereiche meist keine typologiespezifischen Planungsgrundlagen vorhanden sind, sie aber andererseits im Gebäudebetrieb über die übliche Zählerausstattung mit erfasst werden und sich hierdurch berechnete und gemessene Ergebnisse stark unterscheiden.<sup>22</sup> Die Berechnungen erfolgen auf Basis monatlicher Werte, deren Ergebnisse zu Jahressummen addiert werden. Die Bilanzierung eines Gebäudes basiert auf der Basis eines Mehrzonenmodells. Dabei folgt die Aufstellung von Zonen der Zusammenfassung gleicher bzw. Aufteilung unterschiedlicher Nutzungsarten sowie deren Charakteristika und Konditionierungsansprüche. Nach der Bilanzierung der Nutzenergie folgt die Bestimmung der Endenergieaufwendungen unter Einbeziehung sämtlicher Hilfsenergien sowie eine anschließende Primärenergiebewertung nach Anlagen und Energieträgern [dena 2011]. Die Berücksichtigung erneuerbarer Energien ist in Abschnitt 3.1.2.4 beschrieben.

<sup>22</sup> Als besondere Unwägbarkeit gilt - neben sich ändernden klimatischen Bedingungen - der Nutzer, der kaum hinreichend genau abgebildet werden kann

### 3.1.2.3 EEWärmeG - Gesetz zur Förderung erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz)

Seit Anfang 2009 weist das Gesetz zur Förderung erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG) in Deutschland die Pflicht zur Nutzung erneuerbarer Energie zur Deckung des Wärmeenergiebedarfs (Heizen, Warmwasserbereitung und Kältebedarf) aus. Dabei ist auch der thermische Energieaufwand für die Übergabe, Verteilung und Speicherung zu berücksichtigen, wobei die Hilfsenergie der Erzeugung ausgeklammert bleibt. Das EEWärmeG gilt zusätzlich zur EnEV für Neubauten und für zu sanierende öffentliche Gebäude und folgt den Zielvorgaben zu einem vergrößerten Anteil an erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte sowie der europäischen RED (s. Abschnitte 1.1.2 und 3.1.1). Die Koexistenz von EnEV und EEG erschwert bislang eine einheitliche und zusammenfassende Planung.

Im EEWärmeG definiert §2 erzeugte Wärme aus Geothermie, technisch nutzbar gemachter Globalstrahlung, fester, flüssiger oder gasförmiger Biomasse sowie Umweltwärme als erneuerbare Energie für den Wärmebereich [EEWärmeG 2010]. Um der Nutzungspflicht nachzukommen, können verschiedene Maßnahmen getroffen, kombiniert oder ersetzt werden. Dabei gilt das EEWärmeG zu 100 % erfüllt, wenn der Wärmeenergiebedarf

- zu mindestens 15 % durch Solarwärme gedeckt oder bei Wohngebäuden ein vorgegebener Mindestprozentsatz an Kollektor- bzw. Aperturfläche im Verhältnis zur beheizten Nutzfläche installiert wird (bei Ein- und Zweifamilienhäusern 4, bei Mehrfamilienhäusern 3 %),
- zu 30 % durch die Verwendung von Biogas durch eine KWK-Anlage erfolgt,

- zu 50 % durch flüssige oder feste Biomasse gedeckt wird (unter Verwendung von Kesseln mit Mindestanforderungen oder KWK-Anlagen),
- oder 50 % Deckungsanteil durch die Nutzung von Geothermie oder Umweltwärme durch Wärmepumpen erreicht werden.

Alternativ oder zusätzlich können Ersatzmaßnahmen ergriffen werden. Hierbei gilt die Nutzungspflicht als erfüllt, wenn

- der Wärme- und Kälteenergiebedarf zu 50 % durch Abwärme oder KWK-Anlagen gedeckt werden,
- die Anforderungen an den zulässigen Jahresprimärenergiebedarf und die Wärmedämmung der EnEV um wenigstens 15 % unterschritten werden,
- oder Wärme bzw. Kälte über eine Netzverbindung mit wesentlichen Anteilen an erneuerbaren Energien oder mindestens 50 % Abwärme oder KWK bereitgestellt werden.

Kombinationen mehrerer verschiedener Maßnahmen sind ebenfalls denkbar. Zur Nachweisführung müssen dann allerdings die prozentualen Anteile der tatsächlichen Nutzung einer jeden Maßnahme im Verhältnis zu der vorgesehenen Nutzung aufsummiert mindestens 100 % ergeben. Bei der Sanierung öffentlicher Gebäude weichen die Anforderungen ab. Generell kann der Nachweis auch gebäudeübergreifend erfolgen, wenn Gebäude in einem räumlichen Zusammenhang stehen und die aufsummierten Deckungsanteile den Pflichten entsprechen [EEWärmeG 2010; EEWärmeG 2012].

<sup>23</sup> Hierzu bieten Herstellerkonsortien bereits Komplettsysteme an. Die sog. „PV-Wärme“-Kombianlagen, beinhalten eine Kopplung von Solarstromanlage, Batteriespeicher und Wärmepumpe und etablieren sich vor dem Hintergrund sinkender Einspeisevergütung und Modulpreisen

An den bisweilen geringen Anteilen erneuerbarer Energien lässt sich ablesen, dass durch das EEWärmeG weder eine 100 %ige Deckung durch erneuerbare Energie noch ein bilanzieller Ausgleich von (End-)Energiebezügen sondern lediglich eine Anteilssteigerung bei der Deckung von Wärmelasten angestrebt werden. Ein zu 100 % erfüllter Nachweis ist nicht mit dem Standard eines Nullenergiegebäudes gleichzusetzen (vgl. Abschnitt 7.8.6). Vielmehr bleibt der erneuerbare Anteil des eingesetzten Stroms für Wärmepumpen oder Lüftungsanlagen (elektrische Hilfsenergie) ebenso unberücksichtigt wie eine eventuelle eigene Erzeugung und direkte Nutzung von Solarstrom.<sup>23</sup>

#### 3.1.2.4 Klimaneutrale Gebäude nach nationaler Normung

Die aktuellen Normen und Gesetze für den deutschen Bausektor adressieren die Energieeinsparung bzw. einen Gebäudebetrieb mit einem geringen Einsatz an (fossiler) Energie. Eine Gegenrechnung mit Energieerträgen aus gebäudegekoppelten Systemen zur Nutzung erneuerbarer Energien erfolgte bisher sehr unterschiedlich, wobei eine vollständige energetische Bilanzierung nicht vorgesehen ist.

Solarthermische Erträge gelten der Bedarfsminderung (verringertes Endenergiebedarf bei Wärme- bzw. Warmwassererzeugung; Erzeuger-Aufwandszahl  $eg_{sol} = 0$ ) bzw. zur Erfüllung des erneuerbaren Anteils an der Wärmebereitstellung nach dem EEWärmeG. Ein Einspeisen in lokale Netze oder eine Gegenüberstellung mit anderen Energiebezügen wird nicht thematisiert. Materielle erneuerbare Endenergieträger (bspw. Biomasse oder -gas) werden durch die Anteile nicht erneuerbarer Bereitstellungsenergie innerhalb der Primärenergiefaktoren einbezogen. Die über Wärmepumpen genutzte Umweltenergie (Um-

gebungsluft, oberflächennahe Geothermie) geht durch eine verbesserte Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe in die Erzeuger-Aufwandszahl ein und verringert den Endenergiebedarf. Es wird nur der nicht erneuerbare Anteil des Energiebedarfs angerechnet.

Die Anrechnung von Solarstrom bzw. eine Reduzierung des Energiebedarfs durch Stromerträge ist seit der Novelle der EnEV in 2009 möglich. Laut § 5 der EnEV 2009 darf Strom aus erneuerbaren Energien vom normativen Strombedarf abgezogen werden, sofern ein unmittelbarer räumlicher Zusammenhang zwischen Erzeugersystem und dem Gebäude besteht und der erzeugte Strom vorrangig selbst genutzt wird (s. § 5 [EnEV 2009]).<sup>24</sup> Laut dem Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) liegt ein unmittelbarer räumlicher Zusammenhang dann vor, wenn keine öffentlichen Verteilungsleitungen zwischen Stromerzeuger und Verbraucher genutzt werden [DIBt 2010]. Somit ist auch die Verteilung innerhalb eines Quartiers denkbar (s. DE\_5 - Seite 141). Die eigene Nutzung des Solarstroms soll durch den Einbau entsprechender Zähler nachgewiesen werden, wobei eine Anrechnung des selbst erzeugten Stroms zur Reduzierung des berechneten Strombedarfs in Übereinstimmung zur Energieeinsparverordnung auf Monatsebene erfolgt. Stromerträge aus erneuerbaren Energiequellen, die den monatlichen Strombedarf des Gebäudes übersteigen, verfallen.

<sup>24</sup> Hier sind auch in der Novelle der EnEV 2014 kaum Änderungen vorgesehen. Es gilt lediglich der Zusatz dass auch vorübergehend gespeicherter Strom vom monatlichen Strombedarf abgezogen werden darf [EnEV 2014]

Seit der im Dezember 2011 formulierten Fassung der DIN V 18599 (s. Abschnitt 3.1.2.2) können alle Stromerträge, die in einem räumlichen Zusammenhang mit dem Gebäude aus Windkraft-, Wasserkraft-, Photovoltaik- oder Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen erzielt werden, den berechneten Energiebedarfen gegenübergestellt werden. Zusätzlich kann auch die Übergabe der KWK-Netto-Stromerzeugung parallel zum Endenergiebedarf (und ggf. eines Spitzenlast-Wärmeerzeugers) zur Verrechnung an Teil 1 der DIN V 18599 auf Basis der End- bzw. Primärenergie erfolgen. Die Übergabe erfolgt auf Monatsebene und weiterhin getrennt nach Energieträgern [DIN 18599 2011].

Der Versuch einer vollständigen energetischen Bilanzierung innerhalb der durch die EnEV bzw. DIN V 18599 formulierten Bilanzgrenze mit den Verbrauchsbereichen Heizung, Trinkwassererwärmung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung scheitert auf Grund des heizwärmedominierten Gebäudebetriebs bzw. -energiebedarfs dennoch. Für Gebäude, die für die Raumwärme- oder Warmwasserbereitstellung neben Strom weitere Energieträger nutzen, ergibt sich keine Möglichkeit der primärenergetischen Gegenüberstellung zwischen den Brennstoffen wie Erdgas oder Pellets bzw. eines Fernwärmebezugs und Stromerträgen aus Solarstrom- oder Windkraftanlagen. Hier kann lediglich der verbleibende Hilfsstrombedarf für Pumpen oder Ventilatoren durch monatliche Stromerträge ausgeglichen werden zu einem verringerten Gesamt-Primärenergiebedarf führen. Die mögliche Anrechnung von KWK-Strom in einer energieträgerübergreifenden Bilanzierung scheitert am üblichen Verhältnis von Strom- und Wärmebedarf von Gebäuden bzw. an den Bereitstellungsverhältnissen gängiger KWK-Anlagen. Bei kleineren, gebäudegekoppelten Anlagen werden etwa 60 % des eingesetzten Brennstoffes in Wärme und 30 % in Strom umgewandelt. 10 % sind Verluste [Voss 2011d; Voss 2011c].

Selbst beim Kindergarten „Die Sprösslinge“, bei dem allein der über eigene Stromerträge normativ ausgleichenden Energieträger Strom eingesetzt wird, ist der Standard des Nullenergiegebäudes nach aktueller Normung nicht erreichbar. Da selbst erzeugte Stromerträge aus erneuerbaren Energiequellen nur monatsweise von Strombedarfen abgezogen werden können, also sommerliche Stromüberschüsse am Monatsende gekappt und nicht zum Ausgleich

<sup>25</sup> u.a. Außenwand 0,28 W/m<sup>2</sup>K, Bodenplatte 0,35 W/m<sup>2</sup>K, Dach 0,20 W/m<sup>2</sup>K, Fenster 1,30 W/m<sup>2</sup>K



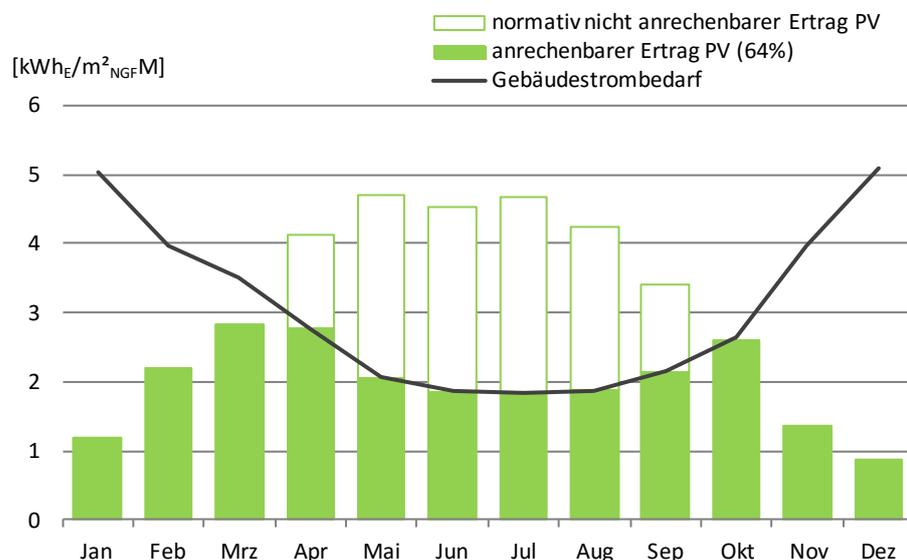
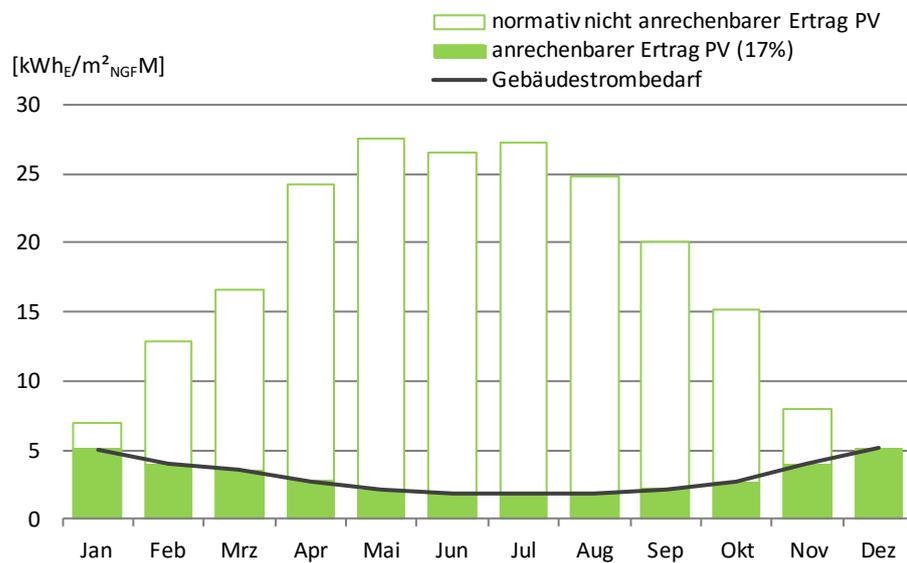
Abbildung 3-1: Eigenbedarfsdeckung zur Erreichung einer ausgeglichenen Strom- bzw. Jahresprimärenergiebilanz nach EnEV bzw. DIN V 18599 für den Kindergarten „Die Sprösslinge“. Einem Strombedarf von 36,8 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub> (ohne nutzungsspezifischer Strombedarf) steht auf Grund der monatlichen Kappungsgrenzen eine Gesamterzeugung von 215 kWh/m<sup>2</sup>a gegenüber. Nur 17 % der Erträge können fiktiv zur Deckung des Strombedarfs genutzt werden.

Auslegung PV 330 kW<sub>p</sub>

Abbildung 3-2: Eigenbedarfsdeckung einer ausgeglichenen Strombilanz ohne monatliche Kappung aber mit saisonalem Übertrag von sommerlichen Solarstromüberschüssen zum Ausgleich winterlicher Strombezüge. Es wird lediglich der Strombedarf von 36,8 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub> (ohne nutzungsspezifischen Strombedarf) ausgeglichen. Somit können 64 % der Erträge fiktiv zur Deckung des Strombedarfs genutzt werden.

Auslegung PV 56,4 kW<sub>p</sub>

von winterlichen Defiziten in der Jahresenergiebilanz herangezogen werden, ist der Standard des Nullenergiegebäudes nach EnEV nur mit einer extremen Auslegung der Erzeugungskapazitäten denkbar. So müssten die Stromerzeugungsanlagen in der Größe ausgelegt werden, dass sie auch im kältesten bzw. verbrauchsstärksten Monat sämtlichen Strombedarf der Wärmepumpe und übrigen gebäudetechnischen Anlagen, zu denen im Nichtwohnungsbau auch die Beleuchtung zählt, ausgleichen könnten (s. Abbildung 3-1). Im Falle einer PV-Anlage würde dies auch bei dem gegenüber der Normung realisierten verbesserten Gebäudeeffizienzstandard eine Anlagenfläche von ca. 2.130 m<sup>2</sup> bedeuten (s. Abbildung 3-1, vgl. [Musall 2013d]). Werden für die Bauteile lediglich die Mindest-Effizienzstandards nach EnEV 2014 eingehalten<sup>25</sup>, sind dies sogar 3.550 m<sup>2</sup>. Wird der Strombedarf des Kindergartens durch den Übertrag von Überschüssen über den Zeitraum eines Jahres ausgeglichen (s. Abbildung 3-2), sind beim realisierten Effizienzstandard lediglich rund 360 m<sup>2</sup> PV nötig (ohne Strombedarf der Geräte).



Der geforderte Anteil erneuerbarer Energien an der Wärmebereitstellung nach dem EEWärmeG wird um ein Mehrfaches übererfüllt. Die Deckung des Wärme- und Warmwasserbedarfs aus Solarthermie und Erdreichwärmepumpe erreichen einen Erfüllungsgrad von fast 500 %, da der notwendige Pflichtanteil von 15 % durch die Solarthermie bzw. 50 % durch die Wärmepumpe deutlich überschritten werden (erreichte Deckung 49 bzw. 81 %). Zusätzlich werden auch die Anforderungen der EnEV als Ersatzmaßnahmen übererfüllt. Der Primärenergiebedarf des Kindergartens liegt knapp 50 % unter dem des EnEV-Referenzwertes (Anforderung EEWärmeG 15 %, Erfüllungsgrad 340 %). Die U-Werte sind mit bspw. 0,09 im Dach und 0,81 W/m<sup>2</sup>K bei den Fenstern ebenfalls besser als gefordert (Erfüllungsgrad 250 %). Da die jeweils kleinsten Werte summiert werden, ergibt sich eine Übererfüllung der Anforderungen nach EEWärmeG von knapp 750 %.

### 3.1.2.5 Weitere Gesetze in Deutschland

Außer der genannten EnEV und dem EEWärmeG sind für den Gebäudebereich vor allem das Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG) und das Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz, KWKG) bedeutend. Beide Gesetze waren wegbereitend für die Umsetzung von Null- und Plusenergiegebäuden, da sie u.a. die ökonomischen Grundlagen für den Betrieb von Photovoltaik- und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen im Gebäudebereich gelegt und verbessert haben (vgl. Kapitel 5.1.3).<sup>26</sup> Das Prinzip der Technologieförderung durch eine festgesetzte und ab Inbetriebnahme über 20 Jahre garantierte Einspeisevergütung verhalf vor allem der installierten Photovoltaik-Gesamtleistung zu enormen Zuwächsen (s. auch Abschnitt 3.2), so dass der durch PV-Anlagen erzeugte Anteil an der erneuerbaren Strombereitstellung 2012 mehr als 20 % ausmachte und damit knapp 5 % des gesamten Stromverbrauchs decken konnte [BMU 2013]. Allerdings stiegen die Belastungen der Stromkunden durch erhöhte EEG-Umlagen<sup>27</sup> und entstand ein Akzeptanz- und Finanzierungsproblem. Die mögliche Gesamtvergütung wird daher seit 2009 stärker als zuvor und parallel zum Anstieg der installierten PV-Leistung gesenkt. Die EEG-Novelle von August 2014 brachte zahlreiche Änderungen für den Betrieb von PV-Anlagen in puncto Einspeisevergütung, Eigenverbrauch, EEG-Umlage und gesamter Förderhöhe. Für klassische Anlagengrößen von kleinen Wohnhäusern bis 10 kW bestehen viele Ausnahmen [EEG 2014].

Der Betrieb von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen ist im 2012 novellierten KWKG geregelt. Laut Paragraph eins des Gesetzes sollen die vereinbarten Ziele zu Energieeinsparung, Klima- und Umweltschutz sowie der hierzu anvisierte Beitrag der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung von 25 % bis zum Jahr 2020 durch die Förderung von KWK-Anlagen und deren Einbindung in Wärme- bzw. Kältenetze erreicht werden [KWKG 2012]. Ähnlich der EEG-Vergütung sollen dazu die Anlagenbetreiber durch ein Umlagesystem finanzierte Vergütungen für KWK-Strom erhalten. Zudem soll diesem Strom ebenfalls ein Einspeisevorrang in das öffentliche Stromnetz gewährt werden. Erläuterungen zur Anrechenbarkeit von KWK-Strom in der Bestimmung von Energieteilkennwerten sind nicht formuliert.

<sup>26</sup> Im Fall der KWK diene hierzu auch ein Marktanzreizprogramm des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, das nach einer knapp zweijährigen Pause zum 1.4.2012 wieder in Kraft trat

<sup>27</sup> Die EEG-Umlage entspricht der Differenz zwischen aufgewendeten Fördersummen die hauptsächlich durch die Vergütungszahlungen bestimmt werden und den Einnahmen aus der Vermarktung des erneuerbar erzeugten Stroms. Die EEG-Umlage wird als Stromkostenaufschlag an die Endverbraucher weitergegeben

### 3.2 Die Veränderung der Energieversorgung

Durch die eingangs beschriebenen Ziele zur Dekarbonisierung der Energieversorgung mittels einer Umstellung von fossilen auf erneuerbare Energiequellen sowie den parallelen Ausstieg aus der Atomenergie ergeben sich in Deutschland große Veränderungen bei der Energieversorgung und nachgeordnet auch bei der Energienachfrage. Die elektrische Kraftwerksleistung auf Basis von fossilen und atomaren Energieträgern betrug in Deutschland nach Abschaltung von acht Atomkraftwerken Ende 2011 knapp 100 GW. Hinzu kamen etwa 77 GW erneuerbare Kapazität [BMW 2012; BMU 2013]. Der jährliche Leistungszubau an PV-Anlagen betrug in den Folgejahren jeweils mehr als 7 GW<sub>p</sub> und soll laut nationalen Aktionsplänen bis 2020 weiter wachsen. On- und offshore-Windkraftanlagen sollen konventionelle (Kohle-)Kraftwerke verdrängen, die lediglich noch während der Übergangsphase die Grundversorgung im Stromnetz übernehmen und stellenweise (neue) Wärmenetze speisen, um ihren Gesamtwirkungsgrad zu erhöhen. Kurzzeitig zuschaltbare Gaskraftwerke decken Spitzenlasten ab. Generell spielen konventionelle Großkraftwerke in zukünftigen Szenarien eine untergeordnete Rolle. Vereinzelt wird Biogas eingespeist und als variabler und verlustarmer Speicher genutzt. Effizientere Verbraucher erzeugen einen geringeren Gesamtenergiebedarf. Neubaugebiete mit sparsamen Gebäuden werden auf Grund geringerer Abnahmemengen seltener an Gas- oder Fernwärmenetze angeschlossen. Der ohnehin gestiegene Einsatz von Wärmepumpen zur Heizwärmebereitstellung im Gebäudebereich wird weiter forciert werden. Hinzu kommen die angestrebte Umstellung auf die Elektromobilität sowie erhöhte Kühllasten und Energieaufwendungen für die Gebäudeklimatisierung (s. Abschnitt 3.3). Somit wird eine zunehmende Dominanz des Energieträgers Strom und gleichzeitig eine Steigerung der Anteile erneuerbarer Energiequellen sowie der dezentralen Erzeugung ersichtlich, auch wenn beschriebene Szenarien und mögliche Umsetzungsstrategien zur zukünftigen Energieversorgungsstruktur und in Bezug auf die Energieerzeugung, -verteilung und -speicherung im Einzelnen unterschiedlich ausfallen [Nitsch 2012; VDE 2013; BEE 2009; Greenpeace 2007; Künast 2007].

Die direkte Nutzung der erneuerbaren Energiequellen Wind und Wasserkraft führt ausschließlich zu Stromerträgen. Sonne sowie sämtliche Formen biogener Energieträger oder Umweltenergie bieten zwar Potenziale für die Umwandlung in Wärme, doch hapert es an der Möglichkeit der einfachen Umverteilung durch Einspeisung in nicht lokal begrenzte Netze sowie einem schlechten flächenspezifischen Nutzungsgrad. Eine zentrale Versorgung von Wärme- und ggf. Kältenetzen aus Heizkraftwerken, die allein mit Biomasse gefeuert werden, eignet sich angesichts hoher Netzkosten nur auf Quartiers- oder Stadtebene. Eine vollständige (Wärme-)Versorgung auf Basis von Holz und Biomasse ist in Deutschland nicht nachhaltig möglich (s. Kapitel 4 und [Lücking 2009]). Die indirekte Nutzung erneuerbarer Energiequellen zur Speisung von Gasnetzen mit Biogas oder Wasserstoff über „Power to Gas“<sup>28</sup> ist zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit in der Anfangsphase [Voss 2011b].

<sup>28</sup> Hier wird Strom aus erneuerbaren Quellen (zumeist aus Windturbinen) über die Wasserelektrolyse dazu genutzt, Wasserstoff zu erzeugen. Dieser kann unter der Zugabe von Kohlenstoffdioxid in Methan umgewandelt und in das Erdgasnetz eingespeist werden

<sup>29</sup> 2012 existierten bspw. insgesamt 1,3 Millionen PV-Anlagen, wovon nur 3 % zentral durch Energiekonzerne betrieben wurden. Auf etwa 7 % der Wohngebäude in Deutschland waren PV-Anlagen installiert [BSW 2012a]

Die dezentrale Erzeugerstruktur<sup>29</sup> sowie lokale Ungleichheiten durch vermehrte Windstromerzeugung im Norden Deutschlands bzw. großen Solarstromanlagen aufkommen im Süden stehen den bisherigen Strukturen und Kapazitäten zur Energieverteilung entgegen. Bisher war das Stromnetz sowie der darin verlaufende Stromfluss auf zentrales Erzeugen und Einspeisen auf Höchstspannungsebene durch meist unflexibel steuerbare Großkraftwerke sowie dezentrale Lasten und Verbraucher in der Niederspannungsebene (230 V) ausgelegt

[Fisch 2012]. Die Umkehr zu dezentralen Erzeugern erfordert nun auch eine Verteilung durch Mittel- oder Hochspannungsnetze. Hier bedrohen Netzengpässe und Spannungsunterschiede die Netzstabilität [VDE 2013]. Neben den qualitativen und räumlichen Diskrepanzen bereiten temporäre Schwankungen bei der Stromerzeugung aus regenerativen Energiequellen sowie die Fluktuation des Stromverbrauchs Probleme. Während die Stromerträge aus BHKWs annäherungsweise vorhersehbar, zumindest theoretisch steuer- und mitunter modulierbar sind [Musall 2009b; WestLB 2012], trifft dies auf die ebenfalls gesetzlich als vorrangig eingestuft Einträge aus Windkraft- und PV-Anlagen nicht zu. Sie sind durch lokale und regional unterschiedliche wetterbedingte Effekte wie plötzliche Verschattung oder Windböen schwer absehbar (s. Abbildung 3-3 und Abbildung 3-4).

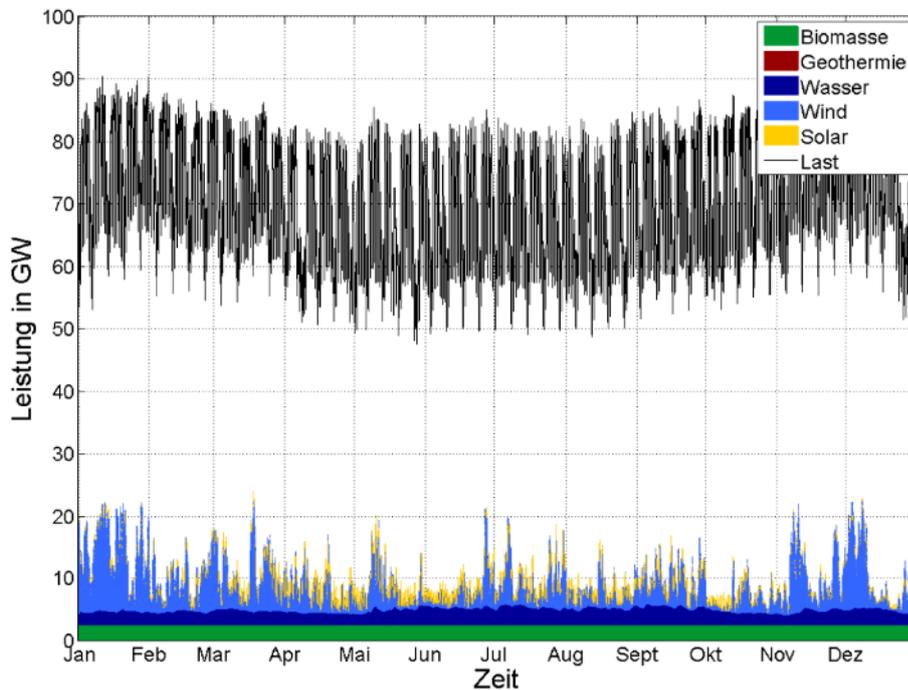


Abbildung 3-3 Zeitreihe der Stromlast und der kumulierten Einspeisung erneuerbarer Energien für das Jahr 2007 in stündlicher Auflösung. Die schwarze Kurve zeigt den Stromverbrauch (Wochenend- und Feiertage als Senke) und wird den verschiedenen erneuerbaren Erträgen gegenübergestellt. Die Unterdeckung ergibt die Lastabdeckung durch konventionelle Kohle-, Erdgas- und Atomkraftwerke. Hieraus lassen sich die starken Schwankungen von Verbräuchen und Erträgen sowie das geringe Anpassungspotenzial von Strom aus Windkraft- und Solarstromanlagen ausmachen. Quelle [Sternier 2010]

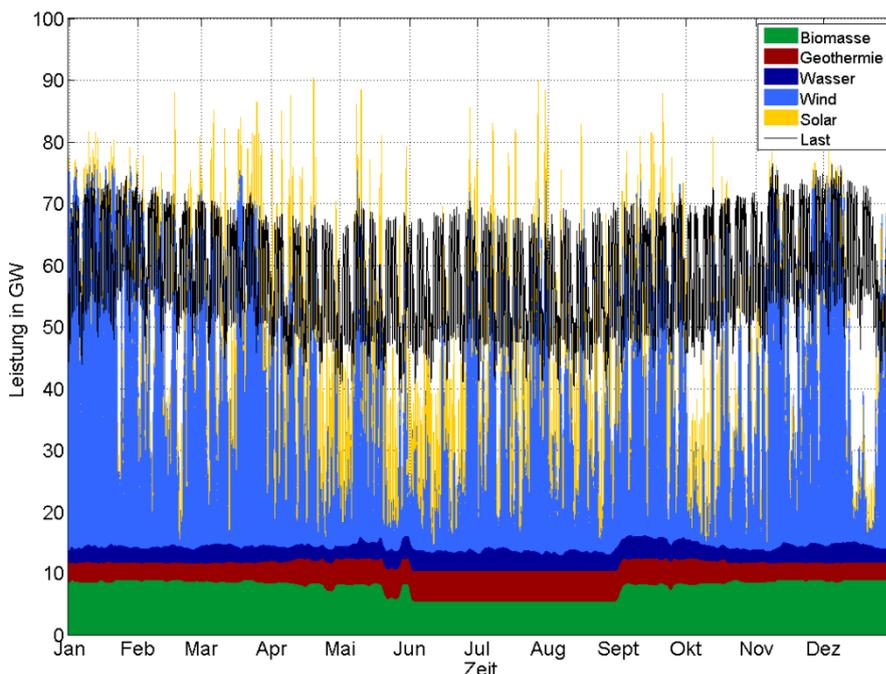


Abbildung 3-4 zeigt die prognostizierte Zeitreihe der Stromlast und der kumulierten Einspeisung durch erneuerbare Energien zur Lastdeckung für das Jahr 2050 in stündlicher Auflösung. Die installierte Leistung folgt dem Ausbauszenario der „Leitstudie 2009“ nach [BMU 2010]. Die Gesamtlast ist deutlich geringer und etwas gleichmäßiger als in Abbildung 3-3. Es wird aber ersichtlich, dass Biomasse, Geothermie und Wasserkraft nur die Grundlastversorgung übernehmen und die stark fluktuierenden Erträge aus PV und Windkraft nur selten Überschüsse erzielen. Vor allem zu windschwachen Zeit ist keine Gleichmäßigkeit zwischen Einspeisung und Verbrauch auszumachen. Quelle [Sternier 2010]

Für eine Angleichung der Last-Diskrepanzen bedarf es einer Harmonisierung von Stromangebot und -nachfrage und/oder umfänglichen Speicherkapazitäten. Deutschland bietet wenig Potenzial zur Speicherung von Stromüberschüssen in Pumpspeicherkraftwerken. Die alternative Speicherung als Methan im Erdgasnetz<sup>30</sup> sollte langfristig eher anderen (nicht stromnetzbasierten) Sektoren vorbehalten werden [Stern 2010]. Daher gilt es, den Energieverbrauch überwiegend auf die tatsächlich mögliche, wenig steuerbare Versorgung abzustimmen. Hierzu bedarf es eines intelligenten Lastmanagements zur Flexibilisierung von (Klein-)Verbrauchern.

(Nullenergie-)Gebäude tragen durch ihre Stromerträge und -exporte zum Ausbau des „grünen“ Stromnetzes sowie durch verringerte Verbräuche langfristig zu einer erhöhten Quote an erneuerbar erzeugter Energie bei. Auf Grund ihrer Dezentralität, ihres Einspeisens in Niederspannungsnetze sowie bisher saisonal wie auch im Tagesverlauf stark schwankenden, unkontrollierten und nicht aufeinander abgestimmten Profilen zum Strombezug und -einspeisen sind sie Mitverursacher der oben genannten Diskrepanzen. Wird dem Gebäudesektor - wie eingangs beschrieben - die Möglichkeit zugesprochen, durch verringerte Energieverbräuche und ebenso große eigene Energieerträge einen elementaren Beitrag zur Energiewende beizutragen (s. Kapitel 1.1.2.1 und 7.8) und damit bilanziell aus der Gesamtenergieverbrauchsaufstellung zu entrücken, können Gebäude dem Stromnetz kompensatorisch, das heißt als Speichermöglichkeit, zur Seite zu stehen. Sie bieten einerseits Potenziale zur (zeitlichen) Harmonisierung von Stromertrag und -verbrauch (Eigenbedarfsdeckung und Eigenenergienutzung) sowie andererseits die Möglichkeit auf „Bedürfnisse“ des Stromnetzes einzugehen (Lastverschiebung). Welche gebäudebezogenen Möglichkeiten sich hierzu bieten, wie diese quantifiziert werden, und welche Auswirkungen sich für die Architektur ergeben, ist in Kapitel 7.8 ausgeführt.

### 3.2.1 Die Entwicklung von Umrechnungsfaktoren für die Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzierung

Die Umgestaltung der Energieversorgung erwirkt (bei Gebäuden mit dem Ziel einer ausgeglichenen Energiebilanz) direkte Konsequenzen für die energetische Bilanzierung (s. Kapitel 4.5 und 7.3). Je nach Anteil der erneuerbaren Energiequellen verändern sich die in den Bilanzierungsverfahren üblicherweise genutzten Umrechnungsfaktoren für bezogene und eingespeiste Energieträger. Sie bilden als jährlicher Mittelwert die kumulierten Energieverluste oder äquivalenten Klimagasemissionen vergleichend ab, die bei Förderung, Transport, Umwandlung, Verteilung und Speicherung der einzelnen Energieträger auftreten. Während diese Aufwendungen bei den Energieträgern Öl, Gas und den verschiedenen Arten von Biomasse nicht oder nur kaum beeinflusst werden können, nimmt der Umbau der Stromerzeugung mit steigenden Anteilen aus Wind- und Wasserkraft sowie Solarstrahlung bzw. sinkender Bereitstellung aus fossilen und nuklearen Quellen, großen Einfluss (s. Abbildung 3-5). Sowohl der Primärenergiefaktor als auch der CO<sub>2</sub>-Faktor nahmen in den letzten Jahren stark ab (s. Abbildung 3-5). Bei Beibehaltung der formulierten Ziele wird sich dies in den folgenden Dekaden verstärken.

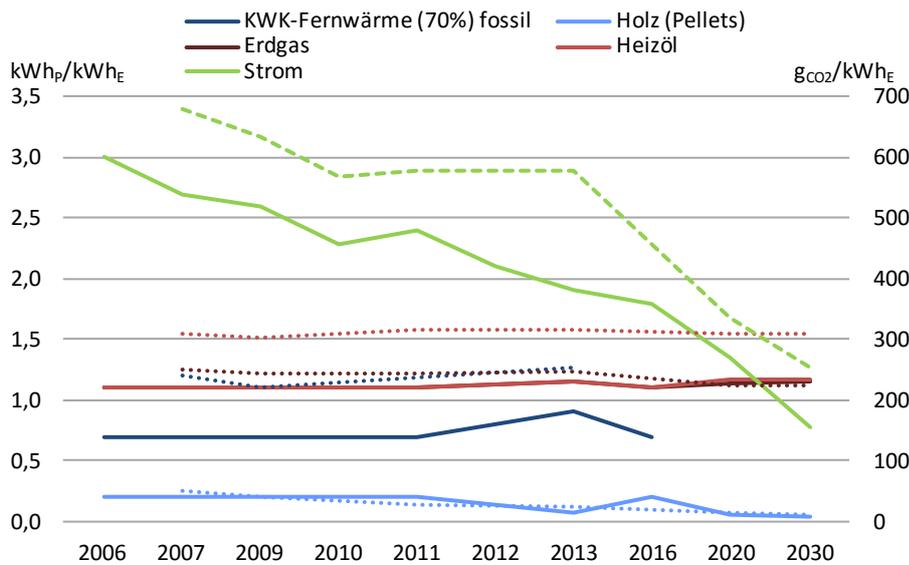


Abbildung 3-5: Entwicklung und Ausblick des spezifischen Primärenergiebedarfs (nicht erneuerbarer Anteil, durchgezogene Linie) und der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen (gestrichelte Linie) der fünf Hauptenergieträger im Gebäudebereich zwischen 2006 und 2030 (Holzpellets stellvertretend für übrige biogene Energieträger). In 2011 ist das Abschalten der AKW bzw. der Ersatz durch Kohlekraftwerke bei den Stromfaktoren erkennbar. Die Faktoren entstammen unten stehenden Quellen (s.u.), daher sind leichte Schwankungen auszumachen (KWK-Fernwärme und Holz 2013)

2006: DIN 4701-10:2003-08; 2007: DIN V 18599:2007/GEMIS 4.14 (IWU); 2009: DIN V 18599:2009/GEMIS 4.5 (IWU); 2010: Öko-Institut 2010 [Fritsche 2011]; 2011: DIN V 18599:2011/GEMIS 4.8 (KEABW); 2012: GEMIS 4.8 (IINAS) [Fritsche 2012]; 2013: GEMIS 4.8 (IINAS) [GEMIS 2013]; 2016: EnEV2014; 2020: Szenarioberechnung auf Basis der BMU-Leitstudie 2011 [Nitsch 2012], Szenario 2011 A [Heilek 2013]; 2030: Szenarioberechnung auf Basis der BMU-Leitstudie 2011 [Nitsch 2012], Szenario 2011 A [Heilek 2013]

Vor allem bei Gebäude mit einem Energieträgermix (sog. „fuel-switching“) wirken sich verringerte Umrechnungsfaktoren für Strom stark aus. Während sich der Primärenergie- oder CO<sub>2</sub>-Aufwand für die Strombezüge bei der Umrechnung verringert, stehen gleichbleibenden Primärenergie- oder CO<sub>2</sub>-Bezügen für bspw. eine Wärmebereitstellung über Holzpellets geringere Gutschriften aus dem Stromexport gegenüber. Es bedarf größerer Erzeugungsbzw. Ausgleichskapazitäten am Gebäude. Auf Basis heutiger Faktoren geplante und bilanzierte Nullenergiegebäude werden ihren energetischen Standard in naher Zukunft nicht halten können.<sup>31</sup> Fakt ist jedoch auch, dass die bezogenen und eingespeisten Endenergiemengen bei unverändertem Nutzerverhalten nicht steigen bzw. der Effizienzstandard des Gebäudes hierdurch nicht verändert wird.

Die Bedeutung sich ändernder Umrechnungsfaktoren sowie deren zeitliche Auflösung wird in Kapitel 7.3 und 7.8 hinsichtlich der Bedeutung für Gebäude(-konzepte) analysiert.

### 3.3 Die Klimaveränderung als bauliche Herausforderung

In der Folge des vermehrten anthropogenen Ausstoßes klimawirksamer Treibhausgase steigt die globale Lufttemperatur an. Für die vergangenen 100 Jahre hat der IPCC eine mittlere globale Temperaturzunahme von 0,7 K ermittelt [IPCC 2007]. Die letzten Jahre waren global die wärmsten seit Beginn der Temperaturaufzeichnung. In Deutschland wurde der Klimawandel und die globale Erwärmung bspw. durch Extremwetterereignisse wie die Hitze- und Trockenperioden in den Jahren 2003 und 2006 oder langanhaltende Regenzeiten samt Hochwasserkatastrophen im Frühsommer 2013 aufgezeigt [Neu 2005; DWD 2007]. Auch wenn der neueste IPCC-Klimareport von Ende 2013 eine Pause bei der mittleren globalen Temperaturerwärmung beschreibt [IPCC 2013], bleibt der Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur als wesentliches Ergebnis von Klimamodellrechnungen bestehen.<sup>32</sup> Da insbesondere Temperaturveränderungen eng mit dem Nutzerkomfort von Gebäuden verknüpft sind und damit

<sup>31</sup> Die auf Seite 106 vorgestellte Definition zum „EffizienzhausPlus“ fordert u.a. vor diesem Hintergrund neben einer ausgeglichenen Primärenergiebilanz auch eine ausgeglichene Endenergiebilanz

<sup>32</sup> Seitens des IPCC werden sechs Szenarien berechnet, die sich hinsichtlich ökonomischer, ökologischer, sozialer und technischer Entwicklungen unterscheiden. Für Mitteleuropa wird eine Erhöhung der Mitteltemperatur vorhergesagt, womit Extremwetterereignisse und Hitzeperioden zunehmen werden. Gebäude müssen demnach auf veränderte Temperaturen und erhöhte Regenwassermengen und Windlasten reagieren

Einfluss auf deren (Kühl-)Energiebedarf haben können, kommt diesem Aspekt vor allem bei einem Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz eine große Bedeutung zu. Dem Bausektor wird also nicht nur die Verantwortung übertragen, gegen den Klimawandel anzusteuern (s. Kapitel 1), sondern auf Grund der Langlebigkeit von Gebäuden auch die Aufgabe, bereits heute baulich robust auf die Veränderungen zu reagieren.

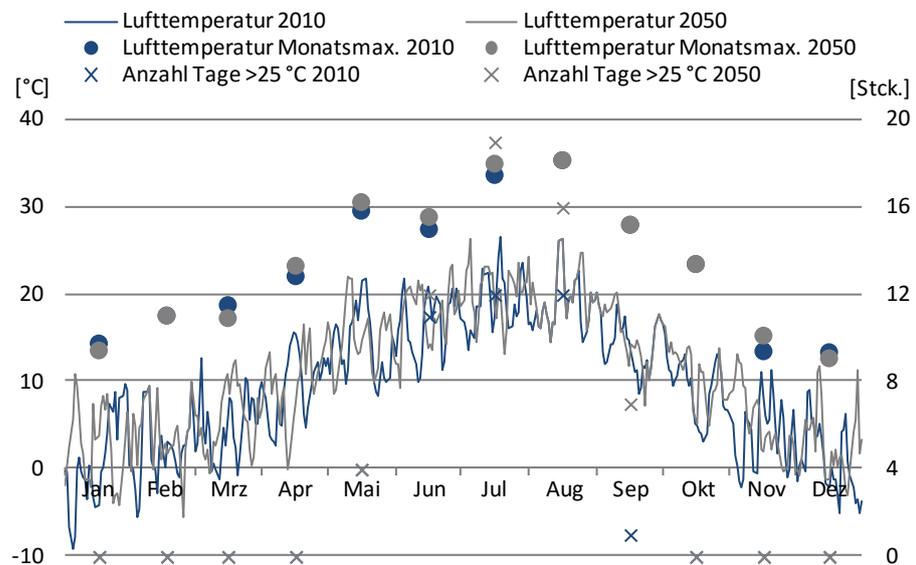
Die Studie [Voss 2012] wertet anhand von Klimadatenätzen gebäuderelevante Klimacharakteristika für drei unterschiedliche Standorte in Deutschland (sommerkühler, -gemäßiger sowie -heißer Standort) und den Referenzstandort nach EnEV Potsdam (Winter kühl/Sommer warm) aus. Gegenüber gemessenen Klimadaten bis 2009 werden Veränderungen für drei IPCC-Zukunftsszenarien mit einem Zeithorizont bis 2050 sowie folgende Trends aufgezeigt:

<sup>33</sup> Die Daten der Testreferenzjahre (TRY) stellt der Deutsche Wetterdienst (DWD) über das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) zur Verfügung. Die Messdaten für das Jahr 2010 basieren auf realen Witterungsabschnitten aus dem Bezugszeitraum 1988 - 2007 und beinhalten daher bereits die beobachtete Temperaturzunahme. Die Werte der Zukunftsszenarien basieren auf Mess- und Beobachtungsdaten von 1988 - 2007 sowie regionalen Simulationen für den Zeitraum 2021 bis 2050 auf Basis des IPCC-Emissionsszenarios A1B (u.a. starkes Wirtschaftswachstum, maximale Bevölkerungsentwicklung, Balance zwischen fossilen und regenerativen Brennstoffen)

Abbildung 3-6: Tagesmittel Lufttemperatur für TRY 2010 und 2050, die entsprechenden monatlichen Maximalwerte der Lufttemperatur sowie die monatliche Anzahl von Tagen mit einem Temperaturmaximum über 25 °C jeweils für den deutschen Referenzstandort Potsdam, Klimaregion vier „Nordostdeutsches Tiefland“

- Genereller Anstieg der Außentemperatur um bis zu 2 K
- Standortübergreifende Zunahme bei Anzahl und Dauer von Sommer- und Hitzetagen bzw. -perioden sowie warmer Nächte. Dadurch bedingte Steigerung an Kühltagen bzw. -perioden
- Deutschlandweite Abnahme von Heiz- und Frosttagen bzw. -perioden
- Zunahme strahlungsarmer Tage mit weniger als 70 W/m<sup>2</sup> Einstrahlung im Winter (vor allem an wärmeren Standorten)
- Abbildung der meisten Effekte in der Messperiode bis 2009 (Hinweis auf bereits begonnenen Klimawandel in Deutschland)

Diese Ergebnisse werden durch [Remund 2011] für den Standort München sowie vergleichende eigene Analysen anhand von Wetterdaten der Testreferenzjahre (TRY) 2010 und 2021-2050 für die deutsche Klimaregion vier „Nordostdeutsches Tiefland“ bestätigt (s. Abbildung 3-6, Abbildung 3-13 und Abbildung 3-9).<sup>33</sup>



Ebenfalls in [Voss 2012] werden auf der Basis der oben genannten Klimadatenätze dynamische und statische Simulationen hinsichtlich sich verändernder Raumtemperaturen bzw. Komfortansprüchen und damit verknüpften Nutzenergiebedarfen erstellt. Als Referenz dienen drei Modellgebäude unterschiedlicher Typologien (Bürogebäude, Schule und Hotel), deren Nutzerprofile und Effizienzstandards der aktuell gültigen Normung (EnEV 2014, bzw. Wärmeschutz DIN 4108-2, 2003-07) entsprechen. Die Betrachtung des thermischen

Raumkomforts erfolgt unter Bezugnahme auf das adaptive Komfortmodell gemäß DIN EN 15251, 2012-04 für die Nutzungszeit je einer gebäudetypischen Nutzungszone sowie hinsichtlich der Überschreitungshäufigkeit des oberen Temperaturgrenzwertes von 26 °C gemäß DIN EN ISO 7730, 2006-05. Zusammenfassend und unter Ausschluss typologiebedingter Spezifika ergeben sich folgende, zu den oben aufgezeigten Klimaeffekten passende Ergebnisse:

- Gesunkener Heizenergiebedarf um bis zu 20 %
- Häufiges Überschreiten der Mindestanforderungen des sommerlichen Wärmeschutzes bzw. der oberen Innenraum-Temperaturgrenzen (26 °C werden überschritten)<sup>34</sup>
- (Leichte) Zunahme des Temperaturniveaus in allen Gebäudetypen
- Gestiegener Kühlbedarf (ca. 20 %) vor allem im Verwaltungsbau
- Angleich von Kühl- und Heizleistung
- Abbildung dieser Effekte bereits in der Messperiode bis 2009 und damit Hinweis auf begonnenen Klimawandel (in Deutschland)

<sup>34</sup> Bei den Typologien Schule und Hotel fallen die Überschreitungen auf Grund der Nutzungszeiten (Schule: bis 15:00 Uhr und außerhalb der Sommermonate; Hotel: zwischen 21:00 und 8:00 Uhr) moderat aus

Der erste und letzte Punkt wird durch verschiedene Erhebungen und Studien belegt (s. bspw. [DESTATIS 2012] oder [Michelsen 2010]). Zudem können die Trends bezüglich einem sich verringernden Nutzenergiebedarf für das Heizen bzw. erhöhte zukünftige Bedarfe für das Kühlen in eigenen Studien mit den Beispielgebäuden „Kleehäuser“ und Kindergarten „Die Sprösslinge“ aufgezeigt werden (s. Abbildung 3-7, Abbildung 3-8, Abbildung 3-11 und Abbildung 3-12), wenn auch mit etwas geringeren Ausschlägen: Statische Vergleichsrechnungen unter Verwendung der Klimadaten der Testreferenzjahre 2010 und 2021 - 2050 im Werkzeug EnerCalc weisen um ca. 15 % verringerte zukünftige Nutzenergiebedarfe für das Heizen aus. Wird aktiv gekühlt, steigt der Nutzenergiebedarf für das Kühlen um mehr als 12 %. Allerdings wird in beiden Beispielgebäuden bisher nicht aktiv gekühlt, weshalb ein reines Begegnen der erhöhten Kühllasten durch eine aktive Kühlung ohne weitere passive Kühlmaßnahmen weitaus größere Anstiege verursacht.

Die Annahme, die steigenden Nutzenergieaufwendungen für aktive Kühlmaßnahmen würden durch die ähnlich großen Einsparungen beim Wärmebedarf ausgeglichen werden, bestätigt sich nicht. Beim Kindergarten in Monheim ergeben Modellrechnungen mit Wärmepumpe und Addition strombasierter Kälteerzeuger einen Anstieg des zukünftigen jährlichen Gesamtstrom- bzw. Primärenergiebedarfs um über 18 % (vgl. Abbildung 3-7 und Abbildung 3-11). Der gestiegene Strombedarf bestätigt sich beim Mehrfamilienhausprojekt „Kleehäuser“ (s. Abbildung 3-12). Allerdings steigt hier der Gesamt-Primärenergiebedarf auf Grund der Dominanz des (nun verringerten) Wärme- und Warmwasserbereichs nur moderat (s. Abbildung 3-8). Wird das Ziel einer ausgeglichenen Primärenergiebilanz als Grundlage der Dimensionierung einer PV-Anlage gesetzt<sup>35</sup>, spiegelt sich die hinzugekommene Kühllast durch einen Anstieg der PV-Fläche um bis zu 10 % (Nur-Strom-Gebäude Kindergarten) wider (ebenfalls Abbildung 3-7 und Abbildung 3-8). Grund hierfür ist auch der primärenergetisch schlecht bewertete Energieträger Strom der Kältemaschinen.

<sup>35</sup> Es erfolgt keine Anpassung an zukünftige Primärenergie-Umrechnungsfaktoren



Abbildung 3-7: Aufstellung der jährlichen Primärenergiebedarfe und -erträge des Kindergartens „Die Sprösslinge“ bei unterschiedlichen Wetter-Technologie-Szenarien (Einsatz einer wassergekühlten Kompressionskältemaschine als Kälteerzeuger und Kälteübergabe über Bauteiltemperierung) sowie entsprechend der jeweils erreichten Nullenergiebilanz dimensionierten PV-Fläche

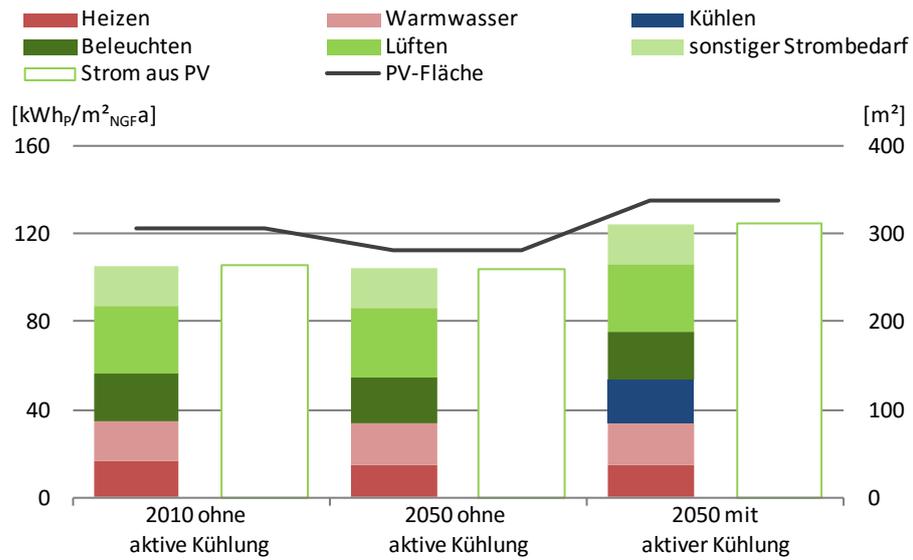
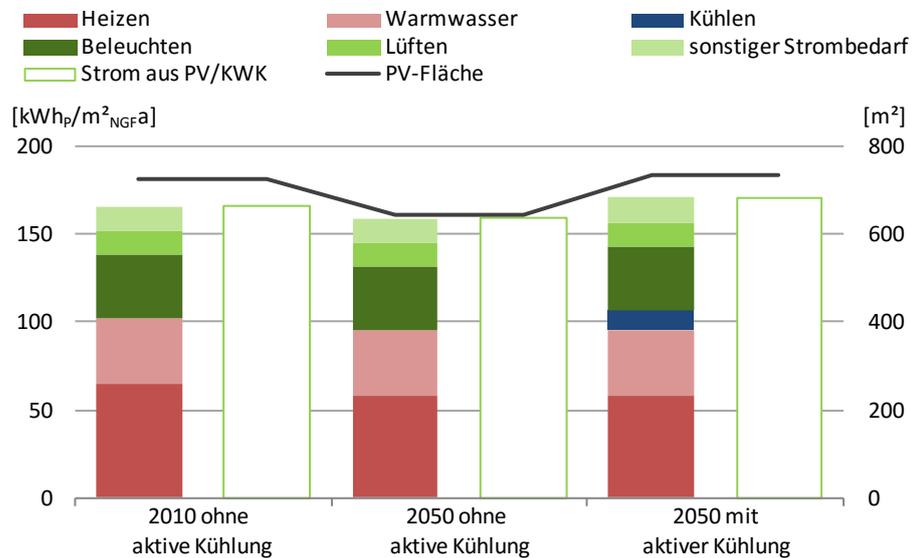


Abbildung 3-8: Aufstellung der jährlichen Primärenergiebedarfe und -erträge der „Klee Häuser“ bei unterschiedlichen Wetter-Technologie-Szenarien (wassergekühlte Kompressionskältemaschine und Bauteiltemperierung). Die PV-Flächen sind entsprechend der jeweils erreichten Nullenergiebilanz dimensioniert



<sup>36</sup> Während die mittlere Diffusstrahlung kaum ansteigt, nimmt die Direktstrahlung um ca. 6 % zu. Dies wird auf geringe Wolkenbildung in zukünftigen Klimaszenarien zurückgeführt, da sich die klimatischen Grundvoraussetzungen (Sonnenstand, Globalstrahlung) nicht ändern werden

Auch leicht steigende Potenziale bei der Solarstromgewinnung reichen nicht aus, um die anwachsenden Gesamtenergiebedarfe zu kompensieren. Im Vergleich der Testreferenzjahre 2010 und 2021 - 2050 verbessert sich die solare Ausbeute durch eine erhöhte Solarstrahlung<sup>36</sup> je nach Zelltyp um maximal 4 % bei Dach- bzw. bis zu 5 % bei Fassadenanlagen (s. Abbildung 3-9 und Abbildung 3-10). Die ansteigende mittlere Temperatur vergrößert die Ertragsverluste durch einen Temperaturanstieg der PV-Module kaum (von ca. 3 auf 4 %). Immerhin verringert dies vor allem bei Nur-Strom-Gebäuden die Erweiterung der PV-Fläche. Im Falle des Kindergartens würde sich sonst der in Abbildung 3-7 gezeigte PV-Flächenzuwachs noch einmal fast verdoppeln.

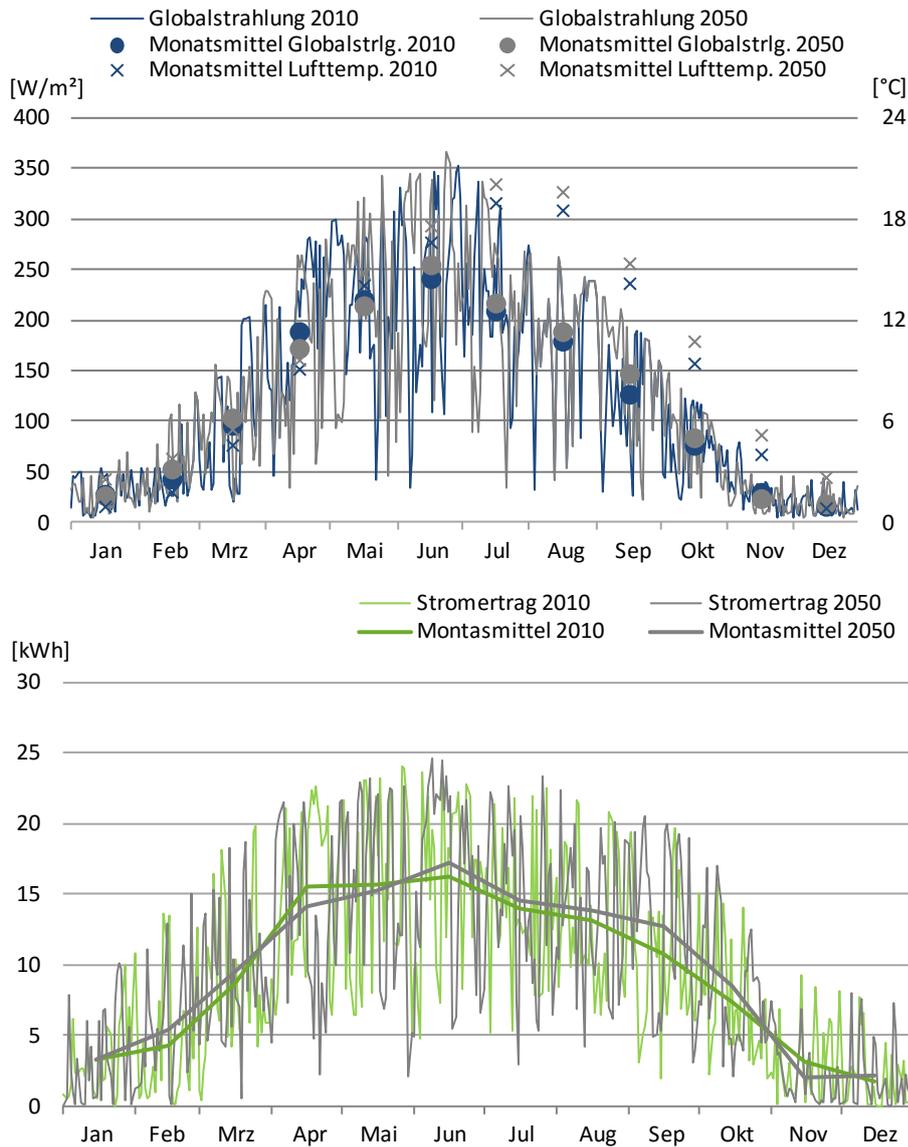


Abbildung 3-9: Verlauf der jährlichen Globalstrahlung sowie Monatsmittel der Globalstrahlung und monatliche Durchschnittstemperatur der Testreferenzjahre 2010 und 2050 (Daten entsprechend Abbildung 3-6)

Abbildung 3-10: Tägliche sowie monatlich mittlere Stromerträge zweier identisch dimensionierter (3,6 kW<sub>p</sub>) und orientierter (Azimut 0°, Neigung 30°) PV-Anlagen bei Verwendung von Klimadaten der Testreferenzjahre 2010 und 2050 für den Standort Potsdam. Der Stromertrag vergrößert sich von 3.465 auf 3.608 kWh/a (Daten entsprechend Abbildung 3-6, genutzte Software [PVSOL 2012])

Erst bei einem Verzicht auf den Einsatz von Kältemaschinen durch passive Kühlmaßnahmen „zahlt sich die Klimaveränderung aus“ und ermöglicht bei geringeren Heiz- und Primärenergiebedarfen bzw. den erhöhten Solarpotenzialen verringerte Flächen für Solartromanlagen (s. Abbildung 3-7 und Abbildung 3-8). Bei Modellrechnungen für die „Kleehäuser“ überwiegt die Dominanz des Wärmeenergiesektors und führt trotz des Gaseinsatzes im BHKW sowie einem nahezu unveränderten Strombedarf zu verringerten Primärenergieaufwendungen. Die für eine ausgeglichene Primärenergiebilanz notwendige Photovoltaikfläche könnte zukünftig um über 10 % abnehmen. Beim Kindergarten in Monheim zeigt der gegenüber dem stark gesunkenen Heizwärmebedarf nur moderat verringerte Gesamtstrom- und Primärenergiebedarf die Relevanz bereits verringerter Wärmeverluste (Gebäudeeffizienz) sowie die Dominanz der übrigen, vom Klimawandel nicht beeinflussten, Verbrauchsbereiche auf. Die PV-Fläche kann (wegen der größeren Globalstrahlung bzw. Solarerträge) um 8 % zurückgehen (s. Abbildung 3-7).<sup>37</sup>

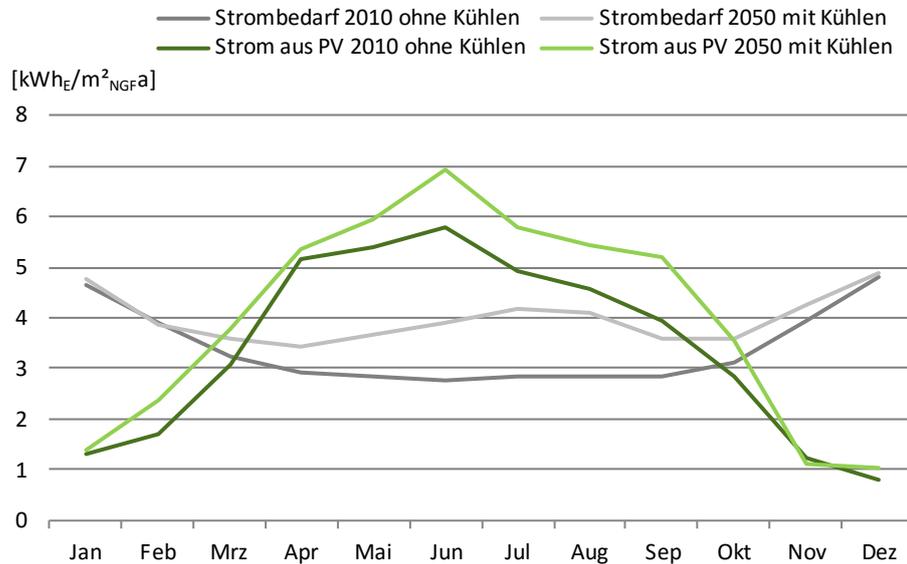
Bedingt durch eine zukünftig höhere Ausnutzung der Globalstrahlung und deren vorwiegendem Anstieg während der Übergangsmomente (s. Abbildung 3-9) ergibt sich bei den Analysen der Testgebäude mit aktiver Kühlung eine leichte Angleichung von monatlichen Strombedarfen und -erträgen (s. Abbildung 3-11). Die bisherigen saisonalen Deckungsunterschiede bleiben jedoch beste-

<sup>37</sup> In den Berechnungen sind eventuelle Mehraufwendungen für eine zusätzliche (Nacht-)Lüftung zur passiven Kühlung nicht einbezogen

hen. Beim allein auf Strom basierenden Versorgungskonzept des Kindergartens steigt der theoretisch genutzte Anteil des eigens erzeugten Stroms (Eigenertragsnutzung nach Kapitel 7.8.2) von 79 auf 83 %. Die Eigenbedarfsdeckung auf Monatebene entwickelt sich ähnlich. Anstelle von sechs können nun acht monatliche Strombedarfe vollständig gedeckt werden. Der gestiegene sommerliche Gesamtstrombedarf hat hierauf kaum Einfluss. Auch ohne die Hinzunahme der Kältemaschine steigen die monatlichen Deckungswerte leicht an.



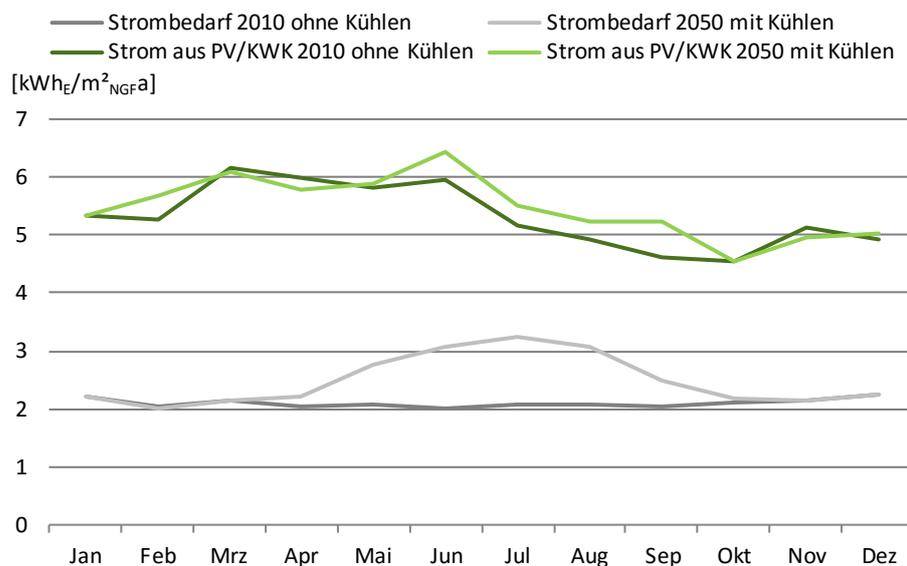
Abbildung 3-11: Verlauf der Stromlast und -erträge des Kindergartens „Die Sprösslinge“ bei den Szenarien Klima 2010/keine aktive Kühlung und Klima 2050/aktive Kühlung. Die Wärmebereitstellung erfolgt über eine Wärmepumpe. Es werden keine weiteren Energieträger eingesetzt



Bei der Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung ergeben sich durch die Verbindung mit einer Solarstromanlage ganzjährig hohe und annähernd gleichbleibende Stromerträge und damit in allen Szenarien eine vollständige monatliche Deckung des Strombedarfs (s. Abbildung 3-12). Hinzukommende sommerliche Stromanteile aktiver Kühlung heben den Nutzungsanteil des eigens erzeugten Stroms leicht an.



Abbildung 3-12: Verlauf der Stromlast und -erträge der „Kleehäuser“ bei den Szenarien Klima 2010/keine aktive Kühlung und Klima 2050/aktive Kühlung. Die Wärmebereitstellung erfolgt über ein gasbetriebenes BHKW, weshalb die Stromerträge durchgängig oberhalb der Stromlast liegen. Überschüsse werden zum primärenergetischen Ausgleich des Gasbezugs genutzt



Der Einfluss aktiver Kühlmaßnahmen auf die Gebäudegestaltung wird deutlich. Ein Verzicht der mitunter hohen zusätzlichen Energiebedarfe bzw. hierauf basierender verringerter Anforderungen an die (Solar-)Stromerzeugung erhält vor dem Hintergrund sich verändernden Primärenergiefaktoren zusätzlich Relevanz (s. Abschnitt 3.2). Um Gebäude bzw. deren Nutzer zukünftig auch ohne

Anstieg des Gesamtenergiebedarfs vor überhöhten Innenraumtemperaturen bewahren zu können, muss den gestiegenen Kühllasten durch passive Maßnahmen begegnet werden. Neben der Reduktion solarer Wärmeeinträge durch sorgfältig abgestimmte Fensterflächenanteile (vgl. Kapitel 8.1.1.5 f.), außen liegenden Sonnenschutz und/oder Sonnenschutzverglasungen, können innere Wärmequellen herabgesetzt und passive Kühlkonzepte wie eine natürliche (Nacht-) Lüftung genutzt werden (s. bspw. [ACMS 2007; EnOB 2010b]). Passive Kühlkonzepte bieten sich zukünftig an, da sich das Tagesmittel der relativen Luftfeuchte zukünftig minimal verringert und auch im Monatsmittel zumeist sinkt (s. Abbildung 3-13). Zusätzliche Aufwendungen zur Entfeuchtung werden trotz steigender Temperaturen nicht nötig.

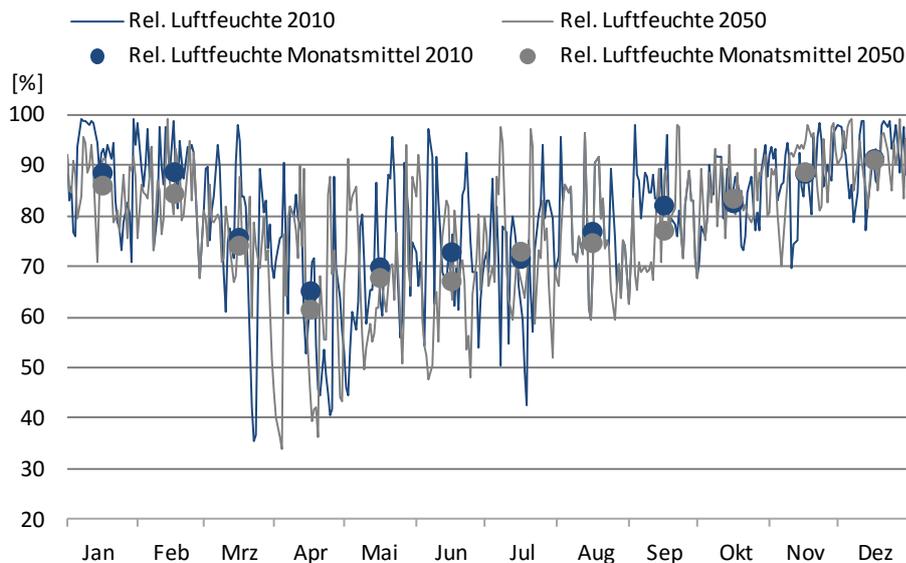


Abbildung 3-13: Verlauf der relativen Luftfeuchte und deren Monatsmittelwerte für die Testreferenzjahresdaten 2010 und 2050 (Daten entsprechend Abbildung 3-6)

Trotz zukünftig verringerter Heizwärmebedarfe kann die Fassaden- und Dachdämmung nicht vorausschauend reduziert werden. Sie dient auch dem sommerlichen Wärmeschutz und muss heutigen Effizienzansprüchen genügen. Gleiches gilt für Heizungsanlagen. Hier bietet sich je nach Gebäudegröße jedoch ggf. ein Splitting in mehrere Anlagen und Spitzenlastgeräte an, um diese später abschalten zu können.

Die genannten Maßnahmen zur passiven Kühlung sind im Bereich neuer Nullenergiegebäude etabliert (s. Kapitel 8), werden jedoch zukünftig als Einzelmaßnahmen vor allem im Verwaltungsbau nicht ausreichen und müssen ggf. ergänzt werden. Während bei Neubauten eine Bauteilkühlung oder Kühldecken in Kombination mit Erdsonden Alternativen bilden, stehen Sanierungsprojekte beim Verzicht auf Kühlmaschinen vor großen Herausforderungen [Hoffmann 2007]. Immerhin können Energiebedarfe der aktiven Kühlung durch sommerliche Tageserträge aus Solarstromanlagen direkt gedeckt werden (vgl. Abbildung 3-4, Abbildung 3-11 und Abbildung 3-12).

Das Hochschulgebäude „Enerpos“ in St. Pierre (s. FR\_4 - Seite 36) zeigt beispielhaft Maßnahmen auf, wie auch in für europäische Verhältnisse extremen und nicht zu erwartenden Klimaten auf aktive Kühlmaßnahmen verzichtet und das Ziel einer ausgeglichenen Energiebilanz deutlich überschritten werden kann.

# Universitätsgebäude „Enerpos“, Saint-Pierre (La Réunion)

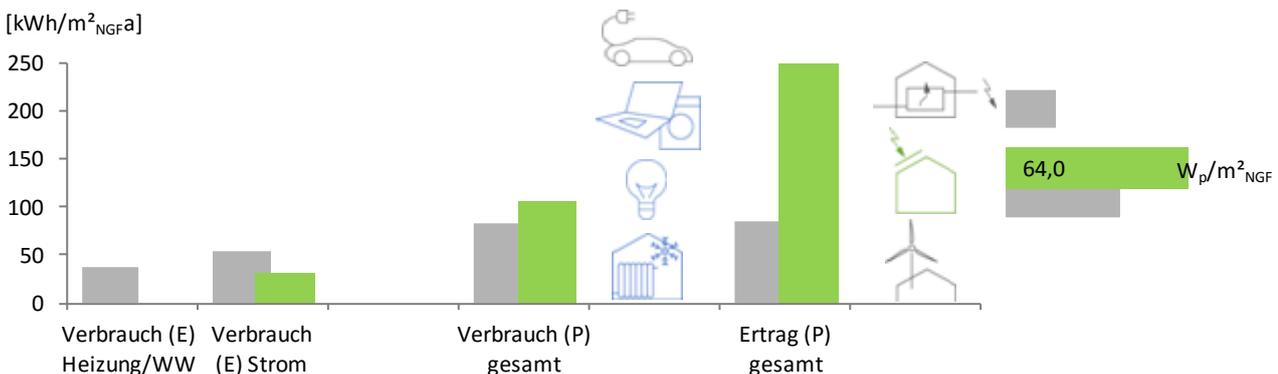
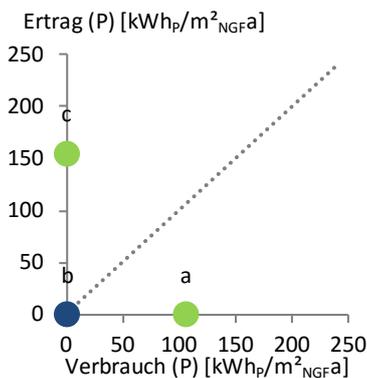
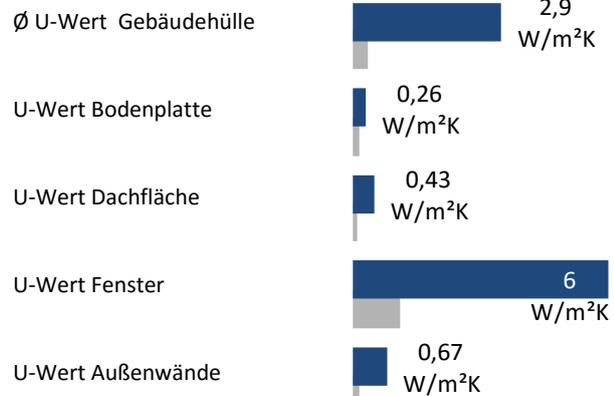
FR\_4



Fotos: Jerome Balleydier

Architekt	Thierry Faessel-Bohe, Saint-Pierre (Réunion)	Nettogrundfläche	681 m <sup>2</sup>
Baujahr	2009	Hauptakteur / Motiv	Bauherr / Energieversorgung
Typologie	Bildungsgebäude	Städtebauliches Umfeld	urban

Beim Hochschulprojekt Enerpos in Saint-Pierre (La Réunion) ermöglicht das subtropische Klima einen nahezu vollständigen Verzicht auf Außendämmung (siehe rechts die Vergleiche zu Mitteleuropa). Auch ein Heizsystem ist nicht installiert. Das Hauptaugenmerk liegt auf dem Verzicht der aktiven Kühlung, was durch die externe Verschattung der Wand- und vor allem Fensterflächen, eine natürliche Querlüftung durch öffentbare Außen- und Innenfenster und variabel steuerbare Ventilatoren erreicht wird. Das Durchströmen des Gebäudes mit frischer Außenluft wird durch die aufgesetzte Dachkonstruktion unterstützt. Die sehr effiziente Beleuchtung zieht geringe thermische Lasten und Stromverbräuche nach sich, so dass die Solarstromanlage ein sehr großes Energieplus erwirtschaftet.

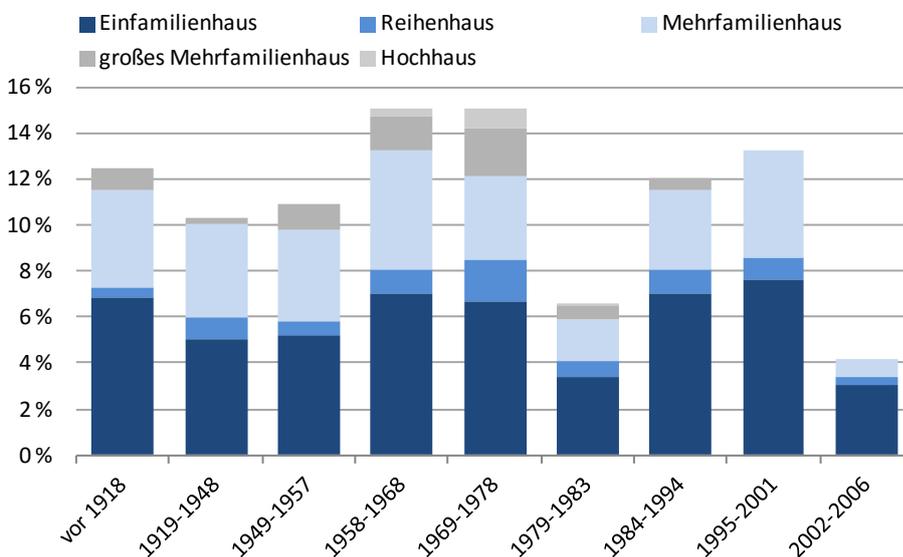


### 3.4 Der Gebäudebestand in Deutschland

#### 3.4.1 Baubestand

Basierend auf der Forderung des Klimaneutralen Gebäudebestands in Deutschland durch die Bundesregierung (s. Kapitel 1.1.2.1) kommt der energetischen Sanierung des Gebäudebestands eine tragende Rolle zu. Dieser ist mehrheitlich geprägt von Altbauten und Wohngebäuden. Neben ca. 1,8 Mio. Nichtwohngebäuden, von denen die meisten Verwaltungsgebäude sind, existieren mehr als 18 Mio. Wohngebäude [DESTATIS 2010].<sup>38</sup> Kleine und freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser machen hierbei den Großteil aus (s. Abbildung 3-14). Allerdings nehmen sie nicht einmal die Hälfte der Wohneinheiten bzw. nur knapp 60 % der Gesamtwohnfläche auf. Ihre große Anzahl und die Tatsache, dass kleine Wohngebäude überwiegend große Wohneinheiten bzw. große pro-Kopf-Wohnflächen haben,<sup>39</sup> macht sie für den überwiegenden Anteil des Energieaufwands für Raumwärme verantwortlich (ca. 60 %). Zudem steigt der flächenspezifische Wärmebedarf infolge der geringeren Kompaktheit gegenüber Mehrfamilienhäusern deutlich an.<sup>40</sup>

Laut einer Auswertung der dena-Energieausweisdatenbank in [Bigalke 2012] bzw. der ista-Energieausweis-Datenbank in [Michelsen 2010] weisen sanierte Einfamilienhäuser mit einem Baujahr vor 1979 einen durchschnittlichen Endenergieverbrauch von 210 kWh/m<sup>2</sup><sub>WFla</sub> für die Wärme- und Warmwasserbereitstellung auf. Entsprechende Mehrfamilienhäuser liegen bei 170 kWh/m<sup>2</sup><sub>WFla</sub> bzw. 145 kWh/m<sup>2</sup><sub>a</sub>.<sup>41</sup> Der als schlecht beschriebene Zustand des Wohngebäude-sektors wird auf zu geringe Dämmmaßnahmen im Bereich der Außenwände und Kellerdecken zurückgeführt (jeweils unter 30 %).



Generell machen die Altbauten, die vor der Einführung der Wärmeschutzverordnung 1977 und damit ohne wesentliche Anforderungen an Energieeffizienz und Energieeinsparung gebaut wurden, rund 70 % des Wohngebäudebestands aus [Loga 2007; Diefenbach 2010]. Bedingt durch die großen Zerstörungen während des Zweiten Weltkriegs entfällt auf die Nachkriegszeit bis 1978 der größte Anteil (s. Abbildung 3-14). In Anbetracht einer jährlichen typologieübergreifenden Sanierungsquote von nur rund einem Prozent nach [Diefenbach 2010] ist eine vollständige (energetische) Gebäudesanierung erst in 100 Jahren zu erwarten. Angesichts der formulierten Ziele, der drohenden Ressourcen-

<sup>38</sup> Den gut 20 Mio. Gebäuden in Deutschland stehen gut 140 bekannte Nullenergiegebäude gegenüber. Bei kleinen Wohngebäuden ist das Verhältnis noch unterschiedlicher: Nur 0,0004 % sind Nullenergiegebäude (basierend auf eigener Erfassung)

<sup>39</sup> In Einfamilienhäusern sind Wohneinheiten durchschnittlich 130 m<sup>2</sup> groß. Wohneinheiten in Mehrfamilienhäusern nehmen 60 m<sup>2</sup> Wohnfläche ein

<sup>40</sup> Das A/V-Verhältnis von Einfamilienhäusern liegt bei 0,6 bis über 1,0 m<sup>-1</sup>. Bei großen Mehrfamilienhäusern sind dies 0,3 bis 0,6 m<sup>-1</sup>, s. Kapitel 8.1.1.2

<sup>41</sup> Grundlage sind unterschiedliche Datenmengen und unbekannte Anteile von Verbrauchs- bzw. Bedarfsausweisen in den beiden Studien

Abbildung 3-14: Häufigkeit von Wohngebäudetypen unterschiedlichen Baualters entsprechend der Deutschen Gebäudetypologie [IWU 2003]. Die Aufteilung erfolgte anhand der Flächenverteilungen pro Typologie und Bauzeit. Kleine Wohngebäude machen übergreifend 83 % des Gesamtbestandes aus

knappheit und des bereits eingesetzten Klimawandels reicht diese Sanierungsquote nicht aus. Dass aktuell Neubauten durchschnittlich rund 30 % unterhalb des EnEV-Anforderungsniveaus liegen, wirkt auf Grund einer rückläufigen Neubaureate kaum entgegen [Bigalke 2012].

### 3.4.2 Energetisch-gestalterische Sanierungspotenziale

Für die Diskussion der gestalterischen Einflussnahme sowie der Potenzialeinschätzung der Umsetzung des Klimaneutralen Gebäudebestands bedarf es einer Typologisierung des Gebäudebestands hinsichtlich energetischer Qualitäten und vorhandener baulicher Eigenschaften. Während die Deutsche Gebäudetypologie des IWU [IWU 2003] zumindest den Wohngebäudesektor in verschiedenen Altersgruppen typologisiert<sup>42</sup>, stellvertretende Gebäudebeispiele aufzeigt und Flächenangaben sowie tlw. Konstruktionsmerkmale erfasst, fehlen Angaben zu Form, Orientierungen bzw. Maßen von Hüllflächen, Fensterflächenverteilungen, Bauteilqualitäten, Abständen und Verschattung sowie zur Anbindung an die lokale Infrastruktur. Eine umfassende und aussagekräftige Typologie des Nichtwohngebäudebestands fehlt komplett [Hoffmann 2007].

Auf der Basis der Wohngebäudetypologie des IWU und [Bigalke 2012; Diefenbach 2010; Loga 2007; Everding 2007; BMVBS 2012a; Giebel 2008] sowie vor allem [IFEU 2013; Michelsen 2010; BMVBS 2010; Hirsch 1996] lassen sich im Folgenden Einschätzungen bezüglich der energetisch-gestalterischen Potenziale für einen Großteil der vorhandenen Bauten in Deutschland zusammenführen.<sup>43</sup>

Für Aussagen zu möglichen Potenzialen zum Einsatz von Solaranlagen (vorhandene Dachflächen, -orientierungen oder -neigungen bzw. deren Verschattung) böte eine Auswertung von Solarkatastern allein überschlägige, quantitative Aussagen zu möglichen Erträgen von (horizontalen) Dachflächen, jedoch keine damit verknüpfbaren, qualitativen Gebäudeeigenschaften. Restriktionen wie bspw. ein Ensembleschutz und ein damit einhergehendes Verbot von Solaranlagen oder statische Eigenschaften und Eigentumsverhältnisse werden in Solarkatastern nicht hinterlegt (s. Abbildung A-2). Aufbauend auf den Analysen in [Kaltschmitt 1993] wird in [Wouters 2007] das solarurbane Potenzial für die aktive Solarenergienutzung des Gebäudebestands bis zum Ende der 1980er Jahre ausgewiesen. Ausgehend von den rein technisch nutzbaren Flächen<sup>44</sup> (technisches Potenzial) ergibt sich durch die zusätzliche Betrachtung von Verschattung, Ausrichtung, technischer, wirtschaftlicher, städtebaulicher und baukultureller Aspekte sowie des Denkmalschutzes eine durch Solaranlagen nutzbare Gesamtfläche (solarurbane Flächenpotenzial) von 1.760 km<sup>2</sup> auf Dächern deutscher Bestandsgebäude sowie weiteren 584 km<sup>2</sup> an Fassaden.

<sup>42</sup> Die Aufteilung erfolgt anhand von Gebäudealtersklassen und deren baulichen Unterschieden

<sup>43</sup> Die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Einschätzungen und Zahlenwerte in Anhang A.3 beruhen auf diesen Quellen, wurden bewertet und zusammengeführt

<sup>44</sup> In die Berechnung des technischen Flächenpotentials fließen alle Dach- und Fassadenflächen mit einer Südabweichung von weniger als 45° ein, die zudem am 21. Dezember um 12:00 Uhr besonnt werden

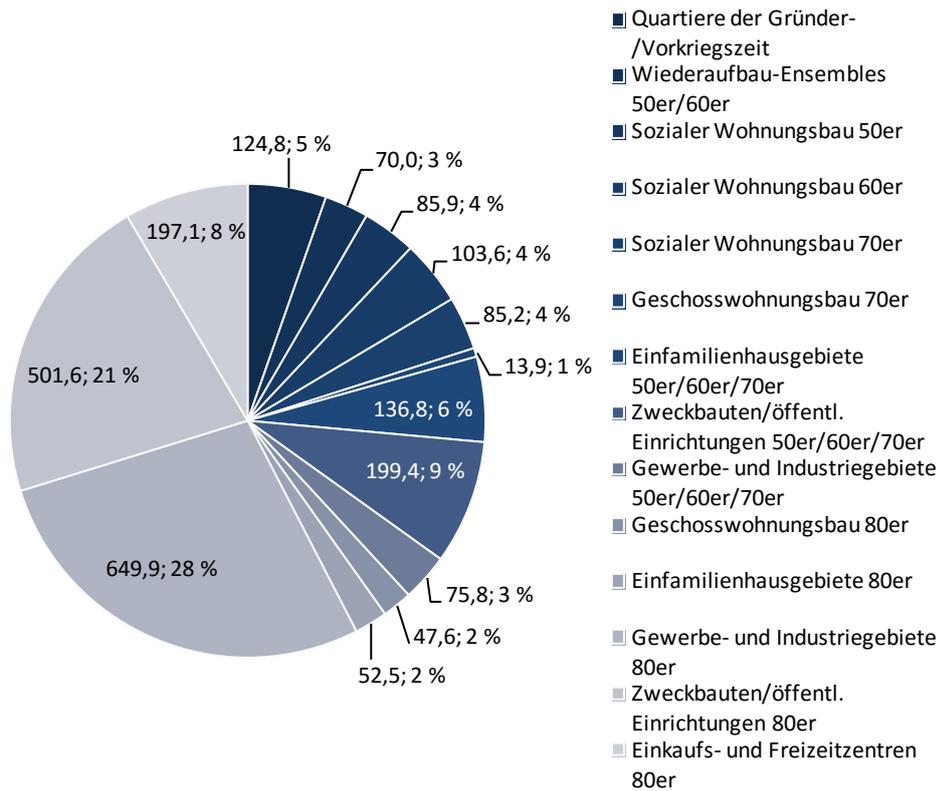


Abbildung 3-15: Verteilung der zur Solarenergienutzung zur Verfügung stehenden Flächen (solarurbanes Flächenpotential in km² und %) auf die Stadttraumtypen nach [Wouters 2007]. Der Stadttraumtyp „Quartiere der Gründer- und Vorkriegszeit“ fasst sechs ähnliche Typen zusammen. Die Stadttraumtypen „Einkaufs- und Freizeitzentren 80er“ sind in der Studie genannt, jedoch nicht mit einem Zahlenwert belegt. Sie werden daher zusammen und auf Basis der in der Studie aufgeführten Gesamtsumme bzw. der Differenz ergänzt

Neben den ausgewiesenen Flächen werden auch sog. Solare Gütezahlen (SGZ)<sup>45</sup> für unterschiedliche Gebäudeklassen bestimmt. Diese bilden das Verhältnis zwischen den ermittelten, für Solaranlagen nutzbaren Dach- bzw. Fassadenflächen sowie der Bruttogeschossfläche ab. Durch einen prototypischen Abgleich mit Raumordnungsstatistiken und eine Differenzierung des Gebäudebestands werden diese Zahlen 20 Stadttraumtypen zugewiesen (s. Abbildung 3-15). In Anlehnung an [Berlin 2008] erfolgt eine Zuweisung zu den ähnlich kategorisierten Gebäudetypen der Deutschen Gebäudetypologie. Abgesehen von Wohngebäuden sind auch Nichtwohngebäude aufgeführt, deren Werte die in Kapitel 4.6 genannte Möglichkeit der gebäudeübergreifenden Energiebilanz und im Besonderen die Rolle großflächiger Gewerbeimmobilien stützen. Fehlende Angaben für Gebäude ab den 1990er Jahren werden nach Abgleich der in der IWU-Gebäudetypologie aufgezeigten Stellvertretergebäude und auf Basis der Zahlen der 1980er Jahre ergänzt. Hier werden auf Grund von ersichtlichen kleinteiligeren Dachlandschaften bei Wohngebäuden verringerte Potenziale angenommen. Zudem ist eine rückläufige Quote neuer Häuser nach [Bigalke 2012] eingeflossen. Bei Nichtwohngebäuden entsteht eine Flächenerhöhung durch größere Einzelkomplexe.

Für den Hauptanteil des deutschen Baubestands - die Wohngebäude - lassen sich die folgenden Aussagen bezüglich ihres gestalterisch-energetischen Sanierungspotenzials treffen<sup>46</sup> (tabellarische Aufstellungen zu vorhandenen Zahlenwerten sind in Anhang A.3 hinterlegt).

### 3.4.2.1 (Stadt-)Häuser aus der Gründer- und Vorkriegszeit (bis 1918)

Die Wohngebäude aus der Zeit um die Jahrhundertwende bilden eine heterogene Typenaufteilung. Neben kleinen Wohnhäusern im ländlichen Raum ist diese Zeit typisch für opulente (Industriellen-)Villen und vor allem mehrgeschossige Blockrandbebauungen. Letztere prägen mit ihren aufwändig ornamentierten Schauffassaden bis heute das Bild vieler deutscher Innenstadtberei-

<sup>45</sup> Eine Solare Gütezahl von 1,0 weist aus, dass die durch Solaranlagen nutzbare Hüllfläche der Bruttogeschossfläche des Gebäudes entspricht. Größte Gütezahlen lassen sich für Gewerbe- und Dienstleistungsneubauten ausmachen. Einen Wert von 0,0 weisen bspw. innerstädtische Baublöcke bei starker Verschattung auf [Berlin 2008]

<sup>46</sup> Da Heizungsanlagen einen untergeordneten Gestalteinfluss haben, werden diese hier nicht betrachtet. Generell sind viele Bestandsgebäude unterkellert und bieten Möglichkeiten zu Anlagentausch samt Speichermöglichkeiten. Enge Grundstücke können Erdsondenbohrungen für Wärmepumpen entgegenstehen

che. Sie werden als gestalt- bzw. imageprägend sowie städtebaulich wertvoll eingeordnet. Hierauf gründen Wünsche und Festlegungen zu ihrem Erhalt. Häufig ist dies durch Denkmalschutzauflagen hinterlegt.

Die massiven Außenwände der kompakten und geschlossenen Bauten sind überwiegend in einschaligem und unverputztem bzw. ungedämmtem Vollziegelmauerwerk ausgeführt. Sie bieten durch ihre Dicke gute Dämm- und Wärmespeichereigenschaften. Als wichtiges Gestaltungselement gliedern große, mehrflügelige Einfach- oder Kastenfenster aus Holz die regelmäßigen Fassaden. Es werden Geschosshöhen von bis zu vier Metern erreicht. Die Schrägdächer sind meist in einfachster Ausführung erstellt.

Die Möglichkeiten der energetischen Sanierung sind bei den typischen Gründerzeithäusern stark eingeschränkt. Einer nachträglichen Außendämmung der historischen Schauffassaden steht deren erhaltenswerte Ornamentik und Gliederung entgegen. Vollflächige Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) sind hier auch wegen einer mangelnden Materialehrlichkeit nahezu ausgeschlossen. Als Alternative können bestehende Fassaden(-muster) nachgebildet (s. Abbildung 3-16) oder - bei zweischaligen Außenwänden - vor einer Dämmmaßnahme abgetragen und später gemäß dem ursprünglichen Erscheinungsbild wiederhergestellt werden. Bei letzterer Variante blieben alte Fassadenelemente erhalten und würden Materialien entsprechend ihrer Bestimmung verwendet. Neben großem Aufwand und hohen Kosten bzw. handwerklichen Fertigkeiten stehen hier unter Umständen Abstände zu Bürgersteigen bzw. deren geminderte Laufwegbreite entgegen.



Abbildung 3-16: Eines der ersten im Zuge der Internationalen Bauausstellung 2013 (IBA) in Hamburg beispielhaft sanierten Gebäude war die Doppelhaushälfte „Auf der Höhe“. Die unter Berücksichtigung des „IBA-Exzellenz-Sanierungsstandards“ umgesetzte Sanierung des 1886 erbauten Hauses umfasst u.a. eine Außenwanddämmung der Putz-Straßenfassade durch ein Wärmedämmverbundsystem unter Nachbildung der Zierelemente bzw. durch Kerndämmung der Luftschicht im Erdgeschoss. Zudem wurden auch Dachflächen (Aufsparrendämmung) und Kellerdecke (Zwischenbalkendämmung) gedämmt sowie dreifachverglaste Fenster mit Sprossung eingesetzt. Eine Lüftungsanlage mit WRG, ein Holzpelletkessel und eine thermische Solaranlage ermöglichen einen Jahresprimärenergiekennwert von unter  $30 \text{ kWh/m}^2_{\text{NGFA}}$ . Quelle IBA Hamburg GmbH, Foto Johannes Arlt

Innendämmungen erfordern einen sorgsamen Umgang mit Wärmebrücken im Bereich der Balkenanschlüsse und Fensterleibungen. Die in Kapitel 8 aufgezeigten Dämmstärken von umgesetzten Nullenergiegebäuden sowie eine größtmögliche Dichtheit lassen sich hier kaum realisieren. Bei hohen Raumhöhen von bis zu 4 m können zentrale Lüftungsanlagen nachträglich eingebracht werden. Da rückseitige Fassaden oft nicht verziert und denkmalgeschützt sind, kann hier das Erscheinungsbild verändert und gedämmt werden (s. Abbildung A-3). Bei den übrigen, kleineren Wohngebäuden dieser Zeit stehen weniger Verzierungen homogenen Außendämmungen entgegen, was die Quote nachträglich gedämmter Bauteilflächen jedoch (noch) nicht widerspiegelt (s. Tabelle A-1, Anhang). Ein Ersatz der historischen Fenster mit Wärmeschutzverglasungen bleibt aus Denkmalschutzgründen ebenfalls häufig verwehrt. Als Alternati-

ve erreichen Kastenfenster mit Isolierglas in den inneren Fensterflügeln einen guten Wärmeschutz. Bauphysikalische Qualitäten von Dreifachverglasungen lassen sich hiermit aber nur schwerlich erreichen. Die meist großen, der Straßenseite zugewandten Fenster bieten einen hohen Tageslichteinfall. Die geringen Dicken der (nachträglich eingebrachten) Dachdämmung weisen auf die klein dimensionierten Holzquerschnitte und Sparrenzwischenräume aber eine generelle Möglichkeit zur Dämmung hin. Das Potenzial zur Einrichtung von Solaranlagen auf Wohnhausdächern ist durch die geringen Konstruktionsquerschnitte und eventuelle Ensembleschutzaufgaben eingeschränkt. Dem stehen sehr große Potenziale auf Gewerbe- und Industriekomplexen dieser Zeit gegenüber (Solare Gütezahl von  $0,528 \text{ m}^2_{\text{SA}}/\text{m}^2_{\text{BGF}}$ ). In der Fassade ist praktisch kein Potenzial für Solaranlagen vorhanden. Die Schauffassaden würden ihr Erscheinungsbild verlieren während die Rückfassaden meist in dunkle und stark verschattete Innenhöfe zeigen.

#### 3.4.2.2 Zwischenkriegsbauten der 1920er und -30er Jahre

Die Fassaden und äußere Erscheinung der Gebäude der 1920er und -30er Jahre sind entsprechend dem Zeitgeist der Avantgarde bewusst sachlich, schlicht und homogen ausgebildet. Ornamentik und Gesimse entfielen. Die Strukturierung erfolgt allein durch häufig kleine Einfach-, Kasten- oder Verbundfenster mit lackierten Holzrahmen. Teilweise kommen experimentelle Eckfenster oder auskragende Bauteile hinzu, wobei formale Änderungen gegenüber der Gründerzeit kaum auszumachen sind. Knapper werdende Baumaterialien spiegeln sich in vorwiegend einfachen, statisch optimierten und daher recht dünnen Mauerwerks-Außenwänden wider. Diese sind meist verputzt, häufig nicht oder im Falle zweischaliger Ausführung nur durch eine Luftschicht „gedämmt“. Neben Kappen- sind Ortbetondecken und Dachkonstruktionen bewährt, sofern sie nicht in dünnen Holzkonstruktionen ausgeführt sind.

Während die dünnen Mauerwerkswände energetisch schlechte Eigenschaften haben, bietet sich infolge der schlichten Putzfassaden ein nachträglicher Einsatz von Außendämmung an. Bei deutlicher Verbesserung von Wärmeverlust und Innenraumkomfort kann das Erscheinungsbild auch bei großen Dämmstärken gewahrt bleiben. Allerdings sind Proportionen und Laibungstiefen der strukturgebenden Fenster zu beachten. Neben einem Identitätsverlust kann sich hier vermehrter Schattenwurf oder geringerer Lichteinfall einstellen. Bei einem Fenstertausch leiden kleine Einfachfenster unter großen Rahmenanteilen. Erker und auskragende Balkone auf Stahlträgern stellen Schwachpunkte und potenzielle Wärmebrücken dar. Ähnlich wie bei den Gründerzeitgebäuden führen geringe Konstruktionsquerschnitte im Dach zu Problemen bei der (Zwischensparren-)Dämmung und der Installation von Solaranlagen. Zusätzliche Verstärkungen sind jedoch äußerlich nicht ablesbar und daher gestalterisch unkritisch. Das solare Potenzial ist u.a. auf Grund kleinteiliger Dachlandschaften und vieler Gauben gering (5 %, s. Abbildung 3-15).

#### 3.4.2.3 Nachkriegsbauten und Gebäude der 1950er Jahre

Während im Verlauf der Kriegsjahre in Deutschland kaum ziviles Bauen stattfand, stand das durch den Marshallplan, die Reindustrialisierung und die Wohnungsnot angekurbelte rasante Wiederaufbauen und Errichten der Nachkriegsbauten im Zeichen knapper Baumaterialien. Dies schlägt sich erneut in sehr dünnen Außenmauern sowie einfachsten Dachkonstruktionen nieder. Die

mehrheitlich einschalige, leichte Bims- bzw. Gitterziegelmauerwerke wurden nicht oder nur wenig gedämmt.

Die geringen Wärmeschutzeigenschaften decken sich mit dem hohen Potenzial zur Aufwertung bzw. Beibehaltung der funktionalen und unverzierten Putzfassaden sowie dem geringen Aufwand zur Anbringung von Dämmsystemen. Wärmedämmverbundsysteme sind bspw. bautechnisch mühelos wie gestalterisch gleichwertig auszuführen. Großen Dämmstoffdicken stehen bei geringen Wandstärken allein Abstandsflächen, Grundstücksgrenzen oder die oben genannten Konflikte bei den Fenstern entgegen. Geringere Raumhöhen können Probleme beim Einbringen von Lüftungsanlagen oder neuen Bodenschichten (mit Fußbodenheizung) herbeiführen. Erneut verursachen durchdringende (Stahl-)Träger von Vordächern oder Balkonen Schwierigkeiten bei der Vermeidung von Wärmebrücken. Hier bietet sich das Schließen von Loggien oder das Abtrennen und erneute, thermisch getrennte Vorstellen von Balkonen an. Die einfachverglaste Holzsprossenfenster sind angesichts ihrer schlanken Querschnitte energetisch nicht zu verbessern. Sie sind bereits in sehr vielen Fällen durch neue zweifachverglaste Fenster ersetzt. Der Schritt zu neueren, dreifachverglaste Fenstern erscheint unter Beachtung der oben genannten Aspekte möglich. Wie bei den Vorgängern erfordern die knapp dimensionierten Dachstühle bei Zusatzlasten durch umfangreiche Dämmung oder Solaranlagen konstruktive Verstärkungen. Anbauten oder Erweiterung bieten sich an, kleinteilige Wohnungsgrundrisse zu vergrößern, solar nutzbare Dachflächen zu erweitern und ggf. Auskragungen einzuschließen (s. DE\_79 - Seite 106). Recht gute solare Potenziale von Dachflächen sind auf die damalige Berücksichtigung des Tageslichteinfalls sowie luftig gebaute Neubausiedlungen mit Zeilenbebauung zurückzuführen.<sup>47</sup> Es ergeben sich geringe Möglichkeiten für fassadenintegrierte Solarsysteme. Beides gilt im Besonderen auch für Zweckbau-Komplexe und öffentliche Einrichtungen dieser und der Folgedekaden.

<sup>47</sup> Aufbauend auf den Arbeiten des Architekten Alexander Klein, der die Maßgabe größtmöglicher Behaglichkeit, optimalen Tageslichteintrags, passiver Solarenergienutzung sowie ökonomischer Grundstücksausnutzung in den späten 1920er Jahren in rationale Wohntypologien überführte und Wohnräume sowie deren Fenster konsequent nach Süden orientierte [Klein 1934], entstehen in der Folge in ganz Europa Prototypen für Wohnhäuser und -siedlungen unter ähnlichen Motiven [Schoof 2011]

#### 3.4.2.4 Häuser der 1960er Jahre

Das Bevölkerungswachstum führte während der 1960er Jahre zu Wohnungsmangel. Als Gegenmittel entstanden mannigfach Großwohnsiedlungen in bzw. als Satellitenstädte(n). Neben Wohnblöcken und Hochhäusern kamen zu dieser Zeit auch sehr viele kleine Eigenheime und ein Großteil der noch heute bestehenden niedrigen Mehrfamilienhäuser in Zeilenbauweise auf (s. Abbildung 3-14). Der Wohlstandsanstieg förderte großzügige und funktionale Grundrisse in schlichten Geometrien. Kleine Wohnhäuser dieser Zeit weisen leichtes und mittelschweres Ziegelmauerwerk mit Hohlräumen als Dämmung (Bimshohlblocksteine) auf, während in der DDR eine Vielzahl an rationalisierten Wohnblöcken in Betonbauweise entstanden. Die minimal dimensionierten Betonfertigelemente sind schlecht gedämmt aber in Kombination mit im Raster angeordneten, großflächigen und oft einfachverglaste Fenstern identitätsstiftend. Flachdächer und Kellerdecken sind ebenfalls in Stahlbeton ausgeführt.

Die bauphysikalischen und ästhetischen Schwächen der Sichtbeton- und Putzfassaden können durch vorgehangene Sandwichverkleidungen bis hin zu neu vorgesetzten Fassaden- bzw. Grundrissebenen - ggf. inkl. neuen Loggien, Pufferräumen oder thermisch getrennten Balkonen - aufgewertet werden. Hiermit werden Außenwände, Fenster und thermisch nicht getrennte Konstruktionen wie bspw. Laubengänge oder Balkone gemeinsam transformiert und das Risiko des Tauwasserausfalls auf den Wandinnenseiten umgangen. Zusätzlich können Aspekte wie verringerte Fensterflächen und Laibungstiefen, mögliche dezent-

rale Lüftungsanlagen und weitere Neuinstallationen sowie eine neue Materialgerechtigkeit einbezogen werden (vgl. AT\_19 - Seite 252). Synergieeffekte in Bezug auf die optimierte Ausrichtung von Solaranlagen werden erst durch das Überformen von Fassaden oder ganzer Gebäude ermöglicht.

Während die massiven Flachdächer der Geschosswohnungsbauten unterseitig gedämmt werden können, empfehlen sich bei kleineren Wohnhäusern in dichten Siedlungen das Aufstocken und eine damit verbundene Verbesserung der Dachstrukturen bzw. ggf. der Kompaktheit. Hierüber kann das auf große Siedlungsdichten zurückzuführende, mittelmäßige Solarpotenzial (s. Abbildung 3-15) angehoben sowie flächenspezifische Wärmeverluste gesenkt werden.

#### 3.4.2.5 Häuser aus den 1970er Jahren

In den 1970er Jahren verfestigten sich die Muster der Vorgängerdecade. Die aus dem industriellen Bauen übertragenen Rationalisierungen führten im Geschosswohnungsbau zu einem gesteigerten Einsatz vorgefertigter Beton- (Sandwich-)Elemente. Die Großtafelbauweise in Westdeutschland sowie der Betonplattenbau in der DDR bilden triste Häuserfronten. Allein die aus heutiger Sicht ineffizienten Vor- und Rücksprünge von Loggien oder Balkonen sowie integrierte und mitunter skulpturale Betonbrüstungen bieten Auflockerungen. Die bautechnisch gute Qualität der Betonelemente steht im Gegensatz zu den in das Produktionsraster eingepferchten simplen Holzfenstern und -türen. Sie sind ein fehlender bzw. maximal durch dünne Mineralwollkerne in Beton-Sandwichenelementen gebildeter Wärmeschutz befinden sich auf dem Niveau der Gründerzeit (s. Anhang A.3).

Die heute ungeliebten und als unschön empfundenen „Wohnmaschinen“ stehen auf Grund des Bevölkerungsrückgangs stellenweise leer und weisen Schäden an bewitterten Sichtbetonfassaden sowie verminderten Tageslichteinfall der häufig tiefen Grundrisse auf. Hierdurch ergeben sich Rückbauoptionen, womit auch die nicht allzu guten Verhältnisse von solar nutzbaren Dachflächen zu Wohnflächen verbessert werden können. Bei Erhalt der verbleibenden Gebäudeteile gilt es zwischen den typischen Fassaden und dem sich anbietenden, außenliegenden Vollwärmeschutz abzuwägen.

#### 3.4.2.6 Wohngebäude ab den 1980er Jahren

Nach dem Erlass der ersten Wärmeschutzverordnung entstanden nach Rückgang des Bevölkerungswachstums ab den 1980er Jahren vermehrt Ein- und kleine Mehrfamilienhäuser. Gemischte Konstruktionen und Materialien spiegeln eine Unsicherheit durch die Wärmeschutzbestimmungen aber auch viele neu entwickelte bzw. wieder entdeckte Baumaterialien wider. Die Homogenität bzw. Kopplung von Konstruktionsmaterial und Fassade entfiel. Fassadenbekleidungen mit Putz, Eternit, Klinkerriemchen oder Holz verdecken Polystyrol- oder Mineralwollschichten und sind losgelöst von häufig porösen Mauersteinen oder Gasbetonwänden sowie Holzständerkonstruktionen bei Einfamilienhäusern. Zweischeibenverglasungen in Holz- oder Kunststoffrahmen setzten sich durch, wobei der Dreifachverglasungsanteil nach der Jahrtausendwende auf bis zu 15 % anstieg. Hüllflächen sind überwiegend nach den jeweils ehemals gültigen Vorschriften gedämmt (bis zu 98 %) und weisen heute durchschnittliche Dämmstärken zwischen 8,5 (Kellerdecke) und 16 cm (Dach) auf (s. Tabelle A-7). Verwinkelte Bauten und Dächer führen zu Schwierigkeiten beim nachträglichen Einbinden von zentralen Lüftungsanlagen sowie zu kleinen Sola-

ren Gütezahlen. Gewerbe- und Industriebauten erreichen hingegen Solaren Gütezahlen von bis zu  $0,40 \text{ m}^2_{\text{SA}}/\text{m}^2_{\text{BGF}}$ .

Abschließend ist festzustellen, dass Wohngebäude, die nach den Gebäuden der 1920er Jahre errichtet wurden, mitunter große aber auch unterschiedliche Sanierungspotenziale bieten. Vor allem historisch wertvolle und imageprägende (Blockrand-)Bebauungen sind nur bedingt veränderungsrobust. Durch die Auswertung von verbrauchsbasierten Energieausweisen in [Michelsen 2010] wird deutlich, dass diese Potenziale zumindest bei Mehrfamilienhäusern bereits gehoben wurden und werden, also auch gestalterische Aspekte bereits erörtert werden mussten. Bei (eventuell bereits wieder) anstehenden Dämmmaßnahmen kann hieran angeknüpft werden. Ambitioniertere Dämmmaßnahmen gleichen ursprünglich schlechte baukonstruktive bzw. -physikalische Eigenschaften aus. Daher und auf Grund veränderter (gesetzlicher) Voraussetzungen sind die aktuell vorzufindenden Dämmstärken unterschiedlich.<sup>48</sup> Sofern eine Dämmmaßnahme zum Zeitpunkt des Baus erfolgte, sind geringere Dämmstärken auszumachen. Häufigste Restriktionen bei der Außenwanddämmung sind einzuhaltende Abstandsflächen oder Grundstücksgrenzen. Der Vorwand einer erhaltenswerten Fassade oder des Denkmalschutzes trifft auf etwa 6 % der Bestandsgebäude zu. Nachträglich gedämmte Bauteilflächen sind auch bei denkmalgeschützten Altbauten kaum seltener vorzufinden als bei übrigen Gebäuden, wobei ein Großteil Innendämmungen mit geringerem Wärmeschutz ausmacht [Diefenbach 2010]. Generell bereiten bei allen Gebäudetypen die Kellerdecken die geringsten Schwierigkeiten für eine ästhetisch verantwortliche Sanierung. Bei der überwiegenden Mehrheit der Altbauten sind die Möglichkeiten durch einen hohen, unbeheizten Keller gegeben. Ähnliches gilt für eine Dämmung von (Schräg-)Dächern, sofern diese die statischen Voraussetzungen erfüllen oder hierzu ertüchtigt werden können. Das durch die U-Werte im Anhang (s. Anhang A.3) festgemachte Dämmniveau des deutschen (Wohn-)Gebäudebestands reicht nicht an die ermittelten Werte von Nullenergiegebäuden heran (s. Kapitel 8.1.1). Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz sind in der Sanierung von Wohngebäuden ebenfalls nicht etabliert. Allerdings bieten bspw. große thermische (Speicher-)Massen oder Geschosshöhen (Einbringung von Lüftungsanlagen) Möglichkeiten die in Abschnitt 3.3 genannten Konzeptpunkte aufzugreifen.

Bestandsbauten aller Altersklassen bieten grundsätzlich die Möglichkeit einer nachträglichen Installation von Solaranlagen. Die möglichen Erträge variieren im Verhältnis zu den Nutzflächen jedoch stark. Typologieübergreifend können ohne bauliche Erweiterungen  $0,16 \text{ m}^2_{\text{SA}}/\text{m}^2_{\text{BGF}}$  auf Dachflächen und  $0,05 \text{ m}^2_{\text{SA}}/\text{m}^2_{\text{BGF}}$  in Fassaden realisiert werden. Im Vergleich mit aktuellen Nullenergiegebäuden und vor dem Hintergrund der nicht durchgehend auf Neubaustandard zu bringenden Hüllflächen sind diese Werte als deutlich zu gering einzustufen (vgl. Kapitel 8.2). Gestalterisch muss auf vorgegebene Oberflächen, Proportionen und Farben mit unterschiedlichen Modul- bzw. Kollektormaßen, -farben und ggf. -materialitäten reagiert werden. Solaranlagen sollten möglichst integriert und vollflächig installiert werden (s. Kapitel 9.2.1) [IFEU 2013].

<sup>48</sup> Der Großteil der Altbau-Hüllflächen ist mit Dämmstärken von 10 - 13 cm gedämmt. Im Neubau sind 14 cm und mehr mit einem Anteil von fast 50 % vertreten. Zweischalige Mauerwerke weisen ebenso geringere Dämmstoffdicken auf, wie Innendämmungen

# Kapitel 4

## Definition Klimaneutraler Gebäudebestand

Potenziale einer externen Energieversorgung des Gebäudesektors

Die Aufgaben im Gebäudesektor

Die Fokussierung auf (einzelne) Gebäude

Die Analogie von Energieangebot und -nachfrage

Das Prinzip der Energiebilanzierung durch Netzkopplung

Vom klimaneutralen Gebäude zum Klimaneutralen Gebäudebestand



## 4 Definition Klimaneutraler Gebäudebestand

Gebäude bilden auf Grund ihrer langen Lebens- und Betriebsdauer sowie Erneuerungs- bzw. Sanierungszyklen eine beständige Größe und nehmen hierüber auf langfristige Ziele und Planungen großen Einfluss. Bauliche wie technische Entwicklungen und normative Veränderungen zeigen, wie groß das Potenzial zur Energieeinsparung ist (vgl. Kapitel 3.4 und 5), aber auch, dass die Energiewende ohne eine erfolgreiche Aktivierung der Effizienzpotenziale im Gebäudesektor nicht zu verwirklichen ist [Nitsch 2012]. Da der Gebäudebestand in Deutschland eine werthaltige Bausubstanz vorhält und eines der wirtschaftlich wertvollsten Güter der Gesellschaft darstellt,<sup>49</sup> ist es nicht nur ökologisch erforderlich, sondern auch ökonomisch sinnvoll, Investitionen vorzunehmen und Gebäude auch über Effizienzsteigerungsmaßnahmen zukunfts- und marktfähig zu gestalten. Zudem sind viele Häuser im Eigentum der Mittelschicht (das zeigt die Vielzahl kleiner Wohngebäude, s. Kapitel 5.2), wodurch sich die Energiewende beim Ausweiten der Ansprüche an Gebäude direkt in die Mitte der Gesellschaft übertragen lässt.

<sup>49</sup> Etwa die Hälfte aller Anlageinvestitionen in Deutschland ist im Wohnungsbau gebunden [DESTATIS 2013b]

### 4.1 Potenziale einer externen Energieversorgung des Gebäudesektors

Aus den eingangs genannten Debatten zur Veränderung der Baukultur gegenüber der Veränderungen des Landschaftsbild durch Energielandschaften lässt sich der Anspruch ablesen, den Gebäudesektor auch weiterhin rein extern mit Energie zu versorgen. Die bislang wenig konkrete Formulierung eines Klimaneutralen Gebäudebestands durch die Bundesregierung widerspricht hier nicht (s. Kapitel 1.1.2.1). Rein physikalisch böten sich hierzu Möglichkeiten. Das bloße Warten auf die Energiewende und eine rein auf erneuerbaren Energiequellen basierende Energieversorgung ist für Deutschland ohne das aktive Zutun des Bausektors derzeit mindestens ökonomisch nicht absehbar und aus raumplanerischer Sicht keine Option (vgl. [Nitsch 2012]). Auch erneuerbare Energiequellen stehen nicht automatisch unbegrenzt zur Verfügung und ihre Nutzbarmachung birgt vor allem bei Sonne und Wind technischen und damit finanziellen Aufwand. Zudem werden auch der Verkehrs- und Industriesektor auf Grund der politischen Ziele und Marketingaspekten auf erneuerbare Energien zurückgreifen.<sup>50</sup> Warum die politischen Vorgaben und Ziele hinterfragt werden sollten, verdeutlicht ein Zitat aus dem Eckpunktepapier des Umweltbundesamtes [Bade 2014] von Ende 2014:

<sup>50</sup> Bspw. plant der Autobauer Audi in off-shore-Windparks Strom für die Erstellung von Wasserstoff, der Brennstoffzellen von Fahrzeugen antreiben soll, zu erzeugen. Alternativ sollen über *Power to Gas* (s. Seite 26) Erdgasautos angetrieben werden. In einem vergleichbaren Projekt will die Daimler AG mittels einer Windkraftanlagen dem Netz so viel regenerativen Strom zur Verfügung stellen, wie für den Betrieb der kompletten 2012er-Generation des „Smart ForTwo E-Drive“ notwendig ist [Windreich 2012]

*Die bisherigen Zieldefinitionen eines annähernd klimaneutralen Gebäudebestandes [...] sind keine ausreichende Hilfestellung für die konkrete Umsetzung des Energiekonzeptes und von Maßnahmen. Zwar lässt ein geringer Primärenergiebedarf auch geringe Treibhausgasemissionen erwarten, jedoch fehlt den Definitionen ein direkter Bezug zur Klimawirkung. So erfüllt aus Sicht des Umweltbundesamtes eine Minderung des (nichterneuerbaren) Primärenergiebedarfs um 80 % mit einem Rest von 20 % fossilen Energieträgern nicht den Anspruch, annähernd klimaneutral zu sein. Diese Festlegung vernachlässigt zudem, dass der Ausbau erneuerbarer Energien die Primärenergiebilanz der Endenergieträger Strom und Gas bis 2050 verbessern*

wird; eine bloße Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Quellen bei unverminderter Energienachfrage ist jedoch nicht zielführend.

In verschiedenen Ausbauszenarien sowie dem Energiekonzept der Bundesregierung ist die Biomasse ein maßgeblicher Baustein zur Substitution von fossilen Energieträgern. Für das Jahr 2050 wird ein Biomassepotenzial von 460 TWh genannt, worüber etwa 20 % des Gesamtenergiebedarfs in Deutschland gedeckt werden sollen [FNR 2011].<sup>51</sup> Biomasse im Allgemeinen ist abgesehen von der Vergasung von (landwirtschaftlichen) Abfallstoffen vor allem vor dem Hintergrund der geringeren energetischen Qualität und den sich hieraus ergebenden Nachhaltigkeitsaspekten, Flächenverbräuchen und der drohenden Konkurrenz zur Bauholz- und Nahrungsmittelproduktion zu betrachten (s. Abbildung 4-1). Eine vollständige Deckung des Wärme- und Warmwasserbedarfs in Gebäuden wäre in Deutschland nur bei sehr starken Einsparungen gegeben (vgl. [Vallentin 2011]),<sup>52</sup> wobei dann die von einer externen Energieversorgung abhängigen Verkehrs- und Industriesektoren nicht an Biomassekapazitäten partizipieren könnten. Eine Deckung des derzeitigen Wärmeverbrauchs des deutschen Gebäudebestands über Rapsöl und Biodiesel mit einem flächenspezifischen Jahresertrag von 11.000 kWh/ha nach [Lücking 2009] würde knapp 870.000 km<sup>2</sup> landwirtschaftliche Fläche für Raps in Anspruch nehmen. Je nach Anbau- und Holzart ließe sich diese Zahl bei einer Nutzung von Holz (auf Kurzumtriebsplantagen) maximal halbieren [FNR 2008]. Die Fläche der Bundesrepublik Deutschland beträgt inkl. Bergen, Flüssen und Städten jedoch nur etwa 357.000 km<sup>2</sup>. Unter Beachtung der Tatsache, dass in Deutschland weniger als 50 % der Fläche landwirtschaftlich genutzt wird, und davon nur etwa 20 % auf Energiepflanzen entfallen können (35.700 km<sup>2</sup>), bildet auch die effizientere Biogaserzeugung durch Maissilage einen riesigen Flächenfehlbetrag.<sup>53</sup> Selbst das zeroHaus Projekt „Kleehäuser“ mit einem Wärme- und Warmwasserbedarf unter Passivhausniveau von 24 kWh/m<sup>2</sup>a nähme auch ohne Beachtung von Systemverlusten bei der Wärmebereitstellung bereits etwa 26.000 m<sup>2</sup> Waldfläche für Holz in Anspruch - jedes Jahr und ohne Einbeziehung der übrigen (Strom-)Verbräuche. Eine Firstpfette oder gar ganzes Holzhaus wären damit noch nicht errichtet.

<sup>51</sup> Wobei dies nicht den anvisierten Zielen der Bundesregierung entspricht und eine Verdopplung heutiger Landwirtschaftsflächen für die Biomasseproduktion, einen nicht steigenden Lebensmittelbedarf bzw. Selbstversorgungsgrad in Deutschland sowie eine optimale chemisch-technisch Energiegewinnung einbezieht

<sup>52</sup> Im Jahr 2010 kam dieser Verbrauchssektor für knapp 900 TWh Endenergie auf (vgl. Kapitel 1.1.1)

<sup>53</sup> Bei einer wie oben angenommenen nutzbaren, solaren Einstrahlung von 1.000 kWh/m<sup>2</sup>a können hier pro ha 46.000 kWh/a gewonnen werden [Lücking 2009]

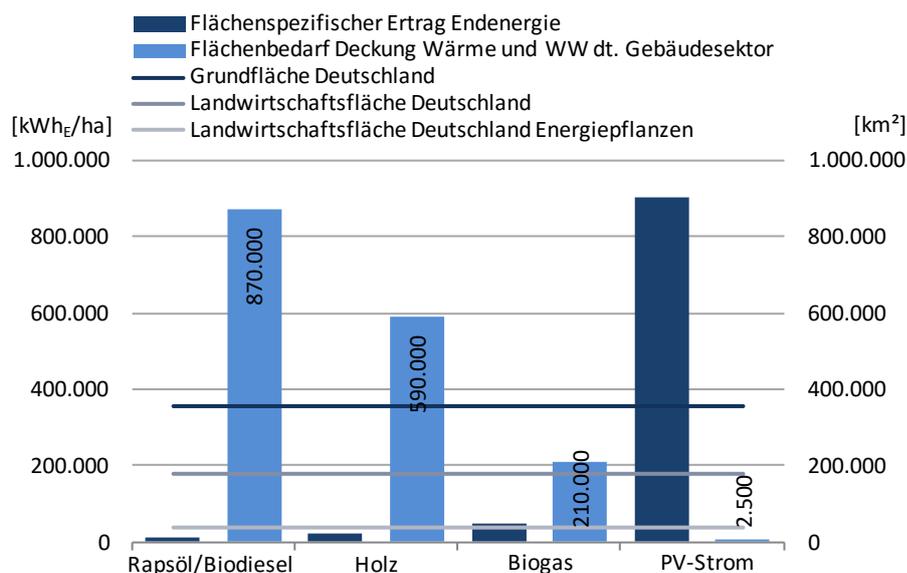


Abbildung 4-1: Aufstellung des flächenspezifischen Endenergieertrags (linke Vertikalachse) und des Flächenbedarfs zur Deckung des Wärme- und Warmwasserbedarfs (Verbrauchswerte 2010, unter Einbeziehung von Systemwirkungsgraden für Brennwertkessel nach DIN V 18599 bzw. einem COP einer Wärmepumpe von 4,0 bei der PV-Strom-Variante) im deutschen Gebäudesektor gegenüber realer Freiflächen in Deutschland (rechte Vertikalachse). Quelle frei nach [Lücking 2009; Kaltschmitt 2013b]

Da der flächenspezifische Nutzungsgrad bei biogenen Energieträgern weniger als 0,5 % beträgt (vgl. Tabelle 4-1), ist hierüber eine hinreichend große Deckung des Gebäudewärmebedarfs in Deutschland kaum vorstellbar. Lokal ver-

fügbare biogene Abfälle sowie eine größtmögliche Menge innerdeutscher Biomasse sollten der Substitution von bisher auf Öl oder Gas basierten Prozessen und Produkten vorbehalten werden, ohne mit der Nahrungsmittelproduktion zu konkurrieren. Eine Ausweitung der Biomasseverfeuerung birgt sonst die Gefahr von Energieimporten und somit neuen Abhängigkeiten sowie einer Weitergabe auf globaler Ebene einhergehend mit weiterer Abholzung des Regenwalds. Landwirtschaftlich erzeugte Biomasse kann daher lediglich in einer Übergangsphase der Energiewende zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser bei gleichzeitiger Wahrung größter Einsparung und Gebäudeeffizienz sowie auf Grund der nahezu verlustfreien Speicherbarkeit partiell als Energiereserve genutzt werden. Der Einsatz in KWK-Anlagen bietet die tlw. Überführung in Elektrizität als physikalisch höherwertige Energieform und in Verbindung mit Wärmepumpen oder Kältemaschinen eine verbesserte Ertragseffizienz. Hierüber kann zudem die Asynchronität von Energiebedarf und -bereitstellung aus erneuerbaren Quellen ausgeglichen werden. Bisher ist dies auf Grund limitierter technischer Möglichkeiten im Kleinleistungsbereich und damit auf Einzelgebäudeebene nicht möglich (s. DE\_42 - Seite 200). Daher verspricht die Nutzung von Biomasse in KWK-Anlagen auf der Quartiersebene zurzeit die größten Potenziale.

Tabelle 4-1: Flächenspezifischer Nutzungsgrad und Ertrag unterschiedlicher erneuerbarer Energieträger nach [Lücking 2009] und [Kaltschmitt 2013b]. Als Basis wird eine solare Einstrahlung von 1.000 kWh/m<sup>2</sup>a genommen

\* Unter Berücksichtigung von Abständen von 500 m bei 5 MW-Einzelanlagen

\*\*Unter der Annahme eines Wirkungsgrades von 18 % und einer ebenen Flächenbelegung von 50 %

\*\*\* wie oben, Neigung 36°

\*\*\*\* Mittels Erdwärmesonden und Wärmepumpe

\*\*\*\*\* Bei Verwendung einer KWK-Anlage mit einem Motorenwirkungsgrad von 30 %. Wärmebereitstellung nicht berücksichtigt

Energieträger	Flächenspezifischer Ertrag [kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup> a]	Flächenspezifischer Nutzungsgrad [%]	Flächenspezifischer Nutzungsgrad (elektrisch)***** [%]
Rapsöl / Biodiesel	1,10	0,11	0,03
Biogas	4,60	0,46	0,14
Bioethanol	1,80	0,18	
BtL-Diesel / synthetischer Kraftstoff	2,30	0,20	
on-shore-Windkraft*	50,00	5,00	5,00
Photovoltaik - monokristalline Zellen**	90,00	9,00	9,00
Photovoltaik - monokristalline Zellen***	100,00	10,00	10,00
Thermische Solarkollektoren	500,00	50,00	
Oberflächennahe Geothermie****	100,00	10,00	

Neben der Biomasse gilt die Stromgewinnung über Windkraftanlagen als eine wichtige Stütze der Energiewende in Deutschland [Nitsch 2012]. Gegenüber der Biomasse ergibt sich hierbei ein deutlich geringerer Flächenaufwand (s. Tabelle 4-1). Zudem wird auch in Einzelanlagen sowie ohne Verbrennungsprozess die höherwertige Energieform Strom erzeugt. Allerdings ist eine Deckung sämtlicher gebäudeinduzierter Energieverbräuche über Windkraftanlagen ebenfalls kaum zu realisieren, da Windstrom dezentral sowie regional und zeitlich schwankend erzeugt wird und zudem schwerlich zu speichern ist. Selbst

unter der Annahme maximierter Laufzeiten - durch ausreichend Speicherkapazitäten in der Netzinfrastruktur ermöglicht (Pumpspeicherkraftwerke, ggf. *Power to Gas*<sup>54</sup> mit Rückverstromung) - würden allein für den Strombedarf deutscher Haushalte<sup>55</sup> über 16.000 on-shore-Windkraftanlagen mit je einer Einzelleistung von 3 MW (Turmhöhe um 100 m) benötigt.<sup>56</sup> Für eine Deckung des Gesamtenergieverbrauchs des Gebäudesektors inkl. einer Deckung des Wärme- und Warmwasserbedarfs über Wärmepumpen mit einer optimistischen Leistungszahl von 4,0 würde sich dies um den Faktor fünf erhöhen. Die Gesamtfläche für die nötige Installation der Anlagen beliefe sich auf etwa 12.000 km<sup>2</sup>. Erneut gilt, dass andere Sektoren mit hohem Energiebedarf hierüber noch nicht versorgt werden könnten. Auch wenn ein Teil der beschriebenen Kapazitäten in den off-shore-Bereich verlegt oder durch entsprechend größere Anlagen an Land entfallen könnten, dürften diese Größenordnungen vor dem Hintergrund bereits stattfindender Diskussionen um die Energielandschaft in Deutschland kaum vermitteln- und wirtschaftlich nicht realisierbar sein. Die 2013 installierte Anlagenanzahl müsste allein zur Deckung der in Gebäuden verbrauchten Energie nahezu vervierfacht werden. Da in Deutschland auch die Potenziale zur Energieerzeugung aus Wasserkraft eher gering sind [Kaltschmitt 2013a; Nitsch 2012], kann nicht davon ausgegangen werden, dass das Stromnetz kurzfristig in ähnlich großem Umfang aus erneuerbaren Quellen gespeist werden kann wie in Norwegen (erneuerbarer Anteil 98 %) oder Teilen von Kanadas (Quebec 94 %). Hiermit erscheint auch die derzeitige Forcierung des vermehrten Einsatzes von Wärmepumpen ohne den Zubau entsprechender erneuerbarer Stromerzeugungskapazitäten verfrüht. Zurzeit und in näherer Zukunft wird der hierüber vergrößerte Strombedarf vor allem in Winterzeiten durch Kohlekraftwerke gedeckt und CO<sub>2</sub>-Minderungsziele damit konterkariert.<sup>57</sup> Heute installierte Wärmepumpen befeuern den Ausbau von Kohlekraftwerken und stehen dem Dekarbonisierungsszenario entgegen.

Zusammenfassend wird deutlich, dass eine Deckung des gebäudeinduzierten Betriebsenergiebedarfs durch externe Erzeugungskapazitäten nicht möglich ist. Das Argument, dass Treibhausgase eine globale Schädigungswirkung haben und es daher unter dem Aspekt des Klimaschutzes irrelevant ist, an welchem Ort sie entstehen, ausgeglichen oder vermieden werden [Leibundgut 2011], ist mindestens aus der Sicht der Weitergabe von Verantwortlichkeiten nicht zielführend.

## 4.2 Die Aufgaben im Gebäudesektor

Da Gebäude an ihrem Standort verankert sind (Immobilien), bietet sich ihnen über ein Einsparungspotenzial hinaus die Möglichkeit, das lokale regenerative Energieangebot aus Globalstrahlung, Umwelt- bzw. Erdwärme sowie in Einzelfällen Wind oder in Ausnahmen Laufwasser<sup>58</sup> direkt am Standort zu erschließen und Energie selbst zu erzeugen. Die lokale Energieverfügbarkeit und die Verbindung zu einer Energieinfrastruktur bleiben den übrigen beiden Verbrauchssektoren verwehrt (Verkehr), können nicht durch verfügbare (Batterie-)Speicher kompensiert werden und stehen nicht direkt sowie in ausreichender und ökonomisch erschließbarer Größenordnung zur Verfügung (Industrie). Insofern ergibt sich für den Gebäudesektor die Aufgabe, die Anstrengungen der übrigen energieintensiven Sektoren durch mangelnde Effizienz nicht zunichte zu machen und die Chancen zu nutzen, die Energie dort zu erzeugen, wo sie benötigt wird: am Gebäude, vor Ort, im gebauten Umfeld.

<sup>54</sup> Auch Windgas genannt. Über Elektrolyse wird (erneuerbar erzeugter) Strom in Wasserstoff umgewandelt. Bei nachgeschalteter Zugabe von Kohlenstoffdioxid kann Methan erzeugt und in das Erdgasnetz gespeist werden. Somit wird Strom in Gasform gespeichert und kann an anderer Stelle bzw. zu einem anderen Zeitpunkt verstromt oder verheizt werden

<sup>55</sup> Wert für das Jahr 2010: 113 TWh/a (vgl. Abbildung 1-1)

<sup>56</sup> Ertrag pro Anlage ca. 6.900 MWh/a unter Annahmen von sehr guten und guten Referenzstandorten sowie Randbedingungen und charakteristischen Kenngrößen wie u.a. 5050 Volllaststunden unterschiedlicher Windgeschwindigkeiten nach [Kaltschmitt 2013a]

<sup>57</sup> Die Studie [Graabak 2011] zeigt hierzu steigende CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Kohlekraftwerke, die verringerte Solarstromanteile kompensieren

<sup>58</sup> Sie können an und durch Gebäude passiv und aktiv nutzbar gemacht, in Wärme- bzw. Kälteenergie sowie Strom umgewandelt und demnach zur Deckung von Energiebedarfen direkt vor Ort genutzt oder in Energienetze weitergegeben werden. Die regenerativen Energien sind kostenlos, dauerhaft und für eine Vielzahl von Gebäudetypen in ausreichendem Maß verfügbar [Hegger 2008]

Hierüber steigert der Gebäudesektor die Anteile erneuerbarer Energien in der Infrastruktur, stellt anderen Sektoren erneuerbare Energie zeitweise zur Verfügung und trägt aktiv zur Energiewende bei.

Solaranlagen bieten die wirkungsvollste Möglichkeit Energie an Gebäuden zu erzeugen. Eigene Verbräuche können direkt gedeckt und im Fall von Stromüberschüssen im Netz - aus der Blickweise des Eigentümers verlustfrei - gespeichert werden (s. Abschnitt 4.4). Darüber hinaus wird gegenüber der Freifeldinstallation keine Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion aufgebaut,<sup>59</sup> keine weiteren Flächen versiegelt und die Systemeffizienzen durch eine mögliche Schrägstellung der Anlagen gesteigert. Die Erzeugung nah am Verbraucher bietet zudem die Chance, Energieverbräuche anteilig direkt und ohne Inanspruchnahme des Stromnetzes zu decken sowie Transport- und Speicherverluste innerhalb des Netzes zu vermeiden.

<sup>59</sup> In Leitstudien und Szenarien wie [Nitsch 2012] werden allein Erzeugungskapazitäten beziffert, nicht aber deren Verortung genannt

### 4.3 Die Fokussierung auf (einzelne) Gebäude

Mit der Forderung des Klimaneutralen Gebäudebestands der Bundesregierung (s. Kapitel 1.1.2) und der Option, erneuerbare Energie am Standort oder in der Nähe des jeweiligen Gebäudes zu erzeugen (EPBD, Kapitel 3.1.1), bleiben die Szenarien einer externen Versorgung oder ein generelles Zusammenfassen aller Gebäude theoretisch denkbar. Die großflächige Versorgung durch (Wärme-)Netze auf Stadt- oder kommunaler Ebene bzw. durch ein Energiecontracting greift jedoch vor allem durch Umstellung der Energieträger oder die Effizienz der Infrastruktur ein. Die Verantwortung wird an den Contractor bzw. in das Netz verschoben. Integrale Umsetzungen mit dem Ziel von Energieeffizienz und -einsparungen am Gebäude werden hiermit nicht verbunden, da aus Sicht des Versorgers aus ökonomischen Erwägungen unerwünscht.<sup>60</sup> Die mangelnde Übertragbarkeit in die Breite, unklare Zuständigkeiten und Verantwortungsgebiete sowie die damit einhergehende Verlagerung der erneuerbaren Energieerzeugung verlangen nach einem fokussierten Rahmen.

<sup>60</sup> Im Bioenergiedorf Jühnde werden 140 Häuser über ein 5,5 km langes Nahwärmenetz mit Wärme versorgt. Das Wärmenetz wird aus einer 700 KW Biogasanlage und einem 550 KW Holzheizwerk gespeist. Zwar konnten 2005 bereits ca. 360.000 l Heizöl bzw. 60 % CO<sub>2</sub> eingespart, aber eine Effizienzsteigerung an den Gebäuden auch auf Grund niedriger Verbrauchskosten nicht erzielt werden [Jühnde 2007]

Vor dem Hintergrund der in der EPBD angesprochenen Deckung von Energieverbräuchen begrenzt ein einzelnes Haus hingegen den Aktions- bzw. Akteursrahmen sowie das energetische System auf eine fassbare Größenordnung. Ein Gebäude allein stellt somit, der gesellschaftlich etablierten Auffassung folgend und entsprechend historisch vorangegangener Normungspraktiken, die kleinstmögliche, systemische (Berechnungs-)Einheit und demnach den Ausgangspunkt der energetischen Betrachtung dar. Die Erweiterung auf den eindeutig umrissenen Zusammenschluss mehrerer Gebäude auf Siedlungs- oder Quartiersebene bleibt dabei aber vorstellbar (s. Abschnitt 4.4). Der Fokus auf ein eng umrissenes Akteurskonglomerat verschiebt Verantwortungen nicht nach extern und objektiviert abgesehen davon das Bewusstsein über den Klimawandel. Rebound-Effekte<sup>61</sup> können vermindert werden. Der klar umrissene Ansatz greift hierüber zudem den Aspekt unserer hedonistisch geprägten (Gebäudeeigentümer-)Gesellschaft in der Energiewende auf. Wird aus dem Nullenergieziel ein Substitutionsansatz formuliert und soll Energie dort erzeugt werden, wo sie auch verbraucht wird, geraten dezentrale Erzeuger ins das Blickfeld der Konsumenten und wird ein Denkanstoß zum Verbrauchsverhalten ausgegeben. Das Konzept hauseigener Energieerzeugung fügt sich darüber hinaus zu der ureigenen Aufgabe von Häusern sowie dem in Deutschland stark ausgeprägten Abgrenzungsverlangen von Gebäudeeigentümern: Der Schutz vor Umwelteinflüssen bei gleichzeitiger Verbindung zum Umfeld sowie die

<sup>61</sup> Einem verringerten Verbrauch eines Systems steht die Ausweitung des Systems oder ein vermehrter Gebrauch gegenüber. Bspw. werden Gebäude effizienter aber die Wohnfläche steigt, einzelne Geräte werden effizienter, aber sie werden exzessiver genutzt

Schaffung von komfortabler Wohn- bzw. Arbeitsatmosphäre werden um den Umweltschutz und eine Loslösung von der unbeeinflussbaren Abhängigkeit externer Energiezukäufe erweitert.<sup>62</sup>

<sup>62</sup> Hiermit, aus oben genannten Gründen sowie hinsichtlich technischer und ethischer Hürden schließen sich Stromimporte aus nordafrikanischen Wüstenregionen aus

## 4.4 Die Analogie von Energieangebot und -nachfrage

### 4.4.1 Energieautarkie durch Energiespeicher

Auf Grund der heute etablierten Komfortanforderungen und Nutzungsgewohnheiten gilt, den Gebäudeenergiebedarf weder durch die Rückkehr zu historischen Vorbildern mit ausschließlich passiver Nutzung von Umweltenergie noch durch massivste Einsparoptionen auf den Wert Null zu reduzieren, da dies mindestens einer individuellen Regelbarkeit sowie eines zeitlich unabhängigen Komforts entbehrt. Um den Grad der Klimaneutralität dennoch erreichen zu können, werden verbleibende Restwärme, Kälte- und Elektrizitätsbedarfe gebäudebezogen gedeckt. Hierzu können die oben aufgeführten Energiequellen genutzt werden. Da diese in Mitteleuropa allesamt in ihrem Angebot nicht zeitlich konstant vorliegen bzw. dauerhaft nutzbar gemacht werden können und somit dem saisonal schwankenden Gesamtenergiebedarf von Gebäuden in heizwärmedominierten Klimaten gegenüberstehen (s. bspw. Kapitel 7.8), müssen sie für die Herstellung eines gleichbleibenden Innenraumklimas gespeichert werden. Eine Speicherung vor Ort innerhalb eines energieautarken Systems ist technisch wie ökonomisch aufwendig. Die hauseigenen Energieerzeuger und -speicher werden dabei so dimensioniert, dass eine Versorgung des Gebäudes durchgehend und ohne Beitrag externer Energieträger sichergestellt ist. Im Bereich der Wärmeversorgung bietet die Speicherung passiver Wärmeinträge über Phasenwechselmaterialien (Energiedichte ca. 120 kWh/m<sup>3</sup>) oder der thermischen Masse von Konstruktionselementen auf Grund zu geringer und nicht steuerbarer Speicherkapazitäten keine Möglichkeit ohne aktive Wärmeerzeuger auszukommen [Voss 2011b]. Die saisonale Speicherung von über Solarkollektoren gewonnener Wärme in Wasser-Wärmespeichern (60 kWh/m<sup>3</sup>) erfordert große Volumina und erwirkt damit große Eingriffe in die Gebäudegeometrie (bis zu 10 % des Gebäudevolumens, s. Abbildung 4-2). Hierzu sind allerdings Konzepte am Markt etabliert (s. CH\_53 und Kapitel 8.3.1). Alternative Speichersysteme auf Basis von thermochemischen Substanzen wie Zeolithen ermöglichen durch höhere Energiedichten (bis 500 kWh/m<sup>3</sup>) bzw. Wirkungsgrade verringerte Speichervolumina. Sie sind in der Praxis jedoch ebenso wenig etabliert wie Eisspeicher (ca. 80 kWh/m<sup>3</sup>) [dena 2013]. Letztere werden analog zu bekannten Pufferspeichersystemen durch eine Wärmepumpe geladen, so dass sie dem Gedanken einer Autarkie vom Strombezug widersprechen (s. Seite 245).

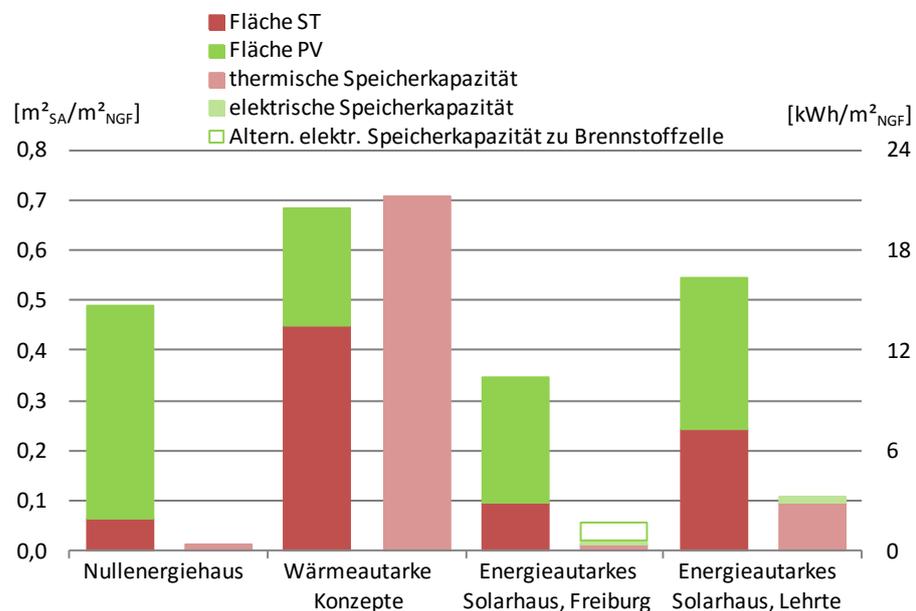
Als alltagstaugliche Option zur Stromspeicherung kommen auf Gebäudeebene bisher lediglich Batterien in Frage. Sie erwirken gegenüber thermischen Speichern kaum Einfluss auf die Architektur von Gebäuden, da sie mit verhältnismäßig geringem (Raum-)Aufwand untergebracht werden können (s. Abbildung 8-32). Allerdings verursachen die Selbstentladung und die Umwandlung von Gleichstrom in den üblicherweise in Gebäuden genutzten Wechselstrom (s. Kapitel 8.1.2) auch bei neueren Generationen und trotz technologischer Fortschritte Verluste. Batterien weisen durch eine geringe Lebensdauer und einen großen Energieaufwand bei der Herstellung noch hohe Kosten- und Umweltbe-

<sup>63</sup> Es ist jedoch zu erwarten, dass auf Grund der verringerten Einspeisevergütung und fallenden Modulpreisen sowie steigenden Strombezugskosten eine Wirtschaftlichkeit in näherer Zukunft eintreten kann. Zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit ist dies nur in Ausnahmefällen mittels der Förderung durch die KfW möglich [BSW 2013b]

lastungen auf [Fisch 2012].<sup>63</sup> Eine saisonale Speicherung von Strom ist daher nur in Ausnahmefällen und Extremlagen, wenn bspw. aus Gründen der Entfernung und damit der Ökonomie auf einen Stromnetzanschluss verzichtet werden soll, eine Option.

Eine Ergänzung bzw. Alternative zum Speichern von Strom in Batterien ist eine permanente Stromerzeugung vor Ort. Sie vermeidet die Gefahr der schädlichen Tiefentladung der Batterien. Hierzu müssen verschiedene Erzeuger wie Photovoltaik-, Windkraft- und mit fossilen oder biogenen Treibstoffen betriebene KWK-Anlagen als Generatoren entsprechend groß dimensioniert und miteinander gekoppelt werden [Voss 2011b]. Durch den Einsatz von Treibstoffen wird der eigentlich autarke Ansatz wiederum aufgehoben, auch wenn die Kraftstoffe „off-line“ angeliefert werden (s. CH\_4). Eine ausgeglichene Energiebilanz kann hierüber ebenfalls nicht erreicht werden, da kein Stromnetz zum Einspeisen von Strom vorhanden und ein darauf basierender bilanzieller Ausgleich möglich ist.

Abbildung 4-2: Größenordnung von Solaranlagen und Speicherkapazitäten bei netzgekoppelten und autarken Ansätzen für Nullenergiegebäude im Einfamilienhausmaßstab. Die Fläche der Solaranlagen (Solarthermie und Photovoltaik) übersteigt beim aktuellen Beispiel des Energieautarken Hauses in Lehrte (s. DE\_71) den Durchschnittswert von netzgekoppelten Gebäuden. Beim Energieautarken Solarhaus in Freiburg (s. DE\_12 - Seite 63) konnten auf Grund der übrigen (technischen) Ausstattung geringere Flächen realisiert werden. Gleiches gilt für die Speicherkapazitäten. Diese sind jedoch bei wärmeautarken Projekten, die allein mit Wärme aus der Sonne bzw. Solaranlagen beheizt werden, deutlich größer



#### 4.5 Das Prinzip der Energiebilanzierung durch Netzkopplung

Um die Technologielücke bei der (Strom-)Speicherung zu umgehen, hat sich das Stromnetz als wirksamste Speicheroption für klimaneutrale Gebäude etabliert. Am Gebäude erzeugter und nicht genutzter Strom wird eingespeist und bei Bedarf zeitlich unabhängig zurückbezogen. Die Aufwendungen und Investitionen für (saisonale) Speicherung, Transport und durchgehende Verfügbarkeit werden auf das Stromnetz übertragen. Möglich und nötig wird der Export von Strom an das Netz üblicherweise bei der Verwendung von Solarstrom- oder KWK-Anlagen sowie bei seltenen, mit Gebäuden direkt gekoppelten Kleinwindkraftanlagen. Je nach lokaler Netzinfrastruktur kann nach einem ähnlichen Prinzip auch überschüssige Wärme, die über Solarkollektoren oder BHKWs am Gebäude erzeugt wird, an Wärmenetze exportiert werden [Voss 2011b]. In der Regel vergrößert dies die Erzeugungskapazitäten über die eigentliche Wärmelast des Gebäudes hinaus (s. Kapitel 8.2, vgl. [Musall 2011e]).



Abbildung 4-3: Beim größten solarbetriebenen Schiff der Welt, der MS Turanor Planet Solar zeigt sich stellvertretend die Auswirkung eines rein auf Sonnenenergie basierenden aber auf Grund einer während des Betriebs nicht möglichen Netzanbindung autarken Ansatzes durch die eine massive Ausweitung der verstellbaren Solaranlagen auf weit über 500 m<sup>2</sup> (120 kW<sub>p</sub>) und einer damit einhergehenden Überformung bzw. tlw. Entfremdung der eigentlichen Schiffsform. Um auch nachts fahren zu können, wird tagsüber generierter Strom in Lithium-Ion-Batterien gespeichert. Quelle Internet, Foto Planet Solar

Die Verbindung mit der Energieinfrastruktur erlaubt neben der Verkleinerung gebäudeeigener Energieerzeuger gegenüber autarken Konzepten sowie dem Verzicht auf große und verlustbehaftete saisonale Energiespeicher auch den Bezug von weiteren Energieträgern wie Wärme aus einem Nah- bzw. Fernwärmenetz, fossilen Brennstoffen oder Biomasse zur Deckung des Wärmebedarfs bzw. im Falle der Kraft-Wärme-Kopplung zur gleichzeitigen Stromerzeugung [Musall 2011f]. Insofern ergibt sich aus dem Anspruch an die Klimaneutralität eines Gebäudes die Notwendigkeit einer Bilanzierung zwischen dem Energieimport- und -export - unabhängig vom Energieträger.

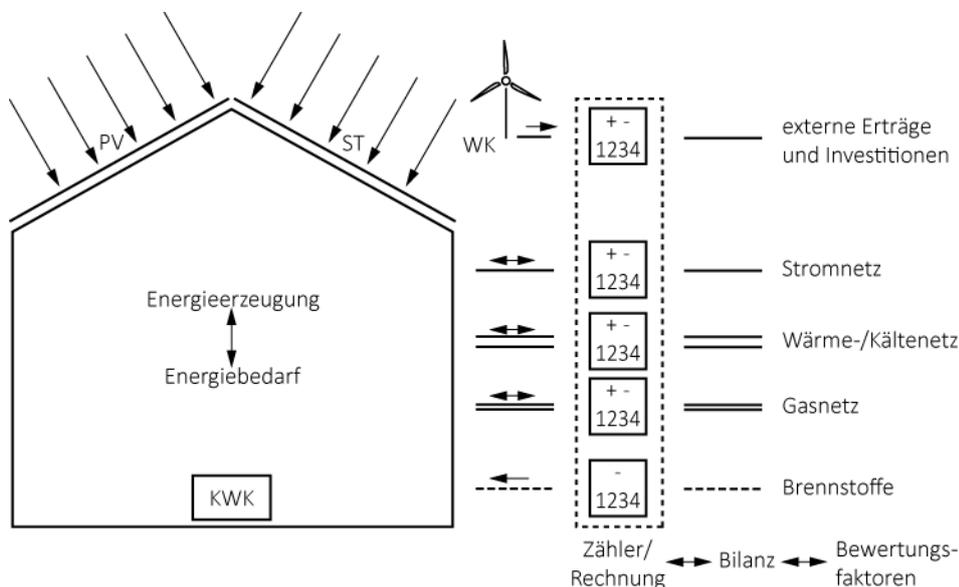


Abbildung 4-4: Allgemeine Darstellung des Bilanzierungsverfahrens zwischen Energiebezug und -einspeisung: Ohne eine komplette Versorgung mit „grüner“ Energie aus der Netzinfrastruktur wird der Nullenergiestandard nur über eine ausgeglichene Jahresbilanz erreicht. Sie wird durch Zusammenführen verschiedener Zähler- bzw. Rechnungsdaten und ggf. eine energieträgerbasierte Umrechnung möglich

Sämtlichen Energiebezügen bzw. -verbräuchen eines Gebäudes und den damit einhergehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen werden die in einem identischen Zeitraum erzielten Gutschriften für lokal erzeugte Energieerträge oder deren Einspeisung in die öffentlichen Versorgungsnetze gegenübergestellt. Das Ziel ist je nach Fokus eine Energie- bzw. Emissionsbilanz mit dem Endresultat Null. Dabei gilt es nicht, die Bilanz permanent auf null zu halten, sondern diese gemäß der doppelten Buchhaltung am Ende des festgelegten Bilanzierungszeitraums zu erreichen. Üblicherweise umfasst der Bilanzierungszeitraum ein vollständiges

Betriebsjahr. Hierüber lässt sich der Begriff Klimaneutralität auch bei der lokalen Verfeuerung fossiler oder biogener Energieträger und damit einhergehenden sichtbaren Emissionen am Schornstein aufrechterhalten. Adaptiert man den Ansatz der deutschen Normung, bedeutet dies eine monatsweise Anrechnung von Energieerträgen bis zur Höhe des monatlichen Gesamtenergiebedarfs auf Endenergieebene. Monatliche Ertragsüberschüsse oder nicht gedeckte Energiebedarfe werden hingegen je Endenergieträger summiert, (primär-energetisch) gewichtet, in eine Jahresprimärenergiebilanz übertragen und hier verrechnet (vgl. Kapitel 3.1.2.4) [Voss 2011d; Sartori 2012].

Priorität hat dabei die direkte Deckung eigener Verbräuche, da nach heutigen Anrechnungsmaßstäben einmal eingespeiste erneuerbare Energie der Steigerung der Quote der erneuerbaren Erzeugung des jeweiligen Energieträgers bzw. -netzes zugeschlagen wird und deren Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Umrechnungsfaktoren gesenkt werden. Eine erneute Anrechnung in der Energiebilanz von Häusern ist insofern (bisher) eine doppelte Gutschrift: Einmal in KEA des Netzes, einmal in der Bilanz des Hauses.<sup>64</sup> Dies beruht auf den Festlegungen in EnEG und EEG (s. Kapitel 3.1.2), die (dezentral) erneuerbar erzeugten Strom vorrangig behandeln und auf der Tatsache, dass der Netzstrom verdrängt bzw. eine herkömmliche Erzeugung substituiert wird. Dennoch stellt das Präferieren der Eigenbedarfsdeckung über die monatliche Bilanzierung vor der Einspeisung nach EnEV bzw. DIN V 18599 einen Kompromiss dar. Ähnliches gilt für das Erwirtschaften jährlicher Energieüberschüsse. Sie sind unter ökologischen Gesichtspunkten richtig, da hierüber gebäudeinduzierte Energieaufwendungen wie die Graue Energie der verwendeten Baustoffe und Anlagen ausgeglichen werden können, oder der persönliche Fußabdruck der Gebäudeeigentümer durch eine Deckung der Energieaufwendungen des Individualverkehrs (durch Elektrofahrzeuge) verringert werden kann. Allerdings ist die Erhöhung der Erzeugungskapazitäten unter dem Gesichtspunkt der doppelten Anrechnung bei gleichzeitig vergrößertem PV-Einsatz architektonisch fragwürdig (s. Kapitel 7.4.2).

Im Zuge der allgemeinen Etablierung dieses Bilanzgedankens hat sich im englischen Wortgebrauch das Präfix „Net“ (dt. netto) vor dem Terminus Zero Energy Building etabliert. Im deutschsprachigen Raum hat sich der Wortlaut Netto-Nullenergiegebäude nicht durchgesetzt, weshalb auf den Vorsatz (auch in dieser Arbeit) weitestgehend verzichtet wird. Die eindeutige, allgemein verständliche, vergleichbare und ggf. messbare Zielgröße „Null“ beinhaltet keinen definierten Energiestandard oder -kennwert und lässt sich damit unabhängig von Gebäudetyp, Nutzung, Bautradition und äußerer Einflüsse wie dem Klima anwenden [Voss 2013]. Wie auch bei bisher in Deutschland genutzten Verordnungen und Verfahren zur Bestimmung des Energiebedarfs von Gebäuden, formuliert der alleinige Anspruch an ein ausgeglichenes Energiesaldo von sich aus erst einmal keinerlei formale Ansprüche an die Architektur und ermöglicht sowohl versorgungs- und gebäudetechnische wie auch gestalterische Freiheiten.<sup>65</sup>

Da die Energiebilanz ein messbares Resultat erbringen soll, wird dort bilanziert, wo in der Gebäudepraxis überprüfbar bzw. in der Planung vergleichbare Energiekennwerte festgestellt werden können - an der Schnittstelle zwischen Gebäude und Energieinfrastruktur (Energieimport/-bezug versus Energieexport/-einspeisung) bzw. durch Gegenüberstellung von Energiebedarf und -ertrag. Passive Energieerträge, Wärmegewinne, Umweltenergie oder solarthermische Wärmeerträge (ohne den Einsatz von Hilfsenergie, wie z.B. bei

<sup>64</sup> Um eine Doppelzählung zu vermeiden, müssten die erneuerbaren Anteile der an Gebäuden installierten PV-Anlagen aus dem allgemeinen Strommix abgezogen (Windanlagen können auf Grund ihrer geringen Anzahl vernachlässigt werden) und die Umrechnungsfaktoren des Netzstroms entsprechend erhöht werden. Allerdings macht die Gesamtleistung der installierten PV-Anlagen bis 30 kW<sub>p</sub>, die hier vereinfacht als Maßstab gebäudegekoppelter Anlagen angenommen werden, in Deutschland weniger als 40 % der PV-Gesamtkapazität aus [DGS 2013] und beträgt der Anteil von PV-Strom im deutschen Strommix lediglich rund 5 % [Wirth 2013]. Insofern kann der Einfluss gebäudegekoppelter PV von ca. 2 % vernachlässigt werden. Im Label „MINER-GIE-A“ (s. Seite 148) darf Solarstrom weder an eine Solarstrombörse verkauft noch eine Einspeisevergütung bezogen werden. Somit wird der Solarstrom allein der Gebäudeenergiebilanz gutgeschrieben

<sup>65</sup> Übrige Anforderungen wie Arbeitsplatzqualität oder Komfortansprüche etc. können bei dem freien Ansatz einer ausgeglichenen Jahresenergiebilanz weiterhin durch andere Verordnungen formuliert werden. Gewohnte Standards bleiben erhalten. Eine mögliche Inakzeptanz durch bspw. Beschneiden von Komfortansprüchen wird somit umgangen

Thermosiphonkollektoren) reduzieren den Energiebedarf des Gebäudes. Sie werden daher als Effizienzmaßnahmen rein auf der Nutzenergieebene betrachtet und gehen nicht in die Berechnung der Energiebilanz ein (s. Abbildung 4-5). Der Einsatz von Hilfsenergie wie bspw. Pumpenstrom wird über die Summe der Hilfsenergie erfasst und bilanziert.

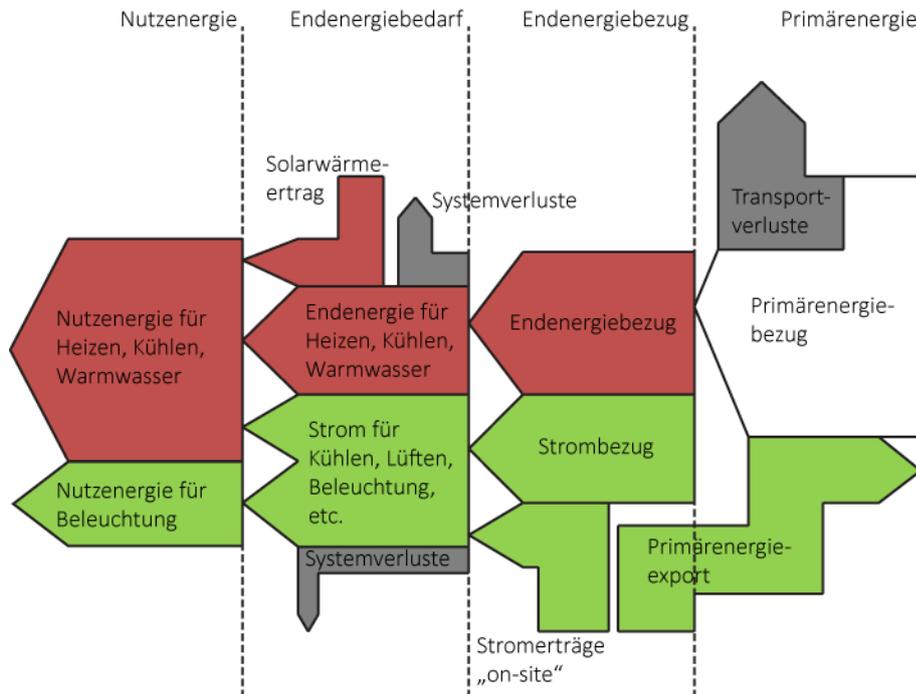
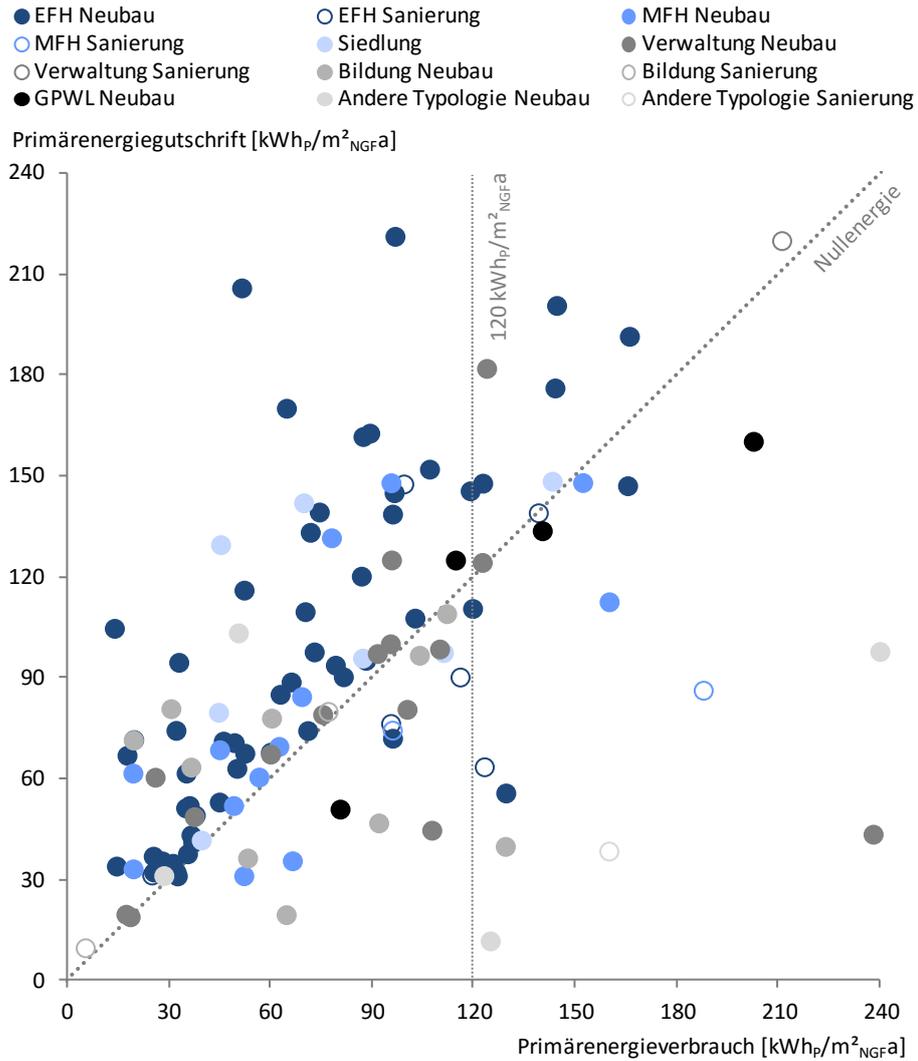


Abbildung 4-5: Verlauf von Nutzenergie, Endenergiebedarf, Endenergiebezug und Primärenergie nach EU-Nomenklatur. Der Zwischenschritt des Energiebedarfs erfolgt, um die Verringerung des Endenergiebedarfs um Solarthermie und den Einsatz der Hilfsenergie auszuweisen. Der Endenergiebezug wird gegenüber dem Endenergiebedarf um eigene Erträge verringert. Quelle frei nach [DIN prEN 15603 2013]

Einem durch das Bilanzprinzip denkbaren bloßen Verharren auf der Energieerzeugung bei Verzicht auf Energieeffizienz wird durch die Wechselbeziehung zwischen Energiebedarf und entsprechendem -ertrag zuvorgekommen. Der Ausgleich von hohen Energieverbräuchen bedingt auch hohe Erzeugungskapazitäten, die am Gebäude installiert und vorgehalten werden müssen. Diese beeinflussen sowohl die Gebäudegestalt als auch die Investitions- und Betriebskosten. Für eine Deckung bzw. einen Ausgleich über Solarenergie stehen in vielen Fällen hierzu nicht genug Dach- und Fassadenflächen bereit (vgl. [Griffith 2007] und s. Kapitel 3.4.2, 8.2.2.1 und 9). Abbildung 4-6 zeigt die Notwendigkeit des (in der Praxis angestrebten) reduzierten Energiebedarfs. Andernfalls bedarf es bei Nullenergiegebäuden hoher Gutschriften. Darüber hinaus widerspricht eine generell begrenzte sowie tlw. schwankende zeitliche Verfügbarkeit vieler (erneuerbarer) Energieträger (s. Abschnitt 4) einem Einsparverzicht und sämtlichen Nachhaltigkeitsaspekten (s. Kapitel 3.2 und 4).

Abbildung 4-6: Die Gegenüberstellung von flächenbezogenen Gesamt-Primärenergieverbräuchen und -gutschriften für am Gebäude erzielte Energieerträge (Projekte aus heizungsdominierten Klimazonen, länderspezifische Primärenergiefaktoren, keine Klimabereinigung) zeigt das Bestreben nach Energieeffizienz von Nullenergiegebäuden. Die vertikale Linie zeigt den Gesamtprimärenergie-Grenzwert des Passivhausstandards, der in vielen Fällen unterschritten wird (Vergleich näherungsweise, da tlw. Abweichungen durch Flächenbezüge bzw. länderspezifische Primärenergiefaktoren).

Einige Gebäude verfehlen die ausgeglichene Bilanz, wenn konzeptionell nur der Ausgleich normativer Verbräuche oder die Anrechnung von „grünem“ Strom vorgesehen war (die Bilanzgrenze in der Abbildung umfasst für alle Gebäude auch die nutzungs-spezifischen Verbräuche, externe Erträge sind nicht aufgeführt). Vgl. [Musall 2012a; Musall 2011d]



Diskussionen über eine Abkehr von der Effizienzstrategie sind auch bei einer ausgeglichenen Energiebilanz unter Einbeziehung von - noch hypothetischen - Verbesserungen insbesondere der netzseitigen Strombereitstellung ein Trugschluss und kontraproduktiv. Erstens sind die Anstrengungen hinsichtlich deutlicher Effizienzsteigerungen im Gebäudesektor bereits in übergeordnete Klima- und Energieszenarien eingeflossen. Und zweitens wirken sich infrastrukturelle Verbesserungen auch auf Effizienzaufwendungen aus. Verbesserte Primärenergiefaktoren für Strom erwirken bspw. ein besseres Verhältnis zwischen der Aufwendung einer Wärmerückgewinnungsanlage und einer entsprechenden Wärmebereitstellung über den Wärmeerzeuger. Im Beispielprojekt „Klee-häuser“ kann durch die WRG im Vergleich mit einem angenommenen Gaskessel etwa die Hälfte an Primärenergie angespart werden. Bei einem fiktiven Primärenergiefaktor von 1 kWh<sub>p</sub>/kWh<sub>e</sub> für Strom wären dies sogar 80 %.<sup>66</sup> Bei Nutzung von Biomasse würde sich das Verhältnis von primärenergetisch weniger rentabel hin zu ausgeglichen wenden. Im Zuge der aufgezeigten Biomasseknappheit, einer (künstlichen) Anhebung des Umrechnungsfaktors oder derzeitiger Einbeziehung des erneuerbaren Anteils durch einen Primärenergiefaktor von 1,2 kWh<sub>p</sub>/kWh<sub>e</sub> ergeben sich ähnlich profitable Ergebnisse wie für den Gasbezug. Bei Nutzung einer Wärmepumpe bliebe die WRG bis zu einem COP der Wärmepumpe von besser als 4,2 primärenergetisch im Vorteil. Generell gilt, dass die WRG vor allem winterliche Wärmebedarfe mindert und damit genau dann wirksam wird, wenn die Energielast steigt (vgl. Abbildung 3-5).<sup>67</sup>

<sup>66</sup> Entgegen der tatsächlichen individuellen Abschaltung in den „Klee Häusern“ wird ein dauerhafter Anlagenluftwechsel von 0,5 1/h angenommen. Die spezifische Lüfterleistung beträgt 0,5 W/m<sup>3</sup>h, der Wärmebereitstellungsgrad 85 %

<sup>67</sup> Zudem erwirkt eine Lüftungsanlage eine Luftfilterung, eine Steigerung des thermischen Komforts durch warme Zulufttemperaturen und bietet durch die kontrollierte Lüftung Schutz vor Tauwasserausfall und Schimmelbildung bei (geforderten) hochgedämmten und luftdichten Gebäuden

Die bilanzielle Gegenüberstellung der zwei Größen Energieinput und -output erscheint simpel. In Anlehnung an die DIN V 18599 gilt folgende Formel:

$$Q = \left| \sum (Q_{gen,j} \times fa_j) \right| - \left| \sum (Q_j \times fa_j) \right|$$

Formel 4-1: Bilanzielle Gegenüberstellung der von Energieaufwand und -ertrag in Anlehnung an DIN V 18599

Dabei ist:

$Q$	Energie bzw. äquivalente CO <sub>2</sub> -Emissionen
$Q_{gen,j}$	Erzeugte Endenergie des Energieträgers $j$
$Q_j$	Endenergie des Energieträgers $j$
$fa_j$	Umrechnungs- bzw. Gewichtungsfaktor des Endenergieträgers $j$
$gen$	Erzeugung

Allerdings erfordert eine konkrete Berechnung der Bilanz weitere Festlegungen, die tlw. bereits durch nationale Verordnungen zur Berechnung des Energiebedarfs vorgegeben sind oder aber ergänzt bzw. neu ausgelegt werden (s. Abbildung 4-7, vgl. [Voss 2010a; Voss 2011d; Sartori 2012]):

- Indikator (Endenergie, Primärenergie, CO<sub>2</sub>-Emissionen, Energiekosten, Exergie, etc.)
- Bewertungsverfahren (nationale oder internationale Umrechnungsfaktoren, zeitvariable Faktoren, symmetrische oder asymmetrische Gewichtung von Energieimport und -export, Einbeziehung des nicht erneuerbaren oder gesamten Anteils am Primärenergieaufwand, berechnete oder politisch gewichtete Faktoren, etc.)
- Bilanzgrenze (Heizung, Warmwasser, Lüftung, Klimatisierung, Beleuchtung, Haushaltsgeräte, EDV, Arbeitshilfen, zentrale Dienste, Elektromobilität, Baustoffe)
- Bilanzrahmen (Einzelgebäude, Grundstück, Siedlung, externe Erzeuger und Investitionen, „grüner“ Strom, CO<sub>2</sub>-Zertifikatehandel)
- Bilanzierungszeitraum (Betriebsjahr, Gesamtnutzungsdauer, Lebenszyklus)
- Bilanzart (Energiebedarf bzw. -verbrauch gegenüber Energieertrag oder Energiebezug gegenüber -einspeisung)
- Quantifizierungsgrößen (Rate der Eigenbedarfsdeckung bzw. Eigenertragsnutzung, Netzinteraktion, Inanspruchnahme des Stromnetzes als Saisonspeicher, Grad des Austauschs von Energieträgern, Anteil der erneuerbaren Energieträger an der Energieversorgung)
- Nebenanforderungen (Energieeffizienzstandards, Energiekennwerte, Bauteilkennwerte, Maximalverbräuche, etc.)

Aktuell werden in der Gebäude- wie auch der Energieforschung auf Grund der Umstellungen von einem mehrheitlich zentral gespeisten Stromnetz zu einer dezentralen Erzeugerstruktur weitere Anforderungen an zukünftige, dann sehr effiziente und Energie-exportierende Gebäude diskutiert. Neben der Eigenbedarfsdeckung, die als Effizienzstrategie zu werten ist, stehen dabei die Netzinteraktion bzw. -konformität, also die Parallelität von Energieexporten des Gebäudes zu Zeiten hoher Lasten oder geringer erneuerbarer Erzeugeranteile im Netz bzw. andersherum Energiebezüge zu Zeiten großer Energieverfügbarkeit, besonders im Fokus. Dem gegenüber stehen zukünftig größere Anteile erneu-

erbare Energie im (Strom-)Netz, womit sich das CO<sub>2</sub>- bzw. Primärenergieäquivalent für den Strombezug verringert bzw. das Prinzip von Nur-Strom-Gebäuden zunehmend angemessener zu beurteilen ist und ggf. die Anforderung an gebäudeeigene Erträge bei langfristig hohen Effizienzsteigerungen sowie allgemeinen Energieeinsparungen verringert wird. Die einzelnen Festlegungen und eine Analyse der konzeptionellen Auswirkungen verschiedener Optionen sind in Kapitel 7 beschrieben.

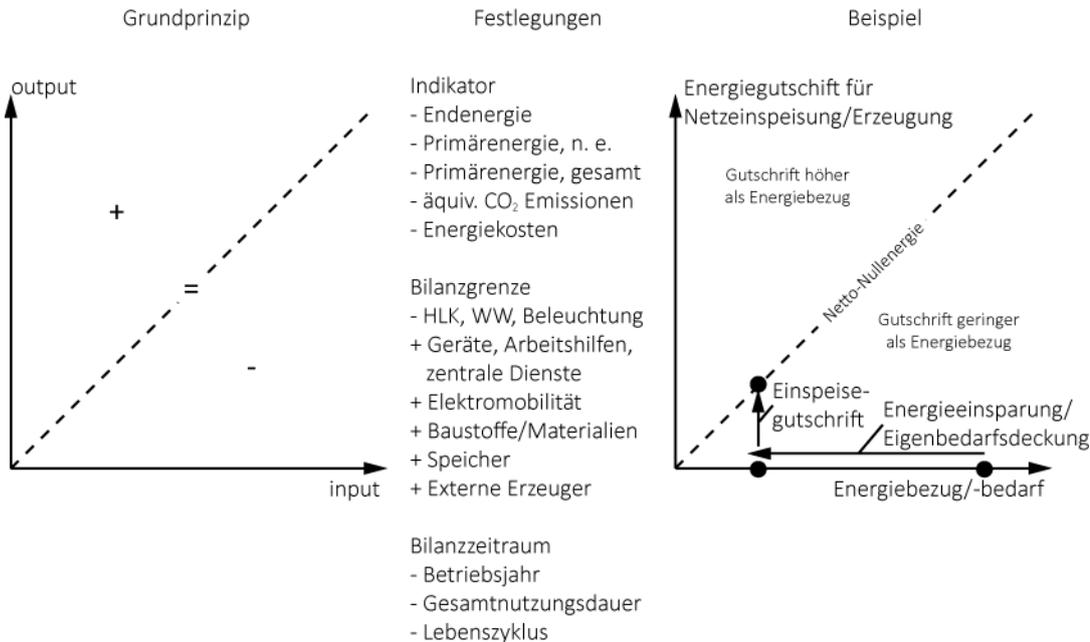


Abbildung 4-7: Grundprinzip, Festlegungen und Bilanzierung von Nullenergiegebäuden. Die Diagonale beschreibt das Ziel eines Netto-Nullenergiegebäudes bzw. das Ergebnis eines Ausgleichs der Energieaufwendungen durch Gutschriften in der Jahresbilanz. Auf der x-Achse kann neben der im Vergleich zur nationalen Normung gesteigerten Energieeffizienz auch die direkte Deckung von Verbräuchen durch eigene Energieerträge am Standort abgetragen werden. Gemäß DIN V 18599 wären dies auf Monatsebene genutzte Erträge (s. Kapitel 3.1.2.4). Verbleibende Gutschriften decken in Richtung der y-Achse verbliebene Bedarfe/Verbräuche. Ergebnisse oberhalb der Diagonalen weisen Plusenergiegebäude aus. Quelle frei nach [Voss 2011a]

#### 4.6 Vom klimaneutralen Gebäude zum Klimaneutralen Gebäudebestand

Auch wenn die Vielzahl an unterschiedlichen bereits realisierten Nullenergiegebäuden zeigt, dass das oben aufgezeigte Prinzip vielfach übertrag- und anwendbar ist [Musall 2013a], bietet nicht jedes Einzelgebäude das Potenzial, dieses Ziel an seinem Standort ökonomisch sinnvoll bzw. architektonisch vertretbar zu erreichen. Unter der Maßgabe des Klimaneutralen Gebäudebestands ist dies jedoch auch nicht die erklärte Absicht. Als besondere Herausforderung zum Erreichen des Ziels eines Klimaneutralen Gebäudebestands gilt die energetische Sanierung bestehender Gebäude (s. Kapitel 1.1.2.1 und 3.4.1). Formale, gestalterische oder andere Gründe verringern die Potenziale zur Einbindung aktiver Solaranlagen und entsprechende Effizienzniveaus (vgl. Kapitel 3.4 und 8). Neben dem Aspekt der Sanierung stehen eine erhöhte Nutzungsdichte, eine besondere Gebäudenutzung, ein (innerstädtischer) Standort mit geringen Einstrahlungspotenzialen oder das Bauordnungsrecht über den Bebauungsplan sowie eine Überlagerung dieser Aspekte einer vollständig ausgeglichenen Energie- bzw. Emissionsbilanz am Standort entgegen. Hier sind besonders innerstädtische Wohngebäude, dichte Mehrfamilienhäuser und große Nichtwohngebäude zu nennen [Musall 2011e].

Während bei der Planung von neuen Nullenergiegebäuden zwischen Energieeinsparungen und entsprechender Erzeugungskapazitäten dahingehend abgewogen werden kann, dass die gestaltrelevanten Parameter wie z.B. die nötige Erzeugung über Solaranlagen, deren Einbindung in Dachflächen sowie damit ihr Einfluss auf die Gebäudegestalt unter der Maßgabe der möglichen Effizienz bzw. des berechneten Energiebedarfs bestimmt werden, sind beide relevanten Schritte bei Sanierungen durch den Standort oder die Gebäudeform stark vorgeprägt. Die nötige Effizienz der Sanierung wird durch die maximal mögliche Erzeugung anhand vorgegebener Parameter (Dachfläche, Ausrichtung, Verschattung, etc.) beeinflusst. Die Maximierung der Erzeugung erfordert mitunter starke formale und häufig nicht realisier- bzw. legitimierbare Eingriffe sowie hohe ökonomische Aufwendungen (s. AT\_19 - Seite 252) [Kagerer 2011]. Um die Bedarfsdeckung nicht - wie oben beschrieben - aus dem Gebäudesektor heraus weiterzugeben, bietet sich neben der Inanspruchnahme von externen aber erneuerbaren Energieträgern wie Biomasse die Kopplung mehrerer Gebäude an. Ein durchgängiges Eigentumsverhältnis und ein fassbarer Akteurs- bzw. Gebäuderahmen bleibt innerhalb der Bilanzierung erhalten, wenn eine Clusterung von Gebäuden mit nahezu ausgeglichenen und positiven Energiebilanzen auf Siedlungs- bzw. Quartiersebene zusammengefasst werden. Da die Energiebilanz an der Siedlungsgrenze erstellt wird, ist ein energetischer Ausgleich der einzelnen Häuser durch lokale, siedlungseigene Netze untereinander möglich (s. DE\_70, Abbildung 7-29 und [Musall 2011c]). Am Beispiel einer Sanierungskonzeption eines Stadtquartiers in Arnsberg [Musall 2009a] wurde im Rahmen einer Siedlungsbilanz das Ziel Nullemission dahingehend erreicht, dass Neubauten mit positiver Energie- und Emissionsbilanz negative Bilanzergebnisse von sanierten Gebäuden mit teils schlechter Ausrichtung zur aktiven Nutzung von Solarenergie ausgleichen. Die Wärmebereitstellung erfolgt über ein Nahwärmenetz mit zentralem und über Holzhackschnitzel gefeuertem BHKW. Auch hierbei bleibt der Gedanke eines Einzelprojekts bestehen, da der zentrale Holzbezug durch ein primärenergetisches bzw. CO<sub>2</sub>-äquivalentes Plus durch einen Stromüberschuss und dessen Export über die Siedlungsgrenze ausgeglichen wird. Durch ein Konglomerat mehrerer Gebäude und gemeinsame Pflichtvoraussetzungen hinsichtlich der Gebäudeeffizienz sowie über das Gemeinschaftsprinzip ergeben sich zudem Chancen hinsichtlich „Efficiency bzw. Economy of Scale“ [BPIE 2011]. Neben vergünstigten Energiebezügen und Investitionen sowie effizienteren Anlagen können ein zentrales Lastmanagement, wirtschaftlichere Speicherlösungen oder emissionsfreie Elektromobilität integriert werden. Dem stehen die nötige Abwägung zwischen einer höheren Dichte mit solaraktiv nutzbaren bzw. unverschatteten Fassaden (s. DE\_5 - Seite 141) sowie organisatorische und rechtliche Fragestellungen bei mehreren Eigentümern und Nutzern gegenüber.

Kann eine direkte (bilanzielle) Kopplung mit anderen Gebäuden nicht erfolgen, bieten kompensatorische Erzeugungsimpulse innerhalb des Gebäudesektors einen weiteren Ausweg. So können externe, nicht genutzte Dachflächen von bspw. Infrastrukturgebäuden, Logistikimmobilien, Sporthallen und -stadion, Supermärkten oder eventuell Kirchen, also vor allem flächigen Gebäuden oder solchen, die im Vergleich zwischen verfügbarer Dachfläche für die PV-Stromerzeugung und ihrer Nutzfläche ein gutes Verhältnis oder aber einen generell niedrigen Energiebedarf aufweisen, als Ersatzfläche genutzt werden.<sup>68</sup> Eine besondere Variante stellt der „Energiebunker“ im Hamburgischen Wilhelmshafen dar (s. Abbildung 4-8). Potenziale für Gewerbe- und Industriegebäude sowie Zweckbauten und öffentliche Einrichtungen weisen bspw. [Wou-

<sup>68</sup> Zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit dienen Stromerträge von Photovoltaikanlagen auf Fußballstadion wie bspw. in Bremen und Freiburg oder der Basketballarena in Oldenburg allein dem verbesserten Emissionsfaktor des deutschen Strommixes und ihren Betreibern bzw. Investoren finanziell

ters 2007; Günthner 2014] aus (s. auch Kapitel 3.4.2 und Abbildung 3-15). Die externen Anlagen müssten dann jedoch im Eigentum des Gebäudebesitzers stehen, dessen Gebäude eine ausgeglichene Bilanz nicht vorweisen kann und dürften eigenen Bilanzzielen der aufnehmenden (Plusenergie-)Gebäude nicht widersprechen.

Abbildung 4-8: Der seit dem zweiten Weltkrieg ungenutzte Bunker in Wilhelmsburg (Hamburg) wurde im Zuge der Internationalen Bauausstellung IBA bis 2013 zum sog. „Energiebunker“ umgebaut und beliefert nun 800 umliegende Wohneinheiten mit Wärme aus einem Biomethan-Blockheizkraftwerk, einem Holzhackschnittzel-Kessel sowie Solarthermieanlagen. Ein 2.000 m<sup>3</sup> großer Wassertank speichert die Wärme zwischen. Mittelfristig sollen 3.000 Wohneinheiten mit Wärme versorgt werden. Auf der Dach- und südliche Fassadenfläche erzeugen Solarstromanlagen auf einer Fläche von 3.000 m<sup>2</sup> Strom. Quelle Internet, Foto IBA Hamburg GmbH / Martin Kunze



Zusätzlich können Gebäude mit niedrigen und gegenüber üblichen Nutzungen wie Wohn-, Gewerbe- oder Verwaltungsbauten antizyklischen Belegungsprofilen (z.B. Sportstätten) ihre zeitlich nur begrenzt genutzten Wärmeerkzeugungskapazitäten ihrem Umfeld über Kraft-Wärme-Kopplung zur Verfügung stellen, wenn sie nicht genutzt werden. Durch ihre hohen Spitzen- aber niedrigen Grundlastkapazitäten bieten sich hier Verknüpfungen zu einer primärenergetisch günstigen Wärmeversorgung und nebenbei vergrößerten Anlagenauslastungen an [Kuehnle 2013]. Probleme bei den oben gezeigten Optionen ergeben sich durch einen mangelnden Durchgriff seitens der Planer und Bauherren der nicht ausreichend selbst versorgbaren Gebäude auf externe Projekte sowie durch mögliche eigene Interessen der kompensatorisch zu nutzenden Gebäude.

Sofern eine eigene Versorgung, baukonstruktive Voraussetzungen oder auch Marketingaspekte eine Investition in externe Erzeugungsanlagen nicht zulassen (s. Kapitel 5.2), müssen in letzter Instanz Lösungen außerhalb des Immobiliensektors gefunden werden. Bekannte und bereits realisierte Nullenergiegebäude beziehen Erträge aus (anteilig) finanzierten Windparks als Gutschrift in ihre Energiebilanz ein (s. Seite 95) [Musall 2011f]. Weitergehende Szenarien führen einen „Ablass“ durch Investitionen in die lokale oder allgemeine Energieinfrastruktur, externe Energieeinsparmaßnahmen, Aufforstungsprojekten oder den Kauf von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten mit der Gebäudebilanz zusammen [Voss 2011b]. Da diese Optionen als Beitrag innerhalb der öffentlichen und allgemeinen Stromerzeugung zu sehen sind (vgl. Kapitel 3.2 und 4), und um eigene Handlungsspielräume und Verantwortlichkeiten nicht abzutreten, müssten zusätzliche erneuerbare Erzeugungskapazitäten, deren Erträge und Investitionen allein mit dem jeweiligen Bauprojekt in Verbindung stehen, hinzukommen. Dies würde dem Prinzip der Grünausgleichsfläche folgen, welches laut Bundesnaturschutz-

gesetz (BNatSchG) und Baugesetzbuch (BauGB) Beeinträchtigungen und Folgen von Eingriffen in Natur und Landschaft vermeiden bzw. funktional ausgleichen soll [BauGB 2005; BNatSchG 2013]. Grundgedanke hierzu stellt ein grundsätzliches Verschlechterungsverbot für Natur und Landschaft bei baulichen Maßnahmen dar. Hiernach dürften die zusätzlichen Erzeugungskapazitäten für erneuerbare Energie nicht in allgemeine Berechnungen z.B. des Strommixes einbezogen bzw. primärenergetisch oder auf Basis von Treibhausgasemissionen verrechnet werden.

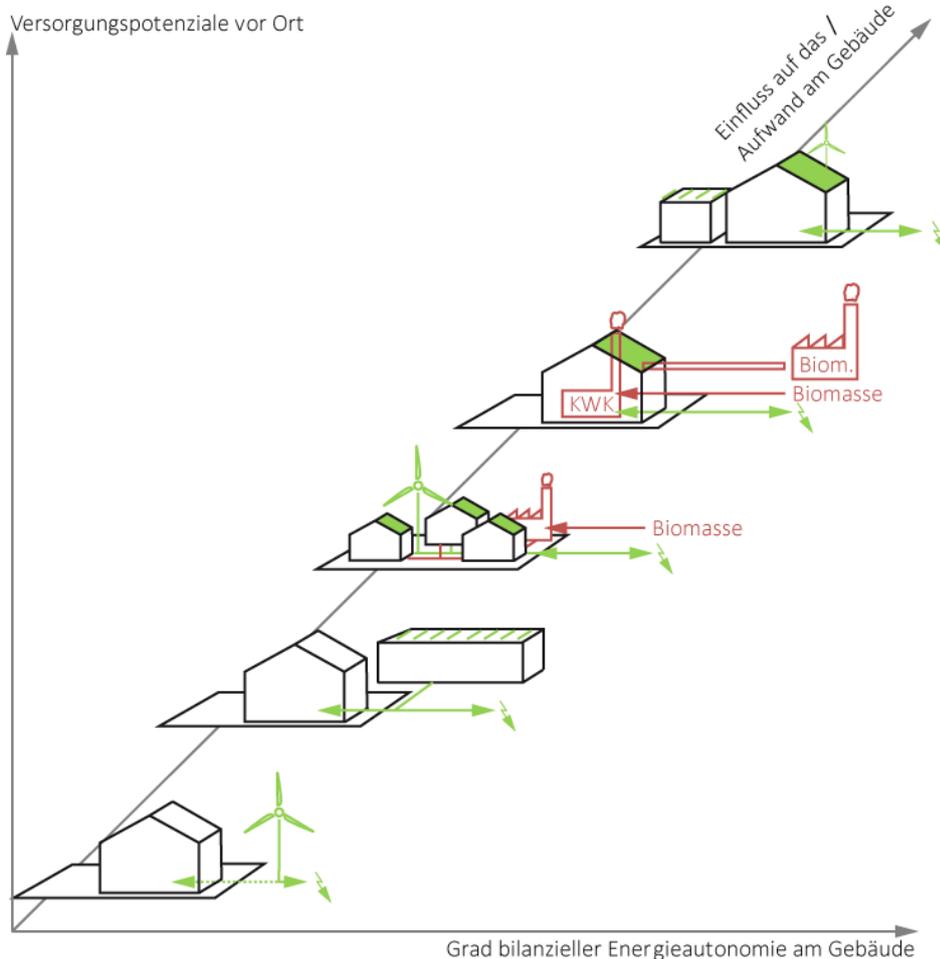


Abbildung 4-9: Konzepte zum Erreichen ausgeglichener Energiebilanzen in Abhängigkeit von Versorgungspotenzialen am Gebäude

Der Klimaneutrale Gebäudebestand wird sich vornehmlich aus einer Vielzahl von effizienten Einzelprojekten mit einer jeweils ausgeglichenen Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Emissionsbilanz oder zumindest sehr geringen Restenergiebedarfen zusammensetzen. Dabei kann die Bilanzierung auf der Ebene einzelner Gebäude, Quartiere, Siedlungen oder in Ausnahmen auf kommunaler Ebene stattfinden. Alle Projekte sind über die öffentliche Energieinfrastruktur verbunden, profitieren von deren Steigerung hinsichtlich der Quote erneuerbarer Energien aber treiben deren Steigerung auch selbst an. Durch die Kopplung mit der Infrastruktur und die indikatorbasierte Bilanzierung bleiben auch fossil getriebene KWK-Anlagen unter der Maßgabe Klimaneutraler Gebäudebestand denkbar, da ihr Brennstoffbedarf nach außen ausgeglichen wird. Während der Übergangsphase (bis zum Jahr 2050) kann eine signifikante Minderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes von Gebäuden nur über einen Energieträgermix bzw. technologische Offenheit erreicht werden (s. Kapitel 3.2). Die Wärmeversorgung auf Basis von Biomasse ist eine mögliche Alternative für eine klimafreundliche Wärmebereitstellung. In Bezug auf die Übertragbarkeit auf den Gebäudebestand behält dies zudem gestalterische Freiheiten bei. Dabei gilt es jedoch, den Pfad der Energieeinsa-

rung konsequent zu verfolgen und Effizienzsteigerungspotenziale zu heben. Nur dann können größerer Anteile der Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung der Biomasse für eine zeitlich befristete Übergangsphase verantwortungsvoll übergeben werden.

Im Zuge der Energiewende wird der Ausbau der erneuerbaren Energien mit dem Schwerpunkt auf dem Stromnetz ausgeweitet. Anforderungen an die gebäudeeigene Energieerzeugung können sich aber nur dann verringern, wenn in Energielandschaften genügend Kapazitäten entstehen, um Gebäude von extern zu versorgen. Anforderungen an die Energieeffizienz hingegen werden bestehen bleiben bzw. im Fall der Lastverschiebung steigen. Aus diesem Grund wird im Verlauf der Arbeit vom Nullenergiegebäude gesprochen und primär die Auswirkung des Einzelgebäudeansatzes betrachtet, auch wenn der methodische Ansatz grundsätzlich auf ein Nahezu- oder Plusenergiegebäude im Kontext eines Zusammenschluss mit mehreren Gebäuden auf Siedlungs- oder Infrastrukturebene übertragen werden kann.

Für Planer bedeutet der Übergriff der Energiewende auf die Gebäude vor allem die vor Ort gegebenen Energiepotenziale zu nutzen, zu aktivieren und gestalterisch einzubinden. Die Gedanken zum Bezug eines Hauses zu seiner Umgebung sind ggf. neu zu interpretieren (vgl. Kapitel 5.1.3) und noch einmal zu erweitern. Die energetische Verbindung zur direkten Umwelt bleibt nicht mehr auf Licht- und Wärmeeinfall beschränkt. Neben dem Schutz vor Umwelteinflüssen werden diese nun aktiv in integrale Gebäudekonzepte eingebettet.

Für Nutzer ergibt die Umsetzung von Nullenergiegebäuden in erster Linie eine Loslösung von profitorientierten Großversorgern und eine Abkehr vom reinen Verbraucherimage hin zum „Beitragsleistenden“. Atomenergie und Treibhausgasemissionen müssen nicht mehr nur abgelehnt werden, sondern können nun selbst aktiv verdrängt werden. Veränderungen im Nutzerverhalten tragen zu verringerten Energieverbräuchen bei. Sie sind daher ein Baustein der Effizienzstrategie, stehen aber auch nicht unverhältnismäßig gegenüber bestehenden Kenntnissen und Bemühungen zur Reduzierung der Energiekosten.

# Kapitel 5

## Architekturhistorische Entwicklung und Vorläufer heutiger Nullenergiegebäude

Wegbereiter und Umwege auf dem Weg zu heutigen Nullenergiegebäuden

Die Generation Nullenergiegebäude



## 5 Architekturhistorische Entwicklung und Vorläufer heutiger Nullenergiegebäude

### 5.1 Wegbereiter und Umwege auf dem Weg zu heutigen Nullenergiegebäuden

Nullenergiegebäude sind - wie in den Kapiteln 4, 5 und 8 beschrieben - vornehmlich hocheffiziente Häuser mit einem üblichen Anspruch an einen ganzjährig guten Komfort und einer eigenen Energieerzeugung. Auf Seite der Energieeffizienz werden sämtliche Disziplinen des effizienten und Solaren Bauens zusammengeführt. Diese sind zurückzuführen auf unterschiedlichste klimatische, energetische, politische und ökonomische Anlässe und werden tlw. bereits seit Jahrtausenden von autochthonen Bevölkerungsgruppen weltweit und mittels der vor Ort zur Verfügung stehenden Materialien fortwährend (weiter-)entwickelt. Dabei ist es stets eine primäre Aufgabe, Wind, Regen, Kälte oder Hitze abzuhalten bzw. Sonne, Wärme und kühle Luft einzufangen sowie im Innern zu halten. Daher reagiert die formale Ausgestaltung von anfangs Hütten, Zelten oder Höhlen bis hin zu heute Häusern stets auf lokale Klimagegebenheiten. Gerade die sog. anonyme Architektur richtet sich (mangels Infrastruktur) auf passiv energetische Aspekte hin aus. Dabei werden formale und konstruktive Aspekte energetischen Aspekten eindeutig untergeordnet [Rudofsky 1989]. Bspw. ermöglicht die thermische Trägheit von massiven Gesteinhöhlen in mediterranen Klimaten über den Jahresverlauf nahezu gleichbleibende und angenehme Innenraumtemperaturen sowie eine hohe relative Luftfeuchte. In Regionen mit Außentemperaturen von über 40° C dienen leichte Zeltstrukturen, Lüftungskamine oder Windtürme der Durchlüftung und (Verdunstungs-)Kühlung [Gonzalo 2006; Siems 2011]. Eine geringe Transparenz vermeidet übermäßige Sonneneinstrahlung und Überhitzung. In kühlen und niederschlagsreichen Regionen haben sich mehrheitlich geschlossene Fassaden bewährt, während die dem Äquator zugewandten Fenster Licht und vor allem Wärme einfangen und diese zugleich im Innern halten. Schrägdächer mit Überständen variieren in ihrer Neigung, um Regen und Schneemassen abzuführen [Treberspurg 1999a]. Konkret formuliert der griechische Philosoph Sokrates bereits um 400 vor Christus für die Weiterentwicklung des einfachen Megaron-Hauses erste und noch heute gültige Prinzipien für das Bauen mit der Sonne bzw. zur Komfortsteigerung durch Nutzung vorhandener Umwelteinflüsse:

*Und von Häusern meinte er, daß sie gleichzeitig schön und nützlich seien, [...] Wer ein Haus haben will, wie es sein soll, muß der es wohl so einrichten, daß das Wohnen darin besonders angenehm und besonders zuträglich sein wird? [...] Ist es nun nicht angenehm, im Sommer ein kühles Haus zu haben, im Winter aber ein warmes? [...] Scheint nun nicht bei den gegen Süden liegenden Häusern im Winter die Sonne in die Hallen hinein, während sie im Sommer über uns selbst und die Dächer hinweggeht und Schatten spendet? Muss man also nicht, wenn dies derart in der rechten Weise geschehen soll, die Häuser auf der gegen Süden zu gelegenen Seite höher bauen, damit im Winter die Sonne nicht gehindert wird, die nach Norden zu gelegenen Seite dagegen niedriger, damit die kalten Winde nicht eindringen können?*

[Xenophon 1962]

Aufgenommen werden Sokrates' Gedanken damals bspw. im Zuge der Stadterweiterung des griechischen Olynths oder der Erbauung der Solarstadt Priene [Behling 1996]. Sie spielen aber noch heute bei aktuellen (Solar- und Passiv-)Häusern und Entwicklungen eine wichtige Rolle (s. Abschnitt 5.1.3).

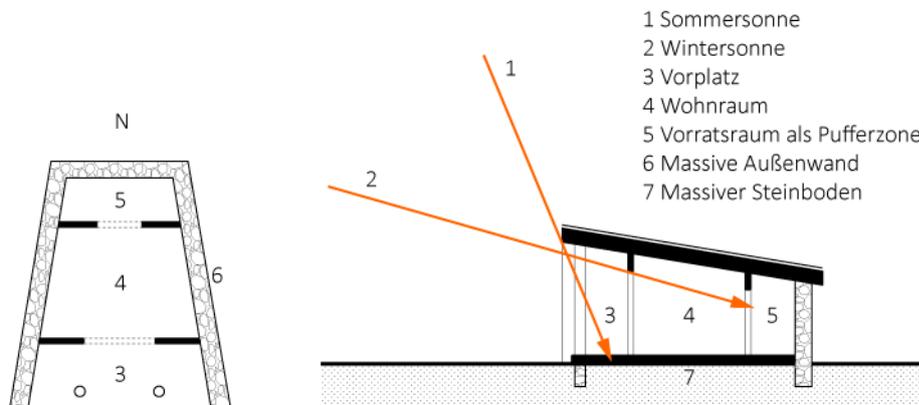


Abbildung 5-1: Das kompakte Megaron-Haus soll laut Sokrates einen trapezförmigen Grundriss, einen trichterförmigen Schnitt und damit eine stark verkleinerte, der Sonne abgewandte, kühle Nordseite samt Vorratsraum aufweisen. Der Wohnbereich an der Südseite erhält hingegen eine große und geöffnete Fassade samt Vorhalle. Während die massive Steinbauweise die Wärme der tief einstrahlenden Wintersonne speichert, soll der südseitige Dachüberstand die Einstrahlung der hochstehenden Sommersonne vermeiden. Quelle frei nach [Behling 1996; Treberspurg 1999a], ohne Maßstab

### 5.1.1 Solares Bauen als Forschungsdisziplin

Während zwischen der Antike und der Mitte des 20. Jahrhunderts eine (effizienter werdende) Wärme- und zuweilen Kältebereitstellung nach und nach die passiven Strategien ergänzt und dabei - oft mit zeitlicher Verzögerung - (lokal) schwankenden Energie- und Rohstoffverfügbarkeiten durch Technologie- und Materialentwicklungen folgt bzw. Gebäudekonzepte hierauf reagieren,<sup>69</sup> fehlen aktive Systeme für die gebäudeeigene Energieerzeugung und den bilanziellen Ausgleich der (verbleibenden) Energiebezüge. Nullenergiegebäude im heutigen Sinne sind daher lange nicht möglich. 1933 nimmt der Architekt George Fred Keck mit dem ursprünglich für die Ausstellung „Century of Progress“ in Chicago errichteten „House of Tomorrow“ (Beverly Shores, US) den Gedanken eines Gebäudebetriebs ohne Energieaufwand vorweg. Mit dem zwölfseitigen und nahezu vollverglasten Aluminiumleichtbau erbringt er den Nachweis, dass das Heizen von „heutigen“ Häusern auch in kühlen Klimaten allein mit der Sonne möglich ist.<sup>70</sup> Allerdings führen die nicht offenbaren Fenster der Vorhangfassade zu unangenehm warmen Innenraumtemperaturen und einer Überlastung der Klimaanlage zu Zeiten großer Sonneneinstrahlung [Collins 2002].

Mit dem Kollaps der Weimarer Republik und in Folge des Zweiten Weltkriegs kommt in Europa nahezu sämtliche zivile Bautätigkeit zum Erliegen. Die Entwicklungen der Moderne werden unterbrochen. Solar geprägte Gebäude(-konzepte) gelten im Nazi-Regime als kommunistisch. Das Solare Bauen und entsprechende Entwicklungen beschränken sich vorerst auf Nordamerika, wo die Industrieexpansion und niedrige Hypothekenzinsen den Traum vom Eigenheim im Grünen begünstigen. Dabei führt die kriegsbedingte Verunsicherung auf dem Energiemarkt zu einem Boom solar geheizter Häuser nach dem Vorbild von Kecks „Solar House“ und - in sonnenreichen Regionen - solaren Warmwassersystemen. Klimatisch begünstigt ergeben sich eine Vielzahl von

<sup>69</sup> s. hierzu bspw. [Passipedia 2012; Frampton 2001; Butti 1980; Klein 1934; Roth 2001; Behling 1996]

<sup>70</sup> Das nicht ökologische Motive im Vordergrund stehen, wird durch den hauseigenen Flugzeughanga im Erdgeschoss deutlich

sog. „Nullheizenergiehäuser“, wobei dies mindestens auf Grund der nötigen temporären Warmwassererzeugung - eine saisonale Wärmespeicherung war nicht vorgesehen - meist keine vollständige Freiheit von Wärmeerzeugern bedeuten kann. Mit dem Ende der traditionellen Stadt bzw. der Auswucherung der Vorstädte mündet eine fehlende Differenzierung lokaler klimatischer Gegebenheiten analog zu den Entwicklungen des International Style (s. Randnotiz Seite 7) bei vielen Fertighäusern jedoch häufig in unangepassten Fenstergrößen bzw. mangelndem Sonnenschutz. In die Enttäuschung über die Überhitzung der typischen Leichtbauten und Komforteinbußen in den Übergangszeiten stoßen sinkende Energiepreise der zu dieser Zeit unermesslich scheinenden „neuen Energien“ Gas, Öl und Atomstrom. Weder Energieverbrauch noch -kosten spielen eine wichtige Rolle. Die Nachfrage nach natürlich geheizten Häusern, teurer Doppelverglasung und Solaranlagen wird von elektrischen Wärme- und Warmwassererzeugern verdrängt [Butti 1980]. In der Folge löst sich das Solare Bauen nahezu komplett von der übrigen Architekturentwicklung in ein Nischendasein. Allein der Forschergeist treibt in dieser Zeit weitere Entwicklungen bei der Energieeinsparung und vor allem der Energiegewinnung am Gebäude voran. Dabei dominieren großflächige Solaranlagen und andere Technik die Kubatur, Orientierung und (Fassaden-)Gestalt sowie tlw. die Konstruktion der Experimentalgebäude. Einer architekturästhetischen Auseinandersetzung bedarf es wegen der mangelnden Nachfrage im Bausektor nicht.

Die vier „Solar Houses“ des Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.), die zwischen 1940 und -62 errichtet werden, stehen stellvertretend für Solarhäuser, die eine möglichst weitreichende oder gar unabhängige Wärmeversorgung durch solarthermische Systeme anstreben. Dieses Potenzial wird im ersten Experimentalgebäude des M.I.T. unter der Leitung von Hoyt Hottel mit einer saisonalen Wärmespeicherung getestet und ökonomisch bewertet. Das 30° geneigte Dach des südorientierten Hauses<sup>71</sup> wird dazu über das eigentliche Gebäudevolumen hinaus verlängert (s. Abbildung 5-2) und vollflächig mit 14 je 2,7 m<sup>2</sup> großen thermischen Kollektoren belegt. Sie speisen einen knapp 66.000 l fassenden Wasserspeicher, der samt seiner 60 cm dicken Dämmung den gesamten Keller des bewohnbaren Labors einnimmt. Mittels Ventilatoren wird kalte Raumluft über den oberen Teil des Speichers und dann in die Räume geblasen. Ein Verfahren, das Hottel als technisch machbar jedoch unwirtschaftlich beschreibt [Butti 1980].

<sup>71</sup> Auf Grund eines Kompassfehlers ist es um 7° aus der optimalen Südrichtung herausgedreht

Abbildung 5-2: Das „Solar House I“ des M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology) von 1940. Quelle [Butti 1980], Foto M.I.T. Historical Collections



Ähnliche Ergebnisse liefert auch das „Solar House II“ des M.I.T. (Massachusetts, US, 1944, u.a. George Löf), bei dem erstmals die bereits seit den 1880er Jahren bekannten Luftkollektoren großflächig (47 m<sup>2</sup>) in ein Gebäudedach eingebunden werden und die Wärmespeicherung über sechs Tonnen Kies in einer Grube im Garten des bewohnten Hauses erfolgt. Dem angenommenen Vorteil geringeren Aufwands zur Einbindung der Luftkollektoren bei gleichzeitiger Warmluftheizung sowie geringerer Frostsicherung steht erneut eine geringe (ökonomische) Effizienz gegenüber. Auf Basis dieser Testgebäude und gewonnener Erkenntnisse entstehen verbesserte Kollektoren und Wärmespeicher, Aufzeichnungen über das Nutzerverhalten und Innovationen wie die erstmalige Kopplung eines Gaskessels an die Warmluftversorgung. Im sechsten M.I.T. Solarhaus, dem „Dover Sun House“ (Boston, US) verbindet das Team um die Architektin Eleanor Raymond 1948 aktive und passive Solarenergienutzung. Die Kombination von großen Glasflächen, einem Luftkollektor, der die gesamte 23 m lange südliche Obergeschossfassade einnimmt, und einem 13 m<sup>3</sup> großen Glaubersalzspeicher ermöglicht es, das Haus drei Jahre lang durchgängig und ausschließlich durch Sonnenenergie zu heizen [Lee 1977; Butti 1980; Schoof 2011]. Formal unterstützt das Haus das solare Konzept durch einen langgestreckten Baukörper, dessen Hauptfassade gen Süden orientiert und durch eine Pultdachform vergrößert wird - ein Vorreiter häutiger Nullenergiegebäude (s. Kapitel 9).

### 5.1.2 Die solare Renaissance während der Postmoderne

Während Ölimporte und die Euphorie über den als grenzenlos verfügbar erscheinenden Atomstrom Gedanken an Solarenergie in Europa und Nordamerika verdrängen, entsteht in weniger mit eigenen Energieressourcen ausgestatteten oder von Importembargos betroffenen Ländern wie Japan, Israel oder Australien ab den 1950er Jahren eine erste solare Renaissance. Millionenfach werden unabhängig nutzbare Solarkollektoren gefordert, gefördert und installiert [Butti 1980]. In Deutschland werden erst durch die Kritik am etablierten System in den späten 1960er Jahren Veränderungen für den Baubereich gefordert. Ängste gegenüber der Atomenergie und sich abzeichnende Umweltprobleme durch den verschwenderischen Ölkonsum werfen alternative Gedanken für ein ökologisch verträgliches Bauen, nachhaltigen Materialeinsatz und einen ressourcenschonenden Betrieb auf [Kaltenbrunner 2008]. Eine grundlegende Wendung bewirkt die Ölkrise im Jahr 1973. Sie zeigt den Industriestaaten ihre massive Abhängigkeit von unsicheren Öl- und Gasimporten aus arabischen Staaten sowie die Endlichkeit der Energieressourcen auf. Zudem scheinen sich die Warnungen des „Club of Rome“ bezüglich einer Delle im Wirtschaftswachstum aus dem Vorjahr zu bestätigen. Es folgt eine vielfältige Rückbesinnung auf natürliche Materialien und lokal verfügbare, regenerative Energiequellen. Sämtliche Bereiche und Akteure des Bausektors greifen die neue Aufgabenstellung auf:

Aus der Zivilisationsskepsis der sozialen Bewegung der 1960er Jahre überträgt sich der Wunsch der Unabhängigkeit auf die Gebäude der alternativen Szene. Steve Baers Energieautarkes Wohnhaus (Corrales, US, 1972, s. Abbildung 5-3) ist durch diese Ansprüche extrem geprägt und bildet den Höhepunkt der „bauenden Hippiebewegung“ in den USA. Das Haus basiert auf Ideen der M.I.T. Häuser (s. Abschnitt 5.1.2), wobei Baer versucht, die Gewinnung, Speicherung und zeitverzögerte Abgabe von Solarwärme in einem einfachen System zu vereinen. Er stapelt dazu schwarz gestrichene und mit Wasser gefüllte Metallfäs-

<sup>72</sup> An einer Utopie dieses Genres wird seit den 1970er Jahren in Arizona (USA) gebaut. Der Architekt Paolo Soleri bildet in seiner Vision „Arcosanti“ eine Einheit aus Architektur und Ökologie auf Basis einer Kleinstadt (Arcology aus *architecture* und *ecology*, dt. Arkologie). An ihr wird bis heute gebaut. Die wenigen fertiggestellten, bewusst kompakten Baukörper sind sehr auf den Ort bezogen, esoterisch abstrakt und sowohl mit antiken Mustern als auch mit modernen Gestaltelementen gestaltet. Das Konzept der solaren Beheizung über Gewächshäuser konnte bisher nicht realisiert werden [Soleri 2013].

<sup>73</sup> Dem bereits 1881 durch Edward Morse patentierten Prinzip folgend, speichert eine massive, 60 cm dicke und schwarz gestrichene Mauer Solarwärme, die durch eine vorgesetzte Glasfassade fällt. Bis zu 40 % des Heizwärmebedarfs können hierüber passiv gewonnen bzw. eingespart werden [Butti 1980]

Abbildung 5-3: Steve Baers Energieautarkes Wohnhaus in New Mexiko USA mit heruntergelassenen „Fassadenspiegeln“. Quelle Internet, Foto Jon Naar

ser hinter einfachverglasten Südfensterfassaden im Hausinnern und gewinnt bzw. speichert hierüber genug Wärme, um kalte Nächte zu überbrücken. Gedämmte Außenwände, die mit einer spiegelnden Innenseite tagsüber zur Steigerung der Sonneneinstrahlung manuell auf den Boden vor die Glasfassaden geklappt werden können, verhindern im eingeklappten Zustand eine Abstrahlung der warmen Fässer gegen den Nachthimmel und damit ein schnelles Auskühlen. Im Innern wird bei Bedarf eine große Wärmeabstrahlung durch Vorhänge verhindert. Lehmwände und Betonböden speichern Wärme. Als back-up stehen Holzöfen bereit [Mazria 1979; Gonzalo 2006].<sup>72</sup>

Bear greift Ideen des Forschers und Chemikers Félix Trombe auf, der 1967 im „Trombe-Solarhaus“ (Odeillo, FR, 1967, Jacques Michel) die von ihm entwickelte Trombe-Wand als solaren Luftkollektor integriert hatte.<sup>73</sup>



In den 1960er bis -90er Jahre liefern sich nun auch in Europa verschiedenste Forschungsinstitutionen, Visionäre aller Fachdisziplinen sowie Architekten einen Wettlauf bei der Integration passiver Konzepte und aktiver Systeme. Wie bei den genannten Beispielen dienen die Gebäude dabei jedoch eher als experimenteller Prüfstand für zu erprobende Systeme. Eine kritische Bewertung formaler wie gestalterischer Konsequenzen bleibt häufig aus. Strukturelle oder formal-effiziente Ansätze wie Jahre zuvor bereits durch den Architekten Alexander Klein erdacht (s. Randnotiz Seite 42 und [Klein 1934]), werden zwar wissenschaftlich publiziert (s. bspw. Proportionsstudien nach [Olyay 1973] und [Knowles 1974]), finden aber nur beiläufig Beachtung in der Umsetzung. Bei vorwiegender Konzentration auf die Reduzierung oder sogar vollständige eigene Deckung des Heizenergie- und Warmwasserbedarfs mittels großer thermi-

scher Speicher entstehen verschiedenste Projekte mit unterschiedlichsten Bezeichnungen wie „Minimalenergiehaus“, „Niedrig- oder Niedrigstenergiehaus“, „Super-Niedrigenergiehaus“ und schließlich „Kybernetik- oder KlimaHaus“. Sie nehmen bereits einige Schwerpunkte des Passivhausansatzes (s. Seite 71) vorweg.

Einer der wichtigsten Wegbereiter auf dem Weg zu Nullenergiegebäuden ist das im dänischen Lyngby realisierte „DTH-Nul-Energihus“ (1973, u.a. Knud Peter Harboe, Vagn Korsgaard). Aufbauend auf wissenschaftlichen Berechnungen der Dänischen Technischen Hochschule in Kopenhagen ergeben sich zwei je 60 m<sup>2</sup> große Wohnkuben, die durch ein 70 m<sup>2</sup> großes, nicht aktiv beheiztes und verglastes Atrium miteinander verbunden bzw. voneinander getrennt werden. Die vorgefertigten Sandwichpaneele der Wohnblöcke wurden im Fassadenbereich mit 30 cm bzw. im Boden- und Dachbereich mit 40 cm Mineralwolle und somit für diese Zeit außergewöhnlich stark gedämmt. Die doppelverglasten Fenster erhalten gedämmte Rollos, um Wärmeverluste während der Nacht zu verringern sowie um die südwärts gerichteten Fenster verschatten zu können. Wärmerückgewinnungssysteme in der Abwasserführung (Effizienzgrad 50 %) und der Lüftungsanlage (80 %) reduzieren Wärmeverluste. Das Dach des Atriums wird deutlich überhöht, um in der Südfassade die insgesamt 42 m<sup>2</sup> große solarthermische Kollektoranlage einbringen zu können. Sie speist einen 30 m<sup>3</sup> großen Pufferspeicher (plus Dämmung von umlaufend 60 cm Mineralwolle) und stellt hierüber das Wärme und Warmwasser bereit. Eine Wärmepumpe dient als back-up-Heizsystem [Esbensen 1977]. Das Ziel eines „Nullheizenergiehaus“ wird nicht erreicht. Dennoch werden umfangreichen Messungen mit realen Wohnerfahrungen verbunden [Korsgaard 1976]. Das Haus dient mit verringerter Anlagenausstattung bis heute als Gästehaus der TU Kopenhagen.

Im boomenden Bausektor der 1970er Jahre, der vor allem in Deutschland einen Massenmarkt zu bedienen hatte und aus heutiger Sicht häufig architektonischen Qualitäten entbehrt (s. Kapitel 3.4), zieht die Steigerung der Energiekosten die Nachfrage nach Energieeinsparung erst zeitversetzt nach sich. Das 1974 mit Forschungsmitteln realisierte Philips-Experimentierhaus (Aachen, DE) gibt erstmals Rückschlüsse über den Einsatz und Nutzen von großen Dämmstärken (U-Werte um 0,14 W/m<sup>2</sup>K), einer mechanischen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG ca. 90 %), einer thermischen Solaranlage sowie einer Wärmepumpe samt zwei Erdwärmetauschern. Die Erkenntnisse eines sehr geringen Heizwärmeverbrauchs von unter 30 kWh/m<sup>2</sup>a weisen diese Maßnahmen als wegbereitenden Schritt zu erhöhter Energieeffizienz aus und dienen zudem als Abgleichsmöglichkeit computerbasierter Modellrechnungen. Als bedeutendste Ergebnisse werden die Fenster als Schwachstelle im Vergleich zu den gedämmten Außenwänden und - auf Grund des enormen Heizwärmeeinsparpotenzials im Vergleich zu herkömmlichen Wohnhäusern - der Bedarf an sehr kleinen, bisher nicht verfügbaren Heizgeräten genannt. Die mögliche Deckung des geringen Restenergiebedarfs über die Versuchs-Vakuumkollektoren und Wärmepumpen entlockt den beteiligten Forschern zudem Ideen eines bilanziellen Nullenergiehauses [Hörster 1980; Steinmüller 2008].

Während die Systeme des Experimentierhauses bewusst in ein übliches Fertighaus mit Satteldach integriert werden, vollführt der Architekt Thomas Herzog zum Ende der 1970er Jahre und damit zum Ausgang des Plattenbaus und Waschbetons in Westdeutschland nennenswerte Synergien zwischen Architektur- und Energiekonzept. Auch wenn er dabei keine ausgeglichene Energiebi-

lanz verfolgt, veranschaulicht er das Zusammenfügen vieler bekannter Disziplinen des Solaren Bauens mit bzw. in einer neuen Gestaltqualität. Einerseits bedient er sich dazu bekannter Muster der Glasbauten der klassischen Moderne und setzt große Glasflächen ebenso zielgerecht wie gestaltprägend ein. Andererseits formuliert er über deren Einbeziehung, die nach Himmelsrichtungen differenzierte, tlw. bewusst opak gestaltete Gebäudehülle sowie eine thermische Zonierung auch bewusste Kontextbezüge und ermöglicht darüber - im Gegensatz zu den aus energetischer Sicht meist vom Standort und dessen Einflüssen losgelöst erdachten historischen Glashäusern - gleichzeitig einen hohen Innenraumkomfort über das gezielte Nutzen der Sonneneinstrahlung. Dabei erlaubt der Innovationsfortschritt bei Sonnen- und Wärmeschutzverglasungen den Verzicht auf den Verzicht der nach wie vor gewünschten Transparenz bei einem trotzdem nicht allein durch Klimatechnik bestimmten Energiekonzept [Herzog 2002]. Konkret realisiert Herzog sein Konzept des „neuen Regionalismus“ 1979 mit dem „Wohnhaus Burghardt“ in Regensburg (s. Abbildung 5-4).

Abbildung 5-4: Beim Wohnhaus Burghardt gründen die Raumfolge und die Gebäudeform auf dem Energiekonzept. Die formal eingebundenen Wintergärten im Süden dienen als thermische Pufferzone. Durch die großflächigen Schrägverglasungen wird Wärme passiv gewonnen und im massiven Boden gespeichert bzw. zeitverzögert abgegeben. Da die Nebenräume im opaken, hochwärmegeprägten und nordorientierten Bereich des kompakten Baukörpers liegen, gelingt durch die gläsernen Übergangsräume ein ähnlich starker Bezug zur Umgebung wie beim Farnsworthhouse Mies van der Rohe (Plano, US, 1951). Der Baumbestand wird durch Einschnitte als saisonaler Schattenspende einbezogen. Durchgangsräume ermöglichen in Kombination mit dem dreieckigen Querschnitt des Hauses sowie hochliegenden Fenstern und der thermischen Masse eine Querlüftung sowie passive Kühlung [Herzog 2002]. Quelle [Schittich 2006b], Archiv Herzog, München



### 5.1.3 Vom Passivhaus zur ausgeglichenen Energiebilanz

Als zum Ende der 1980er Jahre das Prinzip des Wintergartens als solar aktivierbarer Pufferraum bzw. Ausdrucksträger der Solararchitektur an Bedeutung verliert, verringern kurzzeitig häufig genutzte transparente Wärmedämmstoffe (s. DE\_12 - Seite 63) sowie vor allem verbesserte (Dreischeiben-)Verglasungen den Heizwärmebedarf von Gebäuden. Während sich beim als „Nullheizenergiehaus“ geplanten „Nulli“ in Dörpe (1989, Erhard Wiers-Keiser, Ökologische Zukunftswerkstatt Minimal- und Nullenergiehäuser) über den Einsatz von Dreischeibenverglasung bereits ein rechnerischer Heizwärmebedarf unterhalb von  $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  ergibt und dieser über die Kombination einer  $16 \text{ m}^2$  Kollektoranlage mit einem  $10 \text{ m}^3$  großen Saisonspeicher gedeckt werden soll [Hinz 1994],<sup>74</sup> führen vor allem durch die schwedischen Wissenschaftler Hans Eek und Arne Elmroth initiierte Projekte zu Erkenntnissen einer möglichen weiteren Effizienzsteigerung bei durchgängiger Luftdichtheit oder verbesserten Fensterrahmen [Passipedia 2012]. In der Entwicklung des Passivhauses 1991 bezieht der Physiker Wolfgang Feist diese und weitere Erkenntnisse über bspw. die mechanische Lüftung ein. Das erste umgesetzte Passivhaus (Darmstadt-Kranichstein, DE, 1991, Bott, Ridder und Westermeyer) folgt wie viele Vorgänger formalen Prinzipien des Megaron-Hauses, um solare Wärmeeinträge passiv zu nutzen (s. Abbildung 5-1). Große Dämmstärken mit U-Werten zwischen  $0,11$  und  $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ , eine durchgehende Luftdichtheit in der Fassade sowie (damals noch) Sonderlösungen wie hochwärmedämmte Fenster (U-Wert  $0,78 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) oder eine mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung führen zu verringerten Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten. Dieses Maßnahmenpaket lässt bereits bei Nutzung passiver wie interner Wärmelasten eine Unterschreitung der heute im Passivhauszertifikat verankerten Ziele<sup>75</sup> sowie das alleinige Beheizen über die (Zu-)Luft bzw. Lüftungsanlage zu. Bei gestiegenem Innenraumkomfort ohne unbehaglich kühle Bauteiloberflächen stellt dies durch den möglichen Verzicht auf ein zweites, wassergeführtes Heizungssystem eine ökonomische Option dar.<sup>76</sup> Ein wichtiger Aspekt ist auch die für Experimentalgebäude bis heute unübliche Typologie eines Reihenhauses (s. Abschnitt 5.2). Die kompakte Form vereint vier Wohneinheiten und ist damit bereits effizienter als die sonst fast ausschließlich im Einfamilienhausmaßstab realisierten Testgebäude [Hegger 2008; Feist 2007].



<sup>74</sup> Im Betrieb ergaben sich auf Grund von geringerer Luftdichtheit und Problemen mit den innenliegenden Dämmflächen Verbrauchswerte deutlich oberhalb des Passivhausniveaus. Zudem waren die Wärmeverluste des Saisonspeichers deutlich höher als erwartet und die Speicherschichtung zu gering. Durch die Positionierung des Speichers innerhalb der thermischen Hülle konnten die Verluste zwar im Winter genutzt werden, doch ging die gespeicherte Wärme bereits im Sommer und Herbst verloren, führte dann zu zeitweise sehr hohen Raumtemperaturen und reichte im Kernwinter nicht für die Gebäudeheizung aus [Hinz 1994]

<sup>75</sup> s. Randnotiz Seite 71

<sup>76</sup> Viele umgesetzte Passivhäuser nutzen u.a. auf Grund des möglichen Temperaturunterschieds in verschiedenen Räumen, der Behaglichkeit durch Strahlungswärme und der eigenen Eingriffsmöglichkeit am Thermostat auch ein wassergeführtes Heizsystem (der Wärmeerzeuger ist ohnehin für die Warmwassererzeugung vorhanden)

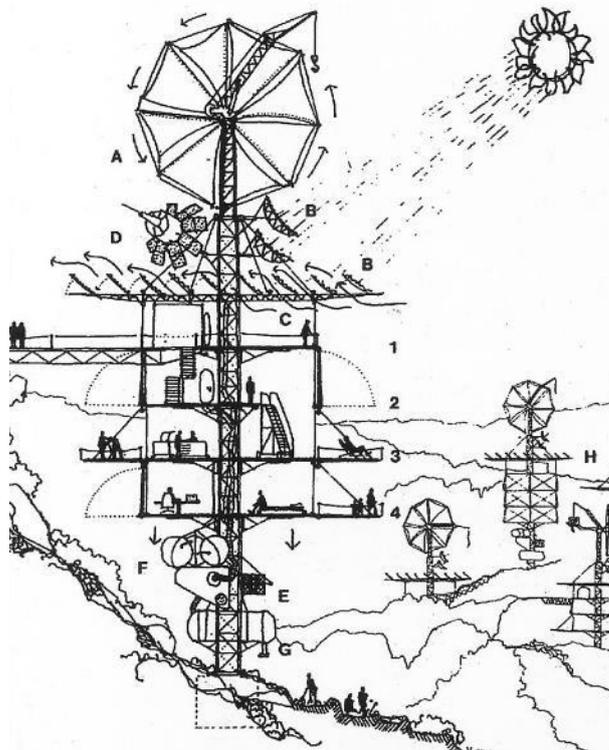
Abbildung 5-5: Das erste Passivhaus wird 1991 in Darmstadt errichtet. Der trapezförmige Querschnitt vergrößert die südlich orientierte Fassade mit den bei einem Passivhaus üblichen großen Fenstern. Die Wärmeversorgung erfolgt über Warmwasser-Vakuumkollektoren in Verbindung mit einem  $1 \text{ m}^3$  Warmwasserspeicher und einer Erdgas-Brennwerttherme [Feist 2007]. Quelle Passivhaus Institut Darmstadt

Auf Grund einer gesteigerten Akzeptanz ökologischer Beweggründe in der Architektur von Wohngebäuden sowie der darauf basierenden Marktnachfrage bei anderen Typologien greifen international operierende Architekturfirmen

wie Renzo Piano, Norman Foster und Richard Rogers das Thema Energie zur gleichen Zeit vollumfänglich auf [Schoof 2011]. Bei der Übertragung vom Wohnhaus auf Nichtwohngebäude wird die „Öko-Ästhetik“ vormaliger Solarhäuser abgelöst, während Technologieinsatz in der Fassade den semantischen Ausdruck der „Ecological Correctness“ kommuniziert [Gonzalo 2006]. Derweil Rogers 1978 übergroße Windräder als Teil einer kompletten Autarkiestrategie in Konzepten addiert (s. Abbildung 5-6) oder zusammen mit Piano und Gianfranco Franchini 1977 die Gebäudetechnik des Centre Georges Pompidou in Paris plakativ an der bzw. als Fassade platziert,<sup>77</sup> konkurrieren solaraktive Systeme mit großen Glasflächen, technisch (über-)komplexen und teils expressivistisch anmutenden Systemen zur Lichtlenkung, Verschattung oder Klimatisierung. Als Ausdruck neuer High-Tech-Strategien werden diese Elemente allerdings häufig formal unbefriedigend oder gestalterisch überhöht eingebunden [Treberspurg 1999a].

<sup>77</sup> Hauptbeweggrund ist die vollkommene Befreiung der Innenräume von tertiären Strukturen

Abbildung 5-6: Entwurf für das „Autonomous House“ von Richard Rogers (Aspen, US, 1978). Quelle [Behling 1996], Foto Richard Rogers



Letztlich wird der Einsatz gebäudeintegrierter Photovoltaik Vorbote heutiger Nullenergiegebäude. Der 1839 vom französischen Wissenschaftler Edmond Becquerel entdeckte photovoltaische Effekt und dessen Nutzung über PV-Zellen schält sich aus einem Nischendasein netzferner Anwendung bei Wasserpumpen in Entwicklungsländern, abgeschiedener Leuchttürme oder der Satellitentechnik. Ein Team um den Solarpionier Karl Wolfgang Böer setzt 1973 die etwa 100 Jahre zuvor geäußerte Meinung des Erbauers des ersten Selenmoduls Charles Fritts um und integriert im ersten mit Solarzellen ausgerüsteten Wohnhaus der USA „Solar One“ (Newark) Hybridmodule zur gleichzeitigen Gewinnung von Wärme und Strom in eine homogene Dachhaut [Lee 1977; Behling 1996]. In den folgenden Jahren steigern sich die technischen Potenziale. In Deutschland führt das 1991 erlassene Stromeinspeisungsgesetz sowie vor allem die im Jahr 2000 durch das EEG (s. Kapitel 3.1.2) geregelte Einspeisevergütung zu einem Boom gebäudenaher Solarstromanlagen. Ganzheitlich Architekturansätze und Synergien zwischen einzelnen Strategien entstehen dabei anfangs jedoch selten [IFEU 2013].

## 5.2 Die Generation Nullenergiegebäude

Nach den oben genannten Vorläuferprojekten wie dem „Solar House I“ oder dem „DTH-Nul-Energius“ beginnt zum Start der 1990er Jahre und aufbauend auf vielen technologischen Entwicklungen und Erkenntnissen das Zeitalter der Nullenergiegebäude. Wie bei den Vorgängern steht anfangs die massive Senkung und damit mögliche direkte Deckung des in Verordnungen noch allein adressierten Heizwärmebedarfs im Fokus. Ökologisch interessierte Bauherren und Ingenieure kombinieren bei einer Vielzahl kleinerer Wohnbauten Wintergarten- und Glasfassadenkonzepte mit der parallel aufkommenden Passivhausidee (s. Abschnitt 5). Der Bezug externer Energie soll sich auf den zu dieser Zeit normativ wie bilanziell nicht betrachteten Strom beschränken. In den beiden als Einfamilienhaus ausgeführten „Direktgewinnhäusern Trin“ (s. CH\_3) kann bspw. - abgesehen von einem Holzherd und einem elektrischen Notofen - auf eine aktive Heizung verzichtet werden. Grundlage hierzu bildet das rein passivsolare Konzept auf Basis der fast nebelfreien Berglage in 900 m ü.NN. an einem Südhang, vollflächiger Südverglasungen sowie enormer thermischer Speichermassen [Hässig 1996]. Die Gestalt des kleinen Hauses wird durch seine Kompaktheit und die großen Südfenster bestimmt. Die Grenzen der Idee zeigt die elektrische Warmwasserbereitstellung auf.

Zeitgleich initiiert und realisiert die Bauforschung vorwiegend im mitteleuropäischen Raum technisch geprägte Experimental- und Demonstrationsprojekte. Ihr Pioniercharakter verdeutlicht sich durch additive Solarsysteme [Musall 2013c]. Die vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) realisierten „Nullheizenergiehäuser“ in Berlin (s. DE\_3) und Durbach („Övolution“, s. DE\_4) rücken wie auch der vom Speicherkonstrukteur Josef Jenni bereits 1989 maßgeblich entwickelte Ansatz des „Sonnenhauses“ erneut die saisonale Speicherung von über Solarkollektoren gewonnener Wärme in großvolumigen Speichern in den Vordergrund. Der nur knapp 130 m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> große Prototyp des „Sonnenhauses“ in Oberburg (s. CH\_54) nimmt auf dem Satteldach 84 m<sup>2</sup> Solarkollektoren und im Gebäudeinnern drei Warmwasser-Metallspeicher mit einem Gesamtvolumen von 118 m<sup>3</sup> auf. Zusätzlich wird eine 43 m<sup>2</sup> große Photovoltaikanlage auf restlichen Dach- und Garagenflächen installiert und mit einem elektrischen Speicher (Batterie) kombiniert. Durch die vollflächige Integration der Solaranlagen wird auf dem Haus ein homogenes Bild geschaffen. Auf Basis von gesammelten Erfahrungen wie der Erkenntnis, dass das eingesetzte thermische Speichervolumen vierfach zu groß ist, werden in der Folge mehr als 500 Nachfolgeprojekte realisiert.<sup>78</sup> Letztlich bleibt das Konzept des Nullheizenergiehauses auf Basis der Solarwärme mit saisonalem Speicher schwierig bis fragwürdig, da mindestens das hohe Temperaturniveau der Warmwassernutzung über den Jahresverlauf hinweg nicht durchgängig bereitgestellt werden kann und hierzu ein Wärmeerzeuger benötigt wird.

Im 1992 als reines Forschungsprojekt realisierten „Energieautarken Solarhaus“ (s. DE\_12 - Seite 63) in Freiburg werden auf Grund des Verzichts auf jeglichen Anschluss an die örtliche Energieinfrastruktur auch sämtliche Stromverbräuche durch eine erneuerbare Energieerzeugung kompensiert. Das Projekt folgt auf eine ähnliche Umsetzung an einem entlegenen Berghof im Schwarzwald (s. DE\_65). Zur Optimierung des Verhältnisses zwischen Gebäudevolumen und Hüllfläche bzw. deren solare Nutzung beschreibt das Haus im Grundriss ein stumpfes Kreissegment. Die geringe Gebäudetiefe korrespondiert mit der gegenüber der flachen Nordfassade aufgedehnten und abwechselnd mit transparenter Wärmedämmung bzw. großflächigen Fenstern versehenen Südfassade

<sup>78</sup> Ab 2004 existiert ein Sonnenhaus-Institut, durch welches neben einem solaren Deckungsgrad von 50 % und einer Zuheizung nur durch regenerative Energiequellen auch Effizienzkriterien, die dem Passivhaus bzw. den Kriterien des KfW-Förderprogramms nahekommen (bspw. Primärenergiebedarf nach EnEV maximal 15 kWh/m<sup>2</sup>a oder Transmissionswärmeverlust H'T mindestens 15 % unter EnEV-Referenzniveau), formuliert werden (s. u.a. [Sonnenhaus 2008])

<sup>79</sup> Im ersten Betriebswinter musste auf Grund der guten Wärmedämmung, hoher solaren Wärmegewinne und der Wärmerückgewinnung nicht aktiv geheizt werden [Voss 1996]

Abbildung 5-7: Die 200 m<sup>2</sup> große Belgische Forschungsstation „Princess Elisabeth“ (s. AQ\_1) wird in der Antarktis über Windturbinen und Solaranlagen autark betrieben. Diese decken den Strom- und Wärmebedarf von bis zu 48 Personen. Das energieautarke Konzept hat auf Grund der Windenergieerträge kaum formalen Einfluss. Quelle International Polar Foundation, Foto René Robert

[ISE 1997]. Das Schrägdach des massiven Nordriegels nimmt die Solaranlagen auf. Obwohl sich die sehr ambitionierte und komplexe Gebäudetechnik im Betrieb bewährt<sup>79</sup>, kann sich das netzautarke Konzept im heizungsdominierten Klima nicht durchsetzen. Der Diskrepanz zwischen saisonal variierendem Energiebedarf und Potenzialen zur Nutzung der Sonnenenergie kann nur mit hohem technischem und ökonomischem Aufwand für die Energieerzeugung und -speicherung begegnet werden (vgl. Kapitel 4.4). Heute werden allein abgechiedene und/oder temporär genutzte Projekte wie Ferienhäuser (z.B. NZ\_2 oder SP\_8), Ski- bzw. Schutzhütten oder (ant-/arktische) Forschungsstationen netzautark realisiert (s. Abbildung 5-7 und CH\_4). Hier ist die Abgeschiedenheit Anlass und Ausweg zugleich. Die temporäre Nutzung bspw. außerhalb der Wintermonate ermöglicht die Warmwasserbereitstellung über Solaranlagen, ohne dass diese extreme Ausmaße annehmen und Saisonspeicher (für die Heizwärmeversorgung) speisen müssen. Nicht selten werden Energieerzeuger wie Solar- und Windkraftanlagen außerhalb aber im direkten Umfeld des Gebäudes aufgestellt und eingebunden.



Um geringere passive wie aktive Solarwärmeerträge während Schlechtwetterperioden überbrücken, klimatische Variationen zwischen den Jahren kompensieren sowie Solaranlagen und Speicherkomponenten möglichst klein dimensionieren zu können, wird bei nachfolgenden Projekten vor allem in waldreichen Regionen der Schweiz und Österreich eine Holzfeuerung (als back-up) ergänzt. Hieraus ergeben sich vergrößerte gestalterische Freiheiten durch differenziertere Glasflächen gen Süden, ein Verzicht auf künstliches Aufweiten von Hüllflächen oder eine mögliche Abkehr von Wintergärten. Während der Platzbedarf für thermische Speicher deutlich verringert werden kann, gilt es nun Biomasse zu „bunkern“. Allerdings ist der hierfür nötige Raum- sowie Biomassebedarf je nach Konzept bisweilen zu vernachlässigen. Aufkommende Debatten um eine drohende Ressourcenknappheit, die in Frage gestellte Nachhaltigkeit des Brennholz- oder Pelletbezugs (s. Kapitel 4) sowie der Emissionsausstoß am Haus als gebautem Klimaschutz führen zu der Idee einer Kompensation über Gutschriften aus Solarstromanlagen [Musall 2011f]. Anders als bei autarken Konzepten erlaubt dieser Ansatz der primärenergetischen Energiebilanz die Möglichkeit, auch bei der Energieeinsparung auf letzte Prozentpunkte zu verzichten und den bilanziellen Ausgleich innerhalb der Energiebilanz auf die Verbrauchsbereiche zu beschränken, die laut Gebäuderichtlinien dem Gebäude zuzuordnen sind (s. Kapitel 4.5). Erst steigende Energiepreise, verstärktes Aufbegehren gegen die Atomenergie, eine folglich vermehrt gewünschte Unabhängigkeit von Energieversorgungsunternehmen sowie der mögliche Verzicht auf umfangreiche Messtechnik zum getrennten Erfassen verschiedener Stromkreise forcieren bei kleinen Gebäuden den Ansatz, sämtliche Energieverbrau-

cher - neben den gebäudetechnisch bedingten Verbrauchern auch Haushaltsgeräte, EDV oder zentrale Dienste - über die Jahresenergiebilanz vollständig auszugleichen. Die um die Jahrtausendwende in einigen Ländern etablierte Solarstromförderung unterstützt diesen Trend (vgl. Seite 72). Nach der Maximierung passiver Wärmeerträge und Einbindung großer Solarkollektoren wendet sich der Trend zu nach dem Sonneneinfallswinkel optimierten und mitunter sehr großen Solarstromanlagen. Extreme und tlw. architektonisch strittige Umsetzungsbeispiele wie halb eingegrabene Erdhäuser, in flugzeughangargroße „Wintergärten“ eingebrachte Betonkuben nach dem Haus-im-Haus-Prinzip (vgl. DE\_59) oder die sich mit der Sonne drehenden Einfamilienhäuser „Rinn-DrehHaus“<sup>80</sup> (DE\_129) und „Heliotrop“ (DE\_19) werden wie vorangegangene Pioniergebäude auf Grund ihrer stark auf energetischen Prämissen basierenden Gestaltungskonzeption kritisiert. Der durch das Einbinden neuer Technologien den prototypischen Visionen der Automobilindustrie vergleichbare Demonstrations- und vornehmliche Experimentalcharakter bleibt dabei jedoch meist ebenso unerwähnt, wie der politisch motivierte und baulich formulierte Aufruf nach nötigen, energetischen Veränderungen [Gonzalo 1993]. So thront auf dem 200 m<sup>2</sup> großen „Heliotrop“ (DE\_19) ein zweiachsig nachgeführter und 54 m<sup>2</sup> großer Solartracker, dessen Stromerträge sämtliche Energieverbräuche des Hauses ausgleichen. Das Haus selbst ist historischen Vorbildern folgend<sup>81</sup> durch die Lagerung auf einer Mittelachse und einen Elektromotor drehbar, so dass - je nach Jahreszeit und Sonneneinstrahlung - entweder die großflächig verglaste oder die opake und hoch wärmedämmte Fassaden der Sonne zugewandt werden kann. Ein traditioneller Sonnenschutz kann entfallen.

Bedingt durch die Etablierung des Bilanzansatzes, stetige Erkenntnisgewinne im energieeffizienten Bauen und Verbesserungen bei Materialien und technischem Rüstzeug wie etwa Wärmepumpen oder PV-Zellen kann bei Netto-Nullenergiegebäuden zu Beginn der 2000er Jahre auf formale Extremkonzepte mehr und mehr verzichtet werden (vgl. [Musall 2014b]). Da sich das Konzept auf Grund einer deutlich größeren Bautätigkeit, technologischem Vorsprung, Abhängigkeiten von Energieimporten sowie des Bewusstseins über den Klimawandel vor allem in den heizungsdominierten mitteleuropäischen und nordamerikanischen Klimaten ausweitete (s. Abbildung 5-9), manifestiert sich der Grundsatz der Energieeffizienz häufig auf Basis der Passivhausidee (s. Kapitel 8) [Musall 2011f; Musall 2014b; Musall 2013c]. Allerdings konzentrieren sich die meisten Umsetzungen und Demonstrationsprojekte wegen des überschaubaren Umfangs und finanziellen Aufwands weiterhin auf die hierfür am schlechtesten geeignete Typologie der freistehenden sowie wenig kompakten und damit wenig effizienten kleinen Wohngebäude (s. auch Abbildung 7-22). Hierbei etablieren sich Muster wie asymmetrische Satteldächer oder die ungleichmäßige Fensterflächenverteilung gen Süden (vgl. Kapitel 8.1.1.5 und 9). Da in nahezu allen bekannten Fällen zu dieser Zeit keine normative Bilanzierungsgrundlage existiert, werden eigene Methoden und Bezeichnungen eingeführt. Im deutschsprachigen Raum sind dies (anfangs) das „Energieautarke Haus“, „Nullenergiehaus“, „Plusenergiehaus“<sup>®</sup> oder „Nullemissionshaus“. International laute(n) die Bezeichnungen „(Net) Zero Energy Building“ (US), „Carbon Neutral Home“ (UK), „Equilibrium™ House“ (CA) oder „Bâtiment à énergie positive“ (FR) [Musall 2012b].

Anfang 2003 errichtet die Europäische Union unter der Obhut des „Architects Council of Europe“ (ACE) das Komitee „Sustainable Construction Methods and Technologies“ (SCMT) mit dem Anspruch, die Themen Energieeffizienz und Nachhaltigkeit im Bauen vor den Zielen der EU zu diskutieren und ganzheitli-

<sup>80</sup> Das Beispiel ist ein Nachfolger des 1997 fertiggestellten ersten „Drehhauses“, das noch allein zur Maximierung der passiven Wärmeerträge oder zur Verschattung entsprechend dem Sonnenstand mittels eines 0,18 kW Elektromotors (ca. 0,8 kWh/d) oder eines Heimtrainers bewegt werden konnte. Von den 1.500 t Stahl der „Villa Girasole“ (s. folgende Randnotiz) ist bei den leichten Holzbauten wenig geblieben

<sup>81</sup> Die 1.500 t schwere „Villa Girasole“ (Marcellise, IT, 1935, Angelo Invernizzi) aus Beton und Stahl wird auf einer Stahllafette und Eisenrädern, die drei Kreisbahnen auf einem massiven Gebäudesockel umfahren, sowie mittels eines Dieselmotorantriebs um sich selbst gedreht und damit dem Lauf der Sonne nachgeführt [Meili 2010]. In wie weit die passiven Wärmegewinne bzw. ein Mehr an Tageslicht den Einsatz des Dieseltreibstoffs aufwiegen können, ist nicht quantifiziert. Während bei diesem frühen Projekt die Verbundenheit mit der Landschaft und das einfallende Tageslicht im Vordergrund stehen, verfolgen die späteren „Dreh-Häuser“ deutlicher einen solar-energetischen Aspekt

ches Planen zu kommunizieren. Parallele Förderprogramme, fortgeschriebene politische Forderungen sowie ökologisches und wissenschaftliches Interesse überführen die oben beschriebene Generation Solarhaus aus der aus heutiger Sicht empfundenen gestalterischen Krise in neue ganzheitliche Gestaltungsansätze [Schoof 2011]. Der im Herbst 2002 erstmals in Washington vollzogene und mittlerweile weltweit jährlich ausgetragene Wettbewerb Solar Decathlon verdeutlicht mit der Aufgabe einer prototypischen Zukunftsversion für das solar-gestützte Wohnen und der Bewertung in zehn Kategorien wie bspw. Architektur, Nachhaltigkeit, Gebäudetechnik und Raumklima sowie Energiebilanz stellvertretend die umzusetzende interdisziplinäre Herangehensweise bei der Etablierung energieneutraler Gebäude (s. [Solar Decathlon 2011]). Während die teilnehmenden Teams und Häuser die durch den hohen Stellenwert in der Wertung vorgegebenen Ansprüche an Architektur und gestalterische Qualitäten anfangs und bei den amerikanischen Wettbewerben oft kaum einlösen bzw. keinen Beitrag für die europäische Architekturdebatte erbringen, zeigen nachfolgende Beispiele den auch abseits des Wettbewerbs vollzogenen Wandel zu gestalterisch ausgewogenen Kombinationen zwischen Design, sog. „Ökoarchitektur“ und Technikversuchsbauten. Architekten kommt auf Grund ihrer Pionierrolle beim energieoptimierten Bauen und vor allem als Verknüpfungspunkt und Entscheidungsträger weiterhin eine entscheidende Rolle zu (vgl. Kapitel 6).<sup>82</sup> Beinahe erstmals in der Baugeschichte wird in der ersten Dekade des 21. Jahrhunderts mit dem Konzept des Nullenergiegebäudes ein gestaltprägendes Muster von nahezu allen Typologien übernommen (s. Abbildung 5-8). Als politische Klimaschutzziele 2005 in Deutschland auf den Gebäudesektor überantwortet werden (vgl. Kapitel 1.1.2.1), haben Effizienzsteigerungen bei Solarstromanlagen oder die Markteinführung von dezentralen Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen die Übertragung des Konzepts von Gebäuden mit ausgeglichener Energiebilanz längst auch für energieintensivere (Nichtwohn-)Gebäude geebnet (s. Abbildung 5-8 und Abbildung 5-12 und Abbildung A-4). Die Motivationen dahinter sind jedoch weiterhin unterschiedlich (s. Abschnitt 5.2.1).

<sup>82</sup> In [Schoof 2011] wird entgegnet, dass der Solar Decathlon (noch immer) symptomatisch für die verlorene Bedeutung von Architekten bei der Planung energieeffizienter Bauten sei, da die gestalterische Qualität mit neun anderen Disziplinen vermenget wird und das im Jahr 2010 zweitplatzierte Team der Hochschule Rosenheim ohne die Beteiligung eines Architektur-Lehrstuhls auskam

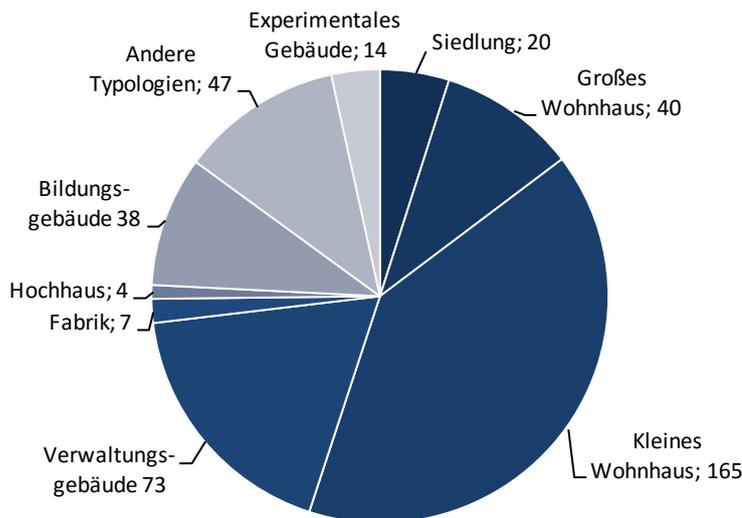


Abbildung 5-8: Verteilung der 415 erfassten Nullenergieprojekte in unterschiedliche Typologien. Der Wohnhaussektor macht über 50 % der bekannten Projekte aus. Projekte mit städtebaulichem Maßstab fehlen

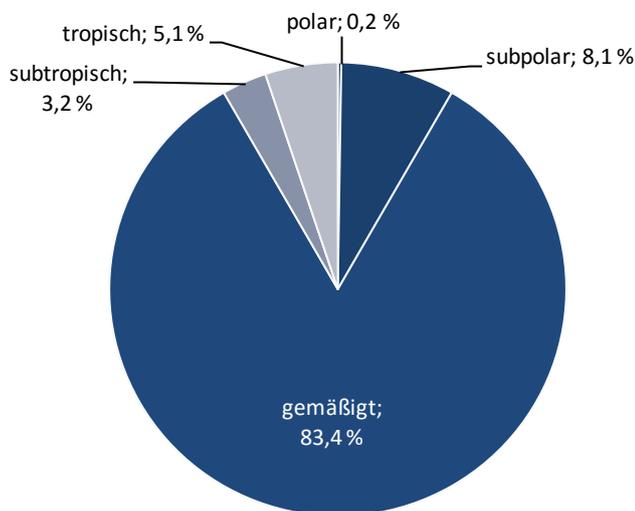


Abbildung 5-9: Die bekannten Nullenergieprojekte befinden sich mit deutlicher Mehrheit in gemäßigten Klimaten nördlich des Äquators. Dabei machen mittel- und südeuropäische sowie nordamerikanische Projekte den Hauptanteil aus (Einteilung nach [Kottek 2006], s. Anhang A.1

### 5.2.1 Nullenergiegebäude - Konzept und Motivation

Die „Solarfabrik“ (s. DE\_10) und die „Nullemissionsfabrik Solvis“ (s. DE\_9) stehen stellvertretend für das auch über ein „Green Building Image“ vermittelte Marketing von Unternehmen der Solarbranche (s. Abbildung 5-10). Während ihre Nullenergie- bzw. -emissionsbilanzen vornehmlich auf gebäudeintegrierten biomassegefeuerten KWK-Anlagen beruhen,<sup>83</sup> werden die Bilanzansätze von unter ähnlichen Beweggründen realisierten und ebenfalls verbrauchsintensiven Hotels, Supermärkten oder größeren Verwaltungsbauten aufgeweicht. Energiegutschriften basieren hier häufig auf Investitionen in Nahwärmenetze oder externe, nicht mit dem Gebäude verbundene Energieerzeuger wie Windkraftanlagen (vgl. DE\_24). Umgekehrt beziehen Wohnungsbau- oder Immobiliengesellschaften in ihren Bilanzierungen auch Solarstromanlagen oder Blockheizkraftwerke mit ein, die zwar in bzw. auf den jeweiligen Gebäuden installiert sind, aber weder in ihrem Besitz noch in dem der Gebäudenutzer stehen. Da der Imageträger Nullenergiegebäude zudem als Attraktor zur Steigerung der Mietquote dient, adressieren und bilanzieren sie vor allem nebenkostenrelevante bzw. umlagefähige Verbrauchsbereiche [Musall 2011b; Musall 2013c]. Den durch Marketingaspekte motivierten Projekten ist gemein, dass Solaranlagen und bisweilen Windräder repräsentativ platziert werden.

<sup>83</sup> Problemstellungen ergeben sich aus dem Nachweis über die nachhaltige Herkunft der Biomasse sowie aus hohen Energieverbräuchen der Produktion, die tlw. aus der Bilanz ausgeklammert werden

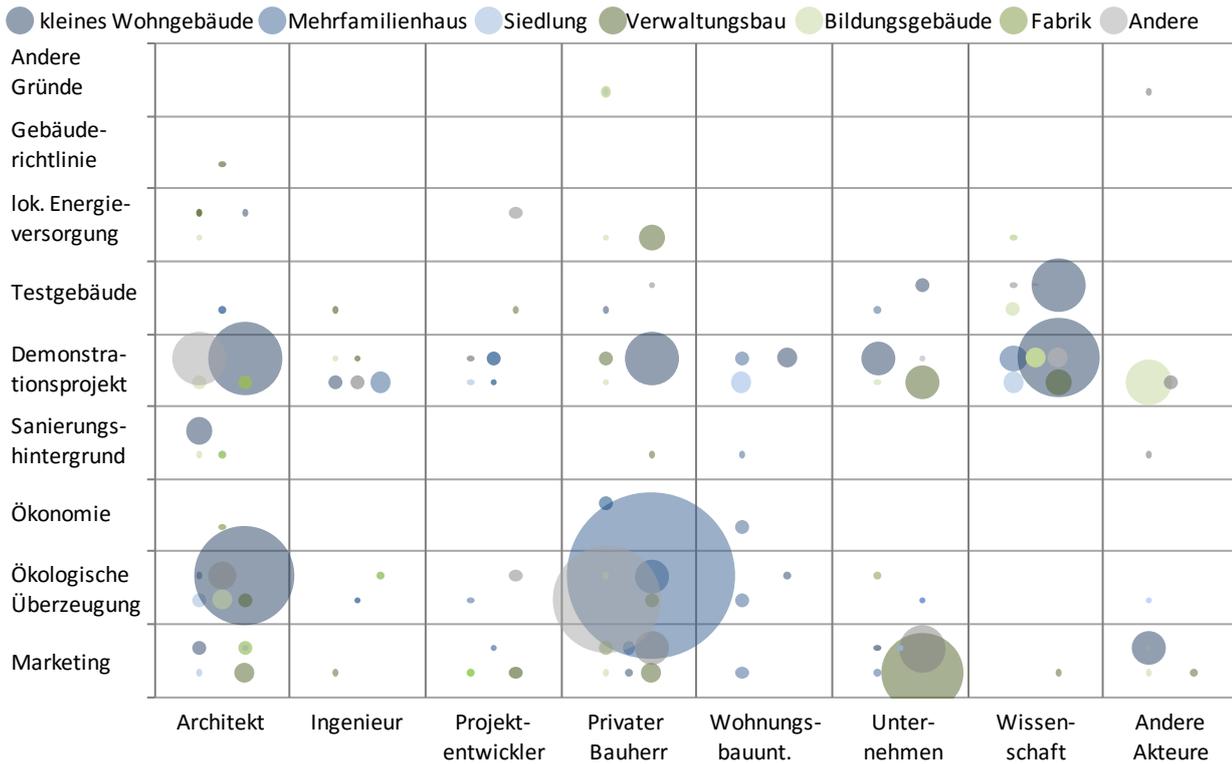


Abbildung 5-10: Bei der Betrachtung des Zusammenhangs von Hauptakteuren und Motiven bei der Umsetzung von Nullenergieprojekten wird ersichtlich, dass Energieversorgungsprobleme, gesetzliche Vorgaben oder die Sanierung bisher kaum bzw. nur in wenigen (entlegenen) Ausnahmefällen eine Hauptrolle spielen. Die Ökonomie wird meist als nachgeordneter Aspekt angegeben, dürfte jedoch bereits eine größere Rolle einnehmen. Zudem sind Mieter hier nicht als Hauptakteur bei der Verwirklichung von Nullenergiegebäuden eingestuft. Sie sind in der Regel aber vor allem an geringen Betriebskosten interessiert. Als Hauptmotiv können eine ökologische Überzeugung, Marketingaspekte und der Demonstrationscharakter ausgemacht werden. Hauptakteure sind folglich private Bauherren, Architekten, Unternehmen und Wissenschaftler

Abbildung 5-11: Bei der „Hauptverwaltung der Volksbank“ in Karlsruhe (s. DE\_76) schützt eine schildähnliche Fassade die auf Grund der Grundstückslage südorientierten Arbeitsplätze vor Straßenlärm und Sonneneinstrahlung. Die scheinbar vollständig mit Solarmodulen belegte Fassade (ein Großteil ist mit Blindmodulen belegt) folgt dabei, laut den Architekten, programmatischen Zielen zur Corporate Identity und Markenbildung. Quelle Internet, Foto Daniel Vieser Architekturfotografie



<sup>84</sup> Innerhalb des Konjunkturpaktes II und des Zukunftsinvestitionsgesetzes zur Sicherung von Beschäftigung und Stabilität werden verstärkt Investitionen in die kommunale Bildungsinfrastruktur getätigt

Das in der Folge der Wirtschaftskrise 2008 in Deutschland aufgelegte Konjunkturprogramm,<sup>84</sup> die gesetzliche Festschreibung eines Anspruchs auf einen Kita-Platz zum 1.8.2013 sowie die guten typologischen Voraussetzungen meist eingeschossiger Gebäude forcieren in Deutschland den Neubau von Kindergärten, darunter einige mit dem Ziel einer ausgeglichenen Jahresenergiebilanz. Für den Zeitraum 2010 bis Ende 2013 sind sieben Beispiele bekannt, was etwa 10 % der in diesem Zeitraum in Deutschland umgesetzten Nullenergiegebäude ausmacht. Fast alle Beispiele sind als Nur-Strom-Gebäude ausgeführt (s. DE\_43 - Seite 80). Bei Bildungsprojekten ist die Akzentuierung von Effizienzmaßnahmen und die bewusst repräsentative Einbindung von Solaranlagen erkennbar, um

hierüber ein entsprechendes Bewusstsein und Sensibilität für das Thema Energieeffizienz wecken zu können (vgl. [Hoier 2013; Geier 2011]).

Übertroffen wird die Zahl der in den letzten Jahren (hierzulande) realisierten Nullenergie-Bildungsgebäude lediglich von Einfamilienhäusern. Sie stellen die generell in größter Stückzahl gebaute Typologie dar (s. Abbildung 5-8), wobei eine Umsetzung von Nullenergiegebäuden in Deutschland auch durch das Förderprogramm „EffizienzhausPlus“ des BMVBS forciert wird (s. Seite 106). Darunter befinden sich ab 2011 vermehrt Fertighausbeispiele verschiedener Anbieter, bei denen die Auslegung der Energieerzeugung mühelos am Energiebedarf des Hauses vorab mit geplant, die jeweiligen späteren Umgebungsvariablen des Standorts jedoch nicht mit einbezogen werden können. 12 % aller bekannten deutschen Nullenergieprojekte sind Fertighäuser,<sup>85</sup> zwei Drittel hiervon sind Nur-Strom-Gebäude.<sup>86</sup> Die Serienprodukte stehen für potenziell geringere und vorab zugesicherte Festkosten und spiegeln neben dem unverminderten Wunsch eines Einfamilienhauses in Deutschland - auf Grund ihrer vorkonfektionierten Platzierung am Markt - den Wunsch nach (ökonomischer) Sicherheit wider. Die nicht immer genutzte Möglichkeit der gestaltvollen und homogenen Integration von Solaranlagen, ein Verzicht auf deren individuelle Zuschnitte analog zu (Dach-)Flächen bzw. der additive Charakter von Fassadenanlagen verwundert, reiht sich jedoch ein in den Vorwurf des Verzichts auf individuelle Gestaltungsansprüche der Mitte der Gesellschaft durch (Retorten-)Häuser ohne Eigenschaften [Dörries 2011]. Dass auch autarke Beispiele auftauchen (s. DE\_71), ist wohl auf eine zum Unabhängigkeitswunsch bei den sog. „Drumrumgeh-Häusern“ passende Marketingidee zurückzuführen.

Erste Sanierungsprojekte mit dem Ziel einer ausgeglichenen Energiebilanz entstehen ab 2001 (s. Abbildung 5-12). Je nach Grundlage bleiben bestehende Gebäude und ihr Ausdruck erhalten oder werden für die Integration von Solaranlagen überformt (s. AT\_19 - Seite 252). Bisher haben nur rund 10 % der bekannten Nullenergiegebäude einen Sanierungshintergrund - weltweit, in Mitteleuropa und auch Deutschland. Um diese Zahlen gemäß formulierter Ziele zum Ressourcen- und Klimaschutz sowie Sanierungsquoten zu erhöhen und Entwicklungsergebnisse kommunizieren zu können, existieren Demonstrationsprogramme. Diese umfassen auch die ganzheitliche Betrachtung auf städtebaulicher Ebene (vgl. [Effizienzhaus Plus im Altbau 2012; EnEff Stadt 2013]). Übergreifende Akteure wie bspw. Genossenschaften fassen hierbei verbrauchsintensive (Sanierungs-)Gebäude über eigene (Nahwärme-)Netze in Clustern mit Plusenergiegebäuden oder quartierseigenen Erzeugern bilanziell zusammen. Der Bilanzrahmen umfasst ein ganzes Quartier. Die Bilanzierung erfolgt an dessen Grenze (s. Kapitel 4.6). Als Vorbild dient die vom Freiburger Architekten Rolf Disch realisierte „Plusenergie-Siedlung am Schlierberg“ (DE\_5 - Seite 141) und gipfelt in der Wüstenstadt „Masdar“ (s. AE\_2) [Musall 2011d].

<sup>85</sup> Jeder Herstellertyp wird hierbei nur einmal gezählt, da Verkaufszahlen nicht vorliegen

<sup>86</sup> Als im Herbst 2013 in Wuppertal eine neue Fertighausausstellung eröffnet, sind alle 17 Ausstellungshäuser als Plus-Energie- aber auch Einfamilienhaus konzipiert. Über ein intelligentes Stromnetz soll auch im Siedlungsverbund eine ausgeglichene Energiebilanz erreicht werden [BDF 2013]

# Kindergarten „Die Sprösslinge“, Monheim

DE\_43

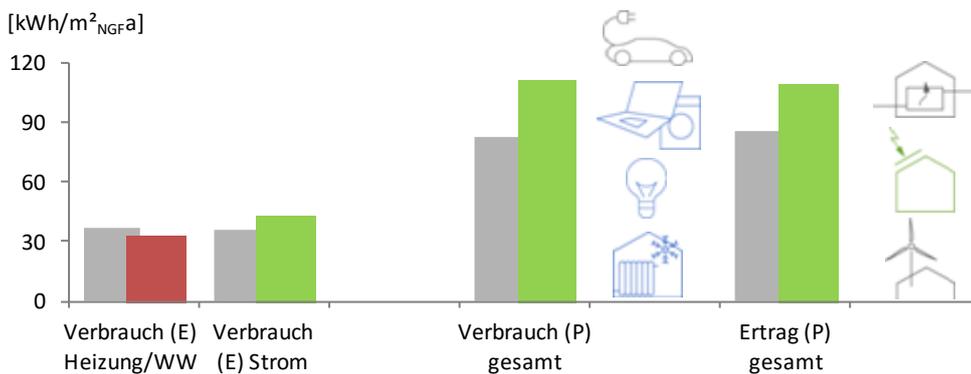
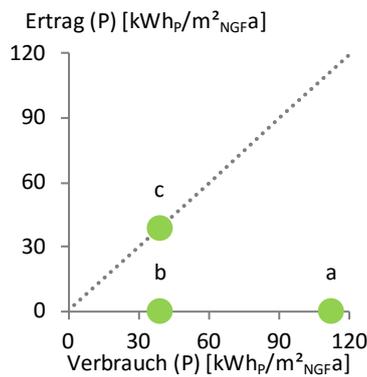


Fotos: Antje Schröder

Architekt	tr architekten, Köln	Nettogrundfläche	969 m <sup>2</sup>
Baujahr	2009	Hauptakteur / Motiv	Bauherr / Marketing
Typologie	Bildungsgebäude	Städtebauliches Umfeld	suburban

Der im Grundriss quadratische Kindergarten wächst in der nördlichen Gebäudeecke auf ein zweigeschossiges Volumen an. Hier sind Funktionsbereiche untergebracht, während die Aufenthaltsflächen im EG liegen. Die differenzierte Dachgeometrie ermöglicht eine gute Ausrichtung der Solaranlagen - die entgegen der für Bildungsgebäude üblichen Praxis von der Straße nicht sichtbar sind - und in Kombination mit nordausgerichteten Oberlichtern sowie großen Fenster in der Fassade eine optimale Ausbeute an Tageslicht. Zusammen mit gesteuerten und hocheffizienten Beleuchtungselementen sowie einer Tageslichtlenkung in der Jalousie führt dies zu einem reduzierten Kunstlichtbedarf. Passive Wärmeeinträge ergänzen niedrige Transmissions- und Lüftungswärmeverluste.

Formale Einordnung		Einordnung Solaranlagen	
--------------------	--	-------------------------	--



## EcoCommercial Building (ECB), INT

Autor, Institution	Bayer MaterialScience	(Neben-)Anforderungen:	Die Gebäude werden während ihrer Betriebsphase einem energetischen Monitoring unterzogen; es sind lokale Eigenschaften und Eigenarten zu berücksichtigen
Einführungsjahr	2009		
Bilanzgrenze	normativ / nutzungsspezifisch		
Bilanzrahmen	on-site		
Bilanzzeitraum	Betriebsjahr		
Indikator	CO <sub>2</sub> -Emissionen		

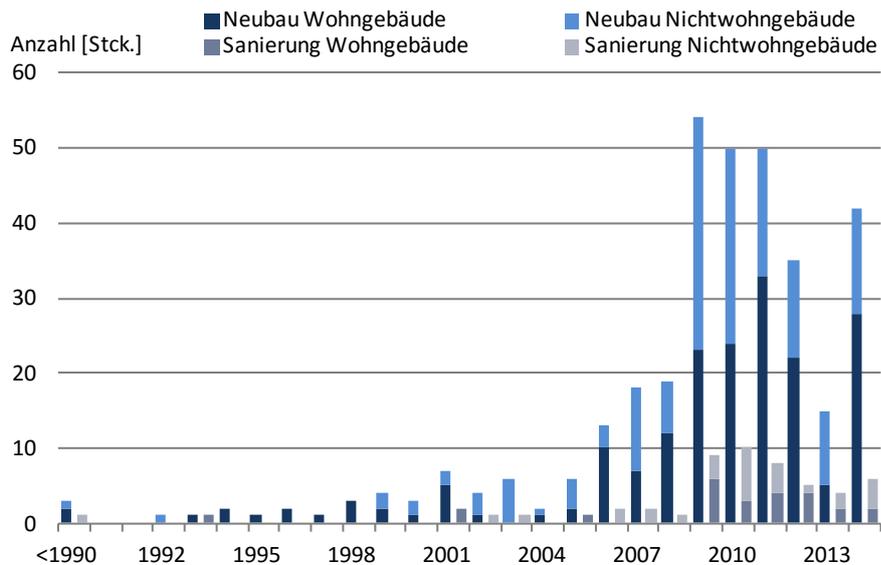


Abbildung 5-12: Bei Nullenergieprojekten machen Sanierungsgebäude kaum mehr als 10 % aus. Ihre Anzahl ist während der letzten Jahre jedoch gestiegen. Dennoch sind in vielen Ländern bisher keine Sanierungsbeispiele bekannt. Einige Sanierungsbeispiele werden mit Neubzw. Anbauten aufgewertet oder gehen in Cluster ein.

Die hohe Zahl an Projekten in der Konzept- und Bauphase zeigt die Durchsetzung des Konzepts auf dem Markt

Bis heute sind Nullenergiegebäude in jeder Typologie vorzufinden (s. Abbildung 5-8). Neben Wohn-, Bildungs- und Verwaltungsgebäuden gibt es Möbelhäuser, Museumsgebäude, Banken, Fabriken und Sportstadien (s. TW\_1). Dabei sind sie trotz integraler Architekturkonzepte nicht immer der Kommunikation von persönlichen Ansichten oder Marketingaspekten entwachsen. So publiziert zur Zeit der Erstellung dieser Arbeit mit verschiedenen Baustoff- und Elementherstellern eine weitere Akteursgruppe international ihre Demonstrationsgebäude und daraus gewonnene Erkenntnisse. Programme wie das „Model Home 2020“ (Velux, s. Seite 209) oder das „EcoCommercial Building“ (Bayer; s. Seite 80) werfen jedoch auch neue Diskussionspunkte wie etwa die Menge der verbauten Grauen Energie und deren Einbeziehung in die Energiebilanz auf. Eine Tatsache, die auch auf nicht fest formulierten gesetzlichen Vorgaben beruht. So entstehen nicht nur neue Gebäude, sondern nahezu ebenso viele uneinheitliche Definitionen (s. Kapitel 6.2). Die Grundvoraussetzung Energieeffizienz ist dabei meist manifestiert und wird in Definitionstiteln wie „PassivhausPlus“ oder „EffizienzhausPlus“ ebenso einbezogen, wie ein häufiger erstrebtes bilanzielles Energieplus, um bspw. Aufwendungen von Elektromobilität oder Grauer Energie auszugleichen.<sup>87</sup> Neben wenigen Ausnahmen führt das schweizerische „MINERGIE-A“-Label ab 2011 erstmals mehrere Nullenergiegebäude unter einem einheitlichen, wenn auch verbrauchsseitig nicht vollumfassenden Standard zusammen (s. Seite 148). Bis Ende 2013 werden mehr als 20 Gebäude durch den MINERGIE-Verein zertifiziert. 180 weitere befinden sich zu diesem Zeitpunkt im Bau. Ein Nichtwohngebäude ist jedoch nicht dabei [Minergie 2011]. Dass die Debatte über die Aufgabe von Gebäuden beim Klima- und Ressourcenschutz hier nicht endet, zeigt der Paradigmenwechsel des Fachbereichs Architektur der ETH Zürich [ETH 2010]. Hier werden zwar die CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele hinsichtlich des Klimaschutzes anerkannt, jedoch der bisherige Fokus auf die Verringerung des Energieverbrauchs wie bei MINERGIE oder der 2000-Watt-Gesellschaft (s. Seite 94) dahingehend in Frage gestellt, dass der Energieverbrauch von den CO<sub>2</sub>-Emissionen entkoppelt und das Energiesparen durch eine externe Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien im Gesamtkontext ersetzt wird. CO<sub>2</sub>-armer Atomstrom und externe, nicht mit dem Gebäude gekoppelte Energieerzeuger werden damit ebenso eingeschlossen, wie die Verantwortung der Erzeugung und Einsparung aus dem Gebäudesektor heraus weitergegeben wird (s. CH\_17 und [Leibundgut 2011]).

<sup>87</sup> Die Rückkopplung auf das Energiekonzept und der Einfluss von hierüber vergrößerten Solarstromanlagen wird in Kapitel 7.4 bzw. 8.2.2 betrachtet

# Kapitel 6

## Die Architektur von Nullenergiegebäuden - Teil I

Qualitative Interviews

Zwischenfazit: Meinungsbild aus der Architekturpraxis



## 6 Die Architektur von Nullenergiegebäuden - Teil I

### 6.1 Qualitative Interviews

Inwiefern das Konzept einer ausgeglichenen Energiebilanz die Planung und den Entwurf(-prozess) sowie die Form und Gestalt der Gebäude beeinflusst, zeigen Erfahrungen der involvierten Planenden. Um hinsichtlich der Architekturdebatte ein Meinungsbild aus der Planungspraxis zu erhalten, wurden strukturierte Leitfadeninterviews mit Architekturbüros geführt. Sie beschreiben anhand von Praxiserfahrungen hinsichtlich des integralen Planungsprozesses die Auseinandersetzung mit den diskutierten Punkten (s. Kapitel 1.2) sowie die dabei aufkommenden Herausforderungen, Untersuchungsschwerpunkte, Hindernisse, Synergien und Chancen.

Als Interviewpartner konnten acht, teils international agierende Architektur- und/oder Ingenieurbüros interviewt werden, die bereits Gebäude mit dem Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz entwickelt und verwirklicht haben. Die Interviewpartner waren:

- Dietmar Riecks, Banz + Riecks Architekten, Bochum: u.a. „Nullemissionsfabrik Solvis“ in Braunschweig (DE\_9) und „Kita Brünzelstraße“ in Bochum (DE\_113)
- Lars Rössing, tr.architekten, Köln: u.a. Kindergarten „Die Sprösslinge“ in Monheim (DE\_43 - Seite 80)
- Torsten Sack-Nielsen, schmidt hammer lassen architects, Århus: u.a. „Verwaltungsbau Groendalsvej 1“ in Århus (DK\_6 - Seite 143)
- Signe Kongebro, Henning Larsen Architects, Kopenhagen: u.a. Demonstrations- und Einfamilienhaus „EnergyFlexFamily“ in Taastrup (DK\_10)
- Rolf Disch, Rolf Disch SolarArchitektur, Freiburg: u.a. „Plusenergie-Siedlung am Schlierberg“ in Freiburg (DE\_5 - 141) und „Heliotrop“ in Freiburg (DE\_19)
- Michael Gies, Gies Architekten, Freiburg: u.a. „Kleehäuser“ in Freiburg (DE\_7 - Seite 95)
- Wilhelm Stahl, Stahl+Weiß - Büro für SonnenEnergie, Freiburg: u.a. „Solarfabrik“ in Freiburg (DE\_10, s. Seite 9) und „Halle 8“ in Freiburg (DE\_63)
- Matthias Hotz, hotz+ architekten, Freiburg: u.a. „Solarfabrik“ in Freiburg (DE\_10, s. Seite 9) und „Halle 8“ in Freiburg (DE\_63)

Insgesamt decken die Büros ein breites Spektrum an unterschiedlichen Herangehensweisen ab. International operierende Büros sind ebenso vertreten wie eher lokal operierende, deutlich ökologisch geprägte ebenso wie scheinbar designorientierte. Die dänischen Büros wurden zudem ausgesucht, um eine internationale Sichtweise zu erhalten, große Planungsbüros einzubeziehen und den Aspekt der dänischen Energieversorgung, die in den nächsten Jahren auf Grund der verhältnismäßig großen Küstenanteile vornehmlich auf Wind ausgebaut werden soll, abbilden zu können. Für die Interviews wurde mit Hilfe der

SPSS-Methode nach [Helfferich 2011] ein Interviewleitfaden erstellt. Während eines Brainstormings wurden Fragen gesammelt (S), diese hinsichtlich ihrer Eignung überprüft (P), inhaltlich sortiert (S) und abschließend in den Leitfaden subsumiert (S). Der Leitfaden umfasst abschließend 22 Fragen und wurde inhaltlich mit Experten aus der Sozialforschung abgestimmt. Für die in Dänemark geführten Interviews wurde er ins Englische übersetzt. Der genutzte Interviewleitfaden ist als deutsche Fassung in Anhang A.5 hinterlegt.

Da die Interviews ergebnisoffen und als Initiativinterviews narrativ geführt werden sollten, dabei eine Vergleichbarkeit untereinander bestehen bleiben sollte und zudem Experten aus der Baupraxis als spezifische Zielgruppe adressierten, diente der strukturierte Leitfaden während der Interviews lediglich als Steuerungsinstrument. Er sollte gewährleisten, dass die gewünschten Inhalte angesprochen werden, während die Gespräche im Erzählstil geführt wurden. Die einzelnen Interviews dauerten je ca. 1,5 h, wurden aufgezeichnet, vereinfacht transkribiert, dabei paraphrasiert und vergleichend bzw. zusammenfassend ausgewertet. Die Gliederung der Auswertung wird entsprechend der wahrgenommenen Aussagen und erkannter Gemeinsamkeiten vom Interviewleitfaden abweichend umgestellt. Es lassen sich folgende Meinungsbilder und Positionen herausstellen:

#### 6.1.1 Fragestellung zu (politischen) Rahmenbedingungen

Das Fehlen einer einheitlichen Definition für Nullenergiegebäude oder den Klimaneutralen Gebäudebestand wird mit eigenen Ansätzen kompensiert. Über die Büros hinweg sind diese ähnlich, wobei projekt- bzw. bauherrenspezifische Unterschiede offengehalten werden. Einheitlicher Grundsatz ist eine gesteigerte Effizienz. 30 %ige Steigerungen gegenüber den normativen Anforderungen der EnEV werden aber als durchaus normales Ziel beschrieben, das mit den jeweils hauseigenen Entwurfsmethoden beinahe automatisch angestrebt werden kann. Die Strategien des Passivhausansatzes werden hierzu auch außerhalb von Nullenergieprojekten verfolgt, wobei die starren Zielwerte oder Zertifizierungen auf Grund von eventuell nötig werdenden konzeptionellen Eingriffe eher abgelehnt werden.<sup>88</sup> Meist umschließen die genutzten Bilanzansätze alle Verbrauchsbereiche. Eine Deckung durch erneuerbare Energien wird vor Ort angestrebt. Marketinggründe der Bauherren geben zu Letzterem in Einzelfällen ebenso Anlass wie zum Bezug auf Emissionen anstelle von Primärenergie bzw. zum Übertrag des Terminus in den Projekttitel (s. bspw. „Nullmissionsfabrik Solvis“, DE\_9). Vorstellungen zur Ausdehnung auf den Indikator Endenergie werden wegen der Steigerung der erneuerbaren Energiebereitstellung im Stromnetz ebenso geäußert wie der Aspekt von Plusenergiebilanzen bei Neubauvorhaben.<sup>89</sup> Eine hierüber mögliche Kopplung mit der Elektromobilität wird unter dem Aspekt der Speicheroption und nicht als Kompensationsmöglichkeit für individuelles Verkehrsaufkommen von Pendlern als interessant beschrieben. Der ökologische Fußabdruck von Gebäudenutzern durch gestiegene personenbezogene Gesamtenergieaufwendungen spielt eine untergeordnete, weil architektonisch kaum beeinflussbare Rolle. Eine Energiebetrachtung pro Person wird vor dem Hintergrund steigender pro-Kopf-Wohnflächen und einem durch periphere Ein- und Zweifamilienhäuser gesteigerten Verkehrsaufkommen sowie gesteigertem Entertainmentkonsum als ein denkbare Szenario gesehen, jedoch mit Verweis auf eine nötige gesamtgesellschaftliche Veränderung mindestens in die Bauherrenrolle bzw. eher in die Legislative verschoben. Eine beinahe einvernehmliche Meinung ist, dass so geplant und

<sup>88</sup> Hierzu zählt bspw. auch die in den Interviews angesprochene Asymmetrie bei der Verteilung von Fenstern (s. Abschnitt 6.1.2)

<sup>89</sup> Das ökologische Interesse und eine entsprechende Überzeugung waren bereits vor den Interviews bekannt, insofern überraschen diese Haltungen nicht

gebaut wird, wie es der Bauherr wünscht. Dies bestätigt die ebenfalls große Übereinstimmung hinsichtlich der Initiierung des Themas Nullenergiegebäude durch die Bauherren, während die Planer die Ideen „lediglich“ forcieren. Als argumentative Falle werden die bei sehr effizienten Gebäuden kaum steigenden Energiekosten bei Flächenzunahme genannt. Zudem suggerieren Nullenergie-Einfamilienhäuser im Grünen, dass sämtliche Problemstellungen vor Ort gelöst werden können. Als Ausweg und Ersatz für städtebaulich schwierige (periphere) Einfamilienhäuser werden zentrale und qualitativ hochwertige Mehrfamilienhäuser in verdichteten Zentren vorgeschlagen. Für die eigene Arbeit wird mehrfach auf den erfolgten Bau flexibler Wohngebäude mit änderbaren Grundrissen oder zentrale Gebäude mit gestapelten Mischnutzungen verwiesen, die eine größere Dichte als zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit üblich zulassen. Dem entgegengebrachten Argument, dass eine Verdichtung zwar Einsparungen ermögliche, aber auf Grund eines schlechteren Verhältnisses zwischen Nutz- und solar aktivierbarer Hüllfläche dem bilanziellen Ausgleich durch Energieerträge vor Ort entgegenstehe, wird mit einem Verweis auf verringerte Gesamtenergieaufwendungen, effizienter werdenden Solaranlagen und der Möglichkeit der externen Erzeugung begegnet. Ein Mehr an pro-Kopf-Wohnfläche als Selbstzweck für Nullenergiegebäude soll nicht forciert werden.

Eine Ausweitung des Bilanzrahmens um externe aber im Investment des Gebäudes einbezogene Energiesysteme wird aus Gründen der Ästhetik, der Ökonomie, der Bestandssanierung und bei hohen Gebäuden sowie durch die Kombination dieser Aspekte in Betracht gezogen. Auch Clusterlösungen auf Quartiers- oder sogar Stadtebene bieten sich als Möglichkeit an und werden tlw. präferiert. Die Übertragung von Erzeugungsverantwortungen in „grüne“ Netze gilt fast durchgehend als fallspezifische Option für die Umsetzung von klimaneutralen Bestandsgebäuden.<sup>90</sup> Hier muss, so die einvernehmliche Meinung, die Verantwortlichkeit der Architekten greifen, um Eigenarten und Gebäudespezifika ebenso wie stadtbildprägende Elemente, Fassaden, Strukturen und Farbigkeit zu erhalten. Zwar sind maßgeschneiderte Konzepte sogar für denkmalgeschützte Gebäude projektspezifisch denkbar und eine Effizienzsteigerung sowie der Einsatz effizientester Geräte und Beleuchtung immer möglich, doch können Effizienzvorgaben und der Einsatz aktiver Systeme gestalterisch verheerend wirken, Erscheinungsbilder dominieren und demnach eine Kompensation durch externe Erzeuger hervorrufen. Externe Wind- oder Solarparks gelten gegenüber nachträglich aufgesetzter Photovoltaik in Patchwork-Optik als ästhetischer. Als komplett entkoppelte Lösung wird einmal der Gedanke der Kompensation von Energieaufwendungen oder Treibhausgasen analog zur Stellplatzablösung aufgeworfen. Es herrscht jedoch Konsens darüber, dass nur eine Kombination von regenerativen leitungsgebundenen, speicherbaren und „on-site“-Energieerträgen einen Klimaneutralen Gebäudebestand ermöglichen kann.

Eine ebenso große Herausforderung wie die Bestandssanierung stellt die Umsetzung von hohen Gebäuden mit ausgeglichener Energiebilanz dar. Hier wird ebenfalls auf die nötige Prüfung der spezifischen Aufgaben verwiesen. Dem mehrfach genannten Argument einer immer möglichen Effizienz steht das Problem einer mangelnden Möglichkeit zur Differenzierung der Fassaden durch übliche Grundrissstrukturen hoher Gebäude entgegen. Fassadenintegrierte Solaranlagen gelten als schwerlich umsetzbar, weil sie anders als das „Kommunikationsvehikel“ Holzfassade als technisches Element bei technologi-

<sup>90</sup> Eine exklusive Sichtweise ergibt sich in Dänemark: Hier wird die Bereitstellung von Energie außerhalb von Gebäuden als deutlich effizienter und damit absolut präferierbar angesehen. Um die Belastungen durch die Übertragung auf die Netz zu begrenzen, ist bspw. ein büroeigenes Effizienzziel von 40 kWh/m<sup>2</sup>a für die Heizwärme und Warmwasseraufwendungen vorgegeben

schem Fortschritt schnell als veraltet erscheinen können und zudem sehr prägend, dominant und häufig inhomogen wirken.

Die Erweiterung der Bilanzgrenze um die Graue Energie wird aus Gründen der Nachhaltigkeit mehrfach als wichtiger und richtiger weiterer Aspekt genannt. U.a. verhindern bisher nicht durchgängig ausgewiesene und vergleichbare Kennwerte sowie eine geringe Nachfrage auf Seite der Bauherren eine Einbindung in (eigene) Bilanzmethoden. Vielmehr wird stattdessen Holz als ökologisch unbedenklicher Baustoff für Konstruktionen genutzt und zur Fassadengestaltung vorgeschlagen. Dabei spielt dessen Image und eine darüber mögliche Kommunikation des ökologisch inspirierten Energiekonzepts eine maßgebende Rolle (s. Abschnitt 6.1.3).

### 6.1.2 Auswirkungen auf Entwurfsprozesse und -konzepte

Bei nahezu allen Interviewpartnern sind die angesprochenen, eigens geplanten Nullenergiegebäude präsent. Es entsteht der Eindruck, dass diese einen prägenden Charakter in der Entwurfsmethodik der Büros hinterlassen haben bzw. deren Arbeitsweise wiedergeben. So wird auf die Frage, inwieweit das Nullenergieziel das Entwurfskonzept beherrscht oder einschränkt, geantwortet, dass Effizienzgedanken als Grundlage verankert sind und durchgehend in Entwurfsprozesse einbezogen werden. Beeinträchtigungen im Entwurf sind dann nicht auszumachen. Das Einbringen von Solaranlagen oder weiterer Schritte zur Energieeinsparung fügen sich als gleichbedeutender Teil in den Entwurfsprozess ein. Damit steigt zwar die Komplexität des Entwurfskonzepts, müssen Maßnahmen integral eingebunden werden, um spätere (technisch notwendige) „Add-ons“ zu vermeiden und ergibt sich die Herausforderung der Detailplanung bereits zu Beginn der Entwurfsphase, doch bedeutet Architektur ohnehin immer die Integration vieler Aspekte. Dazu gehören auch, aber nicht ausschließlich, Technik oder Effizienzkomponenten, die - ebenfalls wie die anderen Elemente und Aspekte - mitunter abgeschwächt werden müssen, um sie nicht zu bedeutend werden zu lassen. Ausnahmen bilden Projekte, in denen Marketingaspekte als ein klares Ziel vorgegeben werden. Hier bestimmt das Energiekonzept den Ausdruck der Gebäude und werden Entwurfsschritte entsprechend angepasst.

Die später unter Umständen messbare Qualitätsanforderung „Null“ schreckt die Planer nicht ab. Das klar formulierte Ziel stimmt mit dem Wunsch nach Maximalem und den üblichen Herausforderung überein und wird eher als gemeinsame Motivation zur Optimierung im integralen Prozess gesehen.<sup>91</sup> Allein wenn zu Projektbeginn weder Planungspartner noch Kostenrahmen fixiert sind, werden ungern ambitionierte Festlegungen getroffen.

Es wird stets betont, dass die Grundqualitäten von Gebäuden im Vordergrund stehen, so dass diese funktionieren, ansprechend und flexibel sind und angenommen werden.

Weil der integrale Planungsprozess einen Teil der normalen Aufgabenstellung sowie eine alltägliche Herausforderung darstellt, wird der planerische Mehraufwand als gering beschrieben. Gegenüber einer nicht integralen Planung wird der Mehraufwand jedoch als vorhanden bis sehr groß geschildert, da besonders die frühe Zusammenarbeit mit allen Projekt- und Planungsbeteiligten im Planungsprozess gefordert aber auch gefördert wird. Die Interviewpartner nehmen den größeren Abstimmungsbedarf und ein Mehr an Kommunikation als befruchtend wahr, sofern passende Ansprechpartner für Planung und Aus-

<sup>91</sup> Je einmal wird explizit darauf verwiesen, dass Vorgaben durch eine angestrebte Zertifizierung nach DGNB genutzt werden, um Prozesse zu strukturieren und Abwägungen mit externen Beratern vornehmen zu können, und dass eine angestrebte Zertifizierung nach Passivhausstandard gegenüber der eher beugbaren „Null“ Freiheiten nimmt, da es einen festen Zielwert und damit gestalterischen Korridor vorgibt

führung gefunden werden.<sup>92</sup> Es ergeben sich prozessuale Synergien, die aber durch das Verbinden verschiedener Anforderungen (Statik, Brandschutz, Schallschutz, Komfort, Ökonomie, Energie)<sup>93</sup> zwangsläufig zustande kommen. Es gilt: Je früher sämtliche Disziplinen und Planer einbezogen werden, desto größer ist die Möglichkeit deren Einfluss in der späteren Gestalt weniger dominant darzustellen. Fachingenieure helfen, Elemente der technischen Gebäudeausrüstung nicht zu dominant werden zu lassen und zeigen verschiedene Optionen auf, wie Komfortparameter oder Energieziele erreicht werden können. Unabhängig voneinander beschreiben die interviewten Planer, dass sich Synergien zwischen (formaler) Gestaltung und energetischen Gesichtspunkten durch den steten Wunsch nach Tageslichtoptimierung zur Steigerung des Komfortempfindens, dadurch verringerte Strombedarfe für Kunstlicht sowie kleinere interne Wärmelasten zugunsten des Verzichts auf aktive Kühlmaßnahmen einstellen. Sofern dies über eine Auffaltung des Daches zur Belichtung aus Norden geschieht, ergeben sich zudem südorientierte Flächen für Solaranlagen.

### 6.1.3 Auswirkungen auf Form und Gestalt

Analog zu der im obigen Abschnitt beschriebenen, wahrgenommenen entwerferischen Freiheit und dem Einfließen der energetischen Anforderungen in die üblichen Entwurfsprozesse wird auch die jeweils entstandene Form der realisierten Nullenergiegebäude auf das Zusammenfügen mannigfacher Teilaspekte zurückgeführt. Neben dem genannten Innenraumkomfort und einer hohen Tageslichtausbeute werden mehrfach konzeptionelle Aspekte, typologiespezifische Anforderungen, der Kostenrahmen als Hintergrund für einfache Konstruktionen, der Bezug auf das (städtebauliche) Umfeld oder die Topographie genannt. Allerdings führt die stete Überprüfung verschiedener Konzepte auf Grund der hohen energetischen Anforderungen meist zu kompakten und hinsichtlich der Tageslichtausbeute schmalen bzw. längsgestreckten Gebäuden.<sup>94</sup> Dabei gilt die Kompaktheit als Grundaspekt der Effizienz durchaus als konträre Strategie, da sie der solaren Exposition und Gewinnmaximierung von Solaranlagen entgegensteht. Hinzu kommen Abwägungen zwischen Verschattung und passiven solaren Wärmegewinnen über Fensterflächen. Der Kompaktheit und den großen Photovoltaikanlagen wird eine sehr prägende Rolle im Formfindungs- und Gestaltungsprozess zugesprochen. Dies gilt umso mehr, da während der Interviews häufig der Wunsch geäußert wird, technischen Elementen nicht zu viel Gewicht zukommen zu lassen. Insbesondere die Photovoltaik wird als architektonisch eher uninteressant und homogenität-verhindernd eingestuft. Damit sie den Gebäudeausdruck ästhetisch nicht dominiert, soll sie als selbstverständliches Element integriert und PV-Module in der Fassade vermieden oder nur in Ausnahmen eingesetzt werden. Eben diese Gründe sprechen auch gegen eine angedachte Differenzierung von Solarstromanlagen zur Streuung von Solarstromerträgen über den Tages- und Jahresverlauf. Flachdachlösungen bieten hierzu ebenfalls Potenziale, vermeiden aber die Gratwanderung zwischen reiner Energieerzeugung und (zu Ungunsten) der Gestaltung.

Bei der Wahl von Konstruktions- und Fassadenmaterialien spielen die Gedanken hinsichtlich der Ökologie eine Rolle. Holz macht dabei als ökologisches Baumaterial generell Sinn und ist reflexartig das Material der Wahl. Allerdings wird die Art der Konstruktion vornehmlich durch die Nutzung und typologische Überlegungen bestimmt. Aspekte wie bspw. Grundrissgestaltung und Flexibilität aber auch Brandschutz und thermische Speicherfähigkeiten gehen mit ein. Generell ergeben sich zwei Meinungsbilder und damit Diskurse bezüglich der

<sup>92</sup> Gleiches gilt auch für die Ausführung und die Bauleitung

<sup>93</sup> Es fällt auf, dass hier unabhängig und ohne explizite Fragestellung das Thema Brandschutz mehrfach als prägender und stark einwirkender Aspekt angesprochen wird

<sup>94</sup> Neben der reinen Formfindung wird die Definition der Schnittstelle thermische Hülle als wichtiger Schritt beschrieben. So lassen sich Erschließung, Balkone, Laubengänge oder sogar das Tragwerk auslagern und kompakte Baukörper hierüber (skulptural) überformen

<sup>95</sup> Hier kann die energetische Komponente bereits eine Rolle spielen

<sup>96</sup> Dies kann auch im Holzbau durch technische Brillanz formuliert werden

Materialgerechtigkeit bei Fassadenbekleidung und dem gewünschten (ggf. ökologischen) Ausdruck. Einerseits soll das Fassadenmaterial die Nutzung und die damit verbundene Konstruktionsart wiedergeben,<sup>95</sup> soll Fortschrittlichkeit kommuniziert, gleichzeitig ein allzu technisches Bild vermieden und/oder ein sog. „Ökoimage“ ab- bzw. erst gar nicht aufgelegt werden.<sup>96</sup> Andererseits bringen Bauherren die Erwartungshaltung ein, dass der ökologische Anspruch oder Marketingansprüche durch ein entsprechendes Branding gezeigt werden. Dies geschieht mitunter unabhängig von der gewählten Konstruktion, da der Grauen Energie und dem Argument des Primärenergiegehalts bzw. der Recyclingfähigkeit weniger Aufmerksamkeit beigemessen wird als dem Image und dem Ausdruck ökologischer Standpunkte. Auch die Gebäudeform wird hier nicht als erster Ausdrucksträger gesehen. Bei der Wahl der Materialien unabhängig von der Konstruktion aber im Sinne der Nachhaltigkeit bietet sich immerhin eine größere Palette an. Neben Holz werden bereits recycelte (bspw. Recyclingglas) oder später recycelbare Materialien (Aluminium, Stahl) genannt.

Insgesamt bringt der Holzbau bei sehr effizienten Gebäuden Vorteile auf Grund der in der Konstruktionsebene eingehenden Dämmstärken und geringerer Laibungstiefen mit sich. Hier ist Holz als Fassadenverkleidung typischer Ausdrucksträger von energetischem Anspruch und verwendeter Konstruktion und wird zusammen mit der Photovoltaik als ein klares Erkennungsmerkmal von Nullenergiegebäuden beschrieben.

Ein ebensolches Erkennungsmerkmal von sehr effizienten Gebäuden - eine starre, klar limitierte und zudem asymmetrische Verteilung von Fensterflächen - soll möglichst zu Gunsten einer Differenzierung auf Basis konzeptioneller Entscheidungen, der Umgebung, der Orientierung, Ausblicken und vor allem der Nutzung umgangen werden. Die Tageslichtoptimierung wird deutlich höher gewertet als eine rein energetisch bedingte Fensterausrichtung. Auch weil übermächtige, nach außen getragene energetische Aspekte nicht im Vordergrund stehen sollen (vgl. vorangegangene Abschnitte), andere Effizienzschritte gegangen werden können und Fensterqualitäten immer besser werden, kann auf asymmetrische Fensterverteilungen verzichtet werden. Allerdings wird auch zugegeben, dass sich diese auf Grund energetischer Überlegungen und der planerischen Auseinandersetzung mit örtlichen Gegebenheiten je nach Projekt durchaus ergeben können. Dabei müssen sich dann aber Synergien einstellen<sup>97</sup> und darf das Credo solarer Wärmegewinne nicht zur dogmatischen Pflicht zur Erfüllung von energetischen Benchmarks wie bspw. dem Passivhausziel dienen. Dem Argument, dass Ganzglasfassaden im Gegensatz zu dicken Dämmpaketen ökonomische Vorteile bei der Maximierung der Nutzfläche bieten würden, steht gegenüber, dass Häuser, die in allen Himmelsrichtungen gleiche Fassaden aufweisen, nicht energetisch optimiert sein können.<sup>98</sup>

<sup>97</sup> Wie oben beschrieben: Steigerung von solaren Gewinnen, Tageslichtoptimierung und Reduzierung des Strombedarfs für Kunstlicht, interne Wärmelasten und des Kühlbedarfs

<sup>98</sup> Die Not der aktiven Kühlung wurde hier nicht genannt aber vermutlich adressiert

Diese Optimierung wird auch als Maßgabe beschrieben, um Gebäude mit möglichst wenig Technik betreiben und hierüber mehr Nutzerakzeptanz herbeiführen zu können. Robustere Gebäude, die über passive Strategien an klimatische Gegebenheiten angepasst werden, sind weniger anfällig für technische Ausfälle und werden seltener fehlbedient. Allerdings hat die Einbindung von bspw. Sonnenschutzelementen oder passiven Kühlstrategien einen formalen Einfluss. Sofern Technikeinsatz hier entgegenwirken kann oder andere (Komfort-)Strategien unterstützt werden (z.B. Gebäudeautomation zur passiven Nachtkühlung oder Abschaltung von Verbrauchern), bieten sie eine wichtige Abwägungsoption. Eine technikgestützte Effizienz(-steigerung) bei verringertem Erzeugungsbedarf schmälert den formalen Einfluss durch weniger PV.

#### 6.1.4 Allgemeine Einschätzungen zur Architektur von Nullenergiegebäuden

Die Interviewpartner sehen einen Konflikt zwischen Baukultur und Energieeffizienz bzw. -erzeugung darin begründet, dass das Erzeugen von Energie noch nicht als der Teil der Grundfunktion von Gebäuden und somit der Baukultur, die immer auch durch Zeitgeist geprägt ist, wahrgenommen wird. Zudem verhindern teils sehr starre Vorgaben und deren mitunter ebenfalls starre architektonische Interpretationen gestalterische Freiheiten. Werden diese aufgelöst und Energiekonzepte unter Abwägung aller relevanten Aspekte als Teil des Entwurfs und der Lösungsstrategie eingeordnet, können Konflikte umgangen werden. Es liegt in der Verantwortung der Architekten, sowohl Trends als auch Weitsicht zu bedienen. Sofern das Thema der Energie(-effizienz) ähnlich wie bspw. sehr schlanke Tragwerke in den 1960er Jahren in eine spezifische Gestaltung mit eigener Gestaltqualität geführt wird, kann sich eine charakteristische Architektursprache von Nullenergiegebäuden ergeben. Dabei wird es integral geplanten Gebäuden anzusehen sein, dass viele Aspekte einbezogen werden. Gemäß ihrem vergrößerten Anforderungsprofil stellen sie sich differenziert dar und weisen Facetten auf, die sich gestalterisch widerspiegeln. Sehr einheitliche Strukturen im Sinne des Rationalismus oder formalistische Gegenwartsarchitektur bis hin zum Minimalismus sind mit einem Nullenergieansatz kaum möglich. Ob sich hierüber eine eigene neue Epoche erschließt, wird hingegen kritisch gesehen. Zwar ist bereits zu erkennen, dass sich formale Muster zwischen Flachdach und asymmetrischem Dach durchsetzen, häufig große sichtbare Solaranlagen gen Süden orientiert werden und Materialcollagen zunehmen, doch bleibt es ebenso möglich, Konzeptelemente zum Ausgleich der Energiebilanz als Selbstverständlichkeit einzubinden und keine allzu dominante Rolle zukommen zu lassen. Zudem werden die Zyklen der eingesetzten Materialien und Technologien als zu kurz für eine eigene Epoche eingeordnet.

Dass Architekten im Allgemeinen zurückhaltend auf das Thema Nullenergiegebäude reagieren, wird darauf zurückgeführt, dass hierbei nicht allein aus ästhetischen Gesichtspunkten argumentiert werden kann und in angestammte, komplett freie sowie sehr konzeptionelle Entwurfsprozesse einschränkend eingegriffen wird. Die Haltung bestätigt sich, sofern bislang energetische Aspekte nicht in integralen Prozessen aufgegriffen, sondern (zu) spät additiv hinzugenommen und die ursprünglichen Konzepte hierüber angegriffen, stark beeinflusst oder gar ad absurdum geführt wurden. Hinzu kommt der gesteigerte Kommunikations- und Abstimmungsaufwand, Vorbehalte gegenüber dem Einbeziehen von Fachplanern in den frühen Planungsprozess sowie der dazu nötige Umfang an neuem Fach- und Detailwissen über Systeme, Materialien oder Zertifizierung.

Abgeschreckt reagieren Architekten, wenn weitreichende Effizienzvorgaben gemacht werden (Passivhaus) und sich hierzu bereits ein aus eigener Sicht negatives Image durch weniger gelungene Beispiele eingeprägt hat. Da das Umweltthema auch in Verbänden wenig präsent ist, steht die Gestaltung weiterhin im Vordergrund und werden Vorurteile gegenüber bspw. Dämmung, Dichtigkeit oder Photovoltaikmodulen (bspw. „Haus muss atmen“, „Energieaufwendung der Erstellung amortisiert sich nicht“, „Am Ende bleibt Sondermüll“) nur langsam abgebaut.

## 6.2 Zwischenfazit: Meinungsbild aus der Architekturpraxis

Als Essenz aus den Interviews bleibt festzuhalten, dass bei den interviewten Planern Ökologie und Energieeffizienz auch über die üblichen Ansprüche hinaus als Ideale erkennbar sind und in die Projekte ebenso wie in die eigene Interpretation architektonischer Verantwortung - sofern beeinflussbar - einfließen. Als Dienstleister gegenüber dem Bauherren und Gestaltungsverantwortliche opfern sie die Gestaltung nicht dem Energiekonzept und dessen eventueller technischer Prägnanz. Hierzu werden integrale Planungsprozesse hinsichtlich möglicher Synergien präferiert, um optimale Gebäudequalitäten zu ermöglichen. Die beim Entwurf von Nullenergiegebäuden entstehenden zusätzlichen Anforderungen lassen sich dabei als gleichwertiges Puzzleteil einbinden, sodass keine Beeinträchtigungen im Entwurfsprozess aber ein Motivationsplus wahrgenommen werden. Insgesamt führen stete Abwägungsprozesse zwischen allen architektonischen Disziplinen und ökologischen bzw. energetischen Aspekten zu gewünschten Gebäudequalitäten und helfen, eine formale wie auch gestalterische Dominanz des Energiekonzepts zu vermeiden. Erst die sich ergebenden Synergien erlauben letztlich den Einklang von energetischen Zielen und Gestaltanspruch. Analog zu berühmten Aussprüchen der Architekturhistorie soll gelten: „*Less [Technik] is more [Gestaltung]*“<sup>99</sup> und „*form follows function*“<sup>100</sup> wobei Energie hier mindestens als ein Teilaspekt der Funktion gesehen werden kann und damit „*function*“ durch „*performance*“ ersetzt werden könnte - Thesen die in Kapitel 9 aufgegriffen und in der Schlussbetrachtung diskutiert werden. Hierauf gründet auch die durchgängige Meinung der Interviewpartner, dass das Konzept einer ausgeglichenen Energiebilanz bei Gebäuden bestimmte formale Muster eher ausschließt, als dass eine neue, eigene Epoche entsteht. Hierzu bedarf es der Übertragung des energetischen Anspruchs, der Materialien und der Technologien in die Grundfunktion von Gebäuden. Allerdings steht technologischer Wandel durch stete Entwicklung und eine damit einhergehende Schnellebigkeit der Entwicklung von spezifischen Gestaltmustern mit epochaler Wirkung entgegen.

<sup>99</sup> U.a. Ludwig Mies van der Rohe griff das geflügelte Wort „*less is more*“ als Ausdruck des Minimalismus des 20. Jahrhunderts auf

<sup>100</sup> Ein u.a. von Louis Sullivan adaptierter Gestaltungsleitsatz der School of Chicago

# Kapitel 7

## Festlegungen und Quantifizierungsgrößen bekannter Bilanzierungsmethoden

Energiebezugsgröße

Bilanzart

Indikatoren und Bewertungsverfahren

Bilanzgrenze

Bilanzrahmen

Bilanzierungszeitraum

Nebenanforderungen

Quantifizierungsgrößen

Zwischenfazit: Einfluss von Festlegungen und Quantifizierungsgrößen



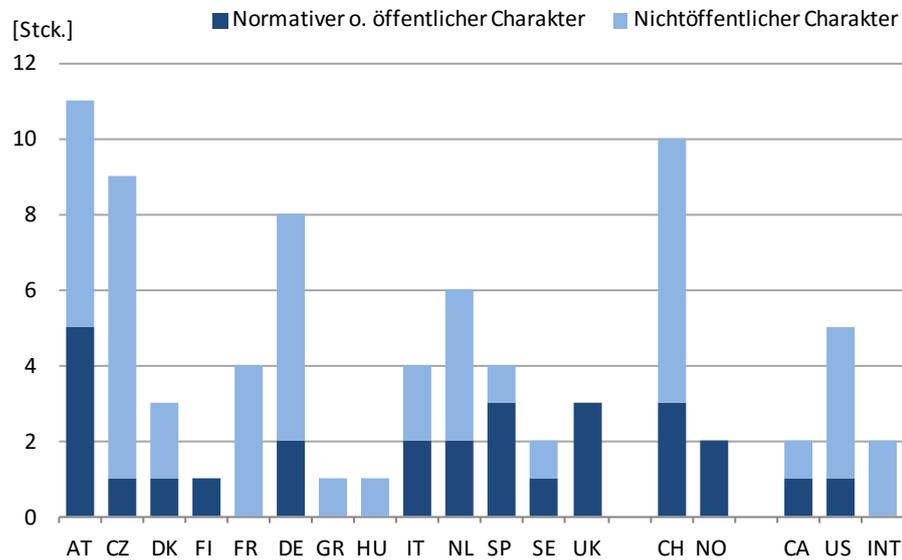
## 7 Festlegungen und Quantifizierungsgrößen bekannter Bilanzierungsmethoden

<sup>101</sup> Der Fokus wird trotz der Forderung des „Nearly Zero Energy Buildings“ innerhalb der EPBD hierauf gesetzt, da das Ziel „Nahezu-Null“ zwar abweichend definiert werden kann, aber einen sehr weiten, eher undefinierten Rahmen absteckt. Hierunter ließen sich die meisten etablierten Gebäudeeffizienzrichtlinien fassen, deren Mehrzahl jedoch bisher nicht eine Energiebilanz beschreibt und Erträge aus der Nutzung erneuerbarer Energiequellen allenfalls einbezieht (vgl. Passivhausstandard). Die zu untersuchenden Festlegungen sind hier meist nicht hinterlegt. Das Energie-Plus wird einbezogen, da hierbei erzielte Bilanzüberschüsse zumeist zum Ausgleich der Grauen Energie oder der Elektromobilität genutzt werden

Abbildung 7-1: Aufteilung der 78 bekannten Definitionen, Label und Standards für Null- und Plusenergiegebäude nach Herkunftsland (unterteilt in EU-, Europa- und übrige Staaten) und Konstitutionscharakter (normativer oder öffentlicher Charakter steht für amtliche Verordnungen, Gesetze oder Normen sowie öffentlichen Förderprogramme oder Demonstrationsvorhaben zur Vorbereitung dieser Verordnungen; nichtöffentliche Definitionen entstammen Bauherren, Planern oder anderen nicht amtlichen Institutionen)

Wie in den einleitenden Kapiteln beschrieben, beinhalten aktuelle nationale und internationale Positionspapiere maximal allgemeine Zielvorgaben und sektorübergreifende Aussagen zu Energie- bzw. Emissionseinsparungen (bei Gebäuden). Eine gesetzliche Definition oder normative Beschreibung zukünftiger Nullenergiegebäude auf europäischer bzw. des Klimaneutralen Gebäudebestands auf nationaler Ebene wurde bis zum Verfassen dieser Arbeit nur vage bis gar nicht formuliert (s. Kapitel 1.1.2, 3 und 4.5). Die meisten EU-Mitgliedsstaaten haben die EPBD-Definition bis Anfang 2014 national noch nicht umgesetzt [Ecofys 2013]. Da bis zur Überarbeitung der EPBD im Jahr 2010 und damit einschließlich der gültigen EnEV 2014 in Deutschland „lediglich“ die Gebäudeeffizienz thematisiert wurde, haben Planer, Bauherren aber auch öffentliche Institutionen bei der Entstehung (erster) gebauter Nullenergiegebäude bislang eigene Definitionen verfasst (vgl. Kapitel 5.2).

In einer Literaturrecherche konnten unterschiedliche Festlegungen und Bewertungsgrundlagen von 78 weltweit etablierten oder vorgeschlagenen Definitionen, Labeln und Standards für Null- und Plusenergiegebäude<sup>101</sup> zusammengeführt, untereinander verglichen, den Rahmenfestlegungen der EPBD und Quantifizierungsgrößen aus aktuellen wissenschaftlichen Debatten gegenübergestellt sowie hinsichtlich ihres Einflusses auf die Gebäudekonzeption untersucht werden. Abbildung 7-1 gibt einen Überblick über die Verteilung.



Auch wenn sich Ansätze zur Bilanzierung zwischen Energieaufwand und -ertrag durch die Netzanbindung durchgesetzt haben (s. Kapitel 4.4 f.), lässt die Vielfalt an Definitionstiteln erahnen, dass die in Abbildung 4-7 erwähnten Festlegungen für die Bilanzierung und unterschiedliche Bewertungsgrundlagen je nach Fokus verschieden interpretiert wurden und werden. Insbesondere das Maß an nötigen Ertragskapazitäten wird durch die Festlegungen bestimmt, wodurch sich - gemäß den Ausführungen der interviewten Planer in Kapitel 6 - Auswirkungen auf die Konzeption und die Gestaltung von Gebäuden ergeben. Demnach und weil nahezu keine umgesetzten Nullenergiegebäude ohne Solarstromanlage bekannt sind (s. Kapitel 8.2 und [Musall 2011e; Musall 2011f]),

wird das Maß der (zusätzlich) nötigen Photovoltaikfläche als Einflussgröße je Festlegung ausgewiesen und zur Vergleichbarkeit auf die Nettogrundfläche NGF bezogen. Der entstehende Kennwert  $[m^2_{PV}]$  bzw.  $[m^2_{PV}/m^2_{NGF}]$  stellt einerseits eine energetisch-technische Größe dar und nimmt andererseits die bauliche Auswirkung auf die Gestaltung von Gebäuden auf (s. u.a. Kapitel 9). Die Veränderung der nötigen Solarstromkapazität kann als Synonym für Effizienzmaßnahmen gelten. Andere bekannte Kenngrößen, die sowohl die Gestaltung von Gebäuden als auch die energetische Optimierung adressieren, können aber nicht herangezogen werden, da sie zwar eine Kompensation möglicher Bilanzunterschiede durch Effizienzsteigerung aber nicht durch Ertragsmaximierung ermöglichen. Die Verbesserung des mittleren, gewichteten U-Werts der (opaken) Hüllfläche als Einsparkoeffizient (s. [Vallentin 2011]) oder die Verringerung des A/V-Verhältnisses sind reine Verlustminderungsstrategien, bleiben immer im Bereich der Negativbilanz und führen niemals zu einem Ausgleich von Energiebedarfen (vgl. [Rullan Lemke 2009]). Gleiches gilt für andere denkbare Größen wie bspw. eine zusätzliche Effizienzstrategie als Kombination mehrerer Effizienzmaßnahmen. Diese sind kaum allgemein übertrag- und anwendbar sowie im Rahmen der in dieser Arbeit genutzten Parameterstudien nicht plakativ darzustellen, da sich Einzelmaßnahmen überlagern oder zumindest beeinflussen. Das solarurbane Flächenpotenzial könnte als Anforderungswert formuliert werden, schließt aber per Definition ebenfalls weitere Aspekte mit ein (s. Kapitel 3.4.2). Die Entwurfsgütezahl nach [Pokorny 1982] strebt nach der Optimierung der Gebäudeform zur Maximierung der passiven solaren Wärmegegewinne und nicht nach der Optimierung aktiver Energieerträge [Treberspurg 1999b].

Pro Festlegung werden die Einflüsse einzeln dargestellt, um Überlagerungen von Effekten zu vermeiden. So ergäben sich bspw. bei der Kombination von asymmetrischen Gewichtungsfaktoren und einer Batterienutzung zur Erhöhung der Deckungsquote je nach Bilanzart Unterschiede hinsichtlich der Höhe des Anteils an exportierter Energie, deren Gewichtung und dementsprechend der nötigen Ertragskapazitäten.<sup>102</sup> Die primäre Absicht liegt jedoch im Aufzeigen des Einflusses einzelner Festlegungen in Bezug auf die Zielerreichung einer ausgeglichenen Bilanz, da diese unabhängig voneinander implementiert und/oder verändert werden können. Zudem steht die Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten einer Darstellung der Ergebnisse aus den Parameterstudien ohne Optimierungsprozess entgegen.

<sup>102</sup> Asymmetrische Primärenergiefaktoren führen bei einem hohen Anteil exportierter Energie zu geringen Primärenergiebedarfen. Sofern die Eigennutzung des erzeugten Stroms einbezogen und diese durch Batteriespeicher ggf. erhöht wird, sinkt die durch die asymmetrischen Faktoren (künstlich) höher bewertete Gutschrift und der Ertragsbedarf steigt

## 7.1 Energiebezugsgröße

Bei den bisher üblichen Verordnungen zur Energieeffizienz von Gebäuden werden absolute Energiekennwerte (Energiebedarf oder -verbrauch) zur Vergleichbarkeit unterschiedlich großer Gebäude auf Referenzgrößen bezogen. Zumeist wird durch eine sog. Bezugsfläche dividiert (bspw. kWh/m<sup>2</sup>). In Deutschland können Energiekennwerte für Wohngebäude laut der EnEV durch zwei Berechnungsgrundlagen bestimmt werden:

- Die DIN 4108 gibt hierzu die rein volumenabhängige und daher nicht direkt messbare Nutzfläche  $A_N$  ( $0,32 \text{ m}^{-1} \times V$ ) vor
- Bei der DIN V 18599 ist dies die Energiebezugsfläche  $A_{EBF}$

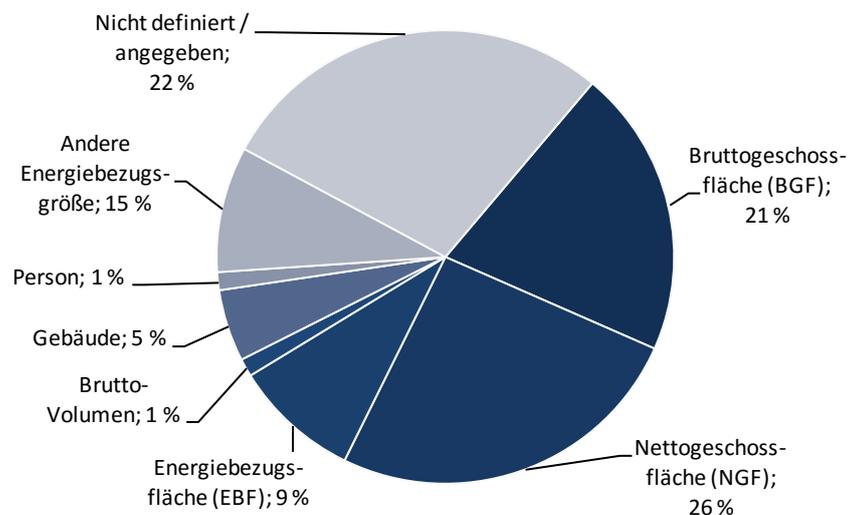
Für Nichtwohngebäude gilt nur die DIN V 18599 und hierbei die beheizte Nettogrundfläche als Referenzfläche. Eine weitere gängige Größe ist bspw. die (beheizte) Bruttogrundfläche (BGF). Sie findet in der Schweiz und den dortigen

SIA- sowie MINERGIE-Standards Anwendung. Das Passivhausinstitut bezieht sich hingegen auf die Energiebezugsfläche, die als beheizte Wohnfläche (Wfl) gemäß Wohnflächenverordnung inkl. beheizter Nebenräume bei Wohngebäuden definiert wird oder auf die Nettogrundfläche (NGF) gemäß DIN 277 [Passipedia 2013]. Beim Raumvolumen (V) als Bezugsgröße, vorgeschlagen u.a. durch den Verein Deutscher Ingenieure (VDI), wirken sich unterschiedliche Konstruktionsquerschnitte oder Dämmstärken sowie nutzungsabhängige, zentrale Installations- und Versorgungsflächen auf den Energiekennwert aus und vermindern eine energetische Vergleichbarkeit. Dies gilt somit auch für die oben genannten volumenbezogene Nutzfläche  $A_N$ .

Generell gilt, dass sich Gebäudebewertungen mit größeren Flächenwerten durch geringere flächenspezifische Energiekennwerte bei überschlägigen Vergleichen besser stellen (Unterschiede lt. [Passipedia 2013; BPIE 2011] bis zu 30 %) und daher mitunter Irritationen hervorrufen. Ein Aspekt, der bei der vollständigen Bilanzierung des Energiebedarfs umgangen wird. Hier ist es unwesentlich, ob absolute oder relative Werte gegenübergestellt werden, sofern bei Energiebedarf, -verbrauch oder -bezug die gleiche Bezugsgröße gewählt wird, wie bei Energieertrag oder -einspeisung. Bilanzierungsgegenstand ist immer die Gebäudeeinheit (Haus, Cluster, Siedlung, etc.) mit den zugeordneten Bilanzgrenzen und -rahmen (s. Abschnitt 7.4 und 7.5). Um Abweichungen vom gewünschten Bilanzergebnis „Null“ leicht übermitteln und vergleichen zu können, sollte diese auch auf eine Energiebezugsgröße bezogen werden.<sup>103</sup>

<sup>103</sup> Die in dieser Arbeit genutzte Bezugsgröße ist üblicherweise die Nettogrundfläche (NGF) als Summe aus gesamter Nutzfläche (NF), Technischer Funktionsfläche (TF) und Verkehrsfläche (VF). Für vergleichende Umrechnungen wurden Faktoren nach [BMVBS 2009] bzw. [VDI 3807-1 2013] verwendet

Abbildung 7-2: Übersicht über die ausgemachten Energiebezugsgrößen in bekannten Methoden für Null- und Plusenergiegebäude



Die Abbildung 7-2 weist auf die Energiebezugsgröße Person als eine weitere Variante hin. Grundlage für diese Idee bildet der Ansatz der 2000-Watt-Gesellschaft (vgl. DE\_7 und „zeroHaus-Zertifikat“ - Seite 95). Diese hat eine nachhaltige und gerecht aufgeteilte Nutzung globaler Rohstoffe zum Inhalt, fokussiert daher alle Energieverbrauchssektoren (Konsum, Mobilität, Freizeit sowie Bauen und Wohnen) und berechnet diese pro Person. Gemäß den Vorgaben des IPCC, den Treibhausgasausstoß drastisch zu reduzieren (s. Kapitel 1), verbleiben bei gleichmäßiger Verteilung der nachhaltigen Energiemenge auf alle Erdbewohner etwa 17.500 kWh Primärenergie bzw. 2.000 W kontinuierliche Leistung pro Person und Jahr. Dies entspricht in etwa dem heutigen weltweiten Durchschnitt und ist damit auch das Reduktionsziel der 2000-Watt-Gesellschaft für Industrieländer bis zum Jahr 2100 (CO<sub>2</sub>- Ausstoß dann 1 t/Person). Maximal 25 % oder 500 W dürfen dann noch aus nicht-

# „Kleehäuser“, Freiburg

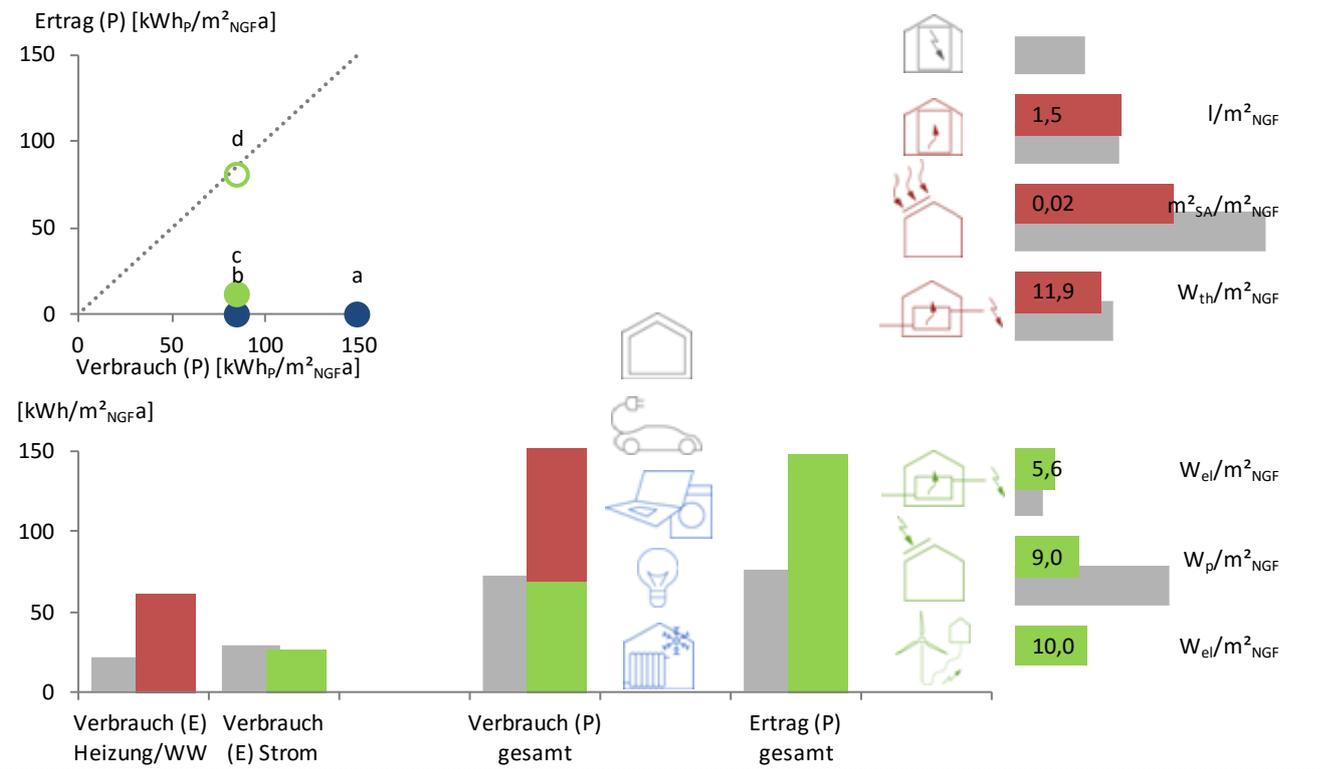
DE\_7



Fotos: Jörg Lange

Architekt	Common & Gies Architekten, Freiburg	Nettogrundfläche	2.520 m <sup>2</sup>
Baujahr	2006	Hauptakteur / Motiv	Baugruppe / Ökologie
Typologie	Mehrfamilienhaus	Städtebauliches Umfeld	urban

Das Baugruppenprojekt „Kleehäuser“ im Freiburger Stadtquartier Vauban erfüllt das zeroHaus-Zertifikat und führt den Effizienzgedanken der 2000-W-Gesellschaft durch ein Passivhauskonzept, geringe Transmissionswärmeverluste (u.a. durch kubischen Baukörper) und effizienteste Gebäudetechnik, Beleuchtung und gemeinschaftlich genutzte Gefriertruhen bzw. Trockner sowie an das Warmwassernetz angebundene Waschmaschinen konsequent in alle Verbrauchsbereiche. Eine Solarthermieanlage unterstützt die Wärme- und Warmwasserbereitstellung eines Blockheizkraftwerks. Die übrige Stromerzeugung zum Ausgleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen erfolgt durch eine lokale Solarstromanlage und eine Beteiligung an mehreren, externen Windkraftanlagen.



## zeroHAUS-Zertifikat, DE

Autor, Institution	solares bauen GmbH	(Neben-)Anforderungen: Der mittlere U-Wert der Gebäudehülle muss mindestens 45 % unter den Anforderungen der Energieeinsparverordnung liegen; der Gesamt-Primärenergiebedarf inkl. Strom muss weniger als 100 kWh/m <sup>2</sup> a betragen; Zukäufe regenerativer Energien sind möglich
Einführungsjahr	2005	
Bilanzgrenze	normativ / nutzungsspezifisch	
Bilanzrahmen	on-site / off-site	
Bilanzzeitraum	Betriebsjahr	
Indikator	CO <sub>2</sub> -Emissionen	

<sup>104</sup> Allerdings muss die Nutzung erneuerbarer Energiequellen hier, wie auch in allen übrigen Sektoren, räumlich wie zeitlich nicht mit dem Verbrauchsort übereinstimmen. Am Beispiel „Kleehäuser“ wird dies mit einem Investmentanteil an einer nicht gebäudegekoppelten Windkraftanlage, deren Ertragsanteile in die Bilanz der gebäudebezogenen Energieverbräuche eingehen, dargestellt (s. Seite 95)

<sup>105</sup> Der Nutzenergiebedarf für Trinkwasser kann gem. Normung alternativ nutzungsbezogen (Anzahl Personen) oder flächenbezogen unter Berücksichtigung der Belegungsdichte bestimmt werden

<sup>106</sup> Interne Wärmequellen wie die Personenwärme - wird in Abhängigkeit der Betätigung bzw. Nutzung berechnet - beeinflussen die Werte indirekt. Der Mindestaußenluftvolumenstrom wird anhand der Nutzung, flächenbezogen und auf Basis hygienischer Aspekte berechnet

erneuerbaren Energiequellen stammen. Ebenso groß ist die primärenergiebezogene Durchschnittsleistung für den Bereich Wohnen. Eigentlich wäre dies ein Hinweis auf eine kleinstmögliche Gebäudeenergiebilanz, um die ebenfalls in die Gesamtbetrachtung eingehenden Flugreisen, Konsumgüter oder Freizeit-aufwendungen dem nicht erneuerbaren Bereitstellungsanteil überlassen zu können.<sup>104</sup>

Der Gesamt(-primär-)energiebedarf und damit parallel die vorzuhaltenden Erzeugungskapazitäten von (Nullenergie-)Gebäuden werden stark durch die Nutzungsdichte eines Gebäudes und die personen- bzw. nutzungsabhängigen Energiebedarfe, zu denen neben dem Haushaltsstrombedarf (nutzungsspezifischer Bedarf) hier auch einmal die Warmwasserbereitung gezählt wird, beeinflusst.<sup>105</sup> So unterscheiden sich die rein gebäudebezogenen Bedarfswerte bei veränderter Nutzeranzahl auf Ebene der Nutzenergie nicht und bei Betrachtung der Endenergie nur marginal (s. Tabelle 7-1).<sup>106</sup> Auf Basis der Primärenergie sind die Unterschiede bei einer vollständigen Betrachtung am größten, da zumindest der nutzungsspezifische Energiebedarf strombasiert und daher mit vergleichsweise hohen Umrechnungsfaktoren belegt ist. Bei hochwärmege-dämmten bzw. -effizienten Gebäuden kommt diesem Aspekt eine besonders große Bedeutung zu (s. bspw. Abbildung 7-17). Somit ist es auch ein Unterschied, ob ein tendenziell gleichbleibender Energiebedarf eines Hauses auf eine andere Personenanzahl aufgeteilt werden kann (s. Tabelle 7-1).

Tabelle 7-1: Übersicht über die Veränderung des normativen Energiebedarfs (berechnet mit dem Werkzeug [EnerCalc 2014]) und des nutzungsspezifischen Strombedarfs (auf Basis von Messwerten bestimmt) des Projekts „Kleehäuser“ in Abhängigkeit der Personenanzahl. Eine Halbierung der Personenzahl erwirkt nicht automatisch eine Halbierung des Gesamt-Primärenergiebedarfs bzw. umgekehrt eine Verdopplung der Personenzahl keine Verdopplung des Bedarfs

Die PV-Fläche berechnet sich ohne die im tatsächlich realisierten Projekt einbezogenen externen Windkraftrträge aber mit den Stromerträgen der KWK-Anlage. Der sehr große Unterschied zwischen Nutz- und Endenergiebedarf ist durch das BHKW bedingt, da hier auch der Gasanteil für die Stromerzeugung eingeschlossen ist

Personenanzahl		75			38			58		
Personenbezogene Nettogrundfläche [m <sup>2</sup> /Pers.]		33,6*			66,3**			43,4***		
Bezugsgröße		Ges	m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	Pers	Ges	m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	Pers	Ges	m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	Pers
Nutz- zenergie [kWh <sub>N</sub> / m <sup>2</sup> a]	Heizen	68.544	27,2	913,9	68.544	27,2	1.803,8	68.544	27,2	1.181,8
	TWW	44.339	17,6	591,2	28.476	11,3	749,4	37.044	14,7	638,7
	Lüften	13.196	5,2	176,0	13.196	5,2	347,3	13.196	5,2	227,5
End- energie [kWh <sub>E</sub> / m <sup>2</sup> a]	Heizen	123.480	49,0	1.646,4	127.260	50,5	3.348,9	125.244	49,7	2.159,4
	TWW	86.940	34,5	1.159,2	55.692	22,1	1.465,6	72.576	28,8	1.251,3
	TGA	14.616	5,8	194,9	14.616	5,8	384,6	14.616	5,8	252,0
nutzungsspezifischer Strombedarf inkl. Beleuchten [kWh <sub>E</sub> /a]		50.148	19,9	668,6	42.588	16,9	1.120,7	46.721	18,5	805,5
Gesamt-Primärenergiebedarf u. -erzeugung [kWh <sub>p</sub> / a]		399.924	158,7	5.332,3	350.028	138,9	9.211,3	377.244	149,7	6.504,2
PV-Fläche zum primärenergetischen Ausgleich aller Energiebedarfe [m <sup>2</sup> <sub>PV</sub> ]		636	0,25	8,5	553	0,22	14,6	598	0,24	10,3

\* entspricht der realen Belegungsdichte

\*\* entspricht der halben realen Belegungsdichte

\*\*\* entspricht dem Bundesdurchschnitt zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit

Diese Betrachtungen sind vor allem eine Frage der Bilanzgrenze und der Hinzunahme der bisher nicht in der Normung abgebildeten nutzungsspezifischen und ggf. weiteren Verbrauchsbereiche (s. Abschnitt 7.4). Letztere müssen dann in der Planung hinsichtlich der Nutzungsdichte beachtet werden. Dabei gilt, dass sich die Nutzeranzahl eines Gebäudes im Laufe des Lebenszyklus durch Um- oder Zuzug, (Familien-)Zuwachs oder Nutzungsänderungen ändern kann. Ein Kennwert zur Qualität des Gebäudes in Abhängigkeit von der Anzahl der Personen erscheint also eher ungeeignet. Die personenbezogene Berechnung wird darüber hinaus schwierig, sobald weitere Quantifizierungsgrößen wie bspw. der Anteil erneuerbarer Energieträger am Gesamtbedarf (s. Abschnitt 7.8) bestimmt werden sollen.

Dennoch ist die Betrachtung des Energiebedarfs pro Person vor dem Hintergrund des Bestrebens, den absoluten Gesamtenergieverbrauch zu verringern sowie unter dem Eindruck der demografischen Entwicklung (für den Wohnungsbau) nicht falsch. Effizienzschritte auf der Gebäudeebene werden durch eine steigende pro-Kopf-Wohnfläche „aufgefressen“ (s. Kapitel 1.1.1). Dem

<sup>107</sup> Die Nutzergruppe Mieter kann wenig Einfluss auf den Effizienzstandard, den damit verbundenen Energiebedarf eines Gebäudes und demnach den eigenen „energetischen Fußabdruck“ für den Bereich Wohnen/Arbeiten nehmen

steht gegenüber, dass der persönliche Energiebedarf bei verdichtetem Wohnen sinkt, da Mehrfamilienhäuser kompakter und demnach meist verbrauchsärmer sind [Weiß 2012]. Im Sinne der Suffizienz bietet die Nutzung einer kleinen pro-Kopf-Wohnfläche also eine Verringerung des Energieaufwands für das Wohnen. Innerhalb eines globalen, personenbezogenen Energiebilanzrahmens wie der 2000-Watt-Gesellschaft schafft dies Anreize für Eigentümer und vor allem Mieter<sup>107</sup>, kleine Wohnungen in energieeffizienten Gebäuden zu nutzen. Dies könnte dem Trend der mangelnden Verdichtung entgegen wirken, senkt andererseits aber das Potenzial zum Ausgleich des Energiebedarfs am Standort (s. PV-Flächenbedarf in Tabelle 7-1). Das Ziel einer ausgeglichenen Energiebilanz forciert weniger dichte Gebäude mit einem hohen Dachanteil pro Nutz- bzw. Wohnfläche (s. Kapitel 9). Dies gilt umso mehr, wenn nutzungsspezifische Verbräuche mit bilanziert oder weitere Energieaufwendungen mit gebäudeinduzierten Verbräuchen vermengt werden. Gemäß der Vision der 2000-Watt-Gesellschaft sollen neben dem Betriebsenergieverbrauch des Gebäudes bspw. auch die Graue Energie für die Erstellung von Gebäuden und die Mobilität berücksichtigt, also Großteils durch erneuerbare Energiequellen gedeckt werden. Letztere auch, weil das Mobilitätsaufkommen der Gebäudenutzer und der damit verbundene Energieverbrauch in Abhängigkeit vom Gebäudestandort stehen. Ein Ausgleich dieser Aufwendungen am Gebäude bedeutet großen formalen Einfluss durch den Anstieg von Erzeugungs- bzw. PV-Kapazitäten (s. Abschnitt 7.4). Die direkte Nutzung von zum Ausgleich produzierten Stromerträgen ist kaum mehr gegeben (s. Abschnitt 7.8).

## 7.2 Bilanzart

Bei der Definition einer Bilanzierung von Nullenergiegebäuden (s. Kapitel 4.5, Formel 4-1) wurde die einfache Gegenüberstellung von Energieaufwand und -erzeugung vorgestellt. Hierzu ist nicht weiter definiert, welche Werte eingehen. Grundsätzlich wird bisher meist unterschieden zwischen Bilanzen zwischen Energiebedarf und -erzeugung/-ertrag (Planungsphase) sowie zwischen Energiebezug/-import und Energieeinspeisung/-export an der Schnittstelle zum Netz (Betriebsphase, Monitoring). Es ergeben sich verschiedene Optionen (s. Abbildung 7-3):

Während der Planungsphase von Gebäuden stehen normative monatliche Werte für den Energiebedarf und mögliche -erzeugung zur Verfügung. Werden Jahreswerte bestimmt, basiert hierauf die Bilanz zwischen (gewichteter) Jahresenergiebedarf und Jahresenergieerzeugung.

Folgt man der Bilanzierung gemäß EnEV, werden monatliche Energieerträge monatlichen Bedarfswerten auf Basis gleicher Endenergieträger gegenübergestellt und bereits miteinander verrechnet. Lediglich monatliche Ertragsüberschüsse bzw. nicht gedeckte Bedarfe werden aufsummiert und gehen auf Primärenergiebasis in eine Jahresbilanz ein. Da auch auf Basis der monatlichen Werte nicht von einer direkten Deckung der Bedarfe ausgegangen werden kann,<sup>108</sup> ergibt sich eine theoretische Bedarfsdeckung sowie eine theoretische Bilanz zwischen verbleibendem Netto-Energiebedarf (bzw. fiktiver Energiebezug) und Netto-Energieerzeugung (bzw. fiktive Energieeinspeisung).

Die tatsächliche Bilanz von Energiebezug aus der Energieinfrastruktur und Einspeisung von Energie in Netze ist hingegen im Gebäudebetrieb oder auf Basis dynamischer Simulationen möglich. Im Gebäudebetrieb werden durch Zähler oder (Ab-)Rechnungen entsprechende Energiebezüge oder -exporte erfasst.

<sup>108</sup> Monatssummen geben nicht das tatsächliche Verbrauchs- bzw. Erzeugungsprofil wieder. Die am Wochenende erzielten Solarstromerträge des Kindergartens in Monheim werden bspw. kaum verbraucht, da das Gebäude hier nicht genutzt wird

Tatsächlich vor Ort verbrauchte bzw. gedeckte Energiemengen sind hierbei bereits abgezogen und ein tatsächliches Nutzer- bzw. Nutzungsprofil abgebildet. Es ergibt sich die sog. Import-/Export-Bilanz. Sollen nur bestimmte Verbräuche erfasst werden, bspw. die normativen Verbräuche, werden Unterzähler und ggf. weitere Berechnungen notwendig. In der Planung müssen hierzu zeitlich hoch aufgelöste Bedarfs- bzw. Ertragsprofile für bspw. Beleuchtung, Warmwasser oder elektrische Geräte sowie Wetterdaten in dynamischen Simulationswerkzeugen hinterlegt werden. Erst hierüber lassen sich Eigennutzungsgrade bestimmen. Diese Profile sind allerdings stark vom schwer abzubildenden Nutzerverhalten abhängig.

Eine weitere Option für den Gebäudebetrieb ist die Bilanz zwischen Energieverbräuchen und -erträgen. Da hier direkt genutzte Energieanteile ausgespart werden, ist gegenüber der üblichen Zählerausstattung mitunter eine aufwendigere Messtechnik erforderlich. Die Bilanz zwischen gewichtetem Energieverbrauch und -ertrag kann am ehesten zur Überprüfung der ursprünglichen Planungsbilanz herangezogen werden und ist daher Nachweiskriterium einiger Standards, die neben Planungswerten auch einen Praxisnachweis fordern (und diesem Planungswerten gegenüberstellen).

- x— Bezug/Einspeisung (Messw.)
- x— Verbrauch/Erzeugung (Messw.)
- x— Bedarf/Erzeugung (Planungsw.)
- x— Netto Bedarf/Erzeugung (Planungsw.)

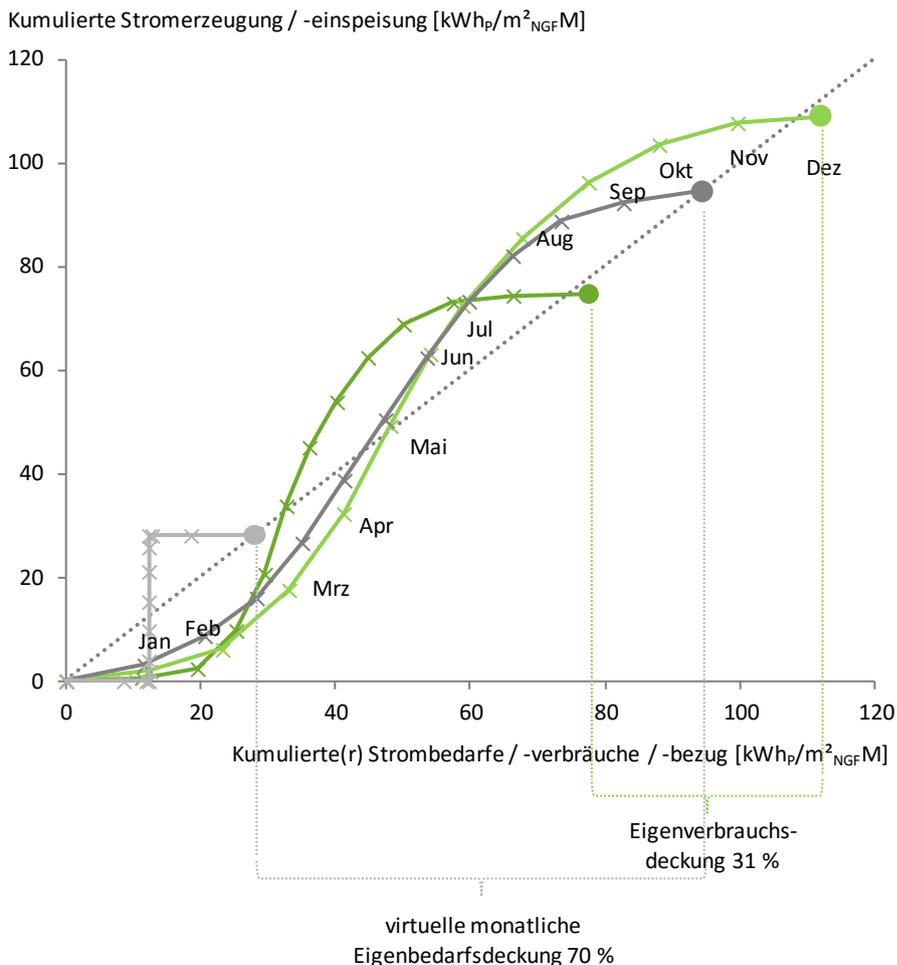


Abbildung 7-3: Darstellung unterschiedlicher Bilanzarten auf Basis kumulierter monatlicher Primärenergiewerte für den Kindergarten in Monheim (inkl. nutzungsspezifische Verbraucher). Die Messdaten resultieren aus einem Monitoring aus dem Jahr 2011 mit 10-minütlicher Datenerfassung. Die Nullenergiebilanz wird knapp verfehlt (s. grüne Kurven). Ca. 30 % des Verbrauchs können direkt gedeckt werden.

Das Resultat der Bilanz zwischen Energiebedarf und -erzeugung (dunkelgraue Linie) könnte auch anhand von Jahreswerten erstellt werden, da keine monatliche Verrechnung erfolgt. Auf Grund des Ansatzes eines Nur-Strom-Hauses und der virtuellen, monatlichen Eigenbedarfsdeckung resultiert die Bilanz Nettobedarf/Nettoerzeugung entweder in einem Monatsplus (virtuelle Einspeisung) oder einem Monatsminus (virtueller Energiebezug)

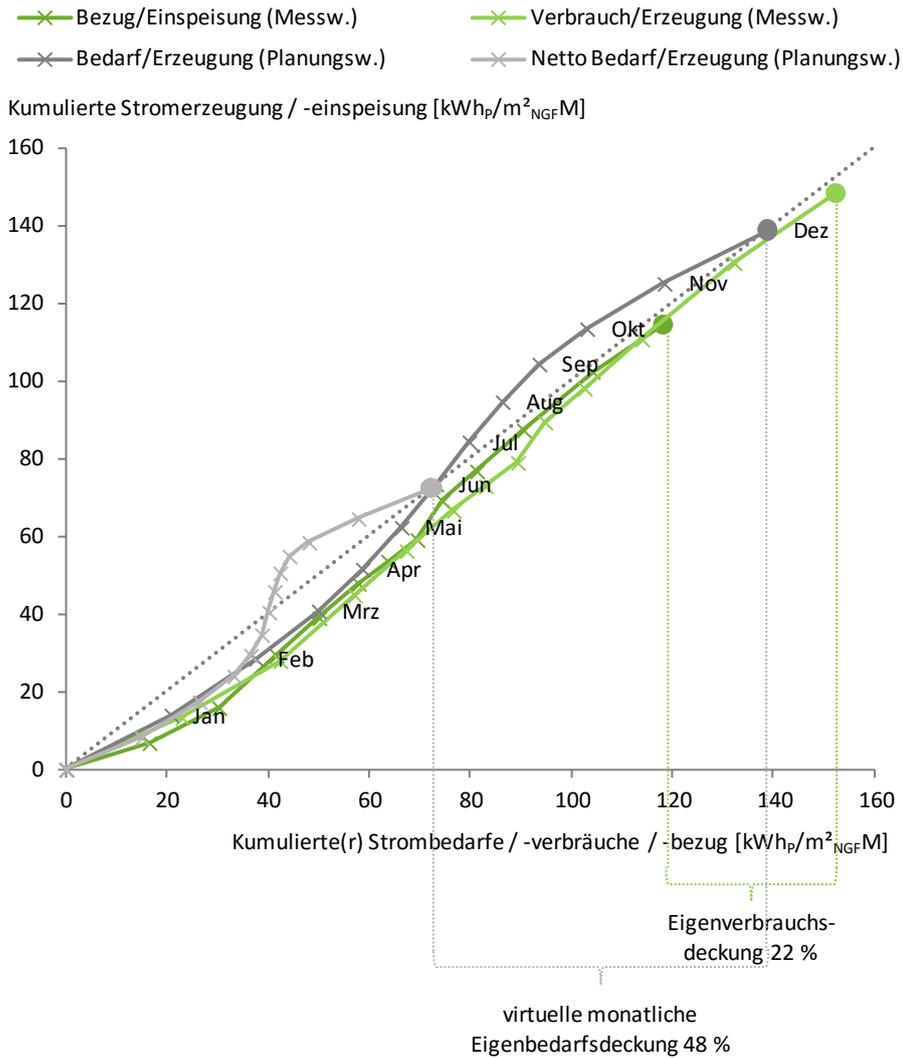
Die Bilanzergebnisse der Planungs- bzw. Betriebskennwerte sind untereinander jeweils kohärent, unterscheiden sich aber durch die Quote der vor Ort erzeug-

ten und tatsächlich bzw. fiktiv selbst genutzten Energie, der Eigenverbrauchs- bzw. -bedarfsdeckung (s. Abbildung 7-3). Dies ist derjenige Anteil selbst erzeugter Energie, der durch die quantitative und zeitliche Überlagerung von Erzeugung und Verbrauch direkt im Gebäude genutzt werden kann (vgl. Abschnitt 7.8). Mitentscheidend für diese Quote ist das Einbeziehen der nicht normativ erfassten Bedarfsbereiche (nutzungsspezifische Bedarfe, s. Abschnitt 7.4). Sie stehen für saisonal kaum variierenden und über den Tagesverlauf anfallenden Energiebedarf und können somit eher durch (Solarstrom-)Erträge gedeckt werden. Werden diese Bedarfe bilanziell ausgespart, wird theoretisch mehr Solarstrom exportiert, auch wenn er faktisch direkt vor Ort genutzt wird.



Abbildung 7-4: Darstellung unterschiedlicher Bilanzarten auf Basis kumulierter monatlicher Primärenergiewerte für die „Kleehäuser“ (inkl. nutzungsspezifische Verbraucher). Die monatlichen Messdaten resultieren aus einem Monitoring aus dem Jahr 2010. Die Nullenergiebilanz wird knapp verfehlt (grüne Kurven). Erträge aus einer externen Windkraftanlage wurden nur in der Jahresprimärenergiebilanz berücksichtigt. Die saisonal durchgehend hohen Stromerträge aus PV und KWK können den Stromverbrauch bereits zu 100 % direkt und vor Ort decken (das erwirkt auf Primärenergieebene eine Deckungsrate von 22 %; Gasbezüge werden erst in der Jahresbilanz ausgeglichen).

Die Planungswerte wurden mit einer zur Null-Primärenergiebilanz ausreichend großen PV-Anlage berechnet. Erneut wird der Strombedarf virtuell durchgehend gedeckt. Lediglich 48 % Eigenbedarfsdeckung resultieren aus dem Ausgleich des Gasbezugs auf Jahresebene. Der flache Verlauf der Kurven zeigt den Einfluss der KWK



Auch bei der Nutzung mehrere Energieträger (wie in Abbildung 7-4 gezeigt mit Gas und Strom) erfordert die unterschiedliche Anrechnung der genannten Größen (Energiebedarf und -ertrag sowie Energiebezug und -einspeisung) keine direkte Veränderung des Energiekonzepts. Dies gilt jedoch umso mehr, wenn eine asymmetrische Gewichtung zwischen Energiebedarf und -ertrag bzw. (fiktivem) Energieimport und -export erfolgt (s. hierzu Abschnitt 7.3.1.1).

### 7.3 Indikatoren und Bewertungsverfahren

Kennwerte auf der Basis von Primärenergie oder CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen ermöglichen den Vergleich zwischen unterschiedlichen Gebäuden. Zugeordnete Umrechnungsfaktoren dienen zur Bildung eines einzigen gebäudespezifischen Energiekennwerts bei Nutzung verschiedener Systeme bzw. Energieträger zur Raumkonditionierung und Energieerzeugung. Das sog. „fuel-switching“ lässt bspw. die Kompensation von importierter Biomasse durch Stromexporte aus gebäudeintegrierten PV-Anlagen zu. Zudem geben Indikatoren den Betrachtungsschwerpunkt einer Bewertung bzw. Bilanzierung wieder, adressieren somit die Zielgruppe oder favorisieren bestimmte Technologien.

Ein Nachteil der Umrechnung und Gewichtung anhand von Faktoren ist die entstehende Intransparenz. Neben der Unterscheidung, ob erneuerbare Anteile einbezogen werden oder nicht (s. Abschnitt 7.3.1), sind weder CO<sub>2</sub>- noch Primärenergiewerte und -bilanzen auf Zählern oder Rechnungen abzulesen [Voss 2013]. Außerdem werden je nach Berechnungs- bzw. Bilanzierungsmethodik, lokalen Gegebenheiten und Zeitpunkt der Berechnung unterschiedliche Faktoren genutzt.<sup>109</sup> Besonders die fortlaufende Anpassung der Umrechnungsfaktoren von Strom durch wachsende Anteile der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen (s. Kapitel 3.2.1 und Abbildung 3-5) lässt die wirklichen Qualitäten bzw. die energetische Performance von Gebäuden verschwimmen und steht der gewünschten Vergleichbarkeit entgegen. Aus diesem Grund erscheinen Parallelbetrachtungen auf Basis der Endenergie (bspw. mit der EnEV 2014 für Wohngebäude eingeführt) oder/und Anforderungen an andere Qualitätsmerkmale sinnvoll (s. Abschnitt 7.7). Anders als Konzepte mit Energieträgermix stehen Nur-Strom-Gebäude diesen Veränderungen robust gegenüber.

Gemäß der Ziele einer allgemeiner Treibhausgasminde rung und des seitens der Politik formulierten klimaneutralen Gebäudebestands erscheinen CO<sub>2</sub>-äquivalente Emissionen als Indikator geeignet. Das Forcieren von nahezu klimaneutralen Brenn- oder Biokraftstoffen durch Förderungen ist dabei umstritten (s. Kapitel 4), jedoch auf Grund des Bilanzgedankens auch nicht zwingend erforderlich. Dennoch ist eine ausgeglichene Bilanz auf Basis von CO<sub>2</sub>-Emissionen oder der Begriff Nullemissionsgebäude schwer vermittelbar, wenn in einem Gebäude ein (Pellet-)Kessel genutzt wird und aus dem Schornstein Rauch, also sichtbare Emissionen aufsteigen. Hierauf basiert die umschreibende Bezeichnung „klimaneutrales Gebäude“.

Folgt man der Annahme, dass der Staat und die Energieendverbraucher neben dem Klimaschutz an einer geringeren Abhängigkeit von Energieimporten aus dem Ausland interessiert sind, und nimmt Aspekte der Ressourcenknappheit und Ökologie hinzu, gilt der Indikator (End-)Energie als Bewertungskriterium. Dies entspricht den Formulierungen in Annex I der EPBD, wonach

*Die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes [...] anhand der berechneten oder tatsächlichen Energiemenge zu bestimmen [ist], die jährlich verbraucht wird, um den unterschiedlichen Erfordernissen im Rahmen der üblichen Nutzung des Gebäudes gerecht zu werden [...].*  
[EU 2010a]

Bei einer energieträgerübergreifenden Bilanzierung würde man den unterschiedlichen Qualitäten und vorgelagerten Aufwendungen der Energieträger und vor allem denen der Stromerzeugung bei den heutigen Unterschieden nicht gerecht.<sup>110</sup> Um verschiedene Endenergieträger vergleichen oder gemein-

<sup>109</sup> Bei EnEV-Nachweisen für Nichtwohngebäude gelten die Primärenergiefaktoren der DIN V 18599. Für Wohngebäude können je nach Berechnungsgrundlage die Faktoren der DIN 4701 oder DIN V 18599 angewendet werden. Der Passivhausnachweis beinhaltet ebenfalls die Faktoren der DIN 4701

<sup>110</sup> Langfristig werden sich diese Unterschiede jedoch angleichen, so dass Indikatoren entfallen können

sam einbeziehen zu können, bedarf es des eingangs genannten Indikators Primärenergie. Hierauf basieren die meisten offiziellen Nachweisverfahren zur Energieeffizienz von Gebäuden in Europa [Marszal 2010; BPIE 2011] und stehen zudem im Einklang mit der DIN EN 15603 und EPBD. Letztere bezieht sich in Artikel 2, Absatz 5 auf Primärenergie inkl. erneuerbarer und nicht erneuerbarer Anteile.

<sup>111</sup> Die DIN EN 15603 2008 [DIN EN 15603 2008] wies bspw. für Strom aus Kernkraftwerken einen Primärenergiefaktor von  $2,8 \text{ kWh}_P/\text{kWh}_E$  bei einem  $\text{CO}_2$ -Faktor von nur  $16 \text{ g}_{\text{CO}_2}/\text{kWh}_E$  aus, während die Werte des Energiemixes des UCPE bei  $3,31 \text{ kWh}_P/\text{kWh}_E$  bzw.  $617 \text{ g}_{\text{CO}_2}/\text{kWh}_E$  lagen

<sup>112</sup> Hierzu gilt für den deutschen Strommix, dass ein Großteil der Kernkraftwerke in näherer Zukunft abgestellt wird und sich ihr Einfluss bzw. die Diskrepanz nach und nach verringert

<sup>113</sup> Es besteht keine Parallelität zwischen Energiepreisen und Primärenergie- oder Emissionsfaktoren. Bspw. macht der nicht erneuerbare Anteil der Primärenergieaufwendungen von Holzpellets weniger als 8 % der Aufwendungen von Strom aus. Der Bezugspreis von Holzpellets liegt allerdings bei knapp 25 % des Strompreises (Angaben 11.2013, Primärenergiefaktoren nach [DIN 18599 2009], s. Tabelle A-8; Energiepreise nach [EnergieAgentur.NRW 2013])

Ein weiteres Argument für eine primärenergetische Bewertung gegenüber den  $\text{CO}_2$ -Emissionen ist, dass ein Großteil der europäischen und bis 2011 auch deutschen Stromerzeugung auf Atomkraft basiert(e), diese aber ein großes Ungleichgewicht zwischen der Primärenergie- und  $\text{CO}_2$ -Bilanz aufweist.<sup>111</sup> [BPIE 2011] führt hierzu an, dass seine ausgeglichene Primärenergiebilanz meist automatisch zu einer ausgeglichenen  $\text{CO}_2$ -Bilanz führt, dies jedoch andersherum nicht zutrifft.<sup>112</sup>

Ein Hauptbeweggrund für die Einsparung von Energie sind verringerte Energiekosten. Sie stellen einen weiteren Indikator dar, der vor allem Mieter und selbst-nutzende Immobilieneigentümer anspricht. Hiermit wird die Ziel- bzw. Nutzergruppe adressiert, die Investitions- und Betriebskosten tragen muss, die hierfür grundlegenden Umstände beeinflussen kann aber auch eventuelle Wert- oder Komfortsteigerungen direkt wahrnimmt. Da nicht die wirklichen Energiegestehungskosten sondern Energiepreise und Vergütungssätze zur Bilanzierung herangezogen werden, sind Energiekosten allerdings ein sehr unzuverlässiger Indikator. Sie schwanken aus politischen, wirtschaftlichen oder anderen Gründen, weisen temporäre wie regionale Unterschiede auf und basieren auf Börsenkursen sowie nicht bzw. nur marginal beeinflussbaren Verhandlungen mit Energieversorgern. Zudem werden Energiekosten durch wechselnde Förderungen, Vergütungen oder Gutschriften unterschiedlich verzerrt und lassen keine vergleichbaren Bilanzen zu. Besonders in Deutschland fällt ein Vergleich von Energiekostenbilanzen allein deshalb schwer, weil sich die Einspeisevergütung für Solarstrom monatlich ändert. Insofern gilt auch, dass eine ausgeglichene Energie- oder  $\text{CO}_2$ -Bilanz nicht automatisch auch eine ausgeglichene Bilanz der Energiekosten bedeutet.<sup>113</sup>

Abbildung 7-5 zeigt die Aufteilung der am häufigsten wahrgenommenen Indikatoren. Oft werden diese nicht explizit definiert. Das ist dann der Fall, wenn nationale Vorgaben bestehen. Neben den genannten Indikatoren stellen Exergie (s. [Leibundgut 2011]) oder Punktvergaben in Zertifizierungsprogrammen weitere Möglichkeiten zur energetischen Bewertung dar.

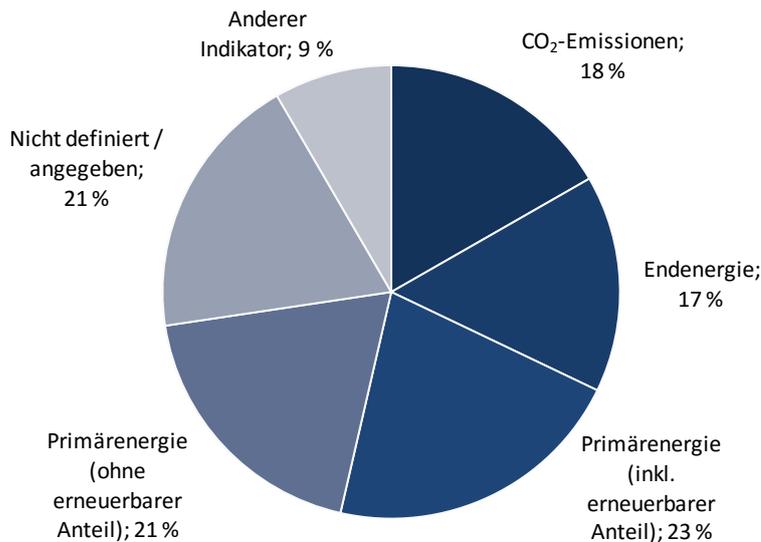


Abbildung 7-5: Aufteilung unterschiedlicher Indikatoren für die 78 vorgeschlagenen bzw. etablierten Definitionen für Gebäude mit einer ausgeglichenen Energiebilanz. Andere Indikatoren können Energiekosten, Exergie oder Punkte in einem Labelsystem sein. In etwa 10 % der Fälle wird mehr als ein Indikator genutzt

In [Torcellini 2006] werden Vor- und Nachteile der vier maßgeblich genutzten Indikatoren (Endenergie, Primärenergie, Energiekosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen) betrachtet. Dabei wird aufgeführt, inwiefern eine Indikatorwahl die zum Ausgleich des Energiebedarfs nötige PV-Fläche beeinflusst, und welche Vor- und Nachteile bzw. Gestaltungsansprüche sich ergeben. So ermöglicht eine primärenergetische Bewertung den Tausch von Energieträgern (bspw. Nutzung von Gaskesseln und Solartromanlagen) und generell kleinere PV-Flächen, während eine Endenergiebilanz Strom-Wärmepumpen und damit einfachere Gesamtsysteme bevorzugt. Beim Indikator Energiekosten werden Lastabdeckung und Vor-Ort-Energiespeicher sowie smart-Meter bedeutsam. Nullemissionsgebäude sind hingegen stark von der Art der großmaßstäblichen Stromerzeugung im Netz abhängig. Übergreifend wird auf das Etablieren passender Umrechnungsfaktoren hingewiesen.

### 7.3.1 Umrechnungs- und Gewichtungsfaktoren

Zu den jeweiligen Indikator- bzw. Bewertungssystemen gehören abgesehen von der Endenergie stets Umrechnungsfaktoren. Beim Indikator Energiekosten sind dies die Preise bzw. Vergütungssätze für Energiebezug bzw. -einspeisung. Wie oben beschrieben, werden diese unterschiedlich beeinflusst und basieren nicht auf einem einheitlichen oder konstanten Berechnungsverfahren. Solche Berechnungsverfahren existieren sowohl für den kumulierten Energieaufwand (KEA, Indikator Primärenergie) als auch für CO<sub>2</sub>-äquivalente Treibhausgas-Emissionen. Deren Umrechnungsfaktoren beinhalten vorgeordnete energieträgerspezifische wie technologisch bedingte Aufwendungen der gesamten Energiekette, die für die Umwandlung in Endenergie erforderlich sind, einschließlich der Material-Vorleistungen und Hilfsenergien für Förderung, Aufbereitung, Umwandlung sowie Übertragungs- und Verteilprozesse. Dabei können sie sich je nach Standort und lokaler Infrastruktur bzw. der darin eingehenden Rohstoffe unterscheiden (s. Tabelle A-8 im Anhang).

Die primärenergetische Bewertung lässt drei unterschiedliche Möglichkeiten zur Faktorenbildung zu. Entweder werden nur nicht erneuerbare Anteile der vorgelagerten Prozesskette einbezogen (Umrechnungsfaktoren für erneuerbare Energiequellen mit Werten kleiner als eins) oder auch erneuerbare Anteile hinzugenommen (der Umrechnungsfaktor überschreitet stets den Wert eins). Die politische Einflussnahme ist die dritte Option. Die Unterschiede sind im

<sup>114</sup> GEMIS - Globales Emissions-Modell integrierter Systeme wird unter Einbeziehung von Vorketten und Hilfsenergien zur Berechnung von Umweltbilanzen der Energieträger genutzt

<sup>115</sup> Zur Bildung eines politisch gesetzten Gewichtungsfaktors für Biomasse in Deutschland nennt [BMVBS 2012b] vorge-schaltete und unabhängige Studien zur mittelfristig nutzba-ren Biomasse sowie einen anschließenden nationalen Konsens entscheidender Insti-tutionen

Anhang in Tabelle A-8 zu erkennen. In Deutschland ist durch die EnEV bzw. die DIN V 18599 (basierend auf GEMIS<sup>114</sup>) bislang der Indikator Primärenergie mit allein den nicht erneuerbaren Anteilen vorgegeben.

Das Ausklammern der erneuerbaren Anteile bzw. die hierzu in Abbildung 3-5 und Tabelle A-8 gezeigten niedrigen Primärenergiefaktoren für biogene Energieträger verführen durch den Bilanzgedanken zu Konzepten mit Biomassefeuerung und einem bilanziellen Ausgleich über Stromexporte (vgl. Abbildung 8-24). Sie müssen kritisch betrachtet werden, da hiermit eine unbegrenzte nachhaltige Bereitstellung der biogenen Energieträger voraussetzt wird (vgl. Kapitel 4). Zudem steht der zum bilanziellen Ausgleich des Bezugs biogener Brennstoffe exportierte Strom anderen Verbrauchsbereichen oder Gebäuden zur Verfügung, während die Biomasse lediglich lokal verbraucht wird (erhöhtes „fuel-switching“ und Netzbelastung, s. Abschnitt 7.8). Da die genutzten Systeme zur Berechnung des kumulierten Energieaufwands das begrenzte Potenzial nachwachsender Rohstoffe und deren Versorgungssicherheit nicht abbilden, wird der Umrechnungsfaktor für Holzbrennstoffe in der Schweiz politisch modifiziert (s. Tabelle A-8). Für die Erstellung von Gebäudeenergieausweisen tritt ein Gewichtungsfaktor in Höhe von 0,7 kWh<sub>P</sub>/kWh<sub>E</sub> anstelle eines reinen Umrechnungsfaktors von 0,2 kWh<sub>P</sub>/kWh<sub>E</sub> [EnDK 2009].<sup>115</sup> Ein ähnliches System wird in Dänemark zur Forcierung von Fernwärmeanschlüssen und Wärmepumpen genutzt. Die Faktoren für Biomasse werden künstlich erhöht, während die für Fernwärme und Strom recht niedrig sind.

Umrechnungs- und Gewichtungsfaktoren werden bisher meist als konstanter (Jahres-)Wert angegeben (statische Berechnung) und sowohl für Energiebezüge bzw. -bedarfe als auch für Energieexporte bzw. -erträge in gleicher Weise genutzt (symmetrische Berechnung).

### 7.3.1.1 Asymmetrische Gewichtungsfaktoren

Eine asymmetrische Gewichtung von Energiebezug und -einspeisung mittels unterschiedlicher Bewertungsfaktoren (Bewertungsasymmetrie) reflektiert Unterschiede zwischen der Wertigkeit der bezogenen und eingespeisten Energie. Zudem kann hierüber eine Präferenzierung bestimmter Energien oder Technologien erfolgen [Sartori 2012]. Da in den überwiegenden Teilen Stromexporte zum bilanziellen Ausgleich genutzt werden und sich ebenfalls zum Energieexport anbietende Wärmenetze lokal begrenzt sind, beschränkt sich auch die Betrachtung asymmetrischer Gewichtungsfaktoren hier auf den Strombereich.

Wird der Gewichtungsfaktor der Bezugsseite gegenüber der Einspeisung erhöht, werden die Aufwendungen in der Infrastruktur zur Speicherung, Verteilung und des Lastmanagements hervorgehoben. Andererseits kann hierüber ein Anreiz zu verringerten Verbräuchen und zu erhöhter Eigennutzung bzw. Eigenbedarfsdeckung und somit zur Entlastung der Netzinfrastruktur erwirkt werden. Ist der Gewichtungsfaktor der Bezugsseite kleiner als der der Einspeisung, deutet dies auf eine Konzept- bzw. Technologieförderung oder eine (gewünschte und) vom zeitlichen Erzeugungsprofil abhängige Verdrängung von „dreieckigem“ (Kohle-)Strom hin. Im Fall von Gewichtungsfaktoren für Strom sind dies Nur-Strom-Gebäude mit Wärmepumpen. Bei Gebäuden mit einem Energieträgermix wird allein die Bewertung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung verbessert (vgl. Kapitel 4.5).

Asymmetrische Faktoren sind innerhalb des BMVBS-Förderprogramms zum „EffizienzhausPlus“ (s. Seite 106) [BMVBS 2011], der Novelle der DIN V 18599

im Jahr 2011 [DIN 18599 2011] sowie des Vorschlags zur Novelle der DIN EN 15603 2013 [DIN prEN 15603 2013] formuliert.

Dabei beinhalten die deutschen Definitionsvorschläge allein eine Asymmetrie hinsichtlich des netzeingespeisten Stroms. Dieser wird nicht gemäß dem allgemeinen Strommix und ohne erneuerbare Anteile mit 2,4 kWh<sub>p</sub>/kWh<sub>E</sub> gewichtet, sondern in Höhe des gesamten Primärenergieaufwands (erneuerbarer und nicht erneuerbarer Anteil) mit 2,8 kWh<sub>p</sub>/kWh<sub>E</sub> und damit analog zum Verdrängungsstrommix. Im 2013er Vorschlag zur Neufassung der DIN EN 15603 wird bei der primärenergetischen Gewichtung von Strom zeitlich sowie räumlich und damit gemäß der EPBD unterschieden (s. Tabelle 7-2). Beim Strombezug wird hinsichtlich des allgemeinen Strommixes und des Stroms aus Wasserkraftwerken in näherer Entfernung unterschieden, während Erträge aus Windkraftanlagen, die (im Eigentum des Bauherrn) gebäudenah oder in weiterer Entfernung aufgestellt werden könnten, bei den Faktoren nicht explizit aufgeführt sind.<sup>116</sup> Bei Stromerträgen aus KWK- oder PV-Anlagen variiert die Gewichtung nach Erzeugungsstandort und/oder Verwendung.

<sup>116</sup> Sie werden wohl aber ebenso betrachtet wie PV-Anlagen, da sie im Abschnitt der Bilanzgrenzen umschrieben werden (s. [DIN prEN 15603 2013])

Energieträger	PEF <sub>n.e.</sub> [kWh <sub>p</sub> /kWh <sub>E</sub> ]	PEF <sub>ges</sub> [kWh <sub>p</sub> /kWh <sub>E</sub> ]
Strom aus dem öffentlichen Netz	2,30	2,50
Aus einem Wasserkraftwerk in näherer Entfernung gelieferter Strom	0,50	1,50
Am Gebäudestandort erzeugter Solarstrom	0,00	1,00
An das öffentliche Stromnetz exportierter Strom aus PV- oder KWK-Anlagen	1,60	1,60
Vorübergehend exportierter und zu einem späteren Zeitpunkt reimportierter Strom aus PV- oder KWK-Anlagen	2,00	2,00
Für den sofortigen Gebrauch exportierter Strom aus PV- oder KWK-Anlagen	2,50	2,50

Tabelle 7-2: Primärenergiefaktoren für Strom nach DIN EN 15603 2013 [DIN prEN 15603 2013] je nach Nutzungsbestimmung (Export oder Eigenverbrauch) und Herkunft. Windkraftanlagen sind nicht beschrieben, werden aber im Abschnitt der Bilanzgrenzen analog zu PV-Anlagen genannt

„Für den sofortigen Gebrauch exportiert“ heißt, dass diese Stromanteile durch Verbraucher genutzt werden, die keine Berücksichtigung in der Bilanzgrenze finden

Durch die asymmetrischen Gewichtungsfaktoren erhalten die unterschiedlichen Auslegungen der in Abschnitt 7.2 beschriebenen Bilanzart eine größere Relevanz. Hierüber wird definiert, welche Anteile des Stromertrags- bzw. -exports mit welchem Gewichtungsfaktor multipliziert und in die Primärenergiebetrachtung eingehen. Abbildung 7-6 und Abbildung 7-7 verdeutlichen anhand von gleichen Bedarfs- und Ertragswerten des Kindergartens in Monheim, welche Anteile je nach Bilanzart gewichtet werden.

# „LichtAktiv Haus“, Hamburg

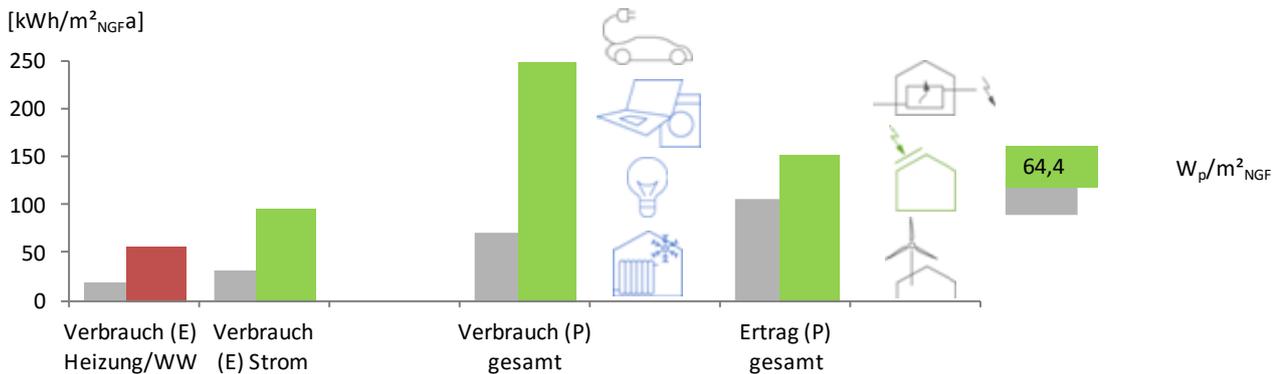
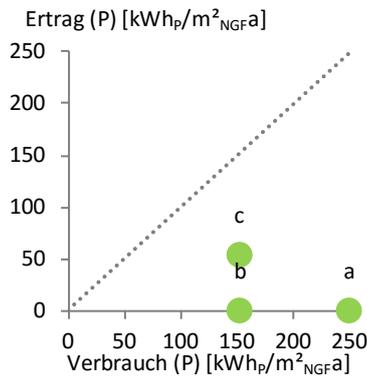
DE\_79



Fotos: VELUX GmbH Deutschland / Adam Mørk

Architekt	Ostermann Architekten mit TU Darmstadt FGee	Nettogrundfläche	132 m <sup>2</sup>
Baujahr	1950er, Sanierung 2010	Hauptakteur / Motiv	Bauherr / Demo. + Marketing
Typologie	Einfamilienhaus	Städtebauliches Umfeld	suburban

Das LichtAktiv Haus ist ein Beitrag zum europaweiten Projekt Model Home 2020 der Firma VELUX. Das modernisierte Siedlerhaus aus den 1950er Jahren wurde um einen eingeschossigen Anbau ergänzt. Dessen Dachfläche konnte im Gegensatz zum Bestandsgebäude frei orientiert und geneigt werden, erweitert damit die solar nutzbare Dachfläche im Vergleich zur Nutzfläche deutlich und nimmt sämtliche Solaranlagen auf. Der Anbau kommt zudem dem gestiegenen pro-Kopf-Flächenbedarf nach und verbessert den flächenbezogenen Energiekennwert des Hauses. Die Verbindung von Raum-, Komfort- und Energiekonzept basiert auf einer offenen Raumgestaltung und viele, meist unterschiedlich hohe und positionierte Fenster, die über den Kamineffekt eine natürliche Belüftung und Kühlung, eine hohe Tageslichtausbeute sowie passive, solare Wärmegewinne ermöglichen.



Messwerte für 2013 nach Fraunhofer-IBP

## EffizienzhausPlus, DE

Autor, Institution	BMVI / Fraunhofer-IBP	(Neben-)Anforderungen: Asymmetrische Gewichtung zwischen eingespeistem und bezogenem Strom (Faktor 2,8 kWh <sub>E</sub> /kWh <sub>P</sub> zu 2,4); Ausweis des Verhältnisses von selbst-genutzter zu erzeugter Energie anhand des EnEV-Monatsverfahrens und intelligenter Stromzähler; Endenergiebilanzierung soll guten Wärmeschutz sicherstellen
Einführungsjahr	2010	
Bilanzgrenze	normativ / nutzungsspezifisch	
Bilanzrahmen	on-site / Grundstücksgrenze	
Bilanzzeitraum	Betriebsjahr	
Indikator	End- und Primärenergie	

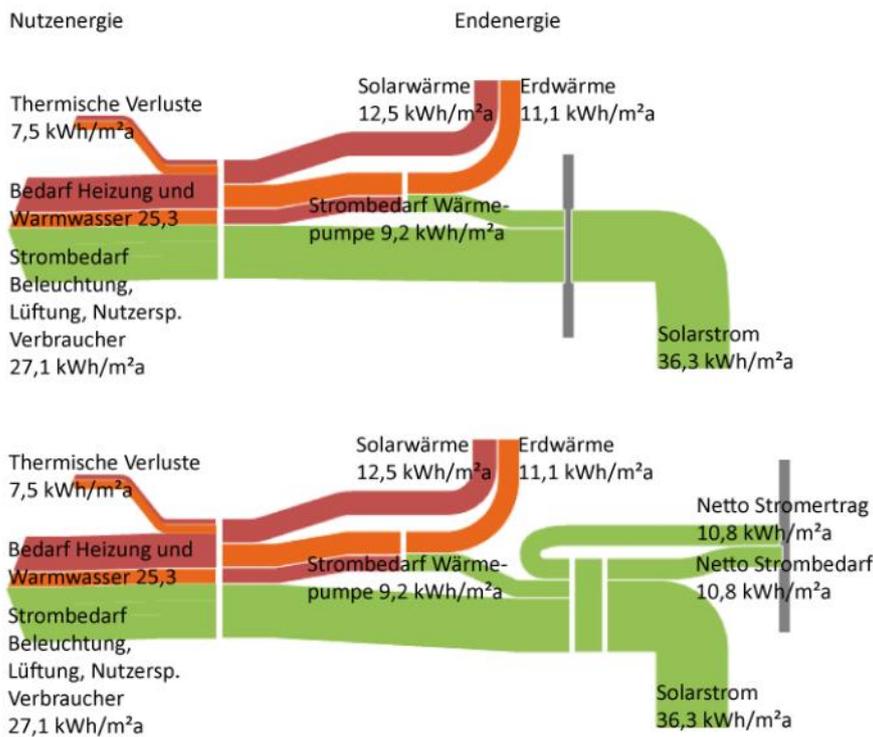


Abbildung 7-6 zeigt die einfache Bilanzierung zwischen Jahresenergiebedarf (hier allein Strombedarf) und Jahresenergieerzeugung (beides jeweils 36,3 kWh/m²a, Bilanzierung am grauen Balken). Werden die 36,3 kWh/m²a Strom mit dem Primärenergiefaktor von 2,6 kWhP/kWhE multipliziert, ergeben sich die in Abbildung 7-3 gezeigten knapp 95 kWh/m²a Primärenergie

Abbildung 7-7 zeigt die Bilanzierung nach der monatlichen Verrechnung von Strombedarf und -erzeugung sowie die daraus resultierende Bilanz zwischen Netto-Energiebedarf und Netto-Energieertrag (grauer Balken). Die Primärenergiekennwerte entsprechenden denen in Abbildung 7-3

Für den Charakter der drei genannten Definitionen ist ungewöhnlich, dass ihre Faktoren Netzeinspeisung und -bezug von Strom adressieren, da sie üblicherweise Bedarfs- und Erzeugungswerte ausgeben. Insofern wird die virtuelle monatliche Eigenbedarfsdeckung einbezogen und die asymmetrischen Faktoren lediglich auf Netto-Strombedarfe, also fiktive Stromimporte sowie Netto-Stromerträge, also fiktive Stromexporte angewendet. Würde bei der asymmetrischen Gewichtung nach DIN V 18599 bzw. nach der Definition des „EffizienzhausPlus“ der komplette erzeugte Strom (liegt in der Planung meist vor) höher gewichtet, ergäbe sich für die Bilanzierung mit hohem Anteil exportierter Energie eine günstigere Energiekennzahl, als für die mit Eigennutzung berechnete Variante. Diese Berechnungsmethode würde die bedarfsgesteuerte Solarstromerzeugung hemmen, Erträge gegenüber dem Eigenbedarf bzw. den reinen Export begünstigen und der (saisonalen) Entlastung der Netze entgegenwirken.

Asymmetrische Faktoren überlagern die Energieeffizienz eines Gebäudes noch einmal mehr als Umrechnungsfaktoren ohnehin, und verringern die energetische Aussagekraft zusätzlich.

### 7.3.1.2 Nicht-statische Gewichtungsfaktoren

Mit Bezug auf die in Kapitel 3.2 beschriebenen Diskrepanzen zwischen der Bereitstellung erneuerbarer Energien und den Lastverläufen vor allem im Stromnetz erscheinen zeitvariable Gewichtungsfaktoren denkbar und auf Grund des anvisierten Ausbaus der erneuerbaren Energiebereitstellung zunehmend relevant. Sie könnten analog zu zeitvariablen Stromtarifen, die im Zuge der Entwicklung von intelligenten Stromnetzen variierende Lastprofile widerspiegeln und entsprechende Anreize für eine gesteuerte Betriebsführung geben, als

dynamische Primärenergie- und Emissionsfaktoren eingeführt werden. Da abgesehen von Strom alle übrigen Energieträger gespeichert und zeitlich nahezu unabhängig zur Verfügung gestellt werden können, also keine Probleme bei deren Lastprofilen entstehen, sind dynamische Faktoren und deren Potenziale lediglich für Strom interessant. Auch hier gilt allerdings, dass nicht-statische Gewichtungsfaktoren die Energieeffizienz eines Gebäudes überlagern und die Aussagekraft einer Primärenergiekennzahl bzw. -bilanz zusätzlich verringern.

Zur Harmonisierung von Stromertrag und -verbrauch sowie der Netzinteraktion bedarf es sehr kleiner Zeitschritte bzw. klein aufgelöster dynamischer Faktoren, die in ebenfalls dynamische Simulationen eingebunden werden können. Die aktuelle Normung zur Energiebedarfsberechnung von Gebäuden sieht durch die DIN V 18599 jedoch das Monatsbilanzverfahren vor (s. Kapitel 3.1.2.4) und spricht damit lediglich saisonale Deckungsunterschiede an. Hieraus ergeben sich „quasi-dynamische“ Gewichtungsfaktoren.

Die Studie [Großklos 2013] stellt hierzu monatsbasierte Faktoren für den kumulierten Energieverbrauch (KEV)<sup>117</sup> und die Treibhausgas-Emissionen (THG) für den deutschen Strommix der Jahre 2011 und 2012 sowie zukünftige Faktoren für das Jahr 2020 dar. In der Studie [Graabak 2011] konnten monatliche CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für die Stromerzeugung im gesamteuropäischen Netz des Jahres 2010 und 2050 ermittelt werden. Dabei stellen die Werte des Jahres 2010 reale Werte dar, während in die Szenarioanalyse für das Jahr 2050 verschiedene Annahmen und Ausbauziele einfließen. Die in Abbildung 7-8 dargestellten Werte für das Jahr 2050 entstammen dem in der Studie als „Ultra Green“ bezeichneten Szenario. Dessen nahezu emissionslose Stromerzeugung beruht auf bestmöglichen Voraussetzungen wie der maximalen Ausschöpfung von Energieeinsparpotenzialen (Verbrauchsreduktion von 14 % gegenüber 2010), einer gesteigerter ökologischer Ausrichtung der Bevölkerung und Wirtschaft, einer schnellen Entwicklung und Marktdurchdringung relevanter Technologien, Baumaterialien und Geräte, der Implementierung von smart grids sowie umweltfreundlichen Produktionsschritten. Auf Seite der Energieerzeuger erwirkt u.a. eine Konzentration auf Wind- und Sonnenenergie sowie Wasserkraft eine Verdreifachung der erneuerbaren Stromerzeugung. Braunkohle und Gas werden fast vollständig verdrängt, wobei der Anteil des als weniger klimaschädlich beschriebenen Atomstroms um ca. 30 % nahezu ebenso massiv steigt, wie der Ausbau der Verteilnetze und Speicherkapazitäten in Pumpspeicherkraftwerken. Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Jahresemissionen von Strom betragen 28,3 g<sub>CO2</sub>/kWh<sub>E</sub> und damit lediglich ca. 10 % des Wertes von 2010.<sup>118</sup>

<sup>117</sup> Auf Grund der geringen Differenzen zwischen dem kumulierten Energieverbrauch (KEV) und dem kumulierten Energieaufwand (KEA) von Strom wird zwischen diesen beiden in dieser Arbeit nicht unterschieden

<sup>118</sup> Das hier beschriebene EU-Maximal-Szenario „Ultra Green“ liegt beim Zwischenschritt 2030 um etwa 20 % unterhalb der in Abbildung 3-5 eingeflossenen Werte für Deutschland

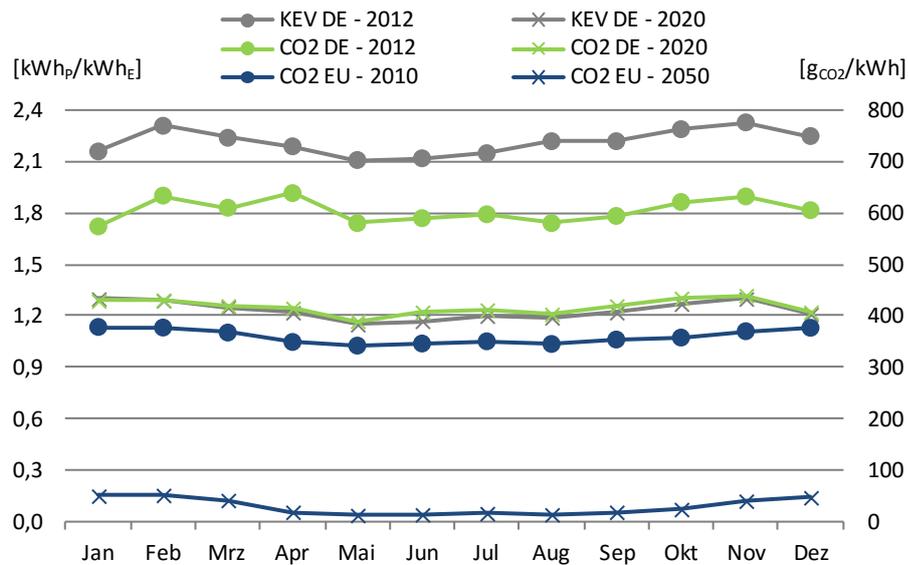


Abbildung 7-8: KEV und CO<sub>2</sub>-Emissionen des deutschen Stromnetzes der Jahre 2012 und 2020 nach [Großklos 2013] sowie CO<sub>2</sub>-Emissionen im europäischen Stromnetz in den Jahren 2010 (Messung) und 2050 (Szenario „Ultra Green“) nach [Graabak 2011]. Besonders bei den Emissionen werden einerseits der Gesamtunterschied der einzelnen Jahre bzw. Szenarien und andererseits die vergrößerten, monatlichen Unterschiede im Jahr 2050 deutlich (Schwankung 2010 bei max. 6 %, 2050 knapp 80 %). Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des europäischen Netzes sind 2010 bereits niedriger als die zu erwartenden Werte für das deutsche Stromnetz im Jahr 2020. Die hohen Werte im Winter des 2050er-Szenarios beruhen auf dem erhöhten Einsatz von Wärmepumpen und der Abdeckung deren Spitzenlasten durch Steinkohle anstelle von hier nicht verfügbaren erneuerbaren Energiequellen

### 7.3.2 Die Auswirkungen unterschiedlicher Gewichtungstrategien

Bei einem überschlägigen Vergleich kleiner Wohngebäude mit ähnlichem Energiekonzept, gleichen klimatischen Voraussetzungen aber unterschiedlichen Standorten und entsprechenden Primärenergie-Umrechnungsfaktoren, lässt sich keine Tendenz ausmachen, dass Umrechnungsfaktoren einen Einfluss auf die zu installierende PV-Leistung und damit die Architektur von Nullenergiegebäuden haben.<sup>119</sup> Allerdings überlagern sich bei dieser Betrachtung mehrere Effekte, so dass der Einfluss variierender Umrechnungsfaktoren anhand der Beispielgebäude „Kleehäuser“ und Kindergarten „Die Sprösslinge“ bei sonst gleich bleibenden Voraussetzungen dargelegt wird. Hierüber kann demonstriert werden, inwiefern die Technologiewahl zur Wärmebereitstellung durch Festlegungen von Indikatoren beeinflusst wird. In einer Parameterstudie werden dazu jeweils zehn unterschiedliche Technologieoptionen zur Wärmebereitstellung und 15 Sets an Umrechnungs- bzw. Gewichtungsfaktoren verglichen. Das Ziel ist jeweils eine ausgeglichene Jahresprimärenergie- bzw. -Emissionsbilanz zwischen Energieerzeugung (unter alleiniger Berücksichtigung von vor Ort erzeugter Energie aus PV und KWK) sowie Energiebedarf einschließlich aller Verbrauchsbereiche (Heizung, Kühlung, Warmwasser, Lüftung, Beleuchtung, Hilfsenergie und nutzungsspezifischen Verbrauchern<sup>120</sup> sowie System- und Verteilverlusten). Der Nutzenergiebedarf der Gebäude bleibt bei den verschiedenen Optionen konstant. Die Berechnungen werden mit monatlicher Datenaufösung im Werkzeug EnerCalC erstellt [EnerCalC 2014]. Zum Vergleich der Bilanzergebnisse wird das Werkzeug Net ZEB Evaluation Tool genutzt, das im Zuge dieser Arbeit mit Kollegen des Forschungsprojekts „Towards

<sup>119</sup> Ein Vergleich der installierten Solarstromleistung kleiner Nur-Strom-Gebäude mit Passivhauskonzept aus fünf europäischen Ländern (AT, DE, DK, IT und CH) ergab keine direkten Hinweise auf den Einfluss der statischen und symmetrischen Primärenergiefaktoren

<sup>120</sup> Die nutzungsspezifischen Stromverbräuche entsprechen Planungs- bzw. Messwerten und werden nicht der Literatur entnommen. Beim Kindergarten sind dies 7,0 kWh<sub>e</sub>/m<sup>2</sup>a (Planung, Messung erfasst nur Gesamtstromverbrauch), bei den „Kleehäusern“ sind es 5,4 kWh<sub>e</sub>/m<sup>2</sup>a (Messwerte)

Net Zero Energy Solar Buildings“ entwickelt wurde [Belleri 2013]. Wie zu Beginn des Kapitels beschrieben, wird zum Vergleich der Optionen die zum Erreichen der jeweils ausgeglichenen Bilanz benötigte Fläche für Solarstromanlagen bestimmt. Die Technologieoptionen sind:

- Geothermische Wärmepumpe (Kürzel WP)
- Mini-BHKW mit Gas-Brennwert-Spitzenlastkessel (Kürzel KWK)
- Biomassekessel (Kürzel BK)
- Gas-Brennwertkessel (Kürzel GK)
- Fernwärmeversorgung (Kürzel FW)

Die fünf Optionen werden jeweils mit und ohne solarthermischer Warmwasserbereitung (Deckung von 60 % des Trinkwarmwasserbedarfs, Röhrenkollektoren) berechnet und mit dem additiven Kürzel „+ST“ versehen. Die Umrechnungs- bzw. Gewichtungsfaktoren werden in Tabelle A-8, Tabelle 7-2 und Abbildung 7-8 vorgestellt und beruhen auf den dort genannten Normen bzw. Studien. Für primärenergetische Vergleiche sind dies folgende Faktoren:

- DIN V 18599 - 2009 (symmetrische Umrechnung; Kürzel P1)
- DIN V 18599 - 2009 gesamt (symmetrische Umrechnung gesamt<sup>121</sup>; Kürzel P2)
- DIN V 18599 - 2011 (asymmetrische Gewichtung; Kürzel P3)
- DIN V 18599 - 2011 invers (asymmetrische Gewichtung invers<sup>122</sup>; Kürzel P4)
- DIN EN 15603 - 2008 (symmetrische Umrechnung<sup>123</sup>; Kürzel P5)
- DIN EN 15603 - 2013 (asymmetrische Gewichtung; Kürzel P6)
- KEV DE - 2012 (quasi-dynamische Gewichtung; Kürzel P7)
- KEV DE - 2020 (quasi-dynamische Gewichtung; Kürzel P8)
- EnDK - 2009 (politische Einflussnahme bei Holz; Kürzel P9)

Dabei werden abgesehen von Option P2 jeweils die nicht erneuerbaren Anteile genutzt. Die Vergleiche auf Basis von CO<sub>2</sub>-Emissionen basieren auf folgenden Faktoren:

- GEMIS 4.8 2013 (symmetrische Umrechnung; Kürzel C1)
- CO<sub>2</sub> EU - 2010 (quasi-dynamische Gewichtung; Kürzel C2)
- CO<sub>2</sub> EU - 2050 (quasi-dynamische Gewichtung; Kürzel C3)
- CO<sub>2</sub> EU - 2050 (symmetrische Umrechnung<sup>124</sup>; Kürzel C4)

Da, wie oben beschrieben, die Motivation der asymmetrischen bzw. (quasi-)dynamischen Gewichtung vor allem auf der Lastregulierung und der Reaktion auf (drohende) Lastunterschiede im Stromnetz basiert, werden die asymmetrischen Gewichtungen bei den Optionen P3 und P4 anhand der Bilanz zwischen Netto-Energiebedarf und Netto-Energieertrag (gemäß Abbildung 7-7) berechnet. Um den Effekt des Unterschieds der Bilanzart herauszustellen, wird auch eine einfache Bilanzierung zwischen Jahresenergiebedarf und Jahresenergieerzeugung (gemäß Abbildung 7-6) erstellt. Diese ebenfalls asymmetrischen Vergleiche erhalten die Kürzel P3\* und P4\*.

<sup>121</sup> Hinzunahme der erneuerbaren Anteile der Primärenergie (PEF<sub>ges</sub>)

<sup>122</sup> Die asymmetrische Gewichtung für Strom wird umgekehrt

<sup>123</sup> Da hier kein Faktor für Nahwärmenetze angegeben ist, wird ein Mittelwert von 0,8 kWh<sub>P</sub>/kWh<sub>E</sub> aus vier bekannten nationalen Faktoren gebildet (DE, DK, SP, SE)

<sup>124</sup> Jahresmittelwert der 2050er Faktoren 28,3 g<sub>CO2</sub>/kWh<sub>E</sub>

Bei der Option P6 stellt sich die unterschiedliche Gewichtung gemäß der DIN EN 15603 als kompliziert heraus,<sup>125</sup> da die physikalische Bedeutung des vorübergehend exportierten und zu einem späteren Zeitpunkt reimportierten Stroms sowie des für den sofortigen Gebrauch bestimmten Stromexports nur für Berechnungszeitschritte kleiner als ein Tag korrekt ist. Bei den in diesen Berechnungen angewendeten monatlichen Intervallen bliebe der Ausgleich zwischen Stromerzeugung und -bedarf eigentlich unberücksichtigt. Um dennoch eine Unterscheidung nach diesen Parametern aufzeigen zu können, werden die beschriebenen Anteile vereinfacht und analog zu Abbildung 7-9 in monatlichen Berechnungen über theoretische Nettobeträge bestimmt. Dabei wird ein Monat als „gleicher Berechnungsschritt“ angenommen. Sämtlicher selbst erzeugter und im gleichen Monat verbrauchter Strom wird kumuliert, mit dem Faktor 2,5 kWh<sub>p</sub>/kWh<sub>E</sub> gewichtet, und geht sowohl in den Jahresprimärenergiebedarf als auch in den Jahresprimärenergieertrag ein. Kumulierte monatliche Bedarfs- und Ertragsüberschüsse werden gemäß der „verschiedenen Berechnungsschritte“ als vorübergehend exportierter und zu einem späteren Zeitpunkt reimportierter Strom mit 2,0 kWh<sub>p</sub>/kWh<sub>E</sub> gemäß Tabelle 7-2 gewichtet. Insofern wird auch „vorübergehend bezogener Strom“ für winterlichte Unterdeckungen mit diesem Faktor berechnet und nicht mit dem des Netzes. Stromexporte zum primärenergetischen Ausgleich anderer Energieträger werden im Berechnungsschritt „Jährlich“ mit 1,6 kWh<sub>p</sub>/kWh<sub>E</sub> gewichtet. Stromimporte auf Jahresebene, die mit dem Gewichtungsfaktor des Stromnetzes (2,3 kWh<sub>p</sub>/kWh<sub>E</sub>) gewichtet werden müssten, treten auf Grund der ausgeglichenen Jahresprimärenergiebilanz nicht auf. Bei den Varianten mit Strom als alleinigem Energieträger fällt zudem kein Stromexport an.

<sup>125</sup> In der DIN EN 15603 sind allein für die Bilanz der elektrischen Energie 13 unterschiedliche Formeln hinterlegt

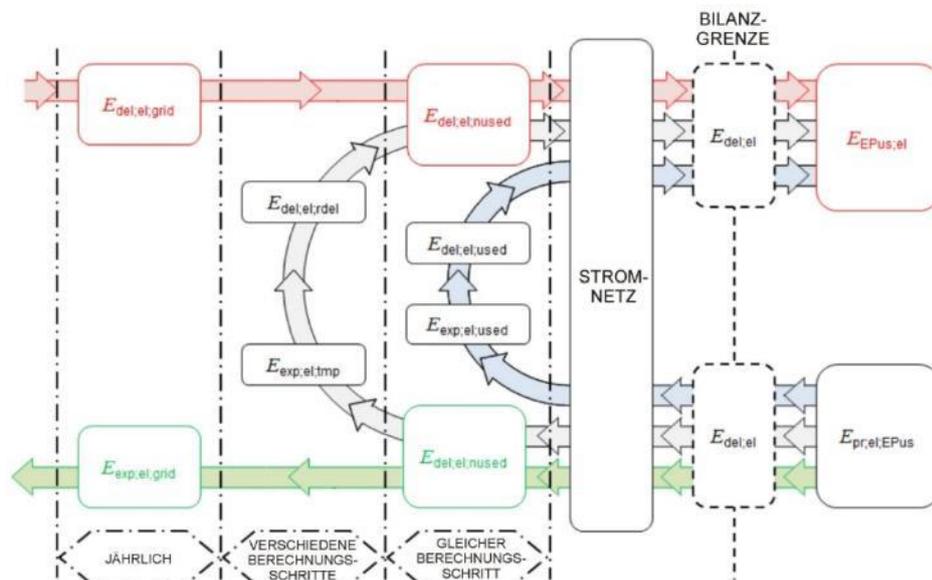


Abbildung 7-9: Referenzdiagramm für die Elektrizitätsbilanz nach DIN EN 15603. Die Bausteine sind in [DIN prEN 15603 2013] beschrieben. Quelle [DIN prEN 15603 2013]

Da bei den quasi-dynamischen Optionen P7, P8, C2 und C3 keine unterschiedlichen Faktoren für Einspeisung und Ertrag bzw. Bezug und Bedarf vorliegen, wird zwischen diesen hier nicht unterschieden. In den Fällen, in denen gesonderte Umrechnungsfaktoren nur für Strom gegeben sind (P7 und P8 sowie C2, C3 und C4), werden für die übrigen Energieträger die aktuellen symmetrischen und statischen Umrechnungsfaktoren der DIN V 18599 2009 bzw. aus GEMIS 4.8 verwendet, da davon ausgegangen werden kann, dass sich diese - überwiegend fossilen Energieträgern zugeordneten - Faktoren kaum verändern werden. Eigene Abschätzungen hierzu können im Rahmen dieser Arbeit nicht erstellt werden.<sup>126</sup>

<sup>126</sup> Eine zukünftige Anpassung des Umrechnungsfaktors für Gas erscheint auf Grund eines möglichen Ausbaus von erneuerbarem Gas aus Biogasanlagen oder Power to Gas (s. Seite 26) durchaus möglich, kann aber hier nicht quantifiziert werden

Je Gebäude ergeben sich 150 Berechnungsergebnisse (je 110 für Primärenergiebilanzen und 40 für Berechnungen mit CO<sub>2</sub>-Faktoren). Diese werden in den folgenden Diagrammen untereinander verglichen. Die Achsen stellen dabei jeweils die Umrechnungs- bzw. Gewichtungsoptionen dar, während die zehn Technologieoptionen durch die farbigen Linien abgebildet werden. Auf diese Weise wird veranschaulicht, wie viel normierte PV-Fläche für jede Kombination benötigt wird, und ob die benötigte PV-Fläche auf der maximal zur Verfügung stehenden Dachfläche der beiden Beispielgebäude installiert werden könnte.

### 7.3.2.1 Primärenergetische Bilanzierung

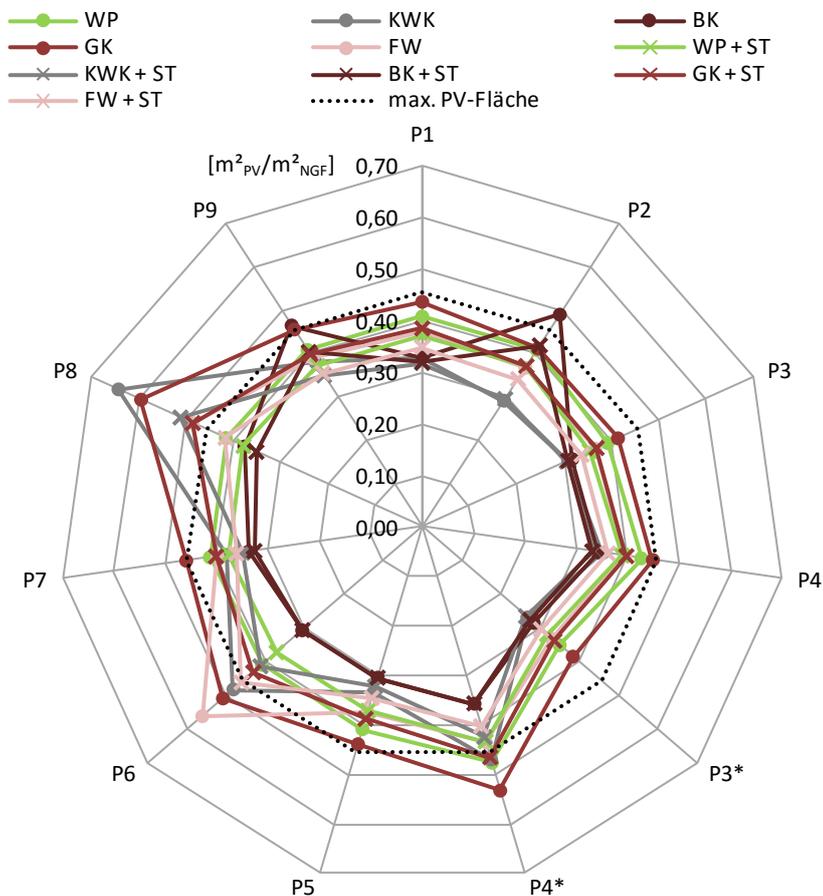
Bei den Vergleichen der Faktoren für den Indikator Primärenergie liegen die benötigten PV-Flächen beim Kindergarten in der Bandbreite zwischen 256 und 623 m<sup>2</sup><sub>PV</sub> bzw. 0,26 und 0,64 m<sup>2</sup><sub>PV</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>. In 80 % der betrachteten Fälle reicht die tatsächlich vorhandene Dachfläche aus, um den Gesamt-Primärenergiebedarf zu decken (s. Abbildung 7-10). Dies wird durch das generell gute Verhältnis zwischen Dach- und Geschossfläche (0,46 m<sup>2</sup><sub>DF</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>) des größtenteils eingeschossigen Gebäudes begünstigt. Den niedrigsten Flächenbedarf erreicht die Kombination KWK+ST/P3\* durch die erhöhten Gutschriften für Strom (asymmetrische Gewichtung) und die große Gesamteffizienz durch den Einsatz von KWK und Solarthermie. Den größten Flächenbedarf an PV hat die Kombination KWK/P8 auf Grund der sehr geringen Gutschriften für den erzeugten Strom bei unverändertem Faktor für den hohen Gasbezug der KWK-Anlage. Zudem wird der PV-Strom zur Zeit der höchsten Ausbeute während der Sommermonate schlechter gewichtet (s. Abbildung 7-8).



Abbildung 7-10: Gegenüberstellung der zehn Technologieoptionen bei den elf beschriebenen Sets an Primärenergie-Umrechnungs- bzw. Gewichtungsfaktoren für den Kindergarten.

Die maximal installierbare PV-Fläche auf dem Dach beträgt 0,46 m<sup>2</sup><sub>PV</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> bzw. 442 m<sup>2</sup> (gepunktete Linie; bei Einsatz von Solarthermie 400 m<sup>2</sup>)\*. Die tatsächlich am Gebäude installierte PV-Fläche beträgt 344 m<sup>2</sup> plus 22 m<sup>2</sup> ST (aufgeteilte Darstellungen in Anhang A.5).

\* Zur Bestimmung der Aufstellfläche aufgeständerter Module wird die verfügbare Dachfläche durch 2,5 dividiert. Dies berücksichtigt den erforderlichen Abstand zwischen den Modulreihen zur Vermeidung der Eigenverschattung



Bei den aktuellen Primärenergiefaktoren (P1) führt der hohe Umrechnungsfaktor von Erdgas zum höchsten PV-Flächenbedarf bei der Verwendung von Gas-Brennwertkesseln. KWK und Biomasseinsatz werden durch verhältnismäßig hohe Stromgutschriften (KWK) bzw. den niedrigen Umrechnungsfaktor für die Biomasse „belohnt“ und benötigen die geringste PV-Fläche für den Ausgleich aller Energiebedarfe. Letzteres wird durch die Hinzunahme der erneuerbaren Anteile der Endenergiebereitstellung (P2) umgekehrt. Der nun deutlich erhöhte Umrechnungsfaktor der Biomasse ( $1,2 \text{ kWh}_P/\text{kWh}_E$ ) erfordert die größte PV-Leistung. Erneut sticht die KWK mit einer niedrigen Anforderung an die PV-Kapazität heraus. Hierzu führt der hohe Faktor von  $3,0 \text{ kWh}_P/\text{kWh}_E$  für die Stromgutschrift bei unverändertem Umrechnungsfaktor für den Gasbezug.

Bei den Varianten P3, P3\*, P4 und P4\* äußert sich die asymmetrische Gewichtung in verringerten (P3; mittlerer Unterschied im Vergleich zu P1 -4 %) bzw. erhöhten PV-Flächenbedarfen (P4; mittlerer Unterschied im Vergleich zu P1 +4 %). Die Unterschiede werden deutlicher, wenn nicht nur Netto-Strombedarf und Netto-Stromertrag asymmetrisch gewichtet werden, sondern die Gesamtbeträge (Unterschied im Vergleich zu P1 -19 bis +43 %). Bei P4\* reicht die vorhandene Dachfläche abgesehen von den Biomasse- und Fernwärmeoptionen mit Umrechnungsfaktoren unterhalb von  $1 \text{ kWh}_P/\text{kWh}_E$  nicht aus.

Der Trend für P3 und P4 bestätigt sich für die ebenfalls asymmetrische Gewichtung des Faktorensatzes der DIN EN 15603 2013 (P6). Da bei Nur-Strom-Gebäuden mit ausgeglichener Energiebilanz theoretisch im Jahresergebnis kein Stromexport anfällt (Netto-Beträge), macht sich die asymmetrische Gewichtung von Strom bei der gewählten und oben beschriebenen Auslegung für P6 nur bei den Technologieoptionen mit Energieträgermix bemerkbar bzw. offenbart den Vorteil einer erhöhten (fiktiven) Eigennutzung von Solarstrom. Hier schwankt die veränderte Flächenanforderung zwischen deutlich erhöht (bspw. +47 % im Vergleich zu P1 bei Fernwärme) bis leicht verringert bei Biomassennutzung. Der Effekt der asymmetrischen Gewichtung für Strom überlagert sich mit den im Vergleich zu P1 unterschiedlichen Umrechnungsfaktoren für Fernwärme (deutlich höher), Holz und Gas (jeweils niedriger). Die Konsequenz des Faktorenunterschieds wird durch die Berechnungen mit den Faktoren der DIN EN 15603 2008 (P5) bestätigt. Es ergeben sich gegenüber P1 nur leichte Verschiebungen durch den höheren Faktor der Fernwärme bzw. den niedrigeren Faktor für Biomasse. Eine ähnliche Erkenntnis mit umgekehrtem Ergebnis ergibt der politisch erhöhte Faktor für Holz in P9. Die nötige PV-Fläche verdoppelt sich bei Biomassennutzung gegenüber den Referenzfaktoren aus P1. Allerdings trägt hierzu wiederum auch der geringere (Gutschriften-)Faktor für Strom bei. Der politisch gewünschte und abschreckende Effekt des künstlich erhöhten Faktors für Biomasse zur Vermeidung bzw. Verringerung von Holz als Brennstoff zeigt sich durch den deutlich geringeren PV-Flächenanstieg bei der Nutzung von Solarthermie (+ 26 %).

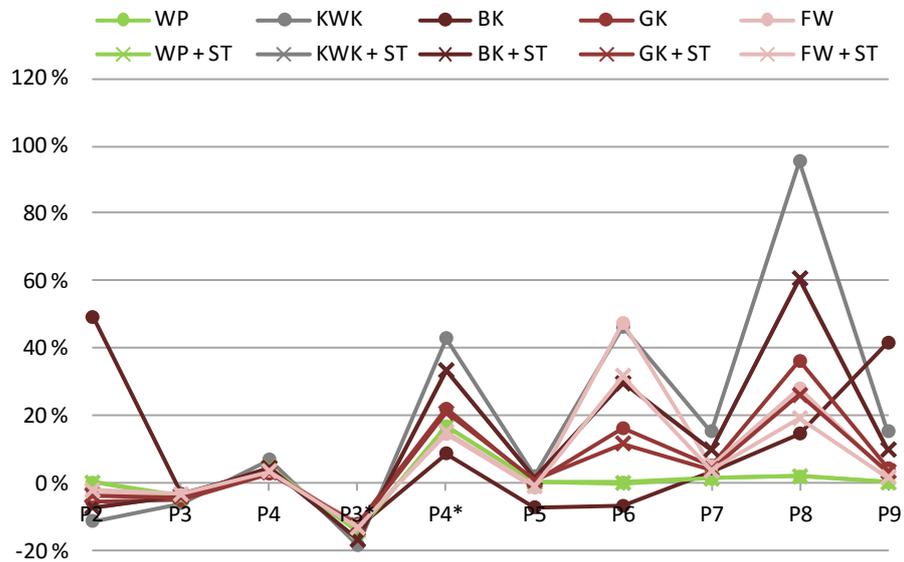
Bei der quasi-dynamischen Gewichtung mit zukünftigen KEV für Strom (Szenario 2020, P8) wirkt sich vor allem das insgesamt niedrige Niveau der Stromgutschriften aus. Während hier der Gewichtungsfaktor deutlich sinkt (Jahresdurchschnittsfaktor  $1,23 \text{ kWh}_P/\text{kWh}_E$ ), bleiben die Faktoren für fossile und biogene Energieträger konstant, bzw. werden hier so angenommen.<sup>127</sup> Somit steigt auch der Bedarf an Photovoltaik im Vergleich zum heutigen Szenario (P1) deutlich an (s. Abbildung 7-11). Der extrem große Anstieg der benötigten PV-Fläche der KWK-Variante stellt dies am deutlichsten heraus. Allein der Anstieg bei den Varianten mit Wärmepumpe ist moderat. Dies beruht auf den ebenfalls

<sup>127</sup> s. vorangegangene Randnotiz

verringerten Primärenergiekennwerten für den Strombedarf, indiziert aber vor allem den geringen Einfluss der jahreszeitlichen Unterschiede (maximal 12 % zwischen den Monaten Mai und Januar). Dies wird gestützt durch die Ergebnisse nach P7. Hier sind die saisonalen Unterschiede der Faktoren ähnlich (maximal 10 %), aber der Durchschnittsfaktor mit  $2,22 \text{ kWh}_p/\text{kWh}_E$  deutlich größer, so dass Energiebezüge mit geringeren PV-Stromerträgen ausgeglichen werden können.



Abbildung 7-11: Relative Veränderung der benötigten PV-Fläche der Faktorensätze P2 bis P9 im Vergleich zu den Referenzfaktoren nach P1 beim Kindergarten „Die Sprösslinge“. Der größte Anstieg von bis zu 96 % ist bei den KWK-Optionen unter P8 auszumachen (geringe Stromgutschriften). Die geringsten Flächen können für P3\* und ebenfalls KWK ausgemacht werden (asymmetrische Bewertung zu Gunsten von Stromgutschriften)



Bei dem Mehrfamilienhausprojekt „Kleehäuser“ bestätigen sich die oben beschriebenen Erkenntnisse für den Indikator Primärenergie (s. Abbildung 7-12). Allerdings reicht die vorhandene Dachfläche der beiden Baukörper bei keiner der berechneten Kombinationen aus, um den Gesamt-Primärenergiebedarf vor Ort zu decken (PV-Flächenbedarf zwischen  $489 \text{ m}^2_{PV}$  bei Kombination KWK+ST/P3\* und  $1.352 \text{ m}^2_{PV}$  bei Kombination KWK/P8). Und das obwohl die flächenbezogenen PV-Flächenbedarfe mit Werten zwischen  $0,19$  und  $0,54 \text{ m}^2_{PV}/\text{m}^2_{NGF}$  geringer sind, als die des Kindergartens. Grund hierfür ist die kompakte Bauweise der beiden drei- bzw. fünfgeschossigen Mehrfamilienhäuser und deren dichte Belegung samt entsprechend hoher flächenspezifischer Energiebedarfe.<sup>128</sup> Das Verhältnis zwischen Dach- und Nutzfläche ist mit  $0,13 \text{ m}^2_{DF}/\text{m}^2_{NGF}$  sehr gering und ungünstig. Dies unterstreicht die große Herausforderung für mittelhohe Gebäude und Hochhäuser ihrem Energiebedarf allein mit gebäudegekoppelter PV zu begegnen und deutet auf die Diskussion hin, ob hier zusätzliche erneuerbare Energiequellen hinzugezogen werden sollten (s. Abschnitt 7.5). Im realisierten Vorhaben werden daher zum Ausgleich des Gesamtenergieverbrauchs Stromerträge eines gebäudeinternen BHKWs und vor allem einer externen Windkraftanlage genutzt.

<sup>128</sup> Auch wenn das kompakte Gebäude als solches sehr effizient ist und einen berechneten Nutzenergiebedarf von  $20,4 \text{ kWh}_N/\text{m}^2_{NGF}$  für das Heizen aufweist (eigene Berechnung)

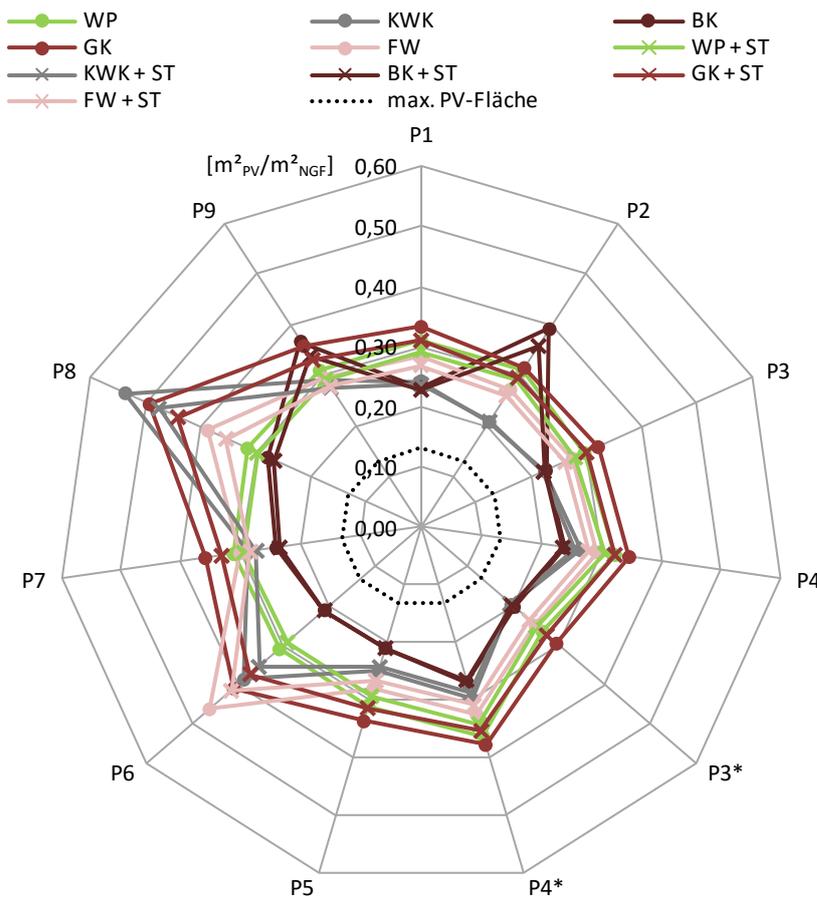


Abbildung 7-12: Gegenüberstellung der zehn Technologieoptionen bei den elf beschriebenen Sets an Primärenergie-Umrechnungs- bzw. Gewichtungsfaktoren für die „Kleehäuser“ (aufgeteilte Darstellungen mit und ohne Solarthermie in Anhang A.5).

Die maximal installierbare PV-Fläche auf dem Dach beträgt  $0,13 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$  bzw.  $331 \text{ m}^2$  (gepunktete Linie; bei Einsatz von Solarthermie  $261 \text{ m}^2$ )\* und wird in allen Fällen deutlich überschritten. Die tatsächlich am Gebäude installierte PV-Fläche beträgt  $202 \text{ m}^2$  (plus  $56 \text{ m}^2$  Solarthermie), da ein Teil des tatsächlichen Verbrauchs über KWK- und Windkraftgut-schriften gedeckt wird

\* s. Erläuterung bei Abbildung 7-10

Übergreifend zeigt sich, dass die Nur-Strom-Gebäude gegenüber sich verändernden Faktoren am robustesten sind. Abgesehen von der Kombination mit den Faktoren nach P4\* reicht die vorhandene Dachfläche beim Kindergarten „Die Sprösslinge“ sowie die Nutzung einer Wärmepumpe stets aus. Allerdings sind die Faktoren von P4\* auf Grund der asymmetrischen Gewichtung zu Ungunsten des Stromertrags generell sehr unvorteilhaft. Auch bei den „Kleehäusern“ zeigen sich bei der Nutzung einer Wärmepumpe die geringsten Ausschläge. Die KWK-Ansätze verursachen je nach der Bewertung der Stromgutschriften die größte Schwankung. Der Einsatz von KWK resultiert bspw. bei den „Kleehäusern“ sowohl im kleinsten (P3\*) als auch im größten (P8) PV-Flächenbedarf. Allerdings können die Vorzüge der KWK als steuerbare Erzeugereinheit mit dem hier genutzten Monatsverfahren nicht abgebildet werden. Generell gilt, je größer der Gutschriftenfaktor für Strom wird, je lohnender wird der Einsatz von KWK. Die Hinzunahme von Solarthermie kann sich dann hierbei trotz der Effizienzsteigerung negativ auswirken (Steigerung des PV-Flächenbedarfs bei P2), da weniger Strom durch die KWK erzeugt und entsprechend in die Bilanz eingebracht werden kann. Der Einsatz von Biomassekesseln lohnt besonders bei der symmetrischen Gewichtung und gleichzeitigem Verzicht auf die Hinzunahme der erneuerbaren Primärenergieanteile (s. Abbildung 7-12). Auf Grund der sehr günstigen Umrechnungsfaktoren sind hier der Einfluss und das Primärenergieeinsparpotenzial der Solarthermie allerdings wiederum gering. Dies gilt jedoch wie auch bei der oben beschriebenen Kombination KWK/P2 nicht in Bezug auf die generelle Energieeffizienz des Gebäudes, da der Endenergiebedarf bei Solarthermieeinsatz jeweils sinkt.

Die Gebäudeeffizienz und die Nutzung einer solarthermischen Anlage ermöglichen eine gesteigerte Robustheit gegenüber sich ändernden Faktoren. Dies

zeigt sich anhand verringerter Veränderungen des Flächenbedarfs an Solarstromanlagen gegenüber dem hier als Referenzset angenommenen Faktoren P1. Dem steht gegenüber, dass der Flächenbedarf der Solarthermie meist größer ist, als die mögliche Einsparung an PV-Dachfläche. So führt die 60 %ige Deckung des hohen Warmwasserbedarfs des Mehrfamilienhauses „Kleehäuser“ zu einer Verringerung der möglichen Dachfläche für Photovoltaik um 21 %. Die erforderliche Fläche der Solarstromanlage wird aber durchschnittlich nur um ca. 5 % gesenkt. Lediglich in sechs von 110 Faktor-Technologie-Kombinationen geht diese Rechnung auf. Hierbei wird entweder die Biomasse mit einem hohen Faktor belegt (P2 und P9), oder die Stromgutschriften sind besonders niedrig (P6 und P8).

Durch den geringeren Warmwasserbedarf des Kindergartens führt der Einsatz von Solarthermie in knapp einem Fünftel der Faktor-Technologiekombinationen zu einer kleineren Gesamtfläche für beide Solaranlagen. Dies gilt abgesehen von P2 für sämtliche Berechnungen mit Gas-Brennwertkessel. Umgekehrt trifft dies für die Varianten mit einer Wärmepumpe abgesehen von P4\* nie zu.

Somit stellt sich aus gestalterischer Sicht der Einsatz von Solarthermie in primärenergetischen Bilanzen allgemein etwas schlechter dar, muss aber in Einzelfällen und unter den Aspekten der gesteigerten Gesamtenergieeffizienz, der Inanspruchnahme des Stromnetzes als Saisonspeicher und dessen erhöhter Lastdiskrepanzen betrachtet werden.

Als Zwischenfazit lässt sich festhalten, dass die ohnehin durch die Faktoren verundeutlichte Aussage zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden auf Basis der Primärenergie noch einmal undeutlicher wird, sobald eine asymmetrische oder nicht-statische Gewichtung hinzukommt. Zwar kann auch hiermit eine ausgeglichene Energiebilanz erreicht und dies als alleinige energetische Kenngröße von Gebäuden genutzt werden, doch geht das eigentliche Ziel einer vergleichbaren Bewertungsgröße abseits einer genau ausgeglichenen Energiebilanz mit dem Zielwert „Null“ verloren. Der Vergleich bilanzieller Ergebnisse mehrere Gebäude wird zudem schwieriger, sobald über den Strom hinaus weitere Energieträger einbezogen oder verschiedene Modelle zur Gewichtung genutzt werden. Die eigentliche Effizienz eines Gebäudes kann durch eine (politisch) beeinflusste Gewichtung kaum mehr abgebildet werden. Asymmetrische Gewichtungsfaktoren können dabei zwar gestalterische Freiheiten durch verringerten PV-Flächenbedarf ermöglichen - sofern die Ertragsseite bevorzugt wird - doch führt dies energetisch gesehen dazu, dass eine ausgeglichene (Primär-)Energiebilanz nur fiktiv erreicht wird. Bei Nur-Strom-Häusern wird bspw. nicht einmal der Gesamtstrombedarf über den Zeitraum eines Jahres ausgeglichen, da durch die höhere Gewichtung des Primärenergieertrags der Stromertrag unterhalb des Strombedarfs liegen kann (vgl. Abschnitt 7.8). Wird wie beim „EffizienzhausPlus“ hierzu zusätzlich das Ziel einer ausgeglichenen Endenergiebilanz formuliert, wird die gestalterische Freiheit jedoch aufgezehrt und erscheint bei einem Energieträgermix physikalisch widersprüchlich. Ökologisch sinnvolle Reduktionsmaßnahmen werden bisweilen ebenso konterkariert wie das Verständnis des Nutzers verloren geht. Die entstehenden Primärenergiekennwerte und -bilanzergebnisse können nicht mehr mit der Abrechnung oder dem Ergebnis am Zähler übereinandergbracht werden. Hinzu kommt, dass die asymmetrischen und vor allem quasi-dynamischen Gewichtungen eine architektonische Umsetzung außer Acht lassen. Hier ist das Ziel einer ausgeglichenen Primärenergiebilanz bei vielen Konzepten baulich nicht umsetzbar.

### 7.3.2.2 Gewichtung auf Basis von CO<sub>2</sub>-Emissionen

Die vorgenommenen Berechnungen auf Basis von CO<sub>2</sub>-Emissionen stehen unter dem Kriterium des Vergleichs heutiger und zukünftiger (quasi-dynamischer) Gewichtung von Strombedarfen und -erträgen. Dabei ergeben sich annähernd keine Unterschiede zwischen den beiden aktuellen Szenarien für die Primärenergieumrechnung P1 und die CO<sub>2</sub>-Bilanzierung nach C1. Die Faktoren beruhen jeweils auf Berechnungen nach GEMIS für den Energieträgereinsatz in Deutschland, wobei den Faktoren für C1 etwas aktuellere Berechnungen zu Grunde liegen. Erneut ergeben sich auch für die beiden betrachteten Gebäude sehr ähnliche Ergebnisse für den Einfluss aller Umrechnungsfaktoren (s. Abbildung 7-13 und Abbildung 7-14).

Die quasi-dynamische Gewichtung nach C2 wirkt sich durch das generell niedrige Faktorenniveau des abgebildeten europäischen Stromnetzes nur bei den KWK-Varianten in einem gravierenden Anstieg der erforderlichen PV-Fläche gegenüber dem als Referenzszenario gesetzten Faktorensatz C1 aus. Der Anstieg beträgt bis zu 86 %. Grund hierfür ist der gleichbleibend hohe Primärenergiekennwert des Gasbezugs. Ansonsten verlaufen die Anstiege kongruent zur Höhe des Faktors des auszugleichenden Endenergieträgers. Die Dynamisierung der Gewichtung führt bei den Wärmepumpenvarianten zu einem Anstieg bei den benötigten PV-Flächen von lediglich 2 % (s. Abbildung 7-15). Beim Kindergarten „Die Sprösslinge“ ist dieser Anstieg auf der vorhandenen Dachfläche ebenso unterzubringen wie die nötigen Flächen beim Einsatz eines Biomassekessels oder Fernwärmebezugs. Hier weichen die Gewichtungsfaktoren weniger stark voneinander ab, als beim Energieträger Erdgas.

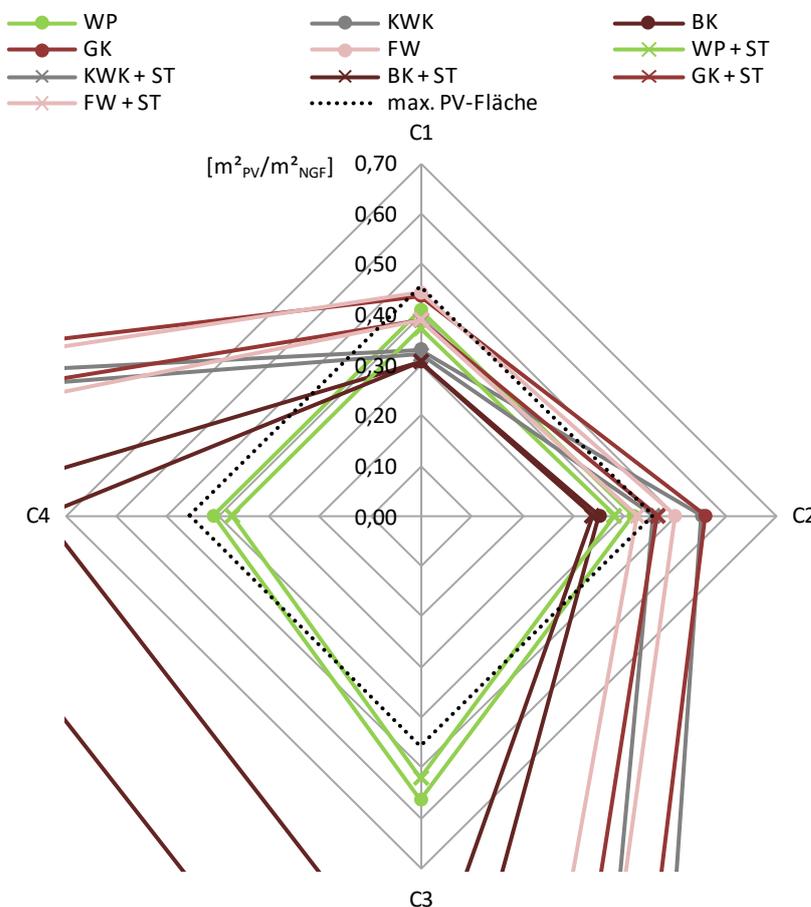


Abbildung 7-13: Gegenüberstellung der zehn Technologieoptionen bei den vier beschriebenen Sets an Umrechnungs- bzw. Gewichtungsfaktoren für CO<sub>2</sub>-Emissionen beim Kindergarten (aufgeteilte Darstellungen in Anhang A.5).

Erläuterungen zur maximalen PV-Fläche s. Abbildung 7-10.

Die PV-Fläche der Technologieoptionen Gas-Brennwertkessel, Biomassekessel, KWK und Fernwärme liegen bei der quasi-dynamischen CO<sub>2</sub>-Gewichtung für das Jahr 2050 (C3) sowie der symmetrischen CO<sub>2</sub>-Umrechnung (C4) auf Grund der geringen Gutschriften für Stromerträge im Vergleich zu den unveränderten Faktoren der übrigen Energieträger außerhalb der Skala

Bei der monatlichen Gewichtung mit den Faktoren des europäischen Stromnetzes aus dem Jahr 2050 (C3) verursachen erneut allein die Wärmepumpenlösungen noch annehmbare Anforderungen an die Kapazität der zu installierenden Solarstromanlagen (zwischen mindestens  $0,41 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$  bei den „Kleehäusern“ mit Solarthermie und maximal  $0,56 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$  beim Kindergarten ohne ST). Während dies jedoch bereits beim Kindergarten, der ein sehr gutes Verhältnis zwischen der verfügbaren Dachfläche für den PV-Einsatz und der Nettogeschossfläche bietet, mit der aktuellen Gebäudegeometrie nicht bewerkstelligt werden kann, erreichen alle übrigen Optionen einen Wert von größer als  $1,00 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$  und somit nicht zu realisierende Flächenanforderungen. Die üppigsten PV-Bedarfe erzielen bei beiden Gebäuden die KWK-Varianten ohne Solarthermie. Bei den „Kleehäusern“ würden hierbei mehr als  $18.000 \text{ m}^2_{\text{PV}}$  bei  $2.520 \text{ m}^2$  Nettogrundfläche fällig ( $7,22 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ ; Steigerung gegenüber C1 ca. 2.900 %; s. Abbildung 7-15).

Gegenüber der Variante P8 werden bei C3 sehr optimistische Faktoren für das Jahr 2050 und damit eine sehr hohe Quote an erneuerbarer Stromerzeugung angenommen. Somit beruhen die extremen PV-Anstiege auf einem generell niedrigen Niveau der Gewichtungsfaktoren für Strom. Andererseits schwanken die  $\text{CO}_2$ -Emissionswerte des „Ultra Green“ Szenarios nach [Graabak 2011] saisonal um bis zu 80 % (s. Abbildung 7-8).<sup>129</sup> Ein Großteil des erzeugten Solarstroms wird folglich mit sehr niedrigen Faktoren während der Sommermonate gewichtet und entsprechend gutgeschrieben. Hinzukommen die umgekehrt vergleichsweise hohen Faktoren für den Strombedarf während der Wintermonate. Dass erneut weniger die quasi-dynamische Gewichtung des monatlichen Bilanz-Ansatzes als vielmehr das generell niedrige Niveau der monatlichen Gewichtungsfaktoren für Strom ausschlaggebend ist, zeigen die Berechnungen mit einem Jahresmittelwert der 2050er Faktoren (C4). Hier werden annähernd ähnlich gewaltige PV-Flächen wie bei C3 erforderlich (s. Abbildung 7-14). Außerdem verzeichnen die Wärmepumpenlösungen bei C3 trotz der jahreszeitlichen Schwankungen eher moderate Anstiege.

<sup>129</sup> Die saisonale Schwankung der parallel zu den KEV-Faktoren von P8 ermittelten und ebenfalls in [Großklos 2013] genannten aber hier nicht in Berechnungen einbezogenen  $\text{CO}_2$ -Faktoren für 2020 liegt bei 6 % (s. Abbildung 7-8)

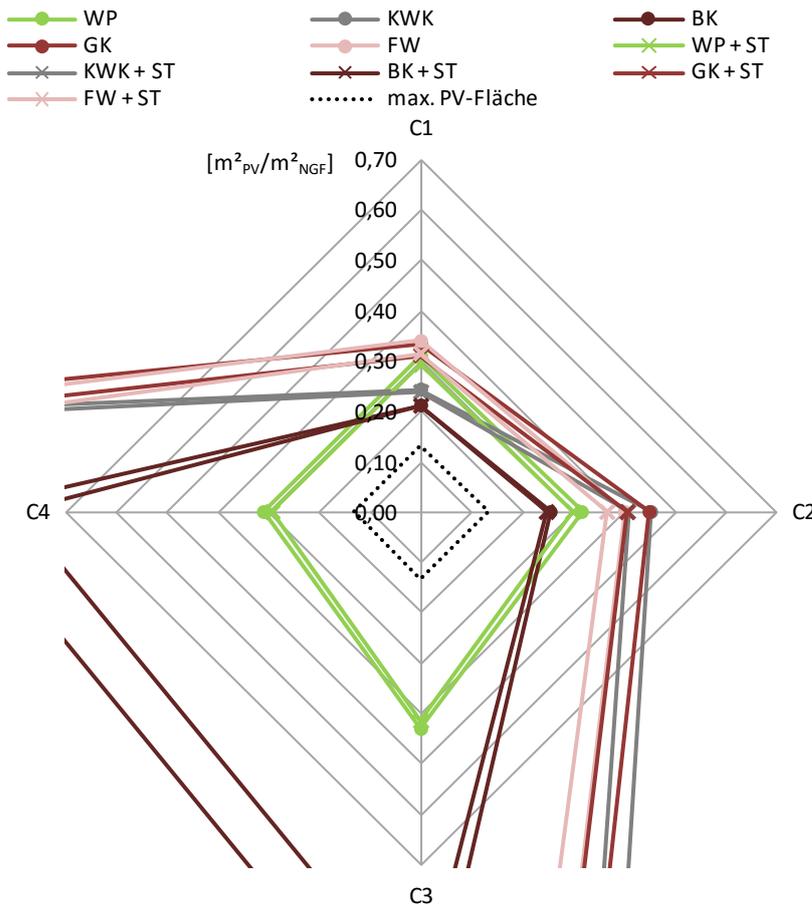


Abbildung 7-14: Gegenüberstellung der zehn Technologieoptionen bei den vier beschriebenen Sets an Umrechnungs- bzw. Gewichtungsfaktoren für CO<sub>2</sub>-Emissionen bei den „Kleehäusern“ (Aufgeteilte Darstellungen mit und ohne Solarthermie in Anhang A.5).

Erläuterungen zur maximalen PV-Fläche s. Abbildung 7-12.

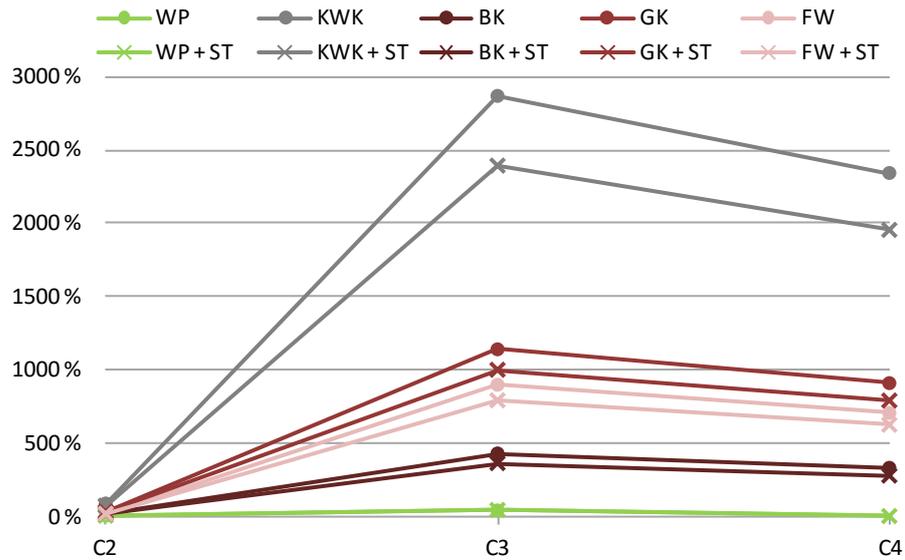
Die PV-Fläche der Technologieoptionen Gas-Brennwertkessel, Biomassekessel, KWK und Fernwärme liegen bei der quasidynamischen CO<sub>2</sub>-Gewichtung für das Jahr 2050 (C3) sowie der symmetrischen CO<sub>2</sub>-Umrechnung (C4) auf Grund der geringen Gutschriften für Stromerträge im Vergleich zu den unveränderten Faktoren der übrigen Energieträger außerhalb der Skala

Wie schon bei den primärenergetischen Gewichtungen erweisen sich die Wärmepumpenlösungen übergreifend als robust gegenüber unterschiedlichen Faktorenssets und vor allem Änderungen bei der (zukünftigen) Gewichtung (geringste Veränderungen gegenüber den Referenzszenarien P1 und C1). Sobald kein zweiter Energieträger ausgeglichen werden muss, dessen Umrechnungsfaktor nicht parallel zu denen der Stromerzeugung sinkt, entscheidet allein die Dynamisierung der Gewichtung oder die Anwendung von asymmetrischen Faktoren über den Anstieg der für einen vollständigen Ausgleich des Energiebedarfs nötigen PV-Anlagengröße. So können bei Einsatz von Wärmepumpen und auf Basis der symmetrischen Gewichtung bei C4 sogar die geringsten PV-Flächenbedarfe ausgemacht werden (s. Abbildung 7-15).<sup>130</sup>

<sup>130</sup> Die Werte von C4 und C1 entsprechen sich, da in beiden Varianten symmetrisch gewichtet wird



Abbildung 7-15: Relative Veränderung der benötigten PV-Fläche der Faktorensatzes C2 bis C3 im Vergleich zu den Referenzfaktoren nach C1 der „Kleehäuser“. Der größte Anstieg von knapp 2.900 % ist bei den KWK-Optionen unter C3 auszumachen (geringe Stromgutschriften, saisonale Unterschiede). Bei C2 sind auf Grund der saisonal unterschiedlichen Gewichtung bereits ebenfalls größere Veränderungen gegenüber C1 zu erkennen (+ 86 % bei KWK)



Bei Varianten mit einem Energieträgermix ist die Höhe der Faktoren für die Stromgutschrift bzw. deren Verhältnis zu den Faktoren anderer Energieträger entscheidend. Hier sind niedrige Umrechnungs- bzw. Gewichtungsfaktoren abgesehen von Strom sowie eine höhere Gesamteffizienz maßgebend für die Auswahl der Technologien zur Wärme- und Warmwasserbereitstellung.

Mit Ausnahme der Gewichtungsvarianten mit sehr niedrigen Faktoren für die Stromerzeugung des 2050er „Ultra Green“ Szenarios (C3 und C4) erfordern durchgehend die Technologieoptionen Biomassekessel oder Kraft-Wärme-Kopplung jeweils mit Solarthermie die niedrigsten Kapazitäten bei den Solarstromanlagen (57 bzw. 23 % aller Kombinationen, s. Tabelle 7-3). Hierüber wird die Intention bestätigt, den rechnerischen Umrechnungsfaktor für Holz politisch zu erhöhen, um einer mangelnden Nachhaltigkeit vorzubeugen. Der politisch gewünschte Effekt der erhöhten Gewichtung wird bei P9 (politische Beeinflussung) ebenso deutlich, wie bei P2 (Hinzunahme erneuerbarer Primärenergieanteile). In diesen beiden Fällen verlangen die Optionen mit Biomasseinsatz die größten Solarstromanlagen.

Ein Verzicht auf thermische Solaranlagen bietet sich hingegen allein bei erhöhten Gutschriften durch die Hinzunahme der nicht erneuerbaren Primärenergieanteile für KWK-Anlagen an (P2). Die Wahl eines Gaskessels wird bei keiner der Kombinationen bevorzugt, da hier die größten PV-Flächen vorgehalten werden müssen.

Gewichtungs- option	Niedrigster Flächenbedarf für PV [m <sup>2</sup> <sub>PV</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ]		Höchster Flächenbedarf für PV [m <sup>2</sup> <sub>PV</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ]	
	Kleehäuser (0,13)	Die Sprösslin- ge (0,46)	Kleehäuser (0,13)	Die Sprösslin- ge (0,46)
P1	BK+ST (0,23)	KWK+ST (0,32)	GK (0,33)	GK (0,44)
P2	KWK (0,21)	KWK (0,29)	BK (0,39)	BK (0,49)
P3	KWK+ST (0,22)	KWK+ST (0,31)	GK (0,32)	GK (0,41)
P4	BK+ST (0,24)	BK+ST (0,33)	GK (0,35)	GK (0,45)
P3*	KWK+ST (0,19)	KWK+ST (0,26)	GK (0,30)	GK (0,38)
P4*	BK+ST (0,26)	BK+ST (0,36)	GK (0,38)	GK (0,53)
P5	BK+ST (0,21)	BK+ST (0,30)	GK (0,34)	GK (0,44)
P6	BK+ST (0,21)	BK+ST (0,31)	FW (0,46)	FW (0,56)
P7	BK+ST (0,24)	BK+ST (0,33)	GK (0,36)	GK (0,46)
P8	BK+ST (0,27)	BK+ST (0,35)	KWK (0,54)	KWK (0,64)
P9	KWK+ST (0,28)	KWK+ST (0,35)	BK (0,37)	BK (0,46)
C1	BK+ST (0,21)	BK+ST (0,31)	FW (0,34)	FW (0,44)
C2	BK+ST (0,25)	BK+ST (0,34)	KWK (0,45)	GK (0,56)
C3	WP+ST (0,41)	WP+ST (0,52)	KWK (07,22)	KWK (8,06)
C4	WP+ST (0,29)	WP+ST (0,37)	KWK (5,94)	KWK (6,43)

Tabelle 7-3: Zusammenfassung der durch die unterschiedlichen Faktorensatz favorisierten bzw. benachteiligten Technologieoptionen. Die markierten Optionen weisen einen gegenüber der möglichen PV-Fläche zu großen Bedarf auf

Die gezeigten Ergebnisse werden durch Berechnungen mit ähnlichen Sets an symmetrischen und asymmetrischen sowie statischen und quasi-dynamischen Gewichtungsfaktoren anhand der beiden genutzten und vier weiteren Gebäuden aus anderen europäischen Ländern bestätigt (s. [Noris 2014]).

Ähnlich wie bei den primärenergetischen Gewichtungsoptionen lässt sich auch für die Gewichtung auf Basis von CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren festhalten, dass eine Aussage zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden undeutlicher wird, sobald die Gewichtung von der statischen Variante abweicht. Bei gleichem Nutzenergiebedarf eines Gebäudes differieren der Primärenergie- bzw. CO<sub>2</sub>-Aufwand sowie die hierdurch bedingte Leistung zur bilanziellen Kompensation extrem. Zudem gilt auch, dass die quasi-dynamischen Gewichtungsvarianten und vor allem die Gewichtung auf Basis von zukünftigen Szenarien für das Stromnetz eine architektonische Umsetzung von Nullenergiegebäuden nahezu unmöglich machen bzw. diese nur im sehr engen Technologierahmen der Wärmepumpe zulassen. Das Ziel einer ausgeglichenen Emissionsbilanz ist bei allen übrigen Technologiekonzepten zukünftig auch bei einer statischen Gewichtung baulich nicht zu bewerkstelligen.

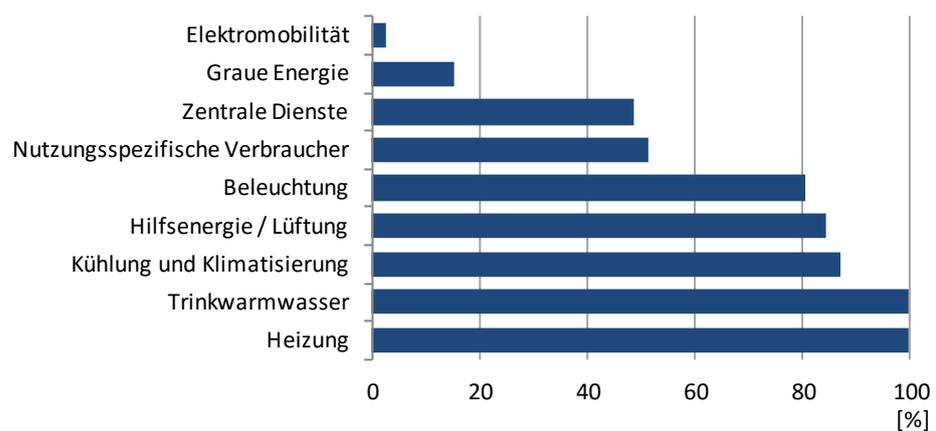
Generell ist die quasi-dynamische Bilanzierung auf Monatsebene für Gebäude wenig vorteilhaft, da Gutschriften aus Solarstromanlagen besonders schlecht bewertet werden, wenn diese ihre maximale Stromausbeute erzielen können. Das Prinzip der ausgeglichenen Jahresbilanz im Sinne einer doppelten Buchhaltung wird hierbei unterwandert. Gegenüber der quasi-dynamischen Gewichtung könnte eine voll dynamische Gewichtung auf Basis von Tageslastgängen und höheren Gutschriften zu Starklastzeiten über den Mittag für Nullenergiegebäude daher eine bessere Option darstellen (s. Abschnitt 7.8.6).

Auf Basis der genutzten, zukünftigen Gewichtungsfaktoren erscheinen fossil betriebene KWK-Anlagen bei der Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden oder der Zertifizierung vorausschauend als weniger vorteilhaft. Allerdings basieren die Szenarien mit verbesserten Primärenergieaufwendungen und geringeren CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Stromerzeugung auf heute und zukünftig installierten KWK-Anlagen (vgl. [Graabak 2011] und [Großklos 2013]), so dass ein Stopp ihrer Installation die zu Grunde gelegten Szenarien konterkarieren würde. Bis zum Eintritt der Szenarien werden diese Anlagen bereits gegen eine neue Generation ausgetauscht sein, wobei Brennstoffzellen oder Biomasse-BHKW Entwicklungspotenziale und damit Effizienzsteigerungen sowie eine verbesserte Gebäudeperformance versprechen (s. bspw. [Grund-Ludwig 2012]). Der Nutzen von solarthermischen Anlagen wird bei indikatorbasierten Energiekennwerten durch niedrige Gewichtungsfaktoren wie bspw. denen von Biomasse verdrängt. Die erhöhte Gesamtenergieeffizienz und Endenergieeinsparung wird hierüber nicht kommuniziert bzw. gerät zur Nebensache. Nebenanforderungen wie das EEWärmeG oder politisches Eingreifen bei den Gewichtungsfaktoren sind vor dem Hintergrund eines endlichen Biomassehaushalts aber einer unendlich verfügbaren Sonneneinstrahlung berechtigt und könnten zukünftig größere Wichtigkeit erlangen.

#### 7.4 Bilanzgrenze

Ein wesentliches Element bei der Definitionsauslegung bei Nullenergiegebäuden bzw. -bilanzen ist die Bilanzgrenze. Sie umschreibt, welche Verbrauchsbereiche in der Energiebilanz erfasst und durch eigene Energieerträge ausgeglichen werden (sollen). Entsprechend des in Europa etablierten Ansatzes der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden sind die Bereiche Heizung, Trinkwarmwasser, Lüftung und Kühlung bzw. Klimatisierung auch in den meisten bekannten Bilanzierungsvorlagen enthalten (s. Abbildung 7-16). Die festverbaute Beleuchtung kommt im Falle von Nichtwohngebäuden hinzu. Alle weiteren Energieverbrauchssektoren werden gemäß EnEV und EPBD normativ (noch) nicht erfasst.

Abbildung 7-16: Darstellung der Verwendung verschiedener Bilanzgrenzen bei 78 bekannten Standards für Null- und Plusenergiegebäude weltweit. Die Beleuchtung wird häufig nur bei Nichtwohngebäuden adressiert. Zentrale Dienste sind meist nicht explizit genannt. Die Graue Energie wird bisweilen durch Maximalwerte mitdefiniert aber nicht in die Bilanz aufgenommen. Ähnliches ist für die nutzungsspezifischen Bedarfe zu erkennen. Die Elektromobilität ist in fünf Standards einbezogen



Von Seiten der Gesetzgebung ist dieses Prozedere inkonsequent. So werden die gesetzlich vorgegebene Beleuchtungsstärke für Arbeitsplätze und der iterative Einfluss auf interne Wärmelasten als Grund für die normative Betrachtung der Beleuchtung bei Nichtwohngebäuden angeführt. Der stark durch die Nutzer beeinflusste Trinkwarmwasserbedarf wird als gebäudespezifisch betrachtet, da die Installationen fest mit dem Gebäude verbunden und meist mit der

Wärmebereitstellung kombiniert sind [EU 2010b]. Trotz gesetzlicher Vorgaben zum Brand- und Rauschutz oder der Behindertengerechtigkeit öffentlicher Gebäude werden Brandschutzsysteme oder Fahrstühle als fest installierte und zentrale Elemente des Gebäudebetriebs jedoch von der Berechnung der Gesamtenergieeffizienz ausgenommen. Dies trifft auch auf Haushalts- oder Kommunikationsgeräte zu, die ebenfalls interne Wärmelasten erzeugen.

Die in Deutschland allgemein als Gesamtenergiebedarf von Gebäuden zusammengefassten gebäudespezifischen Energiebedarfe werden durch Effizienzvorgaben oder Standardwerte innerhalb der EnEV bzw. DIN V 18599 beeinflusst und durch den Energieausweis ausgewiesen. Hierzu sind typologiespezifische Referenzwerte für die Planung sowie den Einsatz in Berechnungs- und dynamischen Simulationswerkzeugen bekannt. Bei einem Vergleich dieser Planungswerte kann der berechnete Gesamtenergiebedarf meist jedoch nicht den gemessenen Verbrauchswerten gegenübergestellt werden, da die üblicherweise installierten Stromzähler die gebäudespezifischen Verbräuche nicht von den übrigen Stromverbräuchen trennen. Insofern ist eine Bilanz, die allein die normativen Verbrauchsbereiche erfasst, nicht ohne weitere Zähler messtechnisch darstellbar [Voss 2010a]. Werden zudem die Erzeugungskapazitäten während der Planung allein auf die normativen Bedarfe ausgelegt, werden im tatsächlichen Gebäudebetrieb geringere Stromertragsanteile bzw. -überschüsse für die Deckung der technischen Gebäudeausrüstung erzielt, als geplant. Der Gesamtenergieverbrauch übertrifft den normativ berechneten Bedarf.

Dies deutet bereits darauf hin, dass die Bilanzgrenze für die Erstellung einer Gebäudeenergiebilanz auf sämtliche gebäudeinduzierte Verbrauchsbereiche auszudehnen ist. Hierfür spricht auch, dass alle Stromverbräuche unabhängig ihrer normativen Betrachtung die Ertrags- und saisonale Speicherleistung des Stromnetzes in Anspruch nehmen, und dass die angestrebten Ziele der Energiewende und Treibhausgaseinsparung auch die nicht gebäudespezifischen Verbrauchssektoren betreffen (s. Kapitel 1.1, 3.2 und 4).<sup>131</sup> Die Bedeutung der einzelnen Verbrauchsbereiche ist in Abbildung 1-1 und Abbildung 1-2 abzulesen. Während die normativ betrachteten Verbräuche und vor allem die der Raumwärme in Wohngebäuden in den letzten Jahren sukzessiv gesunken sind, stagniert der Stromverbrauch trotz effizienter werdender Haushaltsgeräte und Lampen auf hohem Niveau bzw. zeigt sogar steigende Tendenzen [DESTATIS 2012]. Grund hierfür ist u.a. die steigende Nutzung von Kommunikations- und Unterhaltungselektronik sowie der sog. Rebound-Effekt (s. Seite 50). [BPIE 2011] führt zur Anrechnung des nutzungsspezifischen Stromverbrauchs in der Gesamtenergiebetrachtung an, dass der Einsatz von gebäudegekoppelten Stromerzeugern analog zu solarthermischen Anlagen zur direkten Reduzierung des Energiebedarfs steigen bzw. damit der Stromverbrauch gesenkt werden könnte.

Neben den normativ betrachteten und übrigen im Gebäudebetrieb aufkommenden Energiebedarfen werden durch einige der bekannten Definitionen und Standards für Nullenergiegebäude auch Aufwendungen der (Elektro-)Mobilität der Gebäudenutzer sowie der kumulierte Energieaufwand der genutzten Materialien und Baustoffe (Graue Energie) in die Bilanzierung einbezogen (s. Abbildung 7-16).

<sup>131</sup> Das Hinzuziehen der nutzungsspezifischen Stromverbräuche erscheint bei Sanierungen schwierig, da Nutzern bzw. Mietern zum Zeitpunkt der Sanierung nicht auferlegt werden kann, sämtliche (Haushalts-)Geräte, EDV oder sonstige Ausstattung auszutauschen. Generell besteht bei vermieteten Immobilien ein Problem des Durchgriffs des Planers bzw. Eigentümers auf die Nutzer und deren Nutzung von Geräten und Leuchten (s. Kapitel 8.1.2)

### 7.4.1 Nutzungsspezifische Verbrauchsbereiche

Die angesprochenen nicht gebäudespezifischen Verbrauchssektoren sind die üblicherweise ebenfalls über die Stromzähler erfassten nutzerspezifischen Stromverbraucher bzw. sog. Betriebseinrichtungen und Arbeitshilfen (Haushaltsgeräte, Unterhaltungselektronik, Bürogeräte und Computer samt Zubehör, Teeküchen oder kleine Maschinen im Gewerbe), Beleuchtung in Wohngebäuden sowie Aufwendungen zentraler Dienste (Fahrstühle, Rolltreppen, zentrale EDV-Einrichtungen, gewerbliche Küchen und Kühlräume bzw. Maschinen, Geräte und Prozessanlagen, Brandschutz- und Sicherheitsanlagen, USV-Anlagen, etc.). Eine umfassende Aufstellung hierzu bietet [SIA 380 1995]. Da der Einsatz dieser Verbraucher stark von der jeweiligen Nutzung abhängt, werden sie zusammengefasst und im Zuge der Arbeit unter dem Terminus „nutzungsspezifische Verbräuche, Verbraucher bzw. Bedarfe“ genannt. Sie werden in etwa der Hälfte der bekannten Standards für Nullenergiegebäude mitbilanziert (s. Abbildung 7-16). Das Programm „EffizienzhausPlus“ gibt hierzu bspw. einen Maximalwert von  $20 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{a}$  bzw.  $2.500 \text{ kWh}_E/\text{a}$  für den Stromverbrauch je Wohneinheit vor. Damit wird er ähnlich statisch wie der ebenfalls schwer vorherzusehende Bedarf des Trinkwarmwassers in die Berechnungen einbezogen [BMVBS 2011]. In der Gebäudeplanung gibt die schweizerische Norm SIA-2031 [SIA 2031 2009] bzw. [BMVBS 2009] für den Nichtwohngebäudebestand teils deutlich höhere Standardwerte aus (s. Kapitel 8.1.2). Innerhalb des Passivhaus Projektierungs-Pakets (PHPP) werden projektspezifische Planungsdaten einbezogen [PHPP 2008].

Für diese nutzungsspezifischen Verbraucher gilt, dass ihr Anteil am Gesamtbetriebsenergiebedarf umso größer wird, je effizienter ein Gebäude im Sinne der normativen Bedarfsberechnung ausfällt. Abbildung 7-17 zeigt hierzu den gemessenen Stromverbrauch von 77 Null- und Plusenergiegebäuden aufgeteilt in normativen und nutzungsspezifischen Stromverbrauch sowie einen Vergleich mit Planungswerten aus der Literatur (s.o.). Bei Wohngebäuden beträgt der Anteil der nicht normativen Stromverbräuche knapp 80 bzw. 69 % bei Nutzung einer Wärmepumpe. Bei Verwaltungsbauten sind die Werte etwas geringer aber dennoch stark ausgeprägt. Auch wenn die Werte bisweilen voneinander abweichen, ist die Dominanz bzw. Wichtigkeit des nutzungsspezifischen Stromverbrauchs ablesbar (vgl. Abbildung 8-17). Je nach Typologie und Nutzung variiert dieser stark. Einzig bei Bildungsgebäuden dreht sich die Tendenz auf Grund der großen Nutzflächen und geringen Stromverbräuche während der Unterrichtszeiten um (Anteil ca. 20 %).

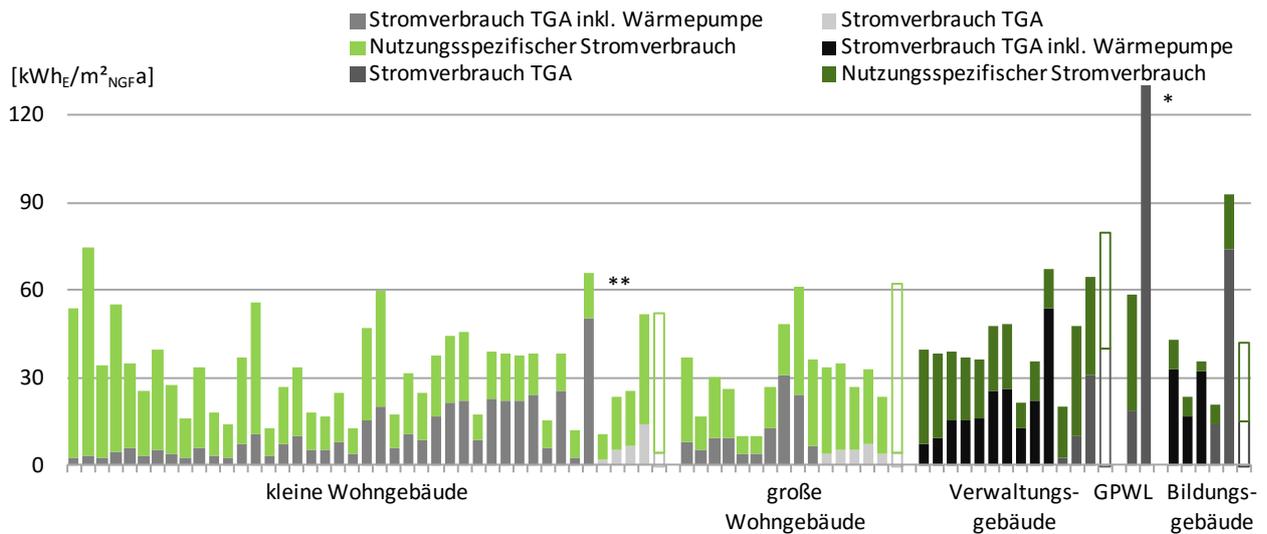


Abbildung 7-17: Gemessener Stromverbrauch von erfassten Nullenergiegebäuden aus mitteleuropäischen Klimaten aufgeteilt in nutzungsspezifische Stromverbräuche und die der technischen Gebäudeausrüstung. Die Verbräuche der TGA von Gebäuden mit Wärmepumpen sind auf Grund der erhöhten Werte separat aufgeführt (dunklere Balken). Bei den übrigen Gebäuden kommt ein hier nicht aufgeführter, weiterer Energieträger hinzu. Quellen für die Vergleichswerte aus der Literatur (nicht ausgefüllte Balken jeweils rechts pro Typologie) sind [PHPP 2008; BMVBS 2009] und [SIA 2031 2009]

\* Der Gesamtwert der Produktionsstätte (302 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub>) beinhaltet die Aufwendungen für Maschinen (nutzungsspezifischer Stromverbrauch 109 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub>)

\*\* Der Stromverbrauch der TGA beinhaltet ein Elektroauto

Bei den beiden Beispielgebäuden „Kleehäuser“ und Kindergarten in Monheim sind die nutzungsspezifischen Stromverbräuche relativ gering. Gegenüber den genannten Literaturwerten werden kleinere Verbräuche erzielt. Demnach ist auch der hierfür zusätzlich notwendige Flächenbedarf an Photovoltaik für ihre Deckung gegenüber dem übrigen Gesamtenergiebedarf gering (s. Abbildung 7-18).

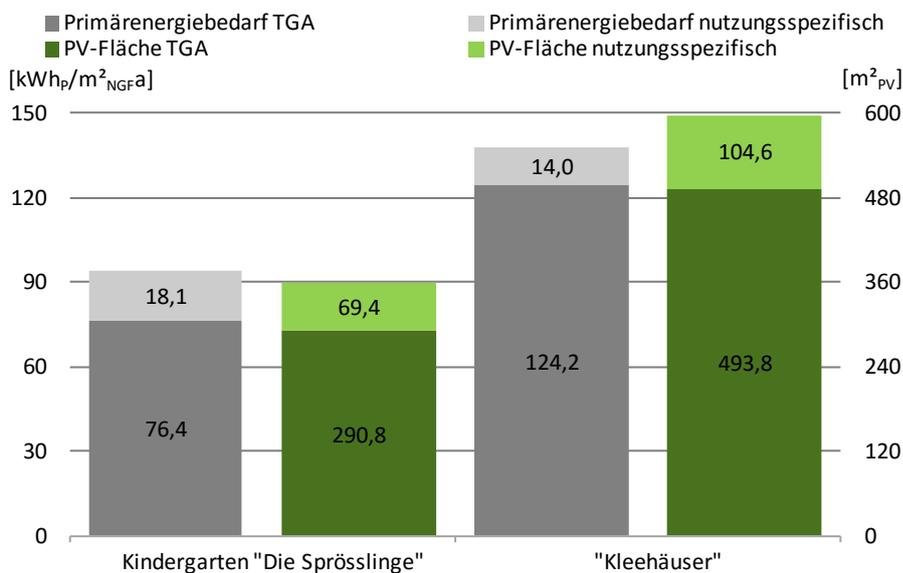


Abbildung 7-18: Gebäude- und nutzungsspezifische Primärenergiebedarfe des Kindergartens „Die Sprösslinge“ und der „Kleehäuser“ sowie der nötige Zuwachs an PV zum Ausgleich der nicht normativen Stromverbräuche. Die gebäudespezifischen Primärenergiekennwerte nehmen sämtliche, auch nicht strombasierte Verbräuche auf. Die Berechnungswerte entsprechen gemessenen Gesamtverbräuchen. Bei den „Kleehäusern“ wird ein BHKW genutzt, welches jedoch auf Grund der Auslegung nach der Wärmelast keinen Einfluss auf den Anstieg der PV hat

Kindergärten weisen ebenso wie Schulen eine geringe Ausstattung an EDV oder weißer Ware auf. Die „Kleehäuser“ nutzen durchgängig effiziente Beleuchtung und Haushaltsgeräte und teilen letztere zudem in der Hausgemeinschaft. Bei kompakten, mehrgeschossigen Wohngebäuden wie den „Kleehäusern“ oder Verwaltungsbauten ist jedoch die vorhandene Dachfläche im Verhältnis zur Nutzfläche meist ungünstig, weshalb kaum zusätzliche PV-Fläche

installiert werden kann. Abbildung 7-17 lässt bereits erahnen, dass die Deckung weiterer Energieverbräuche am Gebäude eine große Herausforderung ist.

Abbildung 7-19 zeigt eine Gegenüberstellung der installierten Solarstromleistung von kleinen Wohngebäuden. Darin sind die Gebäude der beiden unterschiedlichen Definitionsstandards „MINERGIE-A“ und „EffizienzhausPlus“ extra gruppiert. Das Label „MINERGIE-A“ nimmt in die Jahresenergiebilanz keine Haushaltsgeräte oder die Beleuchtung auf, sondern formuliert hierzu die Forderung besonders effiziente Geräte zu nutzen.<sup>132</sup> Bei Gebäuden des Demonstrationsprogramms „EffizienzhausPlus“ werden sämtliche Energieverbräuche bilanziert. Ertragsüberschüsse gelten als Gutschrift für die mögliche Elektromobilität. Hierzu sind keine Anforderungswerte formuliert. Zehn der 20 Gebäude dieses Standards beziehen die Elektromobilität mit je einem eigenen Wert bereits in die Energiebilanz mit ein. Die geplanten Stromüberschüsse betragen zwischen 3 und 50 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFA</sub>. Die mittlere installierte PV-Leistung der „MINERGIE-A“-Gebäude wird bei den „EffizienzhausPlus“-Häusern mehr als verdoppelt. Weitere Gebäude, die keinem der beiden Standards entsprechen, aber auf Basis ähnlicher Bilanzgrenzen bilanziert werden, bestätigen diese Werte (vgl. [Musall 2011b]). Die Gebäude deren Bilanzgrenze auch die nutzungsspezifischen Verbräuche umfasst, weisen eine durchschnittlich leicht geringere PV-Leistung gegenüber den Gebäuden des „EffizienzhausPlus“-Standards aus, da üblicherweise kein bilanzieller Überschuss erzielt bzw. Aufwand für die Mobilität ausgeglichen werden soll. In [Stutterecker 2012] wird der Einfluss unterschiedlicher Bilanzierungsgrenzen auf die nötige Solarstromleistung anhand des Gebäudebetriebs eines Mehrfamilienhauses in Österreich in ähnlicher Weise verdeutlicht.

<sup>132</sup> Ein Informationsportal führt die jeweils effizientesten Geräte und Leuchten auf

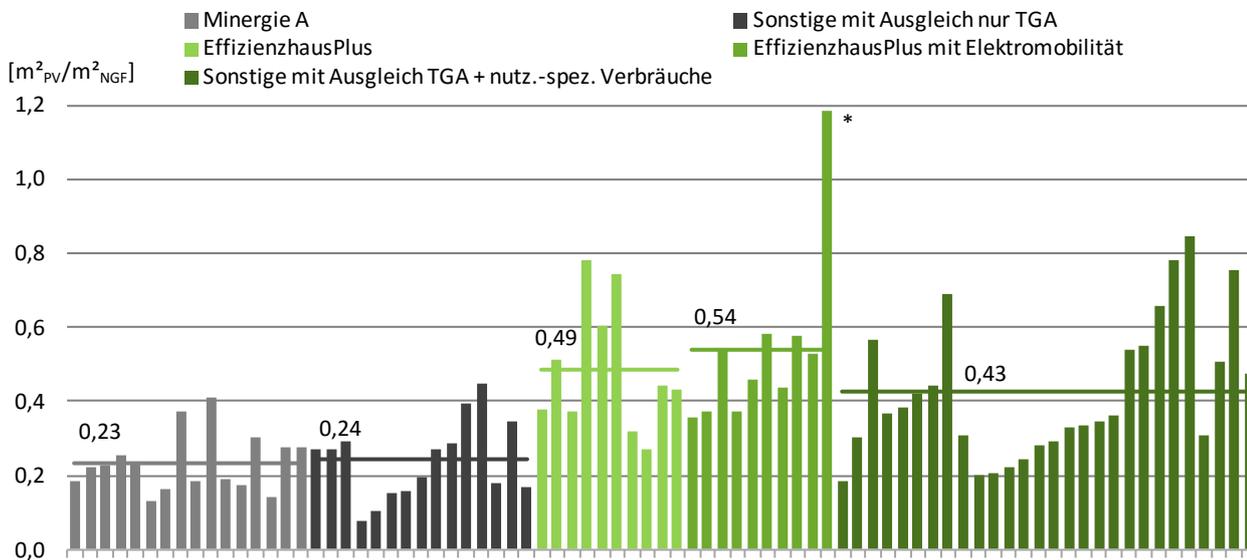


Abbildung 7-19: Gegenüberstellung der installierten PV-Fläche von kleinen Wohnhausprojekten mit einem „MINERGIE-A“-Label (Ausgleich gebäudespezifischer Verbräuche) und aus dem Demonstrationsprogramm „EffizienzhausPlus“ (Deckung aller Verbräuche mit Energieüberschuss) sowie weiteren Gebäuden ohne Definitionszuordnung mit ähnlichen Bilanzgrenzen aus der Projektdatenbank samt jeweiliger Mittelwerte

\* Die sehr große PV-Leistung ist auf den Demonstrationscharakter dieses Projekts zurückzuführen

### 7.4.2 (Elektro-)Mobilität

Neben den gebäudeinduzierten Betriebsenergieaufwendungen wird bei einigen aktuellen Standards für Nullenergiegebäude (s. Plusenergiehaus Stufe 3 in [energie-cluster 2013] und Seite 128) und realisierten Projektbeispielen (bspw. DE\_88 - Seite 128) die (Elektro-)Mobilität thematisiert und in die Gebäudebilanzierung einbezogen. Dies beruht auf unterschiedlichen Ansätzen.

Der erste Ansatz betrifft die mögliche Speicherung von am Gebäude erzeugtem Strom in den Batterien von Elektro- oder Hybridfahrzeugen und eine dadurch erreichte Minderbelastung des Stromnetzes durch verringerte Einspeisespitzen. Der emissionsarme Betrieb der Fahrzeuge ist dabei nicht vordergründig bzw. kann nicht als solcher beschrieben werden. (Sommerliche) Solarstromüberschüsse oder in Einzelfällen auch Überschüsse aus gebäudeintegrierten KWK-Anlagen werden nicht oder nur zu geringeren Anteilen in das öffentliche Stromnetz gespeist, sondern in die Batterie von Elektrofahrzeugen geladen [BMVBS 2012c]. Da die Elektromobilität bilanziell nicht betrachtet wird, gelten die Elektrofahrzeuge nicht als weiterer Verbraucher sondern als alternativer Exportpunkt neben dem Stromnetz. Der hierin exportierte Strom muss dann gemäß der ausgeglichenen Gebäudeenergiebilanz später aus dem Stromnetz bezogen werden, obwohl er diesem nicht zur Verfügung gestellt wurde. Parallel sinkt jedoch der Netzstrombezug des Fahrzeugs zu Zeiten von Ertragsüberschüssen am Gebäude. Die winterliche Belastung des Stromnetzes nimmt nicht zu. Die Elektrobatterie als Speicherersatz übernimmt lediglich die Kappung von Spitzenlasten als Alternative bzw. Ergänzung zum Lastmanagement.<sup>133</sup>

Als Alternative können Elektrofahrzeuge als zusätzliche Verbraucher in der Gebäudeenergiebilanz angerechnet werden, da sie aus dem gleichen Hausnetz wie bspw. eine Wärmepumpe oder die Haushaltsgeräte gespeist werden. Im zweiten Ansatz wird dann der an sie übertragene Strom analog zu diesen Verbrauchern betrachtet und eine entsprechend größere Erzeugungsleistung am Haus nötig. Das „EffizienzhausPlus“ bilanziert die jährlichen Ertragsüberschüsse, die aus gegenüber der Betriebsenergiebilanz größer als notwendig ausgelegten PV-Kapazitäten resultieren. Da kein einheitlicher bzw. fester Anforderungswert (in Abhängigkeit von der Fahrleistung der Gebäudenutzer oder des Gebäudestandortes) an die zu übergebende Menge an Strom formuliert ist, wird zuerst die Gebäudeenergiebilanz ausgeglichen und die Überschüsse (tlw.) dem Verkehrsaufkommen der Gebäudenutzer bzw. deren Energie- und CO<sub>2</sub>-Belastungen gegenübergestellt und gutgeschrieben (s. Abbildung 7-19 und Abbildung 7-20). Zehn der 20 realisierten Vorhaben des Demonstrationsprogramms weisen in ihrer Energiebilanz einen Strombetrag für die Elektromobilität aus. Gegenüber dem reinen Speichermodell oben, wird in Summe mehr Solarstrom erzeugt. Theoretisch bleibt die Netzbelastung gegenüber einer Gesamtenergiebilanz ohne Elektromobilität unverändert, da Überschüsse eigens für das Elektrofahrzeug erzeugt werden. Praktisch tritt also ein ähnlicher Verlauf ein, wie beim Ansatz oben: Die sommerlichen Stromüberschüsse werden vermehrt in die Fahrzeuge geladen, während die Anteile des selbst genutzten Solarstroms steigen, die Einspeisespitzen verringert werden und der Bezug aus dem Stromnetz zu Winterzeiten erhöht wird (s. Abschnitt 7.8).

<sup>133</sup> Photovoltaik-Anlagen bis 30 kW<sub>p</sub> müssen zur Regulierung möglicher Netzschwankungen seit Anfang 2013 an einem gesetzlich vorgeschriebenen Einspeisemanagement teilnehmen oder ihre Einspeiseleistung auf 70 % reduzieren [BSW 2012b]. Batterien (in Fahrzeugen) können die Einspeiseleistung dämpfen und eine Begrenzung der Anlagenleitung umgehen

„energy+ Home“, Darmstadt

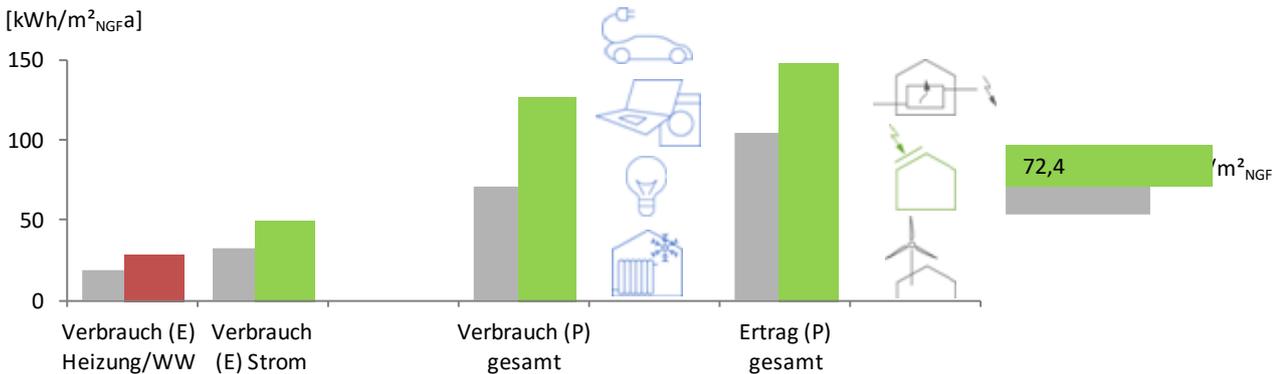
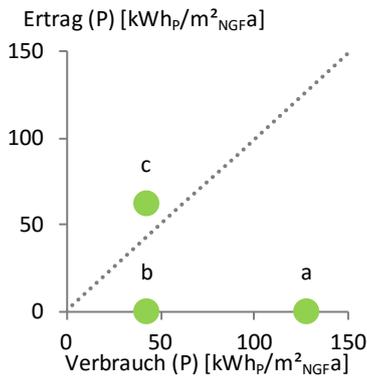
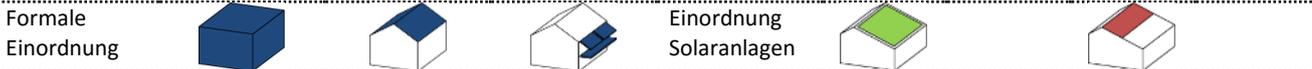
DE\_88



Fotos: Tichelmann & Barillas Ingenieure, TSB Ingenieurgesellschaft mbH

Architekt	Lang+Volkwein, Darmstadt	Nettogrundfläche	185 m <sup>2</sup>
Baujahr	1970, Sanierung 2012	Hauptakteur / Motiv	Bauherr / Demonstration
Typologie	Einfamilienhaus	Städtebauliches Umfeld	suburban

Bei der Transformation und Erweiterung eines Bestandsgebäudes aus den 1970er Jahren zu einem EffizienzhausPlus mit Elektromobilität konnte der Primärenergieverbrauch von rund 380 kWh/m<sup>2</sup>a deutlich reduziert werden. Hierzu erhielt das zweigeschossige Gebäude eine neue Fassade. Hinter hinterlüfteten Eternitplatten und Putz dämmen 24 bis 28 cm Mineralwolle das Haus. Eine 3 Drei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung ermöglicht dabei einen hohen Tageslichteinfall. Der Verbund von dunklen Dachsteinen - sie bedecken einen Dachaufbau mit einer Unter-, Zwischen- und Aufsparrendämmung aus insgesamt 30 cm Mineralwolle - und integrierten, rahmenlosen PV-Modulen mit schwarzen monokristallinen Zellen ergibt ein homogenes Gesamtbild. Ein geplanter Stromüberschuss soll in der Batterie eines elektrisch getriebenen PKW zwischengespeichert werden.



Messwerte für 2014 nach Fraunhofer-IBP, Batterie in Elektro-PKW

EffizienzhausPlus mit Elektromobilität, DE

Autor, Institution	BMVI / Fraunhofer-IBP	(Neben-)Anforderungen:	Asymmetrische Gewichtung zwischen eingespeistem und bezogenem Strom (Faktor 2,8 kWh <sub>E</sub> /kWh <sub>P</sub> zu 2,4); Ausweisung des Verhältnisses von selbst-genutzter zu erzeugter Energie anhand des EnEV-Monatsverfahrens und intelligenter Stromzähler; Endenergiebilanzierung soll guten Wärmeschutz sicherstellen
Einführungsjahr	2011		
Bilanzgrenze	normativ / nutzungsspezifisch / Mobilität		
Bilanzrahmen	on-site / Grundstücksgrenze		
Bilanzzeitraum	Betriebsjahr		
Indikator	End- und Primärenergie		

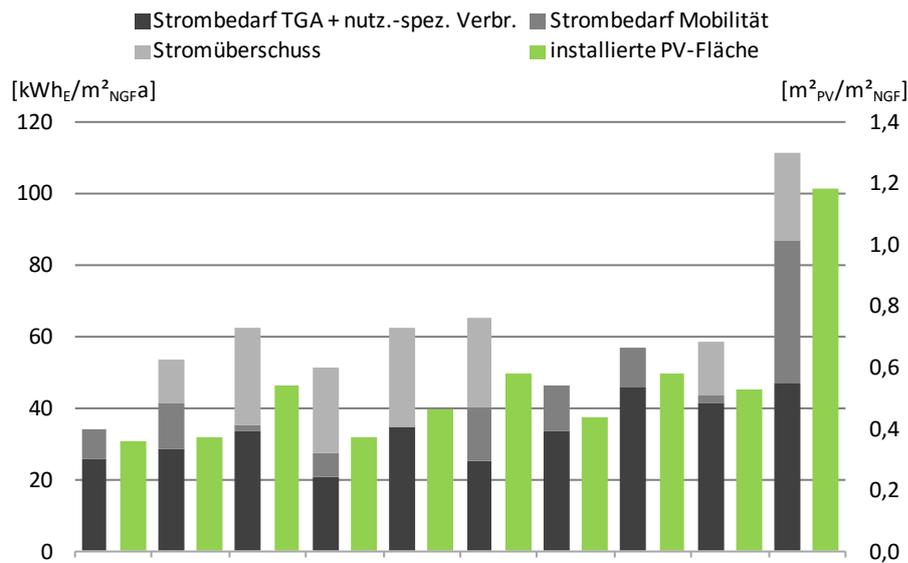


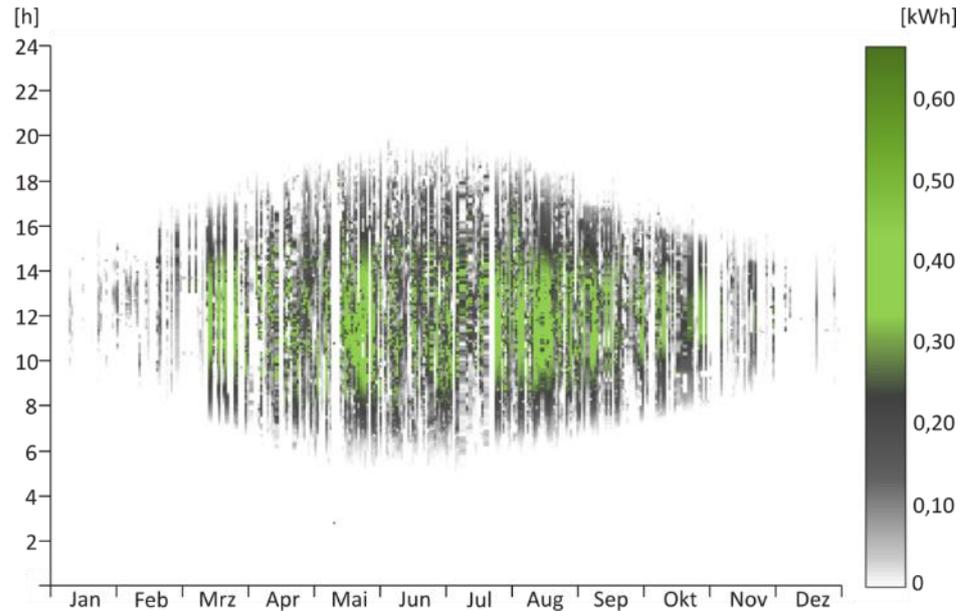
Abbildung 7-20: Aufstellung von bereits ausgewiesenen Stromaufwendungen für die Elektromobilität der im Demonstrationsprogramm „EffizienzhausPlus“ erstellten Einfamilienhäuser sowie die normierte Fläche der installierten Solarstromanlagen (s. auch Abbildung 7-19). Teilweise werden Ertragsüberschüsse nicht für die Elektromobilität aufgewendet

Beiden Ansätzen ist gemein, dass die Fahrzeuge mit dem Gebäudeenergiesystem über ein MSR-System gekoppelt werden müssen, um sie entsprechend ihrer Einsätze bzw. des Ladestands der Batterien ausreichend laden bzw. parallel andere Verbraucher (ggf. vorrangig) mit eigens erzeugtem Solarstrom versorgen zu können. Anhand von Wettervorhersagen, Nutzerprofilen, energetischem Zustand des Gebäudes und der gewünschten Fahrzeugnutzung wird hierzu eine Ladestrategie entwickelt. Je nach Verfügbarkeit von Strom im Netz (und zukünftig eventuell entsprechender Preise), können dortige Überschüsse gezielt in die Batterien von Fahrzeugen (zwischen-)gespeichert werden. Zudem kann eine Übergabe von Strom aus dem Speicher der Fahrzeuge an Gebäude oder das Stromnetz eingerichtet werden.

Diese Annahmen funktionieren nur, wenn das zu ladende Elektrofahrzeug zu den Zeitpunkten am Haus steht, zu denen Stromüberschüsse erzielt werden. Dies dürfte in der Praxis schwierig werden, da Autos tagsüber meist von Berufspendlern oder für tägliche Besorgungen genutzt werden. Dabei ist beim jetzigen deutschen Strommix die „Betankung“ von Elektroautos durch (direkte) erneuerbare Stromerträge Voraussetzung für deren verbesserte CO<sub>2</sub>-Bilanz gegenüber benzingetriebenen Autos [Schoof 2012]. Abbildung 7-21 stellt hierzu beispielhaft die gemessenen Stromertragsüberschüsse des Wettbewerbs- und Demonstrationshauses der Universität Wuppertal am Standort Wuppertal über den Zeitraum eines Jahres dar (Projektbescrieb s. [Solar Decathlon 2011]). Auch wenn hierüber kein Elektrofahrzeug betrieben werden soll, wird ersichtlich, dass eine über den Jahresverlauf gleichbleibende Fahrleistung nur selten durch die gebäudegekoppelten Solarstromanlagen gedeckt werden könnte. Abschnittsweise konnten nicht einmal 5 kWh Strom pro Woche erzeugt, geschweige denn Überschüsse erzielt werden (bspw. zweite Januarwoche). Der Ladestrom des Fahrzeugs hätte somit aus dem Stromnetz bezogen werden müssen. Große Überschüsse werden nur tagsüber erreicht, wenn das Fahrzeug hypothetisch nicht am Haus geparkt ist. Das Demonstrationshaus des BMVBS (s. DE\_66) hält zumindest für sommerliche Tagesüberschüsse einen zweiten, stationären Batteriespeicher vor, der tagsüber durch Solarstromüberschüsse geladen wird und diese nach Rückkehr des Fahrzeugs weitergibt. Auf Grund der zwei Batteriesysteme im Haus und Fahrzeug ist dies allerdings sehr kostenaufwendig.



Abbildung 7-21: Carpet-Plot der gemessenen Stromüberschüsse des Wettbewerbs- und Demonstrationshauses der Universität Wuppertal am Standort Wuppertal im Jahr 2012 in fünf minütiger Auflösung. Es zeigt sich, dass selten große Stromüberschüsse erzielt werden und sich diese für ein Nur-Strom-Gebäude typischerweise saisonal stark unterscheiden



Um Pendlerautos vermehrt direkt mit Solarstrom laden zu können, müssten Stromtankstellen folglich nicht an Wohn- sondern Nichtwohngebäuden installiert werden (s. DE\_54 - Seite 45). Allerdings weisen Nichtwohn- und vor allem Verwaltungsbauten bereits sehr hohe Energieverbräuche auf. Hier sind kaum Gebäude mit mehr als drei Geschossen bekannt, die das Ziel einer ausgeglichenen Energiebilanz ohne externe Erzeugungskapazitäten erreichen (s. [Musall 2011d] und Abbildung 9-2). Neben der Unwägbarkeit der nicht vorab zu bestimmenden Fahrleistung der Beschäftigten steht auch die Frage, warum Verwaltungsbauten bzw. deren Besitzern oder Arbeitgebern generell die Umweltbelastung des Verkehrsaufkommens der Mitarbeiter auferlegt werden sollte, dieser Idee entgegen.

<sup>134</sup> Die hiermit verbundenen Aufwendungen für die Erschließung mit Autos ist allerdings ein Hauptgrund für Flächenfraß und spricht generell gegen den Individualverkehr inkl. Elektroautos anstellen von ÖPNV

<sup>135</sup> Der energetische Ausgleich der Mobilität durch Erzeugungskapazitäten am Haus wird hierbei nicht einbezogen. Es werden allein die Gesamtenergieaufwendungen nach möglichem Abzug von ausgeglichenen Betriebsenergieaufwendungen dargestellt. Neben unterschiedlichen Gebäudetypen und -qualitäten, Gebäudetechnik und Dämmstandards sowie dem (energetischen) Nutzerverhalten werden lokale Energieversorgungspotenziale, Mobilität, standortabhängige Verkehrsbeziehungen und die Nahversorgung einbezogen. Die einzelnen Aspekte überlagern sich und machen die Ergebnisse uneindeutig. Die Verringerung der solaren Potenziale durch Verschattung innerstädtischer Dachflächen wird bspw. nicht abgebildet

Anlass für den zweiten Ansatz oben sowie eine Alternative (Ansatz drei) gibt der u.a. durch Eigenheimzulagen und Pendlerpauschalen gestützte Trend kleiner Ein- und Zweifamilienhäuser abseits urbaner Zentren (s. Kapitel 3.4.1) und eine (dadurch) stetig steigende personenbezogene Fahrleistung [Kunert 2012]. Trotz stagnierender Bevölkerungszahlen in Deutschland steigt der Landschaftsverbrauch und fällt die durchschnittliche Siedlungsdichte außerhalb der Ballungsgebiete. Die peripheren Quartiere werden zudem zunehmend schlecht durch den ÖPNV versorgt [Schoof 2012].<sup>134</sup> Etwa 15 % des Gesamtendenergieverbrauchs wird in Deutschland durch private Mobilität verursacht (s. Abbildung 1-1). Während sich dieser Trend auch bei Nullenergiegebäuden fortsetzt (s. Abbildung 7-22), wird der Effekt der Gebäudeeffizienz in einer gesamtenergetischen Betrachtung tlw. aufgezehrt. Überschlägige Berechnungen mit dem Excel-basierten Werkzeug „EFES - Energieeffiziente Entwicklung von Siedlungen“ [EFES 2009] anhand von hinterlegten Beispielprojekten und dem eigenen Beispielgebäude „Kleehäuser“ zeigen auf, dass Nullenergiehäuser in der Peripherie Passivhäusern gleicher Typologie im Stadtzentrum bezüglich ihres Gesamtenergiebedarfs unterlegen sein können, sofern die Energieaufwendungen für die personenbezogene Mobilität berücksichtigt werden.<sup>135</sup>

Da eine tatsächliche „Betankung“ von Elektrofahrzeugen mit erneuerbarem Strom vom Hausdach kaum durchgängig zu realisieren ist, könnten die Aufwendungen der Fahrleistungen der Gebäudenutzer über die Primärenergie- bzw. CO<sub>2</sub>-Ebene und erhöhte Stromexporte an die Netzinfrastruktur bilanziell ausgeglichen werden. In [Stockinger 2013] wird für den „Energieausweis“ für

Plusenergie-Wohngebäude der Vorschlag unterbreitet, vorab den tatsächlichen Aufwand für die persönliche Fahrleistung zu berechnen oder einen standardisierten Mittelwert (analog zum Warmwasser- oder Strombedarf, s. Abschnitt 7.4.1) zu definieren und diesen in die Gesamtenergiebilanz bzw. die Stromerzeugungsleistung am Haus einzubeziehen. In sehr weitreichenden Szenarien im Sinne der 2000-Watt-Gesellschaft (s. Seite 94) könnte auch die Nutzung des öffentlichen Nahverkehrs oder externe Mietwagennutzungen einbezogen werden. Während ein Mittelwert personenbezogene Aufwendungen oder eventuelle Einsparbemühungen aber nicht wiedergeben kann, kann die berechnete Fahrleistung durch Veränderungen der Lebensumstände ständig wechseln. Eine Deckung durch statische, weil zu Planungsbeginn festzulegende Erzeugungskapazitäten am Gebäude erscheint daher fragwürdig.

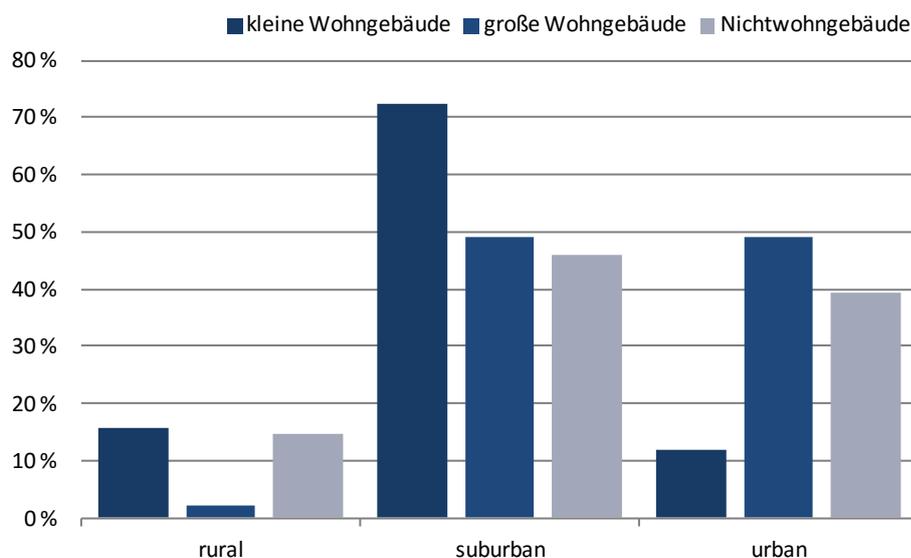


Abbildung 7-22: Verteilung der bekannten Nullenergiegebäude aus Europa auf die Standorte rural, suburban und urban. Der überwiegende Teil der kleinen Nullenergie-Wohngebäude liegt nicht in urbanen Zentren.

Rural: Ländlich, nicht in der Stadt oder einem Randbereich

Suburban: Randbereiche von Städten, Vorstädte

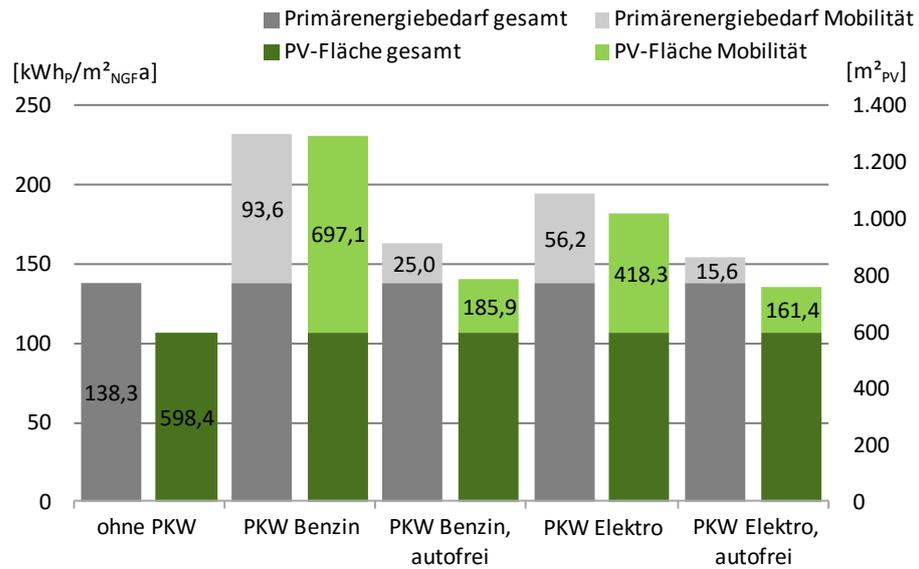
Urban: Innerstädtisch

Die Einteilung nach Standorten erfolgte auf Basis von [Musall 2014b]

Der durch die Hinzunahme der Elektromobilität vergrößerte Leistungsbedarf an Photovoltaik ist bereits bei den zehn Beispielgebäuden aus dem Demonstrationsprogramm „EffizienzhausPlus“ in Abbildung 7-19 zu erkennen. Hier sind allein kleine Einfamilienhäuser abgebildet. Gegenüber einer Energiebilanz inkl. der nutzungsspezifischen Verbraucher steigt die installierte Solarstromleistung um etwa  $14 \text{ W}_p/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ , wobei sehr unterschiedliche Solarstromüberschüsse für die Fahrleistung gutgeschrieben werden können. Die Bedeutung der beiden Ansätze mit tatsächlicher Hinzunahme der Mobilität in die Gebäudeenergiebilanz wird für das Mehrfamilienhausprojekt „Kleehäuser“ in Anlehnung zu [Stockinger 2013] berechnet. Jeder der 23 Wohneinheiten wird dabei ein Fahrzeug mit einer Fahrleistung gemäß des Bundesdurchschnitts von 14.200 km/a zugeordnet [Kunert 2012]. Dabei wird zwischen einem Elektroauto mit einem Stromverbrauch von 17 kWh/100 km laut den Berechnungsannahmen im „EffizienzhausPlus“-Programm (s. [BMVBS 2012c]) und dem am häufigsten verwendeten Fahrzeugtyp (benzingetriebener Kompaktklasse-PKW, Durchschnittsverbrauch 6 l/100 km) nach [KBA 2013] unterschieden. Es wird auch eine Variante in Anlehnung an das autofreie Konzept des Standortes Freiburg Vauban berechnet. Auf dessen Grundlage (Stellplätze am Quartiersrand, Zentrumsnähe, gute ÖPNV-Anbindung und Carsharing-Angebot) haben nur sechs der 23 Haushalte in den „Kleehäusern“ ein eigenes Auto (vgl. [Lange 2011]).



Abbildung 7-23: Anstieg der PV-Fläche bei zusätzlicher Hinzunahme der privaten Fahrleistungen der Bewohner der „Kleehäuser“ gegenüber der Bilanz mit TGA- und nutzungsspezifischen Primärenergiebedarfen (s. Abbildung 7-18). Es wird unterschieden in benzin- und strombetriebene PKW. Das autofreie Konzept des Freiburger Stadtquartiers Vauban wird mit den tatsächlich vorhandenen sechs PKW berechnet



Je nach Antriebsart und Mobilitätskonzept wird bei den „Kleehäusern“ die PV-Fläche für den Ausgleich der gebäude- und nutzungsspezifischen Verbräuche, die ohnehin nicht am Gebäude zu realisieren ist, mehr als verdoppelt (s. Abbildung 7-23). Selbst der Anstieg durch ein verhältnismäßig sparsames Elektrofahrzeug je Wohneinheit beträgt über 400 m<sup>2</sup><sub>PV</sub> bzw. etwa 26 W<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGf</sub> und liegt damit deutlich über den mittleren Werten der in Abbildung 7-19 gezeigten Werte für die Einfamilienhäuser mit Elektromobilität. Grund hierfür ist die hohe Belegungsdichte des Mehrfamiliengebäudes (s. Tabelle 7-1).

Die Hinzunahme der Mobilität in die Gebäudegesamtenergiebetrachtung und deren direkte oder bilanzielle Deckung an Gebäuden ist auf Grund der mitunter sehr großen zusätzlich aufzubringenden Erzeugungskapazitäten möglich, aber pauschal als fragwürdig zu sehen. Zwar kann die energetische Vorteilhaftigkeit kompakter, effizienter und urban gelegener Mehrfamilienhäuser bei Hinzunahme der energetischen Aufwendungen der Mobilität gegenüber ländlichen Einfamilienhäusern dargestellt werden, doch gelingt es nur bei Letzteren zusätzliche PV-Kapazitäten für den (primär-)energetischen Ausgleich der personen- bzw. haushaltsbezogenen Mobilität auf dem Hausdach unterzubringen (s. Abbildung 7-20 und [Fisch 2012]). Hier müssen Randbedingungen wie Gebäudeausrichtung und das Verhältnis zwischen Nutz- und solar nutzbarer Hüllfläche optimal sein. In einigen bekannten Beispielen des „EffizienzhausPlus“-Programms werden Solarstromanlagen daher trotz einer Effizienzmindering auf nördlich geneigten Dachflächen oder in der Fassade installiert. Letzteres beeinflusst das Erscheinungsbild und erfordert eine Integration der Photovoltaikmodule in die Fassade.

Potenziale zur Reduktion von Einspeisespitzen sind bei der Einbindung von Elektrofahrzeugen gegeben. Allerdings rufen mindestens die zusätzlichen winterlichen Stromlasten erhöhte Erzeugungskapazitäten aus erneuerbaren Energiequellen auch bzw. vor allem abseits von Gebäuden hervor, sollen sie nicht wie derzeit durch Kohlestrom gedeckt werden (vgl. Kapitel 3.2 und 7.3.1.2). Daher sind Nullenergiegebäude mit Elektromobilität ein Zukunftsmodell für Zeiten, in denen sie tatsächlich bei vergrößerten Anteilen erneuerbarer Energieerzeugung im Stromnetz einen Beitrag zur direkten CO<sub>2</sub>-Minderung bewirken können. Beim Einbeziehen der Mobilität durch eine primärenergetische Jahresbilanz entfällt die Chance der synergetischen Nutzung der Autobatterien

als dezentrale Strompuffer. Gerade in den weniger urbanen Gebieten der kleinen (Nullenergie-)Wohngebäude führt dezentrales Einspeisen auf Grund geringer Abnahmekapazitäten zu Netzschwankungen [Fisch 2012], so dass die ebenfalls dezentralen Batterien von Elektrofahrzeugen Abhilfe verschaffen könnten. Saisonal stark unterschiedliche Lastprofile mit sehr hohen sommerlichen Stromüberschüssen, wie in Abbildung 7-21 dargestellt, würden intensiviert (s. Abschnitt 7.8). Hierzu gilt aber auch, dass die Chance zur Forcierung einer emissionsärmeren Mobilität durch die Einführung von gegenüber benzinbetriebenen Autos sparsamen Elektrofahrzeugen vertan wird.

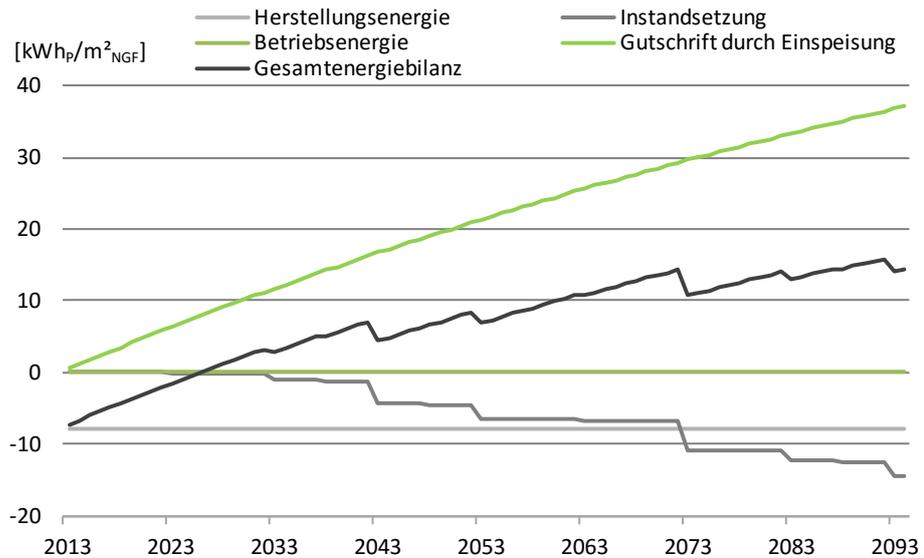
### 7.4.3 Baustoffe und Materialien - Graue Energie

Analog zu den nutzungsspezifischen Energieverbräuchen nimmt bei sehr effizienten Gebäuden auch das Verhältnis des Energieaufwands für Baustoffe, Materialien und technische Anlagen gegenüber der Betriebsenergie der Gebäude zu. Dies gilt umso mehr, wenn die gesamte Graue Energie zur Erstellung, Instandhaltung und Rückbau über den Lebenszyklus von Gebäuden betrachtet wird [Sartori 2007]. Wurde bisher ein Großteil des Gesamtenergiebedarfs über den Lebenszyklus durch den Gebäudebetrieb bestimmt, kehrt sich dies bei sehr effizienten Gebäuden um. Bei Passivhäusern sind bspw. rund 50 % des gesamten Energieverbrauchs über den Lebenszyklus in den verbauten Materialien gebunden [Hegger 2008]. Bei Nullenergiegebäuden verbleibt auf Grund der ausgeglichenen Betriebsenergiebilanz allein die Graue Energie als energetische Aufwendung über den Lebenszyklus.

Üblicherweise wird die Graue Energie als kumulierter, nicht erneuerbarer Primärenergieaufwand beschrieben, der alle vor- und nachgelagerten Prozesse der verwendeten Baustoffe und Materialien sowie der technischen Anlagen umfasst. Zu den vorgelagerten Prozessen zählen der Rohstoffabbau, die Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse sowie alle dazugehörigen Transporte und Hilfsmittel. Instandsetzungs- und Austauschmaßnahmen einer Lebenszyklusbetrachtung nach dem „Cradle to Grave“-Ansatz (dt. von der Wiege bis zur Bahre) werden über materialeigene baustoffspezifische Lebensdauern einbezogen (s. Abbildung 7-24). Das Energieaufkommen der Grauen Energie kann beim Rückbau unter Umständen negativ sein, wenn ein Großteil der Materialien recycelt oder bspw. im Falle von Holz als Brennstoff verwendet werden können [Hegger 2008].



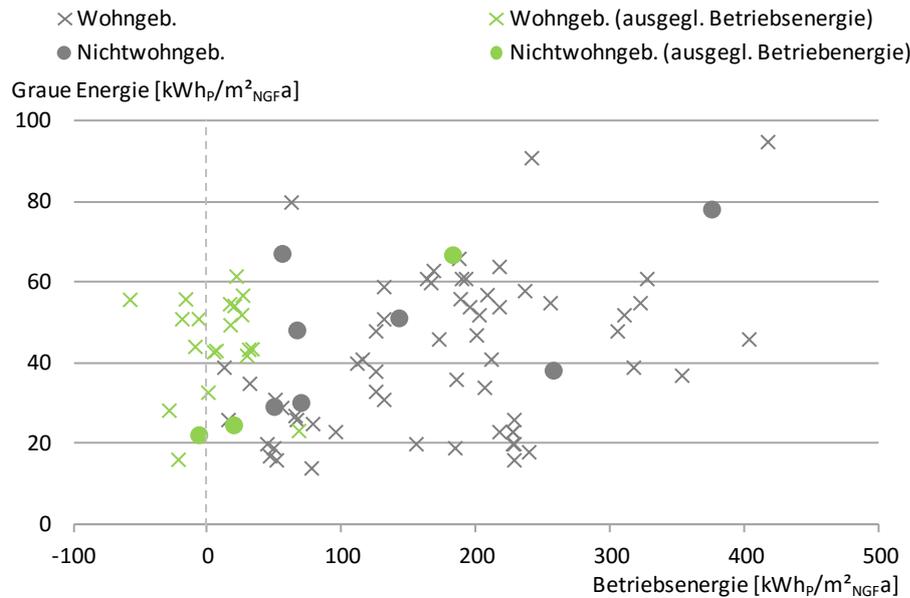
Abbildung 7-24: Beispielhafte Darstellung der gesamtenergetischen Analyse des Wettbewerbs- und Demonstrationshauses der Universität Wuppertal zum Solar Decathlon 2010. Neben der Betriebsenergie wird auch der Energieaufwand der Herstellung und der Instandhaltung dargestellt. Diese Aufwendungen würden durch die Primärenergie-Gutschriften aus der Einspeisung von Stromüberschüssen am Wettbewerbsstandort Madrid nach etwa 12 Jahren ausgeglichen. Quelle frei nach [Solar Decathlon 2011]



Im Zuge der Forderung nach sehr effizienten oder klimaneutralen Gebäuden mit eigener Energieerzeugung wird die Graue Energie gegenüber „normalen“ Bauten durch energetische Investitionen auf Bauteil- und insbesondere Dämmstoffebene sowie auf Grund des vermehrten Einsatzes von Solar- und anderen technischen Anlagen mitunter intensiviert. Hierzu wird häufig kritisiert, dass die Einsparungen im Gebäudebetrieb gesamtenergetisch unwirtschaftlich „erkaufte“ werden [Berggren 2013b; Hegger 2008]. Diskutiert werden dabei vor allem Dämmmaterialien auf Basis fossiler Ressourcen und chemischer Umwandlungsprozesse (bspw. thermoplastische Werkstoffe bei Wärmedämmverbundsystem). Daher soll die Bilanzgrenze um die Graue Energie über den Lebenszyklus erweitert werden, um die Nachhaltigkeit dieser Gebäude zu berücksichtigen bzw. zu forcieren. [Bourrelle 2012] zeigt zwei unterschiedliche Ansätze zur Einbeziehung der Grauen Energie auf. In einem ersten Ansatz sollen nur die Mehraufwendungen der Grauen Energie berücksichtigt werden, die gegenüber Gebäuden nach Mindeststandard nötig sind, um eine ausgeglichene Energiebilanz zu erreichen (zusätzliche Dämmstoffe, Solaranlagen, etc.). Ein zweiter Ansatz umfasst alle Aufwendungen über den Lebenszyklus. Beiden Ansätzen ist gemein, dass die Graue Energie über einen Jahreswert einbezogen wird. Hierzu wird der Gesamtaufwand aller verwendeten Baustoffe über den Lebenszyklus durch die angenommene Lebensdauer des Gebäudes geteilt. Der Betrachtungszeitraum von Immobilien innerhalb der Standards zur Lebenszyklusberechnung beträgt meist 50 Jahre [Berggren 2013a].

Eine Gegenüberstellung der auf ein Betriebsjahr bezogenen Primärenergieaufwendungen für den Gebäudebetrieb und der Grauen Energie über den Lebenszyklus von etwa 90 Gebäuden mit und ohne Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz zeigt, dass die genannte These stark vergrößerter Grauen Energie nicht pauschal gilt (s. Abbildung 7-25). Die Aufwendungen für Bauerstellung, -erhaltung und -rückbau liegen im Mittel auch bei Gebäuden mit dem Anspruch an eine Nullenergiebilanz nicht über den Werten von Gebäuden ohne einen vergleichbaren energetischen Standard. Allerdings führen 16 der 24 gezeigten Nullenergiegebäude ein „MINERGIE-A“-Label, das bereits einen maximalen Wert von  $50 \text{ kWhp/m}^2_{\text{EBFa}}$  für die Graue Energie vorgibt (die Angaben in

Abbildung 7-25 und Abbildung 7-26 sind jeweils auf die Nettogrundfläche NGF bezogen und weisen dadurch leicht höhere Werte aus, s. Abschnitt 7). Zudem ist ein Großteil der „MINERGIE-A“-Gebäude in Holzrahmenkonstruktion ausgeführt und weist daher einen ohnehin geringen Wert bei der Grauen Energie auf.<sup>136</sup> Bei zwei Gebäuden reicht der Überschuss der Betriebsenergie, um den Aufwand der Grauen Energie auszugleichen (ohne Hinzunahme der nutzungsspezifischen Energie). Im Mittel werden typologieübergreifend und konzeptunabhängig Werte von unter 44 kWh<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF,a</sub> für die Graue Energie erreicht (s. Abbildung 7-27).



<sup>136</sup> s. auch Randnotiz zur Grauen Energie von Baustoffen auf Seite 195

Abbildung 7-25: Verhältnis zwischen den nicht erneuerbaren Primärenergieaufwendungen für die Graue Energie und der Betriebsenergie von 93 Gebäuden. 69 Vergleichswerte von Nicht-Nullenergiegebäuden wurden im Zuge von [Berggren 2013a] zusammengetragen. Die Werte von 24 Gebäuden mit einer ausgeglichenen Betriebsenergiebilanz aus der Datenbank beinhalten 16 bekannte „MINERGIE-A“-Projekte.

Die Primärenergieberechnungen basieren auf den jeweiligen nationalen Umrechnungsfaktoren. Die Betriebsenergie beinhaltet jeweils auch die nutzungsspezifischen Verbraucher (bei Planungswerten nach [SIA 2031 2009]), so dass eine ausgeglichene Bilanz im Falle der „MINERGIE-A“-Projekte tlw. nicht erfüllt wird.

Abgesehen von den „MINERGIE-A“-Projekten beruhen die Werte der Grauen Energie auf unterschiedliche Bewertungsgrundlagen

Abbildung 7-26 zeigt das Verhältnis zwischen Betriebsenergie und Lebenszyklusenergie der 93 Gebäude. Die Linearität zeigt, dass den Nullenergiegebäuden auf Grund des Einsatzes von Solaranlagen oder mehr Effizienzelementen kein Nachteil bezüglich der Lebenszyklusenergie entsteht. Die Amortisationszeit von Wärmedämmstoffen durch verringerte Wärmebedarfe liegt zwischen einigen Monaten und rund zwei Jahren, so dass die bauteilbezogene Energiebilanz positiv ist [Hauser 2013; Lützkendorf 2013]. Ähnliches gilt für Solarstromanlagen, die den Primärenergieaufwand ihrer Herstellung von durchschnittlich 7 MWh<sub>p</sub>/kW<sub>p</sub> durch eigene Energieerträge binnen drei Jahren amortisieren können.<sup>137</sup> Generell weisen Gebäude mit hoher Betriebsenergie auch einen großen Wert für die Graue Energie auf. Die hohen Aufwendungen lassen sich vor allem älteren Gebäuden zuordnen [Berggren 2013a]. Dies weist darauf hin, dass die Auswahl und Verwendung von Baustoffen und Materialien bereits einem Effektivitätsprozess unterliegt, und dass die Herstellung von Baumaterialien ebenfalls effizienter geworden ist. Hierzu gilt auch, dass Primärener-

<sup>137</sup> Bei Annahme eines Jahresstromertrags von bis zu 1.000 kWh/kW<sub>p</sub> und eines Primärenergiefaktors für die Stromspeisung von 2,6 kWh<sub>p</sub>/kWh<sub>E</sub>

giekennwerte ausgegeben werden und sich zumindest die Faktoren für Strom im Laufe der letzten Jahre verringert haben (s. Abbildung 3-5), weshalb die Herstellungsaufwendungen von Materialien ebenfalls gesunken sein dürften.

Abbildung 7-26: Trend des Verhältnisses zwischen den nicht erneuerbaren Primärenergieaufwendungen für die Lebenszyklus- und die Betriebsenergie der 93 Gebäude aus Abbildung 7-25 unterschiedlicher Baujahre ab 1950.

Berechnung der Primärenergiewerte s. Abbildung 7-25

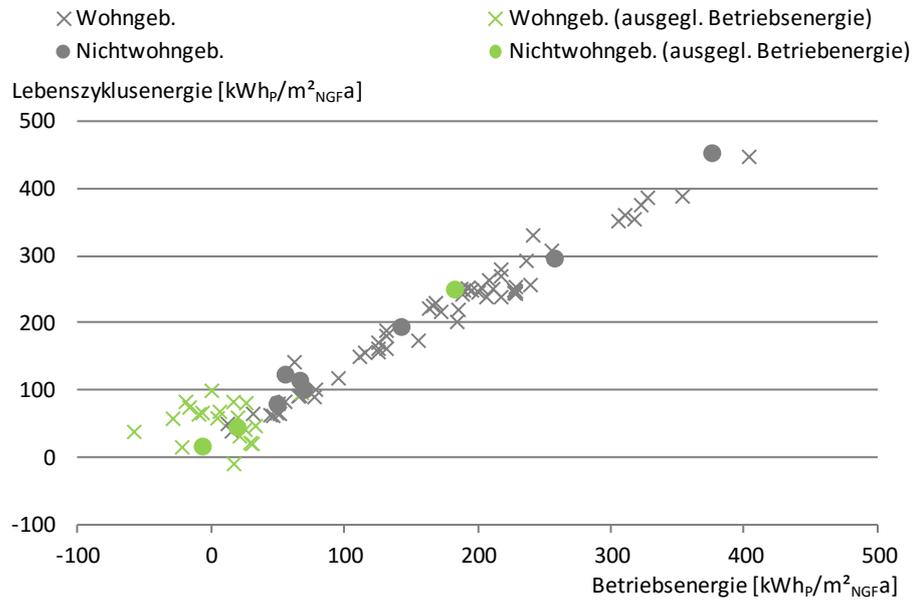
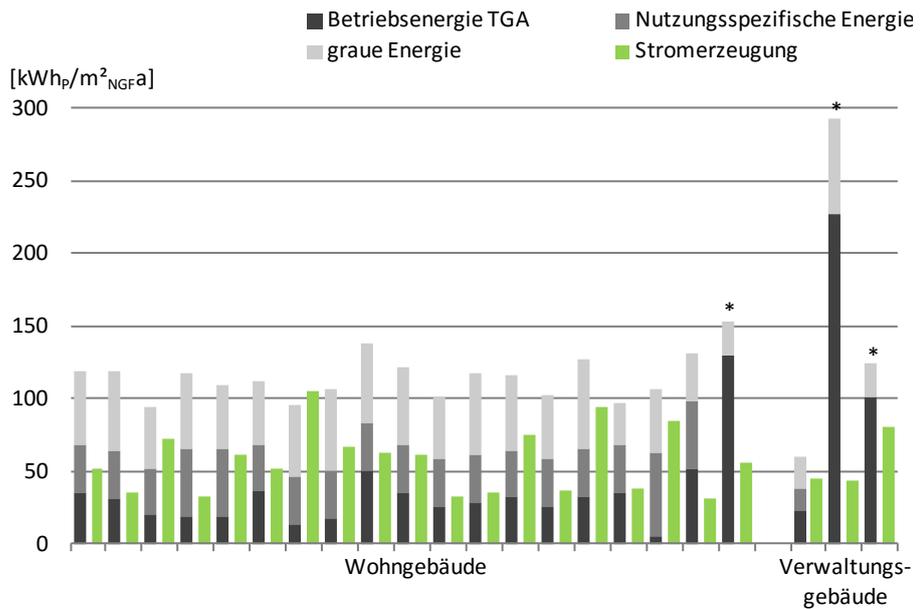


Abbildung 7-27: Gegenüberstellung von Betriebsenergie, nutzungsspezifischer Energie (bei „MINERGIE-A“-Gebäuden als Standardwert nach [SIA 2031 2009]) sowie Grauer Energie für 16 „MINERGIE-A“-Gebäude (alles Wohngebäude) und sechs weiteren Nullenergiegebäuden ohne gemeinsamen Definitionsstandard

\* Gebäude- und nutzungsspezifische Energie gemeinsam erfasst



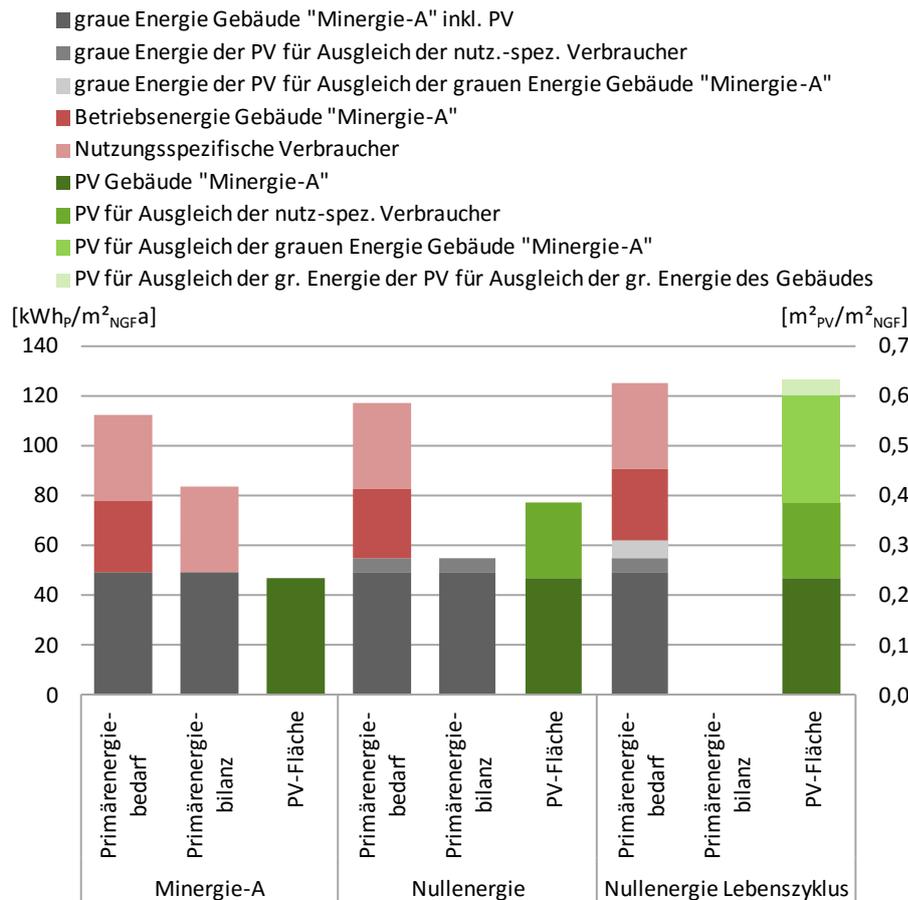
Anhand der vorliegenden Daten zur Lebenszyklusbetrachtung von Nullenergiegebäuden lässt sich zumindest der Trend ausmachen, dass deren Aufwendungen für Baustoffe und Materialien nicht zwingend über denen von Gebäuden mit geringeren energetischen Standards liegen müssen. Anfängliche Mehraufwendungen amortisieren sich in kurzer Zeit, weshalb ihre alleinige Hinzunahme in eine Jahresenergiebilanz als fragwürdig erscheint. Zudem darf bspw. der Heizwärmebedarf von „MINERGIE-A“-Gebäuden maximal 90 % des nationalen Grenzwertes nach SIA 380/1 (2009) betragen, weshalb nicht immer deutlich höhere Investitionen in Dämmstoffe getätigt werden müssen. Laut [Hall 2012] liegt der Wärmebedarf hier im Mittel knapp über 60 % der Grenzanforderung.

Um das Argument zu entkräften, die Energieaufwendungen der Gebäudeerstellung würden an die Industrie übertragen<sup>138</sup> und um die Energieaufwendungen des Bausektors ganzheitlich (bspw. gemäß der 2000-Watt-Gesellschaft, s. Seite 94) bzw. dessen tatsächliche Nachhaltigkeit zu betrachten, gilt es, die

<sup>138</sup> Bislang gehen Baustoffe aus der energieintensiven Industrie bzw. deren Graue Energie indirekt in den Handel mit CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikaten ein, würden hierüber aber nicht doppelt bilanziert

Graue Energie bilanziell vollumfänglich einzubeziehen.<sup>139</sup> Hierzu werden 16 bekannte und zertifizierte „MINERGIE-A“-Häuser mit vergleichbaren Konzepten (Nutzung einer PV-Anlage, Prinzip des Passivhausansatzes mit hohem Wärmedämmstandard und Lüftungsanlage mit WRG) hinsichtlich der Zunahme der zu installierenden PV-Leistung und der zusätzlichen Grauen Energie der Solarstromanlagen bei drei unterschiedlichen Bilanzansätzen betrachtet (s. Abbildung 7-27). Grundlage sind die mittleren Primärenergiebedarfswerte der Grauen Energie und der Betriebsenergie der „MINERGIE-A“-Häuser. Die nutzungsspezifischen Verbraucher werden als Standardwert gemäß SIA 2031 [SIA 2031 2009] und dem schweizerischen Umrechnungsfaktor für Strom von 2,0 (s. Tabelle A-8) hinzu addiert. Es geht jeweils der nicht erneuerbare Anteil der Primärenergie ein.

Bei den umgesetzten „MINERGIE-A“-Gebäuden macht der Anteil der Grauen Energie am Gesamtprimärenergieaufwand durchschnittlich 44 % aus. Wird der bilanzielle Ausgleich der Betriebsenergie direkt einbezogen, sind dies knapp 60 %. Bei konstant bleibenden Primärenergieaufwendungen für den Gebäudebetrieb (TGA- und nutzungsspezifische Bedarfe) steigt der Anteil der Grauen Energie am Gesamtprimärenergieaufwand bei den beiden weiterreichenden Bilanzen moderat auf maximal 50 %. In der Nullenergiebilanz verbleibt er alleinig bzw. wird in der den Lebenszyklus umfassenden Bilanz primärenergetisch ebenfalls komplett ausgeglichen (s. jeweils Abbildung 7-28).



Während die Graue Energie bei den beiden weiterreichenden Bilanzen durch zusätzlich nötige PV-Kapazitäten geringfügig größer wird und sich das Bilanzergebnis hinsichtlich des Ausgleichs der Primärenergieaufwendungen durch erneuerbare Stromerträge stark verbessert, steigt die jeweils zu installierende PV-Leistung mitunter deutlich an. Bei Hinzunahme der Grauen Energie in die

<sup>139</sup> Hierüber wird die sonst nötige Trennung zwischen den Mindestmaßnahmen und auf Grund des Nullenergieansatzes verwirklichten zusätzlichen Maßnahmen umgangen. Zudem entsteht kein Konflikt mit den darüber hinaus entstehenden Erzeugungskapazitäten, die allein zum Ausgleich der Grauen Energie der zusätzlichen Maßnahmen gegenüber dem Mindeststandard erforderlich werden

Abbildung 7-28: Durchschnittswerte der Gesamt-Primärenergiebedarfe je nach Bilanzierungskonzept sowie die dazu gehörigen jährlichen (Lebenszyklus-)Bilanzen und die für das Erreichen dieser Bilanzen jeweils nötige zu installierende PV-Leistung. Als Grundlagen dienen 16 zertifizierte „MINERGIE-A“-Gebäude

In einer vollständigen Bilanzierung über den Lebenszyklus kommt zur Deckung der Grauen Energie stets ein geringer Leistungsbedarf an Photovoltaik hinzu. Dessen Graue Energie gilt es ebenfalls auszugleichen. Diese Steigerung ist hier nur bis zur ersten Ebene abgebildet (s. Legende unterster Eintrag). Weitere zusätzliche PV-Kapazitäten und Aufwendungen zur Grauen Energie werden im Verhältnis zu den übrigen bereits abgebildeten Primärenergieaufwendungen zunehmend geringer

Lebenszyklusbilanz bzw. deren Ausgleich übersteigt die zusätzlich fällige PV-Leistung diejenige, die für die Deckung der nutzungsspezifischen Verbräuche erforderlich ist. Die Durchschnittswerte liegen bei insgesamt  $0,25 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$  ( $\pm 0,04$ ) für den Ausgleich der gesamten Grauen Energie gegenüber  $0,15 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$  ( $\pm 0,03$ ) zur Deckung der nutzungsspezifischen Verbraucher.  $0,23 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$  sind im Schnitt bereits für das „MINERGIE-A“-Konzept vorgesehen. Insgesamt müssten durchschnittlich  $22,2 \text{ kW}_p$  für einen vollständigen Ausgleich aller Primärenergieaufwendungen über den Lebenszyklus der Wohnhäuser installiert werden.

Berechnungen mit weiteren Nullenergiegebäuden, deren Werte in der Datenbank erfasst sind, bestätigen die Werte mit leicht höheren Ergebnissen. Hierzu sind unterschiedliche Berechnungsansätze für die Graue Energie und abweichende ursprüngliche Bilanzansätze anzuführen. Bei den drei Verwaltungsgebäuden liegen nur bei drei Projekten ausreichend Daten vor. Hier sind die relativen Mittelwerte hinsichtlich zusätzlich erforderlicher Photovoltaik kleiner ( $0,18 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{m}^2_{\text{NGF}} \pm 0,07$ ), wobei die absoluten Leistungsansprüche deutlich größer sind und auf Grund der unterschiedlichen Gebäudegrößen stark schwanken.  $124 \text{ kW}_p$  müssten für den bilanziellen Ausgleich der Grauen Energie der realisierten Gebäude hinzukommen.

[Hall 2012] und [Berggren 2013a] zeigen auf, dass rund 60 bis 70 % der gesamten Grauen Energie von „MINERGIE-A“-Gebäuden auf den Baukörper entfallen. Dämmstoffe und Fenster sind hierin enthalten. Weder bei Ein- noch bei Mehrfamilienhäusern ist ein Zusammenhang zwischen der Gebäudekompaktheit (A/V-Verhältnis) und den Aufwendungen für die Graue Energie zu erkennen. Zudem ist deren Wert unabhängig von der Bauweise (Massiv- oder Leichtbau). Der Rest entfällt auf die Gebäudetechnik inkl. der Solaranlagen. Bei den eigenen Berechnungen zu Abbildung 7-28 steigen die Anteile der Grauen Energie der Solarstromanlagen an der gesamten Grauen Energie von durchschnittlichen 15 („MINERGIE-A“) auf bis zu 32 % (Nullenergie Lebenszyklus).

Die Ergebnisse zeigen, dass der Anstieg der Grauen Energie bei einer Erweiterung der Bilanzgrenze um die nutzungsspezifischen Verbraucher die über den Lebenszyklus aufzuwendende Gesamtprimärenergie nicht erhöht (s. Primärenergiebilanz Konzept Nullenergie Abbildung 7-28). Ihr Anstieg liegt unter den Einsparungen bzw. dem erneuerbaren Ausgleich während des Gebäudebetriebs. Der über den Lebenszyklus eines Nullenergiegebäudes aufzubringende Gesamtaufwand an nicht erneuerbarer Primärenergie sinkt um ca. 35 % gegenüber einem „MINERGIE-A“-Gebäude mit bilanziellem Ausgleich der Aufwendungen für den reinen Gebäudebetrieb. Verglichen mit einem Niedrigenergiegebäude (Primärenergiebedarf „MINERGIE-A“ ohne eigene Bilanzausgleich, s. Abbildung 7-28 ganz linke Säule) kann bei einem Nullenergiegebäude mehr als die Hälfte des Primärenergieaufwands über den Lebenszyklus eingespart werden.

Insofern erscheint die Betrachtung der Grauen Energie bei Nullenergiegebäuden unter ökologischen Gesichtspunkten konsequent. Die analysierten „MINERGIE-A“-Häuser zeigen, dass beim Aufwand von Baustoffen und Materialien konzeptunabhängige Einsparungen möglich sind. Bei dem Versuch, diese ebenfalls auszugleichen dürften die großen Flächenanforderungen für Solarstromanlagen allerdings zumindest bei größeren Neubauten gestalterische Zwänge aufwerfen. Erst bei maximalen Einsparungen hinsichtlich der Auswahl der Baustoffe sind diese zu umgehen. Das Wohnhaus „Flury“ (CH\_13) erreicht auf Grund der besonderen Baustruktur aus Lehm einen auf das Jahr umgelegten

Wert von nur  $16 \text{ kWh}_p/\text{m}^2_{\text{NGFA}}$  für die Graue Energie. Dies ist in etwa ein Drittel der durchschnittlichen Grauen Energie der „MINERGIE-A“-Gebäude. Für den primärenergetischen Ausgleich reicht bereits eine zusätzliche Solarstromleistung von  $2,5 \text{ kW}_p$  ( $0,08 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ ) aus.

Ähnlich geringe Werte sind sonst wohl nur bei Sanierungen möglich. Hier erwächst Bestandsgebäuden durch den möglichen Erhalt der Primärkonstruktion und einem damit verbundenen geringerem Aufwand bei der Grauen Energie innerhalb der Lebenszyklusbilanz gegenüber Neubauten ein Vorteil bzw. eine geringere Anforderung an zusätzliche PV-Leistung. Eine überschlägige Berechnung der zu erhaltenden Konstruktionselemente gelingt durch Abzug der vorliegenden Werte für Dämmstoffe<sup>140</sup>, Fenster, Sanitäranlagen, Wandbekleidungen und Oberböden sowie technischen Anlagen bei beispielhaften „MINERGIE-A“-Gebäuden. Für die Graue Energie des reinen Baukörpers verbleibt ein Aufwand von ca.  $20 \text{ kWh}_p/\text{m}^2_{\text{NGFA}}$ .<sup>141</sup> Somit könnten 40 % der Grauen Energie eingespart bzw. müssten die verbleibenden Aufwendungen in Höhe von knapp  $30 \text{ kWh}_p/\text{m}^2_{\text{NGFA}}$  mit durchschnittlich  $4,4 \text{ kW}_p$  ( $0,13 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ ) ausgeglichen werden.

Abschließend gilt für die Bewertung der Grauen Energie, dass diese keine fixierte physikalische Größe darstellt. Der Aufwand der Grauen Energie steht im Zusammenhang mit der Quote an erneuerbaren Energieträgern in der Energieinfrastruktur und wird daher zukünftig sinken, sofern diese erhöhte Quote für die Produktion der Baustoffe einbezogen werden kann (vor allem bei Erzeugungsprozessen mit Strom, weniger bei bspw. rohölbasierten Materialien). Damit sinkt je nach Baustoff, Produktionsprozess und dem möglicherweise erhöhten Anteil an erneuerbaren Energien auch der Einfluss auf nötige Kompensationen am (Nullenergie-)Gebäude.

<sup>140</sup> Hierbei wird ersichtlich, dass die genannten thermoplastischen Dämmstoffe ebenfalls hohe Anteile an der Grauen Energie tragen

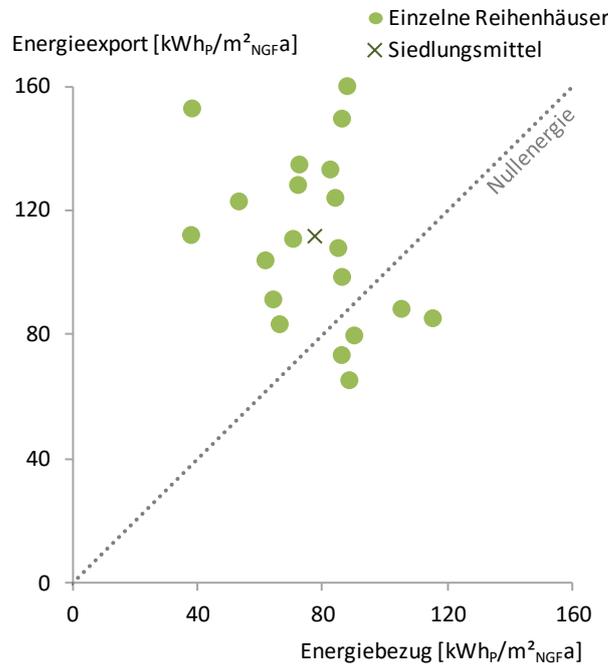
<sup>141</sup> Die Berechnung kann nur als Tendenz gesehen werden, da lediglich von fünf Beispielgebäuden ausreichend detaillierte Aufstellungen zur Berechnung der Grauen Energie vorliegen

## 7.5 Bilanzrahmen

Üblicherweise werden Berechnungen zur Gesamteffizienz von Gebäuden auf Einzelgebäude und deren Anlagen zur Umwandlung (erneuerbarer) Energiequellen und -träger bezogen (s. Kapitel 3.1.2). Bisweilen werden kleine Siedlungen und Quartiere hierzu zusammengefasst. In Ausnahmefällen können aber auch Dörfer oder Städte von einem Bilanzrahmen umgeben sein (s. AE\_2). Für die ausgeglichene Energiebilanz wird dann die Grundstücks- bzw. -Quartiersgrenze, die die bilanziell betrachteten Gebäude umschließt, die Schnittstelle zur Energieinfrastruktur und dort zwischen Energiebezug und -einspeisung bilanziert. Die auf dem Grundstück zusammengefassten Gebäude müssen dann nicht jeweils einzeln eine eigene ausgeglichene Energiebilanz aufweisen, sondern erreichen diese im Verbund. Gebäude mit positiver Energiebilanz gleichen negative Bilanzergebnisse aus. Hierüber können dann wie bei der Umwidmung und Weiterentwicklung der ehemaligen Militärbasis „Bad Aibling“ (s. DE\_70) auch (sanierte) Gebäude mit mäßiger Energieeffizienz, geringen energetischen Potenzialen, nicht zu verändernden Gebäudeausrichtungen oder ungünstigen A/V-Verhältnissen kompensiert sowie verbrauchsstärkere Nichtwohngebäude in eine Energiebilanz bzw. den Klimaneutralen Gebäudebestand einbezogen werden (s. Kapitel 4.3 ff.). Abbildung 7-29 zeigt hierzu beispielhaft die Primärenergiebilanz gemessener Energiebezüge und -gutschriften für die „Plusenergiesiedlung am Schlierberg“ (s. DE\_5 - Seite 141). Diese ist im Mittel positiv, wobei einzelne Reihenhäuser abweichen. Bei wenigen dreigeschossigen Häusern ist das Verhältnis von Nettogrundfläche zur

Fläche der Solarstromanlage ungünstig oder verbrauchen Reihenhäuser mehr Heizenergie [Heinze 2009]. Für derartige Ansätze bedarf es übergreifender Akteure, die den gemeinschaftlichen Ansatz kanalisieren und in ein Energiekonzept überführen [Musall 2011b].

Abbildung 7-29: Primärenergiebilanz auf Basis gemessener Bezugs- und Einspeisewerte von 20 Reihenhäusern der „Plusenergiesiedlung am Schlierberg“ in Freiburg (s. DE\_5 - Seite 141). Erfasst werden Wärme inkl. Warmwasser, Stromverbrauch inkl. Haushaltsstrom und Stromerzeugung



Die Erweiterung des Bilanzrahmens auf das Grundstück kann auch bei Einzelimmobilien angewendet werden. Hintergrund ist dann nicht der Zusammenschluss mehrerer Gebäude sondern mehrerer Erzeugungsanlagen. Vor allem bei solchen Gebäuden, bei denen nicht genügend Erzeugungspotenziale am bzw. im Gebäude vorhanden sind, bietet sich die Erschließung zusätzlicher Flächen für bspw. Solarstromanlagen auf Nebengebäuden oder Parkfeldüberdachungen an (s. Abbildung 7-30). Im Zuge der Planung gilt es, diese externen Elemente gestalterisch einzubinden und ggf. Synergien mit anderen Nutzungen und Ansprüchen einzugehen (s. bspw. [Scognamiglio 2012]).

Abbildung 7-30: Das Verwaltungs- und Laborgebäude „SOLAR XXI“ (s. PT\_1) erreicht die ausgeglichene Energiebilanz erst durch die Ergänzung der Solarstromanlage in der Fassade (12 kW<sub>p</sub>) durch weitere 205 kW<sub>p</sub> auf dem Grundstück. Die mittlerweile unter den zusätzlichen PV-Modulen parkenden PKW werden verschattet und sollen damit weniger Kraftstoff für die Klimaanlage aufwenden. Foto Helder Gonçalves und Pedro Cabrito, LNEG Lissabon



In der deutschen Normung werden üblicherweise (erneuerbare) Energieträger berücksichtigt, die auf dem eigenen Grundstück gewonnen oder hierher transportiert sowie dann in Strom oder Wärme umgewandelt werden. Ebenso wie in der EnEV müssen auch in vielen bekannten Bilanzierungskonzepten für Null-

# „Plusenergie-Siedlung am Schlierberg“, Freiburg

DE\_5

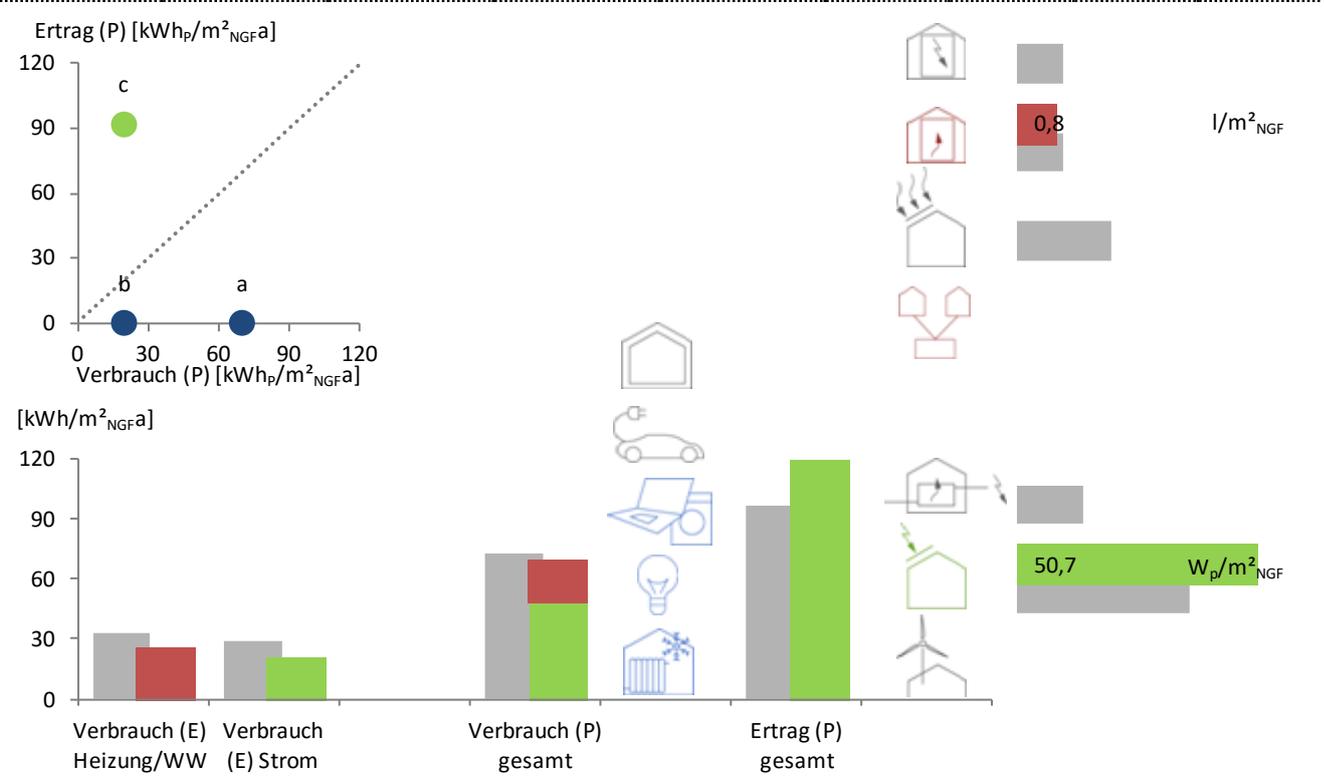


Fotos: Rolf Disch SolarArchitektur

Architekt	Rolf Disch SolarArchitektur, Freiburg	Nettogrundfläche	7.890 m <sup>2</sup>
Baujahr	2006	Hauptakteur / Motiv	Architekt / Ökologie
Typologie	Wohnsiedlung	Städtebauliches Umfeld	urban

Die insgesamt 59 Reihenhäuser der Solarsiedlung in Freiburg entstanden zwischen 1999 und 2006 unter Abwägung der hohen Grundstückspreise, einer maximierten Dichte, optimierter Ausrichtung gen Süden und ganzjährig besonnten Solarstromanlagen als Dachflächen sowie im Sommer verschatteter bzw. im Winter verschattungsfreier Südfassaden. Neben Solarstromerträgen und dem Ziel vollständig ausgeglichener Verbräuche für Wärme und Strom stand qualitätsvolles Wohnen für die ca. 170 Bewohner im Vordergrund. Die kompakten Häuser wurden dazu im Passivhausstandard gebaut, wobei der hohe Dämmstandard mit einem mittleren U-Wert von 0,28 W/m<sup>2</sup>K einen niedrigen Verbrauch an Fernwärme, die einem mit Holzhackschnitzeln und Gas betriebenen Blockheizkraftwerk entstammt und in Intervallen die kleinen hauseigenen Speicher speist, ermöglicht. Auch wenn nicht alle Häuser ihre Primärenergiebilanz allein ausgleichen - einzelne Häuser sind Reihen-Endhäuser mit einem höheren Heizenergieverbrauch während andere, dreigeschossige Häusern ein ungünstiges das Verhältnis zwischen Wohn- und Dachfläche samt Solarstromanlage aufweisen -, ist diese im Siedlungsmittel positiv.

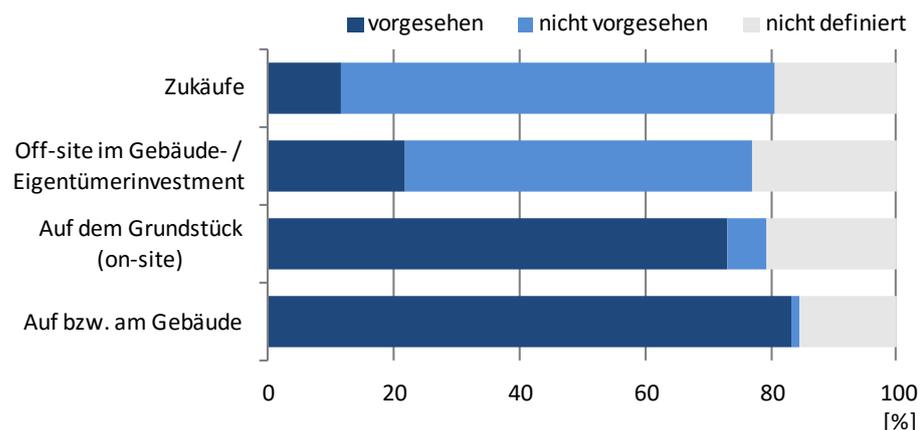
Formale Einordnung				Einordnung Solaranlagen		
--------------------	--	--	--	-------------------------	--	--



Messwerte stellvertretend für ein mittleres Reihenhäuser

und Plusenergiegebäude die energierzeugenden Anlagen mit dem Gebäudeenergienetz verbunden sein (s. Abbildung 7-31 und § 5 in [EnEV 2009] sowie Kapitel 3.1.2.4). Dies schließt allerdings auch eine Wärmeversorgung über Nah- bzw. Fernwärmenetze ein. Sie bietet sich in dichten Gebieten oder auf Cluster-ebene aus Gründen der (Kosten-)Effizienz an. Beim genannten Beispiel der „Plusenergiesiedlung am Schlierberg“ in Freiburg wird der Bilanzrahmen durch den Bezug von Wärme aus einem Nahwärmenetz samt Blockheizkraftwerk des nebenliegenden Quartiers „Vauban“ erweitert. Die Reihenhäuser der Siedlung haben keine eigenen Wärmeerzeuger (s. DE\_5 - Seite 141). Zur Bestimmung der Primärenergiebilanz wird dann der netzeigene Umrechnungsfaktor genutzt, da er auf Grund eines vermehrten Biomasseneinsatzes und der KWK-Nutzung vom nationalen Standardwert abweicht. Diese Erweiterung des Bilanzrahmens hinsichtlich der Herkunft der erneuerbaren Energien führt die EPBD 2010, wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben, unpräzise unter „nearby“ bzw. „in der Nähe erzeugt“ (s. Artikel 2, Absatz 2 [EU 2010b]). Dabei wird nicht nur Wärme sondern vor allem auch Strom betrachtet. Im Vorschlag zur Neufassung der DIN EN 15603 wird für Strom anhand unterschiedlicher Gewichtungsfaktoren differenziert in „aus weiterer Entfernung geliefert“, „aus näherer Entfernung geliefert“ oder „am Gebäudestandort erzeugte Energie“ [DIN prEN 15603 2013].

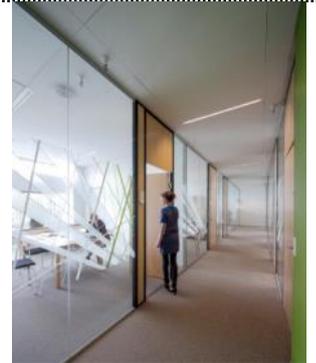
Abbildung 7-31: Verteilung der unterschiedlichen Bilanzrahmen bei den 78 bekannten Standards für Null- und Plusenergiegebäude



In der britischen Definition des „Zero Carbon Home“, die die Etablierung des Nullemissionsstandards für neue Wohnhäuser in Großbritannien ab 2016 stützen soll, wird neben den „Carbon Compliance“, die verpflichtende Mindesteffizienzschritte und die Nutzung von erneuerbaren Energiequellen am Gebäude festsetzen („on-site“), auch weiterreichende (Erzeugungs-)Maßnahmen zum Ausgleich von CO<sub>2</sub>-Emissionen einbezogen. Die „Allowable Solutions“ beinhalten auch Kompensationsmaßnahmen. Dies können zusätzliche externe Erzeugungskapazitäten oder Investments in die lokale Energieinfrastruktur bzw. die energetische Sanierung anderer Gebäude jeweils in der Umgebung des Gebäudes sein („nearby“). Über einen nationalen Investmentfonds können zudem überregionale Projekte zur Emissionsminderung finanziert werden („off-site“) [CSH 2010; CSH 2011b; CSH 2011a]. Ähnlich weitreichend sind bspw. die Ansätze „BR10“ (s. Seite 143) oder das „zeroHaus“-Zertifikat (s. Seite 95) gefasst. Sie schließen jeweils die „off-site“-Erzeugung ein. Das rein CO<sub>2</sub>-bezogene Label „Klimaneutrales Gebäude“ des TÜV Nord basiert sogar allein auf dem Ausgleich des berechneten CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes durch die Stilllegung von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten aus dem Handel [TÜV 2013]. Da weder Effizienz- noch eigene Erzeugungsmaßnahmen gefordert sind, gibt es keinerlei Bezug zum Gebäude.

# Verwaltungsgebäude „Groendalsvej 1“, Århus

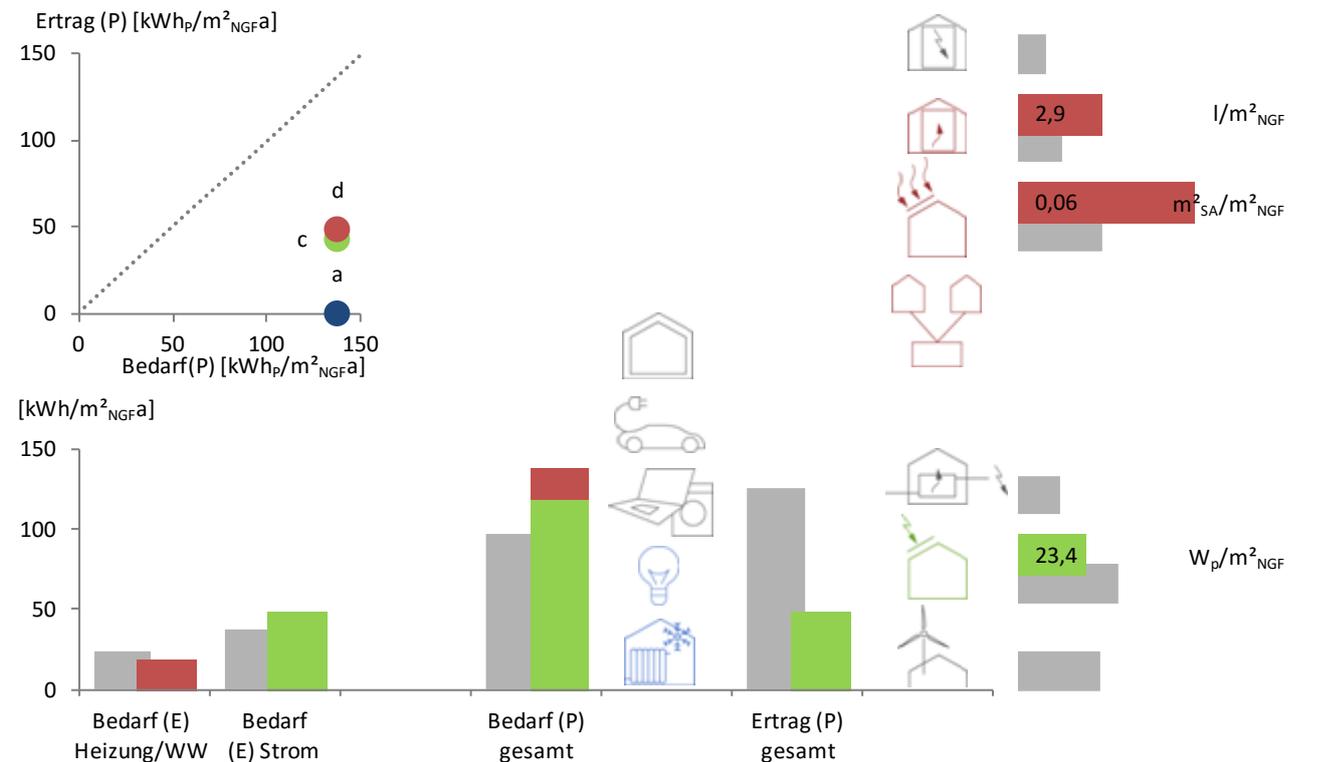
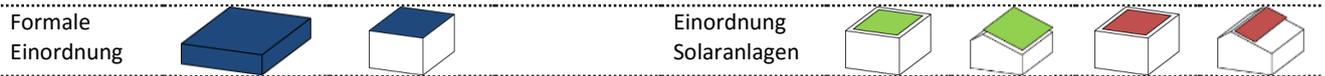
DK\_6



Fotos: Schmidt Hammer Lassen architects

Architekt	Schmidt Hammer Lassen (SHL), Århus	Nettogrundfläche	7.000 m <sup>2</sup>
Baujahr	2012	Hauptakteur / Motiv	Architekt / Marketing
Typologie	Verwaltungsgebäude	Städtebauliches Umfeld	urban

Die integrale Planung verbindet gestalterische, ökonomische, nutzungsspezifische und ökologische Ansprüche der Stadt Århus, was zu einem Effizienzkonzept ähnlich dem Passivhaus, zur Nutzung von Vakuumdämmung, zu einer maximierten Tageslichtnutzung bis in die innenliegenden Flure (wird bspw. über weiße Betonflächen im Innenhof forciert), zur Verwendung von recycelten Materialien (u.a. bestehen die Glaspaneele der Fassade aus recycelten Glasflächen) und zur Nutzung von PV- und Solarthermieanlagen führt. Letztere unterstützt neben der Wärme- und WW-Bereitstellung auch die (Absorptions-)Kühlung und speist zudem Wärme in ein Netz ein. Formale Additionen wurden vermieden und die Solaranlagen bündig auf dem Dach hinter der Attika installiert.



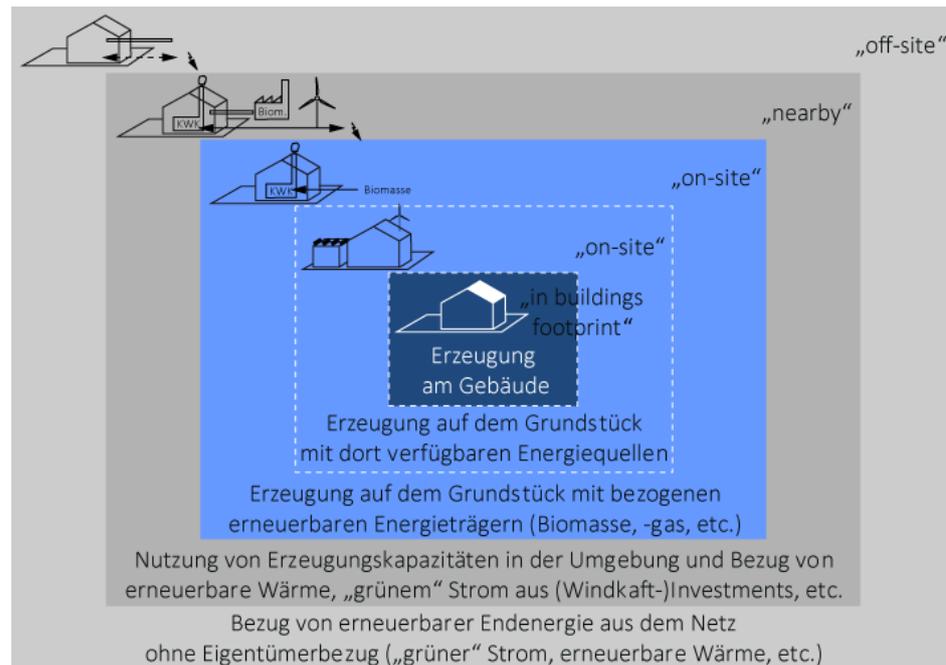
Nutzungsspezifischer Strombedarf nach SIA 2031 einbezogen aber gemäß Planung/Norm nicht gedeckt, keine monatlichen Daten

## Danish Building Regulation 2010 (BR10) - Rahmen 2020, DK

Autor, Institution	Danish Building Research Institute (SBI)	(Neben-)Anforderungen: Der normierte Endenergiebedarf wird mittels Umrechnungsfaktoren auf Basis des Endenergiebedarfs berechnet; die Grenzwerte liegen bei 20 (Wohngebäude) bzw. 25 kWh/m <sup>2</sup> a (Nichtwohngebäude); Komfortparameter werden ebenso formuliert wie Anforderungswerte für u.a. WRG, Wärmeerzeuger, U-Werte oder Luftdichtheit
Einführungsjahr	2011 (2020)	
Bilanzgrenze	normativ (EPBD 2010)	
Bilanzrahmen	on-site und off-site	
Bilanzzeitraum	Betriebsjahr	
Indikator	Normierter Endenergiebedarf	

Der sehr weitgehende Aktionsradius wird in der Gebäudepraxis gerade bei größeren und höheren (Nichtwohn-)Gebäuden zum Ausgleich der Energiebilanz genutzt. Hier schaffen Gutschriften aus externer Energieerzeugung über Windkraftanlagen (s. DE\_7 - Seite 95), Investments in die Energieinfrastruktur wie ländliche Biogasanlagen oder lokale Nahwärmenetze (s. DE\_54 - Seite 45 oder DE\_24) oder der Einkauf von „grünem“ Strom (z.B. UK\_17) deutlich einfachere Bedingungen, um das Bilanzziel zu erreichen [Musall 2012b]. (Nicht durchführbare) Maßnahmen am Gebäude können entfallen oder werden kompensiert. Eventuelle gestalterische Einschränkungen am Gebäude werden umgangen.

Abbildung 7-32: Klassifizierung zur Nutzung von erneuerbaren Energiequellen an bzw. durch (Nullenergie-)Gebäude (nach geographischen Gesichtspunkten und aus Sicht der Versorgungssicherheit), vgl. [Marszal 2010]



Für die Ausweitung des Bilanzrahmens gilt, dass die Berücksichtigung in der Gebäudeenergiebilanz umso komplexer wird, je größer der Aktionsradius der Erzeugung ist. Der einfachste Bilanzraum endet an der Gebäudehülle, während der komplexeste den (inter-)nationalen Energiemix mit berücksichtigt (s. Abbildung 7-32). Die Erzeugung außerhalb der eigentlichen Baumaßnahme erscheint im Sinne der energetischen Gebäudebewertung zudem als falsch. [Torcellini 2006] nennt für die Optionen einer erneuerbaren Energieversorgung von Gebäuden drei Prinzipien:

1. Direkte Effizienzsteigerung von Gebäuden und reduzierte Transport- und Umwandlungsverluste
2. Durchgehende Verfügbarkeit über den Lebenszyklus des Gebäudes
3. Durchgängig verfügbare und einsetzbar und mit hohem Replikationspotential für andere (Nullenergie-)Gebäude

Auf dieser Basis werden erneuerbare Versorgungsoptionen, die in direkter Verbindung mit Gebäuden genutzt werden können (bspw. PV oder KWK), gegenüber Biomasse, externen Erzeugungsanlagen oder Zukäufen von „grünem“ Strom vorgezogen. Letztere werden nicht über die Zähler innerhalb von Gebäuden erfasst, sind insbesondere bei Investments oder Einkäufen von „grünem“ Strom leicht austauschbar und können daher nicht in die Energiebilanz von Gebäuden eingehen. Da externe Erzeugungsanlagen ein Teil der Energieinfrastruktur sind, dortige Transport- sowie Speicherkapazitäten in Anspruch

nehmen und Energie außerhalb des Gebäudenetzes einspeisen, wirken sie zudem auf die Primärenergie- und Emissionsanteile der Netze sowie die dazugehörigen Umrechnungsfaktoren ein. Dieser Effekt wird in der Gebäudeenergiebilanz bereits durch die entsprechend geminderten Umrechnungsfaktoren für den Energiebezug berücksichtigt (s. Abschnitt 7.3). Auch Solarstromanlagen auf Gebäuden können ebenfalls als externe Erzeuger gelten. Sofern sie im Besitz von Energieversorgungsunternehmen oder Betreibergemeinschaften auf gemieteten Gebäudedächern stehen und nicht vorwiegend die Deckung des Energiebedarfs des Gebäudes sondern prioritär die Netzeinspeisung mit anschließender Gewinnerzielung über die Einspeisevergütung zum Ziel haben, erscheint die Anrechnung ihrer Erträge problematisch [Voss 2010a].

In [Kurnitski 2013b] wird angeführt, dass ein „Green Washing“ durch austauschbare erneuerbare Energieerträge bei externen Erzeugungskapazitäten nur umgangen werden kann, wenn zusätzlich geschaffene Erzeugungsanlagen über ihre Lebensdauer ausschließlich dem Gebäude zugeschlagen werden. Bis dies durch nationale Vorschriften abgebildet wird, bleibt im Falle von notwendigen Zukäufen allein die Möglichkeit, Zertifikate für erneuerbare Energie von Energieversorgungsunternehmen zu kaufen und diese aufzufordern, die Zertifikate zu löschen, nachdem der Vertrag ausgelaufen ist. Damit würden zusätzliche Kapazitäten geschaffen und für die Vertragslaufzeit dem Gebäude zugeordnet. Zudem muss der Bauherr für die zusätzlichen Investitionen in erneuerbare Energien aufkommen. Die erneuerbaren Energien dürften dann nicht in die Berechnung der Primärenergiezusammenstellung des Netzes eingehen. Für diese „indirekte Gebäudeenergiebilanz“ gilt wiederum, dass die Energielandschaften forciert und die Verantwortung des Gebäudesektors nach außen getragen werden würde (s. Kapitel 4).

Eine Mischung aus Bilanzgrenze und Bilanzrahmen liegt vor, wenn Verbraucher ausgelagert werden. Bspw. können Server durch externe Datacenter oder Serverfarmen ersetzt oder die Datenspeicherung bzw. -verarbeitung onlinebasiert stattfinden. Eine Integration dieser externen Lasten in die Gebäudeenergiebilanz des „Verursachers“ erscheint auch deshalb schwierig, weil die Kapazitäten von Datacentern meist nur anteilig genutzt und zudem die dort notwendigen Installationen zur Kühlung in die Energiebilanz des Datacenters eingehen. Hierzu gibt es zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit weder normative Vorschläge noch Umsetzungsbeispiele.

## 7.6 Bilanzierungszeitraum

Üblicherweise umfasst die Bilanzierung von Nullenergiegebäuden analog zu den etablierten Normen und Verordnungen zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden ein Betriebsjahr. Hierüber können meteorologisch bedingte saisonale Diskrepanzen zwischen Energiebedarf und erneuerbaren Erzeugungspotenzialen (in mitteleuropäischen Klimaten) ausgeglichen und der Einfluss der Nutzer (mit Standardwerten) schon in der Planung einbezogen werden. Kürzere Perioden unter einem Jahr erscheinen aus diesen Gründen als schwierig und zielen mehr auf die Effizienz (von einzelnen Systemen) ab. Allerdings können größere Übereinstimmungen zwischen Energiebedarf und -ertrag betrachtet und damit gezielt erwirtschaftet werden. Hierzu geschieht die Dimensionierung der Erzeugungskapazitäten vor allem auf Basis von verbrauchsstarken Phasen, wenn weiterhin ein vollständiger Ausgleich des Energiebedarfs erstrebt wird. Neben sehr großen erforderlichen Erzeugungskapazitäten entste-

hen mitunter große Überschüsse in ertragsreichen bzw. verbrauchsarmen Perioden (s. Abbildung 3-1). Ebenso kann es Ziel sein, in energieintensiven Zeiten Beiträge zu leisten. Hierzu müssen flexible Erzeuger, die auch in Hochlastzeiten Überschüsse erzielen können, installiert werden. Für Gebäude ergeben sich in beiden Fällen keine direkten Vorteile. Die EPBD benennt daher in Absatz 9 ihrer Einleitung die jährliche Gesamtenergieeffizienz als Grundlage.

Wie in Abschnitt 7.4.3 vorgestellt, kann der Bilanzierungszeitraum auf den Lebenszyklus erweitert werden, um die Nachhaltigkeit sowie die gesamtenergetische Auswirkung eines Gebäudes abzubilden. Über die Betriebsenergie hinaus wird auch die Graue Energie in die Bilanz aufgenommen und durch eigene Energieerträge primärenergetisch ausgeglichen. Hierzu wird der Aufwand der Grauen Energie über den Lebenszyklus auf jährliche Werte umgelegt. Der Einfluss auf die Auslegung von Solarstromanlagen ist ebenfalls in Abschnitt 7.4.3 dargestellt. Durch die hierbei erhöhten Solarstromleistungen anlässlich eines möglichen Ausgleichs der Grauen Energie über den Lebenszyklus steigt die Jahrerzeugung des vor Ort erzeugten Stroms. Gegenüber den jährlichen Energieaufwendungen während des Gebäudebetriebs ergibt sich ein Plus in der Jahresenergiebilanz. Der zusätzlich erzeugte Strom wird nicht wie bei den gebäude- und nutzungsspezifischen Bedarfen im gleichen Bilanzierungszeitraum innerhalb des Gebäudes genutzt, sondern einmaligen bzw. über den Lebenszyklus auftretenden externen Energieaufwendungen gegenübergestellt (s. Primärenergiebilanzen in Abbildung 7-28). Das Ungleichgewicht zwischen saisonalen bzw. monatlichen Energieerträgen und -bedarfen wird vergrößert (s. Abschnitt 7.8). Der zum Ausgleich der Grauen Energie erzeugte Solarstrom geht somit ins Stromnetz über und verbessert dort den Anteil der Erzeugung aus erneuerbaren Energiequellen (s. Seite 54).

Erste Label und Definitionsvorschläge umfassen neben der Planung auch den tatsächlichen Gebäudebetrieb. Hierbei müssen (mittlere) gemessene Bilanzergebnisse die Planung bestätigen, um die Zertifizierung aufrecht zu erhalten (s. bspw. Seite 95). Je nach Label umfasst die Messperiode mehrere Jahre.

Dadurch gehen nutzer- und wetterbedingte Einflüsse sowie die damit verbundenen Unterschiede bei Heizwärme- oder Kältebedarf bzw. Energieerträgen über den Messzyklus mit ein. Langwierigere Betrachtungen mit Hinzunahme veränderter Primärenergie- oder CO<sub>2</sub>-Umrechnungsfaktoren (vgl. Kapitel 3.2) oder Nutzungsänderungen sind bisher nicht bekannt. Diese stünden den in der Planung fixierten Leistungsgrößen hinsichtlich einer ausgeglichenen Energiebilanz jedoch auch stark entgegen.<sup>142</sup>

<sup>142</sup> Die dauerhafte Aufrechterhaltung einer Nullenergiebilanz über den tatsächlichen vollen Nutzungszyklus eines Gebäudes ist daher allein bei Nur-Strom-Gebäuden und geringen Veränderungen in der Nutzung möglich

## 7.7 Nebenanforderungen

Neben dem Anspruch an eine ausgeglichene (Primär-)Energie- oder Emissionsbilanz von Gebäuden stellen einige der hierzu formulierten Definitionen und Label zusätzliche Anforderungen an die Gebäudeausführung, den Betrieb oder die Nutzung [Musall 2012b]. Vorgaben, die über Gebäudeenergiebilanz bzw. -effizienz hinausgehen, basieren meist auf dem ökologischen Anspruch einer vollumfassenden Reduzierung des Energieverbrauchs. Gleichzeitig beziehen sie (Teile) national bestehender Gebäude Richtlinien ein, die (noch) allein die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden betrachten. So ist zum Erreichen des Schweizer „MINERGIE-A“-Zertifikats neben dem primärenergetischen Ausgleich der Kennzahl für Heizung/Kühlung, Warmwasser, Lüftungs- und Hilfsenergie innerhalb einer Netto-Jahresbilanz u.a. auch ein Maximalwert von

50 kWh<sub>P</sub>/m<sup>2</sup><sub>EBFa</sub> für die Graue Energie festgesetzt (s. Seite 148 und Abschnitt 7.4.3).<sup>143</sup> Die Nutzung von Haushaltsgeräten oder Lampen der höchsten Energieeffizienzklassen wird ebenfalls gefordert. Im „EffizienzhausPlus“-Programm ist für die Wohnungsbeleuchtung und Haushaltsgeräte bzw. -prozesse ein pauschaler Maximalwert von 20 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub> (davon Kochen 3 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub>) bzw. 2.500 kWh<sub>E</sub>/WEa vorgegeben (s. Seite 106). Außerdem sind „intelligente“ Zähler zu nutzen. Tabelle A-9 im Anhang zeigt, dass diese Nebenanforderungen in anderen Definitionen häufig in ähnlicher Weise formuliert sind. Darüber hinaus wird eine Zertifizierung von der Erfassung und Auswertung von Messdaten abhängig gemacht, Verbrennungsprozesse bzw. der Einsatz von fossilen Energieträgern ausgeschlossen oder der Einsatz ökologischer Baustoffe und Materialien sowie deren vollständige Recyclingung adressiert. Durch die beiden letzten Punkte wird direkt in die Architektur bzw. die Gestaltungs- und Technologiefreiheit eingegriffen.

Ähnliches gilt für weiterreichende Effizienzvorgaben. Auch wenn Nullenergiegebäude in der Jahresbilanz ihren Netto-Energiebezug ausgleichen können, sagt dieses Ergebnis wenig über den Effizienzstandard bzw. tatsächlichen Nutz- oder Endenergiebedarf des Hauses selbst aus. In Artikel 2 Absatz 2 der EPBD wird eine sehr hohe Gesamtenergieeffizienz als Grundsatz des „Nearly Zero Energy Buildings“ bestimmt (s. Seite 17 und [EU 2010b]). Bisher sind Festlegungen hierzu Gegenstand nationaler Normung. Dabei bleiben Effizienzvorgaben auch nach der Novellierung der EnEV im Jahr 2014 durch hinterlegte Parameter und Qualitäten bestehen, werden allerdings durch das Referenzgebäudeverfahren und die integrale Bewertung von Gebäudecharakteristika und Anlagentechnik sowie die jeweiligen gegenseitigen Wechselwirkungen nicht durchweg starr vorgegeben (s. Kapitel 3.1.2.1 und 3.1.2.2).

Aus dem Blickwinkel des Ressourcenschutzes machen zusätzliche Effizienzvorgaben oder Maximalwerte Sinn. Der Ressourcen- bzw. Energieverbrauch von Gebäuden ist hiermit nachhaltig und dauerhaft gering,<sup>144</sup> auch wenn bspw. ein anstehender Austausch von Solarstromanlagen auf Grund bereits erloschener Förderung oder extrem günstiger Strombezugsbedingungen entfällt oder der Einsatz von KWK-Anlagen durch die aufgezeigten Veränderungen in der Energieinfrastruktur zukünftig eventuell nicht mehr lohnt (s. Kapitel 3.2 und Abschnitt 7.3.2). Zudem reduzieren effiziente Gebäude generell die Last bzw. Belastung im (Strom-)Netz und die Umverteilung von biogenen oder fossilen Energieträgern abseits von Nur-Strom-Gebäuden (s. Abschnitt 7.8). Die Analysen in Abschnitt 7.3 zeigen zudem, dass die Nutzung von Biomasse als erneuerbarer „off-site“-Energieträger bei den zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit in Deutschland gebräuchlichen niedrigen Umrechnungsfaktoren das Erreichen einer ausgeglichenen Primärenergiebilanz vereinfacht. Da nur ca. 20 % des derzeitigen Heizwärmeverbrauchs durch Biomasse substituierbar ist und auch biogene Energieträger nicht in unendlichem Maße zur Verfügung stehen, widerspricht dies den Versorgungsmöglichkeiten und dem Anlass des Konzepts von Nullenergiegebäuden (s. Kapitel 1.1 und 4). Insofern sind Maximalwerte für den Nutzwärmebedarf bei Biomassenutzung oder gleichbedeutende Auflagen zu dessen Reduzierung durch Solarthermieanlagen richtig (s. „MINERGIE-A“, s. Seite 148).

Werden erhöhte Anforderungen an die Gebäudehülle im Verhältnis zum normativen Grenzwert gestellt (bspw. „zeroHaus-Zertifikat“, Seite 95), Werte für die Luftdichtigkeit vorgegeben („MINERGIE-A“) oder Bauteilqualitäten bzw. der Gesamt-Primärenergiebedarf festgesetzt (s. „BR10“ Seite 143), drohen

<sup>143</sup> Größere Aufwendungen können durch Überschussgutschriften aus eigenen Solarstromanlagen kompensiert werden

<sup>144</sup> Hiermit verbunden ist die Annahme, dass Wärmedämmmaßnahmen oder Lüftungsanlagen allein aus Gründen des gewohnten Komforts nicht rückgebaut bzw. bei einem Austausch gleichwertig ersetzt werden

# Einfamilienhaus in Rosshäusern

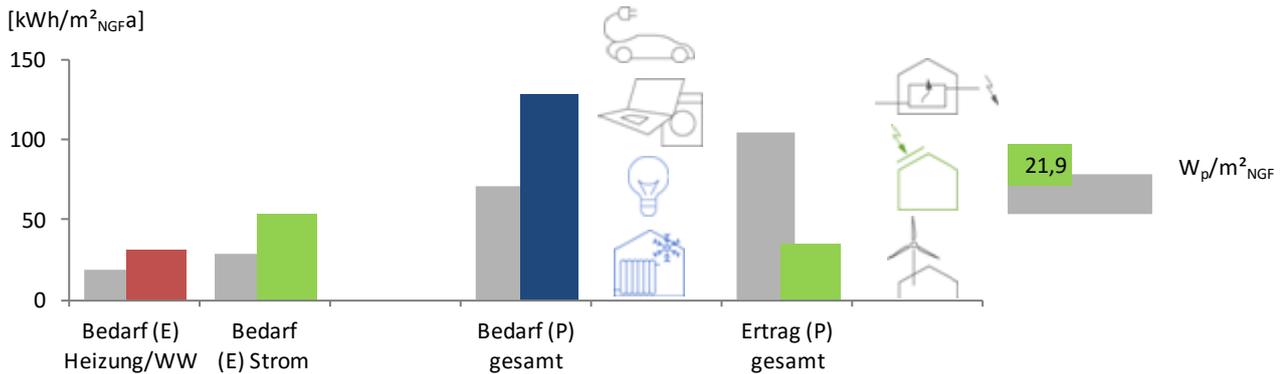
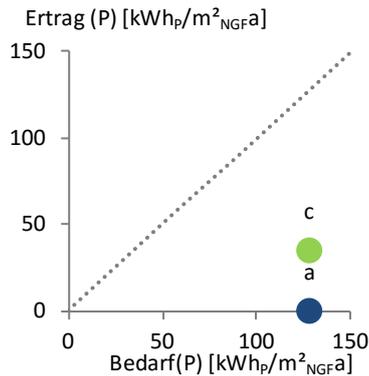
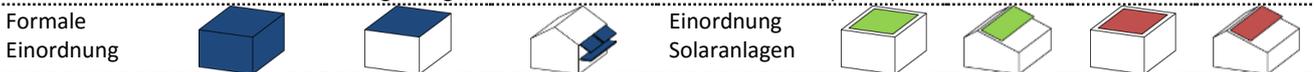
CH\_20



Fotos: Minergie / Andre Huber / AAB Architekten

Architekt	AAB Architekten, Bern	Nettogrundfläche	192 m <sup>2</sup>
Baujahr	2009	Hauptakteur / Motiv	Bauherr / Ökologie
Typologie	Ein-/Zweifamilienhaus	Städtebauliches Umfeld	rural

Das Einfamilienhaus in Rosshäusern ist eines der ersten zertifizierten Minergie-A-Eco-Projekte. Ein Pelletofen und eine thermische Solaranlage decken den Wärme- und Warmwasserbedarf. Eine Photovoltaikanlage gleicht die verbleibenden gebäudespezifischen Energieverbräuche aus. Eine Bilanzierung der nutzungsspezifischen Verbräuche ist nicht vorgesehen. Der einfache, kompakte und kubische Baukörper begünstigt neben den geringen Transmissionswärmeverlusten auch den Energiegehalt der Gebäudestruktur (Graue Energie). Gleiches gilt für die 6 cm dicken Lehmbauplatten an der Innenseite der Holzrahmenkonstruktion hinter der Holzfassade sowie die mechanische Lüftungsanlage, die zusammen das Innenraumklima positiv beeinflussen sollen.



Nutzungsspezifischer Strombedarf gemäß SIA2031, die PV-Anlage gleicht diesen gemäß Planung nicht aus, keine monatlichen Daten

## Minergie-A, CH

Autor, Institution	Minergie-Verein	(Neben-)Anforderungen: Heizwärme- und WW-Bedarf auf 30 kWh/m <sup>2</sup> <sub>EBFa</sub> begrenzt - bei Biomasseinsatz 15 kWh/m <sup>2</sup> <sub>EBFa</sub> mit restlicher Deckung (50 %) durch Solarthermie; Obergrenze von 50 kWh/m <sup>2</sup> <sub>EBFa</sub> für die Graue Energie; Haushalts- und Bürogeräte sowie Leuchten müssen der höchsten Effizienzklasse angehören
Einführungsjahr	2011	
Bilanzgrenze	TGA ohne Beleuchtung	
Bilanzrahmen	on-site / Grundstücksgrenze	
Bilanzzeitraum	Betriebsjahr	
Indikator	Endenergie	

Freiheiten im Entwurfsprozess gegenüber dem freien Bilanzprinzip und auch dem Iterationsverfahren der EnEV bzw. DIN 18599 mindestens beeinflusst, wenn nicht sogar durch dann nötige Bauteilaufbauten zum Mindestwärmeschutz übermäßig eingeschränkt zu werden.<sup>145</sup> Festgesetzte Anforderungen an Effizienz- bzw. Bedarfskennwerte und Bauteilqualitäten erscheinen nicht richtig fokussiert und schwer nachvollziehbar, wenn das Prinzip der einfachen Energiebilanz losgelöst von dynamischen Simulationen und somit ohne direkten Bezug zum Gebäude und dessen Betrieb erstellt werden kann.<sup>146</sup>

Ebenfalls mitunter zusätzlich verlangte negative End- und Primärenergiebedarfe (s. „EffizienzhausPlus“ auf Seite 106), Anforderungen an eine kontrollierte Außenluftzufuhr (s. „MINERGIE-A“ auf Seite 148) oder vorgegebene Anteile einer solarthermischen Warmwasserversorgung limitieren die Technologieoffenheit. Eine Auswahl formulierter Nebenanforderungen befindet sich im Anhang, Tabelle A-9.

Die Analysen zu Abbildung 4-6 und Kapitel 8 zeigen, dass die Gebäudeeffizienz die Grundlage für eine erfolgreiche Umsetzung von Nullenergiegebäuden ist, und diese gegenüber der gültigen Normung deutlich sparsamer sind. Bisher waren hierfür seltener formulierte Nebenanforderungen verantwortlich als vielmehr das Erreichen des Bilanzausgleichs mit gestalterisch annehmbaren, also nicht allzu umfangreichen PV-Anlagen. Hier nehmen neben der energetischen vor allem auch ökonomische Abwägungsprozesse eine wichtige Rolle ein. Primärenergiekennwerte werden zudem durch die (politisch beeinflussten) Gewichtungsfaktoren und deren stete Veränderung beeinflusst. Asymmetrische Faktoren in DIN V 18599 und DIN EN 15603 verdeutlichen, dass Gebäude bei der primärenergetischen Bewertung mehr und mehr Teil der Gesamtenergiewirtschaft werden (s. Abschnitt 7.3). Als Indikator für die Effizienz eines Gebäudes ist ein alleinstehender Primärenergiekennwert kaum mehr aussagekräftig. Priorität muss die Reduzierung des Nutzenergiebedarfs haben.

Bezüglich der reinen Gebäudeeffizienz werden Anforderungswerte diskutiert. In [BMVBS 2012b] wird vorgeschlagen, den Endenergiebedarf als Nebenanforderung innerhalb eines Referenzgebäudeverfahrens eingehen zu lassen, um sich vom Bewertungsmaßstab des baulichen Wärmeschutzes lösen und somit die Technologieoffenheit im Anforderungsbereich erhöhen zu können. Ein niedriger Endenergiebedarf soll einen guten Wärmeschutz bereits hervorrufen. Die EnEV 2014 sieht hierzu im Energieausweis von Wohngebäuden eine Einteilung der Energieeffizienz in entsprechende -klassen vor. Festen Anforderungswerten zu End- oder Primärenergiebedarf werden allerdings Vorteile in der öffentlichen Kommunikation zugutegehalten. Sie erfordern aber auch eine Diversifizierung in Abhängigkeit verschiedener Typologien und entsprechende Vorgabewerte für Referenzgebäudeverfahren.

In [Pehnt 2013] wird bei den bisherigen Kennwerten der EnEV, dem Transmissionswärmeverlust  $H'_T$  sowie dem Primärenergiebedarf  $Q_p$ , der Nachteil ausgemacht, dass diese über das Referenzgebäudeverfahren die Ausrichtung der Fenster und demnach passive solare Gewinne, die Gebäudekompaktheit sowie die Luftdichtheit der Gebäudehülle nicht einbeziehen bzw. honorieren. Als Alternative wird die Berechnung des Netto-Heizwärmebedarfs  $Q_h$  zur Kennzeichnung der reinen Gebäudeeffizienz vorgeschlagen. Er umfasst auf Nutzenergieebene die Summe aus Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten abzüglich der nutzbaren solaren und inneren Wärmegevinne. Insofern gehen die Gebäudehülle (Kompaktheit, Luftdichtheit, Wärmedämmung über die Wärmedurchgangskoeffizienten und Gesamtenergiedurchlassgrade) inkl. der

<sup>145</sup> Nach Inkrafttreten der Verschärfung bei den Transmissionswärmeverlusten von Außenbauteilen in Höhe von 20 % durch die EnEV 2014 im Jahr 2016 bedeutet dies eine Verringerung des U-Wertes der Außenwände auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K für monolithische Außenwandkonstruktionen. Bei einer Wandstärke von 30 cm muss dazu der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von 0,07 W/mK erreicht werden, was kaum mehr ohne Dämmstofffüllungen oder Zusatzdämmung möglich ist

<sup>146</sup> Überschlägige eigene Berechnungen zeigen, dass bspw. die Verbesserung des U-Wertes eines Fensters je nach dessen Orientierung und Endenergieträger den Primärenergiebedarf lediglich bei der ersten Nachkommastelle ändert und damit kaum Einfluss auf das Erreichen einer ausgeglichenen Energiebilanz oder den Flächenbedarf einer Solarstromanlage hat. Bei Änderung des Fenster-U-Wertes einer gesamten Fassade ist der Effekt kaum größer

<sup>147</sup> Dem müsste durch die zusätzliche Anforderung an besonders effiziente Lüftungsgeräte begegnet werden

<sup>148</sup> Bspw. wird ein gutes  $Q_h$  für kleinere Gebäude auf Grund der Abhängigkeit von der Gebäudekompaktheit schwieriger erreichbar

Orientierung und Abschattung von Fensterflächen, die Wärmerückgewinnung einer Lüftungsanlage (abgesehen von deren Strombedarf<sup>147</sup>) sowie der Standort (klimatische Bedingungen) ein und geben die tatsächliche Effizienz eines Gebäudes wieder. In der Planung ist  $Q_h$  vom Nutzerverhalten unabhängig. Im Gebäudebetrieb ist es überprüfbar, auch wenn das Nutzerverhalten oder klimatische Abweichungen dann Auswirkungen haben. Trotz der Abhängigkeit von formalen und gestalterischen Aspekten (Kompaktheit, Orientierungen, etc.)<sup>148</sup> bleibt ein Abwägen zwischen diesen Aspekten und ein Einbinden in ein Referenzgebäudeverfahren möglich.

Die am einfachsten umzusetzende und zu kommunizierende Nebenanforderung hinsichtlich einer gesteigerten Gebäudeeffizienz ist das Formulieren relativer Minderungsziele gegenüber vorhandenen normativen Anforderungen (s. Seite 95). Analog zu den Ansätzen des KfW Effizienzhaus-Programms (bspw. KfW-Effizienzhaus 40: pauschale Minderung des normativen Primärenergiebedarfs  $Q_p$  um 40 %) oder der Verschärfung des Referenzwerts für den Jahresprimärenergiebedarf der EnEV 2014 ab 2016 um 25 % werden hierbei bisherige Abwägungsmöglichkeiten beibehalten [BMVBS 2012b].

Da sich Effizienzfortschritte bei Nullenergiegebäuden meist ohnehin einstellen (müssen) und diese bilanziell komplett über erneuerbare Energiequellen und -träger versorgt werden, sind Quantifizierungsgrößen hinsichtlich der zeitlichen Übereinstimmung von Energiebedarf und -ertrag bzw. Energiebezug und -einspeisung relevanter als explizite Effizienzvorgaben (s. Abschnitt 7.8).

## 7.8 Quantifizierungsgrößen

Im Zuge des Demonstrationsprogramms „EffizienzhausPlus“ (s. Seite 106) wird das Ausweisen des Verhältnisses zwischen selbstgenutzter und -generierter erneuerbarer Energie gefordert. Die Ermittlung ist in Anlehnung an die EnEV auf monatlicher Berechnungsebene durchzuführen [BMVBS 2011]. Da die Lastprofile von Gebäuden in mitteleuropäischen und nordamerikanischen Klimaten massiv durch deren Heizlast bestimmt werden, schwanken diese Profile saisonal stark (s. Abbildung 7-33 bis Abbildung 7-38). Ganzjährigen nutzungsspezifischen Strombedarfen und hohen Wärmebedarfen im Winter, die auch bzw. vor allem im Falle von Nur-Strom-Gebäuden überwiegend auf fossiler Energiebereitstellung in der Netzinfrastruktur basieren (s. Abbildung 7-8 und [Graabak 2011]), stehen im Falle der Nutzung von Solaranlagen überwiegend sommerliche Energieerträge aus erneuerbaren Quellen am Gebäude gegenüber (s. Tabelle A-25) [Voss 2011b]. Bei der Nutzung von KWK variieren die Energieerträge jahreszeitlich weniger stark, sind aber von der sommerlichen Wärmeabnahme in den jeweiligen Gebäuden abhängig (Wärme-geführter Betrieb der KWK). In wärmeren Klimaten kann eine deutlich größere Gleichmäßigkeit auch bei Solarstromanlagen ausgemacht werden (vgl. Abbildung 7-37, Abbildung 7-38 und Abbildung 7-54 sowie Tabelle A-25). Insofern unterscheiden sich Nullenergiegebäude (in Deutschland) trotz sonst gleicher Festlegungen in der Bilanzmethodik und gleichem Bilanzergebnis hinsichtlich folgender Aspekte [Voss 2010a]:

- Aus Sicht des Gebäudes<sup>149</sup>: Welcher Anteil des Energiebedarfs kann pro Zeiteinheit durch selbsterzeugte Energie gedeckt werden (zeitliche Übereinstimmung von Energiebereitstellung und -nachfrage: Grad der Eigenbedarfsdeckung, sog. „load match“), und welcher Anteil der selbsterzeugten Energie kann direkt vor Ort genutzt werden

<sup>149</sup> Das Interesse liegt hierbei primär bei den Gebäudeeigentümern, da zu erkennen ist, wie groß Energiebezüge oder Vergütungen ausfallen

(Verhältnis von Erzeugung und Verbrauch pro Zeiteinheit: Grad der Eigenetragsnutzung)?

- Aus Sicht des Netzes<sup>150</sup>: Wie ist die zeitliche Übereinstimmung zwischen eingespeister Energie und den Bedürfnissen des jeweiligen Netzes (zeitlich variabler Wert des eingespeisten Stroms, sog. „grid interaction“), und welcher Anteil der eingespeisten Energie muss dem Gebäude zu einem anderen Zeitpunkt wieder zur Verfügung gestellt werden?
- Aus Sicht von Nachhaltigkeit und Energiedienstleistern: Inwiefern stimmen bezogene und eingespeiste Energieträger überein (z.B. Einspeisung von sommerlichem Stromüberschuss und winterlicher Bezug von Biomasse, sog. „fuel switching“) bzw. welche Anteile der eingespeisten Energie dienen zum primärenergetischen Ausgleich anderer Energieträger, werden dem Stromnetz überlassen und bilden einen Beitrag zur Erhöhung des erneuerbaren Anteils erneuerbarer Energieerzeugung im Stromnetz?

<sup>150</sup> Das Interesse ist hierbei geteilt. Netzbetreiber müssen entsprechende Lasten einplanen bzw. kompensieren und zu Nachfragezeiten Erzeugungskapazitäten vorhalten. Aus der Sicht der Bauherren lässt sich - bei der geplanten Einführung von „intelligenten“ Stromnetzen mit zeitvariablen Stromtarifen - erkennen, wie hoch eventuelle Vergütungen und Kosten ausfallen (bei hoch aufgelösten Lastprofilen)

Die Unterscheidungsmerkmale zeigen auf, inwieweit das Gebäude und die Energieerzeuger eine energetische Einheit bilden bzw. inwieweit ein Nullenergiegebäude die Speicherleistung der Energieinfrastruktur in Anspruch nimmt und damit ggf. belastet oder einen positiven Beitrag leistet. Aus Sicht von Baukultur und Architekturästhetik muss hierzu gelten, dass die primäre Aufgabe von Gebäuden nicht die Erhöhung der Quoten erneuerbarer Energiequellen innerhalb der Gesamt-Energieinfrastruktur ist, und sie nicht auf den Bestandteil der Energiewende als netzreaktive Kraftwerke oder Speicherkomponente reduziert werden können. Insofern gilt es, die (finanziellen wie ökologischen) Interessen von Gebäudeeigentümern und -nutzern durch hohe Deckungsraten zu stützen und damit die Anforderungen an eine netzkonforme Einspeisung zu verringern.

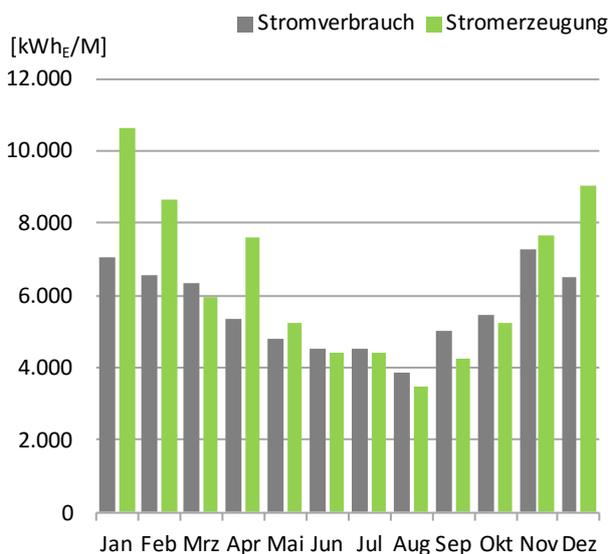


Abbildung 7-33: Gemessene Monatswerte für Stromverbrauch und -erzeugung für das Projekt „Kleehäuser“ in Freiburg. Es werden nur die „on-site“-Stromerträge aus Solarstrom- und KWK-Anlage sowie der gesamte Strombedarf aufgeführt. Externe Windkraftrträge entfallen in dieser Darstellung

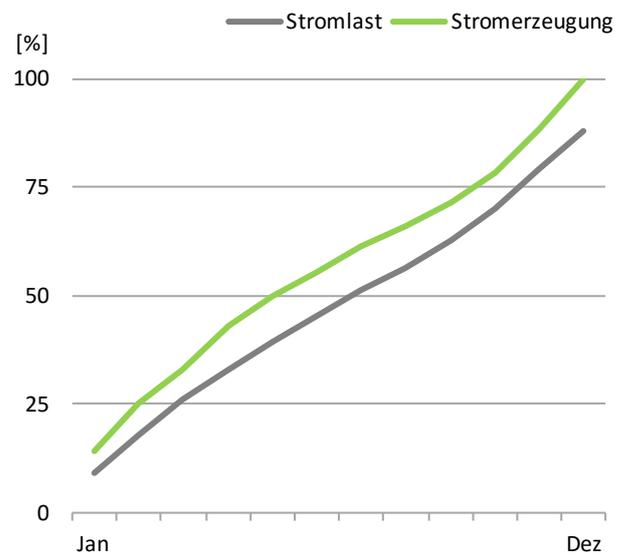


Abbildung 7-34: Homogene Jahreslast der gemessenen Stromverbrauchs- und -erzeugungswerte für die „Kleehäuser“ (kumulierte Werte)



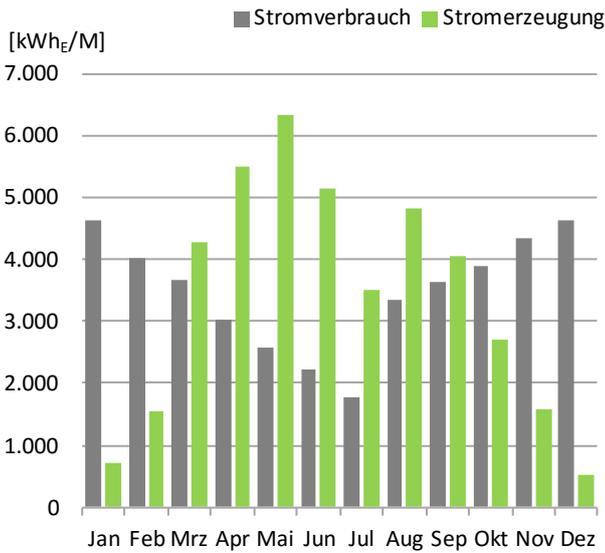


Abbildung 7-35: Gemessene Monatswerte für Stromverbrauch und -erzeugung des Nur-Strom-Gebäudes Kindergarten „Die Sprösslinge“ in Monheim. Es werden Stromerträge aus der Solarstromanlage aufgeführt sowie sämtlich Stromverbräuche inkl. Wärmepumpe

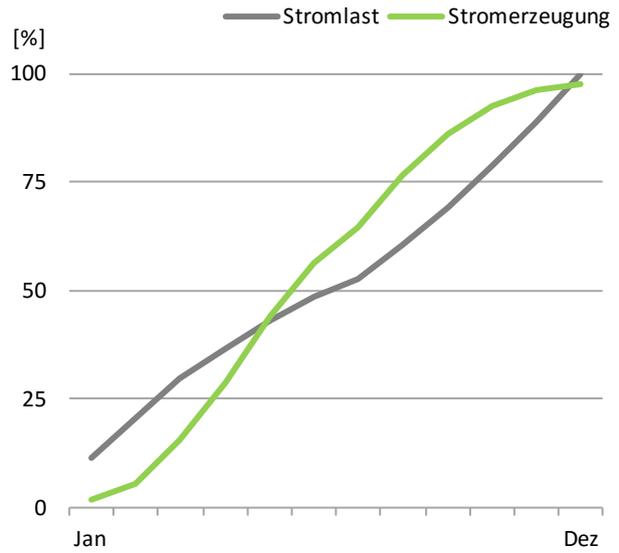


Abbildung 7-36: Jahreslast der gemessenen Stromverbrauchs- und -erzeugungswerte für den Kindergarten „Die Sprösslinge“ (kumulierte Werte)

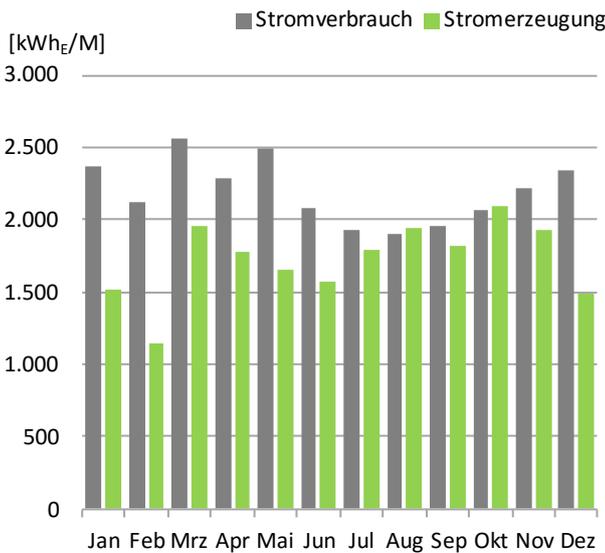


Abbildung 7-37: Gemessene Monatswerte für Stromverbrauch und -erzeugung des Nur-Strom-Gebäudes „Solar XXI“ am Standort in Lissabon (PT) mit einem über das Jahr ausgeglichenem Solarstrahlungsangebot (Gebäude s. Abbildung 7-30 und PT\_1)

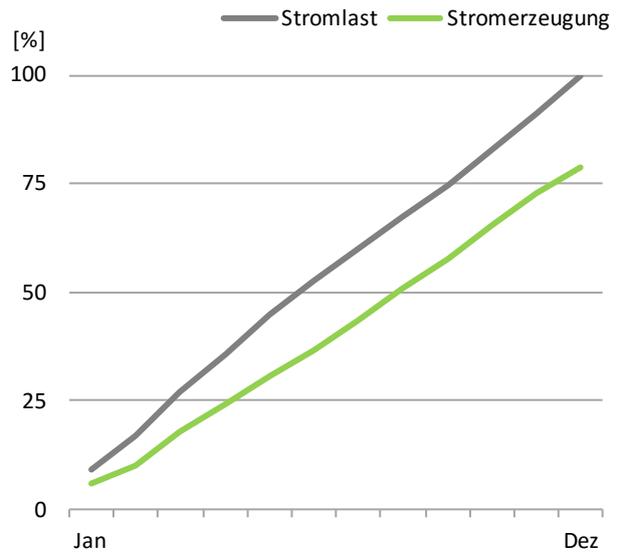


Abbildung 7-38: Auf Grund des gleichbleibenden Strahlungsangebots ebenfalls homogene Jahreslast der gemessenen Stromverbrauchs- und -erzeugungswerte für das Institutsgebäude „Solar XXI“ (kumulierte Werte)

In [Salom 2014] und [Salom 2011] werden über 20 international vorgeschlagene und tlw. bereits angewendete Faktoren zur Quantifizierung von Unterschieden und Übereinstimmungen zwischen Energieerträgen und -bedarfen erfasst und vorgestellt. Es erfolgt keinerlei Wertung hinsichtlich des Praxisbezugs, der Zielgruppe oder der Anwendbarkeit. Um den Einfluss verschiedener Technologie- und Gewichtungsoptionen sowie verschiedener Bilanzgrenzen hinsichtlich der saisonalen Deckungsraten darzustellen und dabei die oben beschriebenen Aspekte beleuchten zu können, werden zwei mehrfach referenzierte Faktoren aus der Literatur ausgewählt. Auf Basis der Recherchen zu [Voss 2010b] und [Salom 2014] sowie der Arbeiten im Zuge von [Noris 2014] werden drei weite-

re, eher vereinfachende Faktoren gebildet. Die Faktoren beruhen auf Stromerzeugung, -bedarf, -überschüssen und -unterdeckungen und bilden daher nur fiktive Deckungsraten ab (s. Abbildung 7-40). Es gilt, dass die tatsächliche Deckungsrate auch bei einer monatlichen Übereinstimmung von Strombedarf und -erzeugung nicht 100 % beträgt, da im Verlauf eines Tages größere Unterschiede auftreten. So wird mindestens nachts Strom aus dem Netz bezogen und zu Zeiten großer Erzeugung Überschüsse eingespeist (s. Abbildung 7-51 bis Abbildung 7-54 sowie [Voss 2011a]). Tabelle A-24 und Abbildung 7-39 zeigen bspw. typische Deckungsraten eines Nur-Strom-Wohngebäudes von knapp 80 % bei der Bilanzierung auf Basis von Monats-, Wochen- und Tageswerten, während die Deckungsraten bei der Betrachtung von Stundenwerten auf unter 40 % sinkt. Bei noch kleineren Zeitschritten verringert sich die Quote noch weiter. Auch größer dimensionierte PV-Anlagen können diese Deckungsrate kaum erhöhen, solange keine hausinterne Stromspeicherung hinzukommt (s. Ergebnisse in Abschnitt 7.8.6 und Anhang A.9.1). Werden nur Teile des Strombedarfs, wie z.B. nur die gebäudetechnischen Anlagen einbezogen, verringert sich die Deckungsrate [Sartori 2012]. Die fiktiven Deckungsraten entsprechen der vereinfachten und in der DIN V 18599 vorgesehenen Berechnung auf Monats-ebene während der Planungsphase. Somit verdeutlichen die Faktoren vor allem die Verteilung der Stromerzeugung über den Zeitraum eines Jahres und in welchem Umfang ein Nullenergiegebäude das Stromnetz als Saisonspeicher nutzt.

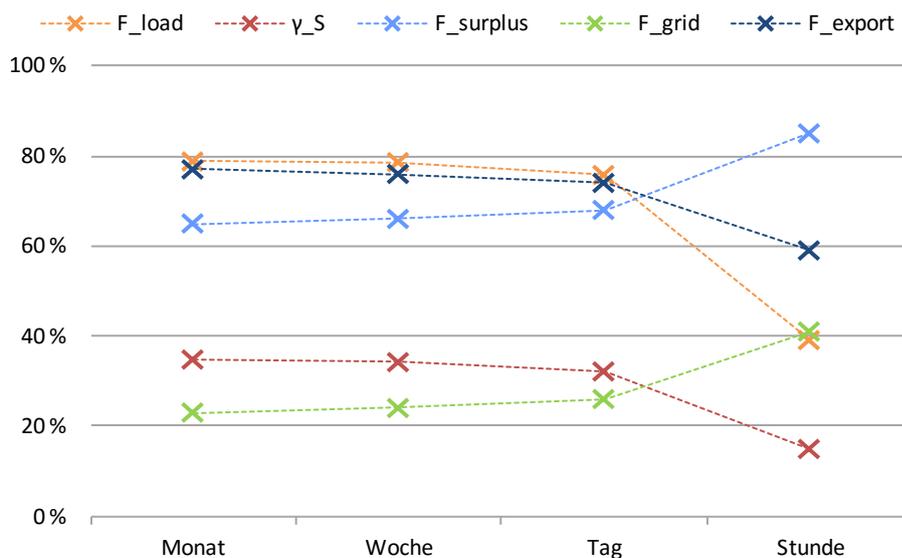


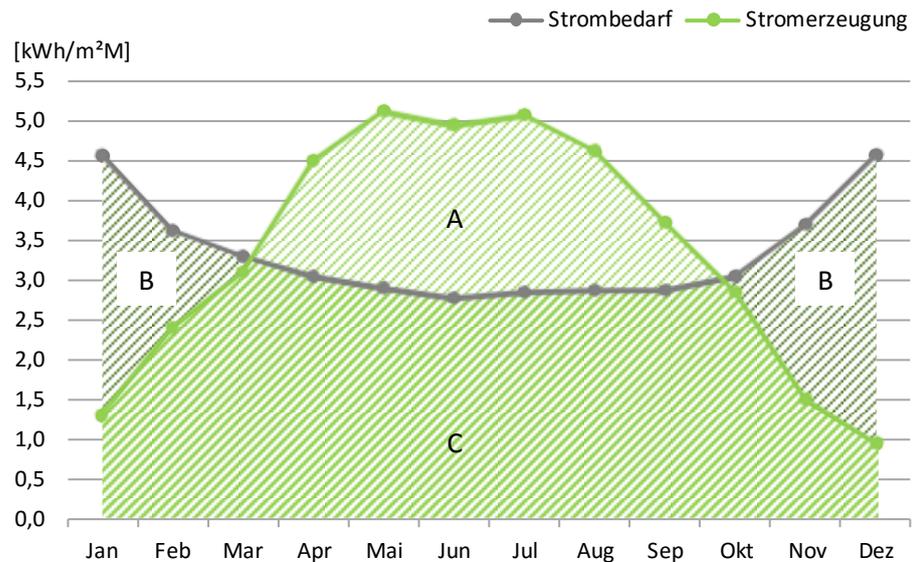
Abbildung 7-39: Veränderung der unten vorgestellten Faktoren bei Variation der zeitlichen Auflösung bei den kumulierten Simulationsergebnissen des Experimental- und Demonstrationshauses der Universität Wuppertal zum Solar Decathlon 2010 (vgl. Anhang A.9.2)

Da bei den allermeisten der bekannten Nullenergiegebäude allein Strom vor Ort und zum Ausgleich von Energiebezügen bzw. -bedarfen erzeugt wird, und Strom der einzige Energieträger ist, der in durchgehend gleicher energetischer Qualität von Gebäuden bezogen und eingespeist werden kann, werden die Analysen hinsichtlich der oben genannten Übereinstimmungen nur für den Energieträger Strom erstellt.

Um die Berechnungen und den Inhalt der jeweiligen Faktoren zu veranschaulichen, zeigt Abbildung 7-40 eine für heizungsdominierte Klimaregionen und Nur-Strom-Gebäude ohne aktive Kühlung übliche Verteilung von Energiebedarf und -erzeugung über den Zeitraum eines Jahres.<sup>151</sup> Hierbei werden drei Bereiche ausgewiesen, die vereinfacht in den Formeln der Faktoren unten vorangestellt werden.

<sup>151</sup> Die spezifische Form der Kurven unterscheidet sich bei Gebäuden mit anderen Energieträgern oder klimatischen Voraussetzungen

Abbildung 7-40: Typisches monatliches Profil von Strombedarf und -erzeugung eines Nur-Strom-Gebäudes mit komplett ausgeglichener Betriebsenergiebilanz in heizungsdominierten Klimaten ohne aktive Kühlung und Batteriespeicherung. Die ausgewiesenen Flächen kennzeichnen den fiktiven sommerlichen Stromüberschuss (A) der vorübergehend in das Stromnetz eingespeist wird, die fiktiven winterlichen über das Stromnetz gedeckten Strombedarfe bzw. den durch das Stromnetz bereitgestellten Strom (B) und die fiktiv direkt gedeckten Strombedarfe (C). Somit summieren sich A und C zum gesamten Stromertrag am Gebäude und A und B zum gesamten Strombedarf (in diesem Beispiel sind beide Werte über ein Jahr gleich groß)



Der erste Faktor nach Formel 7-1 dient zur Bestimmung der fiktiven jährlichen Eigenbedarfsdeckung (Anteil des in einem Zeitabschnitt selbst gedeckten Strombedarfs). Der Faktor ist bereits im Werkzeug EnerCaC hinterlegt (s. [EnerCaC 2014]) und u.a. in [Voss 2011a] und [Voss 2010b] als „load match index“ referenziert. Als Mittelwert eines Bewertungszeitraums gibt er den Grad der Übereinstimmung zwischen „on-site“-Erzeugung und dem Energiebedarf an. Je höher der Index ist, desto größer ist der Anteil des durch die Erzeugung gedeckten Strombedarfs. Der Faktor wird im jeweiligen Zeitintervall auf 100 % begrenzt, da Stromüberschüsse im Sinne der Gebäudeenergiebilanz lediglich bei der (primärenergetischen) Bilanzierung wichtig werden. Sie werden hier nicht einbezogen und daher nur der jeweils kleinere Wert von monatlichem Energiebedarf bzw. -ertrag gezählt.

Formel 7-1: „load match index“

$$F_{load} = \left( \frac{\left[ \frac{A+C}{B+C} \right]}{12} \right) \times 100 [\%] = \left( \frac{\sum_{1}^{12} \min \left[ 1, \frac{gen_{el}(m)}{l_{el}(m)} \right]}{12} \right) \times 100 [\%]$$

Dabei ist:

$F_{load}$	load match index
$gen_{el}$	monatliche „on-site“-Stromerzeugung
$l_{el}$	monatlicher Strombedarf
$m$	der Zeitraum eines Monats

Als Faktor für die fiktive jährliche Eigennutzung (Anteil des direkt genutzten Energieertrags) wird u.a. in [Baetens 2012] der Faktor „ $\gamma_s$ “, in [Kurnitski 2013c] der Faktor „REM“ und in [Salom 2014] der „supply cover factor“ vorgestellt. Er bildet jeweils und gleichsam das Verhältnis zwischen dem gedecktem Bedarf (C) und der gesamten Erzeugung (Summe aus A und C) ab. Als Bezeichnung wird hier „ $\gamma_s$ “ verwendet.

$$\gamma_s = \frac{C}{(A + C)} = \frac{\sum_a \min[gen_{el}(m), l_{el}(m)]}{\sum_a gen_{el}(m)}$$

Formel 7-2: „supply cover factor“

Dabei ist:

$\gamma_s$	supply cover factor
$gen_{el}$	monatliche „on-site“-Stromerzeugung
$l_{el}$	monatlicher Strombedarf
$m$	der Zeitraum eines Monats
$a$	der Zeitraum eines Jahres

Der im Zuge von [Noris 2014] neu eingeführte Faktor „ $F_{surplus}$ “ nach Formel 7-3 berechnet den fiktiven Anteil des eingespeisten und später zurückgeforderten Stromertrags, also die jährliche Überschusseinspeisung. Je kleiner der Faktor wird, desto homogener ist das Stromlastprofil über den gewählten Zeitraum (in diesem Fall ein Jahr). „ $F_{surplus}$ “ stellt den direkten Gegenspieler zu „ $\gamma_s$ “ dar. Die Anteile des Stromertrags, die nicht am Gebäude genutzt werden können, werden als anteiliger Stromexport ausgewiesen.

$$F_{surplus} = \frac{A}{(A + C)} = \frac{\sum_a \max[0, (gen_{el}(m) - l_{el}(m))]}{\sum_a gen_{el}(m)}$$

Formel 7-3: Faktor der Überschusseinspeisung

Dabei ist:

$F_{surplus}$	Faktor der Überschusseinspeisung
$gen_{el}$	monatliche „on-site“-Stromerzeugung
$l_{el}$	monatlicher Strombedarf
$m$	der Zeitraum eines Monats
$a$	der Zeitraum eines Jahres

Der ebenfalls selbst eingeführte Faktor „ $F_{grid}$ “ oder „grid utilization factor“ gibt die fiktive jährliche Nutzung des Stromnetzes als Saisonspeicher (Faktor der Speichernutzung oder Netzbelastung) an. Er bildet nicht nur den Anteil saisonal verschobener Stromanteile, die im Stromnetz fiktiv gespeichert werden, ab (bei Nullenergiegebäuden), sondern bezieht auch möglicherweise zusätzlich erworbene Strommengen ein (im Fall einer asymmetrischen Gewichtung oder Nahezu-Nullenergiegebäuden). In beiden Fällen ist der Strombedarf nicht durchgängig und vollständig über eigene Stromerträge am Gebäude ausgeglichen. Je größer der Faktor ist, desto mehr wird die Speicherleistung des Stromnetzes beansprucht.

$$F_{grid} = \frac{B}{A} = \frac{\sum_a \max[0, (l_{el}(m) - gen_{el}(m))]}{\sum_a \max[0, (gen_{el}(m) - l_{el}(m))]}$$

Formel 7-4: Faktor der Netznutzung, „grid utilization factor“

Dabei ist:

$F_{grid}$	grid utilization factor
$gen_{el}$	monatliche „on-site“-Stromerzeugung
$l_{el}$	monatlicher Strombedarf
$m$	der Zeitraum eines Monats
$a$	der Zeitraum eines Jahres

Der in [Noris 2014] als „Net Yearly Export“ oder „NYE“ eingeführte Faktor „ $F_{export}$ “ weist den fiktiven jährlichen Netto-Stromexport als den Anteil des Strom-

überschusses aus, der die Jahresstrombilanz übersteigt. Dabei kann der Stromüberschuss zum Ausgleich anderer Energieträger aufgewendet werden oder zum Erreichen einer Plusenergiebilanz dienen. Somit gibt „ $F_{\text{export}}$ “ an, wie viel erneuerbarer Strom vom Gebäude in das Netz übergeht und hier den Anteil der erneuerbaren Energieerzeugung erhöht. Je größer der Faktor ist, desto umfangreicher ist der Beitrag des Gebäudes das Stromnetz auf dem Weg zu formulierten Klimaschutzszenarien zu unterstützen.

„ $F_{\text{export}}$ “ gilt nur, wenn die Jahresstrombilanz positiv ist, sprich ein saisonaler Stromüberschuss (A) die über das Stromnetz gedeckten Unterdeckungen (B) übersteigt.

Formel 7-5: Faktor des jährlichen Netto-Stromexports, „Net Yearly Export“

$$F_{\text{export}} = 1 - \frac{B}{A} = \max \left[ 0; 1 - \frac{\left[ \sum_a \max[0, (l_{el}(m) - gen_{el}(m))] \right]}{\left[ \sum_a \max[0, (gen_{el}(m) - l_{el}(m))] \right]} \right]$$

Dabei ist:

$F_{\text{export}}$	Net Yearly Export
$gen_{el}$	monatliche „on-site“-Stromerzeugung
$l_{el}$	monatlicher Strombedarf
$m$	der Zeitraum eines Monats
$a$	der Zeitraum eines Jahres

Der Faktor „ $F_{\text{export}}$ “ kann auch als Gegenpart zu „ $F_{\text{grid}}$ “ gesehen werden, da sie in der gezeigten Berechnungsweise üblicherweise zusammen 100 % ergeben. Während „ $F_{\text{grid}}$ “ 100 % übersteigen kann (bspw. im Falle einer negativen Strombilanz bei einer asymmetrischen Gewichtung oder einer nicht vollständig ausgeglichenen Energiebilanz), wird „ $F_{\text{export}}$ “ nicht negativ.

Die drei hier bzw. in [Noris 2014] eingeführten Faktoren werden hinsichtlich ihrer breiten und allgemeingültigen Anwendbarkeit in ersten Parameterstudien getestet. Eine Auswahl an Ergebnissen zu verschiedenen Bilanzergebnissen (von Niedrigenergiehäusern über ausgeglichene Energiebilanzen bis hin zu Plusenergiebilanzen) sowie zu höheren Auflösungen bei unterschiedlichen Technologie- und Gewichtungsoptionen sind im Anhang A.9 hinterlegt. Die Ergebnisse werden dort kurz erläutert. Da sich die Faktoren auf Kumulationsergebnisse von Stromerzeugung, -bedarf, -überproduktion und -unterdeckung je Zeitschritt beziehen, sind sie auch für höhere Auflösungen als Monatsschritte geeignet. Vergleichsrechnungen mit Simulationsergebnissen in stündlicher, täglicher, wöchentlicher und monatlicher Auflösung verdeutlichen, dass sich Monats-, Wochen- und Tageswerte sehr ähnlich sind (s. ebenfalls Anhang A.9). Erst bei kleineren Zeitschritten als ein Tag, z.B. der stündlichen Auflösung, erhöhen sich die absoluten und kumulierten Werte für Überschusserzeugung (A) und Unterdeckung (B) in der Jahressumme. Es kommt häufiger zur Überproduktion und zu Unterdeckungen, da 365 höher differenzierte (bei stündlicher Betrachtung 8.760) Gegenüberstellungen abgebildet werden. Dies führt zu deutlichen Unterschieden bei den Ergebnissen der Faktoren, da die Gesamtjahreserzeugung im Vergleich nicht steigt (s. Abbildung 7-39). Eine testweise Gegenüberstellung mit gemessenen 5-Minuten-Daten bestätigt diese Erkenntnis ebenso wie [Salom 2014] für ähnliche Faktoren.

Anhand von Parameterstudien analog zu den zehn Technologie- und 15 Gewichtungsoptionen aus Abschnitt 7.3 wird mit den „Kleehäuser“ und dem Kindergarten Monheim als Beispielgebäude der Einfluss verschiedener technologi-

scher Optionen auf die monatlichen Stromprofile und saisonalen Deckungsraten betrachtet. Durch den Vergleich mit der jeweils nötigen Fläche der Solarstromanlagen kann eine Wechselbeziehung zwischen fiktiven Deckungsraten und gestalterischem Einfluss aufgezeigt werden. Hierzu werden für beide Gebäude die Optionen mit Wärmepumpe (WP) und das Faktorensset P1 auch die Orientierung und Neigung der Solarstromanlagen variiert. Je einmal wird die Solarstromanlage in die Fassade gelegt (Neigung  $90^\circ$ ) und einmal die Orientierung um  $90^\circ$  aus der Südrichtung verdreht (West-Ausrichtung). Ein drittes Variationsszenario kombiniert diese beiden Extremvarianten. Die exemplarischen Testläufe zeigen bereits den Einfluss von vergrößerten Solarstromanlagen bei positiven Jahresenergiebilanzen auf (s.o. und Anhang A.9). Zusätzlich werden beide Gebäude beispielhaft mit einer Plusenergiebilanz berechnet, die zum Ausgleich der Grauen Energie dient (Zuschlag gemäß „MINERGIE-A“-Grenzwert von  $58,8 \text{ kWh}_P/\text{m}^2_{\text{NGFA}}$  bzw. einer nötigen Stromerzeugung für dessen Ausgleich von  $22,6 \text{ kWh}_E/\text{m}^2_{\text{NGFA}}$ , s. Abschnitt 7.4.3). Da bei einem Kindergarten die Hinzunahme von (Elektro-)Mobilität widersinnig ist, wird nur bei den „Kleehäusern“ ebenfalls eine Plusenergiebilanz in der Höhe berechnet, die der Hinzunahme des Ausgleichs des Primärenergieaufwands für die Mobilität der 23 Parteien mit sparsamen Elektrofahrzeugen entspricht ( $21,6 \text{ kWh}_E/\text{m}^2_{\text{NGFA}}$ ). Da Monatsbilanzen fokussiert werden, bleiben gebäudegekoppelte Elektrofahrzeuge und deren Speicherwirkung (gemäß Alternative zwei in Abschnitt 7.4.2) außer Acht. Der Strombedarf für den Gebäudebetrieb wird in keiner der Varianten erhöht. Es steigen lediglich die Erzeugungsmengen für die primärenergetischen Bilanzausgleiche.

Die monatliche Auswertung entspricht dem gültigen Ansatz der DIN V 18599 und erfolgt in Anlehnung an die monatliche Kappungsgrenze der EnEV (s. Kapitel 3.1.2), während die jeweils genau ausgeglichenen Primärenergie- bzw. Emissionsbilanzen zusätzlich zu den gebäudespezifischen auch die nutzungsspezifischen Verbraucher umfassen. Die Indikatoren dienen zur Veranschaulichung der Deckungsraten und zeigen auf, welchen Einfluss gewünscht günstige Deckungsfaktoren nach sich ziehen. Es gilt allerdings, dass mit ihnen keine inhärente positive oder negative Bedeutung verbunden ist, da bspw. eine Erhöhung des „load match index“ nicht gleichzeitig mit den Bedürfnissen des Stromnetzes in Verbindung gebracht werden kann. Da keine absoluten Energiemengen oder Leistungswerte ausgegeben werden, wird auch nicht indiziert, wie groß die tatsächlichen Belastung des Stromnetzes sind (vgl. [Sartori 2012]).

Insgesamt ergeben die Parameterstudien der fünf Faktoren und zwei Gebäude über 1.500 Ergebnisse. Sie zeigen auf, dass vor allem die Gewichtung mit Primärenergie- bzw.  $\text{CO}_2$ -Emissionsfaktoren enormen Einfluss auf die Faktoren hat, da durch die Anwendung von asymmetrischen und quasi-dynamischen Faktoren zur vollständigen Primärenergie- bzw. Emissionsausgleich bisweilen übergroße Solarstromanlagen installiert werden müssen und hiermit die Stromerzeugung gegenüber dem Strombedarf außerordentlich steigt (s. Abbildung A-26 f. sowie Abbildung A-39 f.). Da nicht vorrangig der Einfluss von Gewichtungsfaktoren untersucht werden soll, werden hier allein die aktuellen Faktorenssets nach Abschnitt 7.3.2 dargestellt (P1, symmetrische Umrechnung nach DIN V 18599 - 2009; Abbildung 7-41 und Abbildung 7-42 sowie P3, asymmetrische Gewichtung nach DIN V 18599 - 2011; Abbildung 7-43 und Abbildung 7-44). Die Ergebnisse der übrigen Faktorenssets sind in Anhang A.10 hinterlegt.



Abbildung 7-41: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P1 (s. Abschnitt 7.3.2) beim Kindergarten „Die Sprösslinge“

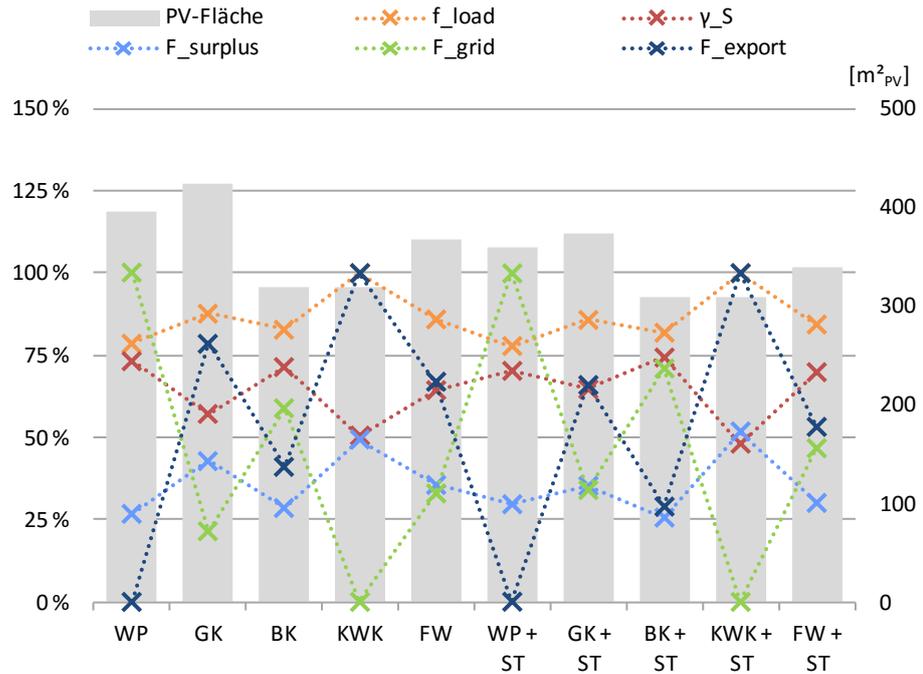
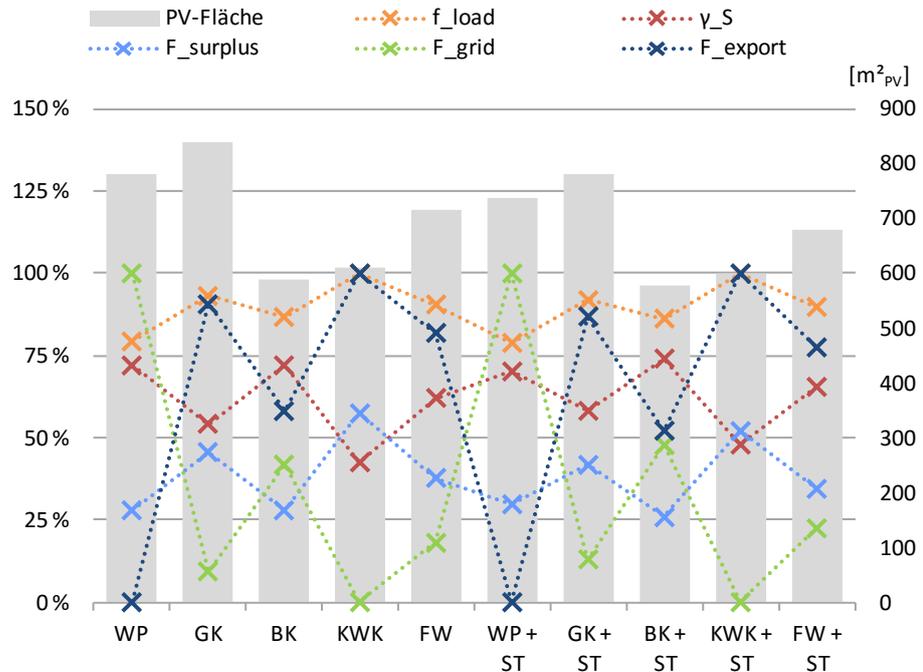


Abbildung 7-42: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P1 (s. Abschnitt 7.3.2) bei den „Kleehäusern“



Bei der Gegenüberstellung der unterschiedlichen Technologieoptionen zur Wärme- und Warmwasserbereitstellung sowie der für den vollständigen Ausgleich der Primärenergiebilanz nötigen Flächen der Solarstromanlagen zeigen sich bei den beiden Gebäuden trotz der unterschiedlichen Typologien, Nutzungsprofile und Energiebedarfe vergleichbare Muster bei den beschriebenen Faktoren (s. Abbildung 7-41 bis Abbildung 7-44). Der Einfluss der verschiedenen Technologien wird unter Einbeziehung der in Anhang A.9 gezeigten weiteren Berechnungsergebnisse kurz je Faktor dargestellt.

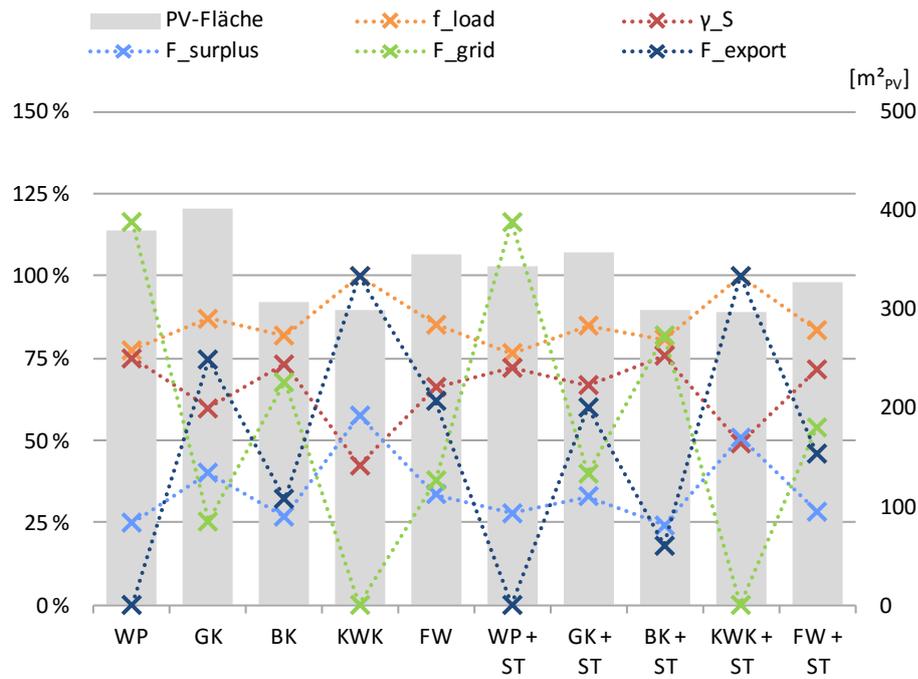


Abbildung 7-43: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei asymmetrischen Gewichtungsfaktoren nach P3 (s. Abschnitt 7.3.2) beim Kindergarten „Die Sprösslinge“

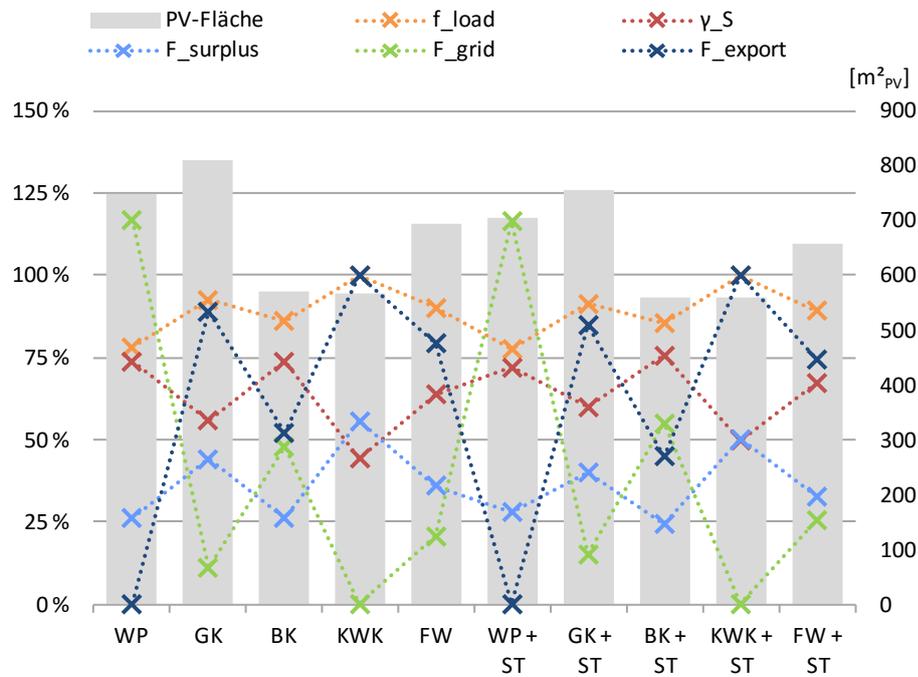


Abbildung 7-44: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei asymmetrischen Gewichtungsfaktoren nach P3 (s. Abschnitt 7.3.2) bei den „Kleehäusern“

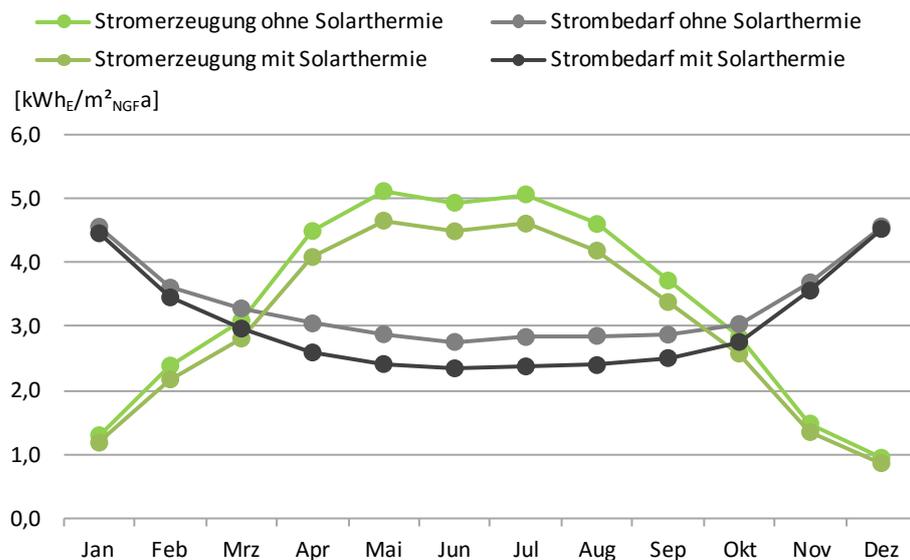
### 7.8.1 Fiktive Eigenbedarfsdeckung „f<sub>load</sub> - load match index“

Die fiktive Eigenbedarfsdeckung liegt durchgängig auf hohem Niveau. Eine durchgehend 100 %ige Deckung der monatlichen Stromverbräuche wird jedoch nur bei den beiden KWK-Lösungen erzielt. Die hohen winterlichen Stromerträge aus der KWK-Anlage ergänzen die hohen sommerlichen Stromerträge der Solarstromanlage. Die erforderliche Größe der Solarstromanlage zum Erreichen einer ausgeglichenen Jahresprimärenergiebilanz ist verhältnismäßig gering gegenüber den übrigen technologischen Lösungen. Ähnlich hohe Werte für die Eigenbedarfsdeckung (ca. 90 %) ergeben sich nur bei den beiden Varianten mit Gaskessel (GK und GK + ST) und Fernwärme (FW und FW + ST). Grund hierfür sind die sehr großen PV-Anlagen, die den primärenergetisch schlecht gewichteten Bezug von Gas bzw. Fernwärme ausgleichen müssen. Die Wärme-

pumpenvarianten erreichen trotz relativ großer PV-Anlagen stets Werte unter 80 %. Hier können vor allem die winterlichen Strombezüge der Wärmepumpen selten zu großen Anteilen gedeckt werden (s. Abbildung 7-45). Die Hinzunahme von solarthermischen Anlagen verringert die Deckungsraten durchgängig unmerklich. Sie wirken sich vor allem auf die Menge des Bezugs des Energieträgers für die Wärme- und Warmwasserbereitstellung aus und erhalten demnach erst durch die leicht veränderte Primärenergiebilanz und die nötigen PV-Flächen eine Relevanz. Der Effekt der Nutz- bzw. Endenergieeinsparung wird hier nicht wiedergegeben. Bei der Nutzung von Wärmepumpen wird die Deckungsrate durch solarthermische Anlagen kaum verändert, weil geringeren Strombedarfen in den Sommermonaten auch geringere Stromerträge gegenüberstehen (s. Abbildung 7-45).



Abbildung 7-45: Vergleich von Strombedarf und Stromerzeugung mit und ohne Nutzung einer solarthermischen Anlage beim Beispielgebäude Kindergarten „Die Sprösslinge“ bei Nutzung einer Wärmepumpe



Hohe Deckungsraten ergeben sich vor allem bei großen Stromerträgen. Geringe Anforderungen an große Solarstromanlagen lassen sich aber nur bei der Nutzung von KWK-Anlagen realisieren. Verringerte Strombedarfe machen sich auf Grund der gleichzeitig möglichen Verringerung der Leistung von PV-Anlagen wenig bemerkbar.

Bei positiven Energiebilanzen mit und ohne Energieträgerwechsel steigen die Deckungsraten auf Grund gesteigerter Solarstromerträge während der Übergangs- und Winterzeiten (s. Anhang A.9.1). Sommerliche Mehrerträge fallen nicht ins Gewicht, da der Strombedarf hier ohnehin durchgehend gedeckt werden kann. Bei veränderten Gewichtungsoptionen ergibt allein die Anpassung der Größe der Solarstromanlagen veränderte Deckungsraten. Vor allem die sehr großen Kapazitäten bei der Hinzunahme der erneuerbaren Anteile im Primärenergiefaktor von Biomasse und mögliche zukünftige Gewichtungen mit sehr geringen Gutschriften für Solarstrom (Szenario 2050) erhöhen die Deckungsraten fast durchgängig auf bis zu 100 % (s. Anhang A.10). Die Lösungen mit Wärmepumpen werden hierbei weniger beeinflusst.

### 7.8.2 Fiktive Eigenertragsnutzung „γ<sub>s</sub> - supply cover factor“

Der Grad des eigenen Verbrauchs von vor Ort erzeugtem Strom (Eigenertragsnutzung) liegt größtenteils zwischen 50 und 80 %. Somit werden meist die überwiegenden Anteile des selbst und vor Ort erzeugten Stroms im Gebäude verbraucht, während eher kleinere Anteile eingespeist werden. „γ<sub>s</sub>“ ist beson-

ders bei der Kombination von PV- und KWK-Anlagen gering. Hier wird ganzjährig pro Monat mehr Strom erzeugt als verbraucht, um den Gasbezug in der Gesamtbilanz ausgleichen zu können. Bei Biomassekesseln und Wärmepumpen ist die Eigenerntragsnutzung groß. Während Biomassekessel bei der jetzig üblichen Primärenergiegewichtung geringe Größen bei den Solarstromanlagen und damit gegenüber dem Bedarf eher ähnliche Stromerträge ermöglichen, führt die Nutzung von Wärmepumpen zu durchgängigen und verhältnismäßig hohen Strombedarfen, die der Erzeugung je Monat gegenübergestellt werden. Solarthermische Anlagen verringern die Quote des eigenen Verbrauchs der „on-site“-Erzeugung bei Wärmepumpen leicht, da die Erzeugung in den Wintermonaten durch dann etwas kleinere Solarstromanlagen deutlicher sinkt als der Strombedarf (s. Abbildung 7-45). Bei allen übrigen Technologieoptionen erhöhen sich die Anteile des selbst genutzten Stroms durch die Hinzunahme von Solarthermieanlagen leicht. Bei den gasgefeuerten Varianten mit Gaskessel und BHKW steigen sie sogar merklich um bis zu 8 %. Etwas kleiner dimensionierte Solarstromanlagen erzeugen während der Sommermonate weniger Stromerträge und -überschüsse.

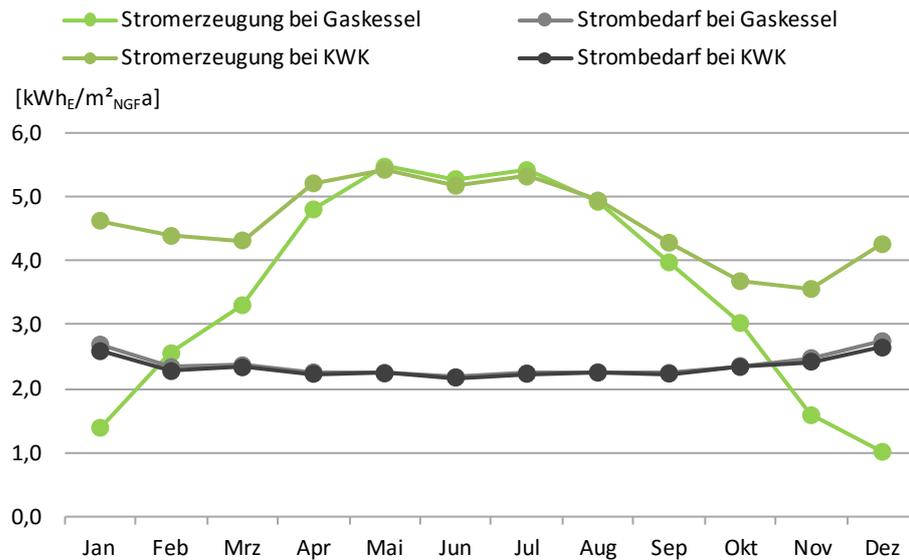
Bei Plusenergiebilanzen (durch Erweiterung der Bilanzgrenze) sinkt „ $\gamma_s$ “ durch steigende Solarstromerträge während der Sommermonate (s. Abbildung 7-48 ff. und Anhang A.9.1). Bei Veränderung der Gewichtungsstrategien wird die Eigenerntragsnutzung ebenfalls durch die Veränderung der Größe der Solarstromanlagen dahingehend beeinflusst, dass die Eigenerntragsnutzung tendenziell abnimmt. Sie erreicht nie mehr als 75 % und nicht selten weniger als 50 %. Bei extremen Gewichtungsfaktoren und Anlagenauslegungen mit Umrechnungsfaktoren auf Basis des Stromnetzscenario 2050 fällt „ $\gamma_s$ “ meist unter 10 %. Allein Wärmepumpenlösungen erweisen sich erneut als robust und ermöglichen eine direkte Nutzung von etwa der Hälfte des eigenen Stromertrags.

### 7.8.3 Fiktive Überschusseinspeisung $F_{\text{surplus}}$

Als Gegenpart zu „ $\gamma_s$ “ weist die fiktive Überschusseinspeisung die Anteile des erzeugten Stroms aus, die nicht am Gebäude genutzt werden und in das Stromnetz eingespeist werden. Demnach drehen sich die im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Erkenntnisse um. Hohe Einspeiseanteile bewirken KWK-Anlagen. Diese sind jedoch homogen über das Jahr verteilt und daher weniger belastend für das Stromnetz als saisonale Einspeisespitzen der übrigen Wärmeversorgungsvarianten. Während aus den oben genannten Gründen Wärmepumpen und Biomassekessel geringere Überschusseinspeisungen aufweisen (unter 30 %), führt vor allem der Energieträgertausch bei Gaskesseln mit unvorteilhaften Primärenergiegewichtungen zu einem inhomogenen saisonalen Lastprofil (s. Abbildung 7-46). Der Einfluss von Solarthermieanlagen ist erneut eher gering (vgl. Abschnitt 7.8.2). Bei positivem Bilanzergebnis für die Betriebsenergie steigt die Quote des eingespeisten Stromüberschusses durch die größeren Erträge. Analog zu den sinkenden Raten zur eigenen Nutzung von Stromerträgen steigt die Überschusseinspeisung bei Anwendung zukünftiger Umrechnungsfaktoren (Stromnetzscenario 2050).



Abbildung 7-46: Vergleich von Strombedarf und Stromerzeugung bei Nutzung eines Gaskessels und einer KWK-Anlage beim Beispielgebäude Kindergarten „Die Sprösslinge“. Während die sommerlichen Erträge jeweils sehr ähnlich sind, wird bei der KWK-Variante auch in Winterzeiten Strom in das Netz eingespeist



#### 7.8.4 Faktor der fiktiven Netznutzung „ $F_{\text{grid}}$ - grid utilization factor“

Die über den Faktor „ $F_{\text{grid}}$ “ beschriebene fiktive jährliche Nutzung des Stromnetzes als Saisonspeicher (Netzbelastung) erreicht sehr unterschiedliche Ergebnisse bei den einzelnen Technologien. Die KWK-Anwendungen erwirken keine Netzbelastungen durch dessen Speichernutzung über den Zeitraum eines Monats hinaus. Auf Grund des nötigen Ausgleichs des Gasbezugs und der über den Jahreszyklus konstanten Stromerzeugung werden zwar Stromüberschüsse in das Netz eingespeist, diese jedoch nicht zurückgefordert (s. folgender Abschnitt 7.8.5). Die Stromerzeugung übersteigt in jedem Monat den Strombedarf (s. Abbildung 7-46). Bei den Nur-Strom-Gebäuden dreht sich dieses Bild um. Hier wird infolge der genau ausgeglichenen Jahresenergiebilanz und dem Wegfall der Kompensation eines zweiten Energieträgers der gesamte eingespeiste Strom im Stromnetz zwischengespeichert und im Verlauf der nicht ausgeglichenen Wintermonate durch das Gebäude zurückgefordert. Im Fall einer asymmetrischen Gewichtung zwischen Stromexport und -import wird bei Nur-Strom-Gebäuden und der zu Grunde gelegten primärenergetischen Bilanzierung faktisch weniger Strom erzeugt bzw. ein geringerer Stromertrag induziert als tatsächlich endenergetisch nötig ist, um sämtliche Strombedarfe ausgleichen zu können (s. Abbildung 7-47). Daher steigt die Netznutzung auf Werte zwischen 100 und 120 %. Hiermit werden die zusätzlich zu erwerbenden Strommengen einbezogen. Gleiches ist der Fall, wenn die Jahresenergiebilanz nicht ausgeglichen werden kann (s. bspw. Tabelle A-21). Bei Plusenergiebilanzen gilt, dass die Speicherinanspruchnahme abnimmt, je größer der Stromüberschuss ist. Hintergrund ist, dass einzelne Monatsbilanzen häufiger ausgeglichen werden können (s. bspw. Abbildung 7-49 und vgl. Tabelle A-22 und Tabelle A-23).

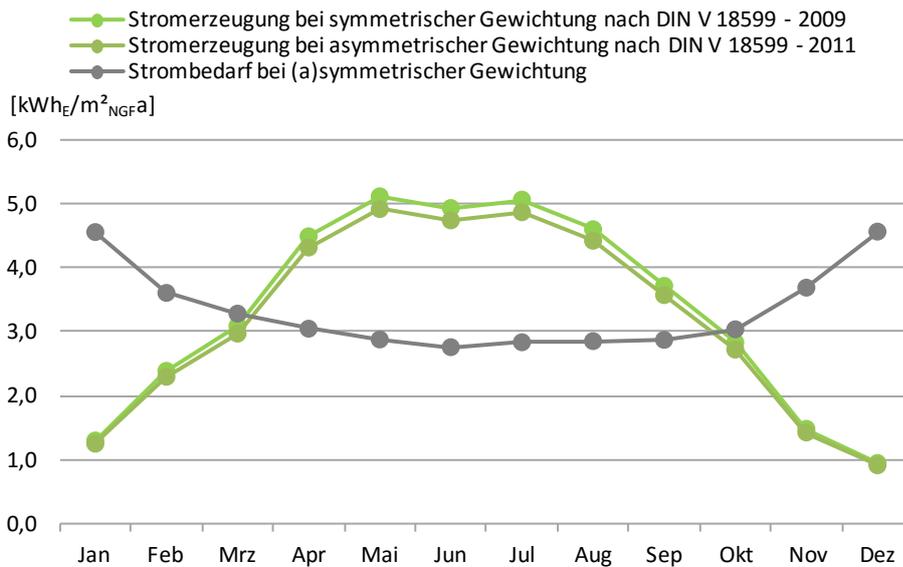


Abbildung 7-47: Gegenüberstellung von gleichbleibendem Strombedarf aber unterschiedlich hoher Energieerzeugung bei Primärenergiebilanzen mit symmetrischer und asymmetrischer Gewichtung nach DIN V 1899 - 2009 und DIN V 18599 - 2011. Auf Primärenergiebasis wird in beiden Fällen ein ausgeglichenes Ergebnis erzielt, während trotz des Konzepts des Nur-Strom-Hauses die Strombilanz auf Endenergieebene nur bei der symmetrischen Gewichtung aufgeht

Bei den drei übrigen Wärmeerzeugern liegt „ $F_{grid}$ “ bei ausgeglichenen Energiebilanzen zwischen knapp 10 % („Kleehäuser“ mit Gaskessel und symmetrischer Gewichtung) und 80 % (Kindergarten mit Biomassekessel und Solarthermie bei asymmetrischer Gewichtung nach DIN V 18599 - 2011). Die Beanspruchung der Speicherleistung des Stromnetzes ist dann niedrig, wenn sich durch die Gewichtungsfaktoren ein geringer Gesamtprimärenergie- und daraus folgend PV-Flächenbedarf ergibt, und somit trotz Energieträger- bzw. Biomassekompensation der Jahresstromertrag ähnlich groß ist wie der Jahresstrombedarf. Abgesehen von den Nur-Strom-Gebäuden und KWK-Konzepten steigt die Benutzung des Netzes als Pufferspeicher beim Einsatz von Solarthermieanlagen mitunter deutlich ( $\emptyset$  +14 % beim Kindergarten). Sie erlangen Relevanz, weil sie den Strombedarf leicht steigern (Hilfsstrom der Pumpen), der nötige Stromertrag für den Primärenergieausgleich aber wesentlich deutlicher abnehmen kann. Dem Stromnetz wird ein geringerer Überschussanteil überlassen (s. Abschnitt 7.8.5). Beim Wohnhausprojekt „Kleehäuser“ ist der mittlere Anstieg der Speichernutzung auf Grund der Größe des Projekt kleiner (+5 %).

Ähnlich wie bei den vorangegangenen Faktoren sorgen extrem große Solarstromanlagen für extreme Ergebnisse. Das Stromnetz wird hier kaum als Saisonspeicher in Anspruch genommen (s. Abbildung A-26 f.).

### 7.8.5 Faktor des fiktiven Netto-Stromexports „ $F_{export}$ - Net Yearly Export“

Wie in Kapitel 4 beschrieben, ist eine umfangreiche Nutzung von biogenen Energieträgern im Kontext von Gebäuden kritisch zu sehen. Gebäude haben kein Potenzial die verbrauchte Biomasse zu ersetzen, sondern können diese im Fall von Nullenergiegebäuden lediglich in einer primärenergetischen oder emissionsbasierten Energiebilanz ausgleichen. Als Gegenpart zu „ $F_{grid}$ “ gibt „ $F_{export}$ “ denjenigen Anteil des eingespeisten Stroms an, der dem Stromnetz jährlich überlassen wird, hier den Anteil der erneuerbaren Energieerzeugung erhöht, und bei einer ausgeglichenen Energiebilanz zur Kompensation eines weiteren Energieträgers dient. Ein hoher Netto-Stromexport bedeutet in

diesem Zuge einen umfänglichen Energieträgerwechsel und unter Umständen eine geringere Nachhaltigkeit.

Bei Einsatz von Wärmepumpen entsteht bei ausgeglichener Energiebilanz üblicherweise kein Überschuss in der Jahresstrombilanz (s. Abbildung 7-41 f.). Vorübergehend exportierter Strom wird während der Wintermonate aus dem Netz zurückbezogen. Bei allen übrigen Maßnahmen zur Wärmebereitstellung beträgt „ $F_{\text{export}}$ “ nicht selten 50 % und mehr. Hier müssen primärenergetisch (hoch) bewertete Bezüge von Gas, Fernwärme oder Biomasse ausgeglichen werden. Bei den gasgefeuerten KWK-Ansätzen wird sämtlicher eingespeister Strom dem Stromnetz in relativ gleichbleibendem Umfang überlassen (s. Abbildung 7-38 und Abbildung 7-46). Zu Lasten des Gasnetzes wird hier Strom am Gebäude bzw. im Quartier erzeugt. Bei den übrigen Konzepten verläuft die Quote des dem Stromnetz vollständig überlassenen und nicht zu einem anderen Zeitpunkt reimportierten Stroms parallel zur nötigen Größe der PV-Anlage. Je ungünstiger der Primärenergiefaktor und der sich daraus ergebende Gesamt-Primärenergiebedarf sind, desto mehr steigt die Fläche der Solarstromanlage und die Quote von „ $F_{\text{export}}$ “. Insofern mindern thermische Solaranlagen diese Quote durch geringere nötige Überschussanteile (Minderung beim Kindergarten analog zu „ $F_{\text{grid}}$ “  $\emptyset$  -14 %).

Sofern positive Energiebilanzen erzielt werden, steigen die Anteile der zusätzlich erzeugten Strommengen und werden höhere Quoten ohne Reimportanspruch an das Stromnetz überführt (höheres „ $F_{\text{surplus}}$ “ und „ $F_{\text{export}}$ “). Bei monatlicher Gewichtung auf Basis zukünftiger Emissionskennwerte des Stromnetzes (Szenario C3 und C4, s. Abschnitt 7.3.2) und übergroßen Solarstromanlagen bzw. -erträgen werden meist in allen Monaten ausgeglichene Strombilanzen erzielt, so dass eingespeiste Überschüsse vollständig dem Stromnetzes überlassen und die Gebäude tatsächlich zu kleinen Kraftwerken werden (würden)<sup>152</sup> (s. Abbildung A-26 f.). Während die Eigenbedarfsdeckung steigt, sinkt die jährliche Eigenertragsnutzung. Diese Erkenntnisse bestätigen sich, sobald Energieverbräuche außerhalb der Betriebsenergiebilanz von Gebäuden einbezogen und Jahresüberschüsse erzielt werden (s. Abbildung 7-48 und Abbildung 7-49).

Zusammenfassend wird ersichtlich, dass sich (saisonal) homogene Stromerträge sowie eine hohe Eigenbedarfsdeckung durch das Zusammenspiel mehrerer Stromerzeuger vor Ort ergeben (in den gewählten Fällen PV und KWK). Dies bestätigt sich für die meisten Gewichtungsszenarien und wirkt sich zudem im Mittel vorteilhaft auf die nötige Fläche von Solarstromanlagen aus. Der Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung schafft gestalterische Freiheiten. KWK-Anlagen bieten durch winterliche Stromerträge aus Sicht der Energiewirtschaft die passende Ergänzung zu während der Sommerzeit erzeugenden Solarstromanlagen und der steigenden Zahl an Nur-Strom-Gebäuden. Diese sind gegenüber möglichen Veränderungen der Umrechnungsfaktoren für Strom wiederum besonders robust, können ein gewünschtes, saisonal gleichmäßiges Lastprofil allerdings kaum bieten. Einspeisespitzen und Belastungen stehen der Verfügbarkeit der erneuerbaren Energiebereitstellung im Stromnetz entgegen. Die Eigenbedarfsdeckung ist hierbei ebenfalls schlechter als bei anderen Wärmerezeugern. Um die Quote zu erhöhen, muss die Leistung der Solarstromanlage über den eigentlichen Bedarf hinaus vergrößert werden. Aus Sicht der Gebäudeeigentümer bieten Wärmepumpen aber hohe Anteile an selbst verbrauchten Stromerträgen und somit bei möglicher kurzzeitiger Speicherung finanzielle Vorteile. Biomassekessel ermöglichen im Mittel annehmbare Ergebnisse über die Faktoren. Hierbei ist vor allem der geringe PV-Flächenbedarf ein Pluspunkt.

<sup>152</sup> Diese Annahme ist hypothetisch, da sich die nötigen Flächen der Solarstromanlagen nicht auf oder an den Gebäuden installieren ließen (s. Abschnitt 7.3.2)

Bei einer asymmetrischen Gewichtung zwischen Energiebedarf und -export ergibt sich in einer Bilanz mit hohem Anteil exportierter erneuerbarer Energie eine günstigere Energiekennzahl als bei hoher Eigennutzung. Diese Berechnungsmethode begünstigt die Solarstrom-Erzeugung über den Eigenbedarf hinaus, während die Vermeidung von großen Belastungen für das Stromnetz verfehlt wird. Eine monatliche Gewichtung mit zeitlich variierenden Umrechnungsfaktoren (Stromnetzscenario 2050) gewichtet sommerliche Stromerträge in der Primärenergiebilanz weniger hoch als winterliche Strombezüge. Es entstehen ein (fiktives) Ungleichgewicht in der Strombilanz und damit ein erhöhter Flächenbedarf für die PV. Dieses Phänomen wird massiv gesteigert, sobald ein zusätzlicher, ausgleichender Energieträger hinzukommt. Die Solarstromerträge kommen nicht mehr dem Gebäude zu Gute, werden zu sehr großen Anteilen in das Stromnetz eingespeist und nicht reimportiert. Gebäude werden hierbei rechnerisch zu einem Netto-Stromexporteur oder kleinen Kraftwerken. Die nötigen PV-Flächen sind dabei aber nicht mehr realisierbar.

Der Einsatz von Solarthermie hat meist eine nachgeordnete Wirkung auf größere Deckungsraten. Der Effekt der Nutz- bzw. Endenergieeinsparung tritt durch die Primärenergiebilanzierungen kaum auf. Allerdings erzielen sparsamere Gebäude in der Regel etwas höhere Anteile an selbst genutztem Strom. Je höher die Primärenergiefaktoren für Brennstoffe sind, desto merklicher wird der Einsatz von solarthermischen Anlagen.

In einer Primärenergie- oder CO<sub>2</sub>-Bilanz überlagern sich zuweilen verschiedene Effekte (s. vorangegangene Abschnitte), so dass die Anwendung der aufgezeigten Faktoren über das Bilanzergebnis hinaus zusätzliche Hinweise auf die (gesamt-)energetische Rolle der Gebäude gibt. Insgesamt erscheint eine Kombination von Faktoren sinnvoll, da einzelne Faktoren unterschiedlich beeinflusst werden können. Bspw. kann die Eigenbedarfsdeckung durch sehr große Bedarfe, extrem große Erträge oder die eigentlich gewünscht Anpassung der beiden Aspekte erreicht werden. Zudem ist die Aussage der Faktoren nicht aus allen Blickrichtungen gleich wertvoll. So kann z.B. eine hohe Eigenbedarfsdeckung auch eine große Belastung des Stromnetzes bedeuten, wenn Solarstromanlagen für hohe winterliche Deckungsquoten überdimensioniert werden.

Die massive und für die Untersuchung bewusst extreme Veränderung der Ausrichtung oder Neigung von Solarstromanlagen hat kaum Einfluss auf die Deckungsfaktoren, da auch hierbei vollständig ausgeglichene Primärenergiebilanzen erreicht und Monatswerte verglichen werden. Die nötigen Flächen für die Solarstromanlagen steigen. Während der Übergangs- und Winterzeiten sind die Stromerträge von vertikal geneigten PV-Anlagen minimal erhöht und das saisonale Stromlastprofil etwas gleichmäßiger. Somit steigen die Eigenbedarfsdeckung nach „ $f_{load}$ “ sowie die jährliche Eigenenergienutzung „ $\gamma_s$ “ leicht an, während „ $F_{surplus}$ “ sinkt. Die Netzbelastung verändert sich nicht. Bei gen Westen orientierten PV-Anlagen drehen sich diese Phänomene um. Hier steigen die sommerlichen Stromerträge, während sich in Winterzeiten kaum Solarstromertrag einstellt (vgl. bspw. Abbildung 7-41 und Abbildung 7-48). Übergreifend gilt, dass die Veränderungen der PV bei der Hinzunahme einer KWK-Anlage keinen Einfluss auf die Faktoren haben (vgl. Abbildung 7-42 und Abbildung 7-50).



Abbildung 7-48: Ergebnisse der fünf Faktoren bei Nutzung einer Wärmepumpe und symmetrischer Gewichtung nach DIN V 18599 - 2009 bei Erweiterung der Bilanzgrenze um die Graue Energie sowie bei Veränderung der Orientierung und/oder Neigung der PV-Module (Beispielgebäude Kindergarten „Die Sprösslinge“)

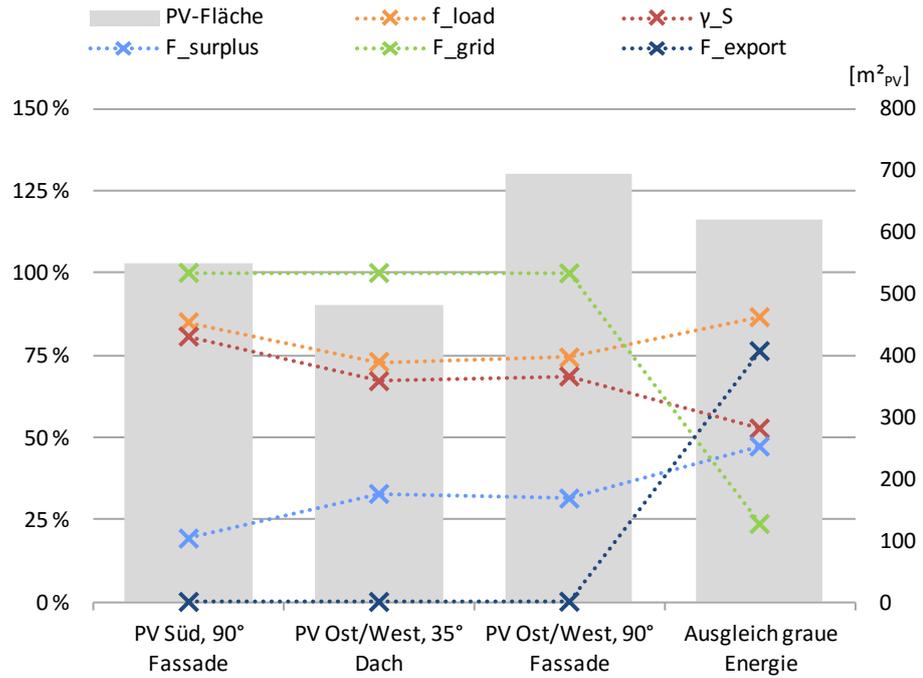
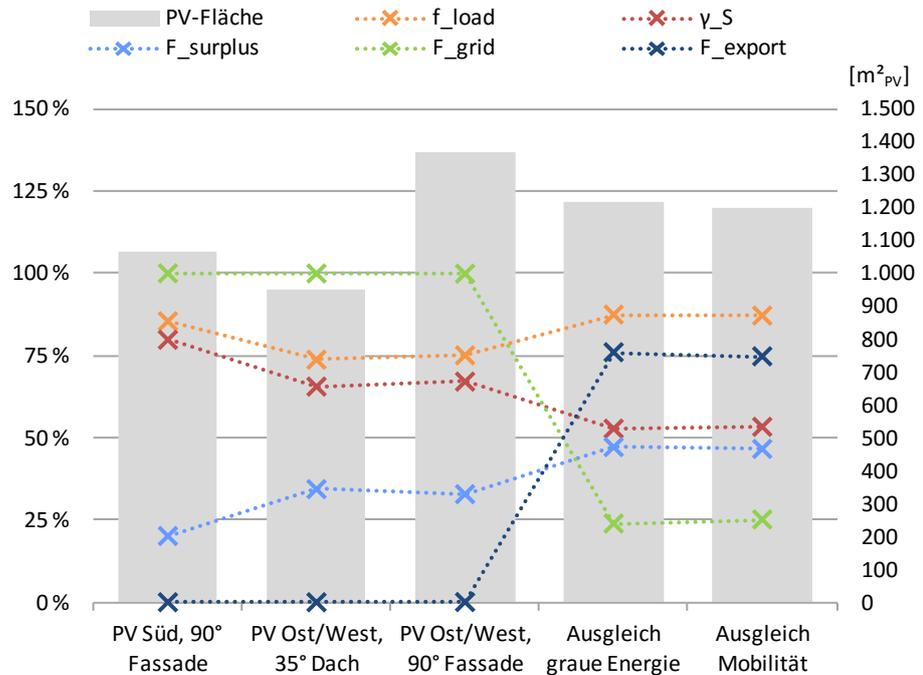


Abbildung 7-49: Ergebnisse der fünf Faktoren bei Nutzung einer Wärmepumpe und symmetrischer Gewichtung nach DIN V 18599 - 2009 bei Erweiterung der Bilanzgrenze um die Graue Energie und den Ausgleich der nicht gebäudegekoppelten Elektromobilität sowie bei Veränderung der Orientierung und/oder Neigung der PV-Module (Beispielgebäude „Kleehäuser“)



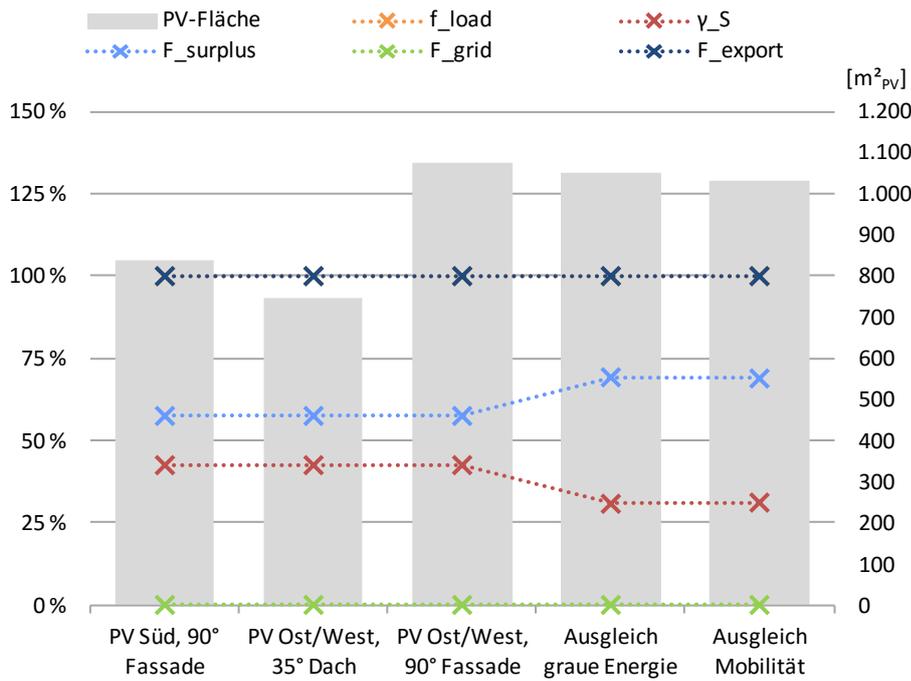


Abbildung 7-50: Ergebnisse der fünf Faktoren bei Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung und symmetrischer Gewichtung nach DIN V 18599 - 2009 bei Erweiterung der Bilanzgrenze um die Graue Energie und den Ausgleich der nicht gebäudegekoppelten Elektromobilität sowie bei Veränderung der Orientierung und/oder Neigung der PV-Module (Beispielgebäude „Kleehäuser“).  $F_{load}$  wird durch  $F_{export}$  verdeckt

### 7.8.6 Verschiebung und Flexibilisierung von (Strom-)Lasten und -erträgen

Auch wenn aus Sicht der Gebäudeplanung und den aktuellen Normen in Deutschland und Europa die gezeigte monatliche Betrachtung den Schwerpunkt der Gebäude-Netz-Interaktion bildet und hierüber das Ressourcen-Management fokussiert wird, werfen gerade die tageszeitlichen Leistungsunterschiede zwischen Energieertrag und -erzeugung Probleme für die Netzstabilität auf. Bei Wohngebäuden wird bspw. meist dann Solarstrom erzeugt, wenn niemand zu Hause ist (s. Abschnitt 7.4.2). Während das größte Erzeugungspotenzial mittags auftritt, liegt die Hauptstromlast in den frühen Morgen- und Abendstunden (s. Abbildung 7-51 bis Abbildung 7-53).

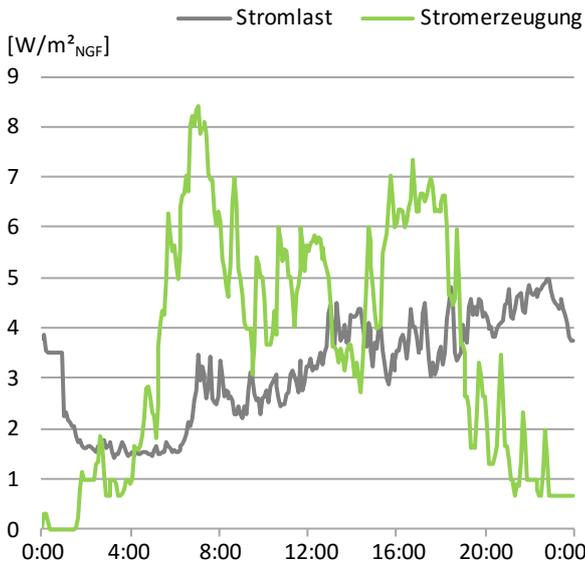


Abbildung 7-51: Mittlerer elektrischer Werktags-Lastgang eines mit einem Mini-Blockheizkraftwerk versorgten Gründerzeit-Mehrfamilienhauses in Wuppertal (gemessene 5-Minuten-Mittelwerte, Wärme-geführter Betrieb)

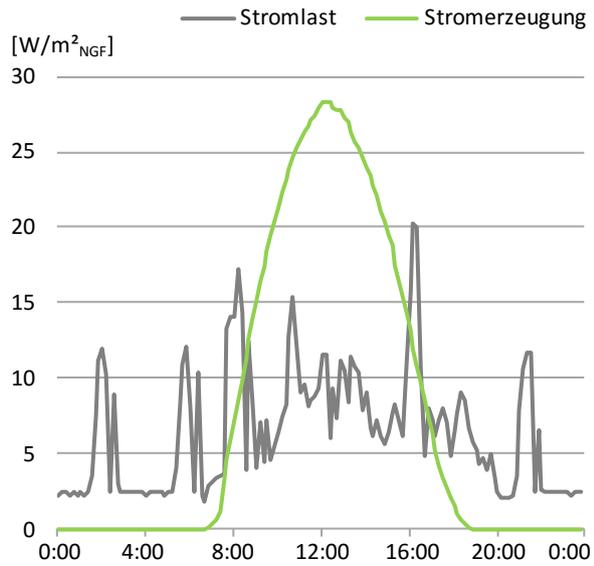


Abbildung 7-52: Elektrischer Lastgang des Nur-Strom-Gebäudes Kindergarten „Die Sprösslinge“ am 21.3.2012 (gemessene 10-Minuten-Mittelwerte)

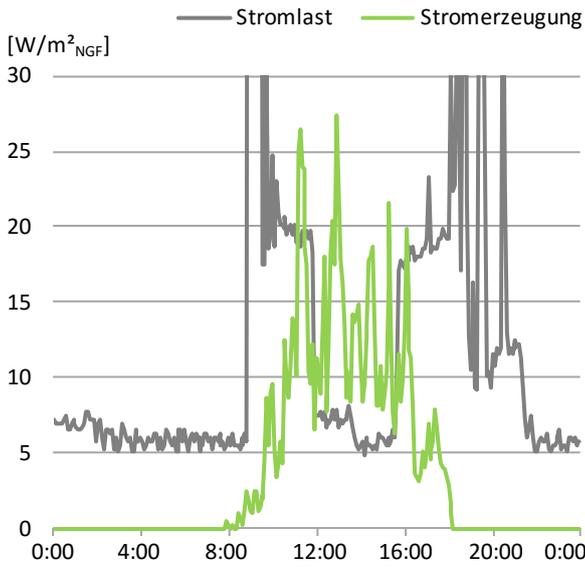


Abbildung 7-53: Elektrischer Lastgang des experimentellen Nur-Strom-Hauses zum Solar Decathlon des Teams Wuppertal am 21.3.2012 am Standort Wuppertal (gemessene 5-Minuten-Mittelwerte)

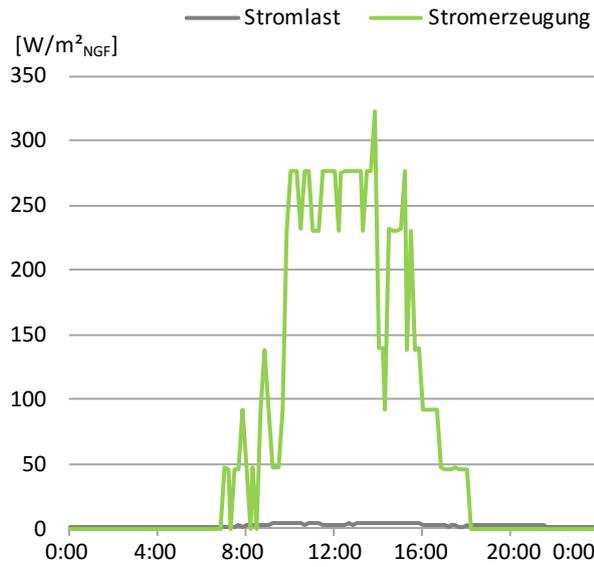


Abbildung 7-54: Elektrischer Lastgang des Hochschulgebäudes „Enerpos“ in Saint-Pierre, La Reunion (Indischer Ozean, FR\_4 - Seite 36) am 21.3.2011 (gemessene 10-Minuten-Mittelwerte). Das Gebäude muss nicht aktiv geheizt oder gekühlt werden. Die Solarstromanlage erzeugt in der Jahresbilanz einen mehrfachen Stromüberschuss

Die Potenziale zur simultanen Eigenbedarfsdeckung sind in unseren Klimaten eher gering. Somit können erst Lastprofile mit einer Auflösung von unter einem Tag tatsächliche Aufschlüsse darüber geben, inwiefern der Energiebedarf direkt gedeckt oder Strom zu Zeiten hoher Nachfrage eingespeist wird. Hoch aufgelöste Betrachtungsintervalle sind aus Sicht der Netzbetreiber und -forscher relevant und geben Aufschluss über den Grad der Flexibilität des gebäudeeigenen Lastprofils. Während KWK-Anlagen auch hier bereits eine

höhere Synchronisierung ermöglichen (s. Abbildung 7-51 und [Arbach 2013], bieten sich weitere Optionen zur Erhöhung der Eigenbedarfsdeckung bzw. Verringerung der Netzbelastung:

- Kurzzeitspeicherung von Strom in Batterien (fiktive Erweiterung der Dauer der erneuerbaren Stromerzeugung): Auf Gebäudeebene wird über den Tagesverlauf länger erneuerbar erzeugter Strom bereitgestellt und so mit dem Strombedarf harmonisiert. Das Stromnetz wird indirekt weniger belastet. Der Betrieb von Wärmepumpen über Batterien bietet sich hingegen auf Grund des in Abbildung 7-40 gezeigten typischen Stromprofils für Nur-Strom-Gebäude und die hohen Lasten bzw. dazu nötigen Erzeugungs- und Speicherkapazitäten kaum an.
- Verschiebung bzw. Differenzierung der Stromerzeugung: Thermische Pufferspeicher bieten die Möglichkeit der Flexibilisierung des Betriebs von KWK-Anlagen und deren Strombereitstellung (Strom-Wärmegeführter Betrieb). Durch eingespeiste Prognoseprofile gemäß den Strombezugskosten der elektrischen Last können KWK-Anlagen gesteuert und die dabei erzeugte Wärme für eine spätere Nutzung zwischengespeichert werden. Anreiz hierzu ist der maximierte wirtschaftliche Gewinn des Anlagenbetreibers (Minimierung der Strombezugskosten). Die Einführung von (zeit-)variablen Stromtarifen als Steuerungsgröße analog zu den Strompreisen an der Strombörse kann ebenfalls monetäre Unterschiede und damit Interesse für Gebäudeeigentümer und -betreiber hervorrufen. Als hierüber steuerbare Stromerzeuger in einem Netz mit steigenden Anteilen fluktuierender Energieträger (Wind- und Solarstrom) werden die Bedürfnisse des Stromnetzes an die Gebäude bzw. Verbraucher weitergegeben und Diskrepanzen zwischen Stromerzeugung und -verbrauch lokal dadurch angeglichen, dass Stromexporte zu Zeiten hoher Nachfrage erfolgen. Im Falle von [WestLB 2012] wurden die beiden Steuerungsgrößen zu einem Tarifsignal kombiniert (s. Abschnitt 7.8.6.2).

Alternativ können Solarstromanlagen differenziert ausgerichtet werden, um über einen längeren Zeitraum eines Tages Strom bedarfsgerecht zu generieren. Entgegen der bisherigen Praxis der auf ökonomischen Interessen beruhenden Südausrichtung sowie optimierten Neigungen, bieten bspw. ost- bzw. westorientierte Solarstromanlagen leicht erhöhte Erträge während der Morgen- bzw. Abendstunden.

- Lastverschiebung: Stromlasten von Haushaltsgeräten lassen sich durch Automationssysteme zeitlich in die Zeitpunkte verschieben, in denen Solarstrom erzeugt wird oder das Stromnetz gezielt belastet werden kann („Smart Building“). In ähnlicher Weise kann die Stromlast von Wärmepumpen durch die Speicherung von Wärme in thermischen Pufferspeichern oder der Speichermasse der Gebäudekonstruktion in die Zeitpunkte verlegt werden, in denen Solarstrom zur Verfügung steht. Das saisonale Ungleichgewicht von Stromertrag und -bedarf (s. Abbildung 7-40) zeigt, dass die Option während der Heizperiode begrenzt ist.

Für die Planung ergeben sich hierzu Schwierigkeiten bei dynamischen Simulationen, schwer abzubildenden Wetter-, Nutzer- und Ertragsprofilen, im weiteren Sinne schwankenden Bedürfnissen der Energieinfrastruktur sowie durch die

Kombination dieser Aspekte. Da der Fokus auf der Eigenbedarfsdeckung sowie der Gebäudeebene verbleiben sollte, werden drei Optionen hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die genannten Faktoren dargestellt. Die Betrachtung der Faktoren zur Netzinteraktion dient dabei als Hinweis auf die Lastverschiebung auf Basis von Netzanreizen und -signalen.

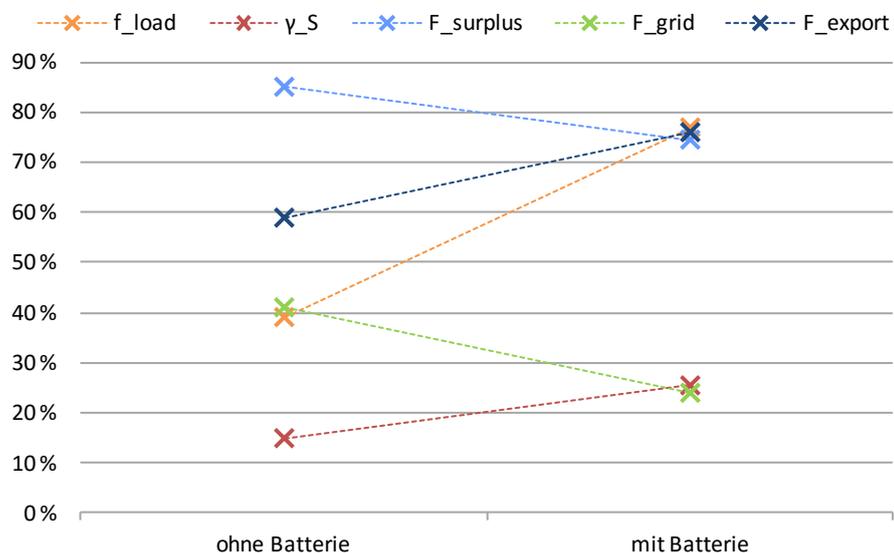
### 7.8.6.1 Batteriespeicher zur Erhöhung der Eigenbedarfsdeckung

Der Einfluss eines Batteriespeichers wird anhand von Simulationsdaten des Experimental- und Demonstrationshauses der Universität Wuppertal zum Solar Decathlon 2010 am Standort Wuppertal aufgezeigt (s. Abbildung 7-55).<sup>153</sup> Hier dient ein Batteriesatz aus vier Blei-Gel-Batterien mit einer Gesamtkapazität von 7,2 kWh zur Pufferung des Tagesstrombedarfs des Hauses. Über ein Energiemanagementsystem wird bei Solarstromertrag vorrangig der Strombedarf des Hauses gedeckt, dann die Batterien geladen und zuletzt in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Übersteigt die Solarstromerzeugung den Bedarf, werden die Batterien geladen. Übersteigt der Bedarf des Hauses und seiner Nutzer den Stromertrag, erfolgt die Versorgung mit Solarstrom indirekt aus dem Speicher. Die Interaktion mit dem Netz erfolgt nur, wenn zusätzlich Strom benötigt wird (Import, wenn keine eigene Erzeugung und Batterien entladen) oder über einen längeren Zeitraum große Überschüsse erzielt werden (Export, wenn Bedarf geringer als Ertrag und Batterien geladen). Durch die Batterien kann dem Bedarf häufiger Solarstrom gegenübergestellt werden. Der Bedarf wird nicht erhöht, da die Batterien nur durch Überschüsse geladen werden, nicht durch Netzstrom. Die Speicherverluste der Batterien werden durch geringere Kapazitäten, die dem Bedarf gegenübergestellt werden können, einbezogen.

<sup>153</sup> Die Simulationen wurden seinerzeit vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg erstellt



Abbildung 7-55: Vergleich der vorgestellten Faktoren mit und ohne Nutzung eines Batteriespeichers anhand von simulierten Stundenwerten für das Solar Decathlon Haus des Team Wuppertal am Standort Wuppertal



Die Nutzung des Batteriesatzes steigert die Eigenbedarfsdeckung „f<sub>load</sub>“ von 39 auf 77 %. Parallel steigt auch der Wert für die Eigenenertragsnutzung über den Zeitraum eines Jahres (von knapp 15 auf über 25 %), während die Überschusseinspeisung und die Netzbelastung jeweils sinken. Da die Speicherkapazität des Netzes weniger in Anspruch genommen wird, steigt der Anteil des fiktiven Netto-Stromexports. Der absolute Wert ist hier aber ebenfalls geringer.

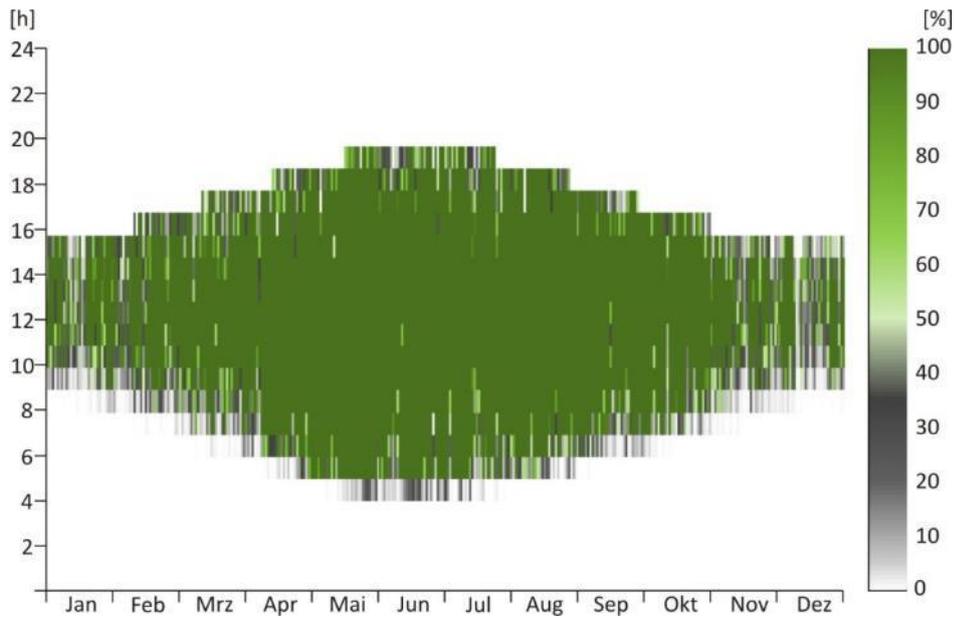


Abbildung 7-56: Stündliches Profil der Eigenbedarfsdeckung „ $f_{load}$ “ über den Zeitraum eines Jahres beim Solar Decathlon Haus des Team Wuppertal ohne Batteriespeicher

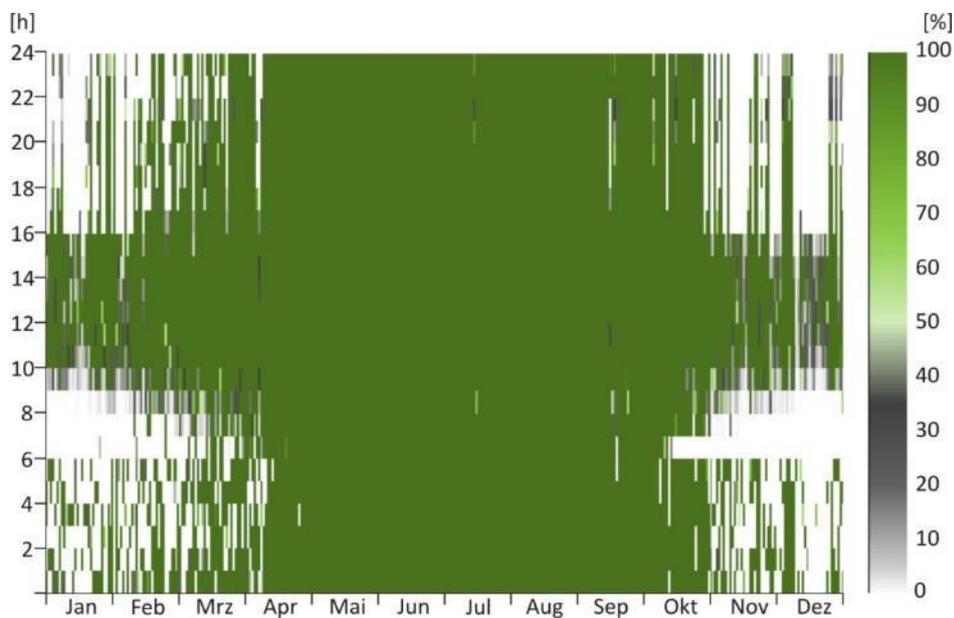


Abbildung 7-57: Stündliches Profil der Eigenbedarfsdeckung „ $f_{load}$ “ über den Zeitraum eines Jahres beim Solar Decathlon Haus des Team Wuppertal mit Batteriespeicher

Mit Hilfe des Batteriespeichers wird das Phänomen der tageszeitlichen Unterschiede zwischen Stromlast und -erzeugung aufgefangen. Dies verdeutlicht ein Vergleich der fünf vorgestellten Faktoren für die Monatsbetrachtung und die stündliche Betrachtung mit Batteriespeicher (vgl. jeweils rechte Spalte in Abbildung 7-39 und Abbildung 7-55). Die verhältnismäßig guten Kennwerte der weniger hoch aufgelösten Monatsbetrachtung werden bei stündlicher Betrachtung und Nutzung eines Batteriespeichers ebenfalls erreicht. Die Werte für den Jahresstromertrag und -bedarf unterscheiden sich in beiden Fällen nicht.

### 7.8.6.2 Anpassung der Erzeugung

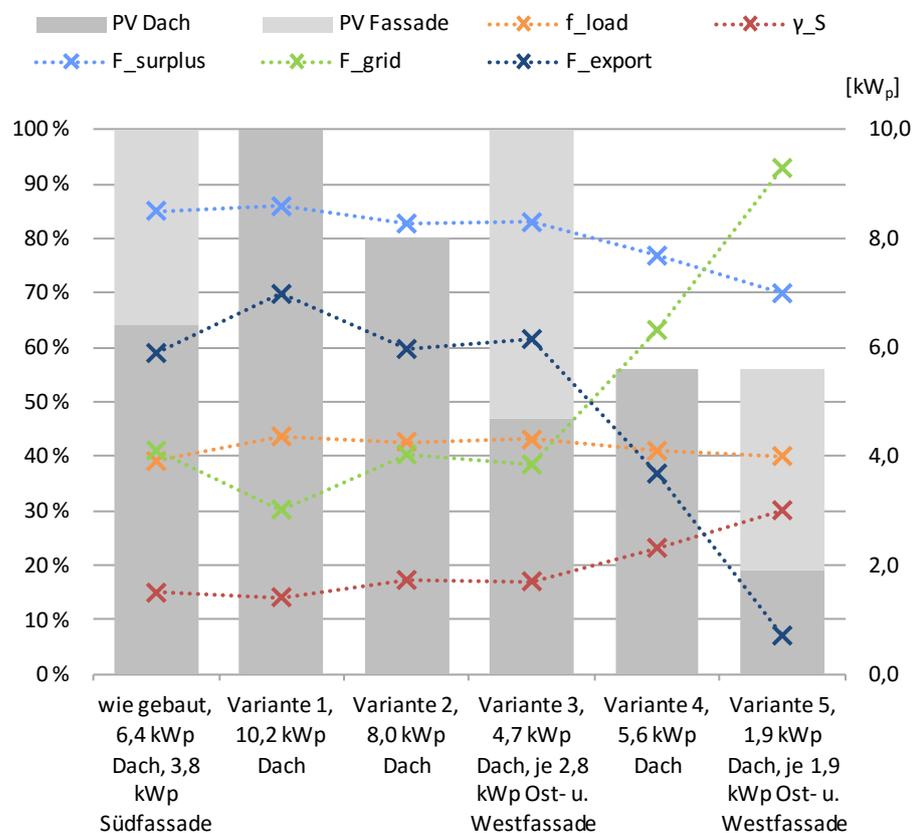
Als Alternative zum Anpassen der Verfügbarkeit von selbst erzeugtem Strom durch dessen Kurzzeitspeicherung in Batterien kann auch die Erzeugung an den Energiebedarf angepasst werden. Eine Möglichkeit hierzu bietet die differenziertere Orientierung und Neigung von Solarstromanlagen. Diese wurden bislang meist gemäß der optimalen finanziellen Ausbeute einheitlich orientiert und ausgerichtet. Anlass hierzu gab die in Deutschland lange Zeit gegenüber den Strompreisen recht hohe Einspeisevergütung für (Solar-)Strom (s. Kapitel

3.1.2.5). Auf Grund deren Verringerung und parallel steigender Strompreise bietet es sich mittlerweile bisweilen auch aus ökonomischen Gesichtspunkten an, erzeugten Strom vermehrt selbst zu verbrauchen. Soll dies ohne Zwischenspeicherung erfolgen, müssen gemäß Abbildung 7-51 bis Abbildung 7-53 Solaranlagen so ausgerichtet werden, dass sie während der Morgen- und Abendstunden Strom erzeugen.

Anhand des Experimental- und Demonstrationshauses der Universität Wuppertal kann der Effekt von differenziert ausgerichteten Solarstromanlagen exemplarisch aufgezeigt werden. Im realisierten Entwurf verteilen sich die insgesamt 10,2 kW<sub>p</sub> Anlagenleistung auf eine 6,4 kW<sub>p</sub>-Anlage auf dem Flachdach sowie eine 3,8 kW<sub>p</sub>-Anlage in der Südfassade. In den Berechnungen zu Abbildung 7-58 wird diese Kapazität in einer ersten Variante vollständig als nicht geneigte Aufdachanlage berechnet. Da horizontale Anlagen gegenüber vertikalen Anlagen per se einen Mehrertrag von ca. 30 % aufweisen, ist der vorherrschende Effekt ein vergrößerter Gesamtjahresertrag und damit bedingt ein höherer jährlicher Netto-Stromexport bzw. verringerter Faktor der Netznutzung. Weder die Eigenbedarfsdeckung noch die Eigenenertragsnutzung verändern sich hierbei nennenswert. Dies ist umso mehr zu beobachten, wenn nicht die Kapazität der Solarstromanlagen komplett in das Dach verlegt wird, sondern - wie in einer weiteren Variante - die Jahressumme des erzeugten Solarstroms zwischen den Varianten gleichgesetzt wird (Anlagenleistung 8 kW<sub>p</sub>, Variante 2). Bei einer zusätzlichen Differenzierung der Ausrichtung der PV-Anlage in je einen Fassadenteil (2,8 kW<sub>p</sub>) nach Osten bzw. Westen sowie einer nicht geneigten Aufdachanlage mit einer Leistung von 4,7 kW<sub>p</sub> trifft dies ebenso zu (Variante 3).



Abbildung 7-58: Vergleich der Faktoren bei Veränderung der Orientierung, Neigung und Leistung der Solarstromanlage anhand von simulierten Stundenwerten für das Solar Decathlon Haus des Team Wuppertal am Standort Wuppertal



Ein Vergleich der stündlichen Deckungsprofile der beiden Varianten mit fassadenintegrierter PV und ähnlichem Jahresstromertrag (gebaute Variante, Abbildung 7-56 und Variante 3, Abbildung 7-59) zeigt für die differenziertere Variante

te 3 in den Übergangszeiten höhere Deckungsraten während der frühen Morgen- und Abendstunden auf. In den Sommermonaten können zudem auch noch am frühen Abend eigene Bedarfe gedeckt werden.

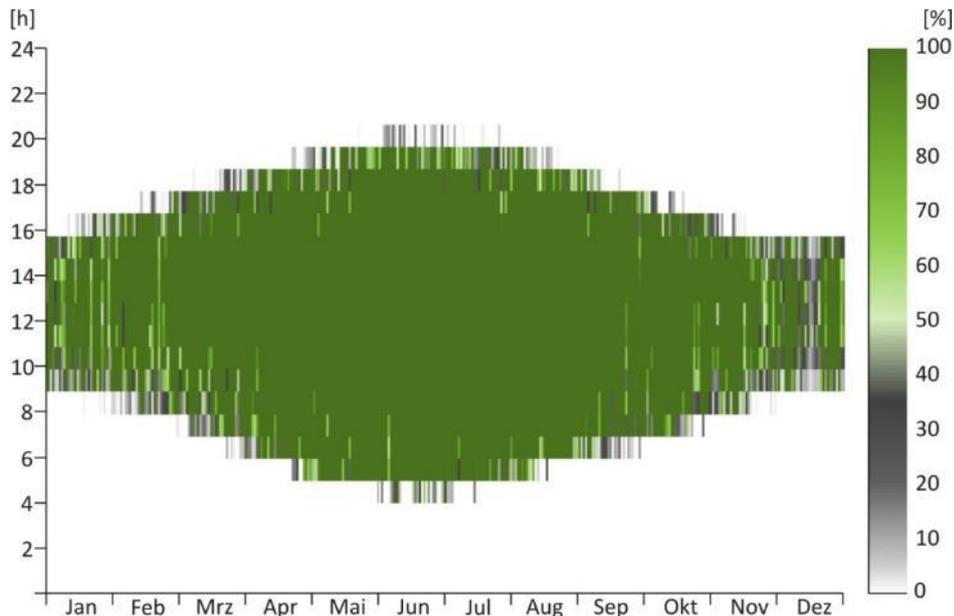


Abbildung 7-59: Stündliches Profil der Eigenbedarfsdeckung „ $f_{load}$ “ über den Zeitraum eines Jahres beim Solar Decathlon Haus des Team Wuppertal bei einer differenzierten PV-Anlage im Dach ( $4,7 \text{ kW}_p$ ) und in der Ost- sowie Westfassade (jeweils  $2,8 \text{ kW}_p$ ), vgl. Variante 3 in Abbildung 7-58

Ein Grund für die geringen Unterschiede der gezeigten Varianten ist in den jeweils sehr großen Solarstromanlagen und den Ertragsüberschüssen zu sehen. Um diesen Einfluss zu umgehen, wird zusätzlich der Unterschied zweier kleiner dimensionierter Anlagen dargestellt (Variante 4 und 5, s. Abbildung 7-58). Hierbei wird die Anlagenleistung von  $5,6 \text{ kW}_p$  einmal vollständig als Flachdachanlage und einmal zu gleichen Teilen zu je  $1,88 \text{ kW}_p$  in Dach sowie Ost- und Westfassade verteilt. Während sich die Eigenbedarfsdeckung erneut kaum verändert, zeigt sich, dass vor allem in der differenzierten Variante eine hohe Ausnutzung des eigens erzeugten Stroms eintritt (über 30 %). Gegenüber der Stromversorgung aus der reinen Aufdachanlage gibt es hier eine weitere Zunahme von fast einem Drittel. Die Überschusseinspeisung „ $F_{surplus}$ “ nimmt ab, während die Nutzung des Netzes als Saisonspeicher stark zunimmt. Der Grund wird auch durch den kleinen Faktor zum jährlichen Netto-Stromexports „ $F_{export}$ “ verdeutlicht: Die Gesamterträge sinken bei einer differenzierten Ausrichtung.

Hiermit ergibt sie die Notwendigkeit der Abwägung zwischen einer erhöhten Deckungsrate aber weniger Gesamtertrag bei der Fassadenintegration gegenüber einer Solarstromanlage im Dach mit maximiertem Jahresertrag, dadurch möglicher geringerer Anfangsinvestition und einem deutlich kleinerem Gestaltungseinfluss. Letzterer bezieht sich nicht nur auf das Gebäude selbst, sondern geht auch in die Planung des Umfeldes ein. So bedarf es für die aktive Nutzung der tiefstehenden Morgen- oder Nachmittagssonne über unverschattete Fassaden großer Abstände zu umgebender Bebauung und entsprechender Freiflächen.<sup>154</sup> Eine Steigerung der Idee der Differenzierung sind ein- oder mehrachsig nachgeführte Photovoltaikanlagen (s. Abbildung 7-60 und DE\_19). Sie nehmen als additives Element noch weitaus größeren gestalterischen Einfluss auf Gebäude (s. Kapitel 9).

<sup>154</sup> Diese Abstände sind im Bestand oder innenstädtischen Lagen meist kaum durchgehend zu realisieren



Abbildung 7-60: Der großzügig verglaste Erschließungsbereich der „EWE Arena“ in Oldenburg (2005, asp Architekten) wird von einer dem Sonnenstand nachgeführten Photovoltaikanlage mit transluzenten Modulen umfahren. Hierüber wird der gegenüber einer Aufdachanlage eigentlich reduzierte Energieertrag der Solarstromanlage (ca. -30 %) wiederum maximiert, wobei sie zugleich als beweglicher Sonnenschutz und sicherlich auch als Marketinginstrument dient. Die kreisrunde Geometrie der Veranstaltungshalle bietet für diese Aufgabe günstigste Voraussetzungen. Laut Projektteam kann auf eine aktive Kühlung ebenso verzichtet werden, wie auf Kunstlichteinsatz (tagsüber). Quelle Internet, Foto A. Christians

Ganz anders als die Option mehrerer am Gebäude verteilter Solarstromanlagen ermöglichen KWK-Anlagen eine erhöhte Eigenbedarfsdeckung ohne Gestalteinfluss. Der gemäß einem Lastprofil gesteuerte Betrieb erwirkt abgesehen von vergrößerten Speichervolumina, die einen vom Wärmebedarf teils losgelösten Betrieb der KWK erlauben, keine nach außen sichtbare Veränderung am Gebäude. Im Zuge des Projekts „Dezentrale Stromerzeugung im Kleinleistungsbereich als Beitrag zur Emissionsminderung im Gebäudebestand – Potentialanalyse und beispielhafte Umsetzung für Hauseigentümer in NRW“ (s. [WestLB 2012]) wurde hierzu ein Anreizsignal generiert, das sich aus den Strombezugskosten bei prognostizierter elektrischer Last des Gebäudes und möglichen Erlösen durch die Netzeinspeisung ergibt.<sup>155</sup> Gegenüber dem sonst üblichen wärmegeführten Betrieb der KWK-Anlage ist es Ziel, die Stromerzeugung über eine signalbasierte Steuerung in die Zeiten zu verlegen, in denen hohe Stromtarife vorliegen. Da diese auf großer Nachfrage basieren, wird der Gebäudestrombedarf mit dem externen Preissignal gleichgesetzt (im Tagesverlauf treten maximale Preise bspw. in der Zeit um 20:00 Uhr auf. In dieser Zeit wurde auch ein Strombedarf im Gebäude angenommen und später gemessen sowie die Stromerzeugung der KWK-Anlage aktiviert). In weiterführenden Szenarien kann ein lernfähiges Prognosesignal auf Grundlage üblicher Tagesverbräuche im Gebäude erzeugt und zur Steuerung genutzt werden. Somit kann auf ein externes (Preis-)Signal verzichtet und der eigene Bedarf besser gedeckt werden.

<sup>155</sup> Als Basis dienen die Strompreise der EEX-Strombörse

Abbildung 7-61 zeigt die gemessene Stromlast und -erzeugung eines der im Projekt genutzten Beispielgebäude an einem Januartag bei üblichem, wärmegeführtem Betrieb des eingesetzten Mini-BHKWs ohne Steuersignal.<sup>156</sup> Zu einigen Zeitpunkten stimmt hier die Stromerzeugung nicht mit der teils hohen Stromlast überein. Als bspw. gegen 8:00 Uhr eine besonders hohe Stromlast herrscht (nach dem Aufstehen bzw. bei Einschalten der Haushalts- und EDV-Geräte) schaltet das BHKW ab. Der Wärmespeicher ist geladen und es kann kein Strom generiert werden. Ähnliches ist während besonders hoher Strombedarfe zwischen 13:00 und 15:00 Uhr sowie tlw. in den Abendstunden zu erkennen. Abbildung 7-62 zeigt ebenfalls ein Lastprofil eines Januartages jedoch nach Einbau des Steuermoduls und Aktivierung der größeren Pufferspeicherkapazität. Sowohl in den frühen Morgen- als auch in den Abendstunden wird Strom entsprechend dem Bedarf erzeugt. Während der kalten Nachtstunden wurde der Heizwärmebedarf tlw. aus den Pufferspeichern gedeckt und eine Reserve für die Wärmeerzeugung zu Zeiten der großen Stromlast geschaf-

<sup>156</sup> Informationen zum Beispielgebäude im Anhang A.11

fen. Die ohnehin hohe Eigenbedarfsdeckung durch den winterlichen KWK-Betrieb kann von knapp 70 nochmals auf ca. 80 % gesteigert werden (s. Abbildung 7-63).<sup>157</sup> Die Eigenertragsnutzung nimmt hingegen ab, was vor allem am geringeren Stromverbrauch im Beispiel mit Steuerung liegt. Die Überschusseinspeisung nimmt entsprechend zu. Während der hochpreisigen Abendstunden wird der Stromverbrauch hier jedoch vollständig selbst gedeckt.

<sup>157</sup> Da Messwerte zu den beiden Steuerungsoptionen nur für einen Zeitraum von unter einem Jahr vorliegen (ohne Steuersignal nur wenige Wochen), werden vergleichend nur Messdaten gegenübergestellt, die ähnliche Umgebungsvariablen erfüllen (Zeitpunkt, Klima, Wochentag)

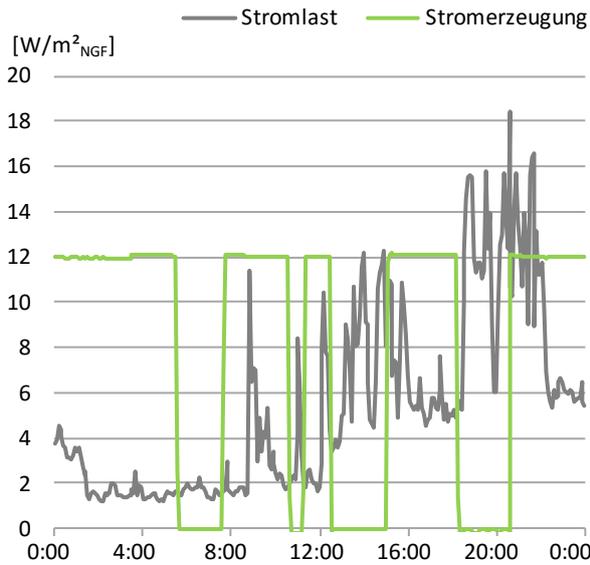


Abbildung 7-61: Elektrischer Lastgang eines Werktags im Januar bei einem über ein Mini-Blockheizkraftwerk versorgten Gründerzeit-Mehrfamilienhaus in Wuppertal bei Wärmegeführtem Betrieb ohne Anreizsteuerung (gemessene 5-Minuten-Werte)

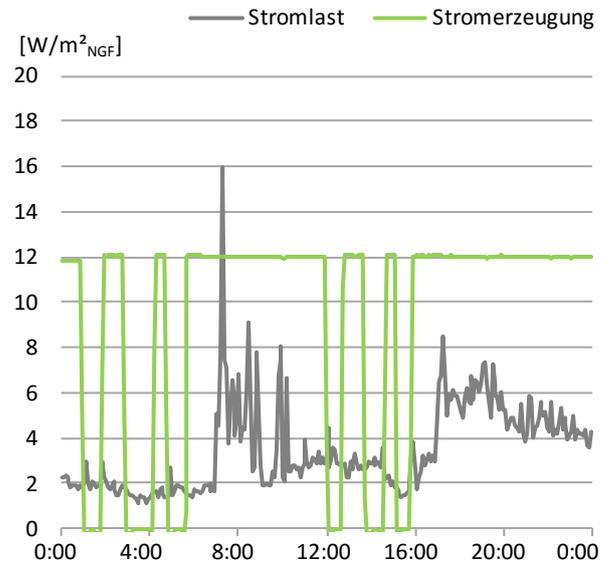


Abbildung 7-62: Elektrischer Lastgang eines Werktags im Januar bei einem über ein Mini-Blockheizkraftwerk versorgten Gründerzeit-Mehrfamilienhaus in Wuppertal bei Strom-Wärmegeführtem Betrieb nach Umstellung auf eine Anreizsteuerung (gemessene 5-Minuten-Werte)

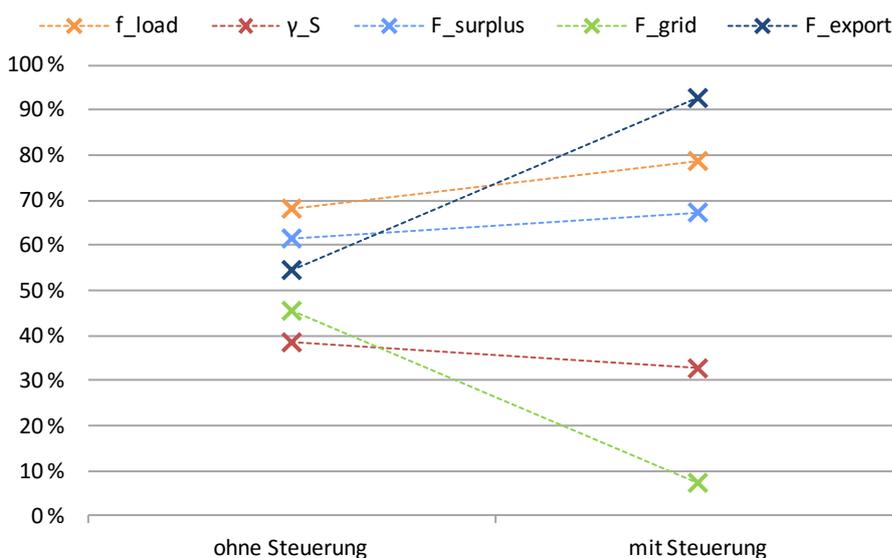


Abbildung 7-63: Vergleich der Faktoren mit und ohne Steuerungssignal bei BHKW-Nutzung anhand von gemessenen 5-Minuten-Werten für ein Gründerzeit-Mehrfamilienhaus in Wuppertal

Die Faktoren zur Netznutzung stehen auf Grund der kurzen Betrachtungszeit, der nicht ausgeglichenen Jahresenergiebilanz des Beispielgebäudes sowie des Gasbezugs symbolisch für die Möglichkeiten der Kraft-Wärme-Kopplung. Sie können, wie auch die übrigen Faktoren, bei einem modulierenden Betrieb des BHKWs weiter optimiert werden. Zudem sind zusätzlich Batterien denkbar, die

in Kombination mit einer Solarstromanlage eine nahezu vollständig eigene (fiktive) Abdeckung des Strombedarfs über das Jahr ermöglichen könnten (vgl. Abschnitt 7.8.6.1).

### 7.8.6.3 Lastverschiebung

In Analogie zur aufgezeigten Steuerung bzw. Anpassung der Stromerzeugung an Lastprofile können auch die Stromverbraucher tlw. an vorhandene Stromerträge angepasst werden. Grundlage hierzu ist ein Lastmanagement auf Basis einer „intelligenten“ und (fern-)steuerbaren Gebäudeautomation bzw. -leittechnik (s. Kapitel 8.4) sowie (an-)steuerbare Verbraucher („smart appliances“). Sie bildet die Schnittstelle zwischen Netzinfrastruktur, Energieerzeugern und Verbrauchern (Gebäudetechnik und nutzungsspezifische Verbraucher) und kann letztere gemäß der in Abschnitt 7.8.6.2 beschriebenen Signale schalten, um die Eigenstromnutzung bzw. -bedarfsdeckung oder Strombezüge und -exporte (ökonomisch) zu optimieren. Der Energieverbrauch wird auf die Zeitpunkte verlegt, in denen vor Ort entsprechende Energiemengen erzeugt werden. Vor allem die nutzungsspezifischen Verbraucher gewinnen hierbei auf Grund der gesteigerten Effizienz von Gebäuden an Relevanz (s. Abbildung 7-17). Da Haushaltsgeräte oder Unterhaltungselektronik saisonal gleichbleibend genutzt werden, kann ihr Bedarf bei Nullenergiegebäuden vor allem zu Sommerzeiten zu ähnlich großen Anteilen gedeckt werden, wie bei der Strom-Wärme-geführten Betriebsweise des BHKWs im vorangegangenen Abschnitt.

Eine Steuerung von Wärmepumpen, deren flexible Nutzung und das zeitlich entkoppelte Umwandeln von Strom in Wärme über den Tageslastgang bzw. gemäß dem Solarstromangebot erfordern eine Kopplung an Pufferspeicher oder aktivierbare thermische Speichermassen in der Baukonstruktion. Gegenüber der Speicherung von elektrischer Energie in Batterien ist die thermische Speicherung weniger verlustbehaftet und in der Gebäudepraxis etabliert [Voss 2011b]. Es existieren daher vielfältige Konzepte, an Wärmepumpen gekoppelte thermische Saisonspeicher zu nutzen, um Wärme zu sommerlichen Stromüberschusszeiten zu erzeugen und in die Heizperiode zu überführen. Meist scheitert dies jedoch (noch) an der mangelnden Effizienz der thermischen Langzeitspeicher sowie an deren Raumbedarf [Voss 2011b; Hegger 2008]. Bei der Kurzzeitspeicherung in der thermischen Speichermasse eines Gebäudes ergeben sich Anforderungen an deren Ausgestaltung hinsichtlich unverkleideter, massereicher Konstruktionselemente wie bspw. Betondecken oder Brettstapelholzträger. Im Gegensatz zu Pufferspeichern, deren thermische „Beladung“ unabhängig von der Raumtemperatur des Gebäudes und kurzfristig erfolgen kann, birgt die thermische Masse in der Konstruktion die Schwierigkeit der Trägheit. Sie muss vorausschauend überwärmt oder unterkühlt werden und erfordert dazu eine Abstimmung mit dem Nutzerverhalten und der Innenraumtemperatur sowie eine Kopplung mit der Wettervorhersage. Je nach Speicherkapazität und Wärmedämmstandard lassen sich verschiedene Lastverschiebungen erreichen (s. Tabelle 7-4).

Konstruktionsart	Thermische Speichermasse	Temperaturunterschied $\Delta t$ [K]	Mögliche Wärmespeicherung [kWh]	Mögliche Zeitverschiebung der Last der Wärmepumpe [h]
Mittelschwere Gebäudekonstruktion	mittlere thermische Speichermasse 80 Wh/m <sup>2</sup> K	2	24	9,6
Schwere Gebäudekonstruktion	hohe thermische Speichermasse 120 Wh/m <sup>2</sup> K	2	36	14,4
Schwere Gebäudekonstruktion mit Fußbodenheizung bzw. Betonkernaktivierung	sehr hohe thermische Speichermasse 120 Wh/m <sup>2</sup> K	2-4	Bis zu 60	24,0

Tabelle 7-4: Möglichkeiten zur Lastverschiebung von Wärmepumpen durch Nutzung der Gebäudekonstruktion als thermische Speichermasse bei einem 150 m<sup>2</sup> großen Einfamilienhaus im Passivhausstandard und einer Außentemperatur von -12° C, vgl. [Jensen 2013]

Es ergeben sich Potenziale, die Hauptlast von Wärmepumpen in die Zeiten größter Solarstromerträge zu legen. Je nach Häufigkeit und Intensität der Speicherung von (Solar-)Strom als Wärme über die Wärmepumpe geht deren Effektivität gegenüber einem Normalbetrieb durch erhöhte Speicherverluste jedoch verloren. Ihr Verschleiß droht zudem zu steigen.

Da die Hauptlast von Wärmepumpen in den Winterzeiten liegt und hier die Solarstromerträge am geringsten sind (vgl. Abbildung 7-40), bietet sich ein Betrieb von Wärmepumpen korrespondierend mit der Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbare Energiequellen im Netz an. Gemäß der eingangs aufgezeigten Ausbauszenarien werden finanzielle Anreize oder hoch aufgelöste Gewichtungsfaktoren (s. Kapitel 7.3) das anvisierte öffentliche „smart grid“ in das netzreaktive „smart home“ fortführen [Fisch 2012].<sup>158</sup> Eine gesteigerte Eigenbedarfsdeckung oder die Nutzung des eigens erzeugten Stroms werden dann mindestens ebenso wichtig wie die Flexibilität von Gebäuden hinsichtlich ihrer steuerbaren Lasten oder Speicherfähigkeit [Jensen 2013]. Gebäude müssen darauf mit den angesprochenen Optionen zu Wärmespeicherung reagieren.

Die Steuerung durch den Netzbetreiber bietet gegenüber einer gebäudeeigenen Steuerung die Einfachheit der Zentralität des Massenmarkts. Erste Erfahrungen zeigen, dass Gebäudebesitzer oder vor allem Wohnungsmieter nicht durchgängig für eine eigene Gebäudeautomation zu begeistern sind bzw. diese nicht durchschauen [Hall 2011; Musall 2011a]. Gegenüber einer Erhöhung der Eigenbedarfsdeckung, die vor allem die Interessen des Gebäudeeigentümers widerspiegelt, partizipieren an der netzreaktiven Steuerung von Gebäudelasten jedoch diverse Institutionen (Erzeuger, Netzbetreiber, Strombörse, etc.). Wird die Steuerung von Gebäudeenergielasten bspw. über Contractingverträge vollständig in die Verantwortung „des Netzes“ übertragen und nehmen zukünftig viele Parteien teil, müssen Regelungen getroffen werden, die eine Umkehr der Voraussetzungen und künstliche Hochlastzeiten zu eigentlichen, ursprünglichen Schwachlastzeiten durch mannigfaches Nutzen von Tarifsignalen vermeiden.

<sup>158</sup> Sehr umfassende Szenarien beschreiben die Vorstellung, dass Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung zu Hochlastzeiten abgeschaltet werden, da es primärenergetisch günstiger ist, zu Schwachlastzeiten gespeicherte Wärme zu verbrauchen

### 7.8.7 Anteil erneuerbarer Energiebereitstellung

Auf europäischer wie nationaler Ebene fordern Gesetze den Anteil an erneuerbaren Energiequellen und -trägern am Gesamtenergieverbrauch von Gebäuden zu erhöhen (s. Kapitel 3, „Renewable Energy Directive“ und Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz). Während die RED lediglich die Rahmenbedingungen für nationale Umsetzungen aufzeigt und das EEWärmeG die anteilige Deckung des Wärmeenergiebedarfs von Gebäuden fokussiert bzw. kompensatorische Maßnahmen zulässt,<sup>159</sup> stellt die REHVA (Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations, dt. Vereinigung der Europäischen Klimatechnik-Verbände) in [Kurnitski 2013a] und [Kurnitski 2013c] einen eigenen Leistungsindikator zur Berechnung des tatsächlichen Anteils genutzter erneuerbarer Energiequellen vor. Das „Renewable Energy Ratio (RER)“ (dt. Anteil der erneuerbaren Energien) bestimmt die jeweiligen Anteile an erneuerbarer und nicht erneuerbarer Energie des Energiebedarfs, der (lokalen) Energieerzeugung und -nutzung einschließlich der durch Systeme genutzten Umweltenergie sowie der verwendeten Energieträger (s. Abbildung 4-4). Dabei wird die Gesamtmenge der genutzten Primärenergie aus erneuerbaren Quellen durch die Differenz zwischen der Gesamtprimärenergie und der nicht erneuerbaren Primärenergie aller Energieströme, die die Bilanzgrenze überschreiten, errechnet. Somit werden auch Umwandlungs- und Systemverluste innerhalb der Bilanzgrenze berücksichtigt. Verluste außerhalb der Bilanzgrenze werden durch die Umrechnungsfaktoren für die einzelnen Energieträger abgebildet. Exportierte Energie, die primärenergetisch in der Höhe der Verdrängung des jeweiligen Energieträgers im Netz angerechnet wird, kompensiert Energiebezüge. Gemäß EPBD ist die Berücksichtigung von nutzungsspezifischen Verbrauchern freigestellt. Diese haben bei der Berechnung des „RER“ sowohl Einfluss auf die Höhe des Endenergiebedarfs als auch auf die Eigennutzung bzw. die Exportmenge des eigens erzeugten Stroms, da sich diese Anteile aus einer (monatlichen) Bilanzierung der Erträge und ihrer fiktiven Eigennutzung ergeben. Die REHVA schlägt vor, sämtliche Verbraucher einzubeziehen. Dem wird in den unten aufgezeigten Berechnungen und gemäß den Argumenten in Abschnitt 7.4.1 nachgekommen. Entsprechend dem REHVA-Entwurf gilt für die Berechnung des „RER“ folgende Formel:

<sup>159</sup> In Kapitel 3.1.2.4 wird aufgezeigt, dass der geforderte Anteil erneuerbarer Energien an der Wärmebereitstellung nach dem EEWärmeG bei Nullenergiegebäuden um ein Vielfaches übererfüllt wird

Formel 7-6: „Renewable Energy Ratio (RER)“ nach [Kurnitski 2013c]

$$RER_p = \frac{\sum_j Q_{e,j} + \sum_j ((f_{a_{imp,ges,j}} - f_{a_{imp,n.e.,j}}) Q_{imp,j})}{\sum_j Q_{e,j} + \sum_j (Q_{imp,j} f_{a_{imp,ges,j}}) - \sum_j (Q_{exp,j} f_{a_{exp,ges,j}})}$$

Dabei ist:

- RER<sub>p</sub> das „Renewable Energy Ratio (RER)“ auf Basis von Primärenergie
- Q<sub>e,j</sub> die vor Ort oder in der Nähe erzeugte erneuerbare Energie des Energieträgers j
- Q<sub>imp,j</sub> die importierte Endenergie des Energieträgers j
- Q<sub>exp,j</sub> die exportierte Endenergie des Energieträgers j
- f<sub>a<sub>imp,ges,j</sub></sub> der Gesamtprimärenergiefaktor des importierten Energieträgers j
- f<sub>a<sub>imp,n.e.,j</sub></sub> der Faktor der nicht erneuerbaren Primärenergie des importierten Energieträgers j
- f<sub>a<sub>exp,ges,j</sub></sub> der Gesamtprimärenergiefaktor des importierten Energieträgers abgeglichen mit der exportierten Endenergie des Energieträgers j

Durch das Einbeziehen der Umweltenergie berücksichtigt die Berechnung des „RER“ die Anforderungen der EPBD hinsichtlich Artikel 2.6, in dem neben Wind, Sonne, Wasserkraft, Biomasse und nicht fossilen Gasen auch aero-, geo- und hydrothermische Energie als Energie aus erneuerbaren Quellen beschrieben

wird. Zudem kommt es der Forderung nach, dass wesentliche Anteile des Energiebedarfs durch Energie aus erneuerbaren Quellen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird, gedeckt werden (vgl. Artikel 2.2, [EU 2010a]). Passive Wärmegewinne (solare Einstrahlung, Abwärme interner Lasten) werden jedoch ebenso wenig in die Berechnung einbezogen,<sup>160</sup> wie zwischen „on-site“- und „off-site“-Erzeugung unterschieden wird. Auf Grund der Anrechnung mit netzbasierten Umrechnungsfaktoren verdeutlichen die Ergebnisse nicht, ob und zu welchen Anteilen der Energiebedarf durch Energieerträge aus erneuerbaren Quellen am Gebäude oder durch Einsatz von Energieträgern aus der Erzeugungsinfrastruktur mit eventuell sehr niedrigen Umrechnungsfaktoren gedeckt wird. Es gilt aber auch, dass das „Renewable Energy Ratio“ im Vergleich zu der in Kapitel 4.4 vorgestellten Energiebilanz unabhängiger gegenüber Veränderungen der allgemeinen Energieerzeugung und deren Anteile erneuerbarer Energiequellen ist, da auch die erneuerbaren Anteile der Primärenergiekette durch die entsprechenden Umwandlungsfaktoren abgebildet werden. Anders als die im vorangegangenen Abschnitt vorgestellten Faktoren zur Bestimmung der Übereinstimmung von Stromlasten und -erträgen bezieht das „RER“ sämtliche Energieträger ein und fokussiert eher den ökologischen Aspekt von (Nullenergie-)Gebäuden.

<sup>160</sup> Sie werden pauschal der Nutzenergie und nicht dem Endenergiebedarf zugeordnet und sollen bereits durch verringerte Endenergiebedarfe abgebildet sein. Letzteres gilt allerdings auch bei der Nutzung von bspw. Erdwärme und einem verringertem Strombedarf einer Wärmepumpe

Die Berechnung des „RER“ ist in ähnlicher Form in den Vorschlag zur Novellierung der DIN EN 15603 eingegangen (s. [DIN prEN 15603 2013]).

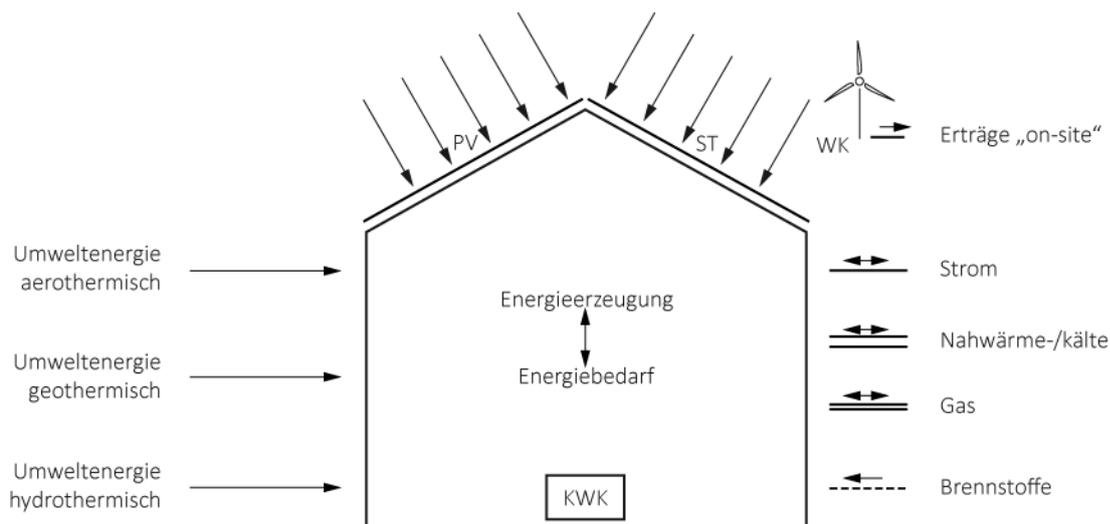


Abbildung 7-64: Darstellung des Berechnungsverfahrens zum „Renewable Energy Ratio (RER)“ nach REHVA (vgl. [Kurnitski 2013c]). Als Berechnungsgrenze gilt das Gebäude erweitert um Anlagen zur Bereitstellung erneuerbarer Energie im unmittelbaren Umfeld („on-site“). Im Vergleich zum Ansatz der Energiebilanz (vgl. Abbildung 4-4) wird auch die genutzte Umweltenergie einbezogen

Bei Gebäuden mit einer ausgeglichenen Jahresend- oder -primärenergiebilanz sollte die gegenüber der Energiebilanz geforderte Hinzunahme von Umweltenergie zu hohen Quoten an erneuerbarer Energieversorgung führen. Mittels kumulierter Jahreswerte auf Basis monatlicher Berechnungen<sup>161</sup> zu vollständig ausgeglichenen Primärenergiebilanzen des Kindergartens „Die Sprösslinge“ wird dies für die fünf bzw. zehn in Abschnitt 7.3.2 beschriebenen Technologieoptionen überprüft. Ein Biomasse-BHKW wird als sechste, bzw. bei Zunahme der Solarthermie als zwölfte Option hinzugefügt, um den Unterschied zwischen Strom aus fossilem und erneuerbarem KWK-Betrieb zu veranschaulichen (Kürzel KWK<sub>e</sub>). Die Jahresbilanzen werden auf Grundlage von vier ebenfalls in Abschnitt 7.3.2 beschriebenen Sets an Umrechnungsfaktoren für Primärenergie berechnet (P1, P3, P5 und P8). Die jeweiligen Faktoren gehen auch in die Berechnungen zur Bestimmung des Anteils erneuerbarer Energie („RER“) ein.

<sup>161</sup> Es ist ebenso möglich, reine Jahressummen zu vergleichen. Meist liegen bei Berechnungswerten dann jedoch keine Werte für den Stromim- und -export vor, sondern lediglich Daten für Bedarf und Erzeugung. Kumulierte Monatswerte führen hier zumindest zu fiktiven Werten (s. Abschnitt 7.2)

Da für P8 (quasi-dynamische Gewichtung mit Werten für 2020) aus [Großklos 2013] nur Faktoren für den nicht regenerativen Anteil des kumulierten Energieverbrauchs entnommen werden können, werden die benötigten Faktoren der erneuerbaren und nicht erneuerbaren Anteile ( $PEF_{ges}$ ) selbst bestimmt. Hierzu wird angenommen, dass der Unterschied zwischen den beiden Werten ähnlich groß und konstant ist, wie bei den bekannten Jahresmittelwerten zum Umrechnungsfaktor des deutschen Strommixes der letzten Jahre nach DIN V 18599-2009, DIN V 18599-2011 und GEMIS 4.8. Gemäß Tabelle A-8 ist hier jeweils ein gleichbleibender Unterschied in Höhe von  $0,4 \text{ kWh}_p/\text{kWh}_E$  auszumachen. Entgegen den monatlich schwankenden Werten für die nicht erneuerbaren Anteile (s. Abbildung 7-8), die auf saisonal wechselnden Quoten regenerativer Energieerträge basieren, wird für den Primärenergiefaktor beider Anteile ein über die Monate gleichbleibender Wert gesetzt, da vereinfacht davon ausgegangen wird, dass fossile Energieträger geringere erneuerbare Energieerträge in der Netzinfrastruktur ausgleichen (s. Tabelle 7-5). Für alle übrigen Energieträger dienen Faktoren nach DIN V 18599-2011 (vgl. Abschnitt 7.3.2).

Tabelle 7-5: Faktoren für den nicht regenerativen Anteil des kumulierten Energieverbrauchs für P8 nach [Großklos 2013] ( $PEF_{n.e.}$ ) und Faktoren der erneuerbaren und nicht erneuerbaren Anteile ( $PEF_{ges}$ ) nach eigener Anpassung

Bezeichnung gemäß Tabelle A-8	Bezeichnung gemäß Formel 7-6	Ø	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
$PEF_{ges}$	$fa_{ges}$	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63
$PEF_{n.e.}$	$fa_{n.e.}$	1,23	1,30	1,29	1,25	1,22	1,15	1,17	1,20	1,19	1,22	1,27	1,30	1,21

Um den Einfluss von nicht genau ausgeglichenen Primärenergiebilanzen zu veranschaulichen, werden je Faktorensatz je zwei Berechnungen mit nicht vollständig ausgeglichener Bilanz im Sinne von „MINERGIE-A“ (der Strombedarf der nutzungsspezifischen Verbraucher wird bedarfsseitig angerechnet aber bilanziell nicht ausgeglichen) sowie positiver Bilanz berechnet. Als Technologieoption werden je einmal eine Erdreich-Wärmepumpe und ein Biomassekessel in Verbindung mit einer thermischen Solaranlage gewählt.

Die Ergebnisse der „RER“-Berechnungen korrelieren überwiegend mit dem jeweiligen Bilanzergebnis. So weisen ausgeglichene und symmetrisch sowie statisch gewichtete Primärenergiebilanzen stets einen Anteil an erneuerbarer Energie von über 100 % auf (s. Abbildung 7-65). Sofern das Bilanzergebnis ins Positive oder Negative abweicht, gilt dies auch für die Abweichung der Anteile erneuerbarer Energie von der 100 %-Marke.

Da der Energiebezug und -export in der „RER“-Berechnung sowohl mit den erneuerbaren als auch mit den gesamten Anteilen der Primärenergieumwandlung gewichtet wird, beeinflusst der Unterschied zwischen den beiden dazugehörigen Faktoren das „RER“-Ergebnis massiv, sofern innerhalb der Primärenergiebilanzierung ein zweiter Energieträger kompensiert wird. Bei den gasbasierten Technologien Gaskessel und KWK sind daher große Abweichungen von der 100 %-Marke zu erkennen. Besonders groß ist die Abweichung, wenn KWK-Strom exportiert wird, um den Gasbezug des BHKWs auszugleichen. Hierbei gilt

der Strom des Gas-BHKWs nicht als vor Ort oder in der Nähe erzeugte erneuerbare Energie und wird daher allein dazu eingesetzt, den Energiebezug zu verringern (durch direkt gedeckte Energiebedarfe) und den Stromexport zu erhöhen. Somit wird er mit den hohen Gewichtungsfaktoren für exportierten Strom gewichtet und verringert den Gesamtenergiebedarf des Gebäudes in deutlich größerem Maße, als es der Fall wäre, wenn er als nicht gewichteter aber erneuerbar erzeugter Strom gelten würde.<sup>162</sup> Dies verdeutlicht die Variante des mit Biomasse gefeuerten BHKWs (KWK<sub>e</sub> in Abbildung 7-65). Dessen als erneuerbar angesehener Strom verringert ebenfalls den Strombedarf, wird aber nicht mit Faktoren gewichtet.

Sofern asymmetrische Gewichtungsfaktoren (nach DIN V 18599-2011) genutzt werden, liegen die Anteile erneuerbarer Energie unterhalb von 100 %. Grund hierfür ist, dass die jährliche Primärenergiebilanz nur rechnerisch erreicht wird. Durch die asymmetrische Gewichtung muss weniger Energie erzeugt werden, als eigentlich nötig wäre. Die Endenergiebilanz ist negativ (selbst bei der Variante des Nur-Strom-Gebäudes wird auf Endenergiebasis weniger Strom erzeugt, als verbraucht wird). Die KWK-Varianten weisen die geringsten „RER“-Werte auf, da der Gasbezug durch weniger hohe Stromerträge bzw. gewichtete -exporte gedeckt werden kann (s.o.). Der Effekt wird gegenüber anderen Technologieoptionen zur Wärmebereitstellung durch die Anrechnung des KWK-Stroms in der Primärenergiebilanz und durch die geringeren Solarstromkapazitäten und -erträge forciert.

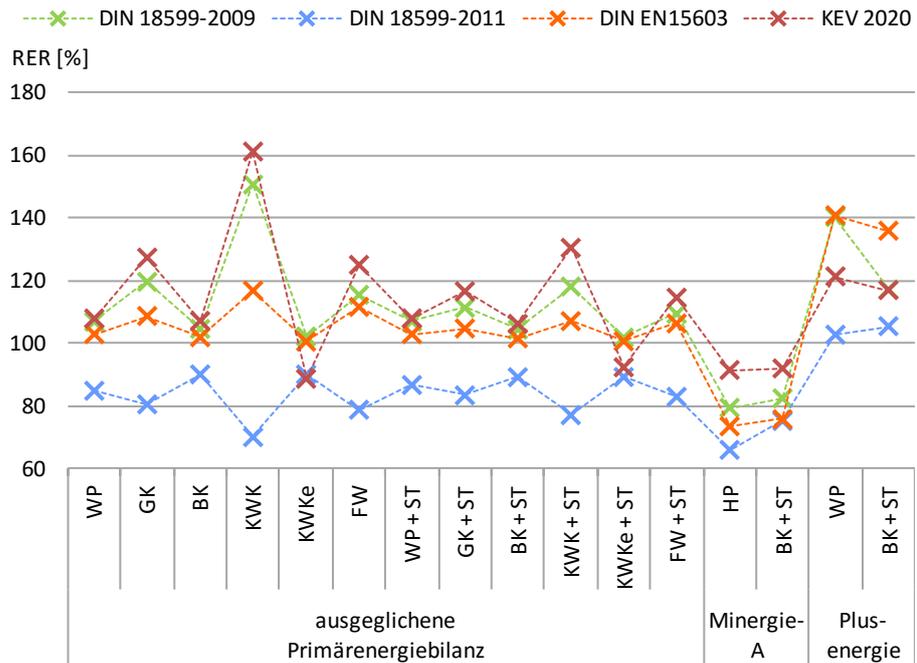
Quasi-dynamische Faktoren weisen meist größere Anteile an regenerativen Energien aus. Die Phänomene bei den (anteilig) fossil versorgten Gebäuden bzw. Technologieoptionen werden verstärkt. Die Optionen mit Biomasse-BHKWs erreichen allerdings geringe Werte unterhalb von 100 %. Hierzu führen die sehr geringe Erfordernis von Solarstromerträgen sowie die damit einhergehend minimierten Stromexporte.

Solarkollektoren verringern den Gesamtenergiebedarf der Gebäude und damit den gewichteten Bezug aller Energieträger bzw. den für den Ausgleich erforderlichen Stromexport. Dadurch werden die größten Auswirkungen bei den Technologiekombinationen sichtbar, deren Endenergieträgern für die Wärmebereitstellung hohe Primärenergiefaktoren zugeordnet werden. Die Anteile erneuerbarer Energienutzung liegen bei Nutzung von solarthermischen Anlagen näher an der 100 %-Marke.

<sup>162</sup> Der Effekt prägt sich bei den Faktoren nach DIN EN 15603-2008 (P5) etwas weniger aus, weil hier der Unterschied zwischen dem nicht erneuerbaren und dem gesamten Anteil der Primärenergie geringer ist, als bspw. der andern symmetrischen Gewichtungsvariante P1



Abbildung 7-65: Darstellung des „Renewable Energy Ratio (RER)“ in Abhängigkeit von unterschiedlichen Technologie- und Gewichtungsoptionen sowie Bilanzzielen



Es wird aufgezeigt, dass neben den Anstrengungen zum Erreichen einer ausgeglichenen Primärenergiebilanz keine weiteren Maßnahmen für die Erfüllung hoher Deckungsanteile an erneuerbaren Energien gemäß „RER“ bzw. REHVA nötig sind. Allein bei Primärenergiebilanzen auf Basis asymmetrischer Gewichtungen bedarf es für eine vollständige Abdeckung des Energiebedarfs mit erneuerbaren Energie zusätzlicher Erträge. Die beiden berechneten und in Abbildung 7-65 gezeigten Plusenergiebilanzen für diese Gewichtungsoption zeigen, dass beim Beispielgebäude Kindergarten Monheim ein geringes primärenergetisches Plus bzw. eine Steigerung der Solarstromleistung um ca.  $0,06 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$  erforderlich wird, um ein „RER“ von knapp über 100 % zu erreichen.

Im Gegensatz zu der Einhaltung des EEWärmeG bindet das „RER“ alle Energieträger und -ströme ein und erzielt gemäß der jeweiligen Energiebilanz nachvollziehbarere Ergebnisse.

In ähnlicher Weise wie in den vorangegangenen Abschnitten gilt auch für die Bestimmung des „Renewable Energy Ratio“, dass eine Betrachtung von höher aufgelösten Zeitschritten Veränderungen bei den Ergebnissen hervorruft. Sofern bspw. die genannten Optionen zur Lastverschiebung oder Harmonisierung von Stromertrag und -bedarf oder externe Verfügbarkeiten hoher Anteile erneuerbarer Energie in der Netzinfrastruktur in Anspruch genommen werden, können die Anteile der erneuerbaren Energiebereitstellung steigen. Die Ergebnisse weichen dann vom Jahresergebnis der Energiebilanz ab.

### 7.9 Zwischenfazit: Einfluss von Festlegungen und Quantifizierungsgrößen

Zusammenfassend wird der Einfluss der vorgestellten Festlegungsoptionen und Quantifizierungsgrößen tabellarisch dargestellt. Dabei werden die Erfahrungen der Interviews in Kapitel 6 als Grundlage für die Bestimmung des formalen und gestalterischen Einflusses genutzt. Neben der Auswirkung der Solarstromanlagen werden auch Aspekte wie die Kompaktheit oder Materialwahl betrachtet.

Tabelle 7-6 Einfluss der vorgestellten Festlegungsoptionen und Quantifizierungsgrößen (die Nummerierungen entsprechen den Abschnitten des vorangegangenen Kapitels)

<input type="checkbox"/> kein Einfluss, neutral <input type="checkbox"/> Einfluss vorhanden <input type="checkbox"/> großer Einfluss <input type="checkbox"/> sehr großer Einfluss (Doppelte Bewertungen zeigen eine Spanne von/bis auf)						
Festlegung	Eventuelles Unterscheidungskriterium, Kommentar	Einfluss auf nötige Photovoltaikfläche	Formaler Einfluss	Gestalterischer Einfluss	Energetische Relevanz, gebäudebezogen	Vornehmlich mögliche Wechselbeziehung mit
7 Energiebezugsgröße	Bei Bezug auf Personenzahl	Abhängig v. Belegungsdichte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.4.1; 7.5
7.2 Bilanzart		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.3; 7.6
7.3 Symmetrische und statische Umrechnungsfaktoren	Je nach Wahl des Indikators	P 79 - 165 %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.2
		CO <sub>2</sub> 100 - 2.495 %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.3 Asymmetrische Umrechnungsfaktoren	Je nach Wahl des Indikators	P 71 - 195 %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.2
7.3 Nicht-statische Umrechnungsfaktoren	Je nach Wahl des Indikators	P 88 - 226 %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7; 7.3; 7.5; 7.8
		CO <sub>2</sub> 91 - 3.032 %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.4.1 Erweiterung Bilanzgrenze durch Nutzungsspezifische Verbraucher		~ 200 %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7; 7.3; 7.5; 7.8
7.4.2 Erweiterung Bilanzgrenze durch (Elektro-)Mobilität	Abhängig von Ausgleichs- und Antriebsansatz sowie Mobilitätskonzept	~ 130 - 200 %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.8
7.4.3 Erweiterung Bilanzgrenze durch Graue Energie	Steigerung von Ertragskapazität kann durch Materialwahl umgangen werden, erwirkt ebenfalls Einflüsse	~ 166 % (bei kleinen Wohngebäuden)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.8
7.5 Bilanzrahmen		Abhängig von Konzept	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.8
7.6 Bilanzierungszeitraum	Siehe Punkt 7.4.3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.7 Nebenanforderungen	Abhängig von der formulierten Nebenanforderung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.8.1 Steigerung der fiktiven Eigenbedarfsdeckung $f_{load}$	Die Wahl von Umrechnungsfaktoren hat großen Einfluss; KWK-Anlagen beeinflussen die Ergebnisse ohne architektonische Relevanz	Abhängig von nicht formulierten Vorgaben bzw. Quoten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.4.1; 7.4.2

Tabelle 7-6 Einfluss der vorgestellten Festlegungsoptionen und Quantifizierungsgrößen (die Nummerierungen entsprechen den Abschnitten des vorangegangenen Kapitels)

□ kein Einfluss, neutral    ■ Einfluss vorhanden    ■ großer Einfluss    ■ sehr großer Einfluss (Doppelte Bewertungen zeigen eine Spanne von/bis auf)

Festlegung	Eventuelles Unterscheidungskriterium, Kommentar	Einfluss auf nötige Photovoltaikfläche	Formaler Einfluss	Gestalterischer Einfluss	Energetische Relevanz, gebäudebezogen	Vornehmlich mögliche Wechselbeziehung mit
7.8.2 Steigerung der fiktiven Eigenertragsnutzung $\gamma_s$	Siehe 7.8.1	Siehe 7.8.1	□ ■	□ ■	■ ■	7.4.1; 7.4.2
7.8.3 Anpassung der Überschusseinspeisung $F_{\text{surplus}}$	Siehe 7.8.1	Siehe 7.8.1	□ ■	□	□ ■	7.4.1; 7.4.2
7.8.4 Anpassung der fiktiven Netznutzung $F_{\text{grid}}$	Siehe 7.8.1	Siehe 7.8.1	□ ■	□ ■	□ ■	7.4.1; 7.4.2
7.8.5 Anpassung des Netto-Stromexports $F_{\text{export}}$	Siehe 7.8.1	Siehe 7.8.1	□ ■	□ ■	□ ■	7.4.1; 7.4.2
7.8.6.1 Lastganganpassung durch Batteriespeicher		□	□	□	■	7.2; 7.4.1
7.8.6.2 Lastganganpassung durch Erzeugungssteuerung	Bei KWK-Steuerung	□	□	□	■ ■	7.2; 7.4.1
	Bei differenzierten PV-Anlagen	□	■ ■	■	■	
7.8.6.3 Lastganganpassung durch Lastverschiebung	„smart appliances“	□	□	□	■	7.4.1
	Thermische Speicher	□	■ ■	■ ■	■	
7.8.7 Anpassung des Anteils erneuerbarer Energieerzeugung		□ ■	□	□	■	7.3; 7.4.1; 7.8.1 bis 7.8.5

\* eher gesamtenergetischer Zusammenhang

# Kapitel 8

## Umsetzungsstrategien im Querschnitt

Energieeinsparung

Energiebereitstellung und -erzeugung

Energie speichern

Schnittstelle Gebäudeautomation und (Nutzer-)Informationstechnik

Der Aspekt der Clusterbildung

Deckungsraten erhöhen

Zwischenfazit: Maßnahmenkatalog auf dem Weg zum klimaneutralen Gebäude

BedZED - UK\_1, Foto bioregional



## 8 Umsetzungsstrategien im Querschnitt

Aufbauend auf der eingangs beschriebenen Datenbank (s. Seite 11) können umgesetzte Strategien hinsichtlich der Energieeinsparung und der Nutzung erneuerbarer Energien am Gebäude sowie den dazugehörigen Maßnahmen (Systeme, Materialien, etc.) auf dem Weg zur ausgeglichenen Energiebilanz beschrieben und großteils quantifiziert werden. Die Vergleichbarkeit der Lösungsansätze resultiert aus der Einteilung der Gebäude in die jeweilige Typologie und das Standortklima. Da die erfassten Gebäude mit unterschiedlicher Informationsdichte vorliegen, werden für die folgenden Analysen jeweils diejenigen Projekte ausgewählt, bei denen für die jeweilige Untersuchung entsprechende Daten bzw. Informationen hinterlegt werden konnten. Um stets eine hinreichend große Datengrundlage zu erlangen, können daher nicht immer die gleichen Gebäude in die verschiedenen Untersuchungen eingehen. Die untersuchten Strategien und Maßnahmen orientieren sich u.a. an [Musall 2011b].

Neben den über die Datenbank erfassten (Querschnitts-)Werten zur technischen Umsetzung der Gebäude lassen sich aus dem parallel zu dieser Arbeit verlaufenen Forschungsprojekt „Towards Net Zero Energy Solar Buildings“ und der Publikation [Voss Musall 2011] sowie den in Kapitel 6 thematisierten Interviews Erfahrungen aus der Planungs- und Betriebsphase realisierter Nullenergiegebäude zusammenführen. Über 100 Einzelpunkte stellen die Erkenntnisse aus Sicht von Bauherren, Planern, Nutzern und Forschern dar und ergänzen - sofern für das Konzept für Gebäude mit dem Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz relevant und generell anführbar - die technischen Maßnahmen um einen qualitativen Faktor.

### 8.1 Energieeinsparung

Die Maßgabe des Einsparens von Energie ist bei Nullenergiegebäuden neben der eigenen Energieerzeugung einer der beiden Hauptaspekte und übersteigt zumeist übliche Normen, Verordnungen und bauliche Anstrengungen (s. Kapitel 3). Durch das Bilanzprinzip gilt, dass verringerte Bemühungen zur Energieeffizienz zu größeren Anforderungen auf der Ertragsseite führen. Bestehende Label und Bezeichnungen wie das „EffizienzhausPlus“ (s. Seite 106) oder „PassivhausPlus“ adressieren das Gebot der Effizienz bereits in ihrem Titel. Dabei bezieht sich die Einsparung von Energie auf zwei Verbrauchsbereiche: Einmal werden die gebäudespezifischen, normativ abgebildeten Bedarfe gesenkt, und einmal gilt es - je nach Bilanzgrenze - bei Nullenergiegebäuden zusätzlich die nutzungsspezifischen Verbräuche zu verringern. Hierzu kann in weiter gefassten Szenarien auch die (Elektro-)Mobilität zählen (vgl. jeweils Kapitel 7.4). Während die gebäudespezifischen Bedarfe (auf Basis der Endenergie) meist die thermische Energie ausmachen, sind die nutzungsspezifischen Verbraucher nahezu vollständig strombasiert. Abbildung 8-1 zeigt, dass bei umgesetzten Nullenergiegebäuden beiden Verbrauchsbereichen eine ähnliche Bedeutung zukommt.

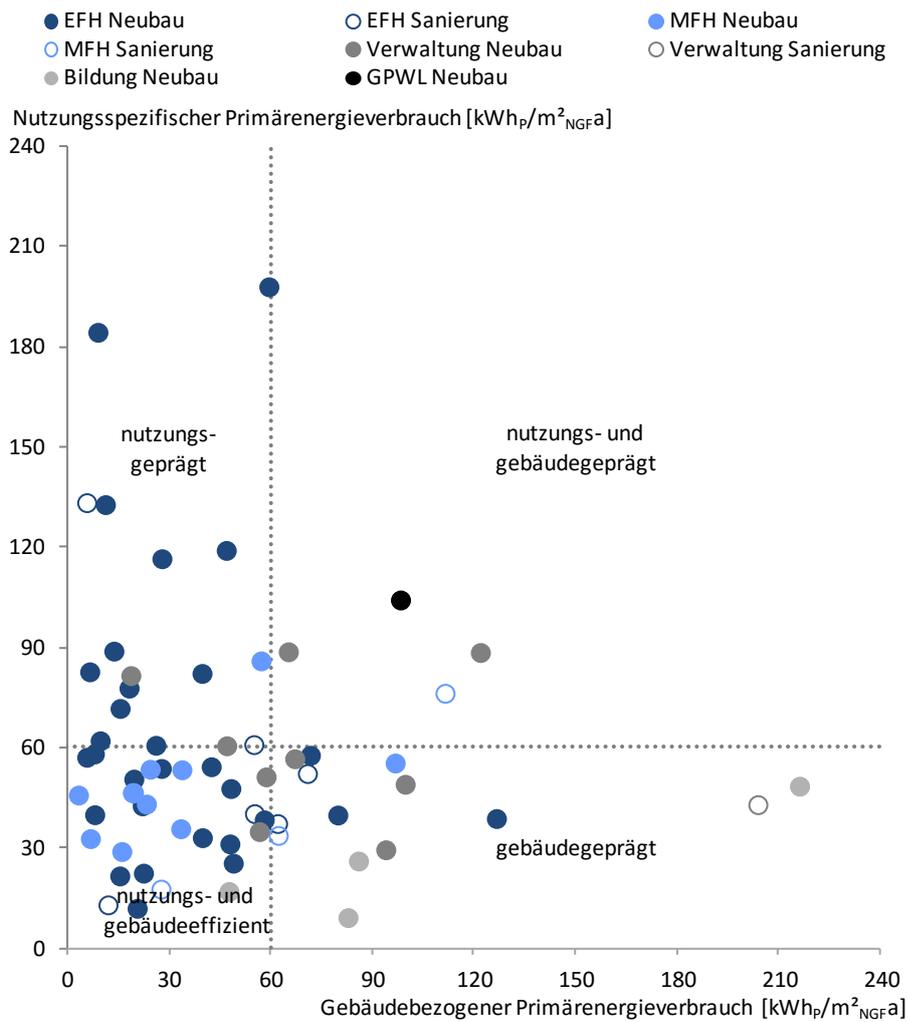


Abbildung 8-1: Gegenüberstellung von gebäude- und nutzungsspezifischen Primärenergieverbräuchen. Verwendet werden nur Gebäude, bei denen beide Verbrauchsbereiche voneinander getrennt erfasst werden (lokale Primärenergiefaktoren, keine Klimabereinigung). Optimale Ergebnisse erzielen solche Bauten, die bei der Gebäudetechnik und den nutzungsspezifischen Verbräuchen geringe Werte erreichen. Es fällt auf, dass vor allem Wohngebäude häufig unter der Grenze von 120 kWh<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFA</sub> (Passivhausanforderung) bleiben, und dass deren Verbrauch eher durch die nutzungsspezifischen Verbraucher geprägt wird, während Nichtwohngebäude einen Trend zu höheren Verbräuchen auf der gebäudespezifischen Seite aufweisen

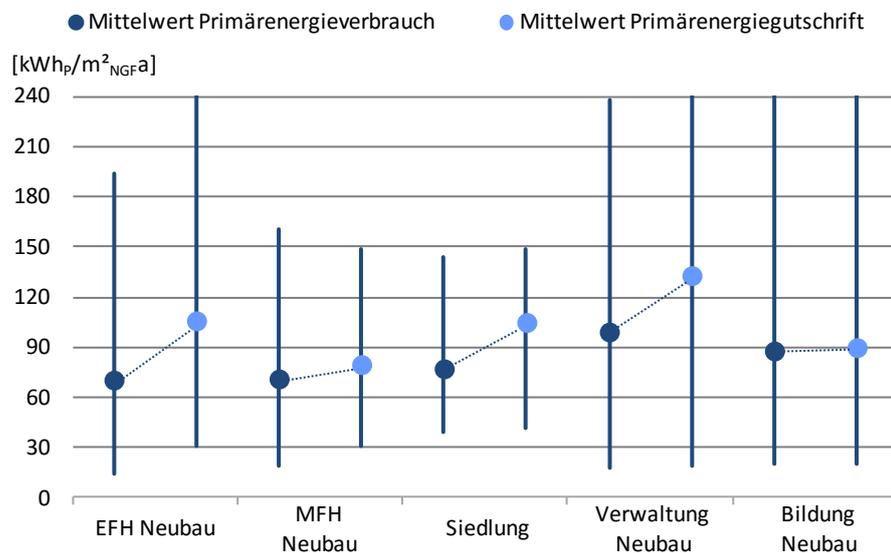
### 8.1.1 Gebäudeeffizienz und (passive) Einsparung gebäudespezifischer Energieverbräuche

Abbildung 4-6 zeigt anhand einer Gegenüberstellung von Primärenergieaufwand und -gutschrift von gut 130 realisierten Nullenergiegebäuden bereits beispielhaft das allgemeine und typologieübergreifende Bestreben nach Effizienz, das in Primärenergieaufwendungen für die Betriebsenergie unterhalb des Passivhausansatzes endet. Es wird deutlich, dass der Ausgleich der Verbräuche umso wahrscheinlicher ist, je geringer diese werden. Bei mitteleuropäischen Wohnhäusern liegt dieses Verhältnis im Neubau bei einem durchschnittlichen Gesamtprimärenergieverbrauch (inkl. nutzungsspezifischer Verbräuche) von 75 kWh<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFA</sub> und einer Primärenergiegutschrift von 100 kWh<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFA</sub>. Neue Nichtwohngebäude benötigen im Mittel etwa 130 kWh<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFA</sub> auf der Aufwandsseite, während der Ertrag diesen Wert mit 136 kWh<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFA</sub> ebenfalls übertrifft. Je nach Typologie und Gebäude(-konzept) variieren diese Werte jedoch sehr stark (s. Abbildung 8-2). Die Streuung deutet darauf hin, dass Planer große Abwägungsmöglichkeiten und damit gestalterische Freiheiten haben und auch nutzen. Das mittlere Ertragsplus ergibt sich bisweilen durch Gebäude mit Plusenergieansatz, die neben den Betriebsenergieaufwendungen auch die oben genannten, zusätzlichen Energieaufwendungen für die (Elektro-)Mobilität oder in Ausnahmefällen die Graue Energie ausgleichen. Diese Aufwendungen sind in Abbildung 4-6 und Abbildung 8-2 jeweils nicht eingerechnet. Für Sanierungsbeispiele liegen nur wenige Daten vor. Diese übersteigen die Mittelwerte

des Verbrauchs gleicher Typologien meist deutlich (Steigerung um ca. 40 % bei kleinen Wohnhäusern und bis zu 100 % bei Mehrfamilienhäusern), während Ertragsüberschüsse kaum mehr auszumachen sind.

Abweichler vom Effizienzpfad sind vor allem dann auszumachen, wenn besondere Gegebenheiten hier entgegenstehen und/oder besonders gute Voraussetzungen für die Nutzung erneuerbarer Energieträger bzw. Energiequellen existieren (s. Sanierungsprojekt DE\_63 und Neubau DE\_86).

Abbildung 8-2: Höchst-, Tiefst- und Mittelwerte für Primärenergieverbrauch und -gutschrift im Betrieb von Neubauten der Typologien Einfamilienhaus (EFH), Mehrfamilienhaus (MFH) und Siedlungen sowie für Verwaltungs- und Bildungsbauten. Für Sanierungsprojekte liegen ebenso wie für die übrigen Typologien nicht genügend Angaben zur Bildung von aussagekräftigen Mittelwerten vor



### 8.1.1.1 Verringerter Wärmebedarf

Im heizungsdominierten Klima adaptieren etwa 80 % der bekannten Nullenergiegebäude das Energie- und Komfortkonzept von Passivhaus und MINERGIE und nutzen Komponenten wie einen hohen Dämmstandard und Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (s.u.) als Basis zur Reduzierung des Wärmeverbrauchs. Dieser liegt einschließlich der Warmwassererzeugung bei einem durchschnittlichen mitteleuropäischen Nullenergie-Wohngebäude (EFH, MFH und Siedlungsgebäude) unter 22 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFA</sub> (Sanierungen nicht eingeschlossen, s. Abbildung 8-3), was etwa 40 % des Standardwertes vergleichbarer Gebäude nach den jeweils im Erbauungsjahr gültigen Energierichtlinien entspricht.<sup>163</sup> Der mittlere Heizwärme- und Warmwasserverbrauch von kleinen Nullenergie-Wohngebäuden beträgt zudem nur knapp 70 % des Grenzwertes für den Passivhausnachweis (bei Annahme von normativ veranschlagten 12,5 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFA</sub> für die Trinkwassererwärmung). Hier spiegelt sich bereits der umfängliche Einsatz von Solarthermieanlagen wider (s. Abschnitt 8.1.1.7). Gebäude aus den Bereichen Bildung, GPWL oder dem Hotelgewerbe sind weniger effizient. Allerdings gilt, dass enorme Unterschiede zwischen knapp 200 % (Siedlungen) und bis zu 2.000 % (Bildungsgebäude) ausgemacht werden können (s. Abbildung 8-3). Dies ist erneut ein Indiz für die Möglichkeiten zur Abwägung zwischen Effizienz, Ertrag und Gestaltung durch den offenen Bilanzansatz. Eine große Herausforderung stellen solche Gebäude dar, deren Wärmeverbrauch stark durch das Trinkwasser dominiert wird. Die wenigen bekannten Hotels mit einem Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz weisen einen Durchschnittswärmeverbrauch von ca. 140 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFA</sub> auf und unterscheiden sich damit kaum von „normalen“, gemessenen Hotelprojekten. Laut [Bernard 2012] werden hier im Mittel 144 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFA</sub> für Wärme und

<sup>163</sup> Dieser Vergleichswert basiert auf übermittelten Angaben der Kontaktpersonen (Planer, Bauherren, Wissenschaftler, etc.) und ist nicht rechnerisch nachgewiesen

WW aufgewendet. Die fehlende Nutzersensibilisierung und geringe Potenziale zur Nutzung von Solarthermie in Innenstadtlagen wirken sich negativ aus.

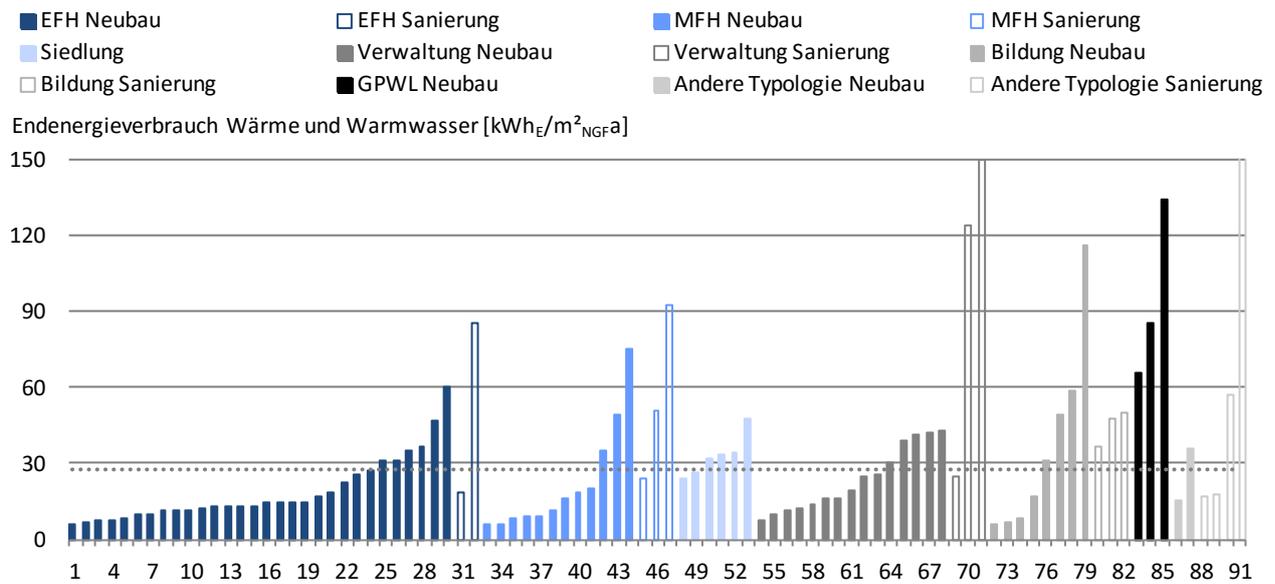


Abbildung 8-3: Gemessene, flächenbezogene Endenergieverbräuche für Wärme und Warmwasser von Nullenergieprojekten in heizungsdominierten Klimaten (nicht klimabereinigt). Die horizontale Linie zeigt einen bei Passivhäusern zu erwartenden Referenzkennwert als Trend- bzw. Zielgröße (15 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFA</sub> Heizwärme plus 12,5 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFA</sub> Warmwasser), vgl. [Musall 2012a]

### 8.1.1.2 Optimierte Gebäudekompaktheit

Spätestens seit den rationalen und stark nach einem verringerten Wärmebedarf ausgelegten Wohnungsgrundrissen des Architekten Alexander Klein (s. Seite 42) und den Überlegungen nach [Olyay 1973] und [Knowles 1974] wird der Wärmebedarf von Gebäuden auch über deren Kompaktheit optimiert.<sup>164</sup> Ein geringes Verhältnis zwischen wärmeübertragender Gebäudeober- bzw. Hüllfläche und dem darüber umschlossenen Raumvolumen formal einfacher Strukturen steht für geringe Transmissionswärmeverluste über die Hüllfläche und wenige Wärmebrücken sowie ein generell geringes beheiztes Volumen. Nur hierüber werden die hohen Dämmstandards wirtschaftlich. Optimierte, also besonders kleine A/V-Verhältnisse, erreichen Kugelformen (s. hierzu Buckminster Fullers Idee der „strukturellen Effizienz“<sup>165</sup>) und besonders große Formen, da ein Volumen durch zentrische Skalierung kubisch wächst, dessen Oberfläche jedoch nur quadratisch [Hönger 2009; Hegger 2008; Rullan Lemke 2009]. Beides steht dem Konzept des Nullenergiegebäudes eher entgegen. Kugelformen eignen sich meist nicht für Gebäude, während die verdichtete Anordnung von Nuteinheiten in einer Großform wie bspw. einem Hochhaus oder der Blockrandbebauung zu ungünstigen Verhältnissen zwischen Nutz- und solar aktivierbarer Dachfläche führt (s. Kapitel 9.1.2). Zudem stehen große würfelartige und hochverdichtete Strukturen anderen Effizienzaspekten mitunter entgegen: Steigt die Gebäudetiefe, sinkt beispielweise die Tageslichtversorgung, was wiederum zu steigendem Kunstlicht- und Strom- sowie möglicherweise zu mehr Kühlbedarf durch gestiegene innere Wärmelasten führen kann. Auch stark verdichtete Mehrfamilienhäuser weisen gegenüber kleineren Wohnhäusern ein für das Konzept des Nullenergiegebäudes ungünstigeres Verhältnis von Wohnfläche pro Dachfläche bzw. pro Quadratmeter Wohnfläche einen höheren Energiebedarf auf. Insofern gilt es, das A/V-Verhältnis gegenüber weiteren und tlw. ebenfalls bereits in [Olyay 1973] angerissenen

<sup>164</sup> Die Verlustminderungsstrategie eines geringen A/V-Verhältnisses wurde noch bis zur EnEV 2007 normativ abgebildet. Hier wurden die Höchstwerte des auf die Gebäudenutzfläche bezogenen Jahresprimärenergiebedarfs und des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlusts in Relation zum A/V gesetzt

<sup>165</sup> Der Architekturvisionär Buckminster Fuller überführte seine auf Schutz vor äußeren Einflüssen und Nachhaltigkeit beruhende Vision der „strukturellen Effizienz“ sowohl in Utopien (Überdecken eines Teils Manhattans mit einer geodätischen Glaskuppel, um die Gebäudehüllflächen der darunter befindlichen Gebäude sowie deren Wärmeverluste zu reduzieren) als auch in reale Bauwerke (US-Pavillon zur Weltausstellung 1967 in Montreal als 76 m durchmessende Stahlkugel mit einer Acrylhaut zur Erwärmung über die Sonne) [Behling 1996]

energetischen sowie gestalterischen und standortbezogenen Aspekten ganzheitlich abzuwägen (s. bspw. Abbildung 8-6).

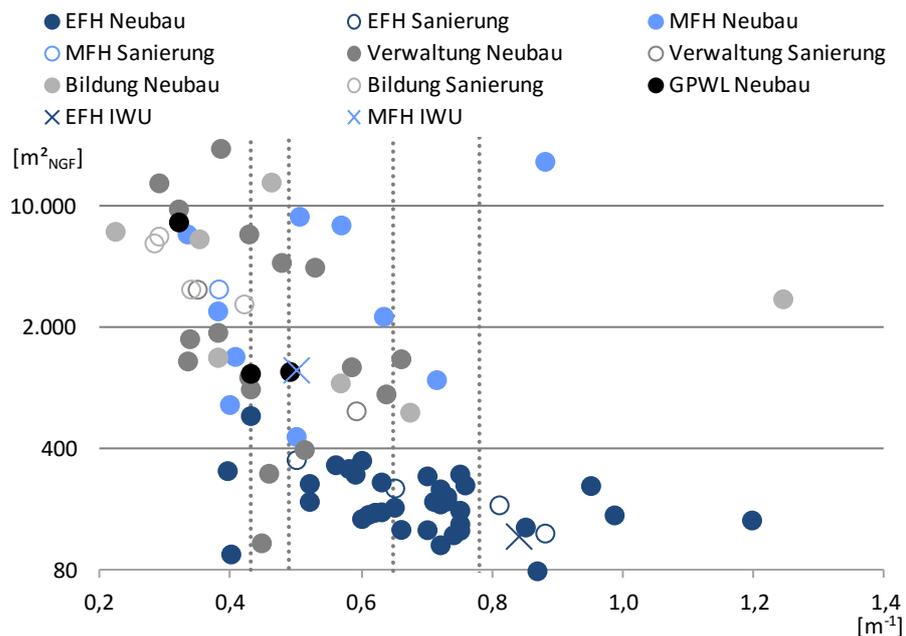
Es fällt auf, dass die untersuchten Nullenergiegebäude häufig eine sehr kompakte Gebäudeform aufweisen. Ihre formale Gestalt tendiert in Richtung eines Quaders. Gegenüber der früher üblichen Fassadenstrukturierung durch bspw. Erker oder Vorsprünge werden eher wechselnde Fassadenmaterialien oder Schattierungen eingesetzt, um Akzente zu setzen (s. Kapitel 9.2). Anstelle einer differenzierten Hausform minimieren vorgestellte Balkone oder Laubengänge Wärmebrücken und das eingeschlossene Volumen von Loggien oder Treppenhäusern. Sofern Gauben ausgeführt werden, ersetzen wenige große Gauben mehrere kleinere, da diese neben einer vergrößerten Gebäudehüllfläche auch zu mehr planerischem Aufwand beim Vermeiden von Wärmebrücken führen und nutzbare Dachflächen für Solaranlagen verringern (CH\_11 - Seite 248 und Abbildung 9-13). Kleine Wohnhäuser erreichen ein mittleres A/V-Verhältnis von unter  $0,7 \text{ m}^{-1}$ , wobei die Werte nicht selten unterhalb von  $0,5 \text{ m}^{-1}$  liegen.<sup>166</sup> Dabei neigen sie tendenziell bei größeren Nettogrundflächen zu einem geringeren A/V als übliche kleine Wohngebäude (s. Abbildung 8-4). Für größere Wohngebäude gilt dies nicht. Zwar wird das mittlere A/V-Verhältnis noch einmal deutlich verbessert (ca.  $0,5 \text{ m}^{-1}$ ), doch ist dies bei großen Gebäuden üblich. Vergleichsweise kleinere Mehrfamilienhäuser der Deutschen Gebäudetypologie und Standardwerte spiegeln eine ähnliche Kompaktheit wider. Hier ist zudem der Trend eines verbesserten A/V-Verhältnisses während der letzten 30 Jahre zu erkennen.<sup>167</sup> Große und voluminösere Nichtwohngebäude schöpfen das Potenzial der Gebäudekompaktheit ebenfalls aus und erzielen meist Werte von deutlich unter  $0,5 \text{ m}^{-1}$ , wobei die Marke von  $0,3 \text{ m}^{-1}$  oft erreicht und sogar unterschritten wird (Abbildung 8-4). Hier gilt, dass ein Literaturvergleich auf Grund einer fehlenden Gebäudetypologie für Nichtwohngebäude nicht möglich ist (vgl. Kapitel 3.4.1), aber auch vergleichsweise kleinere Verwaltungs- und Bildungsgebäude hohe Kompaktheitsgrade aufweisen. Sanierungsprojekte stehen typologieübergreifend kaum hinter Neubauten zurück, auch wenn hierzu bisweilen große Eingriffe in die Bausubstanz vorgenommen werden (s. AT\_16 - Seite 191).

<sup>166</sup> Es gibt keine quantitative Einordnung, ab wann Gebäude im Verhältnis der Größe als kompakt gelten. Als Vergleichswerte für kleine Wohngebäude (EFH) gelten Werte zwischen  $0,6 \text{ m}^{-1}$  bis über  $1,0 \text{ m}^{-1}$ . Bei Reihen- und Mehrfamilienhäusern sind dies  $0,3 \text{ m}^{-1}$  bis  $0,6 \text{ m}^{-1}$ , Hochhäuser weisen Werte um  $0,5 \text{ m}^{-1}$  auf [BauNetz 2012; Hegger 2008]

<sup>167</sup> Ein Indiz für die Verschärfung der Höchstwerte für Transmissions- und Primärenergiebedarfe und deren normativer Bezug zur Gebäudekompaktheit in früheren Energieeinsparverordnungen sowie für die ökonomische Optimierung von Mehrfamilienhäusern

Abbildung 8-4: Die Nettogrundfläche verschiedener Nullenergiegebäude als Funktion der Kompaktheit sowie Vergleich mit Werten von kleinen Wohn- bzw. Mehrfamilienhäusern aus der deutschen Gebäudetypologie nach [IWU 2003] für aktuelle Baujahre.

Die vertikalen Linien entsprechen den der Literatur entnommenen Vergleichswerten für das A/V-Verhältnis von (von rechts nach links) Einfamilien-, Reihen-, Hoch- und Mehrfamilienhäusern (vgl. [BauNetz 2012; Hegger 2008])



# Sanierung der „Volksschule Mähdle“, Wolfurt

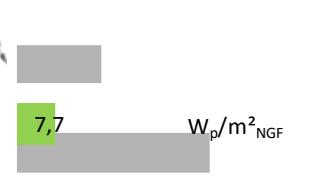
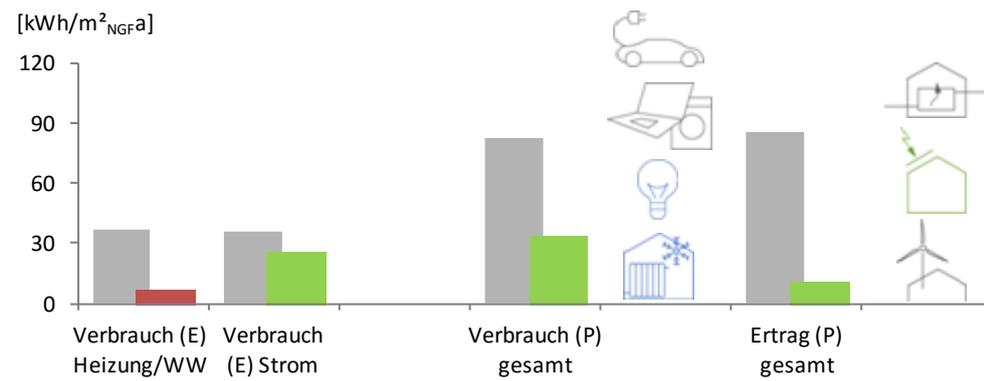
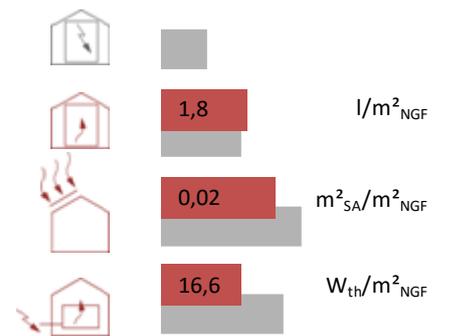
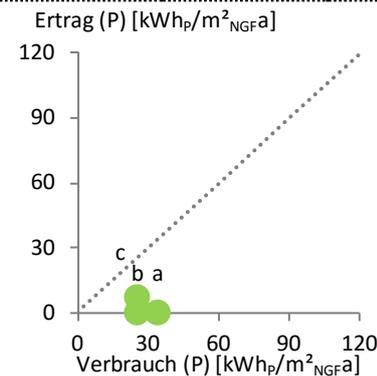
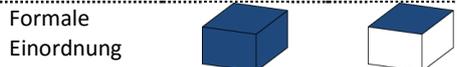
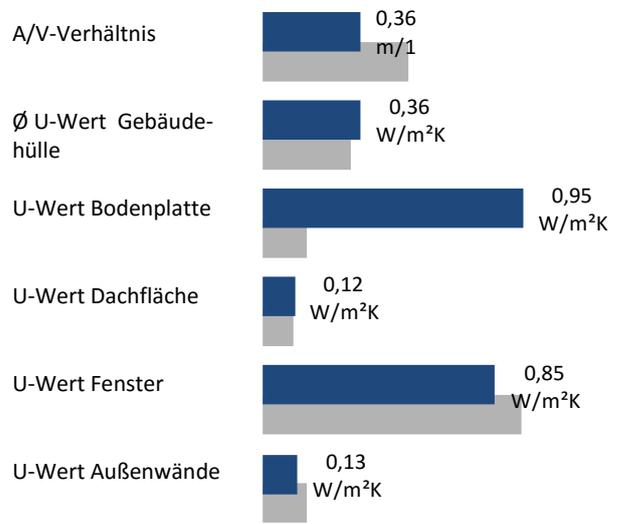
AT\_16



Fotos: Raimund Doerler

Architekt	Gerhard Zweier, Wolfurt	Nettogrundfläche	3.367 m <sup>2</sup>
Baujahr	1974, Sanierung 2010	Hauptakteur / Motiv	Bauherr / Demonstration
Typologie	Bildungsgebäude	Städtebauliches Umfeld	suburban

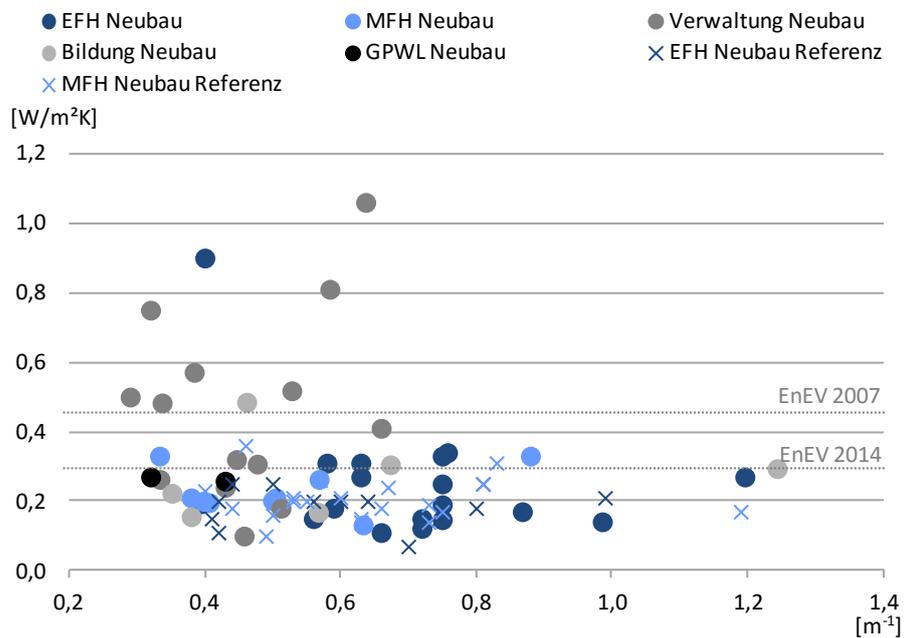
Die Gemeinde Wolfurt verfolgt eine nachhaltige Energiepolitik. Daher erfuhrt die 1975 erbaute, örtliche Volksschule ab 2009 eine umfassende Sanierung. Neben der Sanierung der Gebäudehülle in Passivhausstandard wurden auch die inneren Abläufe reorganisiert. Da hierdurch der frühere Außenraum zwischen Schulhaus und Sporthalle geschlossen wurde, stieg die Gebäudekomplexität während der Heizwärmebedarf gesenkt wurde. Da die in die Südfassade der Sporthalle integrierte thermische Solaranlage neben der Wärmepumpe auch einen 6000 l großen Kombipufferspeicher für die WW-Bereitstellung versorgt, kann die auf dem Schuldach installierte PV-Anlage den normativen Stromverbrauch der Schule und der neu gebauten benachbarten Feuerwache decken. Das Lüftungs- und Kühl-konzept basiert auf dezentralen Lüftungsgeräten sowie thermisch aktivierbarer Konstruktionsmasse. Zusätzlich gibt es pro Klassenraum öffentbare Fensterflügel. Außenliegende Jalousien werden zentral und abhängig von Außen- und Raum-temperatur, Sonnenstand, Tageszeit und Windlast gesteuert.



Weniger kompakte Nullenergiegebäude weisen Satteldächer, Terrassen oder auskragende Bauvolumina (zur Verschattung) auf oder sind sehr flach und geringgeschossig gebaut. Dass die Optimierung der Gebäudekompaktheit als wichtiger Baustein der Verlustminderungsstrategie kaum durch Abwägungen hinsichtlich eines gesteigerten passiven oder aktiven Energieertrags durch große Fensterflächen gen Süden oder ebenso orientierte Solaranlagen aufge- weicht wird, zeigt Abbildung 8-5. Im Vergleich zu 33 Beispielprojekten für sehr effiziente Wohngebäude in Mitteleuropa nach [Hanus 2007]<sup>168</sup> lässt sich erkennen, dass Nullenergie-Wohnhäuser sehr ähnliche A/V-Verhältnisse erreichen. Die Mittelwerte kleiner Nullenergiegebäude sind gegenüber den effizienten Referenzgebäuden nach MINERGIE-, Passivhaus- oder Niedrigstenergie- standard nur leicht erhöht, während Nullenergie-MFHs die Referenzgebäude sogar deutlich unterbieten. Die vergleichend dargestellten Nullenergie- Nichtwohngebäude ordnen sich in ähnlicher Weise ein.

<sup>168</sup> Hier werden u.a. 33 wegweisende Neubauprojekte im Ein- und Mehrfamilienhausmaßstab gezeigt. Die meisten erreichen Passivhaus-, MINERGIE(-P)- oder ähnliche Niedrigstenergiestandards

Abbildung 8-5: Der mittlere U-Wert der Gebäudehülle von Nullenergiegebäuden und 33 Beispielen für effiziente Wohngebäude in Mitteleuropa nach [Hanus 2007] als Funktion des A/V-Verhältnisses. Die horizontalen Linien zeigen beispielhaft den Wärmedurchgangskoeffizienten der Referenzberechnung nach EnEV 2007 und 2009/2014 für das anteilig meist größte Hüllflächenelement Außenwand



Bei den aus [Hanus 2007] entnommenen und auf Effizienz ausgerichteten Gebäuden werden weniger gute A/V-Verhältnisse auf Konzepte zur Maximierung der passiven solaren Wärmeeinträge über die Südfassaden und damit langgestreckte sowie mit einem Pultdach versehene Gebäudekörper zurückgeführt. Nullenergiegebäude sind hingegen auf die Ertragsmaximierung der aktiven Systeme ausgelegt und daher in ihrer Kubatur bzw. Formenwahl etwas freier gestellt (s. Abbildung 8-6).

Abbildung 8-6: Bei einer Maximierungsstrategie der passiven Solarnutzung wirkt sich eine Kubaturveränderung deutlicher aus, als bei der Ertragsmaximierung aktiver Systeme. Bei gleicher Kubatur der beiden linken Körper halbiert sich die nach Süden orientierte Fassadenfläche je nach Bauart während die Dachfläche (der beiden rechten Körper) annähernd unverändert bleibt

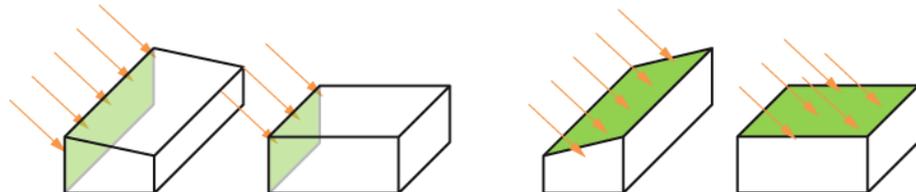


Abbildung 8-3 zeigt bereits den geringen Wärmebedarf von Nullenergiegebäuden. Dass ein günstiges Verhältnis zwischen Hüllfläche und beheiztem Gebäudevolumen allein nicht ausreicht um die Transmissionswärmeverluste bzw. den Wärmebedarf zu verringern, zeigen Abbildung 8-5 und Abbildung 8-7. So werden auch bei einer hohen Kompaktheit niedrige mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten realisiert. Dass einige Projektbeispiele bei gleicher Kompaktheit einen höheren Heizwärmeverbrauch aufweisen, spiegelt ihren geringeren Wärmedämmstandard wider. Andererseits ergeben sich durch sehr gute Wärmedämmeigenschaften Abwägungsmöglichkeiten und gestalterische Freiheiten hinsichtlich der Gebäudeform und des A/V-Verhältnisses bei trotzdem geringen Wärmebedarfswerten. Es wird ersichtlich, dass ein weniger gutes A/V-Verhältnis bei hohen Dämmstandards eher ausgeglichen werden kann, als umgekehrt.

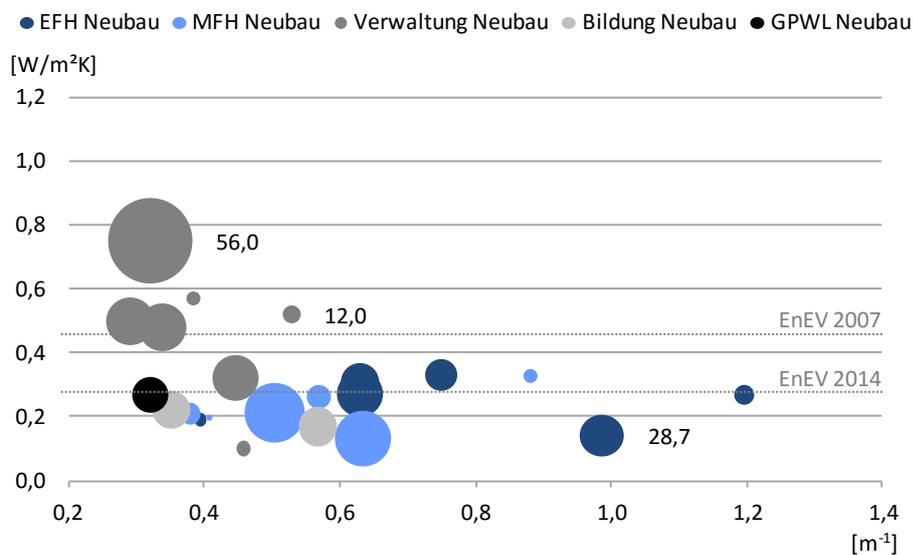


Abbildung 8-7: Gegenüberstellung des mittleren U-Werts der Gebäudehülle von Nullenergiegebäuden im Verhältnis zu deren A/V-Verhältnis sowie dem Jahresheizwärmebedarf in kWhE/m²NGFA (Blasengröße). Die horizontalen Linien zeigen beispielhaft den Wärmedurchgangskoeffizienten der Referenzberechnung nach EnEV 2007 und 2009/2014 für das anteilig größte Hüllflächenelement Außenwand. Die drei exemplarisch eingeblendeten Werte stehen stellvertretend für die Skalierung der Blasen hinsichtlich des Jahresheizwärmebedarfs

### 8.1.1.3 Wärmedämmung und Konstruktion

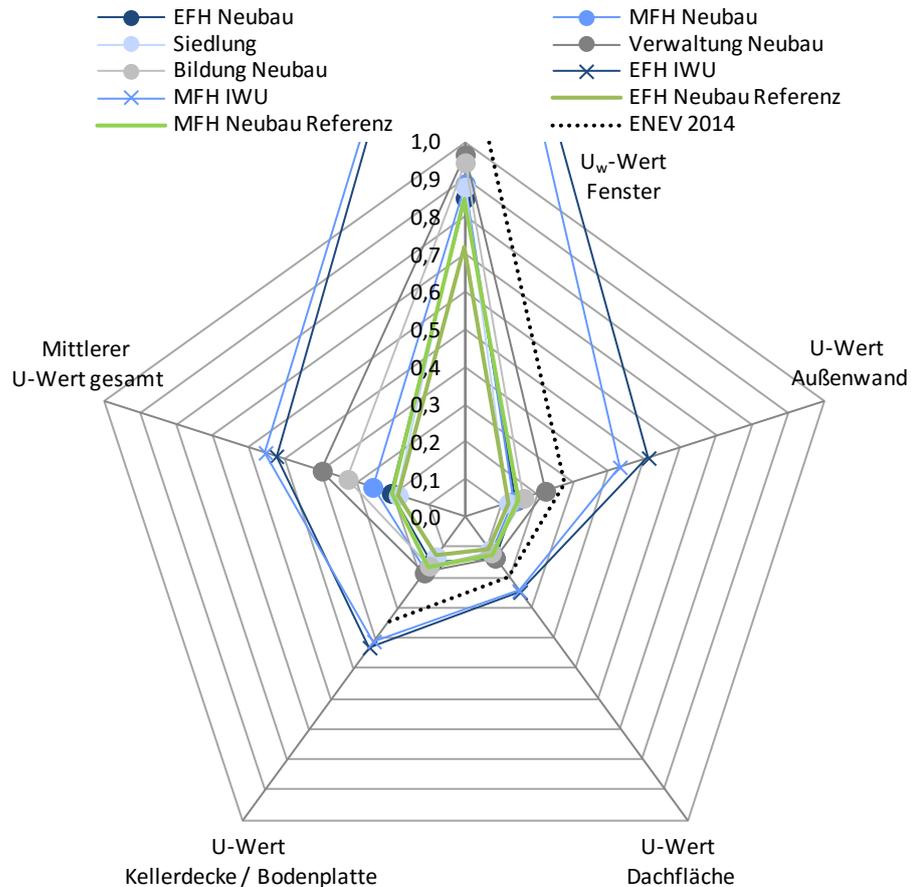
Um die Wärmeverluste über die Gebäudehüllflächen weitestgehend zu minimieren und zudem ein hohes Komfortniveau zu schaffen, wird die Gebäudehülle bei Nullenergiegebäuden hochwärmedämmend, wärmebrückenarm und sehr luftdicht ausgeführt. Die bauteilbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten liegen bspw. deutlich unter den Anforderungen nach deutscher Normung (s. Abbildung 8-8 und Abbildung 8-10). Der flächengewichtete mittlere U-Wert der gesamten Gebäudehülle mitteleuropäischer Nullenergie-Wohnprojekte ist mit durchschnittlich 0,21 W/m²K im Neubau sehr klein. Während kleinere Wohnhäuser diesen Wert mehrheitlich noch unterbieten und damit geringere Kompaktheitsgrade kompensieren (s. vorangegangenen Abschnitt sowie Abbildung 8-5 und Abbildung 8-7), sind die Mittelwerte von Mehrfamilienhäusern und vor allem Nichtwohngebäuden größer. Dies gilt nicht bei einer alleinigen Betrachtung der opaken Hüllfläche. Hier liegen die Durchschnittswerte von Ein-, Siedlungs- und Mehrfamilienhäusern jeweils zwischen 0,12 und 0,14 W/m²K in etwa gleichauf, bei den wenigen Sanierungsbeispielen kaum darüber (um 0,17 W/m²K) und damit jeweils auf Passivhausniveau.

Bei Bildungs- und Verwaltungsbauten entstehen bedeutende Unterschiede zwischen dem mittleren U-Wert der gesamten Gebäudehülle und dem der opaken Bauteile (Verwaltung Neubau 0,40 zu 0,18 W/m²K, Bildung Neubau 0,33 zu 0,15 W/m²K). Hintergrund für die Unterschiede sind die anders ausge-

prägten und im Nichtwohnbereich teils großen Fensterflächen zur gleichmäßigen Tageslichtversorgung von Arbeitsplätzen oder Unterrichtsräumen (s. Abschnitt 8.1.1.5). Gegenüber Wohngebäuden haben die Fenster von Nichtwohngebäuden im Mittel einen etwas schlechteren U-Wert, weil in Ausnahmen der Wärmeschutz gegenüber dem Sonnenschutz hintenan steht und Sonnenschutzverglasungen mit  $U_g$ -Werten um  $1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$  aber dafür kleineren  $g$ -Werten verbaut werden (s. Abschnitt 8.1.1.6). Mehrheitlich werden typologieunabhängig Dreischeiben-Wärmeschutz-Verglasungen ( $U_g$   $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  und besser) mit gedämmten Fensterrahmen ( $U_f$  zwischen  $0,80$  und  $1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) eingesetzt. Die durchschnittlichen  $U_w$ -Werte liegen nahezu gleichauf bei ca.  $0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Dies gilt auch für Sanierungsbeispiele. Vierfach-verglaste Fenster oder solche mit Nanogel in den Scheibenzwischenräumen erreichen nochmals bessere U-Werte.<sup>169</sup>

<sup>169</sup>  $U_g$ -Werte bis zu  $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ , Lichttransmissionsgrade zwischen 25 und 60 % sowie  $g$ -Werte von ca. 45 %

Abbildung 8-8: Durchschnittliche U-Werte von neu erbauten Nullenergiegebäuden aus Mitteleuropa verglichen mit Werten für das Referenzgebäudeverfahren nach EnEV 2014, Literaturwerten effizienter Wohngebäude nach [Hanus 2007] sowie Mittelwerten für Ein- und Mehrfamilienhäusern aus der Deutschen Gebäudetypologie nach [IWU 2003] für aktuelle Baujahre



Während bei den Fenstern die Referenzwerte nach EnEV 2014 durch Nullenergiegebäude moderat unterschritten werden, halbieren die hochwärmege- dämmten Außenwände von Nullenergie-Neubauten die entsprechenden normativen Anforderungswerte bei gleichbleibenden Anforderungen hinsichtlich der Gestaltung, Ökonomie und Statik sowie des Maßes der baulichen Nutzung (GRZ, GFZ und BMZ; s. hierzu Abbildung 8-9). Außenwände im Holzleichtbau erzielen im Neubau häufig U-Werte um  $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$  (s. CH\_8 - Seite 196 und CH\_11 - Seite 248). Die Vergleichswerte der reinen Passiv- oder MINERGIE- Wohnhäuser in [Hanus 2007] werden annähernd erreicht.

Die bauteilbezogen geringsten U-Werte werden mit einem gebäudetypunabhängigen Durchschnittswert von  $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$  durch die Dachkonstruktionen erreicht. Die Potenziale werden hingegen bei Kellerdecken bzw. Bodenplatten trotz ähnlich geringer Einflussnahme auf die Gestaltung nicht ausgeschöpft

(0,16 W/m<sup>2</sup>K). Auch hier erreichen die der Literatur entnommenen effizienten Vergleichs-Wohngebäude etwas bessere Kennzahlen. Die Werte für bestehende Wohngebäude nach [IWU 2003] werden durchweg unterschritten.



Abbildung 8-9: Der Siegerentwurf zur Sanierung eines Reihemittelhauses in Neu-Ulm im Zuge des Förder- und Demonstrationsprogramms „EffizienzhausPlus im Altbau“ (DE\_143) zeigt exemplarisch die Vergrößerung des Fassadenaufbaus durch die zusätzliche Dämmung gegenüber den nicht gedämmten Gebäuden. GRZ, GFZ und BMZ dürften nach einer vollständigen Sanierung der Reihenhaussiedlung deutlich ansteigen. Dies ist nicht überall möglich. Quelle Internet, Animation Werner Sobek

Nach einer Sanierung erreichen nur wenige Projekte mit dem Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz durchgängig die Wärmedämmstandards von Neubauten, wobei neben Wärmebrücken auch die verbesserte Luftdichtheit Probleme bereiten. Zudem stellt die Wärmedämmung von Kellerdecken und vor allem Bodenplatten eine Schwachstelle dar. Während die Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwände gegenüber dem Neubau im Mittel und typologieübergreifend nur um etwa 10 % erhöht sowie in den Dachkonstruktion meist niedriger sind, liegen die U-Werte beim unteren Gebäudeabschluss von Sanierungsprojekten höher (s. Abbildung 8-8 und Abbildung 8-10). Allein deswegen gilt Gleiches auch für den mittleren gesamten U-Wert (bei kleinen Wohngebäuden + 60 %, bei Mehrfamilienhäusern + 20 %). Für die übrigen Typologien liegen nur wenige Daten vor, wobei der Trend ähnliches ausweist.

Um die aufgezeigten Dämmstandards erzielen zu können, bieten sich Holzständer- bzw. Holzrahmenkonstruktionen an (s. CH\_8 - Seite 196). Diese nehmen bereits in der Konstruktionsebene die sehr dicken Dämmpakete auf (bei Zellulose und anderen Naturdämmstoffen bspw. Ø 30 cm) und verringern die Querschnitte der Primärstruktur gegenüber Massivkonstruktionen. Zudem versprechen sie durch die Möglichkeit der Vorfertigung in Werkhallen die gewünscht hohen Ausführungsqualitäten und die für die spätere Dichtigkeit nötige Genauigkeit sowie effizientere Fertigungsprozesse. Dabei entstehen durch den Einsatz von Holz und dessen Wärmeleitfähigkeit von etwa 0,13 W/m<sup>2</sup>K nur geringe Wärmebrücken durch die Konstruktion. Abgesehen von ökologischen Aspekten, der hohen Recyclierbarkeit, der mitunter lokalen Verfügbarkeit sowie der allgemein geringen Grauen Energie<sup>170</sup> verbindet der Baustoff Holz bei Nullenergiegebäuden die Gebäudestruktur mit ökologischem Anspruch und wird von Bauherren oder Planern gewünscht bzw. vorgeschlagen (s. Kapitel 6), auch wenn die Graue Energie nur in sehr wenigen Ausnahmefällen bilanziert wird (s. Kapitel 7.4.3). Bisweilen spiegeln sich die Ansprüche von angestrebten Zertifikaten (z.B. MINERGIE, CSH Level VI oder DGNB) wider. Vor allem bei der Gruppe der bisher zertifizierten „MINERGIE-A“-Gebäude ist der Anteil an Holzkonstruktionen sehr groß. Passend hierzu werden oft nachwachsende Naturdämmstoffe wie Holzwolle, Hanf- oder Flachsfaser sowie (nachträglich ein-geblasene) Zellulose eingesetzt.

<sup>170</sup> auf 1 m<sup>3</sup> Holz entfallen ca. 200 kWh<sub>p</sub>/m<sup>2</sup>. Bei Porenbetonsteinen sind es rund 400 kWh<sub>p</sub>/m<sup>2</sup> und bei Ortbe-  
ton ca. 470 kWh<sub>p</sub>/m<sup>2</sup> [Hegger 2008]

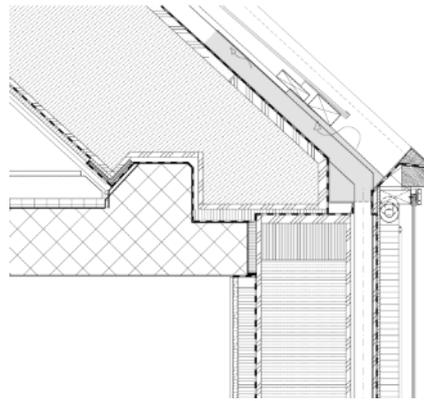
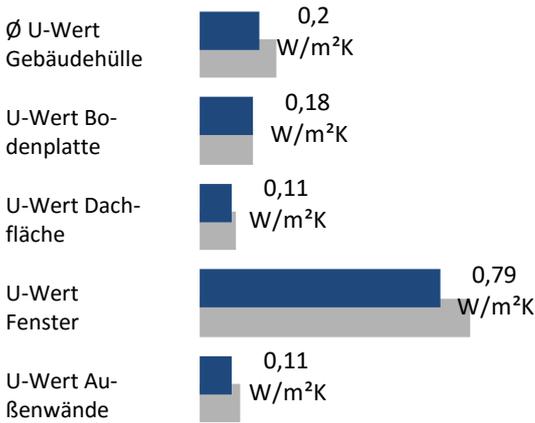
# „Kraftwerk B“, Bennau

## CH\_8



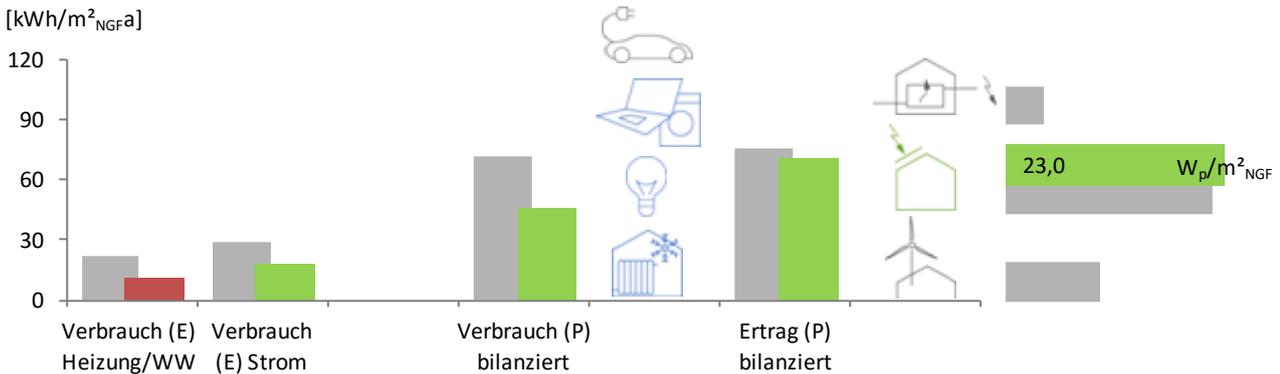
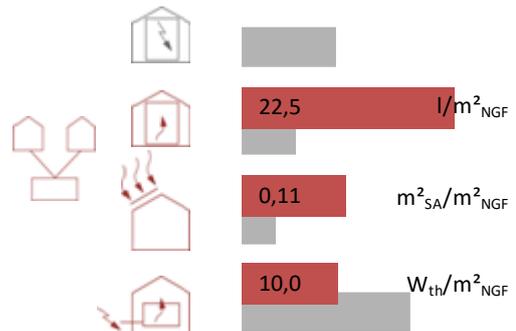
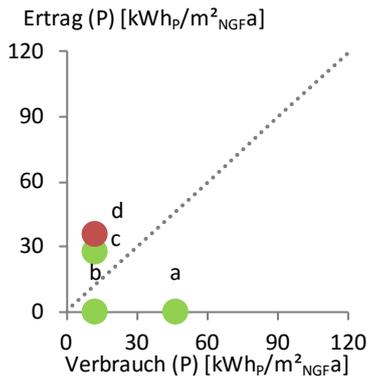
Architekt: Grab Architekten, Altendorf  
 Baujahr: 2009  
 Typologie: Mehrfamilienhaus  
 Nettogrundfläche: 1.377 m<sup>2</sup>  
 Hauptakteur / Motiv: Bauherr / Ökologie  
 Städtebauliches Umfeld: suburban

Fotos: Grab Architekten



Detail der Holzrahmenkonstruktion in Fassade und Dach (ohne Maßstab)

Beim „Kraftwerk B“ gleicht neben dem Stromertrag der PV-Anlagen - hinterlüftet im Dach des Hauses und einer Remise integriert - auch an Nachbargebäude übergebene Wärme den Strom- und Brennholzbezug primärenergetisch aus. Hierzu dienen thermische Flachkollektoren, die gestaltgebend in die hochwärmegedämmte Holzrahmenkonstruktion der Südwest-Fassade eingebunden sind. Besonderheiten sind auch ein Abwasserwärmetauscher, über den Kaltwasser zentral vorgewärmt wird und ein wohnungsinternes Infoportal für Mieter, welches den aktuellen und den bisherigen Energieverbrauch zusammen mit einem gebuchten Saldo darstellt.



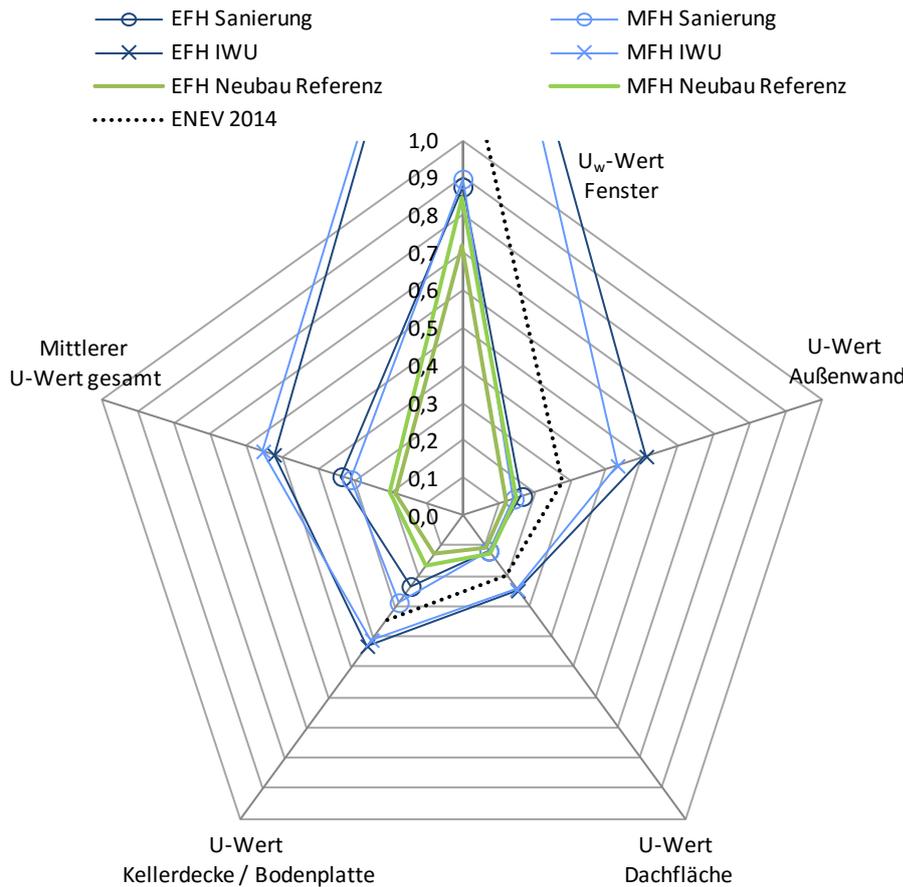


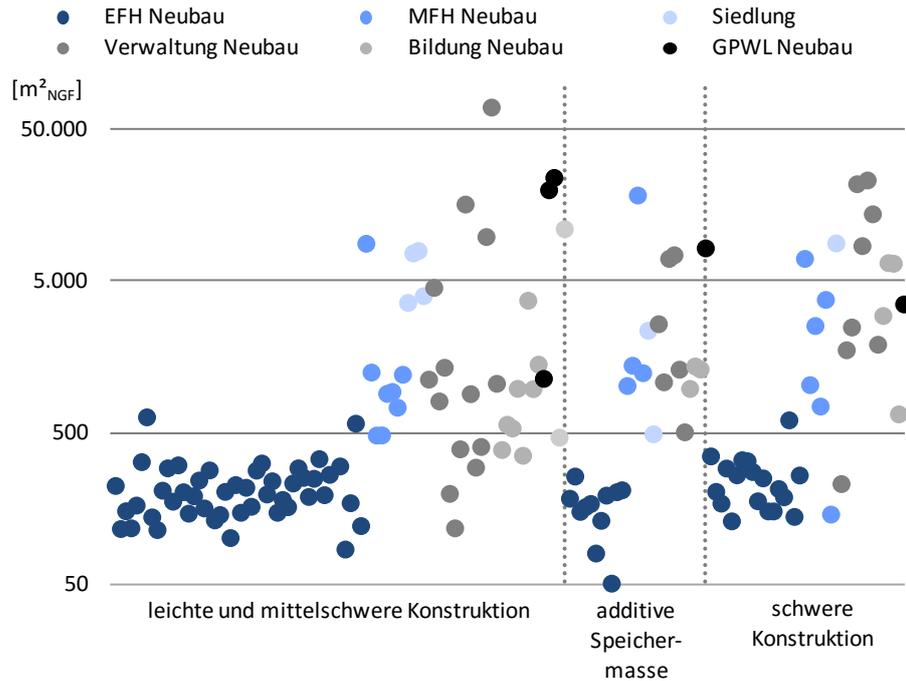
Abbildung 8-10: Durchschnittliche U-Werte von sanierten Nullenergiegebäuden aus Mitteleuropa (Erläuterung Vergleichswerte s. Abbildung 8-8). Für weitere Typologien liegen nicht genug Werte für die Bildung von Durchschnittswerten vor

Der Anteil von Holzkonstruktionen oberhalb von Betonkellerdecken bzw. -bodenplatten ist bei Nullenergiegebäuden auch deshalb groß, weil bisher vermehrt kleine Gebäude mit dem Ziel einer ausgeglichenen Energiebilanz verwirklicht wurden (vgl. Abbildung 5-8). Auf Grund geringer Spannweiten (Brand- und Schallschutz) können Holzkonstruktionen hier einfacher verwirklicht werden. Allerdings sind auch die bekannten Nullenergie-Nichtwohngebäude nur in Ausnahmen größer als 10.000 m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> (7 %; s. Abbildung 8-11).<sup>171</sup>

<sup>171</sup> Der Zusammenhang zwischen Gebäudegröße und gewählter Konstruktionsart ist auch auf die Nutzung und typologische Überlegungen sowie auf konzeptionelle Aspekte wie Grundrissgestaltung und -flexibilität, Brandschutz oder thermische Speicherfähigkeit zurückzuführen

Abbildung 8-11: Verhältnis von Nettogrundfläche zu gewählter Baukonstruktion bzw. damit verbundener thermischer Masse von Nullenergiegebäuden. Es werden nur Neubauten abgebildet, da allein hier davon ausgegangen werden kann, dass auf die Konstruktion und die thermische Masse Einfluss genommen werden konnte.

Als leichte und mittelschwere Konstruktionen werden Holzrahmen- und -ständer-, Pfosten-Riegel- sowie Fachwerkkonstruktionen klassifiziert. Sofern bspw. PCM-Materialien oder nicht verkleidete Massivdecken oder -wände eingebunden werden, erfolgt die Zuordnung zur Gruppe „additive Speicher-masse“. Massivkonstruktionen wie bspw. Beton oder Mauerwerksbauten gelten als schwere Konstruktion



Sofern Massivbauten mit schweren Konstruktionen errichtet werden, steigt der Anteil an größeren Gebäuden. Bei den mehrschaligen Massivwandfassaden variieren dann meist Mineralwolle und geschäumte Kunststoffe (Polystyrol, Polyurethan) als Dämmstoff. Letztere kommen zudem auffällig häufig bei Verwaltungsbauten zum Zuge. Um die aufgezeigten U-Werte für die opaken Hüllflächen erreichen zu können, beträgt die mittlere Dämmstoffdicke in der Fassade ca. 24 cm, während anorganische Dämmstoffe auf etwa 28 cm kommen.<sup>172</sup> Nur in sehr wenigen Ausnahmefällen werden bei Einfamilienhäusern monolithische Ziegelmauern ohne zusätzliche Dämmung umgesetzt. Sie sind dann gemäß den Mindestanforderungen der EnEV 2014 42,5 cm dick. Dass die teils enormen Aufwendungen zur Verringerung der Transmissionswärmeverluste zu stattlichen Gesamtwandaufbauten führen, zeigt das Verhältnis von Brutto- zu Nettogrundfläche (vgl. Abbildung 8-9). Bei Nichtwohngebäuden liegt dies bei  $0,85 m^2_{NGF}/m^2_{BGF}$  und damit schlechter als der Referenzwert von  $0,88 m^2_{NGF}/m^2_{BGF}$  nach [VDI 3807-1 2013]. Bei Wohngebäuden entsteht ein ähnlicher Unterschied ( $0,81$  zu  $0,85 m^2_{NGF}/m^2_{BGF}$ ), der nur auf Grund der vielen Holzkonstruktionen nicht deutlicher ausfällt und entsprechend (ökonomisch) ungünstigere Flächenausnutzungen erwirkt.

Vakuum-Isolationspaneele kommen bisher auch bei Nullenergiegebäuden typologieübergreifend nur vereinzelt bei vorelementierten oder kerngedämmten Fassadenelementen und partiell bei Fensterlaibungen oder sanierten Bauteilaustragungen sowie bei Demonstrationsprojekten zum Einsatz (ca. 3 % der genutzten Dämmstoffe). Bei den wenigen bekannten (Sanierungs-)Beispielen wird das Vermeiden von Wärmebrücken als Hauptgrund genannt.

Die Dämmung im Dach der Nullenergiegebäude ist im Durchschnitt und unabhängig vom Dämmstoff etwa 30 cm dick.<sup>173</sup> Bei der Dämmung von Bodenplatten und Kellerdecken überwiegen geschäumte Kunststoffe (mittlerer Dämmstoffaufbau 20 cm).

<sup>172</sup> Sofern Mineralwolle oder in Ausnahmen geschäumte Kunststoffe in Verbindung mit Holzrahmenkonstruktionen genutzt werden, ist dies hier eingegangen

<sup>173</sup> Bei Flachdächern mit Gefälledämmung ist der mittlere Aufbau eingeflossen

#### 8.1.1.4 Verringerte Lüftungswärmeverluste

Um neben den Transmissions- auch die Lüftungswärmeverluste zu minimieren, und zugleich einen hohen Innenraumkomfort auf Basis guter Luftqualität zu ermöglichen, weisen nahezu alle mitteleuropäischen Nullenergiegebäude Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung auf. Der angegebene Wärmerückgewinnungsgrad der verbauten Anlagen beträgt durchschnittlich 84 % bei einer mittleren Leistungsaufnahme der Lüfter von  $0,5 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ <sup>174</sup>, wobei die Leistungsaufnahmen vor allem bei französischen und englischen Projekten deutlich höher liegen, als bei solchen im deutschsprachigen und skandinavischen Raum. Ventilatoren mit höchsten Effizienzgraden und Kanalnetze mit niedrigen Druckverlusten werden also nicht durchgängig eingebaut. Eine bedarfsabhängige Regelung oder partielle Abschaltung der Ventilatoren bzw. RLT ist ebenfalls nur aus wenigen Beispielen übermittelt (s. bspw. DE\_7 - Seite 95, DE\_54 - Seite 45).

<sup>174</sup> Dies entspricht einer spezifischen Leistungsaufnahme der Ventilatoren ( $P_{\text{SFP}}$ ) von  $1,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$

Typologieübergreifend dominieren zentrale Lüftungsanlagen, die häufig mit Erdregistern zur Vortemperierung der Zuluft bzw. zur Frostfreihaltung der Fortluft kombiniert werden. Falls die mikroklimatischen Bedingungen mit trockenen Wintern dies erfordern, wird eine Befeuchtung ergänzt. Dezentrale Systeme bieten in Schulen einen abschnittsweisen und bedarfsbezogenen Einsatz durch einzelne Nutzergruppen (s. DE\_42 - Seite 200). Bei Sanierungsprojekten sind sie eine Alternative zu zentralen Anlagen sofern geringe Deckenhöhen der Installation von Lüftungskanälen im Wege stehen.

Genutzte Alternativen oder Ergänzungen zu Lüftungsanlagen sind mechanisch zu öffnende Lüftungselemente bzw. Fenster, die über die Gebäudeautomation und anhand von  $\text{CO}_2$ - bzw. Feuchtesensoren zentral gesteuert werden (s. DE\_42 - Seite 200, DK\_3 - Seite 209 o. AT\_25). Die öffnungsbasierte Lüftung bietet im Sommer durch Abschalten der Ventilatoren Stromeinsparungen bei nahezu unvermindert hoher Raumluftqualität (US\_8, DE\_54 - Seite 45, DK\_3 - Seite 209).

Unabhängig vom technischen Konzept wird die Luftqualität von Bewohnern bzw. Nutzern der Nullenergiegebäude als positiv und angenehm beschrieben. Probleme mit mangelnder Luftfeuchte bei länger anhalten Kälteperioden sind allerdings ein Problem, welches jedoch vor allem von Messgeräten als von Nutzern wahrgenommen wird.

Wie auch der hohe Wärmedämmstandard ist den erfassten Projekten eine große Luftdichtigkeit der Gebäudehülle gemein. Als Maßnahmen werden neben einer generell dichten Gebäudehülle die Abdichtung von Schächten, der Verzicht auf Feuerstellen mit Raumluftbetrieb, Gebäudevorsprünge und Gauen oder die Nutzung automatischer Türschließer hervorgehoben. Als problematisch werden mehrfach Schiebetüren beschrieben (bspw. US\_8 o. DE\_37 - Seite 237). Für Neubauten wird durchschnittlich eine Luftwechselrate von  $0,54 \text{ h}^{-1}$  ( $n_{50}$ -Wert) erreicht. Allerdings sind auch hier die Unterschiede groß ( $0,18$  bis  $1,45 \text{ h}^{-1}$ ). Auffallend häufig wird der Wert  $0,6 \text{ h}^{-1}$  genannt, der gerade zur Zuteilung eines Passivhaus- oder „MINERGIE-P“- bzw. -„A“-Zertifikats genügt. Die Mittelwerte von Sanierungsprojekten liegen nahe  $1,0 \text{ h}^{-1}$ , wobei auch hier Werte unter  $0,6 \text{ h}^{-1}$  keine Seltenheit sind.

# Grundschule „Niederheide“, Hohen Neuendorf

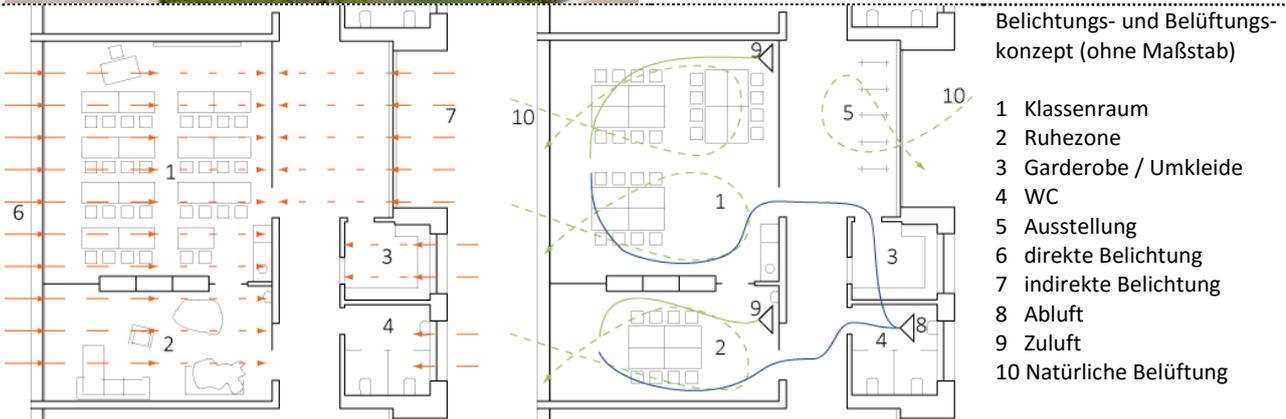
DE\_42



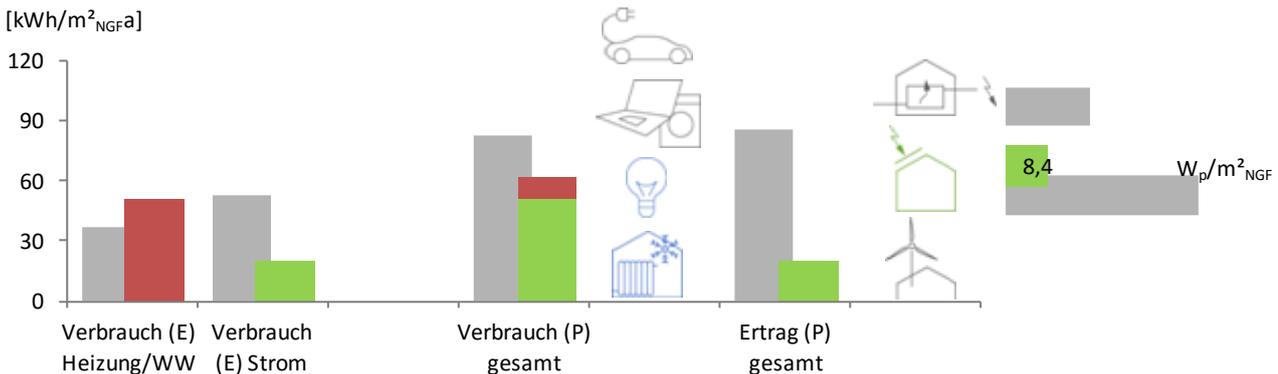
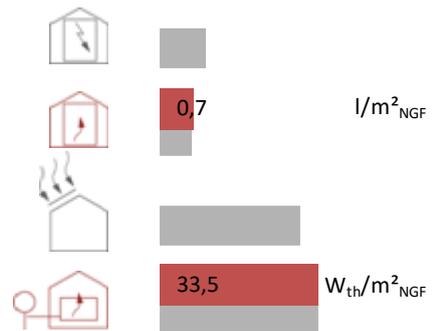
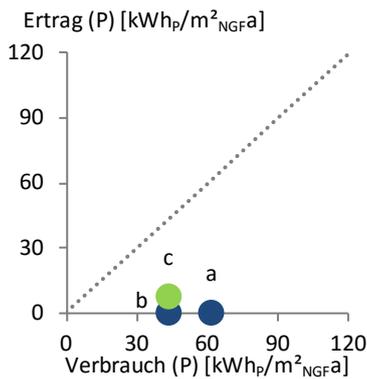
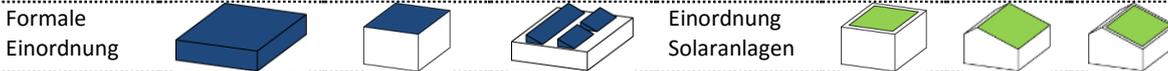
Architekt  
 Baujahr  
 Typologie  
 Nettogrundfläche  
 Hauptakteur / Motiv  
 Städtebauliches Umfeld

IBUS Architekten, Berlin  
 2011  
 Bildungsgebäude  
 6.563 m<sup>2</sup>  
 Forschung / Demonstration  
 urban

Foto: Ali Moshiri



Bei der Grundschule „Niederheide“ steht ein hoher Nutzungskomfort im Vordergrund. Die Kammstruktur mit mehreren Gebäudeflügeln sowie die damit mögliche, zweiseitige Belichtung der Klassenräume ist Wegbereiter für ein hohes Maß an natürlicher Belichtung. Sonnenschutz- samt Tageslichtsystemen sowie mehrere über die Raumtiefe verteilte Lichtsensoren ergänzen das Beleuchtungskonzept und ermöglichen eine raumtiefenunabhängig gleichmäßige Beleuchtung. Durch die räumliche Kombination von Klassen-, Erschließungs- und Sanitärräumen lassen sich dezentrale Lüftungsanlagen effizient nutzen. Eine natürliche Lüftung und passive Kühlung ist über Fassadenflügel möglich. Dass die Energiebilanz bisher nicht ausgeglichen wird, liegt daran, dass noch kein Pellet-BHKW installiert werden konnte. Die PV-Anlagen reichen trotz niedriger Verbräuche nicht aus.



#### 8.1.1.5 Passive Wärmegewinne und Tageslichtnutzung über optimierte Fenster(-flächen)

Wie in Abschnitt 8.1.1.2 und Abbildung 8-6 bereits angedeutet, kann sich bei Nullenergiegebäuden die Bedeutung der bei den ersten Passiv- oder Solarhauskonzepten noch als elementar beschriebenen Fensterflächenverteilung zur Maximierung passiver Wärmeeinträge verringern. Auf Grund des Bilanzansatzes überwiegen Energieerträge aus der aktiven Nutzung der Solarstrahlung durch thermische und vor allem photovoltaische Solaranlagen. Dennoch sind passive Wärmeeinträge ein Konzeptbaustein der dem Passivhauskonzept folgenden Nullenergiegebäude (s. DE\_5 - Seite 141). Parallel dienen bewusst verteilte Fenster dem Nutzerkomfort durch erhöhte Tageslichtanteile und Blickbeziehungen nach außen. Während sich hierüber der Stromaufwand für den Kunstlichteinsatz und zugleich dessen interne Wärmelasten einsparen lassen, steigen die Transmissionswärmeverluste gegenüber der ersetzten, besser gedämmten opaken Außenhülle (s. Abschnitt 8.1.1.3). Da allein südwärts orientierte ( $\pm 20^\circ$ ) Dreischeiben-Wärmeschutz-Verglasungen eine bauteilbezogen positive Energiebilanz erreichen, kommt der Fensterverteilung Aufmerksamkeit zu. Dies gilt auch, weil der Ausnutzungsgrad solarer Wärmegewinne bei sehr großen Fensterflächen ohnehin und bei den genannten großen Anteilen an Holzleichtbauten im Besonderen abnimmt (s. DE\_42 - Seite 200). Dennoch weisen Nullenergiegebäude in mitteleuropäischen Klimaten typologieübergreifend auch weiterhin eine ausgeprägt asymmetrische Fensterflächenverteilung mit Schwerpunkt großflächiger Verglasungen in Richtung Südost bis Südwest auf (s. Abbildung 8-12). Dabei fällt das stärkste Ungleichgewicht bei Nullenergie-Verwaltungsbauten auf. Während deren Nutzungszonierung in der Regel gemäß einer maximierten Tageslichtausbeute und verringerten Wärmeeinträgen entlang gleichmäßig ost-west-orientierten (Fenster-)Fassaden erfolgt, dreht sich dieses Bild bei den Nullenergiebeispielen zugunsten einer klaren Südorientierung. Bei Bildungsbauten ist noch am ehesten eine Ost-West-Ausrichtung zu erkennen. Sie weisen zudem als einzige Typgruppe einen nennenswerten Anteil an Dachflächen- bzw. Horizontalverglasung auf (fast 10 %). Wie bei den Bürogebäuden wird über die größeren Fensterflächenanteile gen Norden und die sehr großen Südflächen eine längliche Gebäudeform erkenntlich. Eine Analyse der Nutzungszonierung anhand von Grundrissen stützt die Annahme der forcierten Nutzung passiver Wärmeeinträge auch bei Verwaltungsbauten (s. CH\_2 - Seite 202). Der Aufwand zur Verschattung wird dabei in Kauf genommen (s. Abschnitt 8.1.1.6).

# „Marché International Support Office“, Kempththal

## CH\_2

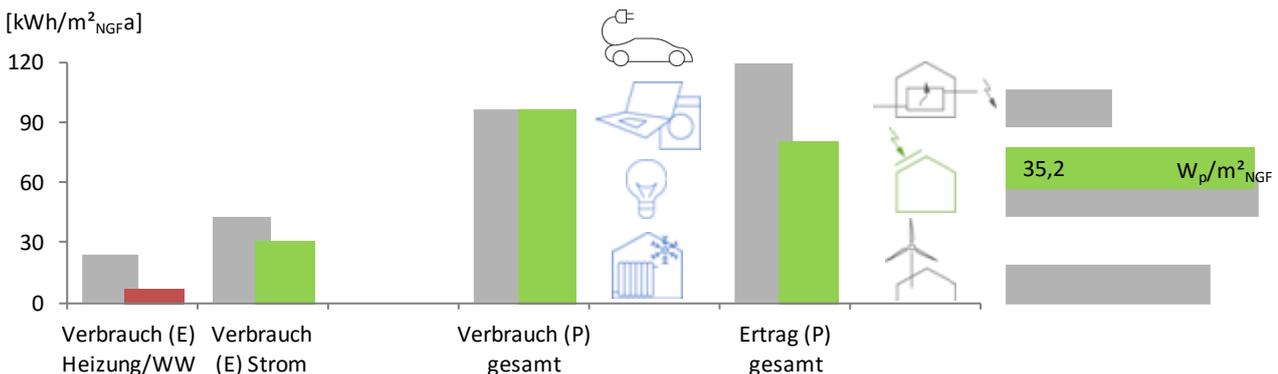
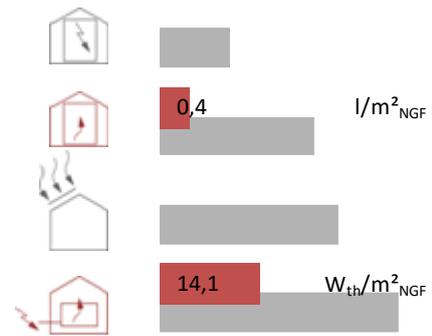
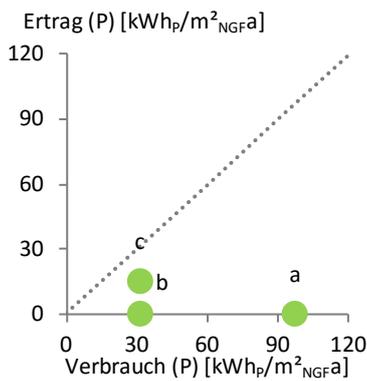


Fotos: kämpfen für architektur

Architekt	Beat Kämpfen - kämpfen für architektur, Zürich	Nettogrundfläche	1.297 m <sup>2</sup>
Baujahr	2007	Hauptakteur / Motiv	Bauherr / Marketing
Typologie	Verwaltungsgebäude	Städtebauliches Umfeld	suburban

Beim Firmenhauptsitz der Marché-Gruppe verschatten der um 1,30 m auskragende Dachüberstand, Balkone und außenliegende Stoffrollos die für einen Verwaltungsbau ungewöhnlich großen Fensterflächen der Südfassade. Diese sind je zur Hälfte mit Dreifach-Sonnenschutzgläsern und Spezialverglasungen bestückt. Bei Letzterer befindet sich im raumseitigen Scheibenzwischenraum Salzhydrat als Phasenwechsellmaterial (PCM). Es kann als Ersatz für die in der Holzkonstruktion fehlende Speichermasse bei Sonneneinstrahlung Wärme speichern, zeitverzögert an den Innenraum abgeben und hierüber das Temperaturniveau konstant halten. Das Salzhydrat ist dann geschmolzen, also transparent, während die erhöhte Oberflächentemperatur auf der Innenseite die Behaglichkeit im Raum steigert. Im Sommer streut das kristalline Salzhydrat einfallendes Licht diffus in die Büros und vermeidet, dass die Strahlung direkt auf den Boden fällt und hierüber die Innenraumtemperaturen steigen lässt.

Der Dachüberstand dient zugleich als Verlängerung des asymmetrisch geneigten Daches und vergrößert hierüber die Fläche, die durch die Solarstromanlage genutzt werden kann. Dass diese nicht zum vollständigen Ausgleich aller Stromverbräuche des Nur-Strom-Gebäudes ausreicht liegt an gegenüber der Planung gesteigerten Verbräuchen durch zusätzliche Bürogeräte, Kleinverbraucher wie Kaffemaschinen und eine USV-Anlage. Zudem finden mehr Mitarbeiter ihren Arbeitsplatz im als einfachen Holzbau gestalteten Verwaltungsgebäude als angenommen.



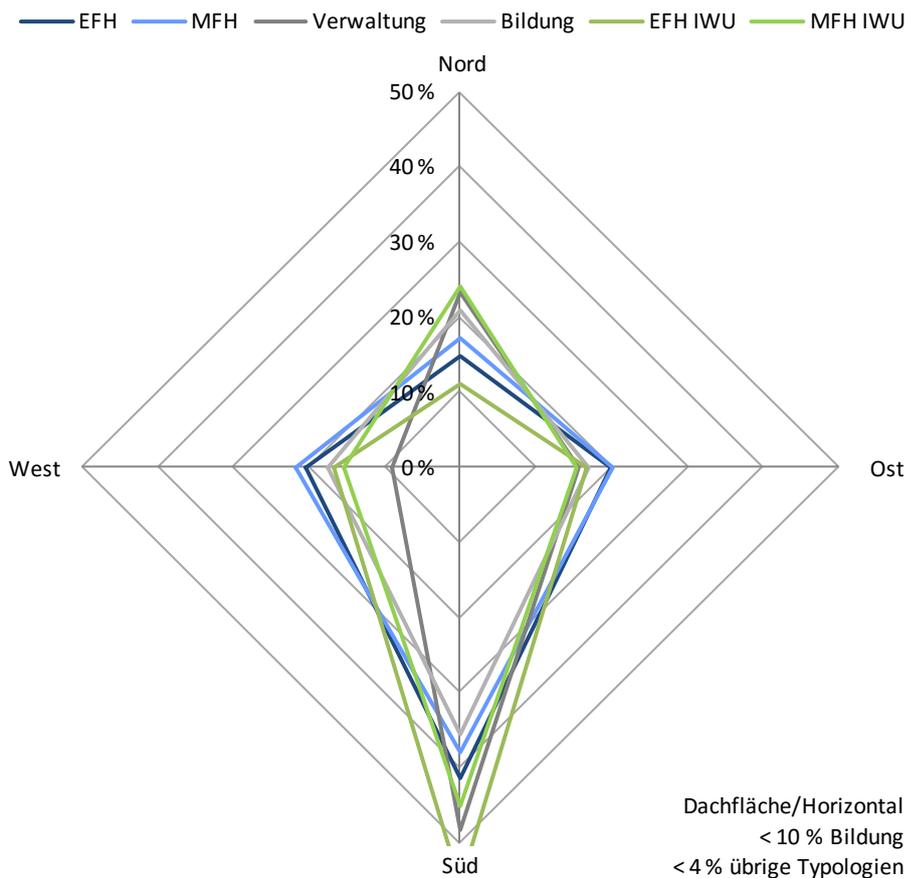
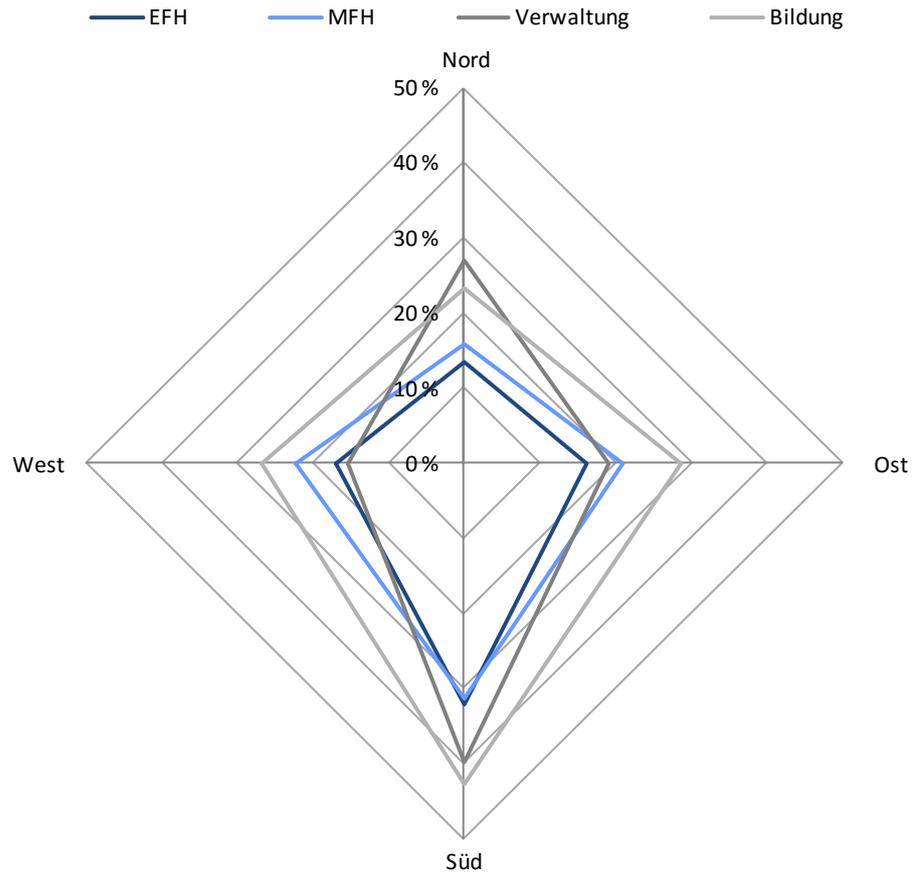


Abbildung 8-12: Verteilung von Fensterflächen pro Himmelsrichtung bei unterschiedlichen Typologien. Dachflächenfenster und Horizontalverglasungen machen durchschnittlich weniger als 10 % aus

Bei Wohngebäuden fällt auf, dass sowohl Mehr- als auch Einfamilienhäuser gegenüber den analysierten Nichtwohngebäuden eine etwas moderatere Fensterverteilung aufweisen (s. Abbildung 8-12). Zwar sind ca. 40 % der Fenster nach Süden orientiert, doch zeigen jeweils nahezu 20 % auch in die übrigen Himmelsrichtungen und weichen damit das asymmetrische Fensterbild ein wenig auf. Im Vergleich zu Typgebäuden nach [IWU 2003], bei denen ein extremes Ungleichgewicht zugunsten südwärts gerichteter Fenster besteht, sind Nullenergie-Wohngebäude in der Orientierung der Fenster ungezwungener. Ergebnisse aus Nutzerbefragungen bei Nullenergiegebäuden übermitteln eine positive Bewertung des großen Tageslichtangebots (DK\_3 - Seite 209, AT\_14 - Seite 82, CH\_11 - Seite 248).

Bei den Öffnungsanteilen pro Fassade dominieren Fenster in den Südfassaden typologieübergreifend weniger deutlich. Vor allem bei großen Wohn- und Bildungsbauten erhalten auch die West- und Ostfassaden beachtliche Öffnungsteile von bis zu 30 %. Bei den Verwaltungsgebäuden nehmen die Verglasungsanteile in der Nordansicht zu. Allein bei kleinen Wohnhäusern sind die Öffnungsanteile - abgesehen von der äquatorzugewandten Seite - durchgehend eher gering (s. Abbildung 8-13). Auch wenn das asymmetrische Bild generell bestehen bleibt und sich länglich gestreckte sowie mit den Hauptfassaden nach Süden zeigende Gebäude bestätigen, werden sowohl Abwägungsmöglichkeiten hinsichtlich energetischer und nicht energetischer Aspekte sichtbar und lassen sich auch verbesserte Fensterdämmeigenschaften ablesen.

Abbildung 8-13: Verteilung von Fensterflächen pro Wandfläche unterschiedlicher Nullenergiegebäude-Typologien



Bei den analysierten Wohnbaubeispielen beträgt das Verhältnis von Fenster- zu Nettogeschossfläche bis zu 33 % (EFH) und übersteigt damit den Wert der Gebäude der Deutschen Gebäudetypologie deutlich (24 %). Etwas weniger groß ist der Zuwachs bei Mehrfamilienhäusern (+ 5 %). Verwaltungs- und Bildungsgebäude mit Nullenergieansatz erreichen 22 bzw. 26 % (vgl. Abbildung 8-14). Die Fensterfläche steigt dabei durchweg analog zur Gebäudegröße, womit eine hohe Nutzung des Tageslichts und passiver Wärmeeinträge gegeben ist. Die wenigen erfassten Werte für den Lichttransmissionsgrad der verwendeten Fenster spiegeln übliche Angaben von Dreischeiben-Wärmeschutzverglasungen laut [Hegger 2008] wider ( $\varnothing$  67 %).

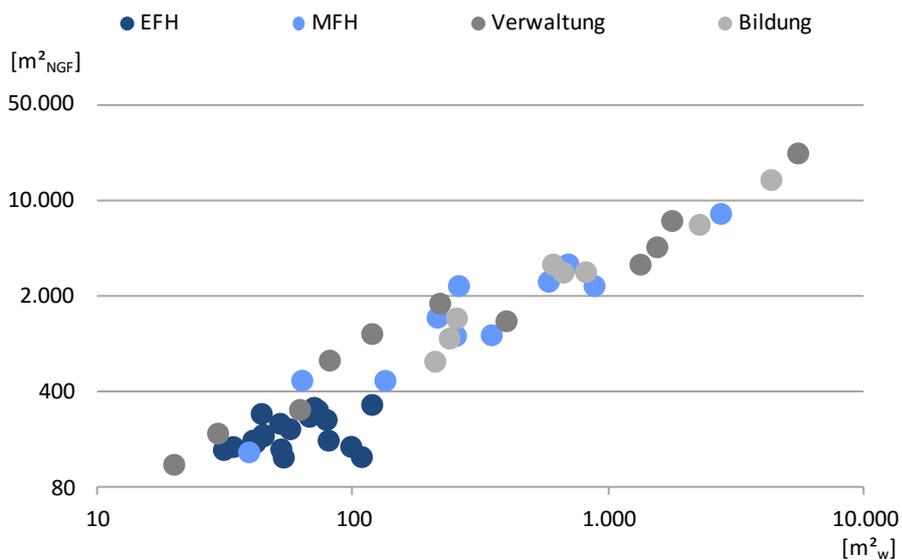


Abbildung 8-14: Verhältnis von Nettogrundfläche und Fensterfläche bekannter Nullenergiegebäude in Mitteleuropa

Systeme zur Tageslichtlenkung wie Heliostate oder Light Shelves werden bei Nullenergiegebäuden nur in Ausnahmefällen genutzt (s. US\_8). Zur Kompensation von verringertem Tageslichteinfall werden aber lichtlenkende und -streuende Gläser bzw. Lamellen und Storen - letztere in Kombination mit dem Sonnenschutz (s. folgender Abschnitt) - eingesetzt. Im Unterschied zu gesteigerten Fensterflächen nimmt die Zahl und Ausprägung von Wintergärten als thermische Pufferräume und bekanntes Merkmal der Solarbaugeschichte (vgl. Kapitel 5) ab.

#### 8.1.1.6 Sommerlicher Wärmeschutz / passive Kühlung

Bei (Nullenergie-)Gebäuden außerhalb der heizungsdominierten Klimazone dreht sich die Verteilung von Fensterflächen zu Gunsten erhöhter Tageslicht- und verringerten Wärmeeinträgen um. Es überwiegen Maßnahmen zur Vermeidung der Überhitzung während warmer und heißer Perioden. Fenster werden kaum zum Äquator gerichtet und stark verschattet. Der Aufwand für den Wärmeschutz ist deutlich geringer (s. FR\_4 - Seite 36). Auch wenn in heizungsdominierten Klimaten und bei nördlich des Äquators gelegenen Gebäuden das Hauptaugenmerk in der öffentlichen Wahrnehmung und den Vorschriften zum Energieaufwand in Gebäuden auf der Vermeidung von Wärmebedarfen liegt, ist der sommerliche Wärmeschutz eine entscheidende Größe für den Innenraumkomfort und die Energiebilanz. Bedenkt man, dass bei herkömmlich geplanten Verwaltungsgebäuden mitunter ebenso viel Energie für die aktive Kühlung aufgebracht wird wie für das Heizen [EnOB 2010a], und dass der Klimawandel samt einer Zunahme warmer Perioden und heißer Tage bereits voranschreitet (s. Kapitel 3.3), kommt dieser Aufgabenstellung eine sehr große Bedeutung zu.

Die in Abschnitt 8.1.1.5 beschriebenen großflächigen und mehrheitlich südorientierten Fenster zur Steigerung der passiven Wärmeeinträge und erhöhter Tageslichtnutzung stehen dem Wunsch nach sommerlichem Komfort bei gleichzeitiger Vermeidung einer aktiven Kühlung entgegen. Bewusst reduzierte Fensterflächen sind selten kommuniziert aber durchaus vorzufinden. Hinzu kommt, dass die bei Nullenergiegebäuden überwiegend eingesetzten Dreischeiben-Wärmeschutz-Verglasungen einen gegenüber Sonnenschutzgläsern ungünstigeren Gesamtenergiedurchlassgrad ( $g$ -Wert) aufweisen. Dieser liegt bei den erfassten Gebäuden im Mittel und unabhängig vom gewählten Son-

<sup>175</sup> Bei den wenigen Gebäuden außerhalb der heizungsdominierten Klimazonen ist ein Sonnenschutz ebenfalls obligatorisch, verschattet im Falle ihrer Verortung auf der Südhalbkugel aber an Stelle der südlichen, die nördlichen Fenster

nenschutz bei 51 %. Um den Eintrag (zu) großer thermischer Lasten im Sommer zu vermeiden, sind wirksame Sonnenschutzmaßnahmen bzw. -systeme unverzichtbar. Sie schützen bei der absoluten Mehrheit der bekannten Nullenergiegebäude die süd- sowie in vielen Fällen auch die ost- und westwärts orientierten Fenster vor intensiver Einstrahlung.<sup>175</sup> Hierzu dienen bei größeren Gebäuden vor allem starre Systeme wie vorgestellte und damit additive Horizontallamellen, Loggien und Balkone oder sich aus der Form ergebende Auskragungen bzw. Dachüberstände (CH\_2 - Seite 202, DE\_5 - Seite 141 o. DK\_3 - Seite 209). Sofern große Fensterflächen verschattet werden sollen und die Verschattungselemente entsprechend umfangreich ausfallen, werden diese gestalterisch integriert oder thematisch hervorgehoben (s. AU\_3 - Seite 281). Auskragungen und Überstände bieten beim Anschluss an die Dachfläche die Möglichkeit zu deren Verlängerung und damit erweiterte Potenziale zur Stromerzeugung über Solarstromanlagen. Kleinere und vor allem formal reduzierte (Wohn-)Gebäude bieten weniger Möglichkeiten, auskragende Bauteile mit der Geometrie zu verknüpfen. Da durch die beschriebenen Dämmstärken bedingte, tief eingeschnittene Fensterlaibungen oder innenliegende Jalousien allein nicht ausreichen, um einen Eintrag der thermischen Lasten hinreichend zu vermeiden, kommen außenliegende und bewegliche Storen und Jalousien (mit drehbaren Lamellen), Rollos oder auch Fensterläden als Alternative nahezu durchgehend zum Einsatz. Ihr temporärer und bedarfsgerechter Einsatz bietet gegenüber feststehenden Sonnenschutzmaßnahmen den Vorteil, den im Winter dominierenden, diffusen Strahlungseinfall nicht zu behindern und auch in den Übergangszeiten ausreichend vor Sonneneinstrahlung zu schützen. Praxiserfahrungen zeigen, dass Sonnenschilde, die an der Fassade entlang der Sonne nachgeführt werden (s. FR\_5, s. Abbildung 7-60), zwar die direkte Sonneneinstrahlung im Sommer gut abhalten sowie im Winter zulassen, doch auch das Problem haben, dass sie in der Größe und meist auch Position nicht flexibel sind sowie von Seite des Nutzers nicht individuell gesteuert werden können. Sofern Ganz-Glasfassaden beschattet werden, verringert das Sonnenschild in der „Parkposition“ im Winter solare Einträge.

In Ausnahmen liegen die Jalousien oder Rollos geschützt im Scheibenzwischenraum der Verglasungen oder sind in Doppelfassaden eingebunden. Ausfahrbare Markisen werden konzeptionell nur sehr selten vorgesehen aber durch Bewohner durchaus nachträglich installiert (s. DE\_5 - 141). Die üblichen Abminderungsfaktoren ( $F_c$ -Werte) von 0,25 bis 0,40 werden erreicht, aber tlw. auch bei weitem überschritten, sofern massive Schiebe- oder Schlagläden zum Einsatz kommen. Werden bspw. Lamellen geteilt oder mit einer Lichtlenkfunktion ausgeführt sowie mit der Gebäudeautomation verbunden, können sie flexibel auf die Einstrahlung reagieren und bilden die Schnittstelle zwischen Sonnenschutz und Tageslichtoptimierung (s. DE\_43 - Seite 80).



Abbildung 8-15: Beim Anbau eines neuen und zukünftig energieneutral betriebenen Verwaltungstraktes an ein bestehendes Bürogebäude der Stadtwerke Lemgo (s. DE\_110) werden die Fenster über außenliegende Lamellen verschattet. Ausblicke bleiben hierbei ebenso bestehen wie ein hoher Tageslichteinfall. Zusätzlich zum Sonnenschutz der Fenster verhindert ein spezieller Pigmentanstrich mit einem hohen Grad an solarer Gesamtreflexion ein starkes Aufheizen und einen Wärmestau (an) der anthrazitfarbenen Fassade. Die niedrigeren Oberflächentemperaturen sollen eine geringere Wärme-eindringung in den Dämmstoff bewirken und den sommerlichen Wärmeschutz unterstützen. Quelle Internet, Foto Christian Eblenkamp

Erfahrungen aus dem Gebäudebetrieb zeigen, dass eine Kombination der variablen Sonnenschutzelemente mit einem innenliegenden und manuell steuerbaren Blendschutz Fehlnutzungen der Jalousien, Storen oder Rollos dahingehend vermeidet, dass diese im Winter nicht als Sicht- oder Blendschutz genutzt und damit die gewünschten sowie in der Planung einkalkulierten Wärmeeinträge verringert bzw. der Kunstlichteinsatz forciert werden (s. DK\_3 - Seite 209, CH\_8 - Seite 196). Sofern ein innenliegender Blendschutz externe Sonnenschutzmaßnahmen ersetzt, wird von hohen und damit unangenehmen sommerlichen Raumtemperaturen berichtet (CH\_11 - Seite 248). Spezialfenster mit lichtstreuenden Nanogel-Verglasungen (s. Abschnitt 8.1.1.3), in der Transparenz (automatisch) schaltenden elektrochromen Verglasungen oder Wärmespeicher- bzw. Lichtlenkeigenschaften auf Basis von Phasenwechselmaterialien (s. DE\_42 - Seite 200, CH\_2 - Seite 202) können Effekte zur Verschattung erzielen und die übrigen Sonnenschutzsysteme ergänzen.

Neben der Wärmedämmung und dem Sonnenschutz als Instrumente zur Verringerung externer Wärmeeinträge findet auch das Prinzip der passiven Kühlung bei Nullenergiegebäuden typologieübergreifend Verwendung. Diese wird vor allem dann wichtig, wenn interne Wärmelasten durch Personen, Beleuchtung oder EDV nicht ausreichend reduziert werden können (s. Abschnitt 8.1.2). Um einerseits die über die Fenster absorbierten Sonneneinstrahlung während der Heizperiode im Gebäude zu speichern<sup>176</sup> und andererseits thermische Lasten bzw. Lastspitzen im Verlauf von heißen Sommertagen gegenüber der Raumluft abzapfen, sie zeitverzögert abzugeben und in der Folge durch eine erhöhte Lüftung während der kühlen Nachtzeiten abzuführen, bedarf es thermischer Speichermassen. Da thermisch aktivierbare Konstruktionselemente und damit eine ausreichend große Wärmespeicherkapazität bei den häufig vorkommenden Holzleichtbaukonstruktionen der Nullenergiegebäude fehlen (s. Abbildung 8-11),<sup>177</sup> werden diese tlw. durch Stein- oder Estrichböden, dicke (Lehm-)Putzschichten, massive Innenwände oder additiv eingebrachte Latentwärmespeicher wie *Phase Change Materials* (PCM, dt. Phasenwechselmaterialien) geschaffen. Bei Massivbauten bleiben Betondecken unverkleidet.

<sup>176</sup> Hierzu wird zusätzlich eine Gebäude- und Grundrisszonierung mit Wohnräumen im Süden und Nebenräumen im Norden sowie Schlafräumen in den unteren bzw. Aufenthaltsräumen in den oberen Etagen verfolgt, auch wenn diese bei einer vollständigen Beheizung aller Räume ohne große energetische Bedeutung ist

<sup>177</sup> Zwar ist die spezifische Wärmespeicherkapazität  $c$  von Holz höher als die von Beton- oder Mauerwerkswänden (Wärmekapazität von Holz ca. 1,6 kJ/kgK, Beton ca. 1,0 kJ/kgK), doch sind die eingebrachten Massen deutlich niedriger. Daher liegt auch die wirksame Wärmespeicherfähigkeit  $C_{\text{wirk}}$  von Holzleichtbauten unter der von Massivbauten [Hegger 2008]

<sup>178</sup> Antiken Beispielen folgend bindet bspw. auch Frank Lloyd Wright 1948 eine akzentuierte, natürliche Lüftung und Kühlung bei der Planung des „Solar Hemicycle“ (auch bekannt als „House Jacobs II“, Madison, US) in formale Entwurfsaspekte ein. Öffnbare Oberlichter gen Norden sowie bodentiefe Fenster im Süden ermöglichen eine natürliche Luftzirkulation, die durch einen offenen Treppenbereich unterstützt wird. Neben der thermischen Masse durch Betonböden und Kalksteinwände gewährleisten Dachüberstände im Süden den sommerlichen Wärmeschutz und ermöglichen den Verzicht auf eine Klimaanlage [Aitken 1993]

<sup>179</sup> Eine erhöhte Luftbewegung durch den Ventilatorbetrieb während der Nutzungszeiten kann zudem die Wärmeabfuhr des Körpers durch Konvektion sowie die Verdunstungskühlung an der Hautoberfläche steigern, so dass auch höhere Temperaturen noch als angenehm empfunden werden [Lenoir 2011]

Die Abfuhr der überschüssigen Wärme während kühler Nachtzeiten bewerkstelligen in Wohngebäuden meist gegeneinander versetzte aber zeitgleich öffnende Fenster im unteren Fassaden- und oberen Dachbereich (s. DK\_3 - Seite 209) oder extra geschaffene Lüftungskamine (s. UK\_2 - Seite 295).<sup>178</sup> Hierzu bedarf es durchlaufend offener „Luftschächte“, die als zentrale Treppenräume oder Galeriegeschosse baulich ausgeführt werden. Bei Nichtwohngebäuden wird der Kamineffekt über Atrien oder Doppelfassaden herbeigeführt. Alternativ entziehen mechanische Lüftungsanlagen in Kombination mit Nachströmöffnungen in der Fassade (aufstellbare Fenster, steuerbare Zuluftelemente) durch einen erhöhten Volumenstrom der Speichermasse Wärme (s. Kapitel 3.3). Nachgeschaltete Wärmepumpen können die der Abluft entzogene Wärme Pufferspeichern zuführen (s. DE\_9). Als Alternative oder Ergänzung der übrigen Lüftung heben in Einzelfällen Deckenventilatoren die Temperaturschichtung von Räumen durch Luftverwirbelung auf, führen den Wärmestau unterhalb massiver Deckenkonstruktionen als thermisches Speicherelement ab bzw. kühle Luft hieran vorbei und erhöhen hierüber den konvektiven Wärmeübergang (s. FR\_4 - Seite 36, US\_8). Ähnlich wie bei den übrigen Systemen muss auch hier eine ausreichende Zufuhr an kühler Luft über Nachströmöffnungen gewährleistet sein.<sup>179</sup> Die Zufuhr vorgekühlter Zuluft kann auch über Erdregister und die ohnehin vorhandene Lüftungsanlage erfolgen. Dieses Prinzip funktioniert auch in warmen Klimaten (s. PT\_1 und Abbildung 7-30). Gleiches gilt für die Bauteilaktivierung über vorhandene Flächenheizungen oder thermoaktive Decken. Sie entziehen der Raumluft Wärme, welche über einen Bypass und Erdsonden bzw. Massivabsorber unmittelbar tieferen Erdschichten mit einem niedrigen Temperaturniveau als Wärmesenke zugeführt wird. Neben der effizienten Wärmeabfuhr führt das „free cooling“ somit zu einer Regeneration des Temperaturniveaus des Erdreichs und steigert die Effektivität der an die Wärmetauscher gekoppelten Wärmepumpen im winterlichen Heizbetrieb (s. CH\_2 - Seite 202). Ebenso kann kaltes Grund- oder Oberflächenwasser als direktes Kühlmedium in die Heiz- bzw. Kühlschleifen eingebracht werden. In beiden Fällen wird der Wasserkreislauf allein durch hocheffiziente Umwälzpumpen betrieben. Auf den Verdichter von Wärmepumpe kann verzichtet werden, so dass ein geringer Stromeinsatz nötig wird. Analog zur Flächenheizung entsteht ein gleichmäßiges Temperaturniveau ohne kalte und unkomfortable Luftströme einer Klimaanlage.

Generell wird bei der überwiegenden Anzahl bekannter Nullenergie-Neubauten in Mitteleuropa auf eine aktive Kühlung verzichtet, wobei die Maßnahmen zum Sonnenschutz und der passiven Kühlung in Erfahrungen als effektiv beschrieben werden. Ein mehrfach angeführtes Argument für den Verzicht auf eine aktive Kühlung ist, dass Rückkühlwerke bzw. Kühltürme - die üblicherweise auf Dachflächen installiert werden - einer homogenen und vollflächigen Nutzung der Dachflächen durch Solaranlagen entgegenstehen.

# „home for life“, Lystrup

DK\_3

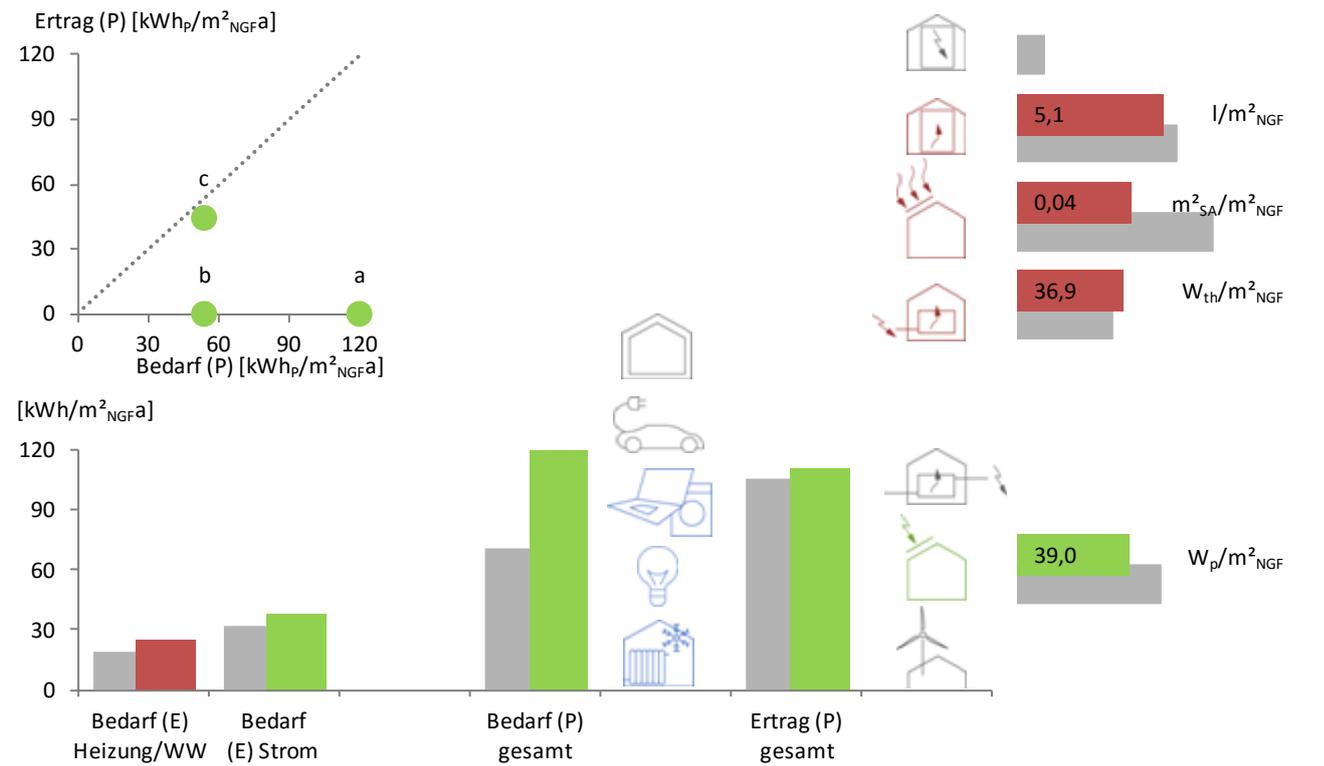


Fotos: VELUX / Adam Mørk

Architekt	Aart Architekten, Århus	Nettogrundfläche	157 m <sup>2</sup>
Baujahr	2009	Hauptakteur / Motiv	Bauherr / Demo. u. Marketing
Typologie	Einfamilienhaus	Städtebauliches Umfeld	Suburban

Das Demonstrationshaus „home for Life“ ist ein Beitrag zum europaweiten Projekt Model Home 2020 der Firma VELUX. Das Energiekonzept besteht aus aktiven wie passiven Komponenten. Einerseits kommen Solarkollektoren, die an die Wärmepumpe gekoppelt sind, eine PV-Anlage und eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung zum Einsatz, andererseits schaffen große öffentbare Fenster natürlichen Lichteinfall, Belüftung und passive Kühlung durch den Kamineffekt. Eine Hausautomation steuert die beweglichen Verschattungselemente oder öffnet Fenster in Fassade und Dach gleichzeitig, um einen hohen Luftaustausch zu ermöglichen. Dachauskragungen und verschiebbare Läden in der Fassade sorgen für Verschattung und Intimität.

Formale Einordnung		Einordnung Solaranlagen	
--------------------	--	-------------------------	--



## Model Home 2020, INT

Autor, Institution	Firma VELUX	(Neben-)Anforderungen: Je nach Gebäudebeispiel wird die Graue Energie in die Bilanzgrenze aufgenommen; Es bestehen hohe Anforderungen an den Innenraumkomfort (Tageslicht, Luftqualität, etc.); Gebäude werden ein Jahr einem Monitoring unterzogen
Einführungsjahr	2009	
Bilanzgrenze	normativ / nutzungsspez. / (Graue Energie)	
Bilanzrahmen	on-site	
Bilanzzeitraum	Betriebsjahr / (Lebenszyklus)	
Indikator	CO <sub>2</sub> -Emissionen	

### 8.1.1.7 Verringerter Energiebedarf der Warmwasserbereitstellung

Als stark vom Nutzer beeinflusster Verbrauchsbereich könnte der Energiebedarf für die Warmwasserbereitstellung auch zu den nutzungsspezifischen Verbrauchern gezählt werden. Allerdings ist die Warmwasserbereitstellung meist mit den Heizungsanlagen gekoppelt und wird - da hierüber baulich mit dem Gebäude verbunden - normativ zu den gebäudespezifischen Verbräuchen gezählt (s. Kapitel 3.1.2.2). Da der Trinkwasserwärmebedarf bzw. -verbrauch bei sehr energieeffizienten Gebäuden einen gesteigerten Anteil am Gesamtenergiebedarf einnimmt - bspw. stehen in einem zertifizierten Passivhaus dem Heizwärmebedarf von  $15 \text{ kWh}_E/\text{m}^2_{\text{NGFA}}$  normativ  $12,5 \text{ kWh}_E/\text{m}^2_{\text{NGFA}}$  für die Warmwasserbereitstellung gegenüber (vgl. Abbildung 8-3) - kommen bei einer Vielzahl der bekannten Nullenergieprojekte in Mitteleuropa solarthermische Anlagen zum Einsatz (Wohnsektor ca. 70 %, Nichtwohnsektor ca. 50 %). Sie gelten vorrangig als Effizienzmaßnahme zur Bedarfsminderung, da sie den Bezug von Energieträgern vermeiden bzw. verringern und nur in Ausnahmefällen zur Kompensation von Energiebezügen durch die Weitergabe erzeugter Wärme über Nahwärmenetze beitragen (s. Abschnitt 8.2.1.1). Für die angestrebte signifikante Deckung des Trinkwarmwasserbedarfs<sup>180</sup> genügen bei Nullenergie-Wohngebäuden im Mittel und unabhängig vom genutzten System (Flach- oder Röhrenkollektor) etwa  $0,06 \text{ m}^2$  Bruttokollektorfläche pro  $\text{m}^2_{\text{NGF}}$ . Obwohl die Größe solarthermischer Anlagen personenabhängig ist, gilt aber auch, dass dieses Verhältnis größer wird, je kleiner die Gebäude werden. So werden bei Einfamilienhäusern trotz sehr kleiner absoluter Flächengrößen von meist unter  $10 \text{ m}^2$  durchschnittlich  $0,07 \text{ m}^2_{\text{ST}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$  eingesetzt, während dieser Wert bei Mehrfamilienhäusern  $0,04 \text{ m}^2_{\text{ST}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$  beträgt. Die deutliche Trennung zwischen kleinen und großen (Wohn- und Nichtwohn-)Gebäuden zeigt sich auch bei der typologieübergreifenden Betrachtung in Abbildung 8-16 (farbige Flächen). Die absoluten Flächen von Solarthermieanlagen der Verwaltungs- oder Bildungsgebäude wachsen im Durchschnitt auf bis zu  $70 \text{ m}^2_{\text{ST}}$  an ( $0,03 \text{ m}^2_{\text{ST}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ ).

Große Solarthermieanlagen, bei denen die Gebäude nicht an ein Nahwärmenetz gekoppelt sind oder keine autarke Wärmeversorgung angestrebt wird, sind meist mit einer Wärmepumpe gekoppelt und dienen dieser zusätzlich zur direkten solaren Brauchwasserbereitstellung als Wärmequelle (s. DK\_3 - Seite 209).

<sup>180</sup> Messdaten oder anteilige Bereitstellungsgrade liegen hierzu kaum vor, da die Endenergieaufwendungen nur bei vollständig und über ein aufwendiges Monitoring gemessenen Gebäuden getrennt von der Heizwärmebereitstellung erfasst werden können

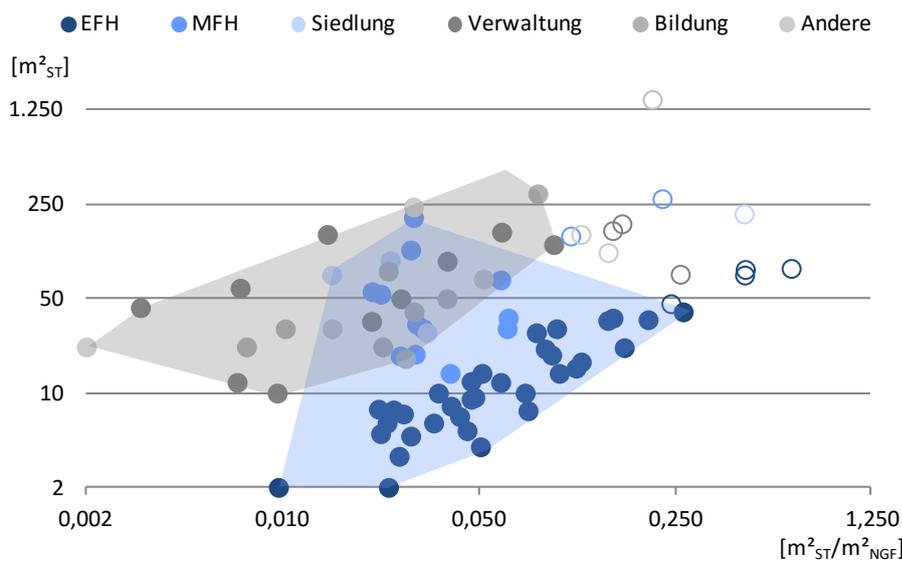


Abbildung 8-16: Funktion von der Fläche von solarthermischen Anlagen pro  $m^2_{NGF}$  zu ihrer Gesamtfläche (unabhängig vom gewählten Anlagentyp). Die nicht ausgefüllten Markierungen stehen für Sonderkonzepte, bei denen Nachbargebäude über ein Nahwärmenetz mitversorgt werden bzw. eine Primärenergiebilanz auch auf Basis der Weitergabe von Wärme stattfindet, solare Kühlung eingesetzt oder eine autarke Wärmeversorgung angestrebt wird

Zusätzlich zu der Verringerung des Trinkwasserwärmebedarfs durch solarthermische Anlagen werden die Rohrsysteme hydraulisch optimiert und die Verteilverluste im Gebäude durch stark gedämmte Zirkulationsleitungen verringert. Um diese möglichst kurz zu halten, werden Nassräume in Mehrfamilien-, Reihen- und Verwaltungsgebäuden sowie Hotels und Schulen zusammenhängend angeordnet. In Ausnahmen vermeiden dezentrale Warmwassererzeuger lange Verteil- und Zirkulationsleitungen. Während Wasserspararmaturen und Durchflussbegrenzer zur Standardausstattung der meisten Nullenergiegebäude zählen, beschränkt sich die Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser bisher noch auf wenige Pilotanwendungen (s. CH\_8 - Seite 196). Hier werden hohe Kosten bei geringem Wirkungsgrad als Hinderungsgrund genannt. Zudem steht die Abwasser-WRG der Effektivität von thermischen Solaranlagen entgegen.

Um den Energieeinsatz der Hilfsenergie für Pumpen zu reduzieren, werden wie auch bei der Heizwärmeverteilung Hocheffizienz-Umwälz- und -Zirkulationspumpen eingesetzt und bedarfsabhängig (ab-)geschaltet. Sie sind in Neubauten durchgehend - im Bestand jedoch nicht immer - etabliert.

#### 8.1.1.8 Graue Energie verringern

Abseits der Betriebsenergie motivieren weitreichende Zertifikate oder Label wie bspw. „MINERGIE-A“ (s. Seite 148) bzw. „MINERGIE-Eco“ oder in Ausnahmen das Zertifikat der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) zu den in Kapitel 7.4.3 beschriebenen Einsparungen bei der Grauen Energie von Nullenergiegebäuden. Wird diese in die Bilanzgrenze eingeschlossen oder liegt ein besonderes ökologisches Interesse bzw. ein ebensolcher Anspruch vor, spiegeln sich die Anstrengungen hierzu vornehmlich in den in Abschnitt 8.1.1.3 beschriebenen Holzleichtbaukonstruktionen sowie dem Einsatz nachwachsender sowie nachhaltiger Dämmstoffe wider. Auch in den Interviews zu Kapitel 6 wird ein intuitiver Reflex hinsichtlich des Einsatzes von Holz als Konstruktions- und Fassadenmaterial genannt. Hier wurde aber ebenso der Abwägungsprozess hinsichtlich der Lebensdauer und der Leistungsfähigkeit auf Basis der Funktion von Baustoffen (Funktionsäquivalent) beschrieben. Als Bewertungssystem und Quelle für quantifizierte energiebezogene Informationen dienen häufig EPDs (*Environmental Product Declaration*). Sie sind aus Sicht der Planer jedoch noch nicht in ausreichendem Umfang verfügbar (vgl. Kapitel 6).

Extrembeispiele beziehen zur Senkung der Grauen Energie lediglich lokale Baustoffe und nachwachsende Materialien ein, die in einem eigens festgesetzten Umkreis verfügbar sind, verzichten (damit) auf Zement- und Erdölprodukte (s. CH\_13) oder versuchen diese durch Vorfertigung und hohe Anteile an recycelten Zuschlagstoffen bei gleichem Leistungsvermögen besonders wenig energieintensiv zu erzeugen bzw. sparsam einzusetzen (AU\_3 - Seite 281).

<sup>181</sup> Das Label „Triple Zero®“ definiert für entsprechende Gebäude neben einer ausgeglichenen Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz auch einen altlastenfreien Rückbau ohne Abfälle durch eine vollständige Recyklierung aller Bauteile zum Ende des Lebenszykluses. Entsprechende Gebäudebeispiele sind DE\_11, DE\_87 und DE\_145

Über Umfang, Energiegehalt oder Herkunft der technischen Gebäudeausrüstung der bekannten Nullenergiegebäude ist wenig bekannt. Lediglich in Einzelfällen wird beschrieben, dass Solaranlagen aus nationaler oder zumindest europäischer Produktion stammen. Auch deren CO<sub>2</sub>-neutrale Herstellung wird bisweilen als Qualitätsmerkmal herausgestellt.

Ein vollständiger und geschlossener Kreislauf von Bau, Nutzung und Abriss wird über die Recyclierung von verwendeten Baustoffen ebenfalls adressiert.<sup>181</sup> Hier ermöglicht der Verzicht auf nicht wieder lösbare Verbindungen in Kombination mit den oben genannten Baustoffen, dass das Gebäude vollständig recycelbar ist und keine Abfälle zu verbrennen oder deponieren sind.

### 8.1.2 Nutzungsspezifische Verbräuche reduzieren

In Kapitel 7.4 wird die Bedeutung der nutzungsspezifischen Stromverbräuche von bspw. weißer Ware, Unterhaltungselektronik, EDV, Beleuchtung (bei Wohngebäuden) oder zentralen Diensten im Zuge einer vollständigen energetischen Bilanzierung von Gebäuden sowie damit die Argumente für eine Erweiterung der Bilanzgrenze über die in den Gebäuderichtlinien erfassten Verbrauchssektoren hinaus beschrieben. Etwa die Hälfte der bekannten Bilanzierungsansätze für Nullenergiegebäude bezieht die nutzungsspezifischen Verbraucher mit ein (s. Abbildung 7-16). Bei den umgesetzten Nullenergieprojekten trifft dies auf einen noch größeren Anteil zu, da die ökologisch motivierten Bauherren nicht zwischen den beiden Verbrauchssektoren unterscheiden und/oder den zusätzlichen messtechnischen Aufwand zur getrennten Erfassung von gebäudetechnischen und nutzungsspezifischen Verbrauchern umgehen (Abbildung 8-1).

Bei den sehr effizienten Nullenergiegebäuden wird der Anteil der nutzungsspezifischen Verbräuche am Gesamtprimärenergieverbrauch ohne Anstrengungen bezüglich ihrer Reduzierung sehr groß. Da sie nahezu ausschließlich strombasiert sind, erlangen sie bei einer primärenergetischen Bilanzierung durch die vergleichsweise hohen Primärenergie-Umrechnungsfaktoren von Strom (s. Tabelle A-8) eine große Bedeutung (s. Abbildung 8-17). Ihre große Streuung um den Mittelwert zeigt den kaum vorhersehbaren und planbaren Einfluss des Nutzers auf die nutzungsspezifischen Verbraucher. Steigt die Anzahl der Bewohner durch bspw. Familienzuwachs (s. DK\_3 - Seite 209), Mitarbeiter (AT\_3) oder die Nutzungszeit der Gebäude durch bspw. ein Auftragsplus (DE\_9) oder kommen nicht vorab bestimmbar (Klein-)Verbraucher und Ausstattungsgegenstände wie Kaffeemaschinen, Kopierer, Drucker oder eine USV hinzu (s. CH\_2 - Seite 202), steigen die Stromverbräuche gegenüber der Kalkulation mitunter stark an. Hiermit ergibt sich das Problem des bilanziellen Ausgleichs bzw. dessen Nichteinhaltung.

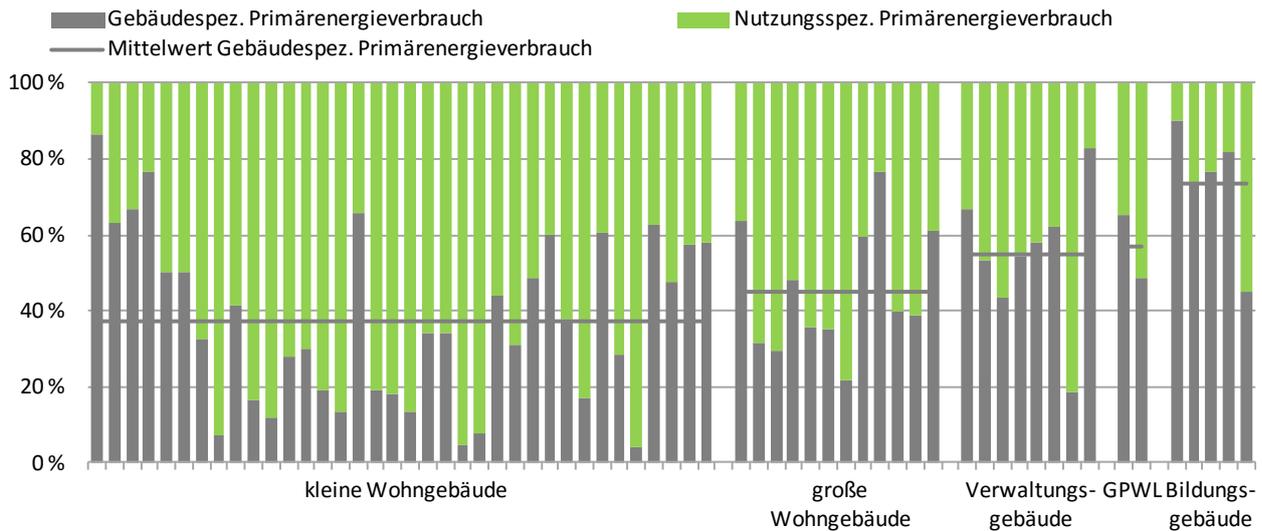


Abbildung 8-17: Verhältnis von gebäudespezifischem und nutzungsspezifischem Primärenergieverbrauch bei 63 mitteleuropäischen Nullenergiegebäuden unterschiedlicher Typologien. Dargestellt sind gemessene und in Ausnahmen berechnete Werte ohne Klimabereinigung und mit Berechnung der jeweils am Gebäudestandort genutzten Primärenergie-Umrechnungsfaktoren. Bei den Nichtwohngebäuden umfassen die gebäudespezifischen Verbräuche die nach deutscher Normung erfassten Verbrauchssektoren Heizung, Warmwasser, Lüftung, Kühlung und Beleuchtung. Bei den Wohngebäuden fällt die Beleuchtung dem nutzungsspezifischen Verbrauchssektor zu

Bei den bekannten Nullenergie-Wohngebäuden macht der Anteil der nicht normativen Verbräuche gut 60 % aus (s. Abbildung 8-17).<sup>182</sup> Auf alleiniger Basis von Strom liegt der Anteil des Haushaltsstromverbrauchs von Wohngebäuden (gut 22 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub> inkl. Beleuchtung) am Gesamtstromverbrauch sogar noch höher. Dies gilt auch, wenn über Wärmepumpen geheizt wird (s. Kapitel 7.4.1 und Abbildung 7-17). Bei Verwaltungsgebäuden halten sich die beiden Verbrauchsbereiche primär- und endenergetisch in etwa die Waage. Für die nutzungsspezifischen Verbraucher der Verwaltungsbauten ergibt sich ein Durchschnitt von knapp 24 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub>. Bildungsgebäude weisen den absolut und anteilig geringsten Wert für die nicht normativen Verbraucher auf (ca. 10 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub>). Je nach Indikator, Betrachtung und Heizungsart macht dies lediglich 20 bis 25 % des Gesamtenergieverbrauchs aus. Für die übrigen Typologien liegen nicht ausreichend viele Werte für einen Querschnittvergleich vor, doch bestätigen sich die Trends der übrigen Nichtwohngebäude.

Im Vergleich zu Erfahrungswerten von Neubauten, die in Planungshilfen eingehen [PHPP 2008; BMVBS 2009; SIA 2031 2009], sind die Mittelwerte der nutzungsspezifischen Energieverbräuche von Nullenergiegebäuden meist geringer (s. Abbildung 7-17). Bei kleinen Wohngebäuden werden gegenüber der Gebäudepraxis durchschnittlich über 50 % eingespart, bei Mehrfamilienhäusern sind es wie auch bei Kindergärten und Schulen knapp zwei Drittel. Auch Verwaltungsbauten erlangen moderate Einsparungen.<sup>183</sup> Die große Streuung zwischen den einzelnen Projekten und zu erkennende Ausnahmefälle mit sehr hohen nutzungsspezifischen Verbräuchen zeigen, dass das Einsparpotenzial im Gebäudebetrieb nicht vollständig und nur mit großen Mühen ausgeschöpft sowie der Nutzereinfluss in der Planung schlecht eingeschätzt werden kann. Dies wird durch gemessene Verbräuche von Verwaltungsgebäuden aus dem EnOB-Forschungsprogramm bestätigt. Bei gegenüber Nullenergiegebäuden sehr ähnlich guten Verbrauchswerten für die technische Gebäudeausrüstung bzw. den Gebäudebetrieb, überbieten diese die nutzungsspezifischen Verbräuche der Planungshilfen sogar (vgl. [EnOB 2010a]).<sup>184</sup>

<sup>182</sup> Die etwas geringere Dominanz der nutzungsspezifischen Verbraucher in der primärenergetischen Betrachtung gegenüber der endenergiebasierten Aufstellung in Abbildung 7 17 liegt an den teils geringen Primärenergie-Umrechnungsfaktoren (von Projekten außerhalb Deutschlands)

<sup>183</sup> Bei Nichtwohngebäuden und vor allem Verwaltungsgebäuden ergibt sich die Schwierigkeit verschiedener Akteure. Weder Immobilieninvestoren noch -eigentümer haben ein bedeutsames Interesse an verringerten Energieaufwendungen und -kosten ihrer Mieter. Entsprechende Maßnahmen zu deren Verringerung oder gar Kompensation entfallen demnach häufig

<sup>184</sup> Die nutzungsspezifischen Verbräuche sind nicht Gegenstand der Effizienzsteigerung im Rahmen der EnOB-Begleitforschung

<sup>185</sup> Trotz eines erhöhten Endenergieverbrauchs der Warmwasserbereitung wird der Primärenergieverbrauch hierüber insgesamt gesenkt

Um die verringerten Stromverbräuche zu erreichen, wird in Nullenergiehäusern weiße Ware der höchsten Energieeffizienzklasse und sparsame Unterhaltungselektronik eingesetzt. Wasch- und/oder Spülmaschinen erhalten oft einen Warmwasseranschluss und werden hierüber bestenfalls an einen Pufferspeicher solarthermischer Anlagen gekoppelt.<sup>185</sup> Auf Kühlschränke mit Gefrierfach oder Wäschetrockner ohne Wärmepumpentechnologie wird häufig verzichtet. Architektonisch gestützte Alternativen sind (gemeinsam genutzte) Trocken- oder Kellerersatzräume (s. DK\_3 - Seite 209, DE\_7 - Seite 95) sowie Trockenschränke mit effizienter Lüftung (CA\_5). Einzelprojekte nutzen primär-energetisch vorteilhafte Gasherde (s. DE\_7 - Seite 95). Im Zuge des „MINERGIE-A“-Zertifikats wird die Anforderung an eine energieeffiziente Geräteausstattung und Beleuchtung über hierzu unterstützte Internet-Plattformen mit aktuell besten Produkten gefördert (s. „MINERGIE-A“, Seite 148). Auch die Anzahl und Größe der Geräte wird mitunter durch eine gemeinsame Nutzung in der Hausgemeinschaft verringert (s. DE\_7 - Seite 95). In Verwaltungsgebäuden sparen sparsame Computer oder eine zentrale EDV-Technik (mit gezielter Wärmeabfuhr bzw. -nutzung) Strom (DE\_9). Da der Strombedarf der Beleuchtung für Nichtwohngebäude normativ abgebildet und energiesparende Leuchtmittel durch Anforderungen der Ökodesign-Richtlinie der Europäischen Union seit 2009 auch für den Privatanwender thematisiert wird, reduzieren LED- und/oder (Kompakt-)Leuchtstofflampen typologieübergreifend den Beleuchtungsstromverbrauch. Zudem erfolgt eine Abstimmung zwischen den Leuchtmitteln und den Erfordernissen an Arbeitsplätzen, werden Leuchten mit einer Feierabend- bzw. Wochenendabschaltung gekoppelt sowie per Bewegungsmelder oder Helligkeitssensor entsprechend des (Kunst-)Lichtbedarfs gesteuert. Der Einsatz sparsamer Außenbeleuchtung oder effizienter Aufzüge ist für wenige Projekte ebenfalls überliefert (s. DE\_7 - Seite 95, FR\_4 - Seite 36).

Stromverbrauch von durchgehend betriebenen Kleinnetzteilen entfällt in sehr ambitionierten Pilotprojekten durch das Meiden von Kleinverbrauchern, die an das 230-V-Netz angeschlossen sind (bspw. Radiowecker, elektrische Zahnbürsten, Telefone mit eigenem Stromanschluss oder Uhren). Dies steht zwar dem Trend steigender Gerätanzahlen und Energieverbräuche für Haushalts-, Unterhaltungs- und Kommunikationsgeräte entgegen (s. Kapitel 7.4), schränkt eine normale Nutzung bzw. die Bewohner jedoch auch stark ein. Letztere beschreiben auch die Vermeidung von Standby-Verbräuchen als aufwendig und störend, so dass diese Maßnahmen zwar bekannt aber vermehrt nur dort erfolgreich sind, wo diese Verbräuche einzeln erfasst und gegenüber dem Bewohner oder Mitarbeiter explizit visualisiert werden (s. DK\_3 - 209, DE\_54 - Seite 45, UK\_1 - Seite 185). Auch hier gibt es Ausnahmen (s. CH\_8 - Seite 196). Als Ausweg bieten sich sog. Ganz-Aus-Schalter an (s. [Musall 2009a]), die ähnlich dem Ziehen der Schlüsselkarte in Hotelzimmern bestimmte Verbraucher (Steckdosen, Beleuchtung, etc.) vom Stromnetz trennen. Auch eine Kopplung mit dem Einschalten einer Alarmanlage ist denkbar (US\_8). Da hierüber auch Geräte mit dauerhaftem Strombedarf (Kühl- und Gefrierschrank, Satellitenreceiver mit Updatefunktion, Geräte mit Uhrenfunktion) vom Netz getrennt werden könnten, bedarf es entweder mehrerer Stromkreise oder eines Bus-Systems (s. DE\_37 - Seite 237). Beides beinhaltet einen hohen Installations- und Kostenaufwand. Gleiches gilt für ein gesondertes Gleichstromnetz in Gebäuden. Dieses bietet die Möglichkeit, den erzeugten Gleichstrom aus Photovoltaikanlagen mit Gleichstromverbrauchern wie LED-Lampen und EDV-Equipment vor allem in Verwaltungsbauten zu verbinden und hierüber Umwandlungsverluste durch (nicht effiziente) Netzteile zu reduzieren. Auch lassen sich hierüber Leitungs-

verluste verringern [Boeke 2012]. Die Umstellung auf Gleichstrom in Gebäuden scheidet allerdings bislang an einem Mangel bei der Normung bezüglich des Spannungsniveaus sowie international einheitlich standardisierten energieeffizienten Geräten und Systemen [Voss 2011b]. Zudem besitzen heutige Wechselrichter bereits sehr hohe Wirkungsgrade.

Die Maßnahmen, die bei Nullenergiegebäuden zur Einsparung der nutzungsspezifischen Verbräuche ergriffen werden, sind architektonisch wie gestalterisch von untergeordneter Relevanz, schränken die Gebäudenutzung - wie u.a. Nutzerberichte beschreiben - üblicherweise nicht ein und sind somit bei Neubauten wie auch bei Sanierungen<sup>186</sup> theoretisch nahezu uneingeschränkt umsetzbar. Zudem ergeben sich über das Stromsparen meist nicht quantifizierte Synergien hinsichtlich verringerter interner Wärmelasten durch effizientere Geräte und Lampen (s. Abschnitt 8.1.1.6) oder einem (zusätzlich) gesteigerten Tageslichtangebot sowie bewusst gesteigerten oder vermiedenen Solarwärmeinträgen durch gesteuerte Verschattungssysteme mit Tageslichtfunktion zur Verringerung des Kunstlichteinsatzes (s. DE\_42 - Seite 200). Allerdings fehlt im Gegensatz zu selbstgenutzten Wohnhäusern bei (Mehrfamilien-)Mietshäusern, Büroobjekten und vor allem Bildungsgebäuden der Zugriff seitens des Eigentümers bzw. Planers auf die nutzereigene Ausstattung sowie das Nutzerverhalten. Ein Ausweg bietet neben der gezielten Nutzersensibilisierung die Gebäudeautomation (s. Abschnitt 8.4).

<sup>186</sup> Auf Grund eingeschränkter Erzeugungs- und sonstiger Einsparpotenziale bei der Bestandssanierung wird hier vor allem die architektonisch kaum relevante Verringerung der nutzungsspezifischen Verbraucher zu einem wichtigen Baustein auf dem Weg zu einer ausgeglichenen Energiebilanz

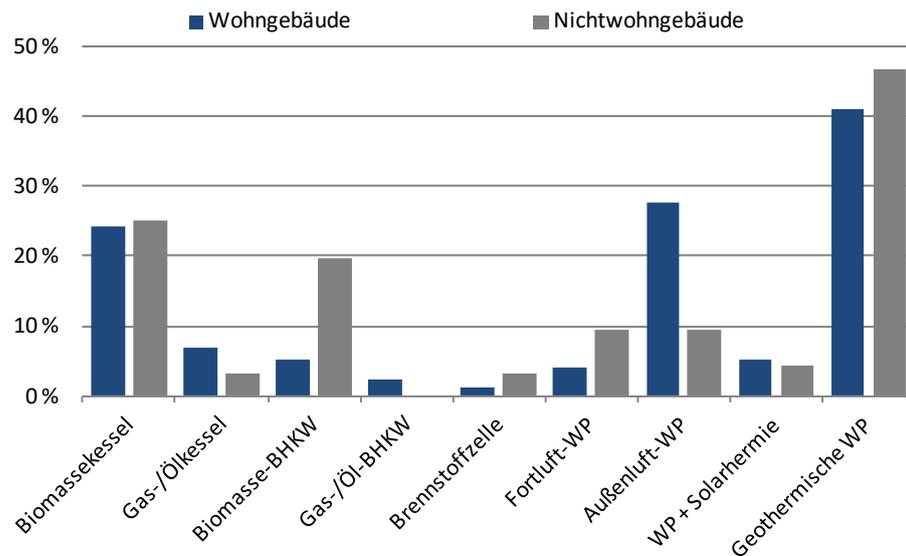
## 8.2 Energiebereitstellung und -erzeugung

### 8.2.1 Thermische Energie

#### 8.2.1.1 Heizwärme

Obwohl die Mehrzahl der bekannten Nullenergiegebäude in Mitteleuropa dem Passivhausansatz folgt und die Heizlasten soweit reduziert werden, dass mitunter auf ein separates (wassergeführtes) Wärmeverteilungssystem verzichtet bzw. die noch erforderliche Restheizung allein über das Zuluftsystem in Kombination mit einem Lüftungskompaktgerät bereitgestellt werden könnte (s.o.), erzeugt in den allermeisten Nullenergiegebäuden ein ebensolches separates Heizsystem Wärme, in knapp jedem fünften Beispiel kommt sogar mehr als ein Wärmeerzeuger zum Einsatz. Kesselvarianten machen etwa 30 % aus, wobei nur ein kleiner Bruchteil davon fossile Brennstoffe nutzt (vgl. Abbildung 8-18 und Abbildung 8-20). Neben der Entscheidung zugunsten erneuerbarer Energien dürfte hierzu das Ziel des Ausgleichs von Primärenergie oder CO<sub>2</sub>-Emissionen der meisten bekannten Bilanzierungsansätze den Ausschlag geben. Die System- und damit Energieträgerwahl von Biomasse (Holz, Rapsöl, Biogas, etc.) sowie die damit verbundenen niedrigen Umrechnungs- bzw. Gewichtungsfaktoren senken den Primärenergieaufwand und spielen daher in der Bilanz eine wichtige Rolle (s. Kapitel 7.3).

Abbildung 8-18: Verteilung von genutzten Wärmeerzeugern von 270 mitteleuropäischen Nullenergiegebäuden. Bei etwa 20 % der eingeflossenen Gebäude werden mehr als ein Wärmeerzeuger genutzt



Den überwiegenden Anteil der Wärmeerzeuger machen Wärmepumpen aus. Während Verbrennungssysteme wie (Biomasse-)Kessel oder BHKWs samt niedriger Primärenergiefaktoren etwas häufiger bei Sanierungsbeispielen genutzt werden - sie bieten sich hier auf Grund vorhandener Radiatorheizungen und ggf. Lagerflächen (bspw. ehemalige Öltanks) an - kommen Wärmepumpen eher bei Neubauten zum Tragen. Über 70 % der untersuchten Nullenergiegebäude sind sog. Nur-Strom-Häuser (Erläuterung s. Seite 245). Als Grund für den starken Anstieg von Wärmepumpen gelten:

- ein geringer Installationsaufwand durch den möglichen Verzicht auf einen zweiten Infrastrukturanschluss (bspw. Gas- oder Fernwärme) neben dem Stromanschluss und dessen Zählergebühren
- vermiedene Öl- und Biomasselieferungen
- räumliche Einsparungen durch den Wegfall von Brennstofflagerräumen bzw. -tanks, Heizungskellern und Schornsteinen<sup>187</sup>
- ein tendenziell schlankes Techniksystem, das das Nutzen der Gebäude vereinfacht und damit Aversionen bzw. Fehlnutzungen verringern kann
- eine einfache Energiebilanz direkt am Stromzähler (s. Kapitel 7.3 und Abschnitt 8.6)
- keine Verbrennung und sichtbaren Emissionen am Gebäude<sup>188</sup>
- bei Gebäuden mit Kühlung wirtschaftliche Vorteile aus der Mehrfachnutzung der Wärmequelle bzw. -senke sowie ggf. die Regeneration der Erdröche

Zudem machen gesunkene Preise bei einer Technologieverbesserung und der Eigenverbrauchsbonus des Solarstroms die Kombination Wärmepumpe und Solarstromanlage auch wirtschaftlich interessant.<sup>189</sup> Kostengünstige (Fort-)Luft-Luft-Wärmepumpen kommen auf Grund des kleinen Leistungsvermögens schwerpunktmäßig im Wohnungsbau und wegen des geringen Installationsaufwands auch bei kleinen Sanierungsprojekten zum Einsatz (s. DE\_66, DE\_88 - Seite 128), während solarthermisch unterstützte Wasser-Wärmepumpen generell sehr selten sind (s. DE\_36, DE\_79 - Seite 106). Sole- bzw. wassergeführte Wärmepumpen mit Erdwärmekollektoren oder -sonden bzw. Grundwasserbrunnen machen fast zwei Drittel der Stromheizungen aus. Der Platzbedarf für

<sup>187</sup> Da unter Umständen bereits die vergrößerten Dämmstärken das Maß der baulichen Nutzung (GRZ, GFZ und BMZ) beeinflussen (s. Abschnitt 8.1.1.3), kann dies hierüber ggf. tlw. kompensiert werden

<sup>188</sup> Die Erzeugung von Netzstrom sowie die damit verbundenen sichtbaren Emissionen werden in Kraftwerke außerhalb der Stadt verschoben

<sup>189</sup> Der Eigenverbrauchsbonus wird allerdings durch den saisonalen Unterschied von Stromerzeugung und Wärmebedarf sowie den sommerlichen Warmwasserbedarf bestimmt

die flächigen Erdwärmekollektoren oder die Bohrungen der Erdwärmesonden begründen ihre Häufung bei Neubauten. Bei der am häufigsten genutzten Variante Sole-Wasser-Wärmepumpe reichen bei kleinen Wohngebäuden üblicherweise zwei bis vier U-Rohre als Erdwärmesonde bis in etwa 80 - 100 m Tiefe. Sofern Nichtwohngebäude versorgt werden, variiert die Anzahl deutlich. Bei einer Kopplung mit einer Pfahlgründung kommen bspw. bis zu 75 Massivabsorber mit einer Tiefe von 35 m zum Einsatz. Die angegebene Leistungszahl der Wärmepumpen für Wohngebäude liegt durchschnittlich bei 3,4, die von Nichtwohngebäuden bei 2,7 (vgl. Abbildung 8-19). Dabei fällt die große Spreizung der erfassten Werte zwischen 1,1 und 7,0 auf.<sup>190</sup> So wird der geringste Wert bei einer indirekten Abwärmenutzung von Kälteanlagen und Backöfen in einem Nullenergie-Supermarkt erzielt (AT\_8). Die 7,0 ergeben sich hingegen für ein Mehrfamilienhaus, bei dem Wärme aus einem Hybridkollektor und über zwei Erdsonden mit einer Bohrtiefe von 380 m sowie zwei weiteren U-Sonden mit einer Tiefe von 150 m im Erdreich in unterschiedlichen Höhen eingelagert bzw. bei Wärmebedarf auf die Nutztemperatur aufbereitet wird. Das Temperaturniveau des Erdreichs wird damit allein über den Betrieb von hocheffizienten Umwälzpumpen mit Sonnenwärme angehoben. Der dadurch bedingte, geringe winterliche Temperaturhub sowie niedrige Vorlauftemperaturen der Fußbodenheizung ermöglichen den sehr hohen Wirkungsgrad bzw. sehr kleinen Stromverbrauch der Wärmepumpe (CH\_17). Ähnliche Konzepte mit einer Erdreichspeicherung von über Wärmepumpen generierter, „sommerlicher“ Wärme sind bisher selten auszumachen. Hier wird das Prinzip der Wärmeentnahme aus dem Erdreich um eine dortige Wärmespeicherung ergänzt. Das über Sonden erschlossene Erdreich oder das über Förder- und Schluckbrunnen erschlossene Grundwasser dient dann entweder als Wärmesenke im Fall einer passiven Gebäudekühlung über die Fußbodenheizung bzw. Bauteilaktivierung oder als thermischer Langzeitspeicher von (Solar-)Stromüberschüssen (NL\_1 - Anhang Seite I). In beiden Fällen wird über das Aufladen der Wärmequelle die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe gesteigert bzw. der Strombedarf während der Heizperiode verringert.

<sup>190</sup> Hierfür sind auch unterschiedliche Systemgrenzen ausschlaggebend. Nebenantriebe wie Sole- oder Grundwasserpumpen sowie Ventilatoren machen mitunter einen beachtlichen Energieverbrauch aus

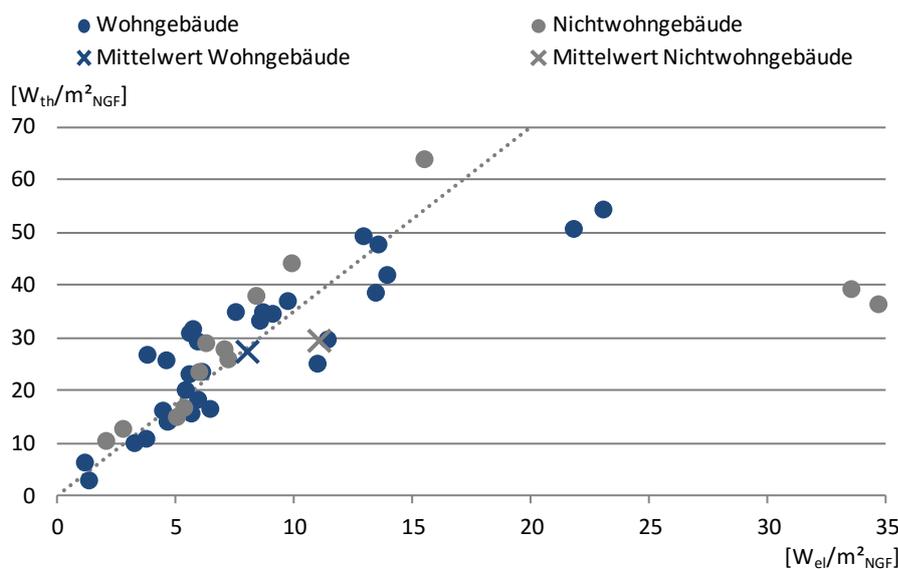


Abbildung 8-19: Leistungszahl der bekannten Wärmepumpensysteme von Nullenergiegebäuden. Die gestrichelte Linie stellt die häufig anvisierte Marke von 3,5 dar

Die mittlere thermische Leistung der Wärmepumpen liegt mit typologieunabhängig knapp  $30 W_{th}/m^2_{NGF}$  deutlich unter dem Wert der übrigen Wärmeversorgungssysteme. (Biomasse-)Kessel können kurze Leistungsspitzen weniger gut abdecken und führen erzeugte Wärme (Puffer-)Speichern zu. Gleiches gilt auch für KWK-Anlagen. Die Leistungswerte von Kesseln liegen bei Wohngebäu-

den im Mittel um  $62 \text{ W}_{\text{th}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ , bei Verwaltungsgebäuden sogar um  $100 \text{ W}_{\text{th}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ , wobei Spitzenwerte meist bei Sanierungsgebäuden auszumachen sind (s. Abbildung 8-20). Blockheizkraftwerke machen etwa 14 % aller Heizsysteme aus und kommen mangels kleiner oder modulierender (Biomasse-)Systeme häufig bei energieintensiven Sanierungs- oder größeren Nichtwohngebäuden zum Einsatz. Bei Bestandsgebäuden bietet sich die Chance, die geringen Potenziale zur gebäudeeigenen Solarstromerzeugung und Effizienzsteigerung architekturunabhängig zu kompensieren. Bei (neuen) Gebäuden für Produktion und Lagerung ist die energetische Rolle der KWK-Anlagen unterschiedlich (bspw. Grundlastbetrieb oder alleiniger Wärmeerzeuger), so dass die normierten Leistungsangaben stark schwanken (s. bspw. Abbildung 8-23).

Die effiziente Brennstoffausnutzung durch die gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Strom sowie dessen Gutschrift in der Energiebilanz führt in Kombination mit dem Einsatz von Biomasse zu sehr niedrigen Primärenergiekennwerten. Allerdings sind für nahezu alle Projekte mit Pellet- oder Stückholz- bzw. Holzvergaser-BHKWs technische Probleme und eine geringe Zuverlässigkeit übermitteln (UK\_1 - Seite 185). In Ausnahmen konnten die geplanten Pellet-BHKW (bis zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Arbeit) noch gar nicht installiert werden (s. DE\_42 - Seite 200). Rapsölbasierte System werden hingegen als zuverlässig beschrieben, stellen bisher jedoch nur für sehr große Gebäude eine Alternative dar (s. DE\_9, DE\_10 - Seite 9). Hier ergeben sich Fragen hinsichtlich der begrenzten Verfügbarkeit bzw. des Bezugs von Rapsöl aus nachhaltigem Anbau (s. Kapitel 4). Letzteres gilt auch für Biogas, das analog zu „grünem“ Strom nicht gebäudenah oder exklusiv zur Verfügung steht.

Die geringe Anzahl von KWK-Anlagen gründet auch auf lokalen Unterschieden in Mitteleuropa. So ist ein wirtschaftlicher Betrieb in wärmeren Gegenden auf Grund der geringen Laufzeiten nicht gegeben, während bspw. in Österreich oder Norwegen der Primärenergiefaktor für Strom so niedrig ist, dass das Einbringen von über Gas-BHKWs erzeugtem Strom in eine Energiebilanz keinen Vorteil erbringt. In Dänemark stehen viele Wärmenetze sowie der massive Ausbau von (off-shore-)Windkraft der KWK-Nutzung entgegen. In Deutschland ist die KWK wegen häufiger gesetzlicher und förderrechtlicher Veränderungen stark beeinträchtigt worden und daher trotz der architekturunabhängigen Einbindung bislang hinter ihren Möglichkeiten zurückgeblieben [WestLB 2012]. Abgesehen von der gegenüber Solartromanlagen saisonal vorteilhaften, weil gegenläufigen Stromerzeugung der KWK-Anlagen, wird deren Potenzial hinsichtlich der Lastverschiebung bzw. regelbaren Stromerzeugung in Kombination mit vergrößerten thermischen Speichern und einer Strom-Wärmegeführten Betriebsweise zur erhöhten Deckung von Energieverbräuchen vor Ort bzw. der netzreaktiven Einspeisung (s. Kapitel 7.8.6.2 f.) bisher ebenfalls nicht gehoben (DE\_8). Somit kommen insgesamt auch nur wenig fossil gefeuerte BHKW zum Einsatz. Diese liegen mit einem Anteil von unter 2 % etwa gleichauf mit Brennstoffzellen (s. Abbildung 8-18), welche vor allem in Demonstrationsgebäuden oder zu Experimentalzwecken eingesetzt werden bzw. wurden (DE\_12 - Seite 63, DE\_96).

Die Kraft-Wärme-Kopplung stellt durch die effiziente Brennstoffnutzung - auch mit Erdgas betrieben - eine Art Brückentechnologie dar und unterstützt den sorgsamen Umgang mit erneuerbaren, aber dennoch begrenzten biogenen Ressourcen. Primärenergetisch ist die KWK solange vorteilhaft, wie der verdrängte Netzstrom einen ungünstigeren Primärenergiefaktor aufweist (s. Beispiel Norwegen oben) [Voss 2007]. In zukünftigen Szenarien mit einem erhöh-

ten Anteil an erneuerbar bereitgestelltem Strom kann die technologische Verbesserung von Biomasse-BHKWs die bisherigen fossil gefeuerten Anlagen ersetzen. Gestiegene Anteile an Bio- oder Windgas<sup>191</sup> und eine leichte Verbesserung des Primärenergiefaktors für den Gasbezug bieten ebenso mögliche Alternativen.

<sup>191</sup> s. *Power to Gas*, Seite 26

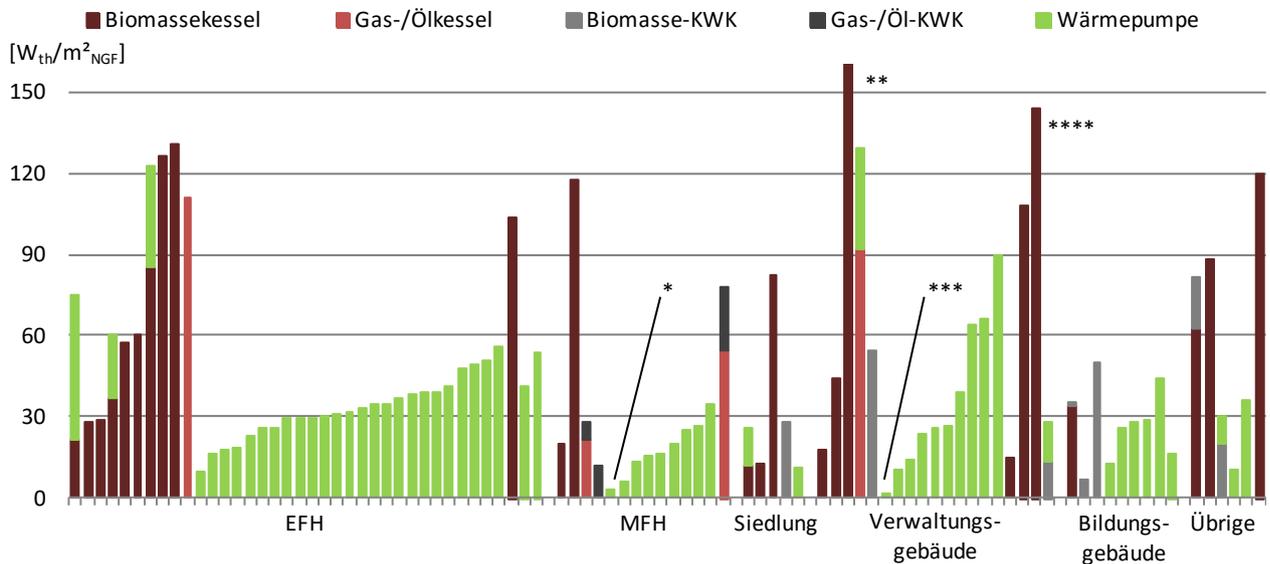


Abbildung 8-20: Installierte Heizleistung pro m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> bei recherchierten Nullenergiegebäuden in Mitteleuropa

- \* Zusätzlich zur Fortluft-Wärmepumpe wird ein Fernwärmeanschluss genutzt
- \*\* Über den Biomassekessel werden auch Nachbargebäude über ein Nahwärmenetz versorgt
- \*\*\* Ebenfalls Fernwärmeanschluss
- \*\*\*\* Bei der Sanierung konnte kein besonders hohes Dämmniveau erreicht werden

Solarthermische Anlagen gelten im Kontext der Energiebilanzierung primär als Effizienzmaßnahme zur Bedarfsminderung (s. Abschnitt 8.1.1.7). Wird durch sie über die Bedarfsminderung hinaus und in Kombination mit genügend großen thermischen Pufferspeichern zusätzlich auch eine Unterstützung bei der Heizwärmebereitstellung, eine nahezu autarke Wärmeversorgung über Saisonspeicher (s. CH\_53 und Randnotiz S. 73) oder eine Weitergabe von „solarer Wärme“ an (Nah-)Wärmenetze bzw. Nachbargebäude und somit ein bilanzieller Ausgleich von Energiebezügen angestrebt (bspw. AT\_3, NL\_3 - Seite 91, CH\_8 - Seite 196, DK\_6 - Seite 143), sind bei Wohngebäuden je nach Konzept und Heizungssystem Bruttokollektorflächen von bis zu 0,36 m<sup>2</sup><sub>ST</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> installiert (s. Abbildung 8-16). Bei Nichtwohngebäuden ist der Wert etwa halb so groß. Generell sind große und zur Heizungsunterstützung genutzte Solarthermieanlagen auf Grund der gewünschten Erträge während der kalten Winterzeiten und der dann flach einstrahlenden Sonne in der Fassade oder in steile Dächer eingebunden. Damit erlangen sie eine gestaltprägende Rolle, die auch in Sonderlösungen münden kann (CH\_1).

Vor allem bei den Nur-Strom-Gebäuden erhält die Solarthermie Konkurrenz durch Wärmepumpen in Kombination mit Solarstromanlagen. Hierüber sind bilanziell ähnliche Wärmeerträge<sup>192</sup> und homogenere Dachlandschaften sowie ein geringerer Installationsaufwand möglich. Die installierte Gesamtfläche verändert sich jedoch nicht merklich (s. Abbildung 8-25). Während knapp 80 % der mitteleuropäischen Nullenergie-Wohngebäude mit einem Heizkessel Solarthermieanlagen nutzen und der Anteil unabhängig vom Heizungssystem insgesamt noch knapp 60 % ausmacht,<sup>193</sup> sind dies bei Wohnhäusern mit Wärme-

<sup>192</sup> Der Wärmeertrag von 1 m<sup>2</sup> Solarthermie liegt in etwa bei 500 kWh/a. 1 m<sup>2</sup> Photovoltaik erbringt ca. 125 kWh/a Strom und bei einem COP von 4 über eine Wärmepumpe ebenfalls ca. 500 kWh Wärme pro Jahr. Die Speicherverluste des Pufferspeichers werden dann durch das Stromnetz - für das Gebäude - verlustfrei übernommen

<sup>193</sup> Bei Kesselvarianten wird die Entscheidung zugunsten der Solarthermie auch durch die ohnehin benötigten Pufferspeicher forciert. Bei BHKW-Varianten verringert die Solarthermie sommerliche Laufzeiten und damit die Wirtschaftlichkeit. Trotzdem werden bei etwa jedem zweiten BHKW parallel auch Solar Kollektoren genutzt

pumpe deutlich weniger als die Hälfte. Ähnliche Zahlen mit etwas geringeren Unterschieden lassen sich auch für die Nichtwohngebäude feststellen. Anstelle thermischer Pufferspeicher springt bei den Wärmepumpenvarianten ohne Solarthermie das Stromnetz als Speicher ein, um das saisonale Ungleichgewicht zwischen Stromerzeugung und -bedarf durch die Wärmepumpe auszugleichen. Batterien schaffen hier keine Abhilfe, da sie nicht als elektrische Langzeitspeicher dienen können. Die Variante der thermischen Langzeitspeicherung über Wasserspeicher wird ebenso wenig genutzt. Die erkannten Speichergrößen steigen im Vergleich zu anderen Systemkonstellationen nicht an (s. Abschnitt 8.3.1). In den in Kapitel 7.8.1 und 7.8.2 gezeigten Betrachtungen wird deutlich, dass Nur-Strom-Gebäude ohne Solarthermie bei Betrachtung von Monatswerten kaum veränderte Deckungsraten erzielen. Leicht erhöhten Strombedarfen in den Sommermonaten stehen ebenfalls erhöhte Stromerträge gegenüber. In den Wintermonaten steigt die Stromerzeugung durch etwas größere Solarstromanlagen deutlicher als der leicht höhere Strombedarf (s. Abbildung 7-45).

#### 8.2.1.2 Kühlkälte

Entsprechend der in Abschnitt 8.1.1.6 genannten Ziele zur Reduzierung des Energiebedarfs für die Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes durch Verschattung und passive Kühlstrategien ist die Anzahl aktiv gekühlter Nullenergiegebäude in heizungsdominierten Klimaten sehr gering. Hier werden gut ein Sechstel der Nichtwohngebäude mittels unterschiedlicher Kältemaschinen aktiv gekühlt. Bei Wohngebäuden sind es nicht einmal 2 %. Die wenigen ausgemachten Systeme bzw. Kühlkonzepte sind so selten und zudem unterschiedlich genutzt, dass keine Querschnittswerte dargelegt werden können.

Reichen die in Abschnitt 8.1.1.6 genannten passiven (Kühl-)Maßnahmen nicht aus, und muss auf Grund hoher thermischer Lasten aktiv gekühlt werden, ist allerdings die ökonomisch wie energetisch sinnvolle Kopplung von ohnehin genutzten Systemen zur Luftaufbereitung und Wärmeerzeugung mit einer Kühlstrategie ein nahezu durchgängig erkennbares Merkmal. So unterstützen bspw. Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung die adiabate Kühlung über die Sprühvernebelung von Wasser in der Abluft (s. DE\_37 - Seite 237). Sorptionskältemaschinen werden mit KWK-Anlagen zur Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung kombiniert (DE\_54 - Seite 45) oder solarthermisch gespeist (s. DK\_6 - Seite 143). Reversible Wärmepumpen (mit Erdsondenanbindung) dienen als effiziente Kompressionskältemaschine (NL\_1 - Anhang Seite I). Dem Stromaufwand kommen dann jeweils parallele Solarstromerträge und damit eine hohe Eigen-ertragsnutzung zugute.

#### 8.2.2 Strom erzeugen

Als vorherrschende Option zur Energieerzeugung am Gebäude kommen bei allen untersuchten Gebäuden, deren Energiebilanz über den Ausgleich der Heizwärme hinausgeht, Solarstromanlagen zum Einsatz. Wenig Ausnahmen bilden Gebäude mit kleinen Windturbinen (s. Abschnitt 8.2.2.2) oder Demonstrationsgebäude mit neuartigen und nicht am Markt etablierten Technologien (DE\_96).

8.2.2.1 Photovoltaik

Die installierte Solarstromleistung von Nullenergiegebäuden ist in erster Linie abhängig vom berechneten Energiebedarf und der dazu umrissenen Bilanzgrenze (s. Abbildung 8-21). Sofern diese allein die gebäudetechnischen Aufwendungen umschließt (bspw. „MINERGIE-A“, Seite 148), nutzen kleine Wohngebäude durchschnittlich gut  $30 \text{ W}_p/\text{m}^2_{\text{NGF}}$  für deren bilanziellen Ausgleich.<sup>194</sup> Die Hinzunahmen nutzungsspezifischer Verbraucher vergrößert die installierte PV-Leistung auf über  $50 \text{ W}_p/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ . Einen nahezu ebenso großen Anstieg erfordert die Ergänzung der Elektromobilität im Rahmen des BMVBS Forschungs- und Demonstrationsprogramms „EffizienzhausPlus mit Elektromobilität“ (s. Seite 128). Große Wohnhäuser und Reihen- bzw. Siedlungshäuser kommen mit deutlich weniger Solarstromleistung aus. Hier liegen größere Nutzflächen vor und erzeugen auch andere Systeme Strom sowie in einigen wenigen Fällen auch Wärmeüberschüsse, die über ein Nahwärmenetz weitergegeben werden. Über die unterschiedlichen Bilanzgrenzen hinweg reichen hier ca.  $20 \text{ W}_p/\text{m}^2_{\text{NGF}}$  (ca.  $0,2 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ ) zum Erreichen der ausgeglichenen Energiebilanz.

<sup>194</sup> Das ermittelte Verhältnis zwischen der Leistung von Solarstromanlagen der bekannten Nullenergiegebäude in  $\text{W}_p$  und deren Fläche in  $\text{m}^2_{\text{PV}}$  beträgt  $8,3 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{kW}_p$  (s. Anhang, Abbildung A-42). Insofern ergibt sich für den Wert von  $30 \text{ W}_p/\text{m}^2_{\text{NGF}}$  überschlägig  $0,25 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$

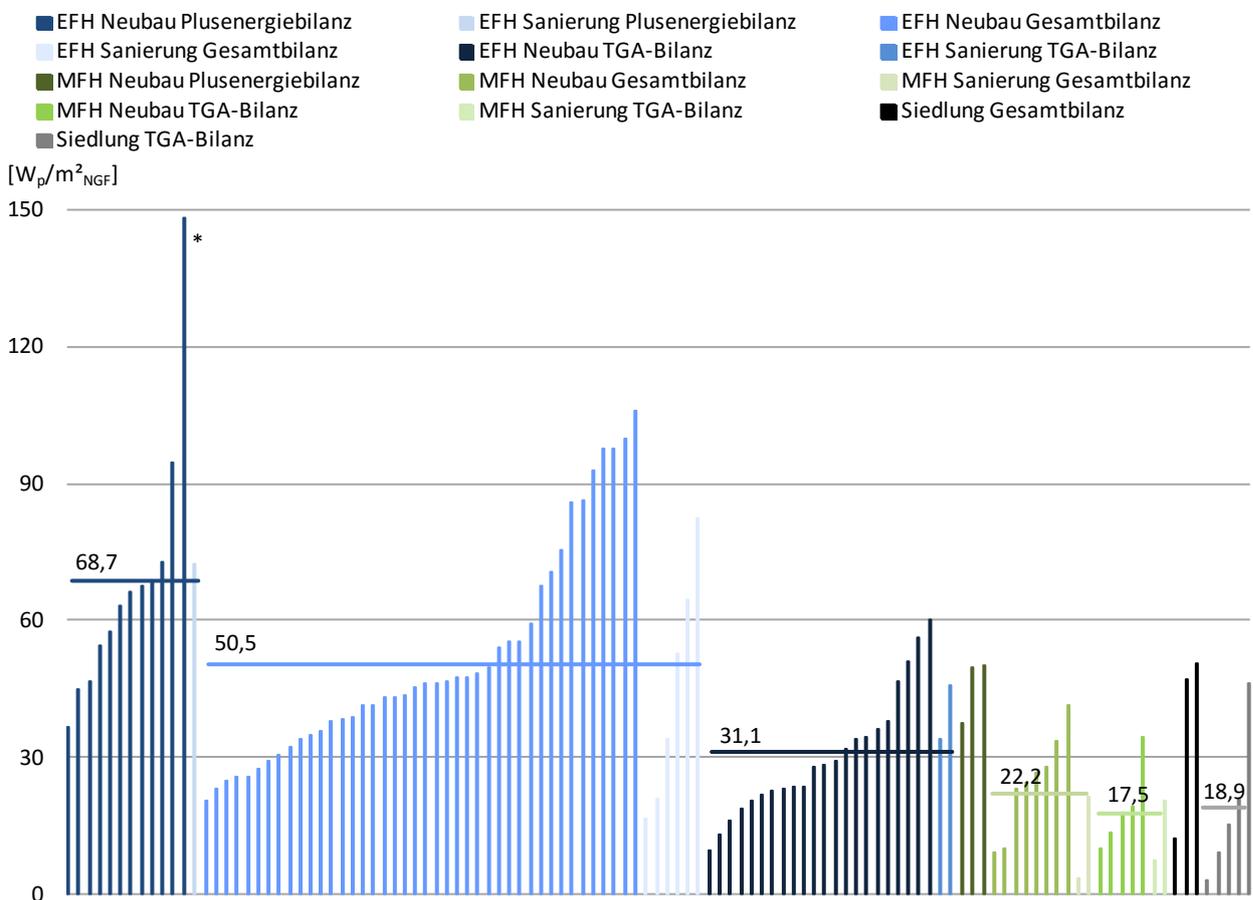


Abbildung 8-21: Normierte Solarstromleistung bei Wohngebäuden in Abhängigkeit der Bilanzgrenze, Typologie und Umsetzung (Neubau/Sanierung). Sofern ausreichend Daten vorliegen, zeigen die Querbalken typologiespezifische Mittelwerte an. Die Berechnung der Mittelwerte erfolgt unabhängig von Neubau- oder Sanierungshintergrund allein auf Basis einer gleichen Typologie und Bilanzgrenze

\* Demonstrationsgebäude

Ebenso wie bei (größeren) Wohngebäuden unterscheidet sich auch bei Nichtwohngebäuden die installierte Solarstromkapazität anhand der Typologie und Bilanzgrenze (s. Abbildung 8-22). Hier werden gegenüber den Wohnbauten im Mittel weniger PV-Module installiert. Deren Ergänzung um Stromerträge aus Blockheizkraftwerken, Windkraftanlagen und/oder Zukäufen von Nahwärme,

Biogas oder „grünem“ Strom ist vor allem bei den größeren Gebäuden für Verwaltung oder Produktion üblich, da hier das Verhältnis von aktiv nutzbarer (Dach-)Fläche zu Nutzfläche mitunter abnimmt (s. Abbildung 8-23 und Abbildung 9-2 f.). Für Nichtwohngebäude mit dem Anspruch an eine vollständig ausgeglichene Energiebilanz reichen ca.  $40 \text{ W}_p/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ . Sofern allein die nach DIN V 18599 festgelegten Verbrauchssektoren bilanziert werden, sinkt der Wert auf 14 (GPWL), über 11 (Verwaltung) auf bis zu  $8 \text{ W}_p/\text{m}^2_{\text{NGF}}$  (Bildungsgebäude). Allein über Photovoltaik versorgte Nullenergie-Verwaltungsgebäude haben einen Leistungsbedarf von knapp  $44 \text{ W}_p/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ .

- Verwaltung Neubau Gesamtbilanz
  - Verwaltung Sanierung TGA-Bilanz
  - Bildung Neubau TGA-Bilanz
  - Andere/GPWL Neubau TGA-Bilanz
- Verwaltung Sanierung Gesamtbilanz
  - Bildung Neubau Gesamtbilanz
  - Bildung Sanierung TGA-Bilanz
  - Andere/GPWL Sanierung TGA-Bilanz
- Verwaltung Neubau TGA-Bilanz
  - Bildung Sanierung Gesamtbilanz
  - Andere/GPWL Neubau Gesamtbilanz

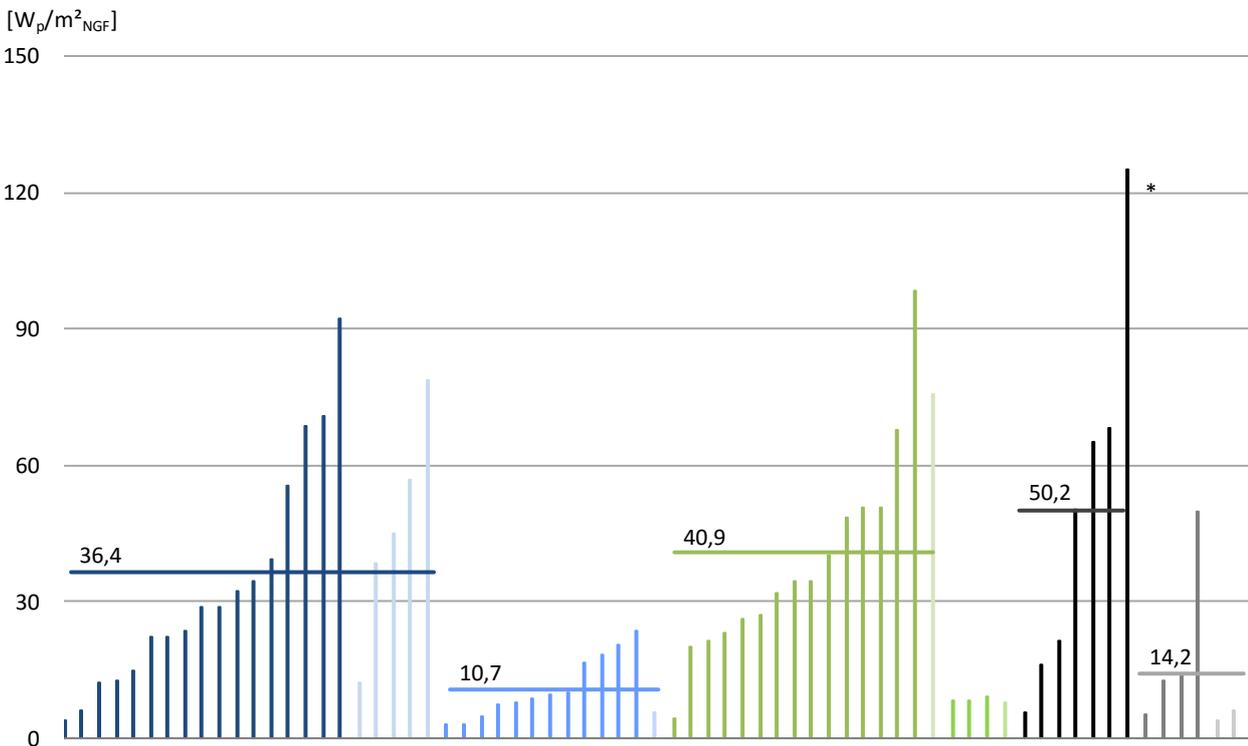
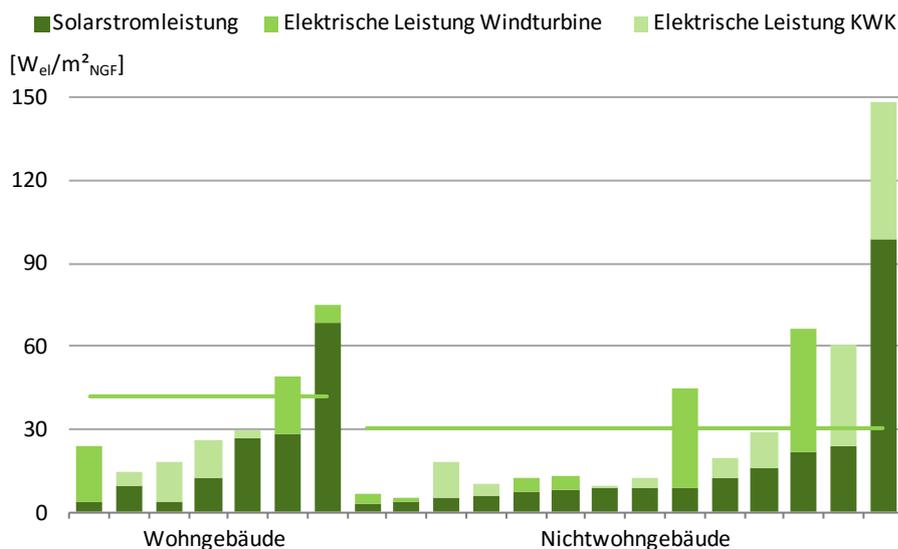
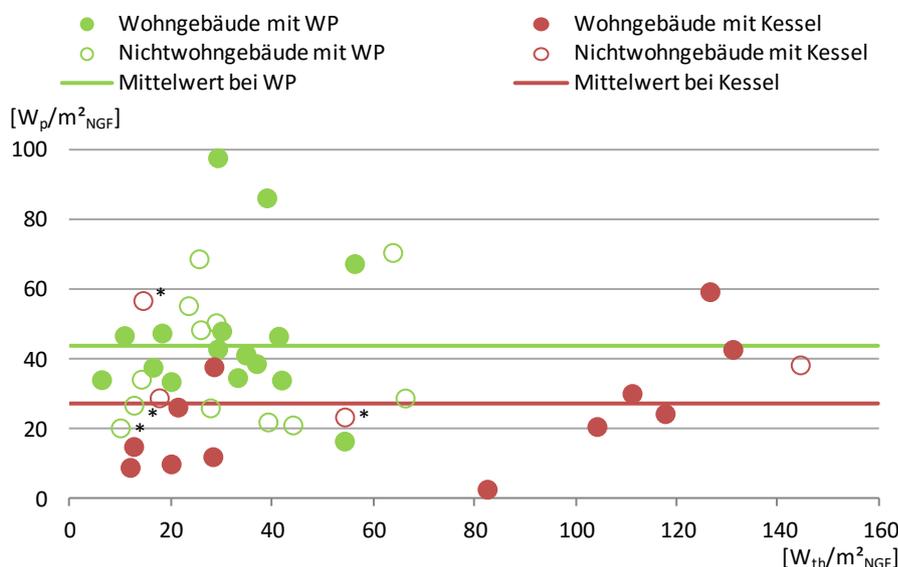


Abbildung 8-22: Normierte Solarstromleistung bei Nichtwohngebäuden in Abhängigkeit der Bilanzgrenze, Typologie und Umsetzung (Neubau/Sanierung). Die Querbalken zeigen Mittelwerte an

\* Produktionsanlage für Wechselrichter



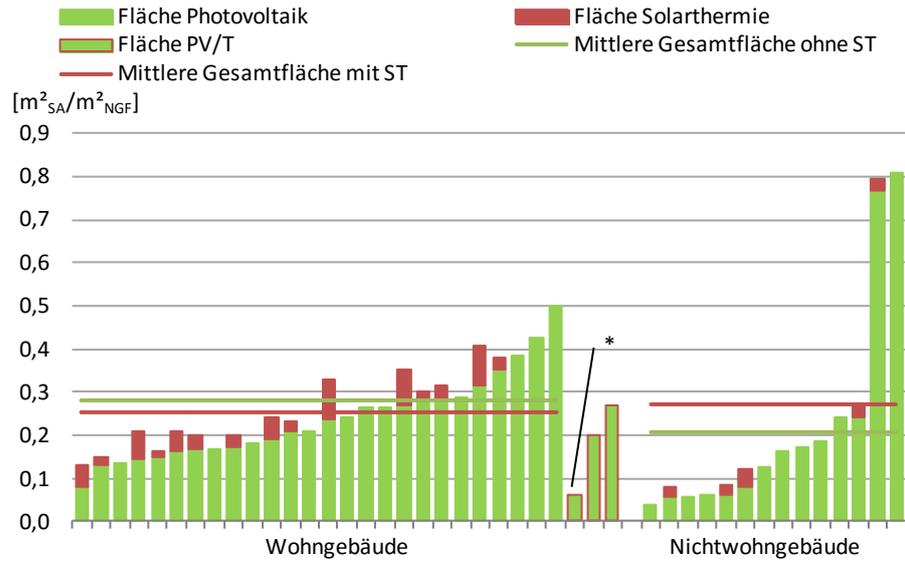
Neben Typologie, Bilanzgrenze und energetischem Gesamtkonzept bestimmt auch die Wahl des Wärmeerzeugers (abseits von Blockheizkraftwerken) die zu installierende Solarstromkapazität. So wird bei Nullenergiegebäuden mit Wärmepumpe als alleinigem Wärmeerzeuger und einer Primärenergie- bzw. CO<sub>2</sub>-Bilanz, deren Bilanzgrenze sämtliche Verbräuche umfasst, eine durchschnittliche elektrische Solarleistung von 44 W<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> installiert, während vergleichbare Gebäude mit Kesselvarianten mit rund 28 W<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> auskommen (s. Abbildung 8-24). Unterteilt man hier in Wohn- und Nichtwohngebäude, so ist der Unterschied bei Wohngebäuden noch deutlicher ausgeprägt. Die Hinzunahme einer aktiven Kühlung hat hierauf weniger Einfluss, allerdings liegen hierzu auch nur sehr wenige Daten vor.



Übergreifend nutzen Nullenergie-Wohngebäude eine mittlere Photovoltaikfläche von 0,35 m<sup>2</sup><sub>PV</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> (42 W<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>). Bei Nichtwohngebäuden sind dies 0,25 m<sup>2</sup><sub>PV</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> bzw. 30 W<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>. Der Sanierungshintergrund spielt eine nicht allzu große Rolle. Häufig liegen die erkennbaren Anlagengrößen unter dem typologiespezifischen Durchschnitt (s. Abbildung 8-21 f.). Sofern solarthermische Anlagen hinzukommen, schwankt die Fläche hingegen leicht. Eine klare Steigerung oder Abnahme der installierten Gesamtfläche von Solaranlagen ist aber nicht auszumachen (s. Abbildung 8-25).

Abbildung 8-25: Gegenüberstellung der Gesamtflächen von Solaranlagen bei Nullenergiegebäuden mit einer Bilanz, die nur die gebäudetechnischen Verbraucher umfasst. Solarthermieanlagen zum Wärmeexport sind nicht enthalten

\* Kombination mit Wärmepumpe und Erdreichspeicher über Erdsonden



Die typische Neigung von mit Photovoltaikanlagen belegten Dächern oder aufgeständerten Anlagen beträgt in Mitteleuropa meist zwischen 30° und 40°. Die bekannten Systeme sind weiterhin durch ökonomische Gesichtspunkte (z.B. bisherige Volleinspeisung in Deutschland) geprägt und daher nahezu rein nach Süden orientiert. Erfahrungen zeigen, dass eher baurechtliche Gesichtspunkte einer optimalen Ausrichtung bzw. Ertragsoptimierung entgegenstehen und entsprechend zu anderen Neigungen führen (CA\_5, CH\_11 - Seite 248) als eine differenzierte Ausrichtung der PV-Module zur Steigerung der Eigenbedarfsdeckung. Anlagen, die stark von der 0°-Südrichtung abweichen, um über den Tagesverlauf gleichmäßigere Erträge erzielen zu können, sind nicht auszumachen.<sup>195</sup> Insofern sind auffallend viele Gebäude mit einer asymmetrischen Firstlinie auszumachen. Die sich ergebenden asymmetrischen Satteldächer prägen dann jeweils das gesamte Gebäude in seiner Formensprache (s. CH\_2 - Seite 202 und Kapitel 9). Da der überwiegende Anteil der bekannten Nullenergiegebäude Neubauten sind, können Solaranlagen in die Dachhaut integriert werden und erreichen hierüber eine große gestalterische Homogenität (s. CH\_2 - Seite 202, CH\_8 - Seite 196). Aufgesetzte Module in Patchwork-Optik sind dagegen nur gelegentlich bei Sanierungen zu erkennen (s. Abbildung 8-26). Dass dies bei ganzheitlicher Ertüchtigung der Außenhülle umgangen werden kann, zeigt beispielhaft das Projekt „energy+Home“ in Darmstadt (s. DE\_88 - Seite 128).

<sup>195</sup> Bei den wenigen bekannten Beispielen mit differenzierten Dachflächen bzw. Solarstromanlagen ist dies nicht eindeutig auf energetische Hintergründe zurückzuführen (s. CH\_37)



Abbildung 8-26: Bei dem denkmalgeschützten und zu einem Nullenergiehaus sanierten Einfamilienhaus in Driebergen (s. NL\_9) sind die 17 Photovoltaik-Module mit polykristallinen Solarzellen auf das bestehende Dach aufgesetzt worden. Die neue Dämmung des Daches erfolgte - anders als an der Fassade - allein von innen

Sofern Solarstromanlagen flachere Dächer bedecken und hierbei eine große Homogenität erzielt werden soll, kommen häufiger Dünnschichtzellen zum Einsatz (s. DE\_86). Im Falle von ebenfalls häufig auszumachenden Flachdachvarianten sind komplett horizontale Module mit Dünnschichtzellen oder flexible Module mit organischen Solarzellen deutlich seltener zu finden als aufgeständerte oder annähernd flachliegende Modulreihen mit mono- bzw. polykristallinen Siliziumzellen, die mitunter von erhöhten Attikaabschlüssen verdeckt werden (s. bspw. Abbildung 8-27).



Abbildung 8-27: „Energiedachgarten“ des Hotel Victoria in Freiburg (s. DE\_17). Die aufgeständerten Photovoltaikmodule im Vordergrund sind durch die Attika verdeckt. Als klares Erkennungszeichen überragen vier Windturbinen und eine Solarstromanlage mit rahmenlosen Glas-Glas-Modulen das Dach des Hotels. Quelle Internet, Foto Hotel Victoria

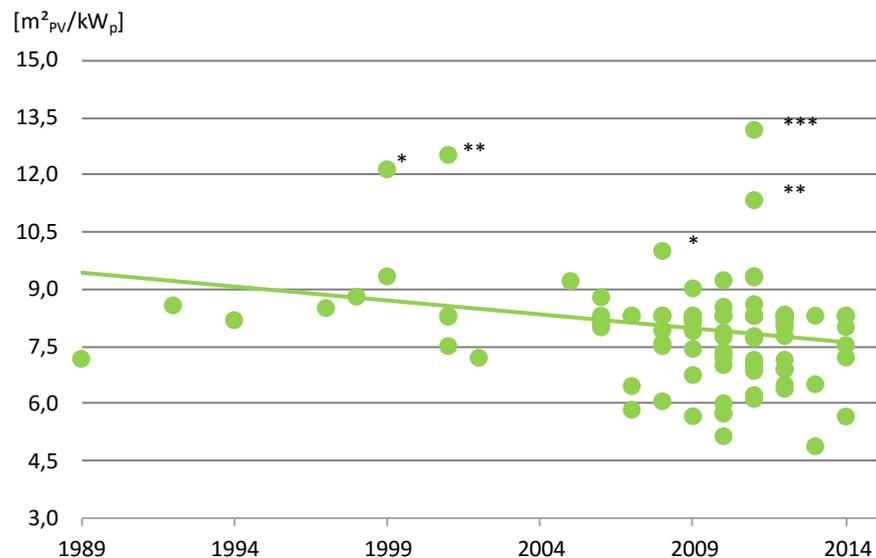
Fassadenintegrierte Lösungen sind bei Gebäuden, die keinen Demonstrationscharakter haben, rar. Senkrechte PV-Anlagen weisen im Vergleich zu geneigten Systemen schlechtere Einstrahlungsbedingungen und damit um etwa 30 % verringerte Ertragswerte auf. Zudem greifen übliche Module durch ihr technisches Erscheinungsbild und die typischen Modulraster sowie die Unterkonstruktionen bei hinterlüfteter Konstruktionsweise stark in die Gebäudegestalt ein. Auch die Kombination mit anderen Materialien ist auf Grund des dunklen Farbtons schwierig (s. Kapitel 9.2.1). Rahmenlose Glas-Glas-Module werden durch punktförmige Befestigungsanker gehalten und sind daher weniger gestaltprägend. Werden semitransparente Module in Glasfassaden integriert, bietet dies das größte Gestaltungs- und Integrationspotenzial (s. DE\_50 - Seite 16). Sofern „Structural Glazing“ oder Glas-Kaltfassaden ausgeführt werden, bleibt auch die Möglichkeit der effizienzsteigernden Hinterlüftung bestehen.

Die Verbesserung von Photovoltaikzellen und -modulen durch leistungsfähigere Waver, andere Siliziummischungen und verbesserte Laminierungen bzw. Gläser wird beinahe täglich vermeldet. Nicht selten werden dabei Wirkungsgrade von 20 % überboten. Unter Laborbedingungen sollen sogar bereits über

40 % möglich sein (s. bspw. [ISE 2013; Solarworld 2014]). Auch wenn sich diese Entwicklungen bisher meist auf Labore und die Forschung beschränken, ist zukünftig mit einer Verringerung der nötigen (Dach-)Fläche für Solarstromanlagen, gesteigerten Solarstromausbeuten bzw. höheren Chancen zum Bilanzausgleich für energieintensivere Gebäude zu rechnen. Ein chronologischer Vergleich zwischen installierter Solarstromleistung und der installierten Solarstromfläche auf Nullenergie-Wohnhäusern zeigt bereits eine Tendenz zur Verringerung der installierten Fläche bzw. einer höheren Ausbeute pro  $\text{m}^2_{\text{PV}}$  (s. Abbildung 8-28).

Abbildung 8-28: Chronologische Veränderung des Verhältnisses von angegebener Modulleistung zu installierter Modulfläche bei Solarstromanlagen von Nullenergie-Wohnhäusern in Mitteleuropa

- \* Steildach/Fassade
- \*\* Dünnschichtzellen
- \*\*\* PV/T



Generell sind Solarstromanlagen technisch ausgereift. Aus der Nutzung sind lediglich in Ausnahmen Probleme mit Wechselrichtern übermittelt. Gebogene und in der Form einzeln konfektionierbare Solarmodule versprechen über die in Abbildung 8-28 gezeigte Effizienzsteigerung hinaus bessere Anpassungs- und Integrationsmöglichkeiten, während kleinere Modulformate mit 36, 48 oder 54 Zellen pro Modul und sehr geringen Zellenabständen mehr Flexibilität bei der Installation in verwinkelten Bereichen oder bei unregelmäßigen Dächern und somit eine größere Homogenität in der Fläche ermöglichen. Die Variation von Form, Struktur, Rahmenfarbe oder Transparenzgraden bis hin zu randlosen Glas-Glas-Modulen vergrößern den Gestaltungsfreiraum. Allein die bereits mögliche Färbung von (Dünnschicht-)Solarzellen, die die Möglichkeiten zur Fassadengestaltung vergrößern, geht mit Effizienzverlusten einher und verhindert (bisher) eine Loslösung der Photovoltaik von ihrem typischen Farb- und damit Gestaltmuster [Munari Probst 2012]. Letztlich durchbricht die organische Photovoltaik bisherige Spezifikationen hinsichtlich standardisierter Modulformate oder der Farbigkeit, erfordert auf Grund organischer Halbleiter gegenüber bisherigen Technologien einen deutlich geringeren Materialaufwand und verspricht auch wegen nahezu beliebig wählbarer Trägermaterialien ein hohes ästhetisches Potenzial sowie flexible und vielfältige Einsatzmöglichkeiten.

#### 8.2.2.2 Kleinwindkraft

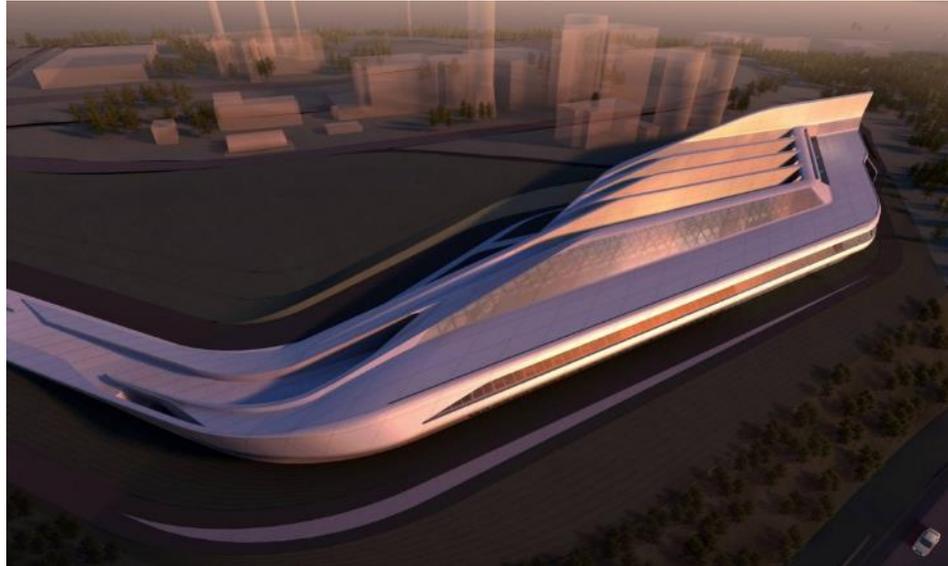
Während Photovoltaikmodule in die Gebäudehülle eingebunden, die dazu notwendige Skalierung und Flexibilität durch Sonderlösungen geschaffen und sie zudem geräuschlos sowie relativ wartungsarm betrieben werden können, gelten diese Attribute für gebäudebezogene Windkraftturbinen durchweg

nicht. Windturbinen lassen sich nur unter größtem gestalterischem Aufwand in die Gebäudestruktur integrieren (s. Anhang Abbildung A-43), erfordern dabei und im Falle größerer Anlagen bzw. Windlasten eine statische Verbindung mit der Tragstruktur oder dem Fundament, benötigen dann eine Schwingungskopplung, gehen ggf. in Abstandsflächen ein, erfordern im Unterschied zu Solaranlagen oftmals eine Baugenehmigung und gelten aus diesen sowie gestalterischen Gründen als stark additives Element (s. AU\_3 - Seite 281). Zudem wirken Windturbinen durch Geräuschemissionen und Schattenwurf auf ihr Umfeld ein und werden die mindestens erforderlichen, mittleren Windgeschwindigkeiten von 4 m/s in urbanen Lagen meist nicht erreicht. Daher wird Strom lediglich bei etwa 7 % der in Mitteleuropa fertiggestellten Nullenergiegebäude auch über gebäudegekoppelte oder „on-site“-Windturbinen erzeugt. Die meist auf Gebäude installierten Darrieus- oder Savonius-Rotoren<sup>196</sup> haben dann in der Regel ein Leistungsvermögen von 1,0 bis 1,7 kW und damit eher einen symbolischen Charakter bzw. Marketinghintergrund (s. bspw. Abbildung 8-27). Ihre Leistung reicht nicht aus, um den Energiebedarf von Gebäuden in Gänze auszugleichen. Ausnahmen oder größere, frei neben dem Gebäude stehende Windkraftanlagen erreichen bei den bekannten Beispielprojekten 3,5 bis 10 kW (s. Abbildung 8-23, Abbildung 5-7 und FR\_11), werden aber in den bekannten Fällen ebenfalls immer zusammen mit Solarstromanlagen eingesetzt.

Vor allem bei den freistehenden Anlagen ergibt sich auf Grund des additiven Charakters schnell die Frage nach der Verhältnismäßigkeit zwischen gestalterischem Einfluss und dem Energieertrag. Soll bei der Einbindung der Windenergienutzung in das Gebäudeenergiekonzept ein reines Addieren von kleinen Windturbinen vermieden und eine eigene architektonische Qualität erzeugt werden, bedarf es großer Anstrengungen und eines integralen Entwurfsgedankens. Hierüber nimmt die Windkraft extremen Einfluss auf Entwurf, Konzept und Gestalt (s. Abbildung 8-29).

<sup>196</sup> Die sog. Vertikalrotoren haben gegenüber den üblicherweise genutzten Windturbinen mit horizontaler Achse den Vorteil, dass sie Wind aus allen Richtungen aufnehmen können. Allerdings müssen sie vor Sturm geschützt werden und kommen daher meist nur in Bodennähe zum Einsatz. Darüber ergeben sich auf Grund geringer Windgeschwindigkeiten auch geringe Leistungswerte [Kaltschmitt 2013b]

Abbildung 8-29: Bei dem Entwurf des Energy Research Centre für die RWTH Aachen (DE, Zaha Hadid) leitet sich die formale Gestalt des Forschungszentrums programmatisch aus dem Ansatz ab, die interdisziplinäre und innovationsorientierte Energieforschung über die Verbindung des gebäudetechnischen Konzepts mit einer spektakulären Architektur widerzuspiegeln. Die Interpretation der dynamischen Umgebung mit industriartiger Bebauung, Bahntrassen und Bundesstraße sowie die reliefartige Topographie werden dahingehend aufgenommen, dass parallele und einem klassischen Sheddach ähnelnde Finnen als Luftkanäle eine ebenfalls reliefartige Dachstruktur ausbilden und den über eine keilförmige Kante gesammelten und verstärkten Luftstrom zu horizontalen Windturbinen leiten. Auf den südwärts geneigten Sheds sind zudem PV-Anlagen angeordnet. Quelle Internet, Animation Zaha Hadid Architects



Den Schwierigkeiten bei der architektonischen Einbindung und den geringen Ertragspotenzialen der gebäudegekoppelten Windkraft steht im Unterschied zur photovoltaischen Stromerzeugung ein saisonal und tageszeitlich gleichmäßigeres Ertragsprofil gegenüber. Insofern wird Windstrom vor allem unter dem Aspekt einer gleichmäßigen Stromerzeugung bzw. einer größeren Eigenbedarfsdeckung und solchen Nutzungen interessant, die tags wie nachts und jahreszeitlich gleichbleibend Strom verbrauchen. Die geringen Anwendungszahlen, wenig bekannte Messwerte in hoher Auflösung und die geringen Leistungszahlen der kleinen, bisher installierten Beispielanlagen lassen hierzu jedoch keine quantifizierbare Aussage zu.

Wie erwähnt, werden bei verbrauchsintensiveren (Nicht-)Wohngebäuden die gebäudegekoppelten (Strom-)Erzeugungsleistungen durch externe Windkraftanlagen bzw. Beteiligungen ergänzt (s. DE\_7 - Seite 95). Entgegen der hierzu angedachten Bilanzierungspraxis können diese anteiligen Erträge aber nicht zum Ausgleich der Betriebsenergieverbräuche von Gebäuden genutzt werden, da die Gutschriften (bislang) ausschließlich dem erneuerbaren Anteil des allgemeinen Stromerzeugungsmixes zugerechnet werden (vgl. Kapitel 3.2).

### 8.2.2.3 PVT

Neben der Kraft-Wärme-Kopplung und der Brennstoffzellentechnologie bieten Solarhybrid-Kollektoren bzw. photovoltaisch-thermische Kombianlagen (PV/T) ebenfalls die Möglichkeit der gleichzeitigen Erzeugung von Wärme und Strom. Dabei sind die Abfuhr von Wärme unterhalb der Photovoltaikmodule und deren darüber erzielte Leistungssteigerung<sup>197</sup> das primäre Anliegen. Bei der übli-

<sup>197</sup> Pro Kelvin Temperaturzunahme sinkt die Stromausbeute je nach Zelltyp um etwa 0,5 %

chen additiven Installation von PV-Modulen steht diesem Aspekt eine mangelnde Integration in die Dachhaut sowie ein disharmonisches Erscheinungsbild entgegen. Zudem lassen sich Photovoltaik- und Solarthermieanlagen unter gestalterischen Gesichtspunkten nur schlecht verbinden. Durch die Kombination von Wärmeabsorbern bzw. -kollektoren mit Photovoltaikzellen ergeben sich integrierbare Kompletmodule, die ein homogenes Erscheinungsbild in der Dachhaut zulassen. Wird die durch Rohrregister oder Luftabsorber abgeführte Wärme (über Wärmetauscher) direkt zur Unterstützung der Heizwärme- oder Warmwasserzeugung durch Lüftungsanlagen oder Wärmepumpen genutzt, ergibt sich eine Steigerung der energetischen Ausnutzung der solaren Einstrahlung pro Fläche bzw. ein erhöhter Gesamtenergieertrag. Im Winter kann zudem aufliegender Schnee durch ein kurzzeitiges Beheizen der Module abgetaut und hierüber eine Unterbrechung der Stromerzeugung verhindert werden [Hirn 2012].

Da sich Solarhybrid-Kollektoren vor allem für Gebäude mit einem ganzjährig hohen Wärmebedarf eignen, sind gerade einmal 12 bekannte Anwendungsfälle im Bereich der Nullenergiegebäude erfasst - davon neun in hiesigen Klimaten. Die verbauten Flächen ähneln den sonstigen Solaranlagen (s. Abbildung 8-25). Hier sind die Hybridkollektoren mit Wärmepumpen gekoppelt, nutzen thermische Speichermassen zur zeitverzögerten Wärmeabgabe an den Wohnraum (CA\_5) oder speichern den sommerlichen Wärmeüberschuss saisonal und über Erdsonden im Erdreich (s. CH\_17). Letztere Option reagiert auf die Schwachstellen der PV/T. So werden über den Wärmeabsorber dann die größten Wärmeerträge erzielt, wenn zu warmen Sommerzeiten und höchster Einstrahlung der geringste Wärmebedarf im Gebäude besteht. Da die bei Nullenergiegebäuden benötigten PV-Flächen für die Warmwassererwärmung meist zu groß und die Kollektoren im Winter für eine Heizungsunterstützung nicht effektiv genug sind, bietet erst die Wärmespeicherung und spätere -nutzung Ertragsvorteile. Dies gilt umso mehr, da über das Kombisystem weder gleich große Wärmeerträge wie bei reinen solarthermischen Anlagen noch gleiche Stromerträge wie bei reinen Solarstromanlagen und somit gegenüber einer parallelen Einzelanwendung beider Systeme keine Ertragsvorteile erreicht werden können. Hinzu kommt, dass der aufgewendete Strom für Lüfter oder Pumpen u.U. exergetisch nicht immer durch die geringe Menge an gewonnener Niedertemperaturwärme zu begründen ist. Aussagen und Messwerte zum COP des thermischen Teils der Kombianlagen liegen allerdings für die bekannten Gebäude bzw. Anlagen nicht vor.

Eine sich anbietende Nutzung der Wärme aus PV/T-Modulen zur solaren Kühlung erfolgt bei den bekannten Nullenergiegebäuden bisher nicht. Das Temperaturniveau ist hierzu nicht hoch genug. Auch die Idee Eisspeicher von Wärmepumpen über die absorbierte Wärme aufzutauen bzw. zu beladen ist bisher zwar als Option genannt, aber nicht in der Praxis verwirklicht (s. DE\_143 und Abbildung 8-9).

## 8.3 Energie speichern

### 8.3.1 Thermische Warmwasser- und Pufferspeicher

Im Unterschied zu den nicht verwendeten Eisspeichern, denen Wärmepumpen beim Übergang von der flüssigen zur Eisphase Kristallisationswärme entziehen, und ebenfalls bisher nicht eingesetzten thermochemischen oder Latentwärme-

<sup>198</sup> Im Zuge der (in Deutschland) gesunkenen Einspeisevergütung und PV-Modulpreisen streben Konsortien von Herstellern von Wärmepumpen, Wechselrichtern, Solarstromanlagen und/oder Steuerungstechnik Lösungen an, die eine (ökonomische) Optimierung der Nutzung von Solarstrom im Tagesverlauf ermöglichen. Hierbei sollen die mit Solarstromanlagen steuerungsstechnisch verbundenen Wärmepumpen Wärme zu den Zeiten erzeugen und in thermische Speicher einlagern, in denen PV-Strom erzeugt aber nicht durch andere Verbraucher (im Haus) genutzt werden kann. Energiemanagementsysteme entscheiden dabei anhand von Prognosen der zu erwartenden Solarleistung und zu erwartender Lasten über eine Direktnutzung oder eine thermische bzw. elektrische (Batterie-)Speicherung sowie zukünftig eine anreizbasierte Stromeinspeisung

speichern kommen bei der überwiegenden Mehrzahl der mitteleuropäischen Nullenergiegebäude Wasserspeicher zum Einsatz. Dabei variieren die Speichervolumina je nach Heizwärme- bzw. Warmwasserbereitstellungskonzept und genutzten Systemen zwischen gut 100 l (kleine Thermen ohne Solarthermie mit reinem Frischwasserspeicher) und einigen 10.000 l bei Schichtenspeichern und Konzepten zur saisonalen Speicherung. Allerdings ergeben sich auch bei einer normierten Betrachtung Unterschiede innerhalb vergleichbarer Konzepte (s. Abbildung 8-30). Die normierten Speichergrößen bei Wohngebäuden sind mit durchschnittlich  $3,2 \text{ l/m}^2_{\text{NGF}}$  dann am kleinsten, wenn allein Wärmepumpen Heizwärme und Warmwasser bereitstellen. Die geringen Speichervolumina deuten bei der zeitlichen Ungleichheit zwischen solarer Einstrahlung bzw. den damit einhergehenden Solarstromerträgen und dem durch Wärmepumpen gedeckten Wärmebedarf darauf hin, dass Speicher- und (winterliche) Erzeugungsbelastungen in das Stromnetz übertragen werden (s. Kapitel 4.4, 7.8 und Abschnitt 8.2.1.1 sowie Seite 245).<sup>198</sup> Ausnahmen hiervon sind sehr selten. Ein Demonstrationsprojekt mit thermischer Langzeitspeicherung von (sommerlichem) PV-Strom über Wärmepumpen zeigt ähnlich wie die unten aufgeführten Projekte mit Langzeitspeichern den enormen Raumbedarf auf. Hier machen die  $12 \text{ m}^3$  Speichervolumen etwa 6 % des Innenraumvolumens bzw. 1/6 des Erdgeschosses aus (S. DE\_11). Durch den großen Speicher ist es möglich, die Laufzeiten der Wärmepumpen entweder direkt mit der Stromerzeugung über die PV-Anlage zu koppeln und somit PV-Strom thermisch zu speichern, um winterliche Laufzeiten und die Leistungsaufnahme der Wärmepumpe zu verringern oder in Niederlastzeiten zu verschieben, während Strom dann ggf. zu Spitzenlastzeiten eingespeist wird. Die hierzu ebenso genutzte Wärmespeicherung im Erdreich über Erdsonden (s. Seite 217) ist räumlich deutlich weniger prägnant.

Beim Einsatz von solarthermischen Anlagen steigt das Volumen der meist als Puffer- oder Kombispeicher ausgeführten Speicher auch ohne einen saisonalen Speicheransatz an (knapp  $6 \text{ l/m}^2_{\text{NGF}}$ ), um Schwankungen zwischen solarer Einstrahlung und dem Nutzwärmebedarf ausgleichen zu können. Dabei übertrifft das mittlere Volumen übliche Auslegungen solarer Warmwasserspeicher, wenn diese in etwa gemäß des 1,5- bis 2-fachen täglichen Warmwasserverbrauchs ausgelegt werden (etwa 50 l/Pers), und deutet auf die Unterstützung der Heizung hin. Ein weiterer Anstieg ist auszumachen, wenn thermischen Solaranlagen mit Pellet- oder in Ausnahmen Brennwertkesseln gekoppelt werden. Diese Systeme können kleine Lastspitzen im Vergleich zu Wärmepumpen weniger effizient decken und benötigen daher größere Speicher.

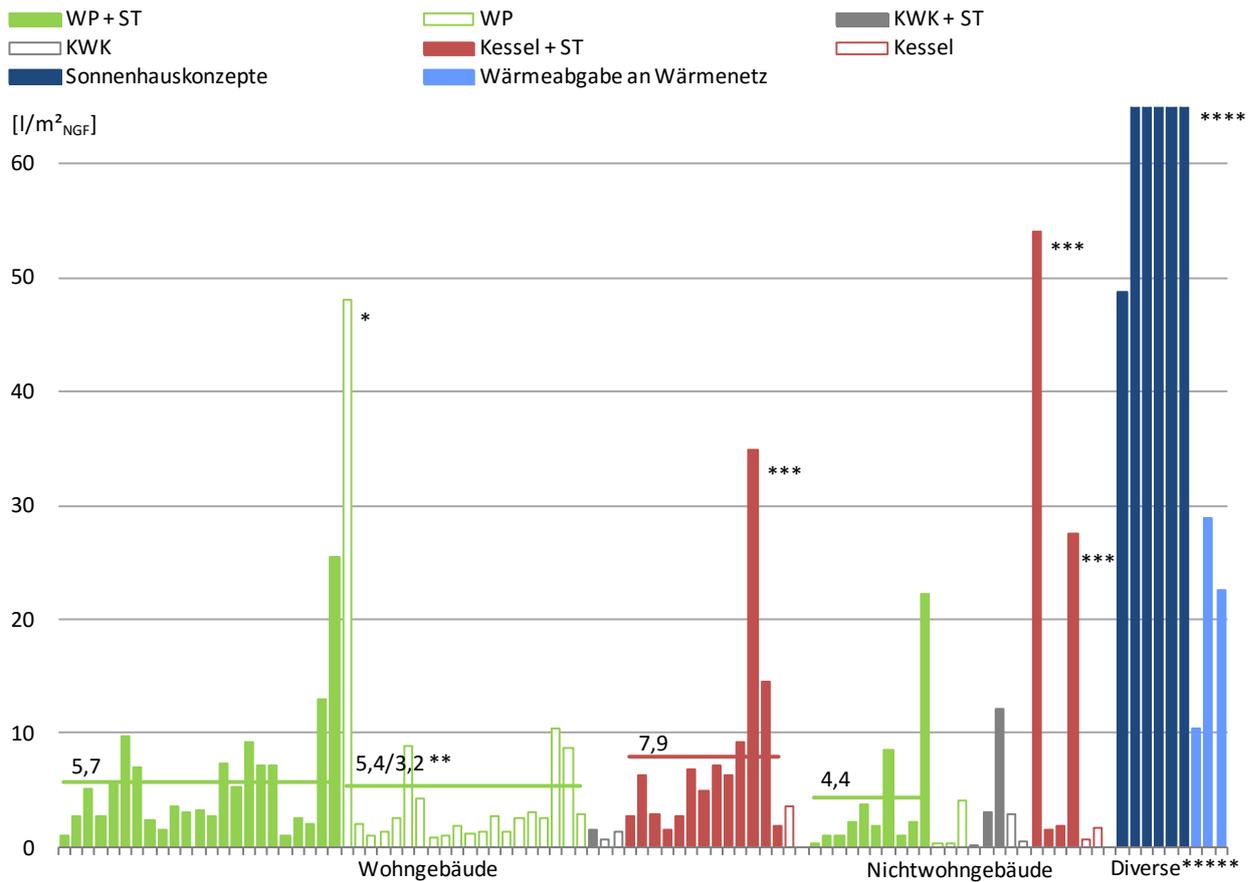


Abbildung 8-30: Thermisches Speichervolumen bei bekannten mitteleuropäischen Nullenergiegebäuden unterschiedlicher Typologien mit verschiedenen Konzepten zur Heizwärme- und Warmwasserbereitstellung

\* Ein großer Anteil des sommerlichen Stromertrags aus den Solarstromanlagen wird als Wärme über die Wärmepumpe in Langzeitspeichern gepuffert

\*\* Sofern das Beispiel mit der thermischen Langzeitspeicherung (s. \*) hier nicht eingeht, beträgt der Mittelwert 3,2 l/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>

\*\*\* Hier wird jeweils eine sehr große solare Deckung über thermische Solaranlagen angestrebt

\*\*\*\* Der Mittelwert der erfassten Sonnenhausbeispiele (nur Wohngebäude) liegt bei über 280 l/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> (oft Demonstrations- oder Erstanwendungen; es sind nur Beispiele aufgeführt, bei denen Warmwasser- und Heizwärmebedarf komplett über Solaranlagen ausgeglichen werden oder bei denen zusätzlich Solarstromanlagen übrige Energiebezüge bilanziell ausgleichen)

\*\*\*\*\* Hier sind bis auf eine Ausnahme nur Wohngebäude abgebildet

Bei Nichtwohngebäuden sind die vorhandenen Speichergrößen aber auch die Wärmeversorgungssysteme sehr differenziert. Die spezifischen Speichervolumina bei Bildungs- und Verwaltungsgebäuden sind gegenüber den Wohngebäuden tendenziell kleiner, was an den größeren Grundflächen und dem geringeren Warmwasserbedarf liegt. Auch hier dienen die Speicher in Kombination mit Solarthermieanlagen der Heizungsunterstützung.

Bei „Sonnenhäusern“ steigen die Größen der thermischen Langzeitspeicher deutlich an (s. Abbildung 8-30), da in den dargestellten Fällen keine weiteren Wärmeerzeuger installiert sind.<sup>199</sup> „Sonnenhäuser“ beherbergen dann Speicher von durchschnittlich über 300 l/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>, um die Gebäude über den Zeitraum eines Jahres (nahezu) vollständig mit Sonnenwärme versorgen zu können. Auch wenn die 10 bis 120 m<sup>3</sup> großen Speicher von außen nicht sichtbar sind, nehmen sie einen großen Einfluss auf die Kubatur und Grundrissgestaltung (s. CH\_53 und Abbildung 8-31). Um Wärmeverluste zumindest zu Heizzeiten nicht ungenutzt zu lassen bzw. als innere Wärmegewinne nutzen zu können, werden Warmwasser- bzw. Pufferspeicher immer in der beheizten Hülle der Gebäude

<sup>199</sup> Lediglich bei zwei der dargestellten Beispiele sind back-up-Systeme in Form von Holzöfen installiert (s. DE\_71)

<sup>200</sup> Die erfassten Solarspeicher sind meist hoch und schlank ausgeführt, um die Temperaturschichtung zu optimieren. Das Verhältnis von Höhe zu Grundfläche beträgt zwischen  $1:2 \text{ m}^{-1}$  und  $1:4 \text{ m}^{-1}$

platziert. Bei Grundflächen von bis zu  $15 \text{ m}^2$ , einer besonders guten Wärmedämmung - die in der Regel zwischen  $8 \text{ cm}$  und  $20 \text{ cm}$ , bei sehr großen Speichern auch bis zu  $40 \text{ cm}$  beträgt - sowie einer Höhe von bis zu  $17 \text{ m}$  geht auf bis zu fünf Geschossen inkl. Keller jeweils ein ganzer Raum verloren.<sup>200</sup> Zudem werden solch große Speicher bereits zu Beginn des Hausbaus in die Baugrube eingebracht und Häuser um diesen herum gebaut. Gleiches gilt für Gebäude, die vor Ort erzeugte Wärme über solar unterstützte Nahwärmenetze an Nachbargebäude abgeben und darüber ihren Energiebezug tlw. ausgleichen (s. CH\_8 - Seite 196). Die hierzu genutzten Langzeitspeicher sind zwischen  $3.000$  und über  $30.000 \text{ l}$  groß, um einerseits Wärme saisonal zu puffern und andererseits tageszeitliche Unterschiede zwischen solarem Strahlungsangebot und Nutzwärmebedarf beim (externen) Verbraucher zu überbrücken. Meist werden die Wärmenetze, die Wärme über externe Übergabestationen an dezentrale Warmwasserspeicher überführen, nur temporär gespeist, um einen kontinuierlichen Wärmenetzbetrieb und dadurch bedingte Wärmeverluste (im Sommer) zu verringern.

Die meisten mit Blockheizkraftwerken gekoppelten Wärmespeicher sind im Vergleich zu anderen Heizsystemen nicht oder nur dann größer dimensioniert, wenn zusätzlich thermische Solaranlagen eingebunden werden (s. DE\_9). Hierüber ist abzulesen, dass die Möglichkeit eines Strom-Wärme-geführten Betriebs bislang ausbleibt (s. Kapitel 7.8.6).

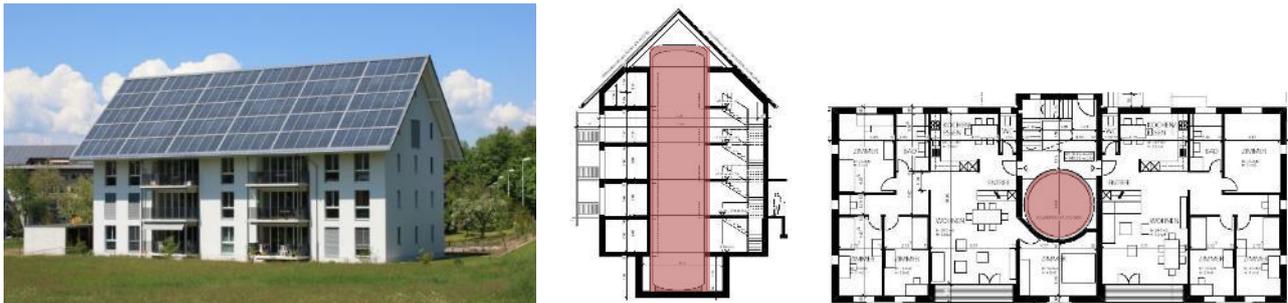


Abbildung 8-31: Dem ersten 100%-solarbeheizten Mehrfamilienhaus, dem Sonnenhaus in Oberburg (s. CH\_53), sieht man den  $205.000 \text{ l}$  großen Solarspeicher im Gegensatz zu der  $300 \text{ m}^2$  großen Solarthermieanlage von außen nicht an. Grundriss und Schnitt zeigen jedoch die enorme räumliche Auswirkung im Innern des Gebäudes. Quelle Sonnenhaus-Institut / Jenni Energietechnik AG

### 8.3.2 Elektrische Speicher

Auf Grund der großen Versorgungssicherheit über öffentliche Stromnetze und deren generelle Verfügbarkeit in bebauten bzw. zu bebauenden Gebieten bedarf es üblicherweise keiner Stromspeicherung in Gebäuden. Von den weltweit bekannten Nullenergiegebäuden nutzen nur etwa  $10 \%$  einen Stromspeicher, bei Gebäuden in mitteleuropäischen Klimaten sind dies noch weniger. In nahezu allen bekannten Fällen ist dies ein Batteriesystem. Gut  $40 \%$  der Batterieeinsätze sind auf netzautarke Betriebsweisen zurückzuführen. Diese sog. Inselsysteme werden bedeutend, wenn in entlegenen Gebieten kein Stromnetz verfügbar bzw. Stromanschluss möglich ist. Neben abgelegenen (Wochenend-) Häusern (s. NZ\_2) können dies vor allem (ant-/arktische) Forschungsstationen sein (s. Abbildung 5-7). In Europa ist dies lediglich bei abgeschiedenen Ski- bzw. Schutzhütten, Berggasthäusern und -höfen oder Ferienhäusern der Fall (s. CH\_4, SP\_11). Nur hier stellt die Insellösung samt Stromspeicher gegenüber einer eigens zur Verfügung gestellten Stromnetzversorgung die kostengünstigere Variante dar.

Bei netzgekoppelten Nullenergiegebäuden dienen Batterien zur Überbrückung von temporären Ungleichheiten von Solarstromertrag und Strombedarf im Gebäude. Über die Möglichkeit, eigens erzeugten (Solar-)Strom zwischenspeichern, steht dieser im Verlauf eines Tages oder ggf. darüber hinaus auch zu Zeiten zur Verfügung, in denen kein Stromertrag mit -verbräuchen korreliert. So können bei zuvor geladener Batterie Stromverbraucher bspw. auch zu Nachtzeiten ohne Strombezug aus dem öffentlichen Netz versorgt, Abhängigkeiten hiervon reduziert und Eigenverbrauchsanteile gesteigert werden (s. Kapitel 4.4 und 7.8.6). Dies funktioniert vor allem in sommerlichen Zeiten, wenn tagsüber ein Ertragsüberschuss in die Batterien geladen werden kann. Im Winter bzw. zu Zeiten geringer solarer Einstrahlung nehmen die Potenziale ab (s. Abbildung 7-56 f.).

Der überwiegende Teil der hierzu mit Informationen vorliegenden Beispielgebäude steht in Deutschland und ist wiederum zu einem Großteil auf das Modellvorhaben „EffizienzhausPlus“ zurückzuführen (s. Seite 106). Mit einer Ausnahme verfolgen Wohngebäude das oben beschriebene Prinzip der elektrischen Kurzzeitspeicherung und nutzen hierzu im Schnitt eine elektrische Speicherkapazität von  $0,10 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ . Die Gesamtkapazität beträgt zwischen ca.  $8 \text{ kWh}_{\text{el}}$  bei mehreren Einfamilienhäusern und  $250 \text{ kWh}_{\text{el}}$  bei einem Mehrfamilienhausprojekt. Die Kapazitäten steigen allerdings auch bei kleinen Wohngebäuden bisweilen auf über  $20 \text{ kWh}_{\text{el}}$ , wenn zusätzlich zu den normativen und nutzungsspezifischen Verbrauchern auch Elektroautos über Nacht mit Solarstrom geladen werden sollen. Bei den ebenfalls als Wohngebäude ausgeführten netzautarken Projekten liegen die Kapazitäten zwischen  $20$  und  $60 \text{ kWh}_{\text{el}}$  (gut  $0,20 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ ). Unabhängig vom Konzept kommen meist Bleiakkumulatoren zum Einsatz. In Ausnahmefällen sind es Lithium-Ionen-Batteriezellen mit einer höheren Energiedichte pro kg. Allen Batterieanwendungen ist gemein, dass sie Gleichstrom speichern. Ähnlich wie bei Solarstromanlagen werden für die Einbindung in das Stromnetz daher Wechsel- bzw. Gleichrichter benötigt.

Neben Batterien sind aus Demonstrationsgebäuden auch andere Systeme wie bspw. die solarstromgespeiste Elektrolyse von Wasser in Sauer- und Wasserstoff zur längerfristigen Stromspeicherung bekannt (s. DE\_12 - Seite 63). Diese haben sich zwar als technisch machbar erwiesen [ISE 1997], sind jedoch (derzeit) vor allem wegen des ökonomischen Aufwands nicht in eine breite Anwendung zu übertragen.

Laut [AGI 2003] bzw. gemäß DIN EN 50272-2 ergeben sich bei der Nutzung von Batterien in Gebäuden in Abhängigkeit von der Nennspannung und -kapazität bauliche Anforderungen. Demnach sind Batterien generell geschützt in abgeschlossenen Schränken oder Behältern (bis  $60 \text{ V}$  Nennspannung mit Maximalbaumaßen) bzw. gesonderten, abgeschlossenen Räumen innerhalb oder außerhalb von Gebäuden unterzubringen. Die unterschiedlichen Wege lassen sich bei bekannten Nullenergiegebäuden wiederfinden. Während beim „Energieautarken Haus in Lehrte“ (s. DE\_71) eine natürlich belüftete Box in der Größe einer großen Kühltruhe außerhalb der thermischen Hülle genutzt wird (s. Abbildung 8-32), befinden sich die Blei-Gel-Batterien mit einer Kapazität von etwa  $20 \text{ kWh}$  des „Energieautarken Solarhauses“ des Fraunhofer-ISE (DE\_12 - Seite 63) in einem eigenen Kellerraum, der nach außen belüftet wird und daher gegenüber dem übrigen Gebäude luftdicht ausgeführt ist. Abgesehen von kleinen Unterschieden in verschiedenen deutschen Landesbauordnungen gelten zusätzliche Anforderungen an die Ausführung der Batterielagerräume. So ist für

<sup>201</sup> Temperaturen von 5° C bis 35 °C bieten sich aus Effizienzgründen an, da niedrigere Temperaturen die verfügbare Kapazität um etwa 1 %/K verringern. Höhere Temperaturen verkürzen dagegen die Lebensdauer von Batterien

Abbildung 8-32: Blei-Akku-Batteriespeicher des „Energieautarken Hauses in Lehrte“ (DE\_71) in einer Metallbox außerhalb der thermischen Gebäudehülle. Trotz einer Begleitheizung dürfte diese Form der Unterbringung nachteilig für die Lebensdauer und die Kapazität der Batterien sein. Quelle Helma, Foto Michael Löwa

diese die dargestellte natürliche oder technische und dann zu überwachende Belüftung sicherzustellen, wobei der Luftwechsel in Abhängigkeit der Batterieart sowie der Nennspannung und -kapazität zu bestimmen ist. Zudem müssen die Batterielager elektrisch isoliert, von anderen Nutzräumen mindestens feuerhemmend getrennt, vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt, trocken und frost- sowie erschütterungsfrei sein.<sup>201</sup> Fußböden müssen außerdem gegen die Einwirkungen von Elektrolyten chemisch resistent und undurchlässig ausgebildet werden. Dass dies nicht zwangsläufig zu dunklen Kellerräumen führen muss, zeigt der Batteriespeicher des Schau- und Schulungsgebäudes „SMA Academy“ (DE\_50 - Seite 16), der als Schauraum ansprechend gestaltet werden konnte.

Neben den baulichen Maßnahmen kann der Einsatz von Batterien in Abhängigkeit von deren Unterbringung und auf Grund der dargestellten Anforderungen auch eine energetische Herausforderung sein. So macht bspw. die Beheizung und Belüftung der Batterien im Demonstrationshaus „EffizienzhausPlus mit Elektromobilität“ in Berlin (DE\_66) mit gut 1.800 kWh im ersten Betriebsjahr etwa 11 % des gesamten Stromverbrauchs für den Hausbetrieb aus.



## 8.4 Schnittstelle Gebäudeautomation und (Nutzer-)Informationstechnik

### 8.4.1 Regel- und Steuerungsfunktion

Nullenergiegebäude weisen tendenziell einen hohen, gegenüber bisher üblichen Gebäuden vergrößerten, Technikeinsatz auf (PV-Anlage, Lüftungsanlage, ggf. Batteriespeicher, etc.), so dass die verschiedenen Systeme durch eine zentrale Gebäudeleittechnik bzw. -automation mitunter miteinander gekoppelt werden. Dies ist in der Praxis vor allem bei größeren Nichtwohngebäuden sowie einer Vielzahl kleiner Wohnhäuser mit Demonstrationscharakter auszumachen. Dabei nehmen MSR-Server als Schnittstelle über LON- oder BUS-Systeme Daten von Gas-, Strom- oder Wärmemengenzählern sowie Feuchte- und Temperatursensoren auf und übergeben per KNX- oder EIB-Bus Befehle an Regel- und Steuerungseinheiten. Als Energiemanagementsystem wird hierüber Verbrauchs- und Ertragslast zeitlich abgeglichen und bspw. zum Zeitpunkt von Solarerträgen darüber entschieden, ob eine direkte Versorgung von Verbrauchern, ein Laden von thermischen bzw. elektrischen Speichern oder aber eine Einspeisung in Netze zu priorisieren ist.<sup>202</sup> Alternativ werden elektrische Lasten verschoben und Verbraucher kurzzeitig ausgeschaltet, um Spitzenlasten zu

<sup>202</sup> Zukünftig kann darüber hinaus eine Einspeisung von Energie zu den Zeiten erfolgen, in denen Netze entsprechenden Bedarf haben und hohe Einspeisetarife erzielt werden können oder Strombezüge in Niedrigtarifzeiten verschoben werden

reduzieren. So schalten u.a. Ladegeräte und Wasserkocher bei der Nutzung von Aufzügen in der „SMA Academy“ (DE\_50 - Seite 16) kurzzeitig ab, sofern dies aus energetischer Sicht Sinn macht. Zu ähnlichen Zwecken können auch KWK-Anlagen und ggf. Wärmepumpen jeweils in Kombination mit Speicherkomponenten gezielt gestartet werden (s. CH\_17 und Kapitel 7.8.6). Die Option steuerbarer Verbraucher wie bspw. Spül- oder Waschmaschinen, die erst zu Zeiten von Ertragsüberschüssen einschalten, oder Kühltruhen, deren Temperatur in diesen Zeiten über Bedarf gesenkt werden, um sie zu Hochlastzeiten bzw. bei geringeren Erträgen in den Stand-by-Modus wechseln zu lassen, bleibt jedoch bei den erfassten Nullenergiegebäuden bisher generell ungenutzt.

Auf Seite der Energieeffizienz und Bedarfsminderung dient die GLT vermehrt als Steuerelement und kombiniert Effizienz- und Komfortfunktionen bzw. wiegt diese untereinander ab. Ein Schwerpunkt bei den genutzten Systemen liegt auf der licht- bzw. einstrahlungsbasierten Steuerung. So erfolgt durch die Steuerung des Sonnenschutzes die Verschattung der Innenräume zur Vermeidung von solaren Wärmeeinträgen oft nur zu den Zeiten, wo eine Überwärmung tatsächlich droht und passive Wärmeeinträge nicht erwünscht sind. Andererseits kann vermieden werden, dass der Sonnenschutz im Winter als Blend- oder Sichtschutz genutzt wird und damit gewünschte und nutzbare passive Wärmeeinträge „ausgesperrt“ werden. Rollläden schließen nachts automatisch und sollen Wärmeverluste verringern (s. DK\_3 - Seite 209). Zusätzlich wird über Tageslicht- oder Beleuchtungsstärkesensoren hinsichtlich des Tageslichteinfalls und des Strombedarfs für die künstliche Beleuchtung abgewogen und werden ggf. geteilte oder im Neigungswinkel verstellbare Jalousien zur Lichtlenkung genutzt (s. DE\_43 - Seite 80, DE\_54 - Seite 45). Kombinierte Tages- und Kunstlichtkonzepte ermöglichen über Tageslichtsensoren oder Bewegungsmelder zusätzlich oder tlw. auch bewusst unabhängig von zentralen Systemen eine von der Nutzung, Raumtiefe bzw. Beleuchtungsstärke abhängige Lichtsteuerung zur Vermeidung unnötiger Stromverbräuche und Wärmelasten (s. DE\_42 - Seite 200). Die Beleuchtung lässt sich auch gemäß den Arbeitsplatzrichtlinien steuern (s. DE\_54 - Seite 45). Ebenso schließen Verschattungselemente am Tag nur gegeneinander versetzt und nur dort, wo direkte Sonneneinstrahlung vorhanden ist, um den Tageslichteinfall über die übrigen Fassaden zu ermöglichen. Insgesamt sollen hierüber der Nutzereinfluss bzw. -eingriff entweder erleichtert oder über vordefinierte Konfigurationen verringert werden. Dies gilt auch, wenn eine natürliche Lüftung oder passive Kühlung über in der Höhe und/oder Orientierung differenzierte Fenster oder Lüftungsöffnungen erfolgt, indem diese durch die Gebäudesteuerung gestützt in Abhängigkeit von Luftqualität oder Innenraumtemperatur öffnen und verbrauchte bzw. warme Luft ohne Ventilatoreinsatz abführen (s. DE\_42 - Seite 200, UK\_2 - Seite 295). Auf eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung wird dann während der Sommerzeit bisweilen verzichtet (s. DK\_3 - Seite 209). In Heizphasen schließen Fensterkontakte bei geöffneten Fenstern Heizungsventile oder drosseln die Zuluft über die Lüftungsanlage in entsprechenden Bereichen (s. DE\_54 - Seite 45, US\_8). Die Steuerung kann jeweils zentral (s. DK\_3 - Seite 209) oder dezentral (s. AT\_11) erfolgen.

In weiteren Szenarien lassen sich über die Gebäudeautomation auch inszenierende Beleuchtungsprogramme oder Multimediaszenarien programmieren und abspielen sowie Sicherheitsanlagen bzw. -vorkehrungen bedienen.

Bei automatisierten Prozessen ist es möglich, dass (sich verändernde) Wettervorhersagen und aktuelle witterungsbedingte Zustände wie bspw. Einstrahlung

und Temperatur mit Nutzungsprofilen (Tageszeit und Wochentag), dem aktuellen Gebäudestatus und gewünschten Komfortparametern übereinandergelegt werden. Erfahrungen zeigen, dass in den Übergangszeiten auf Grund noch kalter Nächte Räume morgens stark aufgeheizt und diese dann entweder tagsüber gar nicht genutzt werden (Wohnräume) oder während der schon warmen Tageszeiten eine Überwärmung stattfindet (Nichtwohngebäude), da die Speicherkapazität der thermischen Masse bereits erschöpft ist. Ebenso kann ein zeitiges Aufladen oder nur bedingtes Entladen der thermischen Massen eine unbehaglich kühle Abstrahlung vermeiden. Erfahrungen zeigen, dass es hier sinnvoller ist, die Auskühlung während der Nacht möglichst gering zu halten, um damit den morgendlichen Heiz- sowie den tagsüber entstehenden Kühlbedarf zu vermeiden.

Der vermehrt technische Betrieb der Gebäude wird bisweilen auch kritisch betrachtet. Als Hintergrund werden hierzu u.a. systembedingte Fehlfunktionen oder das Übersteuern des Nutzers durch das System genannt. So erfordern Bewegungsmelder für die Lichtsteuerung an Arbeitsplätzen ein „bewegtes“ Arbeiten am Schreibtisch, da ruhiges Arbeiten zum Ausschalten des Kunstlichts führt (s. DK\_3 - Seite 209). Andererseits sind Schaltzeiten meist vorgegeben und können eine händische Schaltdauer durchaus übersteigen (s. CH\_2 - Seite 202 und FR\_4 - Seite 36). Ebenso werden Fenster bisweilen auch an kühlen Sommertagen zur Lüftung geöffnet, obwohl sie kurz zuvor manuell geschlossen wurden. Systembedingt geschlossene Jalousien zur Verschattung reduzieren bei einigen bekannten Nullenergiegebäuden auch Wärmegewinne sowie den Tageslichteinfall. Über diesen Aspekten steht zudem die Aufgabe, den Stromverbrauch der GLT über die gesteuerten Prozesse bei Komfortgewinn mindestens einzusparen.

#### 8.4.2 Nutzerinformation

Da die Gebäudeleittechnik bzw. -automation über die Zählerschnittstellen Energieverbräuche und (aktuelle) -erträge sowie (Komfort-)Zustände erfasst und auf Servern ablegt, werden diese abseits vorkonfektionierte Steuerungsszenarien per Visualisierung z.T. auch zur Nutzerinformation genutzt. Dabei soll einerseits der Energieverbrauch gesenkt sowie andererseits in Ausnahmen dabei geholfen werden, den lokalen Energieertrag mit dem Energieverbrauch zu synchronisieren. Stationäre (Touch-)Displays oder browserbasierte Webschnittstellen greifen dann auf die MSR-Server zu, stellen Werte und Daten (graphisch) dar und dienen zugleich als Bedienelement der oben beschriebenen Steuerungsvorgänge (s. CH\_8 - Seite 196, DK\_3 - Seite 209, DE\_54 - Seite 45, UK\_1 - Seite 185). Erfahrungen hierzu zeigen, dass der Effekt der Nutzerinformation zur Verbrauchsminderung sowohl als animierend beschrieben (s. DK\_3 - Seite 209, UK\_1 - Seite 185) als auch mitunter mit einem hohen Energieeinsatz erkaufte wird. So können die Verbräuche der (Home-)Server, Daten-PCs zur Messdatenaufzeichnung und Displays durch ihre permanente Leistungsaufnahme die Einsparungen durch die Datenaufbereitung und -weitergabe durchaus übersteigen (s. CH\_8 - Seite 196). Beim Betrieb des Solar Decathlon Hauses der Uni Wuppertal am Standort Wuppertal (DE\_37 - Seite 237) erreichte der Wert für die serverbasierte MSR-Technik trotz Optimierung annähernd 100 W konstante Stromaufnahme. Zudem wird auch bei anderen Demonstrationsprojekten angemerkt, dass überprüft werden sollte, ob der Hilfsenergieeinsatz von Hausautomationssystemen gesamtenergetisch sinnvoll

# Solar Decathlon Haus des Team Wuppertal

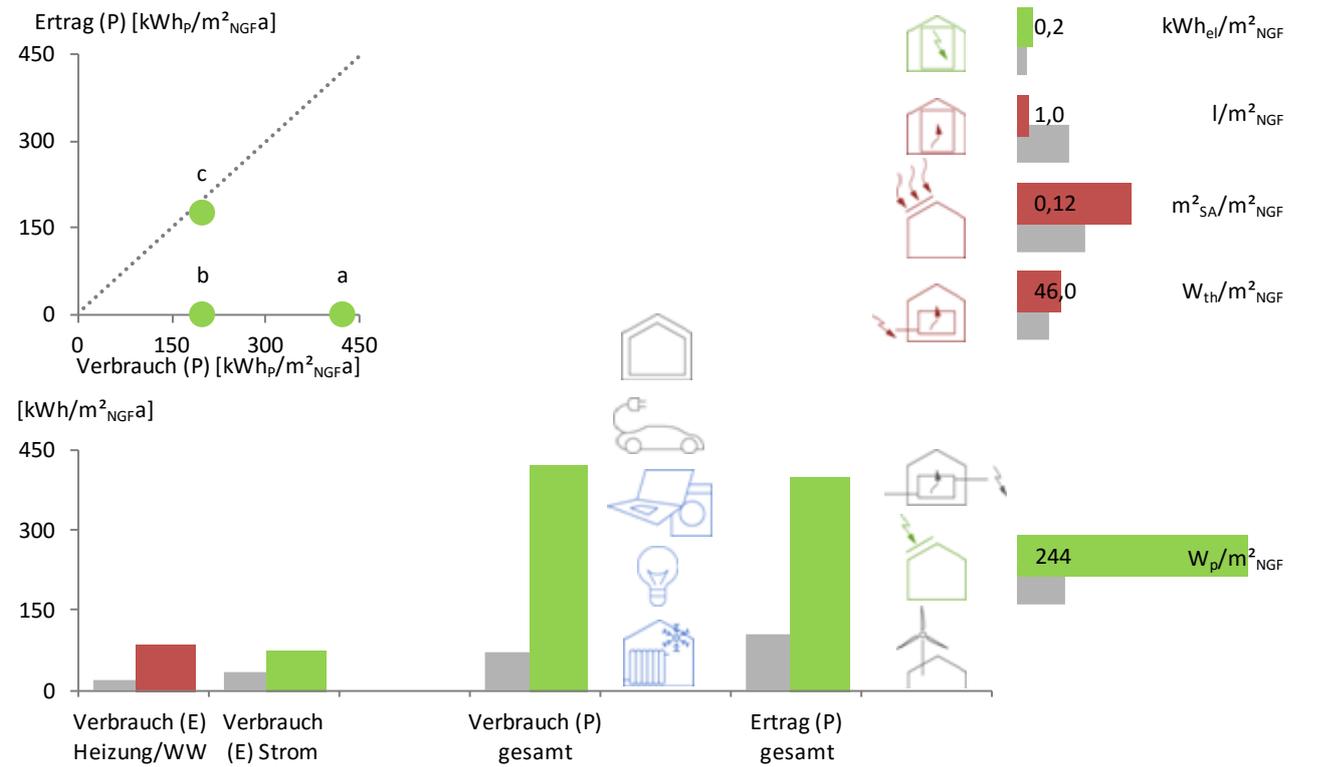
DE\_37



Fotos: Peter Keil

Architekt	Solar Decathlon Team Wuppertal	Nettogrundfläche	48 m <sup>2</sup>
Baujahr	2010	Hauptakteur / Motiv	Bauherr / Demonstration
Typologie	Demonstrations- und Experimental-Wohnhaus	Städtebauliches Umfeld	urban

Der Beitrag zum Solar Decathlon 2010 wurde von einem interdisziplinären Studierendenteam geplant und realisiert. Neben der Erfüllung von Wettbewerbskriterien war eine Verknüpfung von architektonischer Gestaltung und technischer Gebäudeausstattung das Ziel. Zwei solaraktive, thematisch differenzierte Wandscheiben - sie nehmen PV- und ST-Anlagen auf - begrenzen den offenen Innenraum und führen diesen in den privaten Außenraum - die angrenzenden Terrassen. Ein außenliegender Vorhang aus aluminisiertem Textilgewebe sorgt für Sonnen- und Sichtschutz. Die mangelnde Kompaktheit wird mit einer hochwärmege-dämmten Hülle inkl. Vakuumdämmung kompensiert. Der flächenbezogen große Energieverbrauch ist bezogen auf zwei Bewohner verhältnismäßig gering. Ein Batteriesatz steigert in Verbindung mit einem Energiemanagementsystem die Eigenverbrauchsdeckung.



Messwerte für den Standort Wuppertal

## Anforderungen des Solar Decathlon 2010, INT

Autor, Institution	US Department of Energy (DOE)	(Neben-)Anforderungen: Bewertung in zehn Disziplinen (Architektur, Gebäudetechnik und Konstruktion, Solarsysteme und Warmwasser, elektrische Energiebilanz, Komfort und Raumklima, Haushaltsgeräte und Funktionalität, Innovation, Kommunikation und gesellschaftliche Wahrnehmung, Industrialisierung und Marktfähigkeit sowie Nachhaltigkeit
Einführungsjahr	2010	
Bilanzgrenze	normativ / nutzungsspezifisch	
Bilanzrahmen	Gebäudehüllfläche	
Bilanzzeitraum	Wettbewerbszeitraum / Betriebsjahr	
Indikator	Endenergie	

<sup>203</sup> Gleiches gilt auch aus ökonomischer Sicht, da LON- oder BUS-Systeme mit getrennten Stromkreisen gegenüber einer herkömmlichen Elektroinstallation teurer und aufwändiger sind

ist und die erwarteten Einsparungen auf Grund der Eigenstromverbräuche erschlossen werden (bspw. DE\_66). Als weitere Ursache wird hierzu auch eine Form des Reboundeffekts genannt (vgl. Seite 50): Auf Grund der Kenntnis der Gebäudenutzer über den geringen Verbrauch des Gebäudes und eines beruhigten Gewissens erhöht sich ihr nutzungsspezifischer Verbrauch. Demnach müssen Einsparungen dann vor allem über das Energiemanagement oder die Automation erzielt werden (s. DK\_3 - Seite 209).<sup>203</sup> Übergreifend gilt, dass der Einsatz einer GLT bei großen Gebäuden und komplexen Anlagen wie auch Steuerungsprozessen eher als lohnenswert beschrieben wird, als bei kleinen (Einfamilien-)Häusern. Bei vielen bekannten Gebäuden mit ausgeglichener Energiebilanz dient eine „analoge“ Nutzerinformation ohne zusätzlichen Strom- und Installationsaufwand über erläuternde Broschüren, ein geschultes Nutzerverhalten oder die Instruktion hinsichtlich des Kaufs energiesparender Haushaltsgeräte als ebenso wirksames Mittel (s. DE\_7 - Seite 95, DE\_8, UK\_1 - Seite 185).

## 8.5 Der Aspekt der Clusterbildung

Während das über Energiemanagementsysteme mögliche „smart home“ die Fortführung des anvisierten öffentlichen „smart grid“ im Gebäudestromnetz bzw. -betrieb darstellt, bietet die Zusammenfassung von Gebäuden in einen gemeinsamen Bilanzrahmen die Möglichkeit eines Bilanzclusters und damit die Weitergabe von Mehr- oder Minderverbräuchen wie auch -erträgen in einer Gruppe von Gebäuden. Neben der in Kapitel 4.6 und 7.5 beschriebenen Option des Ausgleichs von Nahezu-Nullenergiegebäuden wie bspw. sanierten Bestandsgebäuden mit mäßiger Energieeffizienz durch Plusenergiegebäude und einer gemeinsamen Nutzung von (großen) Wärmeerzeugern über eigene Mikro- und Nahwärmenetze, kann über den Mix verschiedener Stromerzeuger auch eine erhöhte Nutzung der siedlungseigenen Stromerträge bzw. Eigenbedarfsdeckung erfolgen und eine Art „smart cluster“ entstehen. Dies wird in der Praxis bisher lediglich für drei noch in der Realisierung befindliche Projekte angestrebt (s. Anhang, Tabelle A-26). Der darüber hinaus gegenüber einer Einzelbebauung im städtebaulichen Maßstab mögliche Facettenreichtum in Ausrichtung, Dichte, Gestalt oder Typologie bei den eingebundenen Gebäuden sowie die Hinzunahme von Bestands- oder Nichtwohngebäuden ist ebenfalls nur in Ausnahmen zu vernehmen (z.B. DE\_70). Bisher werden - wie auch bei Einzelprojekten - überwiegend Wohnprojekte als Siedlungen mit dem Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz umgesetzt. Quartierkonzepte machen insgesamt nur etwa 5 % aus (s. Abbildung 5-8).

Die Chance der gemeinsamen Bilanzierung im Siedlungsmaßstab wird unabhängig von der Bilanzgrenze nur bei etwa der Hälfte der Siedlungsprojekte genutzt. Ein weiteres Drittel zentralisiert immerhin die Wärmeerzeugung unter dem Aspekt „Economy bzw. Efficiency of Scale“ und nutzt Nahwärmenetze - tlw. mit zentralen Wärmespeichern. Ebenso existieren viele Quartiere, bei denen einzelne Häuser jeweils durch einen hauseigenen, dezentralen Wärmeerzeuger versorgt werden und die Solarstromanlagen ebenfalls pro Gebäudeeinheit ausgelegt sind (s. AT\_1, CH\_10). Der Aspekt der Gemeinschaft beschränkt sich bisweilen auf den gemeinsamen Einkauf von „grünem“ Strom bzw. das gemeinsame Investment in externe Windkraftanlagen (s. DE\_6, DE\_82). Hier ist es nicht gelungen bzw. der Anspruch nicht entstanden, über einen übergreifenden Akteur die Idee der Gemeinschaft zu formulieren und diese in das Energiekonzept zu überführen. Sofern dies der Fall ist (s. DE\_5 - Seite 141,

DE\_70), ergibt sich durch den Zusammenschluss mehrerer Stromerzeuger gegenüber Wohngebäuden in Einzelbebauung im Mittel ein verringerter Bedarf an Photovoltaik. Bei Siedlungsprojekten genügen je nach Bilanzgrenze 20 bis 30  $W_p/m^2_{NGF}$ , während kleine Wohngebäude bei über 50  $W_p/m^2_{NGF}$  liegen (s. Abbildung 8-21). Die Solare Gütezahl (s. Seite 39) lässt sich bei den bekannten Projekten nicht durchgehend quantifizieren. Auf Grund von Schrägbildbetrachtungen und vorliegenden Plänen kann jedoch davon ausgegangen werden, dass mehrheitlich gute Werte von 0,2 bis 0,35 (für Dachflächen) erreicht werden, auch wenn die Dachflächen der Siedlungsgebäude nicht immer vollständig durch Solaranlagen genutzt werden (bspw. DE\_48, AT\_4). Die Option, den Siedlungsgrund zur Positionierung von „on-site“-Erzeugern wie Freiflächen-PV oder Kleinwindkraft zu nutzen, stellt ebenfalls eine Ausnahme dar. Bei der Revitalisierung des Bad Aiblinger Stadtteils Mietraching (DE\_70) wird erstmals und alleinig für die im Zuge dieser Arbeit erfassten Nullenergieprojekte das Potenzial der Laufwassernutzung über ein Kleinwasserkraftwerk auf dem Gelände mit einem Stromertrag von knapp 50.000  $kWh_{el}/a$  erschlossen. Neben dem Ziel zur gemeinschaftlichen Deckung des Energiebedarfs beinhalten Gemeinschaftsprojekte häufig auch soziale Aspekte und nehmen bspw. das (Energieaufkommen zum) Thema Verkehr zusätzlich in die Betrachtungen auf (s. UK\_1 - Seite 185, AE\_2).

Die bekannten Nullenergiesiedlungen nutzen ihre Clusterung gegenüber Einzelprojekten zu einer erhöhten Dichte. Mit einer mittleren Geschossflächenzahl von 0,85 liegen sie mit in [Everding 2007] und [Reinborn 1996] dargestellten städtebaulichen Dichtegraden für historische und aktuelle Stadtraumtypen bzw. Großsiedlungen in etwa gleich auf. Typische Baugebiete mit Einfamilienhaus-Bebauung kommen auf Geschossflächenzahlen um 0,3 (s. [Everding 2007]). Dies bestätigt bspw. auch die Fertighausausstellung in Wuppertal (s. [BDF 2013]), in der nur Einfamilienhäuser mit einer durch eigene Erträge ausgeglichenen Energiebilanz ausgestellt werden, durch eine GFZ von ca. 0,3<sup>204</sup>, obwohl der Ausstellungscharakter zu einer höheren Dichte führen sollte.

Abseits des Siedlungsmaßstabs ist die direkte Partnerschaft zweier Gebäude mit einer gemeinsam ausgeglichenen Energiebilanz denkbar. Im Sinne des Klimaneutralen Gebäudebestands erwirtschaftet bspw. ein Neubau mit positiver Energiebilanz einen ebenso großen Energieüberschuss wie der zugeteilte Partner im energetisch-bilanziellen Minus steht. Im bisher einzig bekannten Praxisfall erzeugt das Demonstrations- und Experimentalhaus „B10“ (DE\_145) ein gegenüber dem Energiebedarf doppeltes Energieplus und deckt hierüber die Verbräuche des unter Denkmalschutz stehenden, benachbarten Weißenhofmuseums, das anlässlich der Werkbundsiedlung in Stuttgart 1927 nach Plänen des Architekten Le Corbusier erbaut wurde.

<sup>204</sup> Der Wert ermittelt sich über die angegebenen Wohnflächen der ausgestellten Häuser, deren BGF überschlägig mit dem Reziprok von  $0,85 \text{ m}^2_{NGF}/\text{m}^2_{BGF}$  berechnet wird

## 8.6 Deckungsraten erhöhen

Bisher sind nur wenige Nullenergieprojekte explizit mit dem Ziel angetreten, die Quote der Eigenbedarfsdeckung oder die Eigenertragsnutzung zu erhöhen. Solarstromanlagen wurden bisher meist nach ökonomischen Gesichtspunkten ausgerichtet und Speicher- bzw. Lastmanagementsysteme noch selten (zu diesen Zwecken) eingesetzt. Blockheizkraftwerke laufen - wie in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben - ausschließlich wärmebasiert. Da gemessene Energieteilkennwerte aus dem Demonstrationsprogramm „EffizienzhausPlus“, in dessen Anforderungen ein erhöhtes Verhältnis zwischen selbstgenutzter und

generierter erneuerbarer Energie definiert ist, nicht vorliegen bzw. die im Rahmen der Förderinitiative realisierten Gebäude noch nicht über einen längeren Zeitraum energetisch vermessen wurden, dienen Werte zu Stromverbrauch und -ertrag von 29 umgesetzten Gebäuden mit dem Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz, um Tendenzen erhöhter Deckungsquoten in Abhängigkeit des technologischen Konzepts zu bestimmen (gebäudeweise Darstellung in Anhang A.13). Bei untersuchten Stromprofilen dienen monatliche Messwerte zu Stromverbrauch und -ertrag, um die in Kapitel 7.8 vorgestellten Faktoren zur Quantifizierung von u.a. Eigenbedarfsdeckung und -ertragsnutzung zu bestimmen (s. exemplarisch Tabelle 8-2). Es gehen nur „on-site“-Stromerzeuger ein. Tabelle 8-1 zeigt dazu eine exemplarische Gegenüberstellung. Tabelle 8-2 zeigt Mittelwerte für Wohngebäude mit ähnlichen Voraussetzungen (Klima, Bilanzgrenze und -rahmen, Typologie). Die nachfolgenden Ergebnisse beruhen aber auf Betrachtung von Einzelergebnissen und erkennbar wiederkehrenden Phänomenen.

Tabelle 8-1: Exemplarische Gegenüberstellung monatlicher Stromlastprofile in [kWh<sub>el</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>] von mitteleuropäischen Nullenergiegebäuden mit unterschiedlichen Energiekonzepten zweier Typologien (Abkürzungen s. Kapitel 7.3.2 und Nomenklatur)

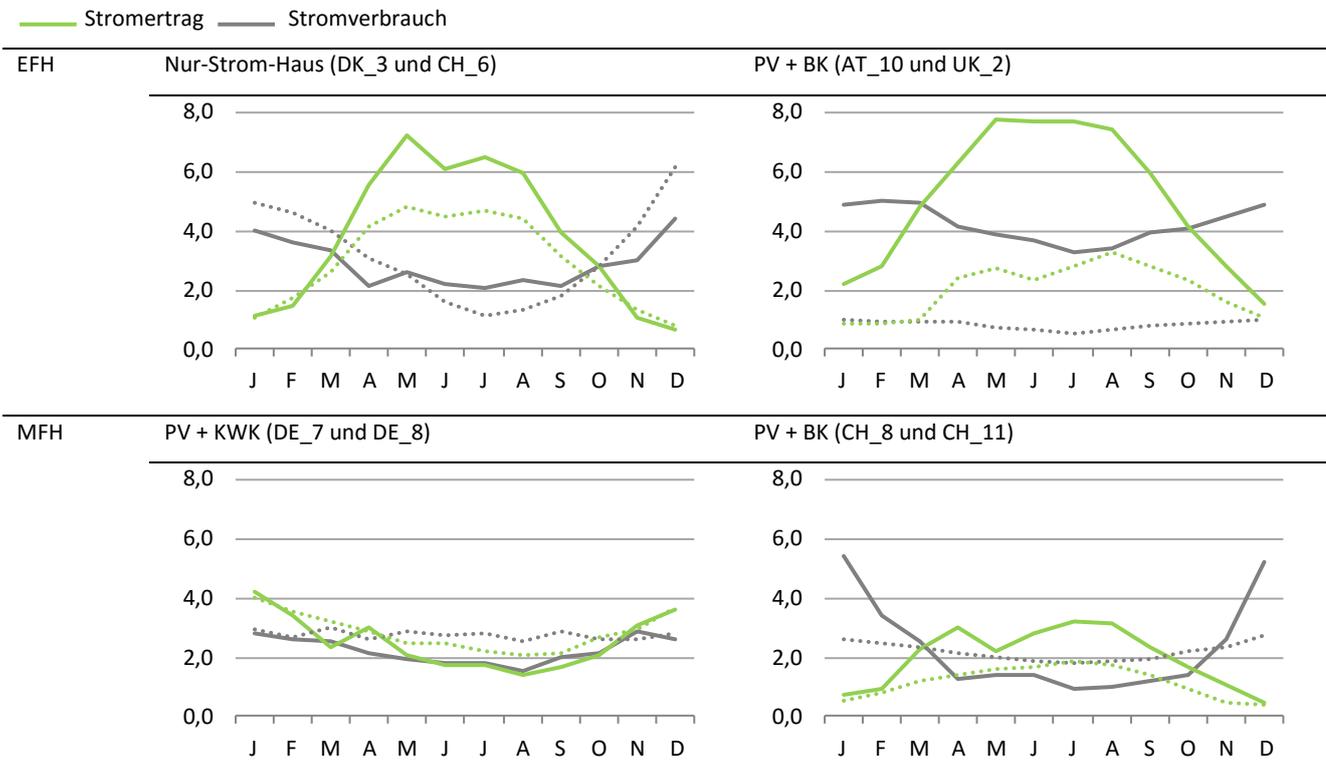


Tabelle 8-2: Exemplarische Gegenüberstellung mittlerer Deckungsraten mitteleuropäischer Nullenergie-Wohngebäude mit unterschiedlichen Energiekonzepten. Die Ergebnisse sind lediglich als Trend zu sehen, da auf Grund der Clusterung nur wenige Werte einbezogen werden. Erläuterung der Faktoren s. Kapitel 7.8., Abkürzungen s. Kapitel 7.3.2 und Nomenklatur

Energiekonzept	f <sub>load</sub> [%]	γ <sub>s</sub> [%]	F <sub>surplus</sub> [%]	F <sub>grid</sub> [%]	F <sub>export</sub> [%]
Nur-Strom-Haus	68	73	27	3252	8
PV + BK	83	63	37	69	39
PV + KWK	90	88	12	90	38

Anhand der Ergebnisse einzelner Gebäude bzw. Energiekonzepte und den erreichten Quantifizierungsfaktoren lassen sich für eine hohe Quote zur monatsbasierten Eigenbedarfsdeckung ( $F_{\text{load}} > 75\%$ )<sup>205</sup> drei Szenarien benennen:

1. In der Primärenergiebilanz wird ein deutliches Plus erzielt, so dass vor allem bei Gebäuden mit mehreren Energieträgern aber auch bei Nur-Strom-Gebäuden mehr Strom erzeugt als verbraucht wird (s. CH\_6, UK\_2 - Seite 295, DE\_37, DE\_5, AT\_10, US\_9). Hierzu können einerseits ein generell sehr geringer oder gegenüber dem Stromertrag kleiner Stromverbrauch (PT\_1) sowie andererseits klimatische Umstände führen, wenn sich Stromlast und Stromertrag durch aktive Kühlung und/oder saisonal gleichmäßigere Erträge in subtropischen Klimaten angleichen (SG\_1 und FR\_4).
2. Analog zu Punkt 1 wird auch ohne ein primärenergetisches Plus eine positive Strombilanz erzielt. Dies gelingt vor allem bei Gebäuden mit Energieträgermix, wobei hierdurch auch Gebäude mit nicht ausgeglichenen Primärenergiebilanzen zu hohen Faktoren kommen können (bspw. DE\_16, AT\_10 und AU\_3 - Seite 281).

In beiden genannten Szenarien sind sehr typische Stromprofile mit Ertragsspitzen im Sommer und hohen Stromverbräuchen im Winter auszumachen (s. bspw. CH\_6 bis DK\_10). Zuweilen lassen sich hierbei Ferienzeiten ablesen, wobei das „Sommerloch“ im Stromverbrauch von Bildungsgebäuden die Eigenbedarfsdeckung bzw. Eigenertragsnutzung beeinflusst (s. DE\_42 und AT\_16).

In subpolaren Gebieten sind die Stromerträge verhältnismäßig gering und übersteigen beim Einsatz von Wärmepumpen kaum den Stromverbrauch. Da bei beiden hiezugehörigen Wohngebäude-Beispielen die Solarstromanlagen deutlich zu klein dimensioniert sind - die Dachfläche reicht nicht aus, um die Jahresenergie wie auch Strombilanz der beiden Einfamilienhäuser im Betrieb auszugleichen -, ergeben sich auch niedrige Quoten bei der Eigenbedarfsdeckung.

3. Die Nutzung von BHKWs äußert sich bei großen (Nichtwohn-)Gebäuden oder im Quartiersmaßstab im Vergleich zu Nur-Strom-Gebäuden oder solchen mit Verbrennungskesseln in gegenteiligen Stromprofilen. Die Stromerträge übersteigen die Stromverbräuche auch in gemäßigten Klimaten nahezu ganzjährig und vor allem in den Wintermonaten deutlich (DE\_7, DE\_8, UK\_1 - Seite 185, NL\_1 - Anhang Seite I). Ähnlich hohe Quoten zur Eigenbedarfsdeckung von über 90 % ergeben sich nur, wenn ein zweiter Stromerzeuger eingesetzt wird. Dies können auch gebäudegekoppelte Windturbinen sein (s. AU\_3 - Seite 281).

Eine hohe Eigenertragsnutzung ( $\gamma_s > 75\%$ )<sup>206</sup> und damit geringe fiktive Überschusseinspeisung ( $F_{\text{surplus}} < 25\%$ ) ergibt sich wenn:

1. Parallel zum Stromertrag und vor allem zu den typischen sommerlichen Ertragsmaxima hohe Stromverbräuche vorliegen. Dies ist bspw. bei der Hinzunahme der Elektromobilität und einem Beladen der Autobatterien der Fall (DK\_10) oder wenn die Jahresbilanz bspw. aus Gründen des Klimas (CA\_5 und CA\_3), der Bilanzgrenze (CH\_11 - Seite 248, IT\_3) oder des Bilanzrahmens (AT\_3) primärenergetisch nicht sowie stromseitig kaum ausgeglichen werden kann (AT\_16, DE\_42), also das eigentliche energetische Ziel mitunter verfehlt wird. Bei DE\_42 fehlen z.B. die eingeplanten Stromerträge einer Biomasse-

<sup>205</sup> In Kapitel 7.8 ist zu erkennen, dass dies ein Wert ist, der bei einer ausgeglichenen Primärenergiebilanz auf Monatebene zwar zu erreichen, aber ambitioniert ist

<sup>206</sup> Anhand der Analysen in Kapitel 7.8 kann dieser Wert als ambitioniert gelten, doch ist zu erkennen, dass er auf Grundlage gemessener Werte häufig erreicht wird. Hierzu ist u.a. die Nutzung von (KWK-)Anlagen gemäß des tatsächlichen Nutzungsprofils und ein größerer Abgleich zwischen Wärmebedarf und gleichzeitigem Stromverbrauch/-ertrag auszumachen

<sup>207</sup> Hier können in der Praxis asymmetrische Gewichtungsfaktoren greifen, um erhöhten Strombezügen durch Luft-Wärmepumpen mit geringen Investitionskosten bei gewünscht hohen Ausnutzungsgraden sommerlicher Solarstromerträge vorzugreifen

KWK-Anlage. Die Solarstromanlage allein ist zu klein dimensioniert, um die Strom- sowie die übrigen Energieverbräuche zu decken bzw. auszugleichen. Dies führt dazu, dass ihre Erträge nahezu durchgehend und nur mit Ausnahme eines Ferienmonats fiktiv direkt verbraucht werden. Bei AT\_10 führt der Verzicht auf thermische Solaranlagen und die Nutzung eines Lüftungskompaktgeräts mit elektrischem Nachheizregister für die Warmwasserbereitstellung zu relativ hohen sommerlichen Stromverbräuchen.<sup>207</sup>

2. Über den Jahresverlauf gleichmäßige Stromerträge erzielt werden. Dies ist erneut dann der Fall, wenn Solarstromanlagen durch KWK- (DE\_7, DE\_8, UK\_1 - Seite 185) oder in Ausnahmen auch Windkraftanlagen (AU\_3 - Seite 281) ergänzt werden. BHKW-Lösungen erreichen bei den betrachteten Gebäuden Quoten zur Eigenerntragsnutzung von knapp 90 %. Hierzu tragen mitunter aber auch zusätzliche Stromerträge durch externe Windkraft-Anlagen bei, die in die Primärenergiebilanz eingehen oder zumindest eingeplant wurden und somit Ertragsspitzen am Gebäude verringern (DE\_7 und DE\_8).
3. Auch bei Nur-Strom-Gebäuden winterliche Lastspitzen vermieden werden können. Bei CH\_2 und DE\_43 führt die hohe Energieeffizienz zu geringen winterlichen (Strom-)Verbräuchen, so dass die sommerlichen Stromerträge und vor allem -überschüsse zeitlich und quantitativ sinken und somit seltener über dem Strombedarf liegen. Einen ähnlichen Effekt mit gleichmäßigeren Erträgen bzw. geringen Lastspitzen im Winter ermöglichen günstige klimatische Umstände (PT\_1, SG\_1), wobei bei Nur-Strom-Gebäuden nur deutliche Abweichungen vom gemäßigten Klima Mitteleuropas zu im Vergleich zu BHKW-Lösungen ebenso hohen Quoten bei der Eigenbedarfsdeckung führen. Extreme Stromüberschüsse können die Quote allerdings auch stark mindern (FR\_4).

<sup>208</sup> In Kapitel 7.8 ist zu erkennen, dass  $F_{\text{grid}}$  je nach Anlagenkonzept stark schwankt. Dort werden Werte zwischen 0 und 100 % erzielt, so dass hier ein mittlerer Wert von 50 % angesetzt wird

<sup>209</sup> Bspw. nutzen die Gebäude CA\_5 und AT\_3 das Stromnetz nur deshalb nicht als Saisonspeicher, weil CA\_5 aus oben genannten Gründen sowohl keine ausgeglichene Primärenergiebilanz als auch fiktiv überhaupt keinen Stromexport aufweist, während bei AT\_3 eine ausgeglichene Primärenergiebilanz fast ausschließlich über Wärmeexporte erzielt wird

Eine niedrige fiktive Nutzung des Stromnetzes als (Saison-)Speicher ( $F_{\text{grid}} < 50\%$ )<sup>208</sup> bei gleichzeitig hohen bzw. überhaupt vorhandenen Netto-Stromexporten ( $F_{\text{export}} > 0\%$ ) - was zusammen auf eine mindestens ausgeglichene Energiebilanz hinweist<sup>209</sup> - erreichen Gebäude durch einen deutlichen Überschuss in der Strombilanz. Dieser geht meist mit einer ausgeglichenen Primärenergiebilanz und dem Einsatz mehrerer Energieträger (Gas-, und Biomassekessel bzw. Fernwärmenutzung) einher (UK\_2 - Seite 295, AT\_10, DE\_5), ist bei Nur-Strom-Gebäuden mit einem generellen Bilanzplus gleichzusetzen (US\_9, FR\_4) oder beruht auf einem zweiten Stromerzeuger wie Windturbinen (AU\_3 - Seite 281) oder KWK-Anlagen (s. DE\_7, NL\_1 - Anhang Seite I).

Während die einzelnen Aspekte unabhängig voneinander durchaus häufig mit hohen Quoten erreicht werden, ist die Kombination von allen drei Qualitätsmerkmalen bei gleichzeitig ausgeglichener Energiebilanz eher selten. Vor allem eine intensive Nutzung des Stromnetzes als Saisonspeicher kann häufig nicht vermieden werden (bei den Beispielen DE\_8 und UK\_1 - Seite 185 mit BHKW-Nutzung liegt dies an den nicht ausgeglichenen Gesamtbilanzen). Die Kombination gelingt bei Gebäuden in gemäßigten Klimaten vor allem durch geringe (Strom-)Verbräuche - was im Falle von Nur-Strom-Gebäuden auf eine hohe Gebäudeenergieeffizienz zurückzuführen ist - und durch gleichmäßige Stromerträge, die sich zu Winterzeiten ausschließlich durch einen zweiten Stromerzeuger erzielen lassen. Auf Grund des Kombinationseffekts von Stromerzeugung bei Wärmeverbrauch bieten sich KWK-Anlagen (bei größeren Gebäu-

den<sup>210</sup>) an und ermöglichen den gewünschten Effekt (DE\_7 und NL\_1 - Anhang Seite I). Gebäudegekoppelte Windkraftanlagen können hier unter Umständen ähnliche Effekte erzielen (AU\_3 - Seite 281), erfordern aber einen großen gestalterischen Aufwand (s. Abschnitt 8.2.2.2). Eine Annäherung an eine Faktoren-Kombination erreichen sonst nur (Nur-Strom-)Gebäude mit großen Strom- bzw. Bilanzüberschüssen (CH\_6, US\_9 und FR\_4 bzw. UK\_2 - Seite 295).

<sup>210</sup> Da bis zum Erstellen dieser Arbeit nur hierfür verfügbar

## 8.7 Zwischenfazit: Maßnahmenkatalog auf dem Weg zum klimaneutralen Gebäude

Der Querschnitt über die verschiedenen Gebäudetypologien hinweg zeigt für Nullenergiegebäude in gemäßigten Klimaten ein Streben nach sehr hoher Energieeffizienz. Komponenten sowie energetische Ziele der Passivhaus- bzw. MINERGIE-Konzeption gelten durchweg als Basis zur Reduzierung des Wärme- und Primärenergieverbrauchs. Eine hochwärmedämmte, wärmebrückenarme und sehr dichte Gebäudehülle sowie der Einsatz mechanischer Lüftungsanlagen mit effizienter Wärmerückgewinnung gelten dabei ebenso als gesetzt, wie die übrigen Strategien zur Effizienzsteigerung. Hier unterscheiden sich jedoch die gewählten Maßnahmen deutlich häufiger und werden mitunter kombiniert oder gegeneinander aufgewogen (s. Abbildung 8-33). Architektonische Freiheiten bleiben hierdurch gewahrt. So verringern vielfältig ausgeführte, statische oder bewegliche Verschattungselemente die Gefahr der sommerlichen Überhitzung durch die großen, südorientierten Fensterflächen, welche wiederum passive solare Wärmeeinträge zulassen bzw. die Tageslichtnutzung optimieren. Konzepte zur passiven Kühlung vermeiden den Einsatz von Klima- oder Kälteanlagen. Architektonisch nahezu irrelevante aber von Seiten der Planer wenig zu beeinflussende Maßnahmen wie Wasserspararmaturen oder stromsparende Haushaltsgeräte bzw. EDV vermindern nutzungsspezifische Stromverbräuche, wobei die Potenziale nicht vollends ausgeschöpft werden. Hier ist ein Vorsprung bei Sanierungsprojekten zu erkennen, wo die übrigen Effizienzaspekte weniger gut ausgeschöpft werden können. RLT- oder andere technische Anlagen sind meist zentral im Gebäude „versteckt“, während thermische Solaranlagen, die im Sinne der Energieeinsparung Anteile des Warmwasser- und Wärmebedarfs übernehmen und entsprechenden Energiebezug reduzieren, durch die sich hiermit ergebende Kleinteiligkeit additiv aufgesetzt und nur partiell eingebunden werden. Die erforderliche große Kompaktheit, bei kleinen Häusern obligatorische Holzkonstruktionen und dicke Dämmstärken greifen hingegen in die Architektur der Gebäude ein, verringern jedoch zugleich den Flächenbedarf der immer genutzten Solaranlagen sowie deren formales Einwirken.



Abbildung 8-33: Verteilung genutzter Strategien und Maßnahmen zur Energieeffizienz, -einsparung, -bereitstellung und -erzeugung bei Nullenergiegebäuden in heizungsdominierten Klimaten (da in diese Auswertung bzw. Aufstellung alle gut 340 bekannten Gebäude der gemäßigten Klimazone eingehen, aber das Energiekonzept mitunter nicht zu jedem Gebäude vollständig bekannt ist, zeigt sich hier lediglich ein Trend zur Verteilung der Maßnahmen). Eine Blase in Höhe eines Feldes entspricht einer wahrgenommenen Anwendung von 50 %, die Blasengrößen beim Punkt Solarstromanlage entspricht bei allen Typologien 100 %.

Neu = Neubau, San = Sanierung, sonstige Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis

Bei den Optionen zur Deckung verbliebener (Primär-)Energieverbräuche durch erneuerbare Energie ergibt sich annähernd kein technologischer Spielraum. Da die Verbräuche durch die Gebäudeeffizienz und andere Einsparmaßnahmen

zwar stark verringert jedoch nicht umgangen werden können, nutzen alle Nullenergieprojekte Solarstromanlagen. Je nach Typologie, Bilanzgrenze und Heizungssystem schwanken deren Dimensionen stark. Kleine und damit das Erscheinungsbild nur wenig beeinflussende Anlagen können allerdings in der Regel nur durch zusätzliche Erträge aus Blockheizkraftwerken, Windkraftanlagen oder Zukäufe von „grünem“ Strom realisiert werden. Dies ist bei größeren Häusern und vor allem Nichtwohngebäuden, bei denen der Leistungsbedarf steigt und gleichzeitig das Verhältnis von solaraktiv nutzbarer (Dach-)Fläche zu Nutzfläche abnimmt, üblich bzw. notwendig. Hierauf gründet auch die Tatsache, dass Projekte mit mehr als drei Vollgeschossen typologieübergreifend sehr selten sind (s. Kapitel 9). Während gebäudegekoppelte Windturbinen nur geringe Ertragspotenziale aufweisen, den Energiebedarf von Gebäuden nicht in Gänze auszugleichen vermögen, kaum in die Gebäudekubatur zu integrieren sind und demnach nur selten genutzt werden, stellt die Kraft-Wärme-Kopplung bei steuer- und/oder planbarer Wärmeabnahme eine vielgenutzte Alternative und Ergänzung dar. Das Potenzial eines größeren Abgleichs von Energieverbrauch und -erzeugung wird bei beiden Systemen allerdings kaum genutzt.

Neben der Gebäudeeffizienz bestimmt auch die System- bzw. die damit verbundene Energieträgerwahl zur Deckung des Wärmebedarfs die Gesamt-Primärenergiebilanz sowie die Menge der am Gebäude bereitzustellenden Energie und PV-Module. Mit Blick auf die an Primärenergieverbräuche gekoppelte Fördermittelvergabe (zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit) und den Ausgleich der Primärenergiebilanz werden nach aktueller Einordnung primärenergetisch günstige Biomassekessel und/oder Blockheizkraftwerke häufig genutzt, wobei die Biomasse fossile Energieträger verdrängt. Eine Vielzahl an ökonomischen und architektonischen Argumenten machen Wärmepumpen attraktiv. Durch ihre vermehrte Nutzung wird Strom der Hauptenergieträger für Nullenergiegebäude und diese vielfach zu Nur-Strom-Häusern (über 70 % der untersuchten Nullenergiegebäude).

### **Exkurs: Nur-Strom-Haus**

Bisher ist keine explizite Definition des Nur-Strom-Hauses bzw. -Gebäudes festgesetzt, doch wird hierunter im allgemeinen Sprachgebrauch ein Gebäude verstanden, das monovalent mit dem Energieträger Strom versorgt wird. Dies mündet bei Null- oder Plusenergiegebäuden meist in energetischen Konzepten mit Solarstromanlage und Wärmepumpe. Eine solarthermische Anlage ist dabei ebenso möglich, wie die Nutzung von Umweltenergie durch die Wärmepumpe, da hierüber der (sommerliche) Stromverbrauch der Wärmepumpe verringert wird. Bei Nur-Strom-Häusern mit dem Ziel sämtliche Energieverbräuche auszugleichen, ergibt sich eine eindeutige Energiebilanz bereits am bzw. an den Stromzähler(n). Auf Grund eines nicht vorhandenen Energieträgermixes kann eine zusätzliche Bewertung auf Primärenergie- oder Emissionsebene entfallen, sofern keine besondere Gewichtung erwünscht ist. Zudem werfen die (zukünftigen) und in Kapitel 3.2 sowie 7.3 aufgezeigten Veränderungen im Stromnetz bzw. bei der Erstellung von Umrechnungs- oder Gewichtungsfaktoren bei statischer und symmetrischer Gewichtung keine bilanziellen Probleme auf.

Auf Grund des tageszeitlichen aber vor allem saisonalen Ungleichgewichts zwischen winterlichem Wärmebedarf bzw. den damit einhergehenden Strombezügen durch die Wärmepumpe und der überwiegend sommerlichen Solarstromproduktion in gemäßigten Klimaten wird das Stromnetz hinsichtlich sommerlicher Leistungsspitzen bei der Stromeinspeisung aber vor allem der fiktiven Speicherung bzw. winterlichen Erzeugungskapazitäten durch Nur-Strom-Häuser beansprucht (s. auch Kapitel 4.4.1 und 7.8). Optionen zur thermischen (Langzeit-)Speicherung von durch Wärmepumpen erzeugter thermischer Energie in vergrößerten Wasserspeichern werden ebenso selten genutzt, wie über Erdsonden erschlossene Erdwärmespeicher. Diese böten die Möglichkeit, das Temperaturniveau des Erdreichs im Sommer über die Wärmepumpe zu erhöhen und damit deren Jahresarbeitszahl im Winter zu steigern bzw. den Stromverbrauch zu senken. Gebäudeeigene Stromspeicher sind nicht geeignet, um den Verbrauch eigens erzeugten Stroms signifikant zu steigern. Zudem werden solarthermische Anlagen seltener genutzt als bei anderen weniger flexiblen Wärmeerzeugern und erwirken bei zusätzlichem Verzicht auf große thermische Pufferspeicher zusätzliche Stromverbräuche während der Sommerzeiten. Wärmepumpen erzeugen Heizwärme und Warmwasser nach Bedarf und nicht nach solarer Einstrahlung.

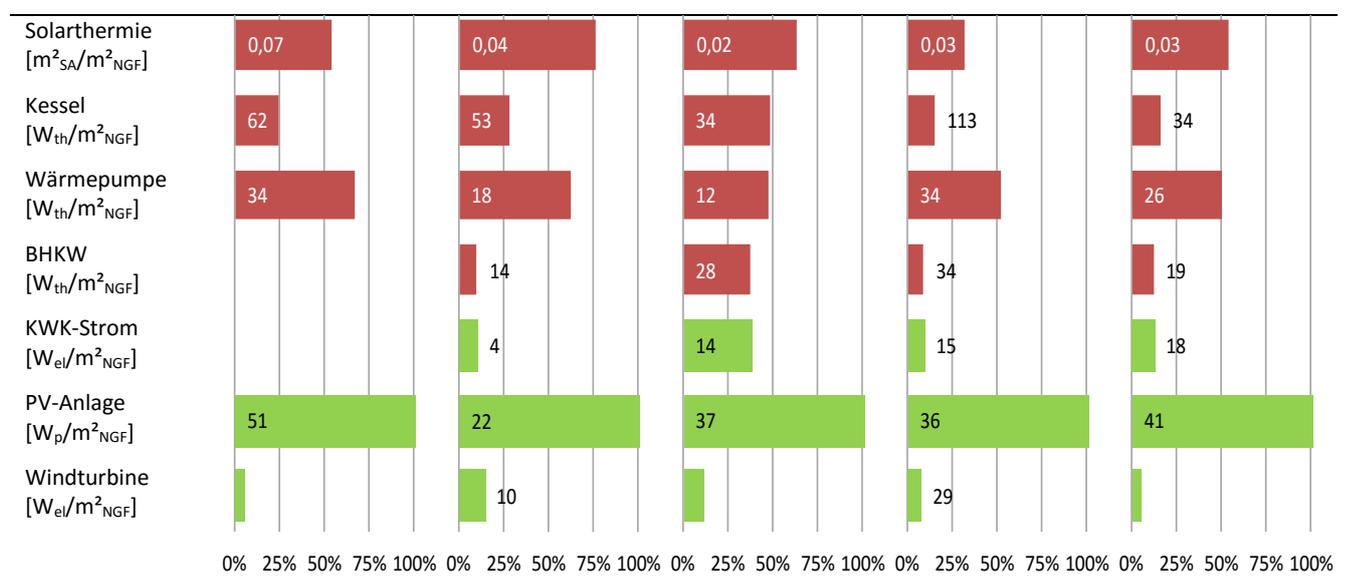
Erfahrungsberichte beschreiben häufig Probleme bei der Kombination technischer Anlagen unterschiedlicher Hersteller oder dem Einsatz von Prototypen bzw. neuen Systemen sowie deren langer Einregulierungsdauer von bis zu einem Jahr (bspw. DK\_3 - Seite 209, AT\_16 - Seite 191, CH\_8 - Seite 196, UK\_1 - Seite 185, AU\_3 - Seite 281, NL\_1 - Anhang Seite I). In einigen Fällen mussten sie ausgetauscht werden oder konnten (noch) gar nicht installiert werden (s. DE\_42 - Seite 200). Daher favorisieren sowohl Planer als auch Nutzer nach gemachten Erfahrungen technisch einfache Konzepte, Ansätze zum Nur-Strom-Haus und die mehrfach als positiv beschriebene Passivhausidee (s. Kapitel 6).

Abseits spezieller (Technik-)Konzepte stellt sich das Nullenergiehaus in gemäßigten Klimaten als Gebäude mit Passivhauskomponenten, Ansätzen zur Verringerung sommerlicher Wärmelasten bzw. passiven Kühlung, Solarstromanlage und entweder einer Wärmepumpe oder einer Biomassefeuerung dar. Dazu lässt sich pro Typologie ein Maßnahmenkatalog mit typischen und tlw. quantifizierbaren mittleren Qualitätsanforderungen bestimmen (s. Tabelle 8-3). Über diese Strategien hinaus zeigt sich, dass durch die Abwägungs- und vor allem Kompensationsmöglichkeit des Bilanzgedankens und den Verzicht auf festgelegte Kennwerte eine konzeptionelle Vielfalt und damit gestalterische Freiheiten grundsätzlich bestehen bleiben (s. Abbildung 8-33), auch wenn vor allem die Unumgänglichkeit einer Solarstromanlage einen großen, weil formgebenden und -prägenden Einfluss auf Architektur ausübt (s. Kapitel 9).

Tabelle 8-3: Gegenüberstellung typischer und typologiespezifischer Strategien auf dem Weg zu Nullenergiegebäuden (Neubauten). Andere Typologien sowie Anlagen zur Kälteerzeugung fehlen auf Grund ihrer geringen Umsetzung. Speicherkapazitäten werden nicht einbezogen, da diese stark vom (Heizenergie-)Konzept abhängen. Die mittleren Verbrauchswerte sind nicht flächengewichtet

	Kleine Wohnhäuser	Große Wohnhäuser	Siedlungen	Verwaltungsbauten	Bildungsgebäude
Anzahl Gebäude [Stck.]	127	28	17	49	20
Mittlere Verbrauchswerte					
Endenergie Wärme und WW [kWh <sub>E</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub> ]	19	22	33	24	37
Stromnutzungsspezifisch [kWh <sub>E</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub> ]	25	21	21	24	10
Gesamt-Primärenergie [kWh <sub>P</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub> ]	71	71	77	99	88
Effizienzmaßnahmen, tlw. mit Durchschnittswerten					
Heizwärme	Passivhauskonzept	Passivhauskonzept	Passivhauskomponenten	Passivhauskomponenten	Passivhauskonzept
Sommerlicher Wärmeschutz	Maßnahmen zu sommerlichem Wärmeschutz	Maßnahmen zu sommerlichem Wärmeschutz	Maßnahmen zu sommerlichem Wärmeschutz	Verzicht auf aktive Kühlung	Maßnahmen zu sommerlichem Wärmeschutz
Nutzungsspezifische Verbräuche	Stromsparen, Nutzerinformation	Stromsparen, Nutzerinformation, Gebäudeautomation	Stromsparen, Nutzerinformation	Stromsparen, Nutzerinformation, Gebäudeautomation	Gebäudeautomation
Mittlerer U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	0,205	0,257	0,186	0,397	0,326
Mittleres A/V-Verhältnis [m <sup>-1</sup> ]	0,69	0,53	0,57	0,45	0,54
Mittlerer Fensterflächenanteil [%]	33,4	25,0		22,3	26,2

Verteilung (Balken) und mittlere Leistungsangaben (Werte) zu gewählten Systemen der Energiebereitstellung und -erzeugung



# Kapitel 9

## Die Architektur von Nullenergiegebäuden - Teil II

Form follows energy?<sup>212</sup>

Ästhetische Aspekte von Nullenergiegebäuden

Zwischenfazit: Einfluss von Umsetzungsstrategien und Maßnahmen



## 9 Die Architektur von Nullenergiegebäuden - Teil II

Die in den vorangegangenen Kapiteln aufgezeigten Festlegungen, Strategien und Maßnahmen zur Energieeinsparung und Effizienzsteigerung üben häufig einen formal-gestalterischen Einfluss aus (Aspekte wie bspw. Kompaktheit oder Sonnenschutz). Vor allem großflächige Solaranlagen werden durch den zu deckenden Energiebedarf des Gebäudes in ihrem Ausmaß bestimmt und nehmen durch erforderliche formale Vorkehrungen ebenfalls Einfluss auf die Gebäudeform und -gestalt. Die Verfolgung der Strategien offenbart dabei mitunter Konflikte - bspw. wenn die durch das Passivhauskonzept anvisierte hohe Kompaktheit einer möglichst großen und gut orientierten Photovoltaikanlage entgegensteht - oder auch Synergien - wenn auskragende Verschattungselemente zusätzliche Fläche für die PV-Module bieten (müssen).

Obwohl die genannten Elemente in der Architektur etabliert sind (s. Kapitel 5, 6 und 8), zeigen die in Kapitel 1.2 beispielhaft genannten Diskussionspunkte, dass ihr Einsatz bei den Architekturschaffenden Vorbehalte gegenüber dem energieeffizienten Bauen und vor allem Nullenergiegebäuden schafft. Die Interviewpartner aus Kapitel 6 bewerten den Einfluss des energieeffizienten Bauens auf die Architektur als durchaus bedeutend bzw. als sehr groß, sofern bestehende Gebäude transformiert und/oder neue Elemente und Bauten nicht integral geplant oder bestimmte Ansprüche kommuniziert werden (sollen). Abseits von architektonisch, planerisch und auf Grund des Platzbedarfs auch ökonomisch nicht unbedeutenden aber dennoch formal nachgeordneten Elementen wie bspw. der Wahl eines Wärmeerzeugers samt möglichem Speicher-raum, Schornstein oder thermischem Speicher,<sup>211</sup> ergibt sich daher die Frage, inwieweit die Nullenergiegebäude die Architektur beeinflussen. Während der Begriff „Architektur eines Gebäudes“ inhaltlich frei interpretierbar ist und mindestens durch ästhetische, konstruktive, typologische, funktionale, technische, ökonomische, energetische und politische Aspekte sowie das Umfeld geprägt wird, kann die reine Form eines Gebäudes objektiv bestimmt und im Querschnitt quantitativ erfasst werden. Die Bewertung der Ästhetik oder Gestalt eines Gebäudes liegt hingegen in der subjektiven Wahrnehmung eines Betrachters und lässt sich damit (nur) qualitativ beschreiben. Im Kontrast zu Betrachtungen, die sich mit der Beziehung zwischen der formalen Ausgestaltung und Teilaspekten der Energieperformance von Gebäuden [Klein 1934; ISE 1997; Rullan Lemke 2009] oder fallspezifischen energetischen Strategien und deren formalen Auswirkungen beschäftigen [Cody 2012], sollen Merkmale und typische Muster in Bezug auf Form und Erscheinungsbild bei dem wiederkehrenden und vergleichbaren energetischen Ziel einer ausgeglichenen Energiebilanz herausgestellt und Trends abgeleitet werden.

<sup>211</sup> Wobei diese Elemente in Kombination mit anderen Aspekten wie bspw. großen Dämmstärken mit Blick auf Baumassenzahlen oder Grundstückpreise durchaus Relevanz erlangen (s. Kapitel 8.1.1.3)

### 9.1 Form follows energy?<sup>212</sup>

#### 9.1.1 Die Gebäudeform als energetisches Vehikel und Resultat

Auf Basis der auf Seite 11 beschriebenen Datenbank, entsprechendem Fotomaterial und der Übertragung bzw. Verortung der Gebäude in die online-Umgebung von GoogleEarth samt möglicher Schrägbildansichten<sup>213</sup> werden acht archetypische Formenmuster für Nullenergiegebäude ausgemacht

<sup>212</sup> in Anlehnung an „form follows function“ (s. Randnotiz Seite 90) und u.a. [Cody 2005]

<sup>213</sup> Vorgehen lt. Seite 15

<sup>214</sup> Auch wenn Sanierungsbeispiele aufzeigen, dass hier energetisch bedingt ebenfalls formale Veränderungen herbeigeführt werden, wird davon ausgegangen, dass die Möglichkeiten hierzu im Bestand eingeschränkt sind. Daher bleiben Sanierungsbeispiele in dieser Betrachtung außen vor

(s. Tabelle 9-1). Durch eine Einschränkung anhand der Aspekte vorhandene Netzanbindung, Neubau<sup>214</sup> und gemäßigte Klimazone sowie die typologische Einteilung lassen sich etwa 260 Gebäudebeispiele vergleichen und anhand ihrer Häufigkeitsverteilung gemeinsame Formenmuster sowie formale Trends für Nullenergiegebäude herausarbeiten. Da die Gebäudeformen im Einzelnen meist nicht allein auf energetische Beweggründe zurück zu führen sind, sondern auch auf anderen, oben genannten individuellen und konzeptionellen Überlegungen basieren, wird je architektonischem Muster geprüft, ob sich beim jeweils betrachteten Gebäude eine Relevanz für das Energiekonzept erkennen lässt und diese ggf. sogar quantifizierbar ist. So ergibt sich bspw. für das Muster „kompakter Baukörper“ eine energetische Relevanz, wenn im Vergleich mit Gebäuden der gleichen Typologie ein geringeres A/V-Verhältnis vorliegt (s. Erläuterungen Kapitel 8.1.1.2) und gleichzeitig ein niedriger Transmissionswärmeverlust oder Heizwärmeverbrauch anhand von hinterlegten Energieilkennwerten beschrieben ist. Eine Zuteilung der energetischen Relevanz erfolgt neben der Auswertung vorliegender Kennwerte auch auf Basis einer formalen Projektevaluierung. Das Formenmuster „asymmetrische Dachform“ wird bspw. dann als energetisch bedingt eingestuft, wenn im Typologievergleich eine überdurchschnittliche Fläche an Solaranlagen pro Nettogeschossfläche auszumachen und die größere Dachfläche sowohl nach Süden orientiert als auch komplett mit Solaranlagen belegt ist. Durch diese Art der Zuteilung, die dafür notwendigen Angaben und die oben beschriebenen Einschränkungen können knapp 200 Gebäude in die Formanalyse eingehen. Trotz der partiellen Argumentation anhand energetischer Teilkenwerte erfolgen die Betrachtungen losgelöst von der energetischen Performance der jeweils zur Argumentation herangeführten Maßnahme, da diese meist gebäudespezifisch, dann auch nur im Zuge des energetischen Gesamtkonzepts betrachtet werden kann, und hierüber wiederum keine generellen Aussagen bezüglich einzelner Formenmuster bzw. der jeweils genutzten Maßnahmen zu tätigen sind. Sofern ein Muster mehrfach genutzt wird und energetisch zuteilt werden kann (bspw. über einen Dachüberstand wird die Dachfläche für Solaranlagen vergrößert und zudem die Verschattung der Fensterflächen gewährleistet), erfolgt keine besondere Gewichtung.

Tabelle 9-1: Aufstellung archetypischer Formenmuster mit Angabe deren Häufigkeitsverteilung bei ca. 260 Nullenergiegebäuden (blauer Ring) sowie Häufigkeit der möglichen Zuordnung des Musters zum Energiekonzept bei Anwendung (grauer Ring). Bspw. ist bei 59 % der untersuchten Gebäude eine kompakte Gebäudeform auszumachen, wobei bei 73 % dieser Gebäude eine Verbindung mit dem Energiekonzept besteht. Daraus ergibt sich, dass bei ca. 43 % aller hier eingegangenen Gebäude eine optimierte Kompaktheit Teil des Energiekonzepts ist (entspricht dem Verhältnis zwischen grauem und blauem Ring; vgl. [Musall 2013b])

	Kompakter Baukörper	Flächiges Gebäude	Flachdach	Sattel-, Walm- oder Zelt-dach	Asymmetrisches Sattel-dach	Geneigte Fassade	Orientierte Fassade	Kristallförmige Gebäudeform
Formenmuster mit Verweis auf Gebäudebeispiele und auszumachendem Anteil								
	AT_18	DE_49	CH_12	CH_36	DE_78	AT_4	AT_3	DE_36
Energetischer Aspekt	Kleines A/V-Verhältnis zur Verringerung der Transmissionswärmeverluste	Viel Dachfläche pro Nutzfläche	Frei, nicht vom Gebäude abhängig orientier- bzw. neigbare Solaranlagen	Dachneigung zur Optimierung der Solaranlagenenerträge	Erweiterung der Dach- und damit der Solaranlagenfläche	Optimierte Neigung und Einbindung von Solaranlagen in der Fassade	Optimierte Orientierung von Fenstern oder Solaranlagen	Kombination von Orientierungsstrategien

Analog zu den Bewertungen und Querschnittergebnissen in Kapitel 8.1.1.2 kann mehr als jedem zweiten untersuchten Nullenergiegebäude eine sehr kompakte Gebäudeform zugeordnet werden. Bei fast drei Viertel dieser Gebäude korrespondiert das optimierte A/V-Verhältnis mit geringen Transmissionswärmeverlusten oder Heizwärmeverbräuchen. Hierüber wird noch einmal das in Kapitel 8.7 beschriebene Ergebnis bestätigt, dass ein Großteil der Nullenergiegebäude in gemäßigten Klimaten der Passivhauskonzeption folgt.

Während kleine (Wohn-)Gebäude ohnehin wenig Potenzial für ein niedriges A/V-Verhältnis besitzen (s. Erläuterungen Kapitel 8.1.1.2), stehen diesem Solarstromanlagen als ein für das Konzept eines Nullenergiegebäudes unerlässlicher Baustein mitunter zusätzlich entgegen. Allerdings ist nicht erkennbar, dass kleine Wohngebäude häufig bewusst eher flächig gebaut werden, um das Verhältnis zwischen Dach- bzw. aktiv über Solaranlagen nutzbarer Fläche zur Nettogrundfläche zu verbessern und so die Kompaktheit vernachlässigen bzw. gar „opfern“. Im Vergleich zu üblichen Wohngebäuden erreichen sie trotz großer Solaranlagen meist höhere Kompaktheitswerte (s. Abbildung 8-4). In allen übrigen Typologien sind hingegen häufiger auch flächigere Gebäude mit ein, maximal zwei Geschossen und meist flachen bzw. kaum geneigten Dächern auszumachen. Dies sind vermehrt verbrauchsintensive Verwaltungsgebäude und vor allem Gebäude aus dem Bereich Produktion, Werkstätten und Lagerung (GPWL), die nur so die verhältnismäßig großen Solarstromanlagen aufnehmen bzw. ein annehmbares Verhältnis zwischen Nutz- und Dachfläche erzielen können (s. bspw. Abbildung 8-22). Allerdings kann diese Gebäudeform bei nur rund einem Drittel der Beispielprojekte konkret mit diesem energetischen Motiv verbunden werden, da die Dachflächen häufig nicht vollständig mit Solar-

# Sanierung Wohnbau Johann Böhmerstraße, Kapfenberg

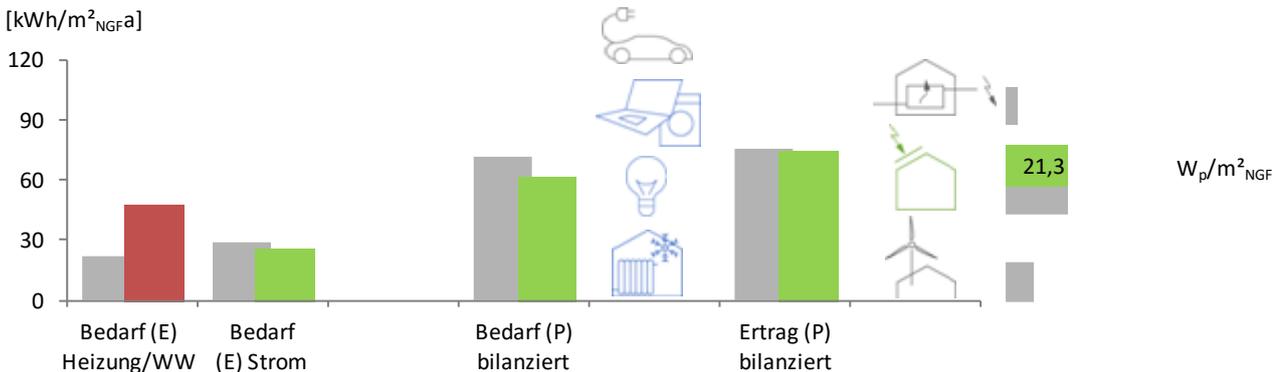
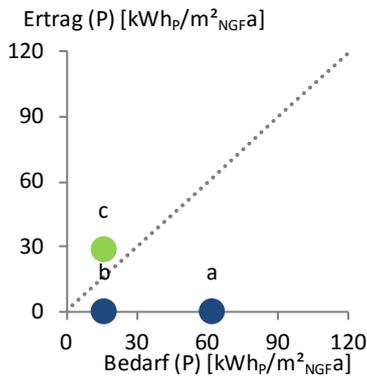
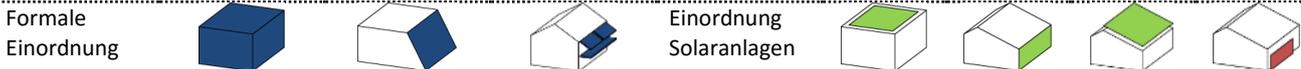
AT\_19



Fotos: Nussmüller Architekten

Architekt	Nussmüller Architekten, Graz	Nettogrundfläche	2.342 m <sup>2</sup>
Baujahr	1961, Sanierung 2013	Hauptakteur / Motiv	Forschung / Demonstration
Typologie	Mehrfamilienhaus	Städtebauliches Umfeld	urban

Das im Rahmen des Forschungsprojekts „Sanierungskonzepte zum Plus-Energiehaus mit vorgefertigten aktiven Dach- und Fassadenelementen, integrierter Haustechnik und Netzintegration“ sanierte Mehrfamilienhaus der 1960iger Jahre erreicht seine positive Energiebilanz nach einer Fassadensanierung mit vorgefertigten, über zwölf Meter hohen Holzfertigteilen, die neben der neuen Dämmung auch die neue Haustechnik aufnehmen, einer Kubaturveränderung und dem Verlegen der Haupterschließung vor die thermische Gebäudehülle sowie der Addition von Solaranlagen. Letztere überzeichnen als Dach- bzw. Wandsegel in Kombination mit den vorgestellten Balkonen bzw. Loggien die ursprüngliche Gebäudegestalt und -form. Der Innenraumkomfort wurde durch Lüftungsanlagen und warme Außenwände ebenso wie die Wohnungen auf einen zeitgemäßen Stand gebracht.



## Plus-Energie-Gebäude gemäß „Haus der Zukunft Plus“, AT

Autor, Institution	Haus der Zukunft Plus	(Neben-)Anforderungen:	Die Definition umfasst alle Anwendungen innerhalb eines Gebäudes zur Funktionsgewährleistung; der Energiebedarf für Mobilität und Produktion ist nicht zu berücksichtigen; Nachweise sind mittels Rechenverfahren (Planung) und Monitoring (Betrieb) zu erbringen
Einführungsjahr	2009		
Bilanzgrenze	normativ / nutzungsspezifisch		
Bilanzrahmen	on-site bzw. unmittelbare Nachbarschaft		
Bilanzzeitraum	Betriebsjahr		
Indikator	Primärenergie		

anlagen belegt sind oder bei anderen Gebäuden der gleichen Typologie im Verhältnis ähnlich viel oder sogar mehr Photovoltaik eingesetzt wird. Außerdem bietet sich diese Gebäudeform bei Fabriken, Kindergärten oder Schulen (mit Sporthallen) nutzungsbedingt ohnehin an.

Um dem Konflikt zwischen Gebäudekompaktheit und nötiger Flächen für Solaranlagen beizukommen, können Fassaden- und Dachflächen entsprechend der optimierten Energieausbeute speziell geneigt, aus der Gebäudeachse heraus gedreht, besonders orientiert, proportional verschoben und/oder ggf. künstlich erweitert werden (s. AT\_19 - Seite 252). Das Verdrehen oder Neigen von Fassaden, um die dort positionierten Solaranlagen oder Fenster der Sonne entgegen zu richten (ca. 10 %), ist als formales Muster eher selten vorzufinden, bei Anwendung allerdings sehr oft dem Energiekonzept zuzuordnen. Auffällig ist, dass dies mehrheitlich bei Demonstrationsprojekten oder Firmengebäuden mit einem Marketinginteresse verbunden ist (s. AT\_4 und DE\_10 - Seite 9). In Ausnahmen sind Einschränkungen durch Bebauungspläne sowie enge Grundstücke bekannt.

Ein sehr häufig wahrzunehmendes und typologieübergreifend angewendetes Muster ist hingegen eine zu Gunsten vergrößerter Solarstromanlagen asymmetrisch verschobene Firstlinie (s. DE\_5 - Seite 141, CH\_2 - Seite 202 oder DK\_3 - Seite 209). Hier wird die über Jahrhunderte etablierte Form schräger Dächer zum Abführen von Niederschlägen weiterentwickelt (s. Kapitel 5), um die Möglichkeit der Solarenergienutzung zu nutzen und zu verstärken.<sup>215</sup> Asymmetrische (Sattel-)Dächer sind als formaler Mittelweg zwischen Sattel- und Pultdach nach dem Flachdach die zweithäufigste Dach- bzw. in Verbindung mit den kompakten Gebäuden auch Gebäudeform. Bei über 60 % der Beispiele kann ein energierelevanter Anlass assoziiert werden. Dann ist der südorientierte Dachteil nahezu vollständig mit Solaranlagen belegt, entsprechend eines gewünschten Ertragsmaximums geneigt und zudem mindestens eine durchschnittliche Leistung an Photovoltaik zu erkennen. Wird der letzte Punkt ausgelassen, nimmt der Anteil noch einmal zu. Das dem asymmetrischen Satteldach formal wie auch hinsichtlich der positiven Eigenschaften in Bezug auf die aktive Solarenergienutzung sehr ähnliche Pultdach wird hingegen eher selten realisiert. Durch eine bei Solaranlagen übliche aber bei Pultdächern sonst weniger gebräuchliche Neigung von über 30° entsteht am Dachfirst ein kaum nutzbarer Raum. Zudem werden Pultdächer traditionell zur Wetterseite orientiert, um Wind, Regen und Schnee abzuhalten. Ein Umkehren bedeutet eine große Nordfassade als Hauptfassade, was dem Passivhausgedanken und solaren Wärmeinträgen entgegensteht. Ebenso selten sind bei Neubauten Walm-, Zelt- oder Mansarddächer. Kleinteile Dachlandschaften sind bei Nichtwohngebäuden ohnehin ungewöhnlich und stehen bei kleinen (Nullenergie-)Wohngebäuden dem Ertrag von Solaranlagen und deren Modularität entgegen, so dass geometrisch einfache und stringente Dachformen Vorteile bieten und den Vorzug erhalten. U.a. aus diesem Grund und weil die gesamte Gebäudekubatur vollständig überformt wird, sind kristallförmige Baukörper selten. Hier werden mehrere Fassaden- und Dachflächen gekippt, verschieden orientiert und bilden eine vielfach polygonale Gebäudeoberfläche (s. DE\_36 und CH\_37). Neben der möglichen Annäherung an eine Kugel zur Minimierung der Gebäudehüllflächen (s. Kapitel 8.1.1.2) könnte auch ein differenziertes Ausrichten der Solaranlagen und eine hierdurch herbeigeführte (zeitliche) Anpassung der Energieerträge an die Verbräuche den Anlass geben. Dass allerdings das Konzept des Nullenergiegebäudes bedeutsamer ist als konzeptionelle Überlegungen, gilt nur für etwa die Hälfte der Gebäude dieser Art. In der Regel sind die Polygone kleinteil-

<sup>215</sup> Dem diskutierten Argument, dass die aktive (oder auch passive) Nutzung von Solarenergie nicht als Entwurfsparameter gelten dürfe, kann hiermit zumindest begegnet werden. Niederschläge und Wettereinflüsse sind einer der Hauptgründe für die Entstehung heutiger Hausformen (s. Kapitel 5), was als vollkommen normal angesehen wird. Dabei sind diese Wettereinflüsse meist negativ belegt und ihre Verhinderung Anlass der formalen Ausgestaltung. Die Sonne und Solarenergienutzung kann hingegen durchaus als positiv und in Zeiten der Diskussion um Klimawandel und Ressourcennutzung vor allem als Mehrwert des Gebäudebetriebs gesehen werden

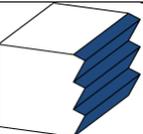
lig, nicht oder nur tlw. mit Solaranlagen bestückt und zudem konzeptionelle Entwurfsaspekte zur Begründung der speziellen Form übermittelt (s. CH\_4).

Gegenüber dem Flachdach spiegelt das asymmetrische Satteldach als Steildach das archetypische Bild eines (Wohn-)Hauses wider. Dies gilt umso mehr für klassische Sattel- oder Zeltdächer als „Normalform“ bei Wohngebäuden. Daher fällt es schwer, diesen bei ihrer Anwendung einen energetischen Hintergrund zuzuordnen. Selbst wenn eine Dachseite um ca. 30° geneigt und komplett mit Solarmodulen belegt ist sowie auf verschattende Gauben verzichtet wird, ist nicht eindeutig erkennbar, ob nicht ggf. der lokale Bebauungsplan oder stilistische Aspekte hierzu führen (s. CH\_8 - Seite 196). Schrägbildaufnahmen zeigen jedoch in vielen Fällen, dass die strikte Südorientierung in der umgebenden Bebauung weniger stringent ist als beim untersuchten Nullenergiegebäude, oder lokale Muster hinsichtlich der Dachausrichtung sogar klar durchbrochen werden.

Gegenüber Schrägdächern bieten Flachdächer die Möglichkeit, Solaranlagen losgelöst von der Ausrichtung des Gebäudes, welche wie oben beschrieben durch den Bebauungsplan, die umliegende Bebauung oder die Erschließung und meist nicht durch das Energiekonzept vorgegeben wird, zu installieren. Zudem kann die gesamte Dachfläche genutzt, dadurch die Fläche der Solaranlagen gegenüber Schrägdächern vergrößert und/oder diese gegen Ein- bzw. Anblicke verborgen werden. Trotz dieser Freiheiten und der Tatsache, dass bei Wohngebäuden im Vergleich zur Deutschen Gebäudetypologie das Flachdach über die Maßen häufig gewählt wird, sind nur knapp 40 % der realisierten Flachdach-Beispiele klar durch energetische Aspekte begründet. Hinzu kommen jedoch Sonderformen des Flachdachs. Vor allem Sheddächer, deren Sheds Solaranlagen aufnehmen und entsprechend neigen sowie bisweilen zusätzlich auch Fenster je nach Erfordernis gen Süden (Wärmeeinträge) oder Norden (Tageslicht ohne Überhitzungsproblem) orientiert einbinden, sind sehr gebräuchlich (s. Tabelle 9-2).

Unabhängig von der Symmetrie von Schrägdächern verlängern Dachüberstände diese bei einem Großteil der analysierten Gebäude über die Traufe hinaus (s. DE\_5 - Seite 141, CH\_2 - Seite 202), um einerseits die großflächigen, südorientierten Fenster zu beschatten und andererseits Solaranlagen ausdehnen zu können. Die Synergie der beiden Optionen ist eine weitere und vielfach verwendete Strategie zur Abwägung zwischen einem guten Oberflächen-Volumen-Verhältnis und den notwendigen Solaranlagen.

Tabelle 9-2: Aufstellung von nachgeordneten Formenmustern mit Quantifizierung ihrer Anwendung bei ca. 260 Nullenergiegebäuden (blauer Ring). Bei der Zuordnung der Muster zum Energiekonzept wird davon ausgegangen, dass diese direkt mit energetischen Maßnahmen gleichgesetzt werden können und demnach jeweils 100 % entsprechen (vgl. [Musall 2013b])

Formenmuster mit Verweis auf Gebäudebeispiele und auszumachendem Anteil	Dachüberstand, Auskragung, feststehender Sonnenschutz	Atrium, Wintergärten, Glasdoppelfassade	Gefaltete (Sägezahn-) Fassade	Dachaufbau, Dachshed	Anbau, Nebenbau	Externes Element „on-site“ (PV-Tracker, Windrad, etc.)
						
	DE_4	UK_1	CH_16	FR_21	AT_15	DE_54
						
Energetischer Aspekt	Vergrößerung von Solaranlagen, Verschattung von Fenstern	Passive Solarnutzung, Pufferzonen, natürliche Beleuchtung und Lüftung, Kamineffekt	Kombination von Aspekten vorangegangener Muster	Neigung und/oder Orientierung von Solaranlagen und/oder Fenstern	Erzeugung oder Erweiterung von (südorientierten) Dachflächen für Solaranlagen	Additive Energieerzeuger ohne direkten Gebäudebezug

Im Kontrast zu Dachsheds oder Dachüberständen werden Atrien und auch Wintergärten in die Gebäudekubatur eingebunden (s. UK\_1 - Seite 185), um bspw. durch passive Wärmeeinträge, die Ausbildung von thermischen Pufferräumen sowie eine Steigerung der natürlichen Beleuchtung und Lüftung dazu beizutragen, den Innenraumkomfort wie auch die Aufenthaltsqualität ohne zusätzliche bzw. mit geringeren Energieaufwendungen zu steigern. Je nach Typologie werden sie der Fassade vorangestellt (vornehmlich Wohngebäude) oder schneiden in Gebäudekörper ein (vornehmlich Nichtwohngebäude) und erweitern darüber sowohl die Gebäudehüllflächen als auch bisweilen die (beheizten) Raumvolumina (s. AT\_4 und DE\_10 - Seite 9). Als Variante der Glasdoppelfassade verbindet die sog. Sägezahn-Fassade Eigenschaften des Wintergartenprinzips mit den verschattenden Bauteilaukragungen und vergrößert als mehrfach gefaltete Fassade zudem die zur Sonne orientierbare und dadurch durch Solaranlagen nutzbare Hüllfläche. Die Gestaltung der Fassaden der sehr wenigen Umsetzungsbeispiele wird hierüber stets stark geprägt (s. Abbildung 9-1). Durch den Einsatz von transluzenten Photovoltaikmodulen als Sonnenschutz entsteht ein Synergieeffekt - sie nehmen Einstrahlung dort auf, wo sie abgehalten werden soll - und es ist immer eine Verbindung zwischen dem formalen Muster und dem Energiekonzept vorhanden.

Abbildung 9-1: Die Verbindung von Verschattung und Stromerzeugung wird am Geschäftshaus C in Esslingen (CH\_16) mittels einer zweiten Fassade, die sich als zweite Haut über die hoch gedämmte innere Holzelementfassade faltet, architektonisch ausgedrückt. Nach Süden orientiert, nimmt sie transluzente PV-Module und Solarkollektoren auf und verschattet hierüber die Fenster. Quelle Stücheli Architekten, Foto Robert Zimmermann



Anders als Maßnahmen bzw. Muster, die in die Bauform integriert oder dem Baukörper direkt hinzu addiert werden, beeinflussen externe Energieerzeuger wie bspw. Solartracker, Windräder oder PV-Anlagen als Carport, die auf dem Grundstück und im nahen Umfeld der Gebäude verortet werden, mangels einer Gebäudeeinbindung das Erscheinungsbild von Gebäuden massiv und führen eine Technisierung der Gebäude herbei. Ihre Bewandnis erhalten sie fast ausschließlich durch Marketingaspekte bei Fabriken oder Bürogebäuden der Solarbranche (DE\_9, DE\_50 - Seite 16 oder DE\_54 - Seite 45). Energetisch sind sie immer auf nicht ausreichende Solaranlagen-Kapazitäten zurückzuführen (US\_9, PT\_1, s. Abbildung 7-30). Weniger additiv, technisch aber ebenso energetisch begründet, erweitern Anbauten die durch Solaranlagen nutzbaren Dachflächen (s. DE\_79 - Seite 106). Dies ist vor allem bei Bestandssanierungen eine Option, da sich über Anbauten, Garagen oder Remisen die Möglichkeit eröffnet, Solaranlagen auch unabhängig von einer eventuell ungünstigen Orientierung des Bestands oder (bei Neubauten) des Bebauungsplans auszurichten.

### 9.1.2 Flächenbedarf kontra Flächenbedarf - die mangelnde Dichte des Klimaneutralen Gebäudebestands

Was sich auf Gebäudeebene als Konflikt zwischen Gebäudekompaktheit und Flächenbedarf für Solaranlagen darstellt, führt auf städtebaulicher Ebene zu einem Konflikt zwischen deren Dichte und dem technischem Potenzial von Gebäuden, zur solaren Stromerzeugung in ausreichendem Ausmaß. Bei einer steigenden Geschosszahl und höheren Gebäuden steht auch bei einem Heizwärmebedarf nahe dem Passivhausstandard und verringerten Stromverbräuchen pro  $m^2$  Nutzfläche zu wenig Dachfläche zur Verfügung (s. Abbildung 9-2 und vgl. Kapitel 7). Ein Verhältnis von  $0,6 m^2_{DF}/m^2_{NGF}$  wird selten über-, bei großen Nullenergiegebäuden sogar fast durchgehend unterschritten.<sup>216</sup> Da dichte und hohe Gebäude dann schnell an Grenzen der alleinigen Deckung durch Solarenergie stoßen, werden Nullenergiegebäude bisher überwiegend im Maßstab kleiner (Wohn-)Gebäude gebaut (s. Abbildung 5-8).

<sup>216</sup> Dieses Verhältnis kann in Bezug auf die „solar-aktiven“ Potenziale bestehender Gebäude mit der in Kapitel 3.4.2 vorgestellten Solaren Gütezahl (SGZ) verglichen werden

Die CO<sub>2</sub>-neutrale Wissenschaftsstadt „Masdar“ in den Vereinigten Arabischen Emiraten (AE\_2) bestätigt das mangelnde Potenzial städtebaulicher Verdich-

tung bei Projekten mit der Ambition einer ausgeglichenen Energiebilanz. Obwohl der Bilanzrahmen der den ganzen Stadtteil umfassenden Energiebilanz nicht nur Energieerzeuger, die direkt mit Gebäuden gekoppelt sind, umfasst und trotz der gegenüber Mitteleuropa gesteigerten Potenziale zur Nutzung der Solarenergie, übertrifft die Dichte Masdars hiesige Projekte im städtebaulichen Maßstab kaum (s. Tabelle A-26) und liegt mit einer Nettowohndichte von 145 Personen pro Hektar hinter aktuellen Metropolregionen wie Berlin-Mitte (zwischen 300 und 400 Pers/ha) oder dem Zentrum des indischen Mumbais (305 Pers/ha) zurück. Das mittelalterliche Rom als damaliges Zentrum des innovativen Bauens kam trotz des Rechts zum Nutzen der Sonne<sup>217</sup> sogar auf bis zu 800 Einwohner pro Hektar.

Generell sind Projekte mit mehr als drei Vollgeschossen sehr selten (Abbildung 9-3). Kleine Wohngebäude entstehen fast nie mit mehr als zwei Geschossen. Da größere Wohnflächen einen höheren Verbrauch und im Verhältnis weniger PV-Flächen bedeuten, werden auch Mehrfamilienhäuser selten mit deutlich mehr Etagen erstellt und nutzen den Vorteil geringerer Transmissionswärmeverluste verdichteter Gebäude nicht (s. Kapitel 8.1.1.1 f.). Ausnahmen mit mehr als drei Stockwerken sind nur dann möglich und auszumachen, wenn zusätzliche und/oder externe Energieerzeuger, die nicht von der Dach- bzw. Hüllfläche abhängig sind, genutzt werden (Kraft-Wärme-Kopplung, Windturbinen, externe Zukäufe). Außerdem werden bei diesen Beispielen oft nur die gebäudespezifischen Verbrauchssektoren durch die Bilanzgrenze umrissen. Gleiches gilt für Verwaltungsgebäude. Sie erreichen im Mittel eine Höhe von 3,5 Geschossen. Sobald größere (Nichtwohn-)Gebäude entstehen, nimmt die Anzahl der Geschosse bei den bisher realisierten Nullenergiegebäuden noch weiter ab und die Gebäude werden flächiger (s. auch Abschnitt 9.1.1). Gebäude aus den Bereichen Bildung oder GPWL erreichen nahezu nie mehr als zwei Geschosse. Hier kann dies aber auch auf die Nutzung zurückgeführt werden.

<sup>217</sup> Der baulich uneingeschränkte Zugang zur Sonne wurde im zweiten Jahrhundert durch einen Richterspruch sowie in „Justinians Gesetzen“ (sechstes Jahrhundert) im römischen Rechtssystem verankert [Butti 1980]. Bis heute hat sich das Recht auf Licht in vielen Ländern etabliert, wird lokalen Anforderungen und geographischen Gegebenheiten angepasst (vgl. [Rullan Lemke 2009]), ging als „solar envelope“ in ähnlicher Form in die Regeln des Solar Decathlon ein und ist in Planungssoftware wie bspw. Ecotect hinterlegt

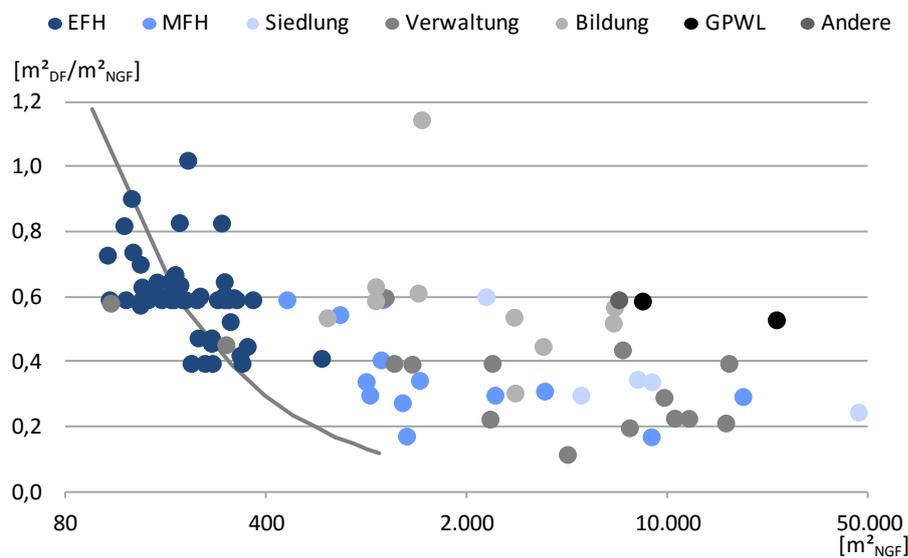
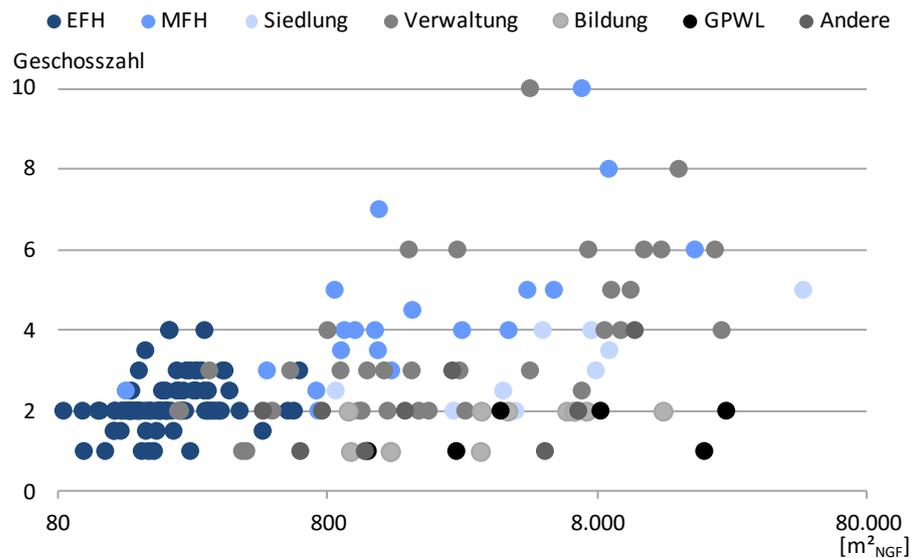


Abbildung 9-2: Theoretisches Potenzial von Dachflächen zur solaren Stromerzeugung (vereinfachten Annahme von Flachdächern auf Basis der BGF durch die Anzahl der Geschosse) als Verhältnis zu der vorhandenen Nettogrundfläche bei untersuchten Nullenergiegebäuden.

Die Linie zeigt die Zunahme der Nutzfläche bei steigender Geschoszahl und gleichbleibender Dachfläche. Diese beträgt sowohl bei einer Etage mit  $100 m^2_{NGF}$  als auch bei  $1.000 m^2_{NGF}$  auf zehn Geschossen ca.  $120 m^2$

Abbildung 9-3: Gegenüberstellung von Geschosshöhe und Nettogrundfläche bei etwa 200 bekannten Nullenergiegebäuden aus der gemäßigten Klimazone



Es zeigt sich, dass vor allem für verdichtete Stadtquartiere aber auch hohe Häuser bis hin zu Hochhäusern kaum eine Möglichkeit besteht, eine ausgeglichene Energiebilanz ohne externe Erzeugungskapazitäten zu erreichen. Dies bestätigen auch [Griffith 2007; Pan 2014; Weiß 2012]. Ein- oder zweigeschossige Gebäude haben eine deutlich größere Chance, die Anforderungen eines Nullenergiegebäudes zu erfüllen als vergleichbare mehrgeschossige Gebäude (s. Abbildung 9-2). Der derzeitige Gebäudebestand entspricht diesen Potenzialen allerdings nicht (s. Kapitel 3.4.1). Die eigentlich aus energetischer Sicht vorzuziehende städtische Bebauungsdichte wie auch eine Verdichtung auf Gebäudeebene im Mehrfamilienhausmaßstab scheidet nahezu aus, da Nullenergiegebäude solaraktivierbare Hüllflächen benötigen. Bezogen auf das Ziel des Klimaneutralen Gebäudebestands bedeutet dies bei einem gewünschten Verzicht auf eine rein externe Energieerzeugung auf Basis erneuerbarer Energie (Energiewirtschaften) große aber flächige oder sehr viele kleine und nur annähernd kompakte Häuser. Durch die Vielzahl an Punktbebauungen ergibt sich das Problem einer drohenden Zersiedelung und vielfachen Flächenversiegelung (s. Abbildung 9-4).

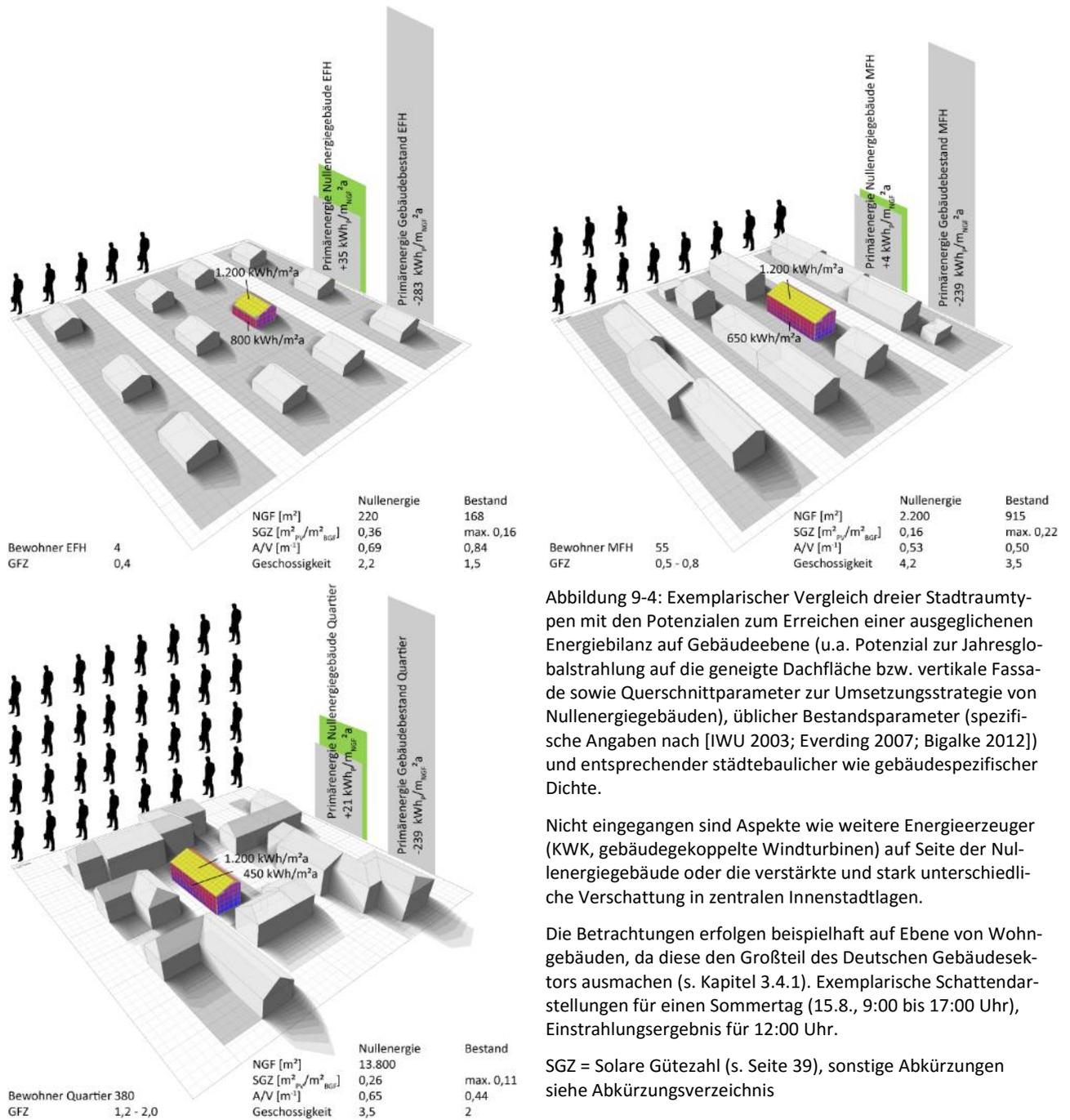


Abbildung 9-4: Exemplarischer Vergleich dreier Stadtraumtypen mit den Potenzialen zum Erreichen einer ausgeglichenen Energiebilanz auf Gebäudeebene (u.a. Potenzial zur Jahresglobalstrahlung auf die geneigte Dachfläche bzw. vertikale Fassade sowie Querschnittparameter zur Umsetzungsstrategie von Nullenergiegebäuden), üblicher Bestandsparameter (spezifische Angaben nach [IWU 2003; Everding 2007; Bigalke 2012]) und entsprechender städtebaulicher wie gebäudespezifischer Dichte.

Nicht eingegangen sind Aspekte wie weitere Energieerzeuger (KWK, gebäudegekoppelte Windturbinen) auf Seite der Nullenergiegebäude oder die verstärkte und stark unterschiedliche Verschattung in zentralen Innenstadtlagen.

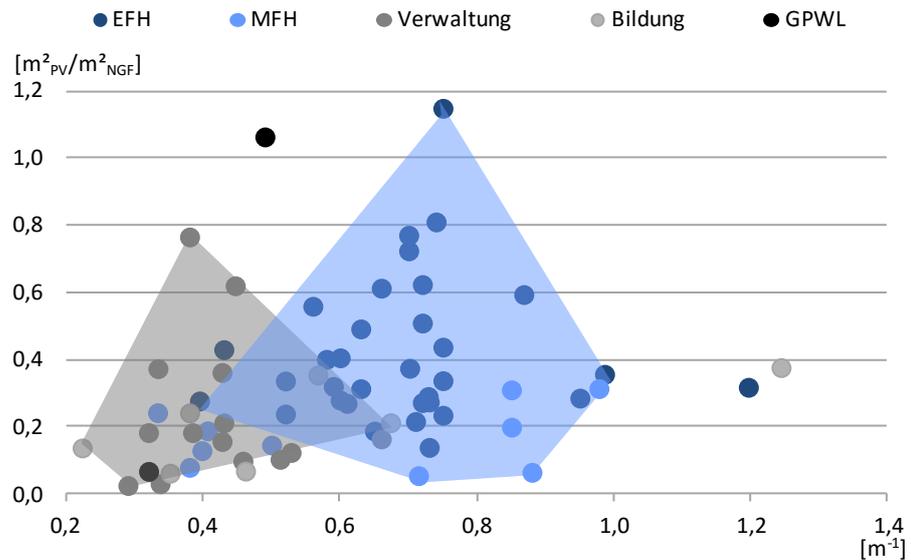
Die Betrachtungen erfolgen beispielhaft auf Ebene von Wohngebäuden, da diese den Großteil des Deutschen Gebäudesektors ausmachen (s. Kapitel 3.4.1). Exemplarische Schattendarstellungen für einen Sommertag (15.8., 9:00 bis 17:00 Uhr), Einstrahlungsergebnis für 12:00 Uhr.

SGZ = Solare Gütezahl (s. Seite 39), sonstige Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis

Dass die für eine ausgeglichene Energiebilanz nötige Dach- oder in Ausnahmen gesamte südorientierte Hüllfläche und deren eventuelles Ausweiten nicht in einem Konflikt zu der auf Gebäudeebene kompakten Bauweise als bedeutsamer Aspekt der Verlustminderungsstrategie steht, zeigt bereits Abbildung 8-5 und die Tatsache, dass Nullenergiegebäude gegenüber übrigen Gebäuden der jeweils gleichen Typologie keine schlechtere Kompaktheit aufweisen (vgl. Abbildung 9-4). Abbildung 9-5 bildet allerdings einen Zusammenhang zwischen der realisierten Fläche von Solarstromanlagen und dem A/V-Verhältnis dahingehend ab, dass große, kompakte und nicht aus dem Sektor kleiner Wohngebäude stammende Nullenergiegebäude verhältnismäßig wenig Fläche für PV-Anlagen aufweisen (s. grau hinterlegte Fläche), was erneut auf zusätzliche, ggf. externe Strom- bzw. Energieerzeuger hindeutet (und anhand der hinterlegten Informationen in der Datenbank bestätigt wird). Eine überdurchschnittliche Gebäudekompaktheit, die zudem eine städtebauliche Dichte einbezieht, ist bei

einem Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz mindestens für Nur-Strom-Gebäude ohne externe Erzeuger also schwierig.

Abbildung 9-5: Die Gebäudekompaktheit als Funktion der Fläche der auf Dächern installierten Solarstromanlagen pro Nettogrundfläche. Die farbigen Flächen zeigen die Schwerpunkte von Wohngebäuden (blau) und Nichtwohngebäuden (grau)



Während die meisten realisierten Nullenergiegebäude als Neubauten und entsprechend des energetischen Anspruchs bzw. der hiermit verbundenen Solaranlagen geplante sind, stellt die Anforderung an ausreichend durch Solaranlagen nutzbare Dachflächen für Bestandsgebäude eine enorme Hürde dar. Bezieht man den Aspekt ein, dass fassadenintegrierte Solaranlagen als schwerlich umsetzbar weil kaum kommunizierbar und wenig wirtschaftlich gelten (s. Kapitel 6.1.1 und Abbildung 9-4), dürften vor allem bei Nichtwohngebäuden selten genug Flächen vorhanden sein, um eine ausgeglichene Energiebilanz ohne Erträge aus externen Erzeugungskapazitäten zu erreichen. Zudem gilt, dass asymmetrische Dächer bei Sanierungsprojekten nur sehr selten verwirklicht werden können. Abbildung 9-6 verdeutlicht, dass selbst sehr effiziente Bestandsgebäude aus dem Nichtwohnsektor kaum Potenzial bieten, um eine ausgeglichene Energiebilanz durch Solaranlagen und ohne Ausweitung des Bilanzrahmens zu erreichen.

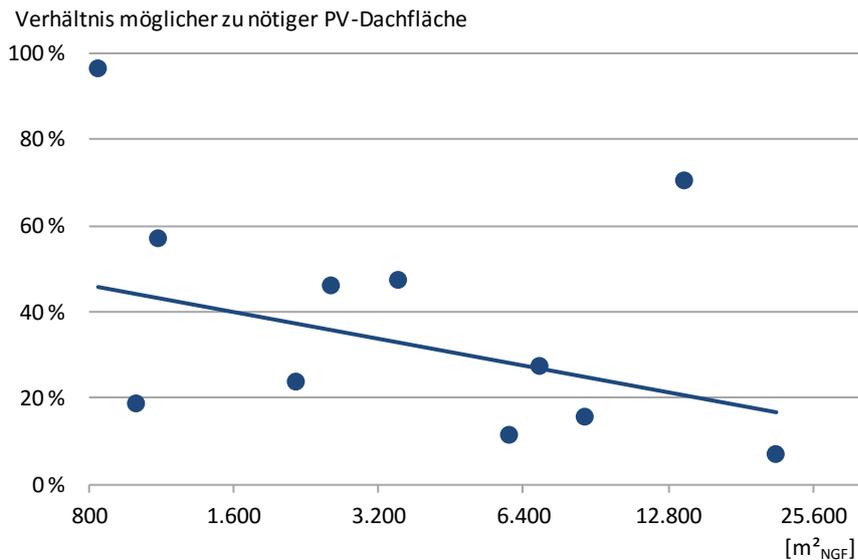


Abbildung 9-6: Verhältnis der möglichen\* und nötigen\*\* PV-Dachfläche als Funktion der Gebäudegröße bei 11 effizienten Bürogebäuden aus dem Demonstrations- und Förderprogramm EnOB

\* Die Dachflächen werden anhand von Planmaterial bestimmt, nach Dachneigung und -orientierung gewichtet und im Fall von Flachdächern mit einem Faktor von 2,5 multipliziert, um den Abstand zwischen aufgeständerten Modulreihen zur Vermeidung von Eigenverschattung zu berücksichtigen.

\*\* Der Gesamtprimärenergieverbrauch auf Basis gemessener Werte wird durch den Primärenergiefaktor für Strom von 2,6 kWh<sub>F</sub>/kWh<sub>E</sub> und einen überschlägigen Stromertragswert für PV-Anlagen von 120 kWh<sub>S</sub>/m<sup>2</sup><sub>PV</sub> dividiert

## 9.2 Ästhetische Aspekte von Nullenergiegebäuden

Seit der Umwidmung der Außenhaut zur Fassade dient diese als Ausdrucksträger nahezu sämtlicher Aufgaben und Ansprüche eines Gebäudes (vgl. lateinisch: *facies* für Gesicht).<sup>218</sup> Ein Fakt der vor dem Hintergrund sehr effizienter und aktuell bisweilen energetisch selbst versorgter Gebäude in der Diskussion steht (s. Kapitel 1.2). Neben Solaranlagen, denen als modulares und in der Farbigekeit kaum beeinflussbares Element ein technischer Charakter anheftet (s. Kapitel 6), wird hier häufig ein Mangel an gestalterischer Qualität und eine fehlende Auseinandersetzung mit der Fassadengestaltung zugunsten des Dämmstoffeinsatzes oder eines rein ökologisch geprägten Images moniert (vgl. Kapitel 1.2). Das Stichwort fehlender Materialgerechtigkeit wird in diesem Zusammenhang häufig genannt. Allerdings sind Nullenergiegebäude im Sinne einer Bilanzierung auf Gebäudeebene ohne Solaranlagen nahezu unmöglich (s. Kapitel 4 und 8). Zudem führt die gewünschte Gebäudeeffizienz als Wegbereiter der ausgeglichenen Energiebilanz in gemäßigten Klimaten zu einer ausgeprägten Gebäudedämmung mit entsprechenden Materialien und Baustoffen (s. Kapitel 8.1.1) und ist ein Großteil der an der Umsetzung von Nullenergiegebäuden beteiligten Akteure im Bereich der ökologisch und energetisch interessierten Bauherren bzw. Planer anzusiedeln (s. Kapitel 5.2), so dass eine mit dem Anspruch des Gebäudes gekoppelte Materialwahl naheliegt (s. Kapitel 6). In Anlehnung an [Niebler 2007; IFEU 2013] lassen sich diesbezüglich die in Kapitel 8 beschriebenen Umsetzungsstrategien durch die Zuweisung von Gestaltkategorien zu den einzelnen Beispielprojekten mit einem Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz der eingangs beschriebenen Datenbank unter gestalterischen Gesichtspunkten einordnen und Trends zur Integration von Solaranlagen sowie der Fassadengestaltung herausarbeiten. Um hierzu eine ausreichend große Menge der erfassten Beispielgebäude nutzen zu können,

<sup>218</sup> In Anlehnung an die aufgelösten und großzügig befens-  
terten Außenwände der Gotik  
werden ab dem 16. Jahrhun-  
dert auch Fassaden von Pro-  
fanbauten lichtdurchlässiger.  
Die einst massive Außenwand  
wandelt sich mit dem ver-  
mehrten Aufkommen von  
Glas und dessen Fassung  
erstmals zur kommunikativen  
Fassade. Dies ist jedoch eben-  
so wenig auf solare als auf  
repräsentative Motive zu-  
rückzuführen, wie bei den  
Bauten der Klassischen Mo-  
derne, deren filigrane Metall-  
fassaden samt großflächigen  
Verglasungen bei gleichzeiti-  
gem Wegfall der Ornamentik  
als rein funktionskommunizie-  
rendes Element dienen

<sup>219</sup> Hierzu ist anzumerken, dass die bekannten und erfassten Sonnenhäuser formal oft stark durch die großen solarthermischen Anlagen geprägt werden. Anders als bei vielen bekannten Nullenergiegebäuden sind die Anlagen hier aber fast ausschließlich homogen und vollflächig in Dächer und/oder Fassaden eingebunden und üben allein durch ihre Größe eine gestalterische Einflussnahme bzw. Dominanz aus

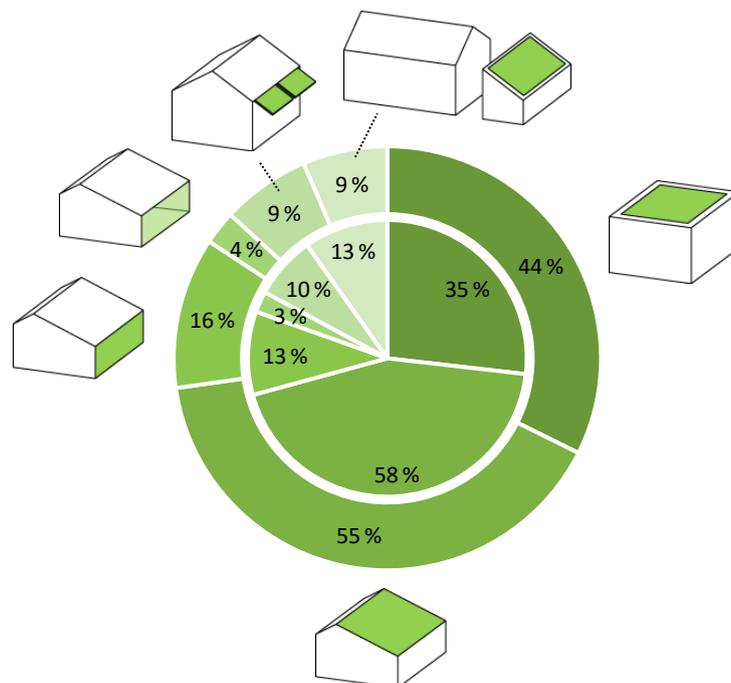
werden von den gut 400 Nullenergiegebäuden all jene genutzt, die sich in der gemäßigten Klimazone befinden, deren Bilanzgrenze entweder nur die gebäudespezifischen oder auch zusätzlich die nutzungsspezifischen Verbrauchssektoren umschließt (reine Sonnenhäuser, die allein den Heizwärmebedarf durch die Nutzung erneuerbarer Energien decken, fließen also nicht mit ein<sup>219</sup>) und zu denen ausreichendes Bildmaterial vorliegt. Dies sind 265 Gebäude bzw. knapp 66 % der erfassten Gebäude. Neubauten, bei denen davon ausgegangen werden kann, dass die nötige Fläche für Solaranlagen auf Grundlage des in der Planung berechneten Energiebedarfs bestimmt und in den formalen bzw. gestalterischen Entwurfsprozess einbezogen werden kann, machen 58 % der Gebäude aus. Der Umgang mit der oben beschriebenen Thematik bei Sanierungsbeispielen kann demnach nur bei einer kleinen Anzahl von Gebäuden vergleichend gegenübergestellt werden.

### 9.2.1 Solaranlagen

Die Analyse der formalen Muster in Abschnitt 9 deutet bereits darauf hin, dass Solaranlagen mit großer Mehrheit entweder auf kaum einsehbaren Flachdächern oder auf (teils asymmetrischen) Schrägdächern positioniert werden. Auch wenn das Flachdach absolut die meistgewählte Dachvariante darstellt, bleibt die Fragestellung des gestalterischen Einwirkens von Solaranlagen relevant. Harmonisieren Gebäude und Solaranlage nicht miteinander, wird die subjektiv empfundene Schönheit des Gebäudes, die Nutzung erneuerbarer Energien am Gebäude und damit auch das Gesamtkonzept in Frage gestellt. Abbildung 9-7 und Abbildung 9-8 bestätigen, dass Solaranlagen bei Nullenergiegebäuden sehr häufig auf einsehbaren Hüllflächen (Fassade oder geneigtem Dach) installiert werden und somit auf deren Erscheinungsbild einwirken. Dies gilt im Besonderen, wenn sie auf die Außenhaut addiert oder als Teilfläche in einsehbaren Bereichen der Gebäudehülle positioniert sind.

Abbildung 9-7: Verteilung von Solarstromanlagen auf verschiedene Hüllflächen bei neuen- (äußerer Ring) und sanierten (innerer Kreis) Nullenergiegebäuden der gemäßigten Klimazone.

Die genutzten Hüllflächen sind im Uhrzeigersinn: Flachdach, Schrägdach (zusammengefasst), Fassade opak, Fassade transparent/transluzent, Dachüberstand/Auskragung und Nebengebäude



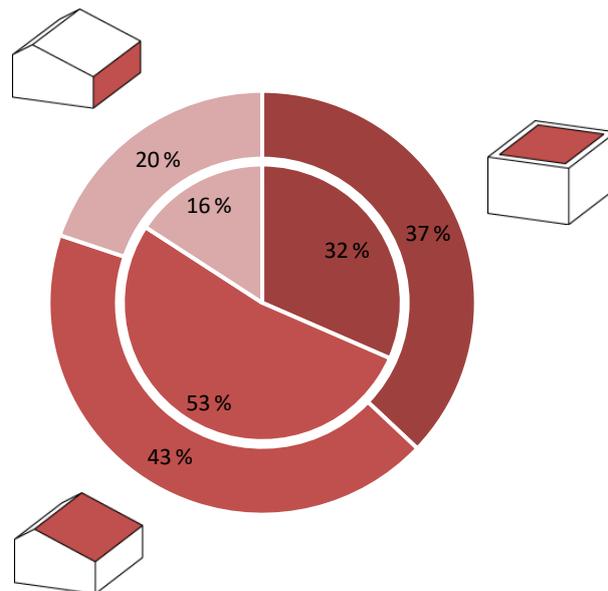


Abbildung 9-8: Verteilung von thermischen Solaranlagen auf verschiedene Hüllflächen bei neuen- (äußerer Ring) und sanierten (innerer Kreis) Nullenergiegebäuden der gemäßigten Klimazone.

Da thermische Solaranlagen seltener als PV-Anlagen eingesetzt und selten in transparente Bauteile integriert werden sowie zudem meist kleinere Flächen einnehmen, wird ihre Position in der Gebäudehülle nur drei Hüllflächentypen zugeordnet (Flachdach, Schrägdach, Fassade)

Eine Unterteilung in thermische und elektrische Solaranlagen erfolgt, weil die Untersuchungen und Querschnittsauswertungen in Kapitel 8 zeigen, dass PV-Anlagen nahezu immer genutzt und dazu großflächig eingesetzt werden, während solarthermische Anlagen nicht durchgehend und zudem eher kleinflächig vorkommen (etwa  $0,06 \text{ m}^2$  Kollektorfläche pro  $\text{m}^2_{\text{NGF}}$ ). Hinzu kommt, dass PV-Module und -zellen grundsätzlich durch Anlagengröße und vor allem unterschiedliche Fabrikate bzw. eine technische Vielfalt mehr (Gestaltungs-)Potenzial für eine homogene Einbindung aufbringen als meist standardisierte Flach- bzw. Röhrenkollektoren [Munari Probst 2012].

Während Solarstromanlagen auf Grund ihrer Unverzichtbarkeit und Größe also als DAS formal-prägende Element von Nullenergiegebäuden gelten können, erlangen Solarthermieanlagen durch ihre Kleinteiligkeit einen additiven und damit ebenfalls prägenden Charakter. Insofern ist neben der Größe und der Verortung von Solaranlagen vor allem deren Einbindung in die Hülle (mindestens mit-)entscheidend für das Erscheinungsbild von Nullenergiegebäuden.

Aufgesetzte oder aufgeständerte Solaranlagen wirken meist additiv und offensiblen bzw. suggerieren eine fehlende Verknüpfung zwischen Gebäude und System bzw. Entwurfs- und Energiekonzept. Die entstehenden Unebenheiten sowie der Material- bzw. Farbwechsel erscheinen störend und nicht homogen. Der geschaffene technische Charakter wirkt sich negativ auf das Erscheinungsbild und Empfindungsbild von Gebäuden aus. Dies gilt umso mehr, wenn andere Materialitäten bestehender Eindeckungen oder Fassadenbekleidungen (z.B. Schindeldach) sichtbar überlagert werden. Es entstehen keine deutlich definierten Flächen. Abmildernd können hier farblich auf die Kollektoren bzw. Photovoltaikzellen abgestimmte Randprofile und Haltegraffen sein. Dies wird in dieser Betrachtung allerdings ebenso wenig einbezogen wie die verbesserte Effizienz von Solarstromanlagen durch die Hinterlüftung bei aufgeständerten oder aufgesetzten Anlagen.

Teilflächige Solaranlagen werden, auch wenn sie nur kleine Hüllflächenbereiche ausmachen bzw. bedecken, als dominierend gegenüber anderen Materialien empfunden. Sofern Bauteilachsen oder bestehende Flächen bzw. Unterbrechungen, wie etwa Dächer von Gauben oder Brüstungen von Loggien, aufgenommen werden, kann der negative Eindruck stark gemildert werden. Bei

einem teilflächigen Einsatz im Bereich der Fassaden entsteht fast immer ein technisch und heterogenes Gebäudebild. Meist entstehen keine Symmetrien oder nur solche, die keine Verknüpfung mit der Nutzung offenbaren. Besonders der meist vorherrschende Farbunterschied zu Putz- oder Holzfassaden trägt hierzu bei. Einzig die Kombination mit großflächigen Glasfassaden oder dunklen Vorhangfassaden (s. bspw. Abbildung 5-11) vermag dies zu vermeiden.

Solaranlagen gelten als integriert, wenn sie in die jeweilige Hüllfläche eingebunden sind bzw. diese ersetzen (Synergieeffekt einer mutmaßlich höheren Wirtschaftlichkeit durch die Nutzung der Solaranlage als wasserführende Schicht), in ihrer Materialität und Farbwahl auf den Untergrund abgestimmt sind und/oder ähnlich anmutende Elemente wie bspw. Fensterbänder oder Dachflächenfenster ohne Versprünge aufnehmen. Abgesehen vom erkennbar technischen Eindruck wirken sich diese Anlagen eher positiv auf das Erscheinungsbild von Gebäuden aus, da eine klare Verbindung zwischen Gebäude und Anlage besteht. Sofern kleine thermische Solaranlagen in großflächigere Solarstromanlagen eingebunden oder mit diesen kombiniert werden und diese einen Fassaden- bzw. Dachabschnitt gemeinsam vollständig belegen, gelten sie als vollflächig. Sie werden als integriert und homogen eingeordnet, wenn die Solarthermie- mit einer PV-Anlage verbunden ist. Hier gelten die oben genannten positiven Attribute.

Vollflächige Anlagen und solche, die durch den Einsatz von Blindmodulen bei verschatteten Teilflächen als solche erscheinen, ermöglichen meist ein positives weil homogenes Erscheinungsbild. Dies gilt vor allem bei integrierten solaraktiven Systemen und umso mehr, wenn farblich abgestimmte Modulränder genutzt sowie bestehende Rastermaße und Achsen durch Module mit entsprechenden Maßen aufgegriffen werden. Die dann vorherrschende Verknüpfung von Gebäude und Anlage vermeidet eine „Technisierung“ der Gebäude oder störende Empfindungen. Auch hier gelten kleine thermische Solaranlagen in großflächigere Solarstromanlagen als vollflächig und homogen, wenn beide Anlagen miteinander kombiniert sind und die jeweilige Hüllfläche zusammen vollflächig belegen (vgl. [IFEU 2013]).

Die Abbildung 9-9 ff. zeigen exemplarisch mögliche Integrationsbeispiele zwischen teilflächig/additiv und vollflächig/integriert sowie kurze Erläuterungen zur Einschätzung der vorgefundenen Anlageneinbindungen.



Abbildung 9-9: Der additive und teilflächige Charakter der Solarthermie- und -stromanlagen beim Einfamilienhaus „Minto Ecohome“ (s. CA\_4) offenbart eine fehlende Abstimmung zwischen Gebäudeentwurf und Technikkonzept. Quelle The Minto Group



Abbildung 9-10: Auch vollflächige (Dach) und zusammenhängende (Fassade) Solaranlagen können additiv wirken und lassen beim Projekt „Riverdale NetZero House“ (s. CA\_3) eine mangelnde Abstimmung zwischen Flächenbedarf für die Solaranlagen und formaler Gestaltung erahnen. Die Dachfläche reicht trotz des Neubauhintergrunds offensichtlich nicht aus, um die nötigen Anlagen aufzunehmen. Die technischen Komponenten dominieren Gebäudegestalt und -kubatur. Quelle EQUilibrium Sustainable Housing Demonstration Initiative



Abbildung 9-11: Sofern Solaranlagen auf Auskragungen installiert sind, die sich aus der Gebäudeform ergeben und diese vollflächig bedecken, gelten sie nicht als additiv. Beim „MINERGIE-A-Eco“-Projekt „Sol-Arch<sup>2</sup>“ (s. CH\_22) wird dies dennoch so gewertet, da die Solarkollektoren nicht in die Balkonbrüstung integriert sind und sich generell ein stark auf die Technik ausgerichtetes Erscheinungsbild ergibt. Die kaum einsehbare Solarstromanlage auf dem Dach gilt hingegen als vollflächig und integriert. Quelle MINERGIE / Architekturbüro Jürg Wegmüller



Abbildung 9-12: Die Integration von Solarzellen in die Glasfassade wie bei der „SMA Academy“ (s. DE\_50) stellt eine Integrationsmöglichkeit dar, auch wenn hiermit Ertragseinbußen gegenüber einem optimalen Einsatz bspw. auf einem Flachdach verbunden sind. Quelle SMA, Foto Constantin Meyer



Abbildung 9-13: Ein Beispiel für die wenigen Sonderlösungen, bei denen Solar Kollektoren in die Gebäudehülle eingebunden sind, zeigt das „Mehrfamilienhaus in Dübendorf“ (s. CH\_11). Hier sind Röhrenkollektoren in die Glasfuge zwischen den beiden Gebäudeteilen eingesetzt und beschatten das darunter liegende Treppenhaus. Die ebenfalls sichtbaren PV-Module gelten als integriert aber teilflächig. Quelle Kämpfen für Architektur



Abbildung 9-14: Beim Mehrfamilienhausbeispiel „Sunny Woods“ (s. CH\_1) dienen in die Fassade eingebundene Röhrenkollektoren als Balkonbrüstung und korrelieren mit der Horizontallattung der Holzfassade. Quelle Kämpfen für Architektur

Generell zeigt sich, dass die Verhältnisse von integrierten und nicht integrierten sowie voll- und teilflächigen Solarstromanlagen bei Neubauvorhaben recht ausgeglichen sind (s. Abbildung 9-15). Bei Sanierungsbeispielen lässt sich erkennen, dass sowohl additive als auch teilflächige Anlagen überwiegen, was an der fehlenden Abstimmungsmöglichkeit zwischen nötiger Anlage und Baukörper sowie den konstruktiven Schwierigkeiten bei der Integration von neuen Anlagen in bestehende Dach- bzw. Fassadenstrukturen liegt. Auch wenn größere (Nicht-)Wohngebäude ein geringeres Potenzial zum Erreichen einer ausgeglichenen Energiebilanz aufweisen (s. Kapitel 5.2, 8 und 9), wird deutlich, dass Solarstromanlagen hier deutlich häufiger integriert werden. Hier ergeben sich durch eine größere Vielfalt bei der Fassadengestaltung gegenüber kleinen Wohngebäuden auch mehr Möglichkeiten zur homogenen Einbindung von Solarmodulen. So sind bspw. einlamierte Dünnschichtzellen in der Isolierver-

glasung einer Pfosten-Riegel-Fassade (s. DE\_50 - Seite 16, Abbildung 9-12) bei kleinen Wohngebäuden meist nicht möglich. Typologieübergreifend überwiegen teilflächige Solarthermieanlagen sowohl bei neuen als auch bei sanierten Nullenergiegebäuden (s. Abbildung 9-16). Hier sind die Systeme zudem mehrheitlich aufgesetzt, was - aus oben genannten Gründen - vor allem bei sanierten Gebäuden in nahezu drei Viertel der Fälle zu erkennen ist.

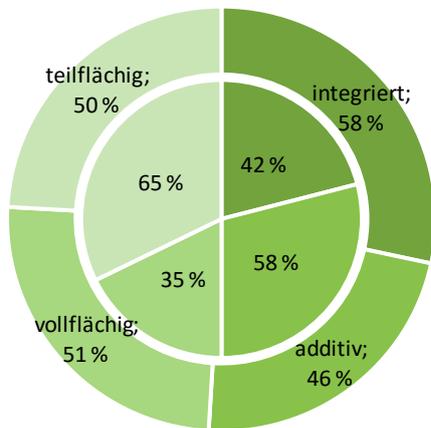


Abbildung 9-15: Verteilung der Einbindung von Solarstromanlagen bei untersuchten, neugebauten (außen) und sanierten (innen) Nullenergiegebäuden in gemäßigten Klimaten. Rechts die Aufteilung zwischen additiv und integriert, links das Verhältnis zwischen voll- und teilflächig.

Die Abweichung von 100 % ergibt sich, weil bei einigen Gebäuden mehrere Anlagen unterschiedlich eingebunden werden

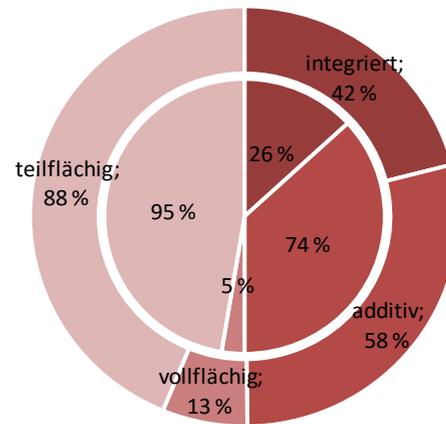


Abbildung 9-16: Verteilung der Einbindung von thermischen Solaranlagen bei untersuchten, neugebauten (außen) und sanierten (innen) Nullenergiegebäuden in gemäßigten Klimaten. Rechts die Aufteilung zwischen additiv und integriert, links der Verhältnis zwischen voll- und teilflächig.

Da sich die verschiedenen Integrations- bzw. Verortungsoptionen unterschiedlich auf die Gestaltung und das Erscheinungsbild von Gebäuden auswirken und sich ihre Kombinationen verstärken bzw. abmildern können, gilt es, diese Kombinationen zu untersuchen. Folgende Kombinationsmöglichkeiten werden für beide Typen von Solaranlagen gebildet:

- Auf dem Schrägdach/teilflächig/integriert
- Auf dem Schrägdach/vollflächig/integriert
- Auf dem Schrägdach/teilflächig/additiv
- Auf dem Schrägdach/vollflächig/additiv
- In der Fassade/teilflächig/integriert
- In der Fassade/vollflächig/integriert
- In der Fassade/teilflächig/additiv
- In der Fassade/vollflächig/additiv

Hierzu werden die PV-Anlagen auf Nebengebäuden oder auf Überhängen bzw. Auskragungen dem jeweils passenden Dachtypus (Schrägdach, Flachdach) zugeordnet. Der Einsatz von PV in transparenten Fassaden fällt der Option Fassade zu. Teil- oder vollflächige Anlagen-(kombinationen) auf Flachdächern werden nicht betrachtet, da diese meist nicht einsehbar sind und daher für die Gesamtgestaltung eines Gebäudes eine untergeordnete Rolle spielen.

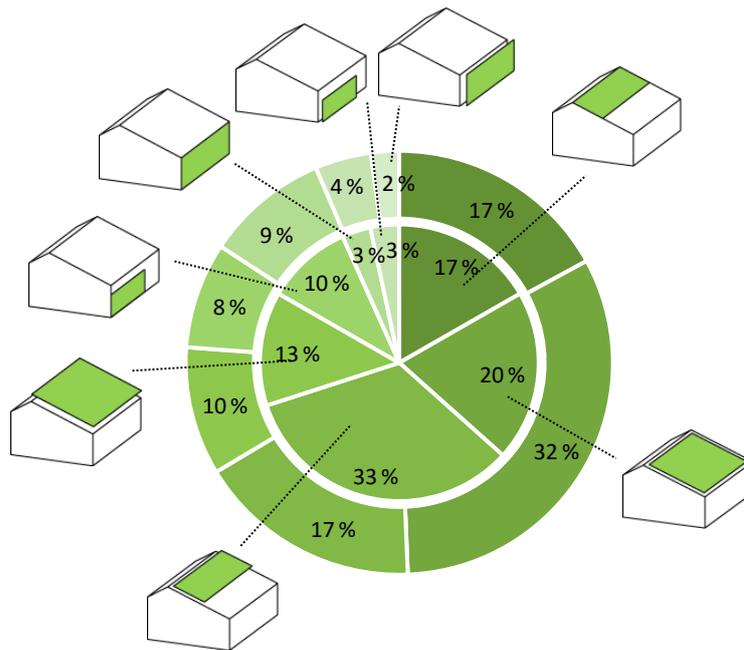


Abbildung 9-17: Verteilung des Installationstyps von Solarstromanlagen bei neuen (äußerer Ring) und sanierten (innerer Kreis) Nullenergiegebäuden der gemäßigten Klimazone.

Die Piktogramme stehen dem Uhrzeigersinn nach für folgende Integrationskombinationen:

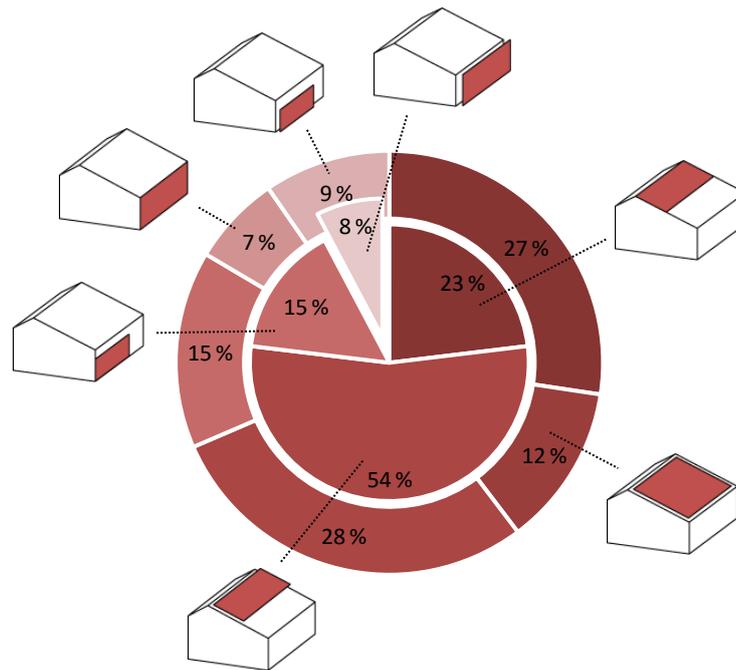
Dach/teilflächig/integriert,  
 Dach/vollflächig/integriert,  
 Dach/teilflächig/additiv,  
 Dach/vollflächig/additiv,  
 Fassade/teilflächig/integriert,  
 Fassade/vollflächig/integriert,  
 Fassade/teilflächig/additiv,  
 Fassade/vollflächig/additiv  
 (nur bei Neubauten zu verzeichnen)

Gemäß den eingangs in diesem Abschnitt aufgezeigten Erkenntnissen bestätigt sich für Solarstromanlagen die überwiegende Verortung auf Dachflächen. Während positiv wahrgenommene, vollflächig integrierte Anlagen bei Neubauten überwiegen und auch bei sanierten Nullenergiegebäuden einen großen Anteil ausmachen, liegen teilflächig integrierte und teilflächig nicht integrierte Solarstromanlagen auf Dächern von Neubauten gleich auf. Das Potenzial homogener Dächer und der Synergieeffekt der (materiell) wirtschaftlichen Einbindung von Solarmodulen als Dachhaut, was zu einem eher neutralen bis positiven Gestalteinfluss führt, werden bei etwa einem Fünftel der untersuchten Beispiele nicht ausgeschöpft. Der Trend addierter, kleinteiliger und durch Standard-Modulmaße bestimmter PV-Anlagen, die auch im allgemeinen Baubestand abseits der Nullenergiegebäude häufig zu finden sind und der Nutzung von gebäudegekoppelten Solarstromanlagen ein durchaus kritisch beschriebenes Image auferlegen (s. Diskussionspunkte in Kapitel 1.2), setzt sich bei sanierten Nullenergiegebäuden fort. Die ebenfalls eher neutral zu bewertende, vollflächige aber nicht integrierte Einbindung von Solarstromanlagen auf geeigneten Dächern finden im Neu- wie auch Altbau seltene Anwendung (je ca. 8%), auch wenn hier die Hinterlüftung der Module eine Effizienzsteigerung gegenüber komplett integrierten Modulen verspricht.

Die tendenziell als nachteilig und technisch empfundene Einbindung von Solarstromanlagen in der Fassade (vgl. Kapitel 6 und [Hassemer 2013]) geht aus eben diesen Gründen mehrheitlich mit integrierten Anlagen einher. Sofern diese vollflächig eine Ansicht oder (ab-)gegliederte Fassadenbereiche belegen, wirken sie zuweilen identitätsstiftend und kommunizieren den Anspruch des Gebäudes. Additive Fassadenanlagen, die die größte technische Dominanz und das geringste positive Gestaltungspotenzial besitzen, werden nur in Ausnahmefällen realisiert.

Abbildung 9-18: Verteilung des Installationstyps von Solarthermieanlagen bei neuen- (äußerer Ring) und sanierten (innerer Kreis) Nullenergiegebäuden der gemäßigten Klimazone.

Die Piktogramme stehen dem Uhrzeigersinn nach für folgende Integrationskombinationen:  
 Dach/teilflächig/integriert,  
 Dach/vollflächig/integriert (nur bei Neubauten zu verzeichnen),  
 Dach/teilflächig/additiv,  
 Fassade/teilflächig/integriert,  
 Fassade/vollflächig/integriert (nur bei Neubauten zu verzeichnen),  
 Fassade/teilflächig/additiv (nur bei Neubauten zu verzeichnen),  
 Fassade/vollflächig/additiv (nur bei sanierten Beispielen zu verzeichnen)



Bei Solarthermieanlagen ist der Anteil vollflächiger Systeme in Fassade und Dach entsprechend des meist geringen Bedarfs an Absorberfläche gering. Allerdings wirken sie sich bei den erkannten Neubauten insgesamt gestalterisch neutral bis identitätsstiftend aus, weil sie vornehmlich in die jeweilige Hüllfläche eingebettet werden können. Bei sanierten Gebäuden gelingt die Umsetzung großflächiger und zugleich integrierter Solarthermieanlagen offensichtlich sehr selten (vgl. Kapitel 8.7).

Die kleinteilig installierten Solarthermieanlagen sind u.a. auf Grund ihrer Aufbauhöhe schwer zu integrieren und haben dadurch einen technischen Gestaltungseinfluss bzw. erwirken eine technische Dominanz. Während es bei Neubauten häufiger gelingt, die solarthermischen Anlagen zu integrieren, führen teilflächig aufgesetzte Anlagen bei vielen sanierten Nullenergiegebäuden zu einem negativ behafteten Erscheinungsbild. Für teilflächige Systeme in der Fassade gelten ähnliche Aspekte. Bei Neubauten und Sanierungen erreichen sie vergleichbar große Anteile, wenn es gelingt, sie zu integrieren. Additiv-teilflächige Anlagen mit einem nachteiligen Gestaltungseinfluss sind nur bei jedem zehnten Neubau vorzufinden.

Insgesamt entsteht der Eindruck, dass Solarstromanlagen generell mehr Potenzial zu einem positiven und wenig auffälligem bzw. dominierendem Gestaltungseinfluss haben als kleinteilige weil bedarfsabhängig dimensionierte Solarthermieanlagen. Hier führen vor allem Sondersysteme und -konzepte sowie die Verbindung der beiden Anlagentypen zu einem positiv empfundenen Eindruck sowie einer nicht störenden Technikprägnanz.

### 9.2.2 Gliederung und Materialität der Gebäudehülle

Ähnlich wie Solaranlagen gelten bestimmte Fassadenmaterialien und -strukturen als Synonym für das energieeffiziente, ökologische und/oder nachhaltige Bauen. Besonders häufig werden hierzu Holzbekleidungen sowie -konstruktionen und Bau- bzw. Dämmstoffe von Wärmedämmverbundsysteme-

men samt Putzfassaden genannt und als angebliche Plattitüde im Zeitalter effizienter Gebäude zusammengefasst. Zusätzlich werden nicht genutzte Gestaltungsalternativen und -potenziale ebenso diskutiert, wie der (damit einhergehende) Mangel an Fassadengliederung und -detaillierung (s. Kapitel 1.2). Eine Auswertung des vorhandenen Fotomaterials der in der Datenbank erfassten Gebäude ermöglicht Trends zur Fassadengestaltung und genutzte Fassadenmaterialitäten von Nullenergiegebäuden darzustellen. Den hierzu nutzbaren knapp 270 Gebäuden unterschiedlicher Typologien aus der gemäßigten Klimazone werden dazu die beiden folgenden, übergeordneten Gestaltungskategorien zugeordnet:

- Homogenes Fassadenbild
- Heterogenes / detailliertes Fassadenbild

Sie werden durch die Gliederung der Fassaden, die Fensterflächenanteile und -verteilungen sowie vor allem die (Kombination von) Materialien in der Fassade bestimmt. Dabei bedeutet homogenes Fassadenbild, dass ein Fassadenmaterial durchgehend oder zumindest überwiegend und nur mit akzentuierten Unterbrechungen genutzt wird, wenig bis keine Farbwechsel auf opaken Flächen vorkommen und zudem vermehrt bis überwiegend plane Flächen wie bspw. Putzfassaden oder durchgehende Vorhangfassaden mit kleinen Fugen in Holz oder Faserzement auftreten (s. als Beispiel Abbildung 9-20). Die Bestimmung des Fassadenbilds kann auch bei Projekten, die einen steten Wechsel zwischen einheitlich gestalteter Fassade und vielen bzw. großflächigen Fenstern aufweisen, als homogen beschrieben werden, wenn ein einheitlicher Gesamteindruck bestehen bleibt, Proportionen unterstrichen oder Hüllflächenabschnitte zusammengehalten werden (s. z.B. Abbildung 8-15 und CH\_17).

Eine detaillierte und strukturierte Fassadengestaltung (heterogen) wird bei kleinteiligen Fassadenabschnitten, häufig wechselnden Fensterflächen, Stilmerkmalen wie Gesimsen oder Verzierungen sowie (stark) wechselnden Materialitäten zugewiesen. Zu den wechselnden Materialitäten können bspw. auch Klapp- und Schiebeläden sowie (eine bewusste Gliederung durch) Solaranlagen gehören. Somit kann auch ein im gesamten subjektiv als ausgewogener und homogen empfundener Materialmix als heterogen eingeordnet werden, sofern dieser identitätsstiftend ist (s. Abbildung 9-19). Werden An- und Vorbauten in anderer Farbe oder einem anderen Material vorgestellt, erfolgt die Bewertung zu einer der beiden Kategorien anhand des stärker dominierenden Gebäudeteils. Die Auswertung erfolgt immer auf Ebene des Gebäudes und nicht auf Ebene einzelner Fassaden. Wenn nötig werden Gebäude mit unterschiedlichen Fassaden entweder nach der dominierenden Fassade kategorisiert oder - und wahrscheinlicher - als heterogenes Fassadenbild eingeordnet.



Abbildung 9-19: Beim „Nullenergieprojekt solar2“ (DE\_48) wirken die einzelnen Fassade(-abschnitte) trotz mehrerer Materialien und Farben jeweils tendenziell eher homogen. Der insgesamt umgesetzte Materialmix wird aber als heterogen, weil identitätsstiftend beschrieben. Quelle und Foto NEST Solar Passivhaus



Abbildung 9-20: Das „EffizienzhausPlus in Steinbach“ (DE\_104) als Beispiel für eine Putzfassade, die trotz der leicht verspringenden Fensteranordnung ein sehr homogenes Bild erwirkt. Hierzu führen auch die klare Abgrenzung der scharf geführten Gebäudekanten an der Traufe und Kehle sowie die kaum vorhandenen Dachüberstände am Giebel. Quelle ee concept GmbH, Foto Eibe Sönnecken

Abbildung 9-21 f. zeigen, dass homogen gestaltete Fassaden nahezu durchweg überwiegen und bei den Wohngebäuden sogar nach einer Sanierung noch eine höhere Quote erreichen als im Neubau. Gesimse oder Verzierungen treten hier ebenso selten auf, wie Fassaden mit Materialmix und stark akzentuierenden Anbauteilen. Bei den Nichtwohngebäuden sind die Fassaden trotz der größeren Gesamtflächen etwas detaillierter, was u.a. an größeren Fensterflächenanteilen und dem höheren Aufwand an Sonnenschutzsystemen liegt. Auffällig ist zudem, dass knapp die Hälfte der sanierten Nichtwohngebäude eine heterogene Fassadengestalt haben und die hiermit verknüpften Möglichkeiten der Identitätsbildung nutzen. Häufig werden hierzu allerdings auch fassadenintegrierte Solaranlagen genutzt bzw. führen zu diesem Ergebnis (s. DE\_72).

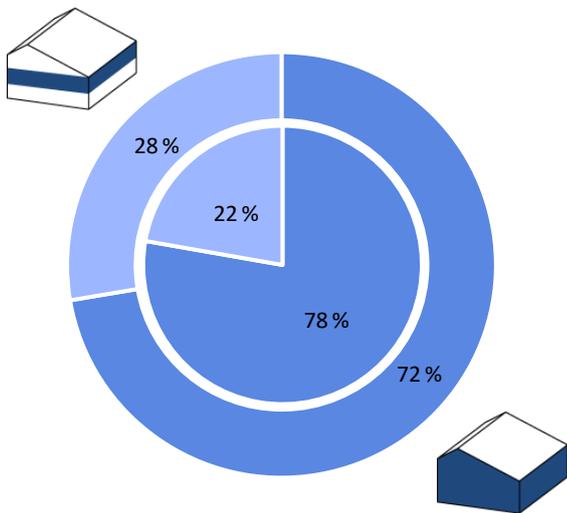


Abbildung 9-21: Unterteilung in homogene und heterogene Fassadengliederung bei Wohngebäuden mit Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz in der gemäßigten Klimazone.

Der äußere Ring enthält die Verteilung für Neubauten, der innere Kreis die der sanierten Nullenergiegebäude

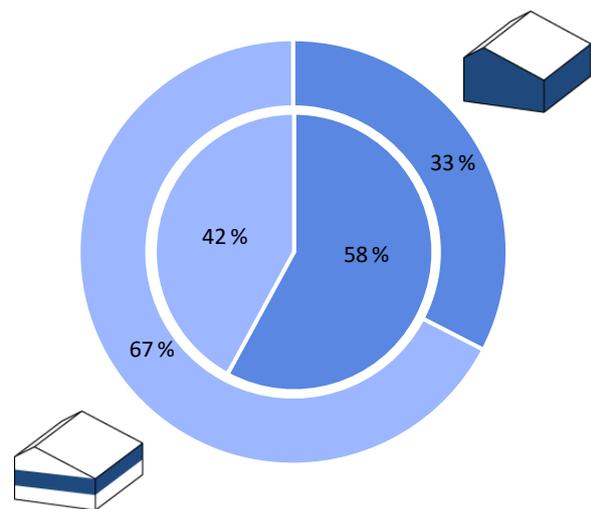


Abbildung 9-22: Unterteilung in homogene und heterogene Fassadengliederung bei Nichtwohngebäuden mit Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz in der gemäßigten Klimazone.

Der äußere Ring enthält die Verteilung für Neubauten, der innere Kreis die der sanierten Nullenergiegebäude

Um die überwiegend genutzten Materialien herauszustellen und die Frage zu beantworten, ob bestimmte Materialitäten ein Gestaltungsmuster hervorrufen, werden die Gebäude nach den folgenden Fassadenmaterialitäten unterschieden:

- Holzfassade
- Putzfassade
- Glasfassade / Fassade mit überwiegendem Glasanteil
- Fassadenbekleidung mit anderen Materialien
- Materialkollage (bei einem Mix von mehr als zwei großflächig verwendeten, oben genannten Materialien)

Dabei werden nur solche Fassaden als Glasfassaden eingeordnet, die vollflächig mit Glas oder zumindest sehr stark und annähernd durchgehend mit Fenstern belegt und hiervon dominiert sind. Lochfassaden mit vielen Fenstern zählen hier ebenso nicht zu, wie durchgehende Bandfenster. Unter „Fassadenbekleidung mit anderen Materialien“ werden Metall-, Stein- oder andere (Vorhang-) Fassaden mit Faserzementplatten, Klinkern, Riemchen oder deren Imitaten gewertet. Häufig sind dies eher technisch anmutende Materialien bzw. Fassaden, vor allem wenn PV- oder Solarthermiemodule vorkommen bzw. mit ähnlichen Materialien kombiniert werden. Grundsätzlich sind bei den genutzten Fassadenmaterialien Mehrfachnennungen möglich und dies vor allem dort, wo ein heterogenes Bild oder ein Mix an Materialien (Materialkollage) zu erkennen ist. Siedlungen bzw. deren Gebäude gehen nur dann in die Wertung ein, wenn ein einheitlicher Gebäudetypus auszumachen ist und sie auf Grund der Nutzung zu Mehrfamilienhäusern gezählt werden können. Gemischt genutzte, heterogen gestaltete oder tlw. sanierte Siedlungen werden nicht aufgenommen, da die Gebäude dann den einzelnen Mustern nicht klar zugeordnet werden können.

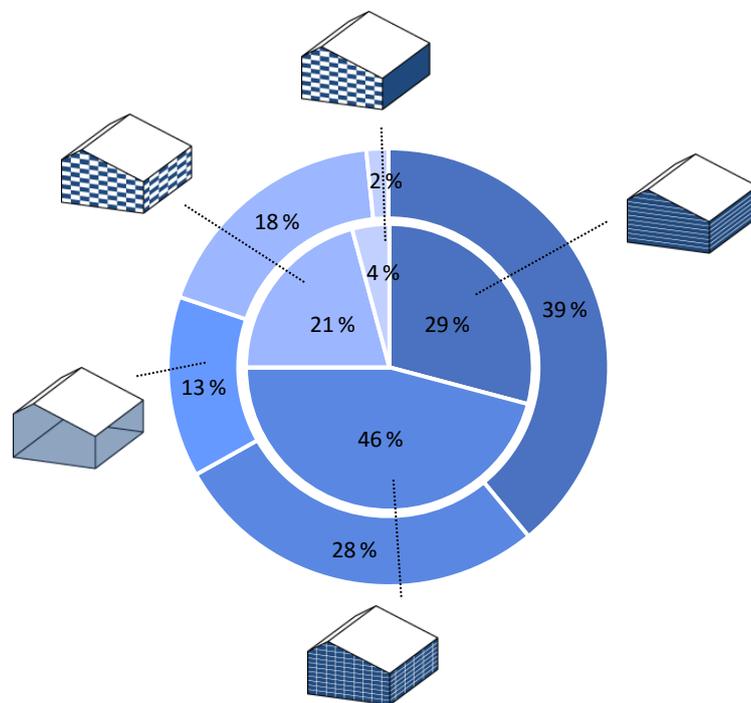
Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass Holz- und Putzfassaden deutlich überwiegen (s. Abbildung 9-23 f.). Bei neuen und sanierten Nullenergiegebäuden des Wohngebäudesektors machen diese beiden Materialien jeweils rund 70 % der Fassadenbekleidungen aus. Bei Nichtwohngebäuden sinken diese Werte zugunsten anderer Fassadenmaterialien auf etwa 50 %. Damit bestätigt der vor allem bei Neubauten prägende Anteil an Holzfassaden typologieübergreifend die Renaissance natürlicher Baustoffe in Europa, die Verknüpfung des energetischen Anspruchs von Gebäuden mit zumindest der Fassadengestaltung bzw. dem Hauptausdrucksträger sowie ein Durchgriff ganzheitlich ökologischer Überlegungen auf die Gebäudekonstruktion. Der hohe Anteil an Putzfassaden bei sanierten Gebäuden und die Annahme eines damit verbundenen Einsatzes von Wärmedämmverbundsystemen unterstreicht hingegen ebenso, dass das Potential der Verwendung natürlicher (Dämm-)Stoffe eher selten genutzt wird und bei der Sanierung neben energetischen vor allem auch monetäre Interessen die Entscheidungen bei der Material- und Systemwahl beeinflussen.

Aussagen zur Materialehrlichkeit bei Einsatz der beiden Materialien können allerdings nur bedingt gemacht werden, da nur bei etwa der Hälfte der ausgewerteten Gebäude bekannt ist, ob Fassadenbekleidung und Konstruktionsart übereinstimmen bzw. im Falle von Putzfassaden tatsächlich geschäumte Kunststoffe zur Wärmedämmung eingesetzt werden. So ist bisweilen auch zu beobachten, dass Massivkonstruktionen mit einer Holzvorhangfassade verkleidet

werden. Der große Anteil an Holzfassaden lässt aber in Kombination mit den vielen bekannten Beispielen mit einer Holzkonstruktion immerhin erahnen, dass sich hier Übereinstimmungen ergeben. Gestützt wird dies durch die auffallend große Anzahl an (kleinen) Wohnhäusern mit Holzfassade und einer „MINERGIE-A“-Zertifizierung in der Schweiz, welche geringe Aufwendungen für die Graue Energie fordert. Dem entgegen steht die Tatsache, dass bei vielen Fertighäusern das Fassadenmaterial nicht mit dem Hauptkonstruktionsmaterial übereinstimmt. Häufig werden hier Holzständerwände außen mit Putz verkleidet und bleibt die Materialehrlichkeit damit dort aus, wo sie am ehesten zu erwarten wäre. Eine quasi erzwungene Materialunehrlichkeit entsteht bei massiven Mauerwerkskonstruktionen, da diese die in Kapitel 8.1.1 beschriebenen Effizienzwerte beim Wärmedurchgang kaum ohne addierte Dämmschichten erreichen. Gebäude mit Glasfassaden im Sinne des International Style sind selten. Bei Wohngebäuden ist dies bei Neubauten auf die Nutzung (Privatsphäre und geringerer Belichtungsbedarf kleiner Räume) und bei sanierten Gebäuden zusätzlich darauf zurückzuführen, dass frühere Gebäude auf Grund der geringen Fensterqualitäten bei großflächigem Glaseinsatz kaum Behaglichkeit hätten bieten könnten. Bei Nichtwohngebäuden sind Ganzglasfassaden trotz der Problematik des sommerlichen Wärmeschutzes auf Grund der Belichtung von Innenräumen eine vielgenutzte Option. Die Kombination mit bzw. der Einsatz von anderen Materialien ist im Altbau und vor allem im Nichtwohnbereich größer, wenn Sonderkonstruktionen gewählt oder Bestehendes erhalten werden soll. Passend zu der oben genannten größeren Detaillierung der Fassaden nimmt der Einsatz der übrigen Materialien bei Nichtwohngebäuden mit dem Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz größere Anteile ein. Materialkollagen kommen hingegen durchweg sehr selten bis gar nicht (sanierte Nichtwohngebäude) zum Einsatz.

Abbildung 9-23: Aufteilung auszumachender Fassadenmaterialien bei Nullenergiegebäude des Wohnsektors (außen Neubauten, innen Sanierungen) in gemäßigten Klimaten.

Die Piktogramme stehen dem Uhrzeigersinn nach für die Materialien Holz, Putz, überwiegend Glas/Glasfassade (nur bei Neubauten auszumachen), andere Materialien und Materialkollage



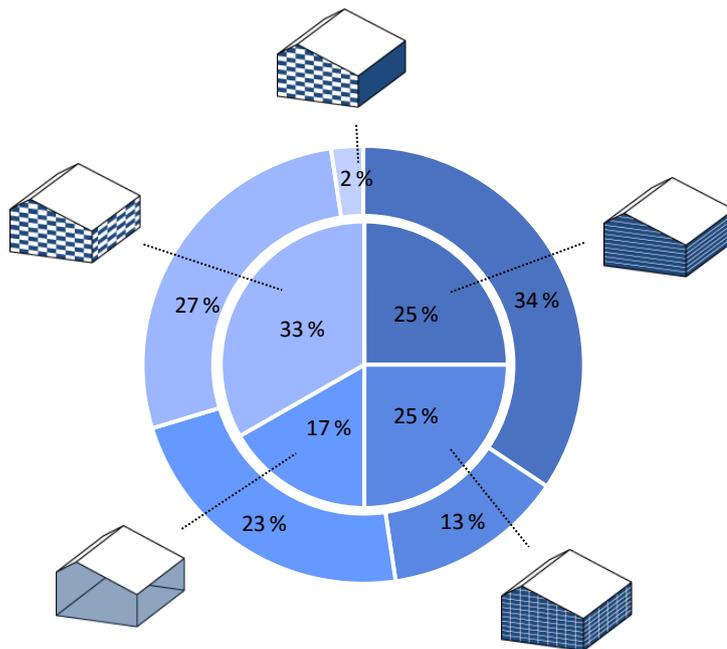


Abbildung 9-24: Aufteilung auszumachender Fassadenmaterialien bei Nichtwohngebäuden mit dem Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz (außen Neubauten, innen Sanierungen) in gemäßigten Klimaten.

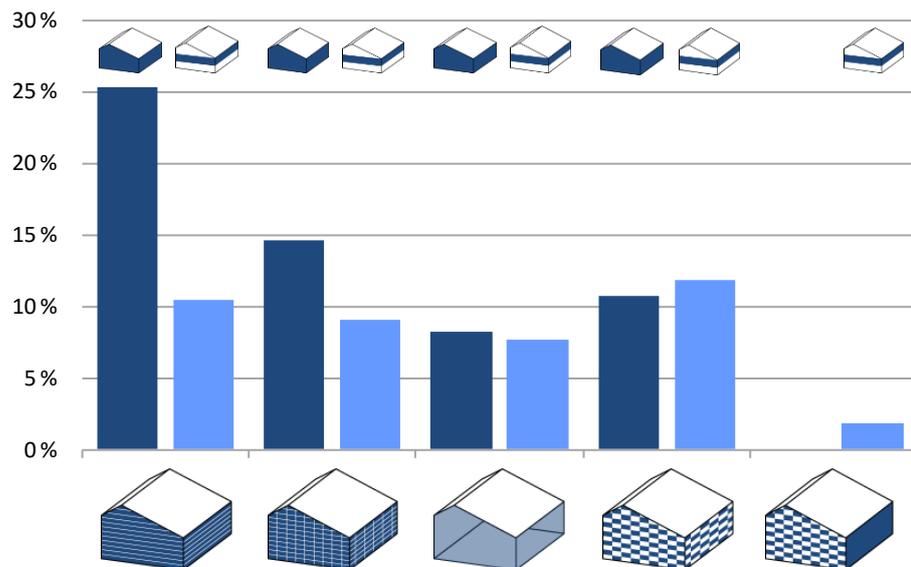
Die Piktogramme stehen dem Uhrzeigersinn nach für die Materialien Holz, Putz, überwiegend Glas/Glasfassade, andere Materialien und Materialkollage (nur bei Neubauten auszumachen)

Übergreifend gilt, dass bei Wohngebäuden Putzfassaden bei der Sanierung und Holzfassaden beim Neubau überwiegen. Bei Nichtwohngebäuden ist die Aufteilung differenzierter bzw. gleichmäßiger. Der Trend geht hier ebenfalls zu Holzfassaden im Neubau aber anderen Materialien bei den wenigen sanierten Beispielprojekten.

Die Kombination der übergeordneten Gestaltungskategorien mit den genutzten Fassadenmaterialien zeigt, dass Holzfassaden generell ein einheitliches Fassadenbild hervorrufen und dieses Gestaltungsbild bei Nullenergiegebäuden dominiert. Maßgeblichen Anteil hieran hat die sehr große Anzahl an kleinen Nullenergie-Wohngebäuden mit ökologisch interessierten Bauherren, deren energetischer Anspruch auch gestalterisch formuliert ist. Eine heterogene Gestaltung ergibt sich bei Holzfassaden dann, wenn diese mit einem anderen Fassadenmaterial oder solaraktiven Systemen kombiniert werden sowie selten bei bewusst lebendig gestalteten Fassaden mit offenen Fugen in der Deckel- bzw. Stülpschalung. Der seltene Gebrauch von Verzierungen führt bei den häufig vorzufindenden Putzfassaden ebenfalls zu überwiegend homogenen Fassadenbildern. Die Identitätsbildung findet hier auf Basis der formalen Ausgestaltung der Gebäude statt. Die bewusste Einfachheit könnte mit dem Begriff „Bauhaus-Stil“ umschrieben werden. Allerdings steht hier die Verwendung der mehrheitlich genutzten Wärmedämmverbundsysteme einem der Grundprinzipien des Bauhauses, hochwertige Baumaterialien zu nutzen und durch deren stringente Zusammenführung ebensolche Bauten zu erschaffen, eher entgegen. Insofern werden hier Bauten funktional ausformuliert. Analog zum Materialwechsel bei den Holzfassaden ersetzen hier Farbakzente oder erneut auch fassadenintegrierte Solaranlagen andere Detaillösungen und können dann zu einer als heterogen empfundenen Gestalt führen.

Abbildung 9-25: Typologie-übergreifende Verteilung der unterschiedlichen Fassadenmaterialien bei einem homogenen (jeweils linker Balken) und heterogenen (jeweils rechter Balken) Gesamtgestaltungsbild bei Nullenergiegebäuden in der gemäßigten Klimazone.

Die Piktogramme stehen von rechts nach links für die Materialien Holz, Putz, überwiegend Glas/Glasfassade, andere Materialien und Materialkollage (nur heterogenen Fassaden zuzuordnen)



Glasfassaden wirken - sofern konsequent umgesetzt - sehr homogen und unterstreichen dabei oft eine formal reduzierte Anmutung kubischer Baukörper (s. DE\_11 und CH\_35). Werden Sonnenschutzsysteme (bei Nichtwohngebäuden) vorgebaut, gliedern diese die Fassaden oft horizontal und/oder vertikal, prägen die Gebäude und lassen diese hiermit deutlich detaillierter wirken (s. DE\_42 - Seite 200). Bei anderen Materialien ergibt sich eine Gliederung und Akzentuierung bereits durch Raster- bzw. Bauteilmaße. Ob dies zu einem eher homogenen oder heterogenen Fassadenbild führt, liegt erneut an einem eventuellen Materialmix, an der konstruktiven Abhängigkeit von der Primärstruktur, dem Bezug auf darin vorgegebene Gliederungen oder in vielen Fällen an der Art der Kombination mit Solarmodulen. Bei Letzterem entstehen nur in Ausnahmen durchgehende homogen gestaltete Fassaden und Baukörper (s. Abbildung 9-26 ff.). Gleiches gilt ohne Ausnahme für Materialkollagen. Hier sind bei den wenigen Beispielen nur heterogene Gestaltungsmuster auszumachen.



Abbildung 9-26, 9-27 und 9-28: Das „Power house I“ in Trondheim (s. NO\_1) beschreibt den Einfluss des Ziels der ausgeglichenen Energiebilanz bei hohen und dichten Gebäuden durch die extreme Keilform. Ein homogenes Gesamtbild wird durch ähnliche Materialitäten in Dach (PV-Anlagen) und Fassade (verspiegelte Gläser) erreicht. Quelle Internet, Foto Snøhetta / MIR

### 9.2.3 Vergleich mit dem allgemeinen Baugeschehen

Als Ergebnis der beiden Trendanalysen zur Einbindung von Solaranlagen und genutzten Fassadenmaterialien bzw. der Fassadengestaltung zeigt sich, dass häufig Putz- und Holzfassaden homogen und eher einfach strukturiert sowie Solaranlagen mehrheitlich integriert werden. Es kann eine Dominanz von Wärmedämmverbundsystemen, Holzfassaden und PV-Anlagen ausgemacht

werden. Angeblich fehlende Möglichkeiten zur (Fassaden-)Gestaltung werden durch eine Vielzahl genutzter Gestaltungsoptionen und unterschiedliche Kombinationen widerlegt. So kann einerseits die Integration von Solaranlagen als mehrheitlich gestalterisch neutral bis positiv beschrieben werden, während andererseits sowohl über die Einfachheit als auch die Komplexität in der Fassadengestaltung Identitäten für Gebäude hervorgerufen werden. Subjektiv als eher weniger gelungen bewertete Beispiele stehen dem bisweilen entgegen, schmälern aber nicht die Aussage, dass genügend technische wie materielle Optionen und damit Potenziale zur Gestaltung vorhanden sind.

Inwieweit diese Gestaltungsmuster ein Indikator für Nullenergiegebäude sind bzw. sich diese von zeitgenössischen Trends abheben, soll über einen Abgleich mit dem sonstigen Baugeschehen festgestellt werden. Da keine geeignete Studie zu Gestaltungstrends gegenwärtig erstellt ist und um ein ähnliches Durchführungsmuster wie in den beiden voranstehenden Abschnitten anzuwenden, wird ein Vergleich mit Hochbauprojekten, die zum Tag der Architektur der Architektenkammer Nordrhein-Westfalen in den Jahren 2005 und 2006 sowie 2008 bis 2014<sup>220</sup> gemeldet und in der dazugehörigen Datenbank der Architektenkammer erfasst wurden, erstellt. Dabei nehmen die Tatsachen, dass die Gebäude sowohl von Architekten als auch von Bauherren gemeldet werden können und auf formulierte Aufnahmekriterien ebenso verzichtet wird, wie auf Bewertungen einer Jury, eine entscheidende Position ein. So wird - anders als bei üblichen Architekturpreisen oder -wettbewerben - typologieübergreifend und unabhängig von einzelnen Bau- oder Wettbewerbsaufgaben das dargestellt, was von Bauherren gewollt, Architekten geplant, materiell möglich sowie politisch und gesetzgeberisch gefordert ist. Zudem repräsentiert das Bundesland Nordrhein-Westfalen ein ebenso häufig dicht bebautes wie auch ländlich gewachsenes und zudem bevölkerungsreiches Bundesland in der Mitte Deutschlands und kann als gute Referenz für diesen Vergleich gelten.

Die im Online-Archiv der Architektenkammer Nordrhein-Westfalen durchschnittlich rund 400 pro Jahr hinterlegten Teilnehmerprojekte (s. [AKNW 2014]) werden in den Rubriken Einfamilienhaus, Wohngebäude, Bürogebäude und Bildung/Gesundheit, die den üblicherweise in dieser Arbeit genutzten Typologien entsprechen, exemplarisch und unabhängig von Ort sowie Entwurfsverfasser in der online-Datenbank betrachtet und den gegenüber den beiden vorangegangenen Abschnitten leicht modifizierten Kategorien

- keine einsehbare Solaranlage,
- auf dem Schrägdach/teilflächig/integriert,
- auf dem Schrägdach/vollflächig/integriert,
- auf dem Schrägdach/teilflächig/additiv,
- auf dem Schrägdach/vollflächig/additiv,
- in der Fassade/teilflächig/integriert,
- in der Fassade/vollflächig/integriert,
- in der Fassade/teilflächig/additiv,
- in der Fassade/vollflächig/additiv,

<sup>220</sup> Im Jahr 2007 ist die vereinfachte Auswahl von Gebäuden nach Rubriken (s.u.) nicht möglich

für beide Typen von Solaranlagen zusammen sowie den Gestaltungsmustern

- Holz/homogen,
- Holz/heterogen,
- Putz/homogen,
- Putz/heterogen,
- überwiegend Glas/Glasfassade/homogen,
- überwiegend Glas/Glasfassade/heterogen,
- andere Materialien/homogen,
- andere Materialien/heterogen,
- Materialkollage/heterogen

zugeordnet. Dabei werden je Jahr und Rubrik/Typologie je zehn willkürlich ausgewählte Gebäude betrachtet,<sup>221</sup> um Auswertungsaufwand und -dauer zu begrenzen sowie eine ähnliche Anzahl an Gebäuden einzubinden, wie sie auch in der Datenbank der Nullenergiegebäude vorzufinden ist. Insgesamt werden also 360 Gebäude - ohne Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz - in die Trendanalyse einbezogen. Sanierete Gebäude bleiben außen vor, da eine Unterteilung in Neubau und Sanierung einerseits sehr aufwändig wäre und andererseits nicht festgestellt werden könnte, aus welchem Baujahr und welchen Beweggründen die Fassadengestaltung herrührt.

<sup>221</sup> Der Umstand, dass bis zum Jahr 2010 nur ein Foto - meist der Hauptfassade - je Gebäude in der Datenbank der Architektenkammer einzusehen ist, erfordert zuweilen die Betrachtung von Alternativen. Gebäude mit Schrägdach werden nicht einbezogen, wenn dieses nicht einzusehen ist, um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, eventuell installierte Solaranlagen hinsichtlich ihrer Installation bewerten zu können

In Bezug auf den Einsatz von Solaranlagen zeigt Abbildung 9-29, dass bei aktuellen Neubauten nur sehr selten Solaranlagen eingesetzt bzw. einsehbar sind. Auch wenn die tatsächliche Anzahl höher liegen dürfte - bspw. können in dieser Studie nicht einsehbare Anlagen auf Flachdächern nicht einbezogen werden - und dies auch aus den veröffentlichten Zahlen bzw. Leistungsdaten hervorgeht (s. bspw. [BSW 2012a]), fällt auf, dass in lediglich gut 20 % der betrachteten Fälle eine Solaranlage überhaupt Auswirkungen auf die Gebäudegestaltung nimmt. Dabei ist dieser Anteil von teilflächigen Anlagen in Fassade und Dach dominiert. Dies ist auf thermische Solaranlagen zurückzuführen, die vor allem bei Wohngebäuden durch deren Warmwasserbedarf bestimmt werden. In der überwiegenden Mehrheit werden diese Anlagen auf den Dächern installiert, dort aber nicht integriert und haben damit einen eher negativen Gestaltungseinfluss. Anlagen in der Fassade werden bei neuen Gebäuden in NRW ausschließlich teilflächig ausgeführt, dann aber vermehrt integriert. Der Aspekt des Einflusses in das Erscheinungsbild von Gebäuden wird hier offensichtlich deutlicher wahrgenommen. Dass keine vollflächigen Anlagen in der Fassade vorzufinden sind, liegt auch daran, dass Gebäude mit einem Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz - sofern ersichtlich - nicht einbezogen werden. Die wenigen Solaranlagen, die die Gebäudedächer vollflächig belegen, werden ebenfalls vermehrt integriert, haben aber durchweg eine mindestens neutrale bis positive Bedeutung für das Erscheinungsbild der betrachteten Gebäude.

Als Randaspekt zu den Trends bei den Solaranlagen ist zu erkennen, dass die Anzahl einsehbarer Solaranlagen bei jüngeren Gebäuden gegenüber etwas älteren leicht zunimmt. Ein Grund könnte das junge EEWärmeG sein (s. Kapitel 3.1.2.3). Zudem fällt auf, dass thermische Solaranlagen bei sanierten Gebäuden deutlich häufiger eingesetzt werden, als bei Neubauten. Dies deckt sich mit der Studie [IFEU 2013].

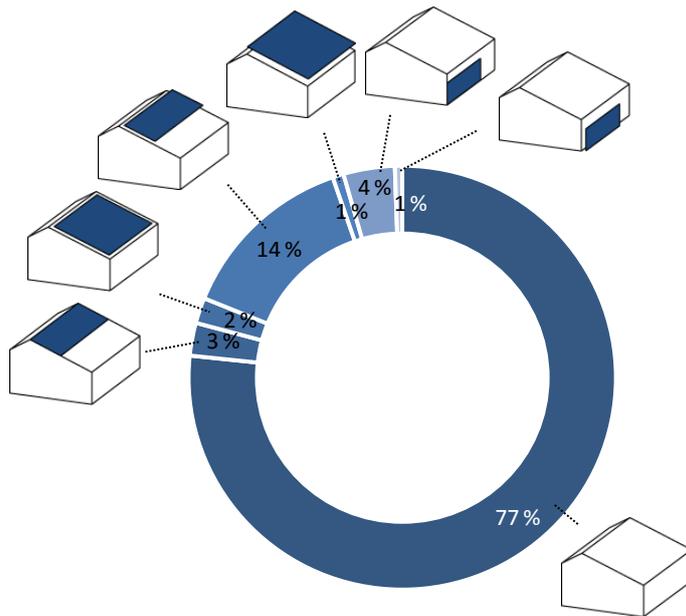


Abbildung 9-29: Zusammengefasste Verteilung von Solarstrom- und -thermieanlagen bei neu erstellten Wohn- und Nichtwohngebäuden im Bundesland Nordrhein-Westfalen der Jahre 2005 bis 2014.

Die Piktogramme stehen dem Uhrzeigersinn nach für folgende Integrationskombinationen: keine einsehbare Solaranlage, Dach/teilflächig/integriert, Dach/vollflächig/integriert, Dach/teilflächig/additiv, Dach/vollflächig/additiv, Fassade/teilflächig/integriert, Fassade/teilflächig/additiv.

Neben Fassaden werden lediglich Schrägdächer einbezogen

Da Solaranlagen abseits von Nullenergiegebäuden weniger im konzeptionellen und gestalterischen Fokus stehen, haben sie häufig einen eher negativen bzw. gegenüber den oben dargestellten Nullenergiegebäuden negativeren Gestaltungseinfluss und tragen zudem nicht zur Identitätsbildung der Gebäude bei. Während Nullenergiegebäude die Synergieeffekte und das Gestaltpotenzial homogener (Solar-)Dächer häufig nutzen, bleiben übrige Neubauten hier gestalterisch zurück und nähren die in Kapitel 1.2 beschriebenen Diskussionen des mangelhaften Eingriffs beim Einsatz von patchworkartigen Solaranlagen in die Baukultur.

Während erneut deutlich wird, dass vor allem Solaranlagen ein prägendes Element von Nullenergiegebäuden sind - Gebäude ohne ein entsprechendes energetisches Ziel kommen ohne bzw. mit weitaus kleineren Anlagen aus - bedarf es bei allen Gebäuden einer Fassadengestaltung. Hier fällt beim Vergleich der betrachteten Gebäude der letzten Dekade in NRW mit den Nullenergiegebäuden eine größere Vielfalt an genutzten Fassadenmaterialien auf (s. Abbildung 9-31). Während weniger Holz- und Glasfassaden auszumachen sind,<sup>222</sup> steigt der Anteil an Klinker-, Faserzement- und bisweilen Metallfassaden. Traditionelle, regionaltypische Fassaden wie bspw. Schieferbekleidungen sind durchweg selten, wobei es hierzu auf beiden Seiten Beispiele gibt (s. DE\_147). Vor allem bei vielen kleinen Wohngebäuden ohne Ziel einer ausgeglichenen Energiebilanz sind häufig Mauer- und Klinkerfassaden realisiert. Ein Grund für die einfacheren Fassadensysteme von Nullenergiegebäuden könnten die höheren Baukosten sein. Im Mittel übersteigen die erfassten Erstellungskosten deutscher Nullenergie-Wohngebäude mit über 1.900,00 €/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub><sup>223</sup> die Baukosten üblicher deutsche Wohngebäude in den Kostengruppen 300 und 400 lt. [DESTATIS 2013a] um ca. 400,00 € (s. Abbildung 9-30). Etwas geringere Mehrkosten werden für die „EffizienzhausPlus“-Beispiele in [Hermann 2014] benannt. Sie betragen durchschnittlich 230 bis 325 €/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> (ohne die Kosten für die Elektromobilität), wobei unter den untersuchten Projekten im „EffizienzhausPlus“-Programm auch viele Fertighäuser und Projekte neueren Datums sind, wodurch niedrigere Baukosten und gesunkene Preise bei Photovoltaikanlagen bedingt sind. Auch wenn diese Aussagen auf Grund der mangelnden Zuteilung der Baujahre nur als Tendenz zu werten ist, wird deutlich, dass die

<sup>222</sup> Die Auswertung bzw. Darstellung der Kategorien und Gestaltungsmuster erfolgt abschließend ohne Unterscheidung in Typologien, wobei gilt, dass die in Abschnitt 9.2.3 erkannten Verteilungen von vermehrt Holzfassaden bei Wohngebäuden und Glasfassaden bei Nichtwohngebäuden erneut auszumachen sind

<sup>223</sup> Erfasste Netto-Werte für deutsche Wohngebäude unabhängig vom Baujahr. Der Mittelwert mitteleuropäischer Wohngebäude stützt diesen Wert mit einem Ergebnis von gut 2.000 €/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>

<sup>224</sup> Lt. [BSW 2013a] betragen der Nettoverkaufspreis für eine PV-Aufdachanlage mit einer Leistung zwischen 3 und 10 kW<sub>p</sub> inkl. Montage und Lieferung in Deutschland im ersten Quartal 2013 durchschnittlich 1.600 €/kW<sub>p</sub>

<sup>225</sup> Erneut ähneln sich die Werte für deutsche und mitteleuropäische Gebäude. Der kleinere Wert für Mehrfamilienhäuser ist durch die tlw. genutzten anderen Stromerzeuger zu erklären

Mehrkosten insgesamt jedoch nicht allein durch die Solarstromanlagen bestimmt werden. So bedeutet die durchschnittlich installierte PV-Leistung pro m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> bei angenommenen Anlagenkosten von 2.000 €/kW<sub>p</sub> <sup>224</sup> Investitionskosten in Höhe von gut 100 bei kleinen bzw. knapp 50 €/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> bei großen Wohnhäusern. <sup>225</sup>

Insgesamt steigt die Zahl von Kollagen verschiedener Fassadenmaterialien. Dies ist bei „normalen“ Gebäuden allerdings selten auf den Einsatz von Solaranlagen zurückzuführen. Der Ausdruck eines ökologischen Anspruchs - über Holzfassaden formuliert - entfällt gegenüber Gebäuden mit dem Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz häufig zugunsten einer lokalspezifischen und/oder individuellen anderen Fassadendarstellung. Trotz dieser größeren Materialvielfalt wiederholt sich aber die überwiegend homogene Gestaltung der Ansichten. Dabei nährt ein nochmals gestiegener Anteil an Putzfassaden und die damit verbundene Annahme vieler Wärmedämmverbundsysteme die Debatte, dass die formulierten energetischen Regeln nach u.a. EnEV einen Eingriff in die Gestaltung von Gebäuden und damit die Baukultur vornehmen.

Abbildung 9-30: Baukosten deutscher Wohngebäude für das Jahr 2013 nach [DESTATIS 2013a] und durchschnittliche Netto-Baukosten deutscher sowie mitteleuropäischer Nullenergie-Wohngebäude mit Baujahren zwischen 2004 und 2014 mit Standardabweichung sowie Maximal- und Minimalwerten. Es zeigt sich eine große Kostenspanne

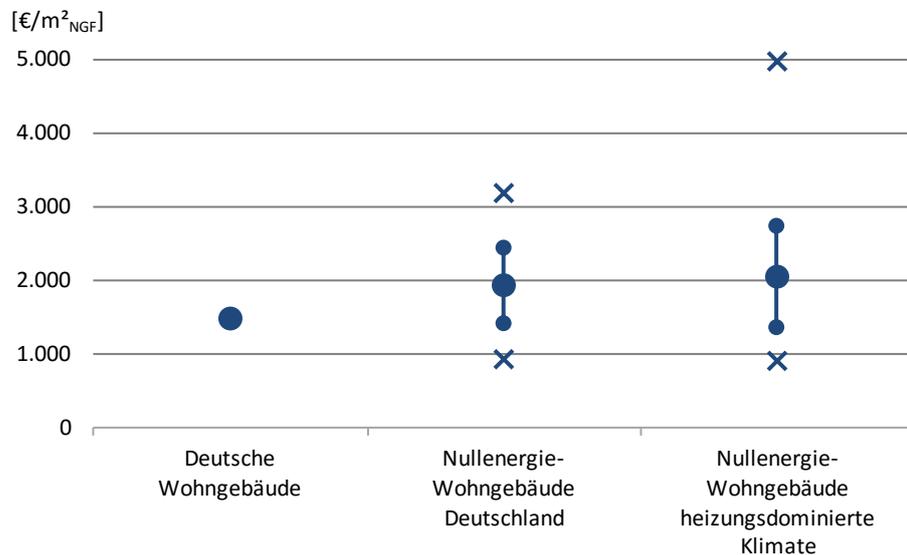
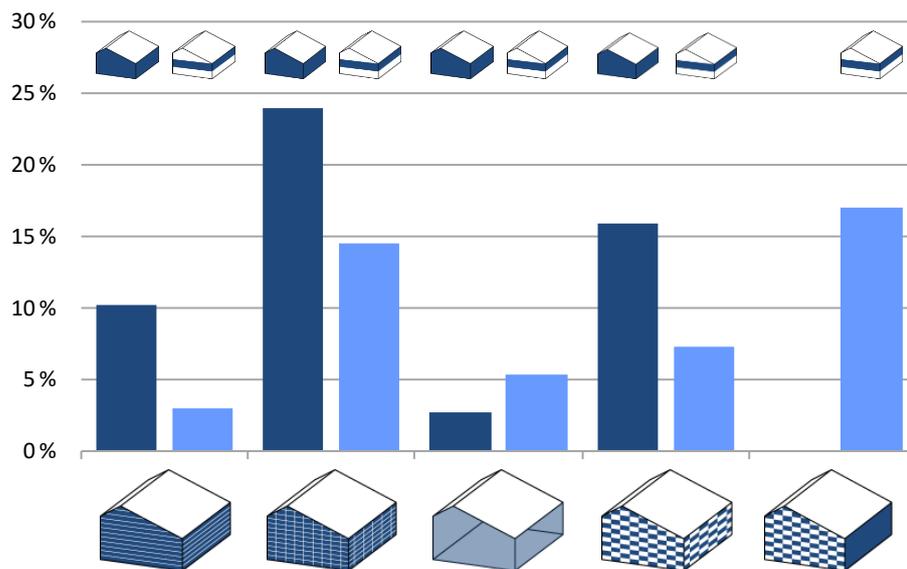


Abbildung 9-31: Verteilung der unterschiedlichen Fassadenmaterialien bei einem homogenen (jeweils linker Balken) und heterogenen (jeweils rechter Balken) Gesamtgestaltungsbild bei Neubauten der Jahre 2005 bis 2014 in Nordrhein-Westfalen.

Die Piktogramme stehen von rechts nach links für die Materialien Holz, Putz, überwiegend Glas/Glasfassade, andere Materialien und Materialkollage (nur heterogenen Fassaden zuzuordnen)



Der Vergleich von Nullenergiegebäuden mit aktuellen Bautrends bestätigt, dass vor allem Solaranlagen ein Merkmal und damit Stilelement der Nullenergiegebäude sind. Trotz ihres nicht zu umgehenden und vor allem großflächigen

Einsatzes ist dieser gestalterisch vorwiegend positiv zu werten, da Solaranlagen gegenüber der übrigen Bebauung häufiger konzeptionell und damit später auch gestalterisch eingebunden werden. Das Erscheinungsbild der übrigen Fassaden scheint bei Nullenergiegebäuden allerdings ebenfalls mehr unter der Prämisse des energetischen Ziels und Anspruchs entworfen zu werden. Gegenüber dem übrigen Baugeschehen entsteht eine geringere Material- und Identitätsvielfalt. Ob diese bei den übrigen Gebäuden allerdings konzeptionell ebenso verknüpft ist wie bei Nullenergiegebäuden, kann ebenso nicht näher beschrieben werden, wie die Frage nach einer höheren Materialgerechtigkeit.

### 9.3 **Zwischenfazit: Einfluss von Umsetzungsstrategien und Maßnahmen**

Der Einfluss der vorgestellten Umsetzungsstrategien und Maßnahmen wird zusammenfassend in einer Matrix dargestellt. Dabei werden die Erfahrungen der Interviews in Kapitel 6 als Grundlage für die Bestimmung des gestalterischen Einflusses zu Grunde gelegt. Es ergibt sich eine große Streuung innerhalb der Umsetzungsstrategien, da vielfache Maßnahmen jeweils denk-, kombinier- sowie untereinander kompensierbar sind.

Tabelle 9-3 Einfluss der vorgestellten Umsetzungsstrategien und Maßnahmen (die Nummerierungen entsprechen den Abschnitten aus Kapitel 8)

kein Einfluss, neutral (eine Spanne von/bis auf)
  Einfluss vorhanden
  großer Einfluss
  sehr großer Einfluss (Doppelte Bewertungen zeigen)

Umsetzungsstrategie	Eventuelles Unterscheidungskriterium, Kommentar	Einfluss auf nötige Photovoltaikfläche	Formaler Einfluss	Gestalterischer Einfluss	Energetische Relevanz, gebäudebezogen	Vornehmlich mögliche Wechselbeziehung mit
8.1.1.2 Optimierte Gebäudekompaktheit		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8.1.1.3
8.1.1.3 Hohe Wärmedämmung		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8.1.1.2
8.1.1.4 Verringerte Lüftungswärmeverluste		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
8.1.1.5 Passive Wärmegewinne		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tageslichtnutzung
8.1.1.5 Tageslichtnutzung		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Passive Wärmegewinne
8.1.1.6 Sommerlicher Wärmeschutz		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	8.2.1
8.1.1.7 Warmwasserbereitstellung	Hauptaugenmerk liegt auf der Nutzung von Solarthermie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	8.2.1
8.1.1.8 Graue Energie verringern	Abhängig von Bilanzgrenze	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
8.1.2 Geringe nutzungsspezifische Verbräuche		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
8.2.1 Thermische Energie bereitstellen	Abhängig von Primärenergiefaktoren und Anteil Solarthermie	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	8.1.1.7; 8.3.1
8.2.2 Strom erzeugen	Abhängig von KWK-Anteilen oder Windkraftrerträgen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	8.3.2			
8.3.1 Wärme speichern		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	8.2.1; 8.6
8.3.2 Strom speichern		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	8.4; 8.6
8.4 Gebäudeautomation und Nutzerinformation		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	8.3.2; 8.6
8.5 Clusterbildung		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8.6 Erhöhte Deckungsraten		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	8.2.2; 8.3.2; 8.4

# Kapitel 10

## Schlussbetrachtung

Pixel - AU\_3, Foto John Gollings

Diskurs der Hypothesen

Fazit und Ausblick



## 10 Schlussbetrachtung

Die in dieser Arbeit gewonnenen und in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten zentralen Ergebnisse und Erkenntnisse werden abschließend betrachtet und den eingangs aufgestellten Hypothesen zusammenfassend gegenübergestellt. Dies erfolgt in der Reihenfolge der formulierten Hypothesen.

### 10.1 Diskurs der Hypothesen

#### 10.1.1 Architektonischer Einfluss methodischer Festlegungen

##### 10.1.1.1 Hypothese 1

Methodische Festlegungen formulierter Definitionsansätze zu Nullenergiegebäuden nehmen je nach Auslegung erkenn- und quantitativ belegbaren Einfluss auf die Architektur der Gebäude

Aufbauend auf wahrgenommenen Debatten, den geführten Interviews mit Planern, die bereits Nullenergiegebäude praktisch umgesetzt haben, und auf eigenen Erkenntnissen wird die Veränderung der Größe einer Photovoltaikanlage als Indikator zur Bestimmung des Einflusses verschiedener methodischer Festlegungen beim Ziel einer ausgeglichenen Energiebilanz und deren Auslegung genutzt. Dies gründet auf vor allem auf der Prägnanz von PV-Anlagen sowohl für das energetische als auch baulich-gestalterische Konzept. Die Wahl des Kennwerts  $m^2_{PV}$  bzw.  $m^2_{PV}/m^2_{NGF}$  stellt sich als praktikabel, im Rahmen eines Gebäudes als gut kommunizierbar und damit als richtig heraus.

Als Ergebnis der Analysen gilt, dass die vorgestellten und untersuchten methodischen Festlegungen im Rahmen einer ausgeglichenen Energiebilanz sowie deren unterschiedliche Auslegung grundsätzlich einen geringen bis sehr großen Einfluss auf die Größe der für einen vollständigen Ausgleich der Jahresenergiebilanz nötigen Solarstromanlagen und damit die Gebäude haben können. Die Steigerung der jeweils ermittelten Fläche der PV-Anlagen ist quantifizierbar und beträgt zwischen 0 und über 3.000 %. Sie kann in Einzelfällen allerdings auch negativ ausfallen und damit den Effekt eines geringeren Bedarfs an Erzeugungskapazität haben. Generell kann sich der gestalterische Einfluss vom formalen Einfluss mitunter ebenso abheben, wie sich ein Unterschied zwischen der architektonischen und energetischen Relevanz verschiedener Festlegungsoptionen ergeben kann.

Eine aus Sicht des Gebäudes untergeordnete energetische Relevanz bei gleichzeitig stark erhöhten Erzeugungskapazitäten am Gebäude und damit großem Eingriff in die Gestaltungsfreiheit erscheint fraglich. Insbesondere unterschiedliche Umrechnungsfaktoren können einen sehr großen Einfluss auf die Erzeugungskapazitäten haben, während die energetische Bedeutung für das Gebäude eine untergeordnete Rolle spielt und zudem zunehmend weniger aussagekräftig ist, wenn Aspekte wie eine Gewichtungssasymmetrie, politische Einflussnahme oder saisonale Schwankungen in die Faktoren eingehen.<sup>226</sup> Trotz ökologisch und gesamtenergetisch nachvollziehbarer Ansätze müssen ein Bezug zum Gebäude(-energieverbrauch) sowie eine Erfüllbarkeit der Energiebilanz bestehen bleiben. Ein Überfrachten der Energiebilanz mit (zu) vielen weiteren und (zu) weitgreifenden Festlegungen stellt ihre Erreichbarkeit auf der Ebene von Gebäuden stark in Frage bzw. macht diese bisweilen unmöglich. Der

<sup>226</sup> Im Grunde sind diese Angaben ohne den Anspruch an den Ausgleich der Energiebilanz nicht mehr aussagekräftig, da mittlerweile eine Vielzahl an Entscheidungen und Aspekten die Umrechnungsfaktoren bestimmen und die Bewertung der energetischen Qualität eines Gebäudes damit nicht mehr eindeutig ist bzw. überlagert wird

bilanzielle Ausgleich der (Elektro-)Mobilität oder der Grauen Energie kann je nach Typologie zu einer sehr großen Hürde innerhalb des Bilanzausgleichs von Gebäuden werden und birgt - je nach Ansatz - nicht immer einen ökologischen bzw. energetischen Vorteil. Die Erweiterung um Nebenanforderungen hinsichtlich starrer Effizienzvorgaben bewirkt auf Grund der sich ohnehin einstellenden Energieeffizienz von Nullenergiegebäuden weniger formalen Einfluss, stellt aber die Einfachheit des Bilanzgedankens sowie die Freiheit der Abwägungsmöglichkeit durch iterative Prozesse in Frage. Gleiches gilt für eine Übertragung von Anpassungswünschen aus Sicht der Gesamtenergiewirtschaft. Während die Steigerung von Eigenbedarfsdeckung und Eigenertragsnutzung aus Sicht eines Gebäudes bzw. dessen Eigentümer jeweils richtig ist und nur geringe Steigerungen bei der nötigen Ausstattung mit Solarstromanlagen bedeuten, sind netzreaktive Anpassungen hinsichtlich zeitlich variabler Ertragsüberschüsse auf Gebäudeebene sehr aufwändig und kaum anwendbar bzw. gestalterisch hinnehmbar. Eventuell dem Bilanzergebnis zur Seite gestellte Quantifizierungsgrößen müssen daher einen vorrangigen Bezug zum Gebäude und nicht zur Energiewirtschaft haben.

Ein untergeordneter formaler und/oder gestalterischer Eingriff in das Gebäude- bzw. Gesamtkonzept bei hohem energetischem Nutzen sollte hingegen forciert werden. Die Lastgangadaption verringert kurzzeitige Überbelastungen im Haus- wie auch Stromnetz und bedarf bei Verzicht auf thermische Langzeitspeicher oder einer Differenzierung von Solarstromanlagen insbesondere bei der Nutzung von BHKWs oder kleinen Batteriespeichern keiner formalen Eingriffe. Auch ein eventuell als solches zu bezeichnendes Gleichgewicht zwischen Aufwendung auf Seite der Energiebereitstellung, Energieeinsparung und energetischer Relevanz wie bei der Einbeziehung der nutzungsspezifischen Verbraucher in die Bilanzgrenze kann in die Verantwortung des Gebäudesektors übertragen werden.

Sofern Nullenergiegebäude verwirklicht werden, kann die Anforderung eines formulierten Anteils an erneuerbaren Energieträgern entfallen, da hier ohnehin signifikante Anteile erreicht werden.

#### 10.1.1.2 Hypothese 2

Durch den Bezug der ausgeglichenen Energiebilanz auf den Zeitraum eines Jahres entstehen saisonale Ungleichgewichte zwischen selbsterzeugter und genutzter Energie am Gebäude. Diese lassen sich ebenso darstellen wie Optionen einer gebäudeeigenen Adaption

Die der Literatur entnommenen und teils selbst entwickelten Faktoren zur Quantifizierung der Unterschiede und Übereinstimmungen zwischen Energieerträgen und -bedarfen bei Nullenergiegebäuden erzielen plausible Ergebnisse bei monatlichen Berechnungsschritten in Anlehnung an das Berechnungsverfahren der Energieeinsparverordnung bzw. DIN 18599. Bei Zeitschritten unterhalb eines Tages hängen die Quoten allerdings stark vom Technikkonzept und den genutzten Endenergieträgern ab. Besonders eine fehlende nächtliche Erzeugung (bspw. bei Nur-Strom-Gebäuden) und die im Verlauf eines Tages auftretenden Lastunterschiede verändern die Ergebnisse der Quantifizierungsgrößen gegenüber den monatlichen Ergebnissen.

Die erstellten Parameterstudien weisen den Einfluss verschiedener technologischer Optionen auf die monatlichen Stromprofile und saisonale Deckungsraten

aus. Ein Vergleich mit der jeweils für einen vollständigen Ausgleich der Energiebilanz nötigen Fläche der Solarstromanlage belegt zudem eine Wechselbeziehung zwischen den fiktiven Deckungsraten und dem formalen wie gestalterischen Einfluss. Hier ist allerdings auch das (mitteleuropäische) Klima als bedeutende Einflussgröße zu nennen. An südlicheren Standorten mit milderem Winterzeiten sowie höherer Solareinstrahlung ergeben sich bei alleiniger Nutzung von Solarstromanlagen als Erzeugungs- bzw. Deckungskomponente deutlich gleichmäßigere Lastprofile ohne eine übermäßige Auswirkung auf die Größe der Solarstromanlagen. Die Überprüfung der Ergebnisse mit gemessenen Energiekennwerten von bestehenden Nullenergiegebäuden stützt die Anwendbarkeit der gewählten Faktoren ebenso wie den Zusammenhang zwischen unterschiedlichen Quantifizierungsergebnissen und energetischen Konzepten bzw. die gestalterische Einflussnahme durch den sich wandelnden Flächenbedarf für PV-Anlagen.

Sofern einzelne Aspekte und Sichtweisen betrachtet werden, gilt, dass sich hohe Raten für die fiktive Eigenbedarfsdeckung in erster Linie durch große Stromerträge und vor allem -überschüsse einstellen. Während positive Energie- bzw. Strombilanzen - sofern nicht durch künstlich positiv beeinflusste Gewichtungsoptionen erwirkt - bei den meisten Konzepten mit vergrößerten Solarstromanlagen sowie der Schwierigkeit deren gestalterischer Einbindung einhergehen, lassen sich hohe Deckungsraten in Kombination mit verhältnismäßig kleinen Solarstromanlagen nur bei der gleichzeitigen Nutzung von KWK-Anlagen realisieren. Hier ergänzen die (winterlichen) Stromerträge aus der KWK die sommerlichen Stromerträge der PV-Anlagen und können auf monatlicher Basis meist mehr als 100 % des Strombedarfs decken. Verringerte Wärmebedarfe durch eine Gebäudeeffizienz können ebenfalls zu geringeren Stromüberschüssen im Sommer und damit zu gleichmäßigen Profilen führen. Verringerte Strombedarfe machen sich hingegen auf Grund der gleichzeitig möglichen Verringerung der Leistung der PV-Anlagen bei der Quote der Eigenbedarfsdeckung wenig bemerkbar, wobei die Solarstromkapazität und damit deren Flächenanforderung sinken können. Der Effekt eines verringerten Nutz- bzw. Endenergiebedarfs durch Einsparungen über thermische Solaranlagen lässt sich hingegen kaum ausmachen. Hier verwischen die Umrechnungs- und Gewichtungsfaktoren den Einsparungseffekt. Es gilt zudem, dass dann zwei unterschiedliche Solaranlagen-systeme in die Gebäudehülle eingebunden werden müssen.

Aus wirtschaftlicher Sicht und auf Grund zukünftig verringerter Vergütungssätze für die Stromeinspeisung wird die Quote des Verbrauchs von eigens erzeugtem Strom (Eigenertragsnutzung) bedeutender. Der Effekt verringerter Wärme- bzw. Primärenergiebedarfe sowie damit einhergehender geringerer Solarstromkapazitäten durch thermische Solaranlagen verpufft aus Sicht der Gestaltung. Eine Veränderung bei der Eigenertragsnutzung ist kaum vorhanden, während der Architektureinfluss hoch bleibt, weil auch die Solarthermieanlagen in die Gebäudehülle eingebunden werden müssen. Des Weiteren gilt, dass große Stromerträge und vor allem -überschüsse für eine hohe Quote bei der Eigenertragsnutzung tendenziell nachteilig sind, da sie den Strombedarf meist deutlich übersteigen und Strom eingespeist, also nicht selbst genutzt wird. Dies gilt ganzjährig und damit vor allem für die Kombination von PV- und KWK-Anlagen. Allerdings wird das Potenzial der steuerbaren Stromerzeugung bisher ebenso wenig berücksichtigt wie die Gleichmäßigkeit der Strombedarfsdeckung bzw. -einspeisung. Zudem geht die deutlich geringere Fläche von Solarstromanlagen gegenüber anderen technischen Konzepten in diese Betrachtung nicht mit ein.

Bei anderen technischen Konzepten werden hohe fiktive Quoten zur Eigenertragsnutzung auf monatlicher Basis bei Nullenergiegebäuden nur durch große bis sehr große PV-Anlagen erreicht, deren Erträge im Winter vollständig, im Sommer aber kaum genutzt werden. Geringe winterliche Erträge erwirken erneut das oben beschriebene saisonale Ungleichgewicht sowie die externe Strombereitstellung aus (atomar und/oder fossil betriebenen) Kraftwerken. Demnach ist hier der Faktor der fiktiven Nutzung des Stromnetzes als Saisonspeicher (Netzbelastung) ebenfalls entsprechend hoch. Zudem besteht ein mitunter hoher gestalterischer Aufwand zur Installation der Solaranlagen. Erneut erwirken KWK-Anlagen bei der Betrachtung im Zeitintervall Monat durchgehend keine Speicheranforderungen gegenüber dem Stromnetz, da die Stromerzeugung den Strombedarf in jedem Monat übersteigt und eingespeiste Stromüberschüsse nicht zurückgefordert werden. Die Überschusseinspeisung ist hingegen entsprechend hoch, wobei dem kein überdimensionaler gestalterischer Aufwand geschuldet ist, wie bei anderen Konzepten, die das Ziel verfolgen, einen zweiten, primärenergetisch unvorteilhaft bewerteten Energieträger auszugleichen. Die Beanspruchung des Stromnetzes als Speicher ist übergreifend vor allem dann gering, wenn sich ein niedriger Gesamtprimärenergie- und daraus folgend PV-Flächenbedarf zur Kompensation ergibt. Während asymmetrische oder anders beeinflusste Gewichtungsfaktoren dies je nach Auslegung bisweilen künstlich herbeiführen, ist die generelle Gebäudeeffizienz ein realistischer(-er) Ansatz.

Politisch beeinflusste Gewichtungsfaktoren und/oder (Szenarien) der Infrastruktur nachempfundene Umrechnungsfaktoren können die Quoten zwischen Energieertrag und -bedarf sowie deren Verfolgung aus Sicht von Gebäudeeigentümern und/oder Energiedienstleistern stark verfälschen und demnach zu anderen Anforderungen an die gebäudegekoppelte Energiebereitstellung, entsprechende Flächenanforderungen für Solarstromanlagen und damit die Architektur der (Nullenergie-)Gebäude führen. Während asymmetrische Gewichtungsfaktoren für Strom dessen Export gegenüber der Eigennutzung begünstigen, werden die Belastungen des Stromnetzes nicht verringert. Ebenso erhöhen monatlich variierende Umrechnungsfaktoren die Anforderung an die Stromerzeugung, wobei diese faktisch nicht dem Ausgleich von bezogener Energie sondern allein dem Stromnetz hinsichtlich einer Maximierung der Quote erneuerbar erzeugter Energie dienen. Gebäude mutieren dann - sofern die nötigen PV-Flächen überhaupt noch realisiert werden können - zu Kraftwerken, während gestalterische Aspekte unterminiert werden.

Zusammenfassend wird ersichtlich, dass für einzelne Quantifizierungsgrößen je nach Technikkonzept durchaus gute Werte erzielt werden können. Dennoch gilt, dass sich in einer Primärenergie- oder CO<sub>2</sub>-Bilanz verschiedene Effekte überlagern. Einzelne Quoten werden unterschiedlich beeinflusst oder erscheinen je nach Perspektive geeignet oder weniger geeignet bzw. ihre Ergebnisse gut oder weniger gut. So wird bspw. eine hohe Eigenbedarfsdeckung durch die Höhe des Strombedarfs, der Stromerträge und/oder deren Angleichung beeinflusst und ist aus Sicht des Gebäudeeigentümers anzustreben. Wird sie durch sehr große Solarstromanlagen für hohe winterliche Erträge erreicht, steigt die Herausforderung, die Anlagen architektonisch einzubinden und Belastungen im Stromnetz zu kalkulieren. Sofern die aufgezeigten Quantifizierungsgrößen genutzt werden sollen, wird daher eine Kombination mehrerer Faktoren empfohlen. Die Kombination durchgängig guter Werte gelingt in gemäßigten Klimaten vor allem durch geringe (Strom-)Verbräuche bzw. winterliche Lastspitzen sowie durch saisonal homogene Stromerträge. Letztere lassen sich während der

Heizperiode meist nicht durch adäquat einzubindende Solarstromanlagen erzielen. Hier ermöglichen die derzeitigen geringen Umrechnungsfaktoren und dadurch bedingten geringen Kompensationsansprüche von Biomassekesseln allein noch annehmbare Quoten bei den Quantifizierungsgrößen. Vielmehr wird dies aber durch das Zusammenspiel mehrerer Stromerzeuger vor Ort erreicht. Während gebäudegekoppelte Windkraftanlagen nicht als steuerbare und verlässliche Ertragskomponente gesehen werden können und als additives Element für gestalterische Herausforderungen stehen, ermöglicht allein die gleichzeitige Wärme- und Strombereitstellung von KWK-Anlagen in Kombination mit der Photovoltaik die gewünschten Effekte und ist zudem gestaltungsirrelevant.

Abseits der Untersuchung saisonaler (Un-)Gleichgewichte zwischen selbsterzeugtem und -genutztem Strom wird deutlich, dass eine Anpassung zwischen Strombedarf und -ertrag bzw. der untersuchten Quoten in kleineren Zeitschritten unterhalb eines Tages kaum durch größer dimensionierte oder differenziert orientierte PV-Anlagen möglich wird. Hier überwiegen vielmehr der große Gestalteinfluss und die hervorgerufene ästhetische Dominanz der Gebäude durch die technisch geprägte Photovoltaik. Dies wird vor dem Hintergrund der Lastanpassung im Zuge der geführten Interviews mit Planern sehr kritisch gesehen. Eine nachgeordnete architektonische Relevanz weisen dagegen thermische Pufferspeicher auf. Sie können bei bzw. in großen Volumina Wärme aus gemäß der solaren Stromerzeugung gesteuerten Wärmepumpen aufnehmen und somit eine Lastverschiebung ohne Nutzerbeteiligung bzw. -einschränkung erwirken. Dies gilt mit Nutzereinschränkung aber dafür ohne Architekturrelevanz auch für gesteuerte Kleinverbraucher. In beiden Fällen schränken geringe Stromerträge während der Winterzeiten diese Potenziale jedoch jeweils ein, was in ähnlicher Weise auch für den Einsatz von Batterien zutrifft. Sie bieten sich insbesondere bei Nur-Strom-Gebäuden an, um Stromlastprofile solaranlagen- und damit architekturunabhängig zu harmonisieren. Die gebäudebezogenen Parameter Eigenbedarfsdeckung und Eigenertragsnutzung steigen, während die Überschusseinspeisung und die Netzbelastung jeweils sinken. Zudem vergrößert sich auch der Anteil des fiktiven Netto-Stromexports. Bei ähnlichen Potenzialen stellt allerdings allein der Strom-Wärme-geführte Betrieb von KWK-Anlagen eine architektur-, nutzer- und zeitunabhängige Option dar, um die vorgestellten Quantifizierungsgrößen auch in jenen Betrachtungsmaßstäben zu optimieren und vor allem Lastprofile zu harmonisieren, in denen tatsächliche Lastschwankungen und -probleme auftreten (kleiner als ein Tag). Die Vorteile der saisonalen Angleichung bleiben dabei nahezu unberührt.

## 10.1.2 Quantifizierbare Umsetzungsmaßnahmen und typische Handlungsmuster

### 10.1.2.1 Hypothese 3

Anhand umgesetzter Nullenergiegebäude zeichnen sich eindeutige Maßnahmen in Bezug auf die Gebäudeeffizienz sowie Strategien zur Nutzung erneuerbarer Energien am Gebäude ab. Diese können quantifiziert, Rahmenbedingungen zugeordnet und als Handlungsempfehlung spezifiziert werden

Durch die Erfassung von etwa 400 Hochbauprojekten mit dem Ziel einer ausgeglichenen Energiebilanz in einer vergleichenden Datenbank lassen sich gemeinsame Strategien und zuzuordnende Maßnahmen in Bezug auf die Gebäu-

deeffizienz und zur gebäudegekoppelten Nutzung erneuerbarer Energien ausmachen, als typologiespezifisch darstellen sowie über Querschnittswerte quantifizieren. Hierzu muss allerdings neben der Typologie auch nach Klima, Bilanzgrenze und -rahmen sowie Neubau bzw. Sanierung unterschieden werden. Eindeutige und typologieübergreifend gewählte Strategien in der gemäßigten Klimazone sind mindestens die Verfolgung passivhausähnlicher Konzepte zur Gebäudeeffizienz (optimierte Wärmedämmung, Luftdichtheit und Lüftung mit WRG), Solarstromanlagen zur Deckung verbleibender (Primär-)Energiebedarfe und die Vermeidung von Kühllasten durch Sonnenschutz, moderate Fensterflächen und die Aktivierung thermischer Potenziale. Weniger eindeutige Maßnahmen treten bei der Wärmeversorgung zutage. Vor allem bei neueren Wohngebäuden überwiegen zwar Nur-Strom-Häuser, doch bieten Biomassekessel auf Grund geringer Primärenergiefaktoren oder bei Nichtwohngebäuden KWK-Anlagen ebenfalls häufig genutzte Alternativen. Eine Quantifizierung der getroffenen (und damit verbundenen) Maßnahmen ist im Querschnitt meist ebenfalls bzw. trotzdem möglich. Ein eindeutiger Zusammenhang lässt sich über den Querschnitt allerdings auf Grund der Vielzahl der genutzten und zu nutzenden Maßnahmen sowie deren Abhängigkeiten nicht direkt darstellen. Vor allem für die in großer Vielzahl vertretenen Wohn-, Verwaltungs- und Bildungsgebäude mit dem Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz können die dargestellten Ergebnisse daher als Fixpunkte und Planungsgrundlage dienen. Die erzielten Querschnittergebnisse werden durch erste Publikationen mit Querschnittbetrachtungen von Null- und Plusenergiegebäuden bzw. Projektgegenüberstellungen wie bspw. [Hermann 2014; Hegger 2012] bestätigt. Ebenso gilt allerdings, dass sich Abwägungsmöglichkeiten und bisweilen auch innerhalb einer Typologie Abweichungen ergeben. Dies basiert in Einzelfällen auf gebäude- und/oder standortspezifischen Besonderheiten, vor allem aber auf dem Prinzip der energetischen Bilanz bei gleichzeitigem Verzicht auf die Festlegung von Mindestqualitäten oder Maximalverbräuchen. Hierüber werden eine projektspezifische Schwerpunktsetzung sowie vor allem die Abwägung zwischen energetisch bedingten Entscheidungen untereinander sowie zusätzlich mit gestalterischen Gesichtspunkten möglich. Die (architektonisch) vielfältige Umsetzung des Prinzips des Nullenergiegebäudes deutet dies an, während die teils geringeren U-Werte oder höheren Heizenergiebedarfe von Nullenergiegebäuden gegenüber den bspw. in [Hanus 2007] beschriebenen, sehr effizienten Gebäuden einen eindeutigen Hinweis geben. Solange eine konkrete normative Vorgabe für klimaneutrale Gebäude fehlt, bietet sich neben den dargestellten Querschnittparametern auch die Beachtung der Ergebnisse der Parameterstudien zu den möglichen methodischen Festlegungen als Handlungsgrundlage an.

Wegen der Abwägungsmöglichkeiten und ausgemachter Unterschiede innerhalb der Typologien fällt eine eindeutige Zuordnung von genutzten Maßnahmen zu Rahmenbedingungen schwer. Es lassen sich vielmehr strategische Trends erkennen:

- Klimatische Unterschiede lassen die deutlichsten Abweichungen bei den genutzten Strategien und der Auslegung von Maßnahmen erkennen. Gegenüber Nullenergiegebäuden in hiesigen Klimaten sind für die subtropische Klimazone weniger Wärmedämmung, verstärkte Anstrengungen zur Vermeidung aktiver Kühlmaßnahmen sowie saisonal gleichmäßigere und insgesamt größere Stromerträge bzw. dementsprechend kleine Solartstromanlagen auszumachen. Obwohl dies nicht durchweg neue oder spezielle Phänomene von Nullenergiegebäuden sind, wird zumindest deutlich, dass die Klimaverände-

rung das Anforderungsspektrum hiesiger Gebäude hinsichtlich des Wärmeschutzes und Kühlbedarfs bei gleichbleibenden Komfortansprüchen verändert. Ambitionierte Projekte mit und ohne Bilanzausgleich decken dies bereits ab. Integrale und vollumfassende Planungsprozesse ermöglichen das Ziel einer ausgeglichenen Energiebilanz ohne vergrößerte PV-Anlagen.

- Verschiedene Akteure und Motive führen zwar meist keine Veränderung bei quantifizierten baulichen und technischen Größenordnungen herbei, lassen aber durch die mehr oder weniger ökologisch geprägte Gestaltung der Gebäude eine mehr oder weniger umfangreiche sowie bisweilen stark auf Einzelaspekte fokussierte technische Ausstattung und vor allem die Art der Einbindung von Solaranlagen Unterschiede zu ähnlichen Gebäuden der gleichen Typologie erkennen. Dies fällt der Formulierung der Bauaufgabe zu, welche von den Bauherren maßgeblich beeinflusst wird. Der bereits zu erkennende Wandel bei verschiedenen Elementen des Solaren Bauens belegt dies. Allerdings ist aus den geführten Interviews mit Planern auch abzuleiten, dass zumindest „weiche Parameter“ wie bspw. Holzfassaden (noch) reflexartig dem Thema Nullenergiegebäude zugeordnet werden.
- Der Umstand der Sanierung formuliert hingegen von sich aus verstärkte Ansprüche. Selten bieten Bestandsgebäude in Deutschland auf Grund ihrer Konstitution und/oder baukultureller Werte die bei Neubauten erkannten (formalen) Voraussetzungen für die Sanierung mit dem Ziel einer ausgeglichenen Energiebilanz. Während bei sanierten Nullenergiegebäuden gegenüber Neubauten bspw. höhere Wärmeverbrauchs- und geringere Kompaktheits- wie auch Dichtigkeitswerte auszumachen sind, wird hier ein größeres Augenmerk auf verringerte nutzungsspezifische Verbraucher gelegt. Dennoch sind ein vergrößerter Bedarf zur Stromerzeugung durch Photovoltaik und damit ein größerer Einfluss nicht zu umgehen. Problematisch ist hierbei, dass formale Veränderungen bei Bestandsgebäuden, die helfen, den Stromertrag zu optimieren, offensichtlich selten herbeigeführt werden können. U.a. ist dies durch die Tatsache belegt, dass im Bestand viel seltener asymmetrische Dächer vorzufinden sind. Die Möglichkeiten der ausgeglichenen Energiebilanz im Bestand sind hiermit zusätzlich einschränkt. Das vorgegebene Ziel der Umstellung auf einen Klimaneutralen Gebäudebestand wird ohne externe Beiträge kaum möglich sein.
- Die Unterscheidung in Typologien wirft die meisten Unterschiede auf. Hier ist zuerst die Umsetzbarkeit des Konzepts einer ausgeglichenen Energiebilanz zu nennen. Während dies bei freistehenden Ein- und Zweifamilienhäusern kaum Widerstände aufwirft - sie machen die größte Gruppe bei den zur Kenntnis genommenen Projekten aus und nutzen in den seltensten Fällen ein zweites System zur Energieerzeugung bzw. Bedarfsdeckung -, sind weitaus weniger Mehrfamilien- und vor allem Nichtwohngebäude auszumachen. Zwar können durchgehend gleiche Effizienzstrategien und -maßnahmen erkannt und quantifiziert werden, doch weisen Letztere im Schnitt meist ein geringeres Verhältnis zwischen der Nutz- und der PV-Modulfläche auf und nutzen einen zweiten, in Ausnahmen auch externen Stromerzeuger. Kin-

dergärten bilden - analog zu kleinen Wohnhäusern mit eher geringen Nutzflächen auf wenigen Etagen - eine Ausnahme.

- Die bilanzielle Zusammenführung von sanierten und/oder großen Gebäuden verschiedener Typologien in den erweiterten Bilanzrahmen einer Siedlung stellt den Bezug zum Ziel des Klimaneutralen Gebäudebestands her. Die theoretisch vorhandenen wirtschaftlichen wie auch energetischen Potenziale und Synergien der „Economy of Scale“ werden in der Praxis bisher kaum gehoben. Dies gilt auch für die erkennbaren Aspekte einer möglichen erhöhten Dichte oder geringerer Flächen für Solaranlagen. Offensichtlich fällt es in der Praxis schwer, je einen übergeordneten Akteur für die gemeinsame Planung und den Betrieb sowie ein Umdenken bei den Nutzern zu etablieren. Auch eine direkte Verbindung zwischen zwei Gebäuden mit je einer positiven und negativen Energiebilanz im Sinne des gemeinsamen Ziels des Bilanzausgleichs und des Klimaneutralen Gebäudebestands wird bisher nur unter Experimentalbedingungen verwirklicht.
- Die Hinzunahme externer Stromerzeuger sowie die Bilanzierung auf Ebene von Gebäudeclustern weisen darauf hin, dass auch den methodischen Festlegungen als Rahmenbedingung eine große Bedeutung zukommt. Dies belegen die hierzu erstellten Parameterstudien sowie die Tatsache, dass mit der zum Zeitpunkt der Arbeit gültigen Normung kein Nullenergiegebäude berechnet werden kann. Neben den im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Einflüssen der unterschiedlich fokussierten Quoten zur Übereinstimmung von Energiebedarf und -ertrag sowie der Aufweichung der durch die Gebäudeeffizienz geschaffenen energetischen Tatsachen durch Umrechnungs- und Gewichtungsfaktoren mitsamt der massiven Konsequenzen für die differierende Energieerzeugung sind hier vor allem Bilanzgrenze und -rahmen zu nennen. Beide bestimmen aus unterschiedlicher Perspektive den Entscheid über nötige Ertragskapazitäten und deren Einbindung in Gebäude- und Energiekonzept (Bilanzgrenze auf Seite der Energieverbräuche, Bilanzrahmen auf Seite der Erzeuger). Je nach Festlegung und Kombination sind hier enorme Unterschiede bei der als Vergleichsparameter genutzten Solarstromleistung bzw. hierzu nötigen Fläche als Architekturparameter zu erkennen.
- Werden Bilanzgrenze und Bilanzrahmen nicht nur räumlich sondern auch zeitlich allein auf das Gebäude projiziert und in eine direkte Abhängigkeit gesetzt, gilt dies umso mehr. Der dann zugrundegelegte technische Extremansatz einer vollständigen oder zumindest energieträgerspezifischen Energieautarkie erfordert enorme thermische Speicher und entsprechende Volumina sowie vergrößerte und flexible Erzeugungsleistungen ein. Batterien als Kurzzeitspeicher spielen zwar eine untergeordnete architektonische Rolle, ermöglichen dies aber auf Grund der mangelnden Fähigkeit der Langzeitspeicherung (in der Breite) bislang nicht.
- Die Realisierung eines Bilanzausgleichs über den Bezug zur Energieinfrastruktur erscheint praktikabler. Allerdings weisen die unterschiedlichen Indikatoren und dabei im Besonderen quasi-dynamische Umrechnungsfaktoren auf den hier stattfindenden Wandel zu einer erhöhten Quote und Abhängigkeit von erneuerbaren Energiequellen sowie deren zeitlicher Variabilität hin. Sofern dies an die (Nullener-

gie-)Gebäude weitergegeben wird, sind deren technische Anforderungen kaum mehr umsetzbar sowie gestalterisch vertretbar.

Die geführten Interviews belegen, dass die im Zuge dieser Arbeit vorgestellten Strategien wichtige Planungsparameter sind, nahezu durchweg als gestaltungsrelevant und energetisch wichtig eingeordnet und bereits zu Beginn einer Planung bedacht werden. Hier kann erneut umschrieben werden, dass das Passivhauskonzept, die Strategie verringerter Wärmelasten und vermiedener aktiver Kühlung, je nach Bilanzgrenze eine Ausstattung mit sehr effizienter Beleuchtung und Geräten sowie Solarstromanlage eine gute Ausgangsbasis bietet. Doch auch wenn sich anhand der Querschnittauswertungen der Wohn-, Verwaltungs- und Bildungsgebäude mit dem Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz sowie deren Vielzahl Fixpunkte als Planungsgrundlage darstellen lassen, ist eine konkrete Handlungsempfehlung für die Umsetzung von Nullenergiegebäuden nicht allgemeingültig aufzustellen. Durch die alleinigen Grundsätze des Bilanzansatzes „Energieverbrauch minimieren“ und dessen „Ausgleich durch die Nutzung erneuerbarer Energien“ ergeben sich viele Abwägungsmöglichkeiten, in die sich konzeptionelle, nutzungsspezifische und methodischen Aspekte frei einbinden lassen. Auch die Besonderheit von Rahmenbedingungen kann und muss hierüber Berücksichtigung finden. Außerdem stünde eine Art Bauanleitung für Nullenergiegebäude an dieser Stelle nicht nur den spezifischen und einzigartigen Konzeptüberlegungen bei der Entwicklung von Gebäuden sondern auch jedem technischen Fortschritt, der in Teilen bereits für die realisierten Nullenergiegebäude ablesbar ist, sowie zuletzt der sich wandelnden Normung entgegen bzw. könnte ad absurdum geführt werden. Hier gilt das der Arbeit vorangestellte Zitat Mies van der Rohe als Aufforderung und Warnung zugleich.

### 10.1.3 Gestalterische Freiheiten und Erhalt/Entwicklung der Baukultur bei ausgeglichener Energiebilanz

#### 10.1.3.1 Hypothese 4

Das Ziel der ausgeglichenen Energiebilanz prägt die Architektur von Nullenergiegebäuden, lässt gestalterische Freiheiten aber zu

Die untersuchten Strategien und Maßnahmen auf dem Weg zu einer ausgeglichenen Energiebilanz von Gebäuden zeigen in vieler Hinsicht klare und wiedererkennbare Trends auf. Dabei sind Solaranlagen als das prägende Element und Unterscheidungsmerkmal im Vergleich zu anderen Gebäuden ohne Ambitionen hinsichtlich einer ausgeglichenen Energiebilanz zu nennen. Daher stützen bereits die Modulfläche und die erkennbaren formalen Auswirkungen allein die Hypothese, dass das Ziel der ausgeglichenen Energiebilanz die Architektur von Nullenergiegebäuden prägt. Dies gilt umso mehr, wenn besondere (zukünftige) Szenarien der Primärenergie- oder Emissionsgewichtung genutzt werden. Alle übrigen getroffenen, energetisch bedingten Maßnahmen wie bspw. die Gebäudekompaktheit, eine erhöhte Wärmedämmung sowie der Umgang mit Fensterflächen, deren Verteilung und Verschattung prägen ebenfalls die Gebäude, doch wird erst ihre Kombination und nahezu vollständige Vereinigung im Konzept eines Nullenergiegebäudes bedeutsam. Sie unterscheiden sich einzeln betrachtet nicht zwingend und durchgängig von übrigen Bauten und sind somit von außen auch nicht direkt als unerlässlicher Wegbereiter des Ziels der ausgeglichenen Energiebilanz erkenntlich.<sup>227</sup> Darüber hinaus gilt, dass diese Maßnahmen neben der energetischen in vielen Fällen auch eine komfortbe-

<sup>227</sup> Hierzu wird allerdings vorausgesetzt, dass der Vergleich mit sonstigen Gebäuden darauf basiert, dass diese die Mindeststandards nach EnEV einzuhalten haben und nicht als Bauten ohne Vorgaben gelten

dingte Funktion innehaben. Ähnliches gilt für nachgeordnete Maßnahmen wie z.B. die nötigen Deckenhöhen für Lüftungskanäle, unverkleidete Wand- oder Deckenflächen zur thermischen Bauteilaktivierung oder Jalousien zur Verschattung. Architektonisch nicht relevant sind bspw. Wasserspararmaturen oder sparsame (Haushalts-)Geräte, Pumpen oder Ventilatoren. Ebenfalls nachgeordnet aber architektonisch bedeutsam ist hingegen die Systemwahl zur Wärmebereitstellung. Während der Einfluss auf die nutzbare Nettogrundfläche bzw. das Maß der baulichen Nutzung (GRZ, GFZ und BMZ) durch den schwankenden Raum- bzw. Flächenbedarf für Brennstofflagerung, Schornstein, thermische Speicher oder Kessel noch eher gering ist, hat die ebenfalls hiermit verknüpfte Wahl der Umrechnungsfaktoren eine direkte und durchaus bedeutsame Konsequenz bezüglich der Größe der Solarstromanlage sowie dadurch bedingt auch Form und Gestaltung. Der oben genannte Beleg der Hypothese wird hierdurch gestützt. Dies gilt jeweils für die am meisten wahrgenommene Methodik des primärenergetischen oder emissionsbasierten Bilanzausgleichs im Zyklus eines Jahres. Erst hierüber ergeben sich im Gegensatz zu Labeln mit eindeutigen Anforderungskennwerten für bspw. den Heizenergiebedarf Abwägungsmöglichkeiten, die auch das Referenzgebäudeverfahren der EnEV in ähnlicher Weise vorsieht. Dies ist bspw. durch den Vergleich mit sehr effizienten Gebäuden ohne Bilanzausgleich in puncto der Fensterflächenverteilung ersichtlich. Extreme Konzepte zur autarken Wärmeversorgung bzw. saisonalen Speicherung von Wärme erfordern zusätzlich große Flächen und Volumina im Gebäudeinnern, um die Speicher unterzubringen. Während der nötige Raumbedarf erheblich, äußerlich aber nicht unbedingt wahrnehmbar ist, hat die Modifikation methodischer Anforderungsparameter und Sichtweisen insbesondere zur Steigerung von solaren Deckungsquoten mitunter große Auswirkungen auf die Prägnanz des energetischen Ziels auf die Gebäudearchitektur, was die hierzu erstellten Parameterstudien zur Veränderung der Deckungsquoten belegen. Allerdings gilt dies hauptsächlich und erneut für die ohnehin bedeutsamen PV-Anlagen bzw. die gesamte Strategie zur Stromerzeugung. Andere Strategien bzw. Maßnahmen bspw. zur Energieeinsparung können im Rahmen der Energiebilanz kaum eine ähnliche energetisch-kompensatorische wie auch gestalterisch-beeinflussende Relevanz einnehmen.

Für (neu erstellte) Nullenergiegebäude lassen sich abseits quantifizierbarer Technikstrategien und Maßnahmen auch in Bezug auf die Form eindeutige Trends aufzeigen. So weist mehr als jedes zweite Nullenergiegebäude eine sehr kompakte Gebäudeform auf, wobei dies in den überwiegenden Fällen energetische Gründe hat und zumindest bei kleinen Wohngebäuden auch nicht durch den Bedarf an Fläche für Solaranlagen aufgegeben wird. Bei den übrigen Typologien und vor allem verbrauchsintensiven Nichtwohngebäuden ist Letzteres hingegen charakteristisch und oft Teil des Konzepts. Hier entstehen in erster Linie flächige Gebäude mit ein bis maximal zwei Geschossen. Generell ergibt sich auch bei der Nutzung aktiver Solarsysteme die Wechselbeziehung, dass die Technologie die Gebäudeform bestimmt, die wiederum den Wirkungsgrad, die Anlageneffizienz und vor allem den Stromertrag beeinflusst. Der architektonische Formfindungsprozess wird um diese Facette erweitert und stark geprägt. Unabhängig von der Form wird ersichtlich, dass die flächigen Solitäre kaum städtebauliche Dichte zulassen. Generell sind mehr als zwei (Wohnen) bzw. drei Vollgeschosse (Nichtwohnen) bei Nullenergiegebäuden sehr selten, um ein ausreichendes Verhältnis zwischen Nutz- und solar aktivierbarer Hüllfläche zu erreichen. Ausnahmen basieren auf Erzeugungs- bzw. Versorgungskonzepten,

die hiervon nicht allein abhängig sind. Die einzig mehrfach wahrgenommene Option dazu ist derzeit die Kraft-Wärme-Kopplung.

Analog zur Kompaktheit kleiner Nullenergie-(Wohn-)Gebäude bzw. den eher ausladenden Nichtwohngebäuden sind asymmetrische Satteldächer - nahezu durchgehend energetisch begründet - bzw. Flachdächer - seltener direkt mit dem Energiekonzept zu verbinden - überdurchschnittlich oft auszumachen. Anlass hierzu geben erneut die nötigen Solar(-strom-)anlagen bzw. deren Flächenbedarf. Dass Walm-, Zelt- oder Mansarddächer sowie durch Gauben aufgeteilte Dachlandschaften, die dem Ertrag von Solaranlagen und deren Modularität entgegenstehen, bei neuen Nullenergiegebäuden kaum ein Option sind, zeigt den Zusammenhang von Energiekonzept und Gebäudeform. Klassische Sattel- oder Zeltdächer bieten sich für Solaranlagen ebenfalls an, entsprechen dem formalen Urtyp eines Hauses und werden daher häufig ausgeführt. Unabhängig von der Symmetrie der Schrägdächer verlängern lange Dachüberstände diese allerdings wiederholt über die Traufe hinaus und brechen die Urform wiederum auf. Hintergrund ist die Verschattung von Fenstern sowie die Ausweitung der Solaranlagen bei gleichzeitigem Erhalt des guten A/V-Verhältnisses. Formale Extreme wie horizontal oder vertikal gekippte Fassaden oder sog. Sägezahn-Fassaden, die sich von üblichen Bauformen stark unterscheiden, sind hingegen weder stark gebräuchlich noch energetisch erforderlich. Diese formal überhöhten und konzeptionell bestimmenden Muster basieren in den allermeisten Fällen auf kommunikativen, demonstrativen und/oder marketingrelevanten Hintergründen. Im Gegensatz dazu werden Elemente wie Dachsheds, Atrien, Wintergärten oder Glasdoppelfassaden bei Nullenergiegebäuden konzeptionell in die Gebäudekubatur eingebunden, nehmen aber - da aus dem Baugeschehen zur Steigerung des Innenraumkomforts, der Aufenthaltsqualität oder der natürlichen Beleuchtung und Lüftung bekannt - keine außergewöhnliche Rolle ein. Ein prägender Charakter kann hier nicht bzw. maximal wieder durch Kombinationen attestiert werden.

Ähnlich wie die Form prägen Solaranlagen auch das Erscheinungsbild von Nullenergiegebäuden durch ihre sichtbare Einbindung in die Hüllfläche. Vor allem PV-Anlagen sind ein unverzichtbarer Baustein und können nicht im Gebäudeinnern verborgen werden, sondern fordern vielmehr eine besondere Exposition auf häufig einsehbaren Hüllflächen ein. Hierdurch, auf Grund ihrer Größe, Farbigkeit und Modularität erlangen sie höchste Prägnanz bei der Gestaltung von Nullenergiegebäuden. Ein negativer Gestalteinfluss wird in der Praxis - abseits von nicht einsehbaren Flachdächern - allein dadurch verringert oder vermieden, indem PV-Anlagen vollflächig in die Gebäudehaut integriert und die Potenziale homogener Flächen genutzt werden. Alternativ ist zumindest einer der beiden Aspekte (vollflächig und integriert) anzustreben. Besonders bei nachträglicher Installation treten hierzu Probleme auf. Teilflächige und/oder nicht integrierte Solarstromanlagen haben bestenfalls einen neutralen Gestalteinfluss, wobei eine Identitätsbildung nur unter Marketingaspekten gelingen kann. Für solarthermische Anlagen kann nicht einmal dies im Allgemeinen gelten. Sie werden bei Nullenergiegebäuden übergreifend kleinteilig sowie mehrheitlich additiv installiert (bei Sanierungen fast durchgehend) und heben sich damit nicht vom allgemeinen Baugeschehen ab. Insofern kann erst eine Verbesserung im Sinne integrierter Systeme gestalterisch neutral bis positiv wirken.<sup>228</sup> Hierüber erlangen allerdings weniger die Anlagen eine gestalterische Prägnanz als vielmehr die Gebäude eine technische Identität. Dies entspricht zumindest nicht dem Wunsch der interviewten Planer.

<sup>228</sup> Eine vollflächige Einbindung ist aus energetischen bzw. konzeptionellen Gründen meist nicht sinnvoll und realisierbar

Bei der Gestaltung und Materialität der nicht durch Solaranlagen tangierten Fassaden von Nullenergiegebäuden setzt sich der Trend von Holz- und Putzfassaden aus dem übrigen Neubaugeschehen fort. Hintergrund sind die beiderseits bestehenden, hohen energetischen Anforderungen und die Tatsache, dass diese in gemäßigten Klimaten unter dem Gebot der Wirtschaftlichkeit zu einer ausgeprägten Gebäudedämmung mit entsprechenden Materialien und Baustoffen führen. Insofern ist die Materialwahl zugunsten von Holzfassaden und Wärmedämmverbundsystemen weniger eine Konsequenz des energetischen Ziels als üblicher (ökonomischer) Überlegungen, wobei zu Letzterem die Verbindung des ökologischen Interesses der beteiligten Akteure mit zumindest der Fassadengestaltung als Hauptausdrucksträger hinzukommt. Dennoch gilt, dass die gestalterischen Freiheiten eingeschränkt zu sein scheinen und nicht alle aus dem aktuellen Baugeschehen bekannten Konstruktionen gewählt werden (können). So sind detaillierte Fassaden, Sichtmauerwerks- oder -betonkonstruktionen ohne zusätzliche Putz- und Dämmschichten sowie Ganzglasfassaden sehr selten vorzufinden. Somit findet die Identitätsbildung von Nullenergiegebäuden mehr auf Basis der formalen Ausgestaltung der Gebäude statt und wird maximal durch die Homogenität (Wohnen) unterstrichen bzw. eine additive, teils technisch bedingte Detaillierung (Nichtwohngebäude) durchbrochen.

Untersucht wurden der Diskussionspunkt, dass die Hüllflächengestaltung von Nullenergiegebäuden im Szenario eines „Dämmwahns“ endet sowie die Hypothese, dass das Ziel der ausgeglichenen Energiebilanz formale Konsequenzen hat. Neben den hierzu dargestellten Erkenntnissen können allerdings keine Aussagen zum Zusammenhang zwischen den nachweislich vorhandenen formalen Konsequenzen mit der Materialwahl bzw. Hüllflächengestaltung im Zuge einer ganzheitlichen architektonischen Planung und hinsichtlich einer Materialgerechtigkeit gemacht werden. Hierzu bedarf es - nicht erfasster - projektspezifischer Erkenntnisse zu konzeptionellen Überlegungen und Beweggründen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bei Nullenergiegebäuden eine Dominanz bestimmter technischer Strategien sowie formaler und gestalterischer Optionen auszumachen ist. Es ergeben sich eindeutige Trends, die allerdings nicht immer allein auf das Ziel des Nullenergiegebäudes zurückzuführen sind. Abwägungsmöglichkeiten bleiben durchweg bestehen. Während die Anzahl formaler Optionen dabei eher gering ist - es gilt „*form follows energy*“ -, belegen dies vor allem technische Variationen und eine Vielzahl erkannter (Gestaltungs-)Unterschiede. Die Gestaltung ist weniger mit der Wahl der Wärmedämmung verknüpft als mit dem kreativen Umgang mit Materialien - daher gilt nicht „*design follows energy*“. Ein identitätsstiftendes und kommunizierendes Gebäudedesign sowie konzeptionelle Verknüpfungen bleiben möglich. Letztere sind allerdings auf Grund der Prägnanz der Solaranlagen nur dann ohne einen energetischen Ausdruck möglich, wenn Solaranlagen klein gehalten (bspw. durch KWK) und/oder sehr gut integriert bzw. verborgen (bspw. auf Flachdach) werden können. Hiermit korrespondiert das Meinungsbild der interviewten Planer insofern, als dass sie betonen, die Gestaltung auf Grund von Abwägungsmöglichkeiten nicht dem Energiekonzept und einer technischen Prägnanz unterordnen zu müssen. Dabei wird aber auch betont, dass hierfür integrale Planungsprozesse und eine klare Formulierung der energetischen Ziele zu Planungsbeginn entscheidend sind, und dass formale Abhängigkeiten durchaus bestehen bzw. diese bereits zu Planungsbeginn bedacht werden.

### 10.1.3.2 Hypothese 5

Das Ziel des Klimaneutralen Gebäudebestands ist bei Einbeziehung heutiger Bestandsgebäude und deren energetischer Sanierung grundsätzlich und durchgehend erreichbar

Eine rein externe Versorgung der Gebäude auf Basis erneuerbarer Energieträger ist zwar physikalisch möglich, doch unter genannten Aspekten der Energielandschaften sowie der Potenziale von verfügbaren Agrarflächen als äußerst kritisch bis nicht realisierbar zu bewerten. Daraus resultiert, dass zukünftig auch sanierte Gebäude allein oder im Zusammenschluss mit anderen Gebäuden eine ausgeglichene Energie- bzw. Emissionsbilanz aufweisen sollen und die Bestandssanierung entsprechende energetische Qualitäten einschließen muss. Die bekannten Gebäude, die nach einer Sanierung eine ausgeglichene Energiebilanz erreichen, beweisen, dass diese Ziele auch im Altbau grundsätzlich möglich sind. Vom Wohn- bis hin zum Verwaltungsgebäude sind entsprechende Beispiele vorhanden, wobei zum Ausgleich des Energiebedarfs dem Neubau ähnliche Strategien und Maßnahmen genutzt werden. Dabei ist ein Plus an Blockheizkraftwerken und ein vermehrtes Augenmerk auf eine sehr effiziente Geräteausstattung auszumachen. Auch das Konzept des Nur-Strom-Hauses wird - bspw. zugunsten von primärenergetisch günstig bewerteten Biomassekesseln - seltener realisiert. Damit und durch besondere Konzepte wie bspw. An- oder Nebenbauten, die die durch Solaranlagen nutzbaren Hüllflächen erweitern bzw. diese unabhängig von der Orientierung des Bestands machen, sowie der häufigen Berücksichtigung von „grünem“ Strom in der Gebäudeenergiebilanz wird neben möglichen Umsetzungsstrategien (für die Sanierung) auch aufgezeigt, dass die Möglichkeiten der Gebäudeeffizienz ebenso wie die Potenziale zur aktiven Nutzung der Solarenergie im Bestand oft stark eingeschränkt sind. Dieser Eindruck wird verstärkt, wenn zwischen Energiebedarf bzw. -verbrauch und -ertrag asymmetrisch oder nicht statisch gewichtet wird bzw. besondere Quoten zur Eigenbedarfsdeckung erreicht werden sollen. Des Weiteren weist die verhältnismäßig geringe Anzahl der sanierten Beispiele auf die Probleme der Umsetzung des hochambitionierten Ziels nach einer Sanierung hin. Hier kommt hinzu, dass der deutsche Gebäudebestand im Mittel energetisch weit von den Effizienz- und Verbrauchswerten der Nullenergiegebäude entfernt ist und allein die erfassten Solarurbanen Gütezahlen in vielen Fällen geringe, und im Vergleich zu Nullenergiegebäuden deutlich zu kleine Potenziale zur Nutzung von Solaranlagen ausgeben. Kleinteilige Dachlandschaften stehen dem ebenso entgegen, wie der Fakt, dass die Dachform bei Sanierungsprojekten nur selten an die einfallende Solarstrahlung angepasst, geschweige denn zu asymmetrische Dächern „verformt“ werden kann. Dies gilt insbesondere für die Vielzahl innerstädtischer Gebäude in Blockbebauung, die zudem meist mehr als die bei Nullenergiegebäuden üblichen drei Geschosse aufweisen und entsprechend dicht gebaut sind. Zwar lässt sich dem gegenüberstellen, dass der deutsche Gebäudebestand durch kleine und freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser dominiert ist und sanierte Nullenergiegebäude auf Grund des guten Verhältnisses zwischen Nutz- und Dachfläche in den überwiegenden Fällen ebenfalls aus der Typologie der kleinen Wohnhäuser stammen, doch stehen Nullenergiegebäude hier wie auch in den übrigen Typologien größtenteils frei und weisen eine günstige Orientierung zur Sonne auf, so dass die Annahme hinsichtlich einer Erschwernis bei Nichtwohngebäuden mit einer Etagenanzahl größer drei in zentraler Innenstadtlage und/oder Blockrandbebauung bestehen bleibt. Als Ausweg werden Konzepte erdacht und realisiert, bei denen die nicht gebäudescharfe Definition des Klimaneutralen

Gebäudebestands ausgeschöpft wird. Die Erzeugung von Energieüberschüssen durch einzelne (Infrastruktur-)Gebäude mit der Überführung in die Energiebilanz anderer Gebäude ist eine Option, bestehende energetische Schwachstellen im Gebäudebestand auszumerzen bzw. gestalterisch oder auch ökonomisch nicht verantwortbare Durchgriffe zu vermeiden. Hierzu muss aber gelten, dass die Partnerschaft zwischen Plus- und „Nullenergie“-Gebäuden nur dann das Ausbreiten der Energielandschaften vermeiden kann, wenn ein lokaler Zusammenhang besteht und Energie nicht über große Entfernungen transportiert oder gespeichert werden muss.<sup>229</sup> Dies bieten einerseits die bekannten, aber offensichtlich mit Umsetzungsschwierigkeiten behafteten Nullenergie-Siedlungen und andererseits die beim Solar Decathlon 2014 gezeigte Idee der energetischen Bestandsaktivierung mittels einer Aufstockung um einzelne Plusenergie-Nutzeinheiten oder deren Einbringung in brachliegende Dachgeschosse bei gleichzeitiger Nachverdichtung. Neben der Möglichkeit, die tragenden Bestandsgebäude direkt und vor Ort mit Solarstrom zu versorgen, kommen die Aspekte hochliegender, damit unverschatteter sowie u.U. frei orientierbarer Solaranlagen hinzu. Eine solche Anwendung ist in der Gebäudepraxis freilich noch nicht erprobt. Zudem ist die Ausweitung der Nutzflächen (innerstädtischer) Gebäude durch Aufstockung zumindest mit Blick auf die Energiebilanz kritisch.

Die genannten technischen Schwierigkeiten, Solaranlagen zu nutzen, gelten in erster Linie für die große Zahl der Stadthäuser der Gründer- und Vorkriegszeit sowie die Bauten der 1920er und -30er Jahre. Diese sind im Besonderen auch unter gestalterischen Aspekten zu betrachten, weil ihre Fassaden u.a. durch Detaillierungen, Strukturen, Materialitäten, Farbigkeit und Proportionen stadtbildprägenden Charakter haben, die erhaltenswerten Ansichten tlw. Anlass für Denkmal- und Ensembleschutz geben und somit Probleme hinsichtlich der Steigerung der Gebäudeeffizienz hervorrufen. Die auf Grund ihrer Dicke und bauphysikalischen Vorteilen außen aufgebrachten Dämmschichten der Nullenergiegebäude stehen hier ebenso entgegen, wie die Erkenntnisse hinsichtlich der überwiegend homogenen Gestaltung von Nullenergiegebäuden mit (vorgesetzten) Holz- und Putzfassaden. Hinzu kommt die negativ empfundene, mangelhafte Integration additiver und/oder teilflächiger Solaranlagen in bestehende Dach- bzw. Fassadenstrukturen. Nullenergiegebäude mit Denkmalschutz oder zumindest historischem Hintergrund sind bisher absolute Ausnahmen und allein durch die Forschung bzw. als Demonstrationsvorhaben umgesetzt. Auch wenn die Gegebenheiten bspw. der Gebäude der 1950er, -60er und -70er Jahre in Bezug auf die aktive Nutzung der Solarstrahlung vorteilhafter sind und hier mit der (energetischen) Sanierung auch eine gestalterische Aufwertung einhergehen kann, wird bereits durch den überschlägigen Abgleich energetischer Parameter zwischen Gebäudebestand und Nullenergiegebäuden deutlich, dass das Ziel einer ausgeglichenen Energiebilanz nicht durchgängig auf Ebene von Einzelgebäuden möglich ist. Dies gilt auch dann, wenn allein energetische Parameter und Ziele zu Grunde gelegt und gestaltungsrelevante Aspekte sowie baukulturelle Interessen unberücksichtigt bleiben.

<sup>229</sup> Hierzu soll gesagt sein, dass ein Beharren auf der normativen Bilanzgrenze der aktuellen Normung (gebäude-spezifische Verbraucher) und eine dadurch bedingte Umwidmung bestehender Nullenergiegebäude, die bereits auch die nutzungsspezifischen Verbraucher ausgleichen, zu dann Plusenergiegebäuden im Sinne der Energiewende keine Vorteile birgt, auch wenn über die dann möglichen Überschüsse Bestandsgebäuden gutgeschrieben werden könnten

### 10.1.3.3 Hypothese 6

Vermeidet der Klimaneutrale Gebäudebestand externe Energielandschaften, erfordert dies die Veränderung etablierter Grundsätze von Neubauten sowie der Fassung des heutigen Baubestands. Dies führt zu einer zukünftig ablesbaren Architekturepoche

Die Ausführungen zu den vorangegangenen Hypothesen sowie die im Verlauf der Arbeit aufgestellten Vergleiche zwischen den in der Datenbank hinterlegten Nullenergiegebäuden und der aktuellen Normung, anderen effizienten Gebäuden sowie dem deutschen Gebäudebestand belegen Unterschiede hinsichtlich der energetisch-qualitativen, technischen, formalen und letztlich auch gestalterischen Grundsätze.<sup>230</sup> Für Nullenergiegebäude ergeben sich mindestens sehr hohe, über die bisherige Normung hinausgehende sowie allumfassende Anforderungen an die Gebäudeeffizienz, je nach Bilanzgrenze geringe nutzungsspezifische Verbräuche und die unbedingte sowie großflächige Nutzung von Solarstromanlagen. Darauf basieren wiederkehrende formale Muster, die sich vom üblichen Baugeschehen unterscheiden und die Gebäudedimensionen einschränken sowie mitunter ein nachgeordneter Gestaltungseinfluss. Auch wenn hierzu (gestalterische) Variationen und (qualitative) Abwägungsmöglichkeiten erkennbar sind, bedarf es gegenüber der herkömmlichen Planung konzeptioneller Anpassungen, um das Ziel einer ausgeglichenen Energiebilanz zu erreichen und in die Architektur von neuen Gebäuden einzubinden. Insofern ist davon auszugehen, dass etablierte Grundsätze durch das Konzept von Nullenergiegebäuden verändert werden. Hierauf weisen auch die eingangs der Arbeit genannten Debatten über diese veränderten Anforderungen und Konsequenzen hin. Gleiches ergibt sich aus den geführten Interviews. Der Gedanke einer ablesbaren Bauepoche der Energiewende würde bestätigen, dass die Idee des Klimaneutralen Gebäudebestands derart massiv in die Architektur eingreift, wie es ein Teil der beschriebenen Diskussionen prophezeien.

Im Bereich kleiner Wohnhäuser, die den Hauptteil des deutschen Gebäudebestands ausmachen, sind die energetischen Ziele konzeptionell wie auch technisch am einfachsten umzusetzen. Obwohl es hier keiner übermäßigen formalen Anpassung bedarf, ist diese im Sinne asymmetrischer Dächer durchaus oft zu erkennen. Spätestens bei dichten Mehrfamilienhäusern ergibt sich eine Wechselwirkung zwischen der energetischen Zielstellung und einer formalen Konsequenz. Gleiches gilt für Nichtwohngebäude. Dort bestimmt der formale Einfluss aber explizit die Größe und Höhe bzw. Geschossigkeit der Gebäude. Während eine formale Anpassung die Erfüllung der energetischen Ziele bei kleinen Wohngebäuden befruchten und hierauf maßgeblichen Einfluss nehmen kann, ist es unter normalen Umständen mit den heute am Markt verfügbaren Technologien nicht möglich, ein großes bzw. hohes Nichtwohngebäude oder verdichtete Stadtquartiere allein durch formale Kniffe diesem Ziel näher zu bringen. Insofern ergeben bzw. ergäben sich bei konsequenter Beachtung der politisch formulierten Absichten und einem Verzicht auf Energielandschaften zukünftig vermehrt kleinteilige oder große, aber flächige und nur annähernd kompakte neue Punktbebauungen, eine verstärkte Zersiedelung sowie darüber eine Veränderung des Neubaugeschehens allgemein<sup>231</sup>. Neben den formalen Konsequenzen passen sich die gestalterischen Trends dem aktuellen Baugeschehen allerdings eher an, wobei (vermutlich) ökonomische Aspekte vermehrt zu einfachen Fassadensystemen führen.

Sofern der heutige Gebäudebestand einen relevanten Beitrag auf dem Weg zu den formulierten Zielen leisten soll und das Ziel einer gebäudespezifischen,

<sup>230</sup> Dies basiert auf den erstellten Vergleichen zwischen den erfassten Nullenergiegebäuden und der aktuellen Normung bzw. dem aktuellen Querschnitt des Gebäudebestands und wird sich zukünftig abschwächen, sofern die Normung schärfere Anforderungen an Gebäude stellt und diese den Qualitäten der Nullenergiegebäude näher kommen

<sup>231</sup> sowie hypothetisch ein Aufzehren der energetischen Anstrengungen durch ein vergrößertes Verkehrsaufkommen

ausgeglichenen Energiebilanz auf Bestandsgebäude übertragen wird, müssen die oben genannten qualitativen Anforderungen hier als Veränderungen eingebracht werden. Dabei gilt es, mindestens zwischen energetischen Zielen und vorhandenen (baukulturellen) Qualitäten abzuwägen. Generell sind die Möglichkeiten, ähnliche Effizienz- bzw. Ertragswerte wie im Neubau zu erreichen und die Gebäudeenergiebilanz auszugleichen, im Bestand gering. Hierzu führen verminderte energetische Qualitäten und technische Potenziale ebenso wie gestalterische und bisweilen raumplanerische, statische bzw. materielle Gegensätze (vgl. Baubestand Kapitel 3.4 und A.3 sowie Querschnitt Kapitel 8). Auch entspricht die Dichte des derzeitigen Gebäudebestands nicht dem Anspruch an kleinteilige Gebäude. Eine deutliche Verbrauchsminderung durch eine (neue) Wärmedämmung ist nur dort zu erkennen, wo nicht baukulturelle Interessen einer Veränderung der Außenhaut entgegenstehen. Vor allem sind aber die formalen Gegebenheiten bzw. deren meist verhinderte Anpassung zu nennen. Umsetzungsbeispiele zeigen, dass formale Änderungen auch ohne Denkmalschutz oder historische Hintergründe nur in absoluten Ausnahmefällen getätigt werden (können), um Projekte zu Nullenergiegebäuden zu sanieren. Hier liegen die passenden Voraussetzungen bereits vor. Übertragen auf den Gesamtbestand bedeutet dies, dass die nötigen Eingriffe (wirtschaftlich) so aufwendig sind, dass sie ihrer Umsetzung selbst entgegenstehen. Demnach wird vor allem die Ausweitung der formalen Prinzipien neuer Nullenergiegebäude auf den Bestand vermieden und sich dieser nur moderat auf gestalterischer Ebene verändern.<sup>232</sup> Dabei ergeben sich aus dem Aspekt der Bilanz die Möglichkeiten der Gestaltung nicht allein aus einem (nicht) quantifizierten Transmissionswärmeschutzes, sondern auch aus der Kreativität im Umgang mit verschiedenen (Dämm-)Materialien während des Abwägungsprozesses.

<sup>232</sup> Die niedrige Sanierungsquote von rund 1 % in Deutschland stützt diese Annahme

In Bezug auf die Bildung einer Architekturepoche ist es nicht zwingend erforderlich, dass sich auch Bestehendes verändert. Folgt man der Definition des Duden, so ist eine Epoche, ein

*großer geschichtlicher Zeitabschnitt, dessen Beginn [...] durch einen deutlichen, einschneidenden Wandel der Verhältnisse, durch eine Wende o. Ä. gekennzeichnet ist.*

[Duden 2013]

Bezieht man dies auf den Gebäudesektor, ist der angesprochene Wandel für Neubauten mit dem Ziel einer ausgeglichenen Energiebilanz ersichtlich. Da bei konsequenter Umsetzung festgelegter politischer Ziele eine so große Gebäudeanzahl nach ähnlichen Mustern geprägt wird, findet dieser Wandel zudem in der Mitte der Gesellschaft statt und damit so nah an der breiten Masse wie bisher kaum eine andere Architekturepoche. Allerdings sind bislang nur verhältnismäßig wenige Umsetzungsbeispiele bekannt, so dass man nicht von nennenswertem Einfluss auf den Gesamtbestand deutscher Immobilien sprechen kann. Das Erzeugen von Energie wird noch nicht als der Teil der Grundfunktion von Gebäuden und somit der Baukultur wahrgenommen. Auch wenn bisherige Bauepochen meist an ausgesuchten herausragenden Beispielen und auf Basis weniger Gebäudetypologien - meist Sakralbauten - begründet wurden, so war deren Bedeutung auf Grund ihrer statischen, räumlichen oder stilistischen Neuerungen sowie der damit bedingten enormen Unterscheidung vom bis dato Obligatorischen stets groß. Anpassungen basierten immer auf technischen Neuerungen und veränderten Rahmenbedingungen aber auch auf dem Wunsch der Nutzer [Frampton 2001]. Der Werdegang effizienter Gebäude hin zu solchen, die ihren Energiebedarf selbst decken, weist demgegenüber

bereits eine lange Chronologie, viele Vorreiter und ein diffuses Bild an Initiatoren sowie Motiven auf.

Eine epochale Bedeutung könnten Gebäude des postfossilen Zeitalters nur bei einer einheitlichen Ästhetik erringen und auch nur dann, wenn sie das Baugeschehen mehrheitlich bestimmten. Dem steht das große Material- und Technologieportfolio für die primäre, sekundäre und tertiäre Struktur von Gebäuden, dessen stete Verbesserung und ein sich daraus ergebendes Kombinationspotenzial sowie ein ohnehin vorzufindender Stilmix entgegen. Eine Eigenheit bleibt prinzipiell für jede Bauaufgabe möglich. Zudem werden große Gebäude bisher kaum mit dem Ziel einer ausgeglichenen Energiebilanz umgesetzt, so dass fraglich ist, ob allein (neue) kleine Gebäude und Wohnhäuser den entscheidenden Impuls geben können.<sup>233</sup> Letztlich ist aber auch die Neubau- und Sanierungsquote in Deutschland zu gering, als dass bereits jetzt eine Ära der Architektur des energetischen Wandels ausgerufen werden kann. Für die Zukunft gilt, dass bisher weder Ziele noch Definitionen und methodische Festlegungen eindeutig und durchgängig formuliert sind und sich parallel zu deren Entwicklung auch das Umfeld verändert. Im Besonderen sind hier die Steigerung der Quote der erneuerbaren Energieträger im Stromnetz und die damit bedingten Einflüsse auf die Gebäudeenergiebilanz sowie die nötigen Solarstromkapazitäten zu nennen. Bereits jetzt „bedrohen“ zukünftig und nach Fertigstellung anzusetzende niedrige Primärenergiefaktoren bzw. Stromgutschriften die Umsetzbarkeit geplanter Nullenergiegebäude. Letztlich zeigt die überwiegende Ansicht der interviewten Planer, dass diese nicht gewillt sind, ihre Gestaltungskompetenz dem energetischen Ziel unterzuordnen. Zudem widerspricht (sich) hier tlw. auch das Klima-Manifest des Bund Deutscher Architekten „Vernunft für die Welt“, indem u.a. fixiert ist, den Einsatz von Energie, Material und Boden um ein Vielfaches verringern zu wollen [BDA 2012]. Derzeit erscheint die Verringerung von Energie UND Boden vor dem Hintergrund der benötigten niedriggeschossigen und tendenziell platzraubenden Gebäude schwierig.

Dieser Widerspruch, aber vielmehr die öffentlich geführten Debatten um das energieeffiziente Bauen generell, stützen allerdings den ebenfalls im Zusammenhang mit dem Stichwort Epoche hinterlegten Zusatz „Aufsehen erregen“. Dies wird sich verstärken, wenn die gebäudespezifische Energiebilanzierung standardmäßig angewendet und zudem bspw. asymmetrisch oder nicht statisch zwischen Energiebedarf bzw. -verbrauch und -ertrag gewichtet wird oder der Umrechnungsfaktor für Stromgutschriften weiter fällt. In beiden Fällen steigen die Flächen der Solarstromanlagen stark an und werden Gebäude technisiert bzw. gestalterisch dominiert. Insofern bleibt abzuwarten, ob politische Ziele und/oder methodische Festlegungen technologische Entwicklungen sowie architektonisches Gestaltungsvermögen überdecken und auf lange Sicht bzw. bei umfassender Anwendung zu einem eindeutig ablesbaren und einschneidenden Wandel der Verhältnisse und damit einer Epochenbildung führen. Bislang ist das Konzept von Gebäuden mit ausgeglichener Energiebilanz zumindest ablesbar. Eine Identitätsbildung findet auf Basis der formalen Ausgestaltung der Gebäude statt. Zudem hebt sich die konzeptionelle und gestalterische Integration von Solaranlagen als prägendes Element gegenüber dem übrigen Baugeschehen ab und verstärkt zusammen mit einer tendenziell nicht lokalspezifischen Fassadendarstellung den Eindruck einer eigenen, übergreifenden Identität. Die vorzufindende Einfachheit entspricht dabei weniger der gesamtheitlichen Idee des „Bauhaus-Stils“, als dass Nullenergiegebäude funktional bestimmt sind. Insofern ist die Generation der Nullenergiegebäude eine

<sup>233</sup> Hierzu ist anzumerken, dass das Label Nullenergiegebäude für (kleine) Wohnhäuser zunehmen könnte, da es sich gegenüber komplexen Gütesiegeln wie bspw. dem DGNB-Zertifikat für diese Zielgruppe anbietet und der Trend zu messbaren Größen in der Generation „Quantified Self“ steigt [Emmert 2013]

eigene Stilrichtung - eingebettet zwischen den Strömungen ökologisches Bauen, Supermodernismus und Postmoderne. Ein energetischer Wandel der Gesellschaft bzw. die Energiewende ist hieran (noch) nicht abzulesen.

## 10.2 Fazit und Ausblick

Die Effizienz von Gebäuden und bestenfalls ein bilanzieller Ausgleich all ihrer Energieverbräuche durch eigene Energieerträge sind ein vielversprechender Ansatz, die gesteckten Ziele der Energiewende zu unterstützen. Zwar ist es physikalisch denkbar, dass die Infrastruktur auch weiterhin genug („grüne“) Energie bereitstellt, um (ineffiziente) Gebäude immerzu mit Energie zu versorgen, doch ist dies sowohl technisch als auch gesellschaftlich schwerlich um- bzw. durchzusetzen, da Windräder und PV-Parks das Landschaftsbild verändern, Pumpspeicherkraftwerke Täler überfluten und vorhandene Acker- und Waldflächen vermehrt für den Anbau von Energiepflanzen genutzt werden müssten. Die Adaption von Grundsätzen für heute gebaute Gebäude hin zu Nullenergiegebäuden erscheint hingegen konsequent, ist technisch möglich und gestalterisch ähnlich dem aktuellen Baugeschehen umsetzbar.

Nullenergiegebäude sind auch ohne Nebenanforderungen überdurchschnittlich energieeffizient und erreichen sowohl niedrige Nutz-, End- und Primärenergieverbräuche als auch geringe Transmissions- und Lüftungswärmeverluste. Trotzdem, und bei eigener Deckung der verbleibenden Verbräuche, offeriert die Bilanzierung durch (technische) Abwägungsoptionen für die meisten realisierten und zu realisierenden Gebäude gestalterische Freiheiten. Hierzu gilt, dass methodische Festlegungen bisher meist auf die konkreten umgesetzten Bauaufgaben zugeschnitten waren, während aktuell seitens der (Bau-)Forschung diskutierte, weiterreichende Ansätze oft die Gesamtenergie-wirtschaft fokussieren. Desweiteren gilt für beide, dass sie zukünftig nicht zu umfassend bzw. über die Interessen des Bausektors hinaus gesteckt werden dürfen. Analytierte Auswirkungen weitergreifender Festlegungen und Quantifizierungsgrößen zeigen, dass diese die möglichen Freiheiten der Energiebilanz sowie die Anstrengungen auf der Effizienzseite mitunter konterkarieren, enorme Anstrengungen zur Aufrechterhaltung der ausgeglichenen Energiebilanz auf der Gebäudeebene aufwerfen und ein Erreichen der Bilanz formal wie auch gestalterisch bisweilen sogar unmöglich machen. Dem gegenüber stehen wiederum teils stark schwankende Lastprofile einer steigenden Zahl von Nur-Strom-Gebäuden, die - bei weiterem Anstieg - Probleme für die (winterliche) Lastdeckung und die allgemeine Netzstabilität in der Nieder- und Mittelspannungsebene hervorrufen können. Sofern (Nullenergie-)Gebäude zu einem netzreaktiven Baustein der sich wandelnden Infrastruktur und nennenswerte Stromertragsüberschüsse bei positiven Strombilanzen zeitvariabel dem Stromnetz überlassen werden sollen, drohen diese Gebäude bei engem Bilanzrahmen und ohne geeignete Energiespeicher gestalterisch zu punktuellen Solar-kraftwerken zu verkommen. Es wird schwer zu vermitteln sein, dass Nullenergiegebäude, die einen eigenen Beitrag zur Energiewende leisten, gestalterisch stark durch ihre energetische Ambition beeinflusst werden, während bspw. minimal sanierte Gebäude lediglich eine schlechtere Bewertung über ihren Energieausweis erhalten.

Im Sinne der Energiebilanz zunehmend ungünstiger werdenden Primärenergiefaktoren, deren asymmetrische Anwendung oder quasi-dynamische Gewichtungsvarianten ziehen ähnliche Konsequenzen nach sich. Nullenergiegebäude

sind unter diesen Aspekten kaum umsetzbar. Im Gegensatz zu der Erweiterung der Bilanzgrenze um bspw. nutzungsspezifische Verbraucher oder die Graue Energie gehen architektonische Optionen sowie die Akzeptanz der Planer hierbei verloren. Zudem stellt sich die Bewertung von Gebäuden anhand der Primärenergie selbst bei einem bilanziellen Ergebnis von Null zunehmend als diffus, weil nicht mehr kommunizierbar heraus. Grund hierfür sind ebenfalls die asymmetrisch zu nutzenden und/oder politisch beeinflussten Umrechnungsfaktoren. Bedeutende Anteile überschüssiger Strommengen ohne Reimportanspruch des Gebäudes sind (auf saisonaler Ebene) bisher nur mit gebäudeeigenen Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung als zweitem Stromerzeuger architekturunabhängig zu bewerkstelligen. Sie stellen auch bzw. vor allem während der Winterperiode nennenswerte Stromerträge bereit, reduzieren das auf saisonaler Ebene betrachtete Ungleichgewicht zwischen Strombedarf und -ertrag, bieten als steuer- und planbarer Erzeuger auch auf Tagesebene eine Reaktion auf variierende Lastprofile, operieren unabhängig von Wind und Wetter und ermöglichen auch für größere und energieintensive Gebäuden eine ausgeglichene Energiebilanz. Zudem können BHKWs gegenüber Wärmepumpen nicht nur einen bilanziellen sondern auch einen, die Energieversorgung entlastenden, Beitrag bieten. Dem gegenüber stehen der Energieträgerwechsel, die bisher nicht ohne fossile bzw. gasförmige Energien auskommenden Klein- und Kleinstanlagen sowie die abnehmende energetische Wirtschaftlichkeit durch asymmetrische Gewichtungsfaktoren und verringerte Gutschriften für den erzeugten Strom.

Die anderen Umsetzungsstrategien sind überwiegend weniger ambivalent und lassen sich im Sinne einer Planungsgrundlage meist quantifizieren. Auch wenn die Aussage, Nullenergiegebäude seien Passivhäuser mit PV-Anlage grundsätzlich gelten kann, greift dieser pauschale Leitsatz zu kurz. Zwar sind keine ernstzunehmenden Nullenergiegebäude ohne Solarstromanlage erfasst, doch werden vielmehr die Konzeptschwerpunkte des Passivhauses und dessen Vorläuferprojekten des sog. Solaren Bauens bei Nullenergiegebäuden frei adaptiert, umfassend addiert aber im Entstehungsprozess mit der Größe der PV-Anlagen, den Fensterflächen sowie untereinander abgewogen. Ein eindeutiger Zusammenhang lässt sich über den Querschnitt auf Grund der Vielzahl der genutzten und zu nutzenden Maßnahmen aber nicht direkt darstellen. Sehr häufig sind Nur-Strom-Gebäude das Ergebnis. Hinzu kommen umfassende Maßnahmen zur Vermeidung der aktiven Kühlung und u.U. - bei neueren Konzepten - der Energiespeicherung zur Steigerung von Eigenbedarfsdeckung und Eigenertragsnutzung. Während saisonale Wärmespeicher trotz der vorhandenen Praxistauglichkeit (auf Grund ihres raumgreifenden Einflusses auf Gebäude) selten genutzt werden, steigt die Zahl architektonisch nahezu nicht relevanter, elektrischer Kurzzeitspeicher in Form von Batterien.

Generell können Nullenergiegebäude bei konsequenter Kombination der Umsetzungsstrategien und -maßnahmen sowie vor allem über homogen eingebundene Solaranlagen eine eigene Identität sowie gestalterische Qualität erlangen, wobei additive Solaranlagen mitunter auch das Gegenteil bewirken. Im Bereich der Fassadengestaltung ist ein geringerer Zusammenhang mit dem Bilanzziel auszumachen als bei der formalen Ausgestaltung der Nullenergiegebäude. Sofern sich diese vom ökologischen Selbstporträt der Bauherren oder von der Marketingabteilung und dadurch bedingter Sonderlösungen trennen lassen, ist eine gestalterische Verbundenheit mit dem übrigen Baugeschehen bei eigener und klar ablesbarer Formensprache das Ergebnis.<sup>234</sup> Nullenergiegebäude erfordern und erbringen keine eigene einheitliche Ästhetik und keine

<sup>234</sup> Dies gilt erneut nur für bisherige Nullenergiegebäude, deren Methodik weniger die Energiewirtschaft als vielmehr die gebäudeeigene Energiebilanz fokussiert

allgemeine Gestaltungsregel. Gestalterischer und energetischer Anspruch schließen sich also nicht aus.

Die Tatsache, dass Nullenergiegebäude bei einem Verzicht auf externe „grüne“ Energie bislang selten über drei Geschosse aufweisen (können), am ehesten als Punktbebauung funktionieren und damit eine überdurchschnittliche Kompaktheit auf Gebäudeebene ebenso wie eine große städtebauliche Dichte nicht erreicht werden kann, stellt die Zielformulierung des Klimaneutralen Gebäudebestands tlw. in Frage. Zwar sind Nullenergiegebäude typologieübergreifend möglich und vor allem in der größten Gebäudegruppe - den kleinen Wohngebäuden - verhältnismäßig leicht umzusetzen, doch gilt dies bei einer gebäude-spezifischen Bilanzierung mindestens für den Großteil des urbanen Baubestands als auch für große Gebäude trotz möglicher Technologie- und Effizienzsteigerungen nicht. Die nötigen formalen und energetischen Voraussetzungen können nachträglich nicht geschaffen und/oder gestalterisch nicht vertreten werden. Dem Effizienzansatz, der in den letzten 50 Jahren immens gestiegenen Wohnfläche pro Kopf bspw. durch verdichtete Mehrfamilienhäuser beizukommen und damit zumindest den gebäudespezifischen Energiebedarf zu reduzieren, steht das eingeschränkte Potenzial zur eigenen Energieerzeugung und damit zum Bilanzausgleich verdichteter Gebäude entgegen. Extremlösungen im Kleinmaßstab, die dem Wunsch hinsichtlich privaten Eigentums im Einfamilienhausmaßstab nachkommen aber räumlicher Quantität trotzdem bauliche Qualität gegenüberstellen und Letztere preferieren (wie bspw. die einem Entwurf von Renzo Piano folgende Studie „Diogene“, s. DE\_146 oder die Beiträge zu den bisherigen Durchgängen des Solar Decathlon), beinhalten starke Einschränkungen,<sup>235</sup> lassen sich am Markt nicht etablieren und erlauben ebenfalls kaum städtebauliche Dichte (s. u.a. [Steiger 2013]). Es gilt, kompakte (Wohn-)Gebäude sowie ökologisch verdichtete, urbane Zentren auf Basis mehrgeschossiger Strukturen durch ihren Verbund und die Quartiersebene zu ermöglichen. Auch hier können im Neu- wie auch im Altbau effiziente Gebäude erschaffen und erneuerbare Energien genutzt werden, doch ergeben sich durch den Zusammenschluss zusätzliche Optionen und Synergien, die einzelne Gebäude von einer zu großen formalen wie auch gestalterischen Bürde der Energiewende und die Landschaft von übermäßiger Energiebewirtschaftung freihalten. Die „Economy bzw. Efficiency of Scale“ greift bspw. bei gemeinsam genutzten KWK-Anlagen und/oder Speichern, dem Ausbau von Wärmenetzen mit Einsatz erneuerbarer Energien sowie der zentralen (Abwasser-)Wärmerückgewinnung, der lokalen Stromverteilung im Mittel- und Niederspannungsbereich oder der direkten Einbindung von Ertragspotenzialen umliegender Infrastrukturbauten. Bisher können sämtliche Akteure nur sehr selten zusammengebracht sowie die Synergien kaum konsequent genutzt werden.

Als Ausblick bleibt, dass die Umsetzung der gesetzten Ziele zu Klima- und Ressourcenschutz, Energiewende und Klimaneutralem Gebäudebestand die Gesellschaft und die gebaute Umwelt nachhaltig verändern werden. Allseits gewünschte Gestaltungsvariationen, schnell voranschreitende technische Entwicklungen und Lösungen in der Quartiers- sowie Infrastrukturebene vermeiden aber eine eigene Epoche der Energiewende - zumindest im Gebäudesektor. Zudem sind die technischen Potenziale im Bestand und die Sanierungsquoten zu gering, als dass flächendeckend einheitliche Nullenergiegebäude entstehen. Auch der mäßige Wille zur Suffizienz steht dem entgegen. Die Frage nach einer neuen Bauepoche rückt also in den Hintergrund. Sie ist aber im Sinne der ursprünglichen Motivation Energie, Ressourcen und Klimagasemissionen zu sparen sowie für eine tatsächliche praktische Umsetzung der formu-

<sup>235</sup> Diese Erfahrungen konnten auch während der praktischen Nutzung des Solar Decathlon Beitrags des Teams der Universität Wuppertal am Standort Wuppertal gemacht werden (bspw. die externe Lagerung von Eigentum)

lierten Ziele oder die spezifische Gestaltung einzelner Gebäude auch nicht entscheidend. Gleiches gilt für den Wunsch nach guter Architektur. Vielmehr muss es zukünftig gelingen, die Übertragung der energetischen Verantwortung in Energielandschaften zu vermeiden, dazu den Gebäudesektor insgesamt energetisch zu optimieren und eine einheitliche oder zumindest typologiespezifische Definition zu finden, die einer gestalterisch wie auch energetisch unzureichenden Architektur vorbeugt. Hier sollte das Problem des Solitärprinzips von Nullenergiegebäuden und deren mangelnde Integrationsfähigkeit in bestehende Ensemble reflektiert werden, um regionale Identitäten und eine Verbundenheit zum Ort zu ermöglichen. Methodische Festlegungen müssen dazu vor allem mit Blick auf die Gebäude und zudem deren Unterschiedlichkeit festgelegt werden. Hierüber kann der Energiestandard als Qualitätsmerkmal und der Anspruch von Energieeffizienz und -erzeugung als eine weitere Grundfunktion von Gebäuden und damit auch in der Baukultur etabliert werden. Bezogen auf die Bilanzgrenze bietet es sich an, mindestens die nutzungsspezifischen Verbraucher aufzunehmen, da diese auch bei einem engen Bilanzrahmen meist vor Ort gedeckt werden können und einen großen Anteil am Gesamtenergiebedarf ausmachen. Beim Bilanzzeitraum erweist sich ein Jahr als praktikable Einheit. Im Bereich der Bewertungsverfahren tragen die nach Nutzungsbestimmung (Export oder Eigenverbrauch) und Herkunft differenzierten Primärenergiefaktoren für Strom nach DIN EN 15603 2013 den Anforderungen von Gebäude und Infrastruktur am ehesten Rechnung, und bieten sich daher als geeignete Indikatoren an. Eine alternativ oder zusätzlich auszuweisende Quantifizierung des Anteils des selbstgedeckten Strombedarfs/-verbrauchs (Eigenbedarfsdeckung), des Anteils des direkt genutzten Energieertrags (Eigenertragsnutzung) oder aber des tatsächlichen Anteils genutzter erneuerbarer Energiequellen (Renewable Energy Ratio) kommunizieren die energetischen Qualitäten von (Nullenergie-)Gebäuden in Kombination mit der Infrastruktur. Während bei den ersten beiden genannten Faktoren jedoch nicht deren vollständige Erfüllung im Sinne von 100 % relevant sein darf - dies würde Begehrlichkeiten im Sinne von größeren Solarstromanlagen aufwerfen und wiederum Schwierigkeiten bei deren Installation machen -, gehen vor allem bei letzterem Faktor die Veränderungen in der Energieinfrastruktur sowie eine eventuell externe Versorgung (für Bestandsgebäude) oder durch Nachbargebäude (im Sinne eines Nullenergieclusters) mit ein.

Im Bereich der Strategien wird der bilanzielle Zusammenschluss mehrerer Gebäude auf lokaler Ebene Synergien und Potenziale über den bisherigen Fokus auf Einzelgebäude hinaus erschließen (müssen). Teilweise werden Maßnahmen der Wärmebereitstellung und Energieerzeugung durch externe Technologien ersetzt werden. Inwiefern ganz neue Technologien wie bspw. die gebäudeeigene Nutzung von Algen (s. DE\_96) oder die künstliche Photosynthese den Weg zur ausgeglichenen Gebäudeenergiebilanz ohne eine extreme Technisierung der Gebäude vereinfachen, ist hingegen kaum absehbar. Da weder Biomasse unbegrenzt zur Verfügung steht noch andere erneuerbare Energien uneingeschränkt vor Ort verfügbar gemacht werden können, muss maximale Energieeffizienz unter Beachtung architektonischer Gegebenheiten erstes Ziel sein. Die hierzu in dieser Arbeit dargestellten Maßnahmen sind damit auch zukünftig das Mittel der Wahl auf dem Weg zum klimaneutralen Gebäudebestand. Das Abwägen zwischen verschiedenen Maßnahmen sowie zwischen einem Mehr an Effizienz oder einer größeren eigenen Energieerzeugung wird dann aber schwieriger bzw. im Sinne einer möglichen Verlagerung nach außen voraussichtlich wiederum konterkariert. Erst hier sollten erweiterte Nebenan-

forderungen als Grundlage der Partizipation in Betracht gezogen werden. Im Bereich der Planung wird es entscheidend sein, die unterschiedlichen Akteure eng zusammenzuführen. Im Sinne der Siedlungsidee gilt dies vor allem für die unterschiedlichen Bauherren und Interessensvertreter. Im Sinne von Einzelgebäuden als auch Quartiersideen zeigen die erfassten Erfahrungen, dass energetische Ziele zu Entwurfsbeginn formuliert werden müssen, um passive Strategien zur Energieeffizienz und aktive Systeme zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen integral und unmittelbar in den Entwurfsprozess einbeziehen zu können. Darüber werden verschiedene Optionen und (Abwägungs-)Möglichkeiten erschlossen sowie (ökonomische) Synergien über einen multidisziplinären Optimierungsprozess erzielt. Nur so kann Energieeffizienz zu einem Gestaltungsmerkmal bzw. die Nutzung erneuerbarer Energiequellen zu einem Ausdruckselement werden und ein architektonisch hochwertiger, klimaneutraler Gebäudebestand entstehen.

**Literatur**

**Nomenklatur**

**Eidesstattliche Erklärung**

**Kurzvita Eike Musall**

**Veröffentlichungen im Zuge dieser Arbeit**



## Literatur

- [ACMS 2007] Müller, Michael; Schlüter, Christian (2007): Verwaltungs- und Betriebsgebäude der Remscheider Entsorgungsbetriebe. Anmerkungen zu Potenzialen des nachhaltigen (Um-)bauens. Wuppertal
- [AGI 2003] Elektrotechnische Anlagen - Bautechnische Ausführung von Räumen für Batterien, Batterieräume, Arbeitsblatt J 31-1, Ausgabedatum 02.2003, zuletzt geprüft am 03.04.2014
- [Aitken 1993] Aitken, Donald W. (1993): The "Solar Hemicycle" Revisited: It's Still Showing the Way. Hg. v. Arts and Letters Wisconsin Academy of Science. Madison (1). Online verfügbar unter <http://digicoll.library.wisc.edu/cgi-bin/WI/WI-idx?type=HTML&rgn=div1&byte=1651789283>, zuletzt geprüft am 12.02.2013
- [AKNW 2014] Architektenkammer NRW (2014): Tag der Architektur Archiv. Tag der Architektur - Datenbank. Hg. v. Architektenkammer NRW. Düsseldorf. Online verfügbar unter <http://www.aknw.de/baukultur-in-nrw/tag-der-architektur/tag-der-architektur-archiv/>, zuletzt geprüft am 13.06.2014
- [Arbach 2013] Arbach, Simon; Hollinger, Raphael; Wittwer, Christof; Musall, Eike; Voss, Karsten (2013): Mini-KWK in Gründerzeitgebäuden. Zum Ausgleich von fluktuierender Stromerzeugung. In: tab 44 (03), S. 46–51
- [Bade 2014] Bade, Michael; Hasse, Clemens; Kuhnhenh, Kai; Lünenbürger, Benjamin; Mohr, Lennart; Pabst, Jeanette et al. (2014): Der Weg zum klimaneutralen Gebäudebestand. Hintergrund Oktober 2014. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau
- [Baetens 2012] Baetens, Ruben; Coninck, Roel de; van Roy, Juan; Verbruggen, Bert; Driesen, Johan; Helsen, Ludo; Saelens, Dirk (2012): Assessing electrical bottlenecks at feeder level for residential net zero-energy buildings by integrated system simulation. In: Applied Energy 96, S. 74–83. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.12.098
- [Bauer 2012] Bauer, Thomas (2012): Die Mär vom "Dämmwahn". In: SolarRegion 2012 (1), S. 8–9, zuletzt geprüft am 10.09.2013
- [BauGB 2005] Krautzberger, Michael (2005): Baugesetzbuch. Mit ergänzenden Vorschriften ; Textausgabe mit Einführung. 10. Aufl. Heidelberg [u.a.]: Hüthig Jehle Rehm (Rehmbau)
- [BauNetz 2012] BauNetz Media GmbH (2012): Baunetz Wissen - Nachhaltig Bauen - Gebäudeform BauNetz Media GmbH. Berlin. Online verfügbar unter [http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Nachhaltig-Bauen\\_Gebaeudeform\\_662875.html](http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Nachhaltig-Bauen_Gebaeudeform_662875.html), zuletzt aktualisiert am 12.07.2012, zuletzt geprüft am 12.07.2012
- [BDA 2012] Bund Deutscher Architekten BDA (Hg.) (2012): Vernunft für die Welt. Manifest der Architekten, Ingenieure und Stadtplaner für eine zukunftsfähige Architektur und Ingenieurbaukunst. Unter Mitarbeit von Michael Frielinghaus und Thomas Welter. Online verfügbar unter [www.klima-manifest.de/](http://www.klima-manifest.de/), zuletzt aktualisiert am 04.05.2012, zuletzt geprüft am 16.09.2014
- [BDF 2013] Bundesverband Deutscher Fertigungsbau (13.09.2013): FertighausWelt Wuppertal öffnet am 14./15. September 2013. Bad Honnef. Windscheif, Christoph, Flutgraben 2, 53604 Bad Honnef
- [BEE 2009] Hinrichs-Rahlwes, Rainer; Pieprzyk, Björn (2009): Ausbauprognose der Erneuerbare-Energien-Branche für Deutschland. Hg. v. Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. Berlin
- [Behling 1996] Behling, Sophia; Behling, Stefan (1996): Sol power. Die Evolution der solaren Architektur. Unter Mitarbeit von Wolfgang Himmelberg, Nina Berkowitz und Dirk Lange. München, New York: Prestel
- [Belleri 2013] Belleri, Annamaria; Lollini, Roberto; Napolitano, Assunta (2013): Net ZEB Evaluation Tool. Bozen: Eurac Research; ST A SHC Task 40/ECBCS Annex 52 "Towards Net Zero Energy solar Buildings"

[Berggren 2013a] Berggren, Björn; Hall, Monika (2013): LCE analysis of buildings - Taking the step towards Net Zero Energy Buildings. A technical report of subtask A - IEA SHC Task 40 / ECBCS Annex 52. Hg. v. International Energy Agency IEA - SHC Task 40 / ECBCS Annex 52. Lund

[Berggren 2013b] Berggren, Björn; Hall, Monika; Wall, Maria (2013): LCE analysis of buildings – Taking the step towards Net Zero Energy Buildings. In: Energy and Buildings (62), S. 381–391

[Berlin 2008] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (2008): Solare Flächenpotenziale. Hg. v. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i806.htm>, zuletzt geprüft am 23.09.2013

[Bernard 2012] Bernard, Soara; Voss, Karsten (2012): Energieverbrauch in der Hotellerie. Zunehmende Bedeutung für Ressourcen- und Klimaschutz. In: Deutsche Bauzeitschrift DBZ Spezial (10), S. 38–41, zuletzt geprüft am 14.02.2014

[Bigalke 2012] Bigalke, Uwe; Discher, Henning; Lukas, Henri; Zeng, Yang; Bensmann, Katharina; Stolte, Christian (2012): Der dena-Gebäudereport 2012. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand. Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Berlin. Online verfügbar unter [http://issuu.com/effizienzhaus/docs/dena-geb\\_udereport\\_2012\\_web/3](http://issuu.com/effizienzhaus/docs/dena-geb_udereport_2012_web/3), zuletzt geprüft am 24.05.2013

[BKULT 2012] Bundesstiftung Baukultur (2012): Debatten zur Baukultur - BKULT. Ist Architektur das Feigenblatt im Klimawandel?; Schließen sich Energiewende und bezahlbares Wohnen aus?; Sind wir mit dem Energiesparen am Ende? Unter Mitarbeit von Nicole Schneider, Ilka Ruby, Andreas Ruby und Julia von Mende. Hg. v. Ruby GbR. Berlin. Online verfügbar unter [http://bkult.de/de\\_DE/archive](http://bkult.de/de_DE/archive), zuletzt geprüft am 12.07.2013

[BMU 2000] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2000): Nationales Klimaschutzprogramm. Hg. v. Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Bundesministerium für Umwelt. Berlin

[BMU 2005] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2005): Nationales Klimaschutzprogramm 2005. Sechster Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO2-Reduktion“. Hg. v. Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Bundesministerium für Umwelt. Berlin

[BMU 2010] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2010): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland: Leitszenario 2009. 1. Aufl. Hg. v. Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Bundesministerium für Umwelt. Berlin

[BMU 2013] Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) (2013): Erneuerbare Energien 2012. Daten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2012 auf der Grundlage der Angaben der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). vorläufige Angaben, Stand 28. Februar 2013. Unter Mitarbeit von Dieter Böhme und Joachim Nick-Leptin. Hg. v. Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Bundesministerium für Umwelt. Berlin

[BMU, BMWi 2007] BMU, BMWi (2007): Bericht zur Umsetzung der in der Kabinettsklausur am 23./24.08.2007 in Meseberg beschlossenen Eckpunkte für ein Integriertes Energie- und Klimaprogramm. Das Integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Bundesministerium für Umwelt. Berlin

[BMVBS 2009] Ornth, Wolfgang (2009): Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). Berlin

[BMVBS 2010] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2010): energetisches sanieren gestalten. Leitfaden Baubestand nachhaltig weiterentwickeln. 1. Aufl. Unter Mitarbeit von Karl-Heinz Collmeier, Anne Knapschinsky und Ricarda Ruland. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Berlin

- [BMVBS 2011] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2011): Wohnhäuser mit Plusenergie-Niveau - Definition und Berechnungsmethode, Anlage 1 zum BMVBS Förderprogramm. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). Berlin
- [BMVBS 2012a] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2012): Wohnen und Bauen in Zahlen 2011/2012. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). Berlin. Online verfügbar unter <http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/89886/publicationFile/65127/wohnen-und-bauen-in-zahlen-2011-2012.pdf>, zuletzt geprüft am 26.05.2013
- [BMVBS 2012b] Erhorn, Hans; Erhorn-Kluttig, Heike; Maas, Anton; Schiller, Heiko; Oschatz, Bert; Ußner, Matthias et al. (2012): Untersuchung zur Novellierung der EU-Gebäudeenergieeffizienzrichtlinie (EPBD). Identifikation und Analyse von Hemmnissen beim Neubau von hocheffizienten (Niedrigstenergie-)Gebäuden und Entwicklung eines Konzepts zur Marktdurchdringung bis 2020. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). Berlin
- [BMVBS 2012c] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (Hg.) (2012): Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität. Technische Informationen und Details. Unter Mitarbeit von Petra Alten. Berlin. Online verfügbar unter [http://www.bmvbs.de/DE/EffizienzhausPlus/Projekt/effizienzhaus-plus-projekt\\_node.html](http://www.bmvbs.de/DE/EffizienzhausPlus/Projekt/effizienzhaus-plus-projekt_node.html), zuletzt geprüft am 19.11.2013
- [BMW A 2005] Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (19.07.2005): Innovation und neue Energietechnologien. Das 5. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung. Berlin
- [BMW i 2011] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW i) (03.08.2011): Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung. Berlin
- [BMW i 2012] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW i) (2012): Stromerzeugungskapazitäten, Bruttostromerzeugung und Bruttostromverbrauch. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW i). Berlin. Online verfügbar unter <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/Binaer/Energiedaten/energietraeger10-stromerzeugungskapazitaeten-bruttostromerzeugung,property=blob,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.xls>, zuletzt geprüft am 26.06.2013
- [BMW i; BMU 2010] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW i); Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (26.09.2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Berlin
- [BNatSchG 2013] Bundesamt für Naturschutz (31.07.2013): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege. Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG, 01.09.2013, zuletzt geprüft am 07.08.2013
- [Boeke 2012] Boeke, Ulrich; Wendt, Matthias (2012): LED Beleuchtung mit Gleichstromnetzen. In: VDI Verein Deutscher Ingenieure (Hg.): 10. VDI-Fachtagung Innovative Beleuchtung mit LED 2012. Düsseldorf: VDI-Verlag (VDI-Berichte, 2162)
- [Bourrelle 2012] Bourrelle, Julien; Gustavsen, Arild; Andersen, Inger (2012): Energy Payback: An Attributional and Environmental Focused Approach to Energy Balance in Net Zero Energy Buildings. Trondheim
- [BPIE 2011] Boermans, Thomas; Hermelink, Andreas; Schimschar, Sven; Grözing, Jan; Offermann, Markus; Engelund Thomsen, Kirsten (2011): Principles for nearly Zero-energy Buildings. Paving the way for effective implementation of policy requirements: Buildings Performance Institute Europe (BPIE)
- [Braun 2013] Braun, Jascha Philipp (2013): Stadt.Bild.Berlin Baukultur und Denkmalpflege in der deutschen Hauptstadt. Initiative "Gegen die Zerstörung historischer Fassaden durch Wärmedämmung". Hg. v. [word-press.com](http://stadtbildberlin.wordpress.com). Berlin. Online verfügbar unter <http://stadtbildberlin.wordpress.com/schwerpunktthema-energetische-sanierungen/>, zuletzt geprüft am 04.07.2013

[BSW 2012a] BSW - Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (2012): Infografiken BSW-Solar - Bundesverband Solarwirtschaft e.V. Hg. v. BSW - Bundesverband Solarwirtschaft e.V. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.solarwirtschaft.de/pressegrafiken.html>, zuletzt aktualisiert am 28.06.2013, zuletzt geprüft am 28.06.2013

[BSW 2012b] Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (21.12.2012): Einspeisemanagement kleiner Solarstrom-Anlagen: Übergangsfrist endet zum Jahreswechsel. Berlin. Wedepohl, David, Friedrichstraße 78, 10117 Berlin

[BSW 2013a] EuPD Research (2013): Photovoltaik-Preismonitor Deutschland. German PV ModulePriceMonitor© 2013. Ergebnisse 1. Quartal. Unter Mitarbeit von Michael Reuter. Hg. v. Bundesverband Solarwirtschaft e.V. Berlin, Bonn

[BSW 2013b] Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (2013): Informationen zur Förderung von Solarstrom-Speichern. Informationspapier des BSW-Solar, Stand: 15.05.2013. Hg. v. Bundesverband Solarwirtschaft e.V. Berlin

[Butti 1980] Butti, Ken; Perlin, John (1980): The golden thread. 2500 years of Solar Architecture and Technology. Palo Alto: Cheshire Books

[Cody 2005] Cody, Brian (2005): Form follows Energy. In: Urs Hirschberg (Hg.): Design science in architecture. GAM. Graz Architecture Magazine 02. Wien: Springer, S. 28–41

[Cody 2012] Cody, Brian (2012): Form follows Energy. In: XIA - intelligente Architektur (07-09), S. 36–41, zuletzt geprüft am 17.12.2012

[Collins 2002] Collins, Judith; Nash, Al (2002): Preserving Yesterday's View of Tomorrow. The Chicago World's Fair Houses. In: Cultural Resource Management 25 (5), S. 27–31. Online verfügbar unter <http://crm.cr.nps.gov/issue.cfm?volume=25&number=05>, zuletzt geprüft am 12.02.2013

[CSH 2010] Gaze, Christopher; Walker, Andrew F.; Hodgson, Gavin; Priaulx, Mike (2010): The Code for Sustainable Homes simply explained. Hg. v. NHBC Foundation. Amersham

[CSH 2011a] Zero Carbon Hub (2011): Allowable Solutions for tomorrow's New Homes. Towards a workable Framework. Hg. v. Zero Carbon Hub. London

[CSH 2011b] Zero Carbon Hub (2011): Carbon Compliance. Setting an appropriate Limit for Zero Carbon New Homes. Findings and Recommendations. Hg. v. Zero Carbon Hub. London

[dena 2011] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2011): Leitfaden Energetische Gebäudebilanzierung nach DIN V 18599. 1. Aufl. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

[dena 2013] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2013): Grundlagen der Wärmespeicherung. Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Berlin. Online verfügbar unter <http://www.thema-energie.de/energie-im-ueberblick/technik/speicher-netze/waermespeicher/grundlagen-der-waermespeicherung.html>, zuletzt geprüft am 07.08.2013

[DESTATIS 2010] Statistisches Bundesamt (Destatis) (2010): Bauen und Wohnen. Mikrozensus - Zusatzerhebung 2010, Bestand und Struktur der Wohneinheiten, Wohnsituation der Haushalte. Fachserie 5 Heft 1. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Berlin. Online verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/EinkommenKonsumLebensbedingungen/Wohnen/WohnsituationHaushalte2055001109004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/EinkommenKonsumLebensbedingungen/Wohnen/WohnsituationHaushalte2055001109004.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt aktualisiert am 15.03.2012, zuletzt geprüft am 19.09.2013

[DESTATIS 2012] Statistisches Bundesamt (Destatis) (19.12.2012): Haushalte verbrauchen immer weniger Energie für Wohnen. Wiesbaden. Mayer, Helmut, 65180 Wiesbaden

[DESTATIS 2013a] Statistisches Bundesamt (Destatis) (2013): Bauen und Wohnen. Baugenehmigungen / Baufertigstellungen Baukosten Lange Reihen z. T. ab 1962. Hg. v. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden

[DESTATIS 2013b] Statistisches Bundesamt (2013): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen 2. Halbjahr 2012. Beiheft Investitionen. Hg. v. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden

- [detail 2011] DETAIL research (2011): Trendumfrage DETAIL research - Building the Future. Hg. v. DETAIL research. München
- [DGNB 2012] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (2012): Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude. DGNB Handbuch für nachhaltiges Bauen. Version 2012. Stuttgart: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
- [DGS 2013] Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V. (DGS) (Hg.) (2013): EnergyMap - Bundesrepublik Deutschland. Die EEG-Anlagen der Region Bundesrepublik Deutschland. Online verfügbar unter <http://www.energymap.info/energieregionen/DE/105.html>, zuletzt aktualisiert am 23.10.2013, zuletzt geprüft am 07.11.2013
- [Dias 2010] Dias, Antonio Coelho (2010): Solar XXI. Towards zero energy. Lissabon: LNEG
- [DIBt 2010] Achelis, Justus (2010): Auslegungsfragen zur Energieeinsparverordnung. Teil 11. Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz. Hg. v. Deutsches Institut für Bautechnik. Berlin (1), zuletzt geprüft am 18.04.2012
- [Diefenbach 2010] Diefenbach, Nikolaus; Cischinsky, Holger; Rodenfels, Markus; Clausnitzer, Klaus-Dieter (2010): Datenbasis Gebäudebestand. Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. 1. Aufl. Hg. v. Institut Wohnen und Umwelt und Bremer Energie Institut. Darmstadt
- [DIN 18599 2007] Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - DIN V 18599:2007-02, Ausgabedatum 24.01.2007, zuletzt geprüft am 14.06.2013
- [DIN 18599 2009] Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 100: Änderungen zu DIN V 18599-1 bis DIN V 18599-10, Vornorm, Ausgabedatum 10.2009, zuletzt geprüft am 10.06.2013
- [DIN 18599 2011] Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - DIN V 18599:2011-12, Vornorm, Ausgabedatum 05.10.2011, zuletzt geprüft am 10.06.2013
- [DIN EN 15603 2008] Energieeffizienz von Gebäuden - Gesamtenergieverbrauch und Festlegung der Energiebedarfskennwerte; Deutsche Fassung EN 15603:2008, Ausgabedatum 09.05.2008, zuletzt geprüft am 20.06.2013
- [DIN prEN 15603 2013] Energieeffizienz von Gebäuden – Gesamtenergiebedarf und Festlegung der Energiekennwerte; Deutsche Fassung prEN 15603:2013, Europäische Norm, Ausgabedatum 25.04.2013, zuletzt geprüft am 27.06.2013
- [Dörries 2011] Dörries, Cornelia (2011): Haus ohne Eigenschaften. Massenware und Einzelstück. Hg. v. DABonline Deutsches Architektenblatt. Düsseldorf. Online verfügbar unter <http://dabonline.de/2011/03/31/haus-ohne-%C2%ADeigenschaften/>, zuletzt geprüft am 27.08.2013
- [Drexel 2009] Drexel, Thomas (2009): 33 Energiespar-Häuser. Aktuelle Beispiele und neue Fakten zum nachhaltigen Bauen. 1. Aufl. München: Deutsche Verlags-Anstalt
- [Duden 2013] Duden - Die deutsche Rechtschreibung. Das umfassende Standardwerk auf der Grundlage der aktuellen amtlichen Regeln (2013). 26. Aufl.: Bibliographisches Institut (Der Duden in zwölf Bänden)
- [DWD 2007] Müller-Westermeier, Gerhard (2007): Der KLIMA-Report 2006. Hg. v. Deutscher Wetterdienst. Offenbach
- [Ecofys 2013] Hermelink, Andreas; Schimschar, Sven; Boermans, Thomas; Pagliano, Lorenzo; Zangheri, Paolo; Armani, Roberto et al. (2013): Towards nearly zero-energy buildings. Definition of common principles under the EPBD. Hg. v. Ecofys by order of European Commission Europäische Kommission. Köln. Online verfügbar unter [http://ec.europa.eu/energy/efficiency/buildings/implementation\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/efficiency/buildings/implementation_en.htm), zuletzt geprüft am 03.06.2013

[EEG 2014] Bundesministerium der Justiz (2014): Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz 2014). EEG

[EEWärmeG 2010] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS); Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2010): Planung neuer Wohngebäude nach Energieeinsparverordnung 2009 und Erneuerbare-Energien-Wärmegegesetz. Unter Mitarbeit von Sebastian Goitowski. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Bundesministerium für Umwelt. Berlin

[EEWärmeG 2012] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (27.01.2012): Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegegesetz). EEWärmeG, 2012, zuletzt geprüft am 21.06.2013

[EFES 2009] Dallhammer, Erich (2009): EFES - Energieeffiziente Entwicklung von Siedlungen. – planerische Steuerungsinstrumente und praxisorientierte Bewertungstools. Wien: Österreichisches Institut für Raumplanung. Online verfügbar unter <http://www.energieeffizientesiedlung.at/>, zuletzt geprüft am 26.11.2013

[Effizienzhaus Plus im Altbau 2012] Forschungsinitiative ZukunftBAU (2012): Wettbewerb Effizienzhaus Plus im Altbau. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). Berlin. Online verfügbar unter <http://www.ep-a.de/index.php>, zuletzt geprüft am 30.03.2012

[Eich 2013] Eich, Rainer (2013): HOAI 2013 - HOAI 2013 - Honorarordnung für Architekten und Ingenieure. Textausgabe mit Erläuterung der Neuerungen, Msterrechnung und Interpolationstabellen. 5. Aufl. Köln: Müller

[Emmert 2013] Emmert, Bianca (2013): Sind wir bereit für den Big Data Lifestyle. Betrachtung und Analyse der Quantified-Self-Bewegung im Umfeld von Big Data. Bachelorarbeit. Hg. v. University of Applied Sciences - Medienmanagement. Mittweida

[EnDK 2009] Gebäudeenergieausweise der Kantone – Nationale Gewichtungsfaktoren, EnDK, Ausgabedatum 12.05.2009, zuletzt geprüft am 24.10.2012

[EnEff Stadt 2013] Fachinformationszentrum (FIZ) Karlsruhe - Gesellschaft für wiss.-technische Information mbH (Hg.) (2013): Forschung für die energieeffiziente Stadt EnEff:Stadt / Forschung für energieeffiziente Wärme- und Kältenetze EnEFF:Wärme Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Online verfügbar unter <http://www.eneff-stadt.info/de/pilotprojekte/>, zuletzt aktualisiert am 01.01.2008, zuletzt geprüft am 27.08.2013

[EnEG 2013a] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS); Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2013): Bundeskabinett beschließt Novellierung des Energieeinsparungsgesetzes und der Energieeinsparverordnung. Pressemitteilung Nummer 14/2013 vom 6. Februar 2013. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Berlin

[EnEG 2013b] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi); Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2013): Entwurf eines Vierten Gesetzes zur Änderung des Energieeinsparungsgesetzes. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Berlin

[EnerCalc 2014] Lichtmeß, Markus (2014): EnerCalc. Excel Werkzeug für vereinfachte Energiebilanzen in Anlehnung an DIN V 18599. Luxemburg, Wuppertal, Karlsruhe: Goblet Lavandier & Associates S.A.; Bergische Universität Wuppertal; Forschung für Energieoptimiertes Bauen EnOB/FIZ Karlsruhe. Online verfügbar unter <http://www.enob.info/de/forschungsfelder/enob-forschungsinitiative-im-detail/enob-begleitforschung/materialien-fuer-projektteams/enercalc/>, zuletzt geprüft am 17.04.2013

[EnergieAgentur.NRW 2013] EnergieAgentur.NRW (2013): Energiepreise. Düsseldorf. Online verfügbar unter <http://www.energieagentur.nrw.de/infografik/energiepreise-3106.asp>, zuletzt aktualisiert am 04.11.2013, zuletzt geprüft am 04.11.2013

- [energie-cluster 2013] Innovationsgruppe Plusenergie-Gebäude (2013): Strategie zum Plusenergie-Gebäude. Arbeitspapier. Entwurf energie-cluster.ch. Bern. Online verfügbar unter [www.energie-cluster.ch](http://www.energie-cluster.ch), zuletzt geprüft am 22.11.2013
- [EnEV 2009] Bundesministerium der Justiz (01.10.2009): Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV). EnEV 2009, 3. Fassung vom 24.07.2007
- [EnEV 2014] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2014): Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV). EnEV 2014, 4. Fassung vom 18.11.2013
- [EnOB 2010a] Forschung für Energieoptimiertes Bauen (2010): Performance von Gebäuden in der Jahresbilanz. Hg. v. FIZ Karlsruhe – Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur GmbH. Bonn. Online verfügbar unter <http://www.enob.info/de/analysen/analyse/details/performance-von-gebaeuden-in-der-jahresbilanz/>, zuletzt aktualisiert am 01.01.2007, zuletzt geprüft am 27.02.2014
- [EnOB 2010b] Voss, Karsten; Engelmann, Peter; Musall, Eike (2010): Energieoptimiertes Bauen: Demonstrationbauvorhaben Sanierung eines Bürogebäudes der 60er Jahre zu einem Niedrigenergiehaus. Schlussbericht. Förderkennzeichen: 0329750X. Hg. v. Bergische Universität Wuppertal - Fachbereich D, Abteilung Architektur - Lehrgebiet Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung, b+tga. Wuppertal
- [Esbensen 1977] Esbensen, Torben V.; Korsgaard, Vagn (1977): Performance of the Zero Energy House in Denmark. Hg. v. 1st German Solar Energy Forum Thermal Insulation Laboratory - Technical University of Denmark. Hamburg
- [ETH 2010] Die Professorinnen und Professoren des Departements Architektur (2010): Positionspapier Towards Zero-Emissions Architecture. Paradigmenwechsel vom Energiesparen zur Emissionsfreiheit. Hg. v. Departement Architektur der ETH Zürich. Zürich. Online verfügbar unter [http://admin.arch.ethz.ch/darch/pdf/aktuell/DARCH\\_Zero-Emissions\\_Tagung\\_Positionspapier.pdf](http://admin.arch.ethz.ch/darch/pdf/aktuell/DARCH_Zero-Emissions_Tagung_Positionspapier.pdf)
- [EU 2010a] Europäisches Parlament und der Rat der EU (16.06.2010): Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD 2010)
- [EU 2010b] European Parliament and the Council of the EU (16.06.2010): Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (EPBD 2010). EPBD
- [European Commission 2012] European Commission (2012): EU energy in figures 2012. Statistical Pocketbook 2012. Luxembourg: Publications office of the European Union
- [Everding 2007] Everding, Dagmar (Hg.) (2007): Solarer Städtebau. Vom Pilotprojekt zum planerischen Leitbild. Stuttgart: Kohlhammer
- [Feist 2007] Feist, Wolfgang; Bott, Helmut (2007): Passivhaus Objektdokumentation. Reihenhaus mit vier Einheiten Kranichstein in Darmstadt. Hg. v. Passivhaus Institut. Darmstadt
- [Feist 2013] Passivhaus Institut (2013): Zertifiziertes Passivhaus. Zertifizierungskriterien für Passivhäuser mit Wohnnutzung. Hg. v. Passivhaus Institut. Darmstadt
- [Fisch 2012] Fisch, Manfred Norbert; Wilken, Thomas; Stähr, Christina (2012): EnergiePLUS. Gebäude- und Quartier als erneuerbare Energiequelle. 1. Aufl. Leonberg, Württ: Fisch M. Norbert
- [FNR 2008] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (2008): Biogene Festbrennstoffe. Hg. v. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). Gülzow. Online verfügbar unter [http://www.wave-bioenergy.eu/html/feste\\_biomasse.html](http://www.wave-bioenergy.eu/html/feste_biomasse.html), zuletzt aktualisiert am 09.06.2008, zuletzt geprüft am 19.07.2013
- [FNR 2011] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (2011): Spitzentechnologie ohne Ende. Hg. v. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). Gülzow

- [Frampton 2001] Frampton, Kenneth (2001): Die Architektur der Moderne. Eine kritische Baugeschichte. 7. Aufl. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt
- [Fritsche 2011] Fritsche, Uwe R.; Rausch, Lothar (2011): Der nichterneuerbare Primärenergieverbrauch des nationalen Strommix in Deutschland im Jahr 2010. gefördert vom Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V. und der Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendungen e.V. (HEA). Hg. v. Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V. Darmstadt
- [Fritsche 2012] Fritsche, Uwe R.; Greß, Hans Werner (2012): Der nichterneuerbare Primärenergieverbrauch des nationalen Strommix in Deutschland im Jahr 2011. Bericht für die Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendungen e.V. (HEA). Kurzstudie. Hg. v. Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien GmbH (IINAS). Darmstadt
- [Geier 2011] Geier, Sonja (2011): Schulsanierung. Schwanenstadt, A 2007. In: Karsten Voss und Eike Musall (Hg.): Nullenergiegebäude. Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten. München: Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, S. 150–152, zuletzt geprüft am 26.08.2013
- [GEMIS 2013] Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien GmbH (IINAS) (2013): Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme. GEMIS. Darmstadt. Online verfügbar unter <http://www.iinas.org/gemis-download-de.html>, zuletzt geprüft am 04.11.2013
- [GeoPortal 2009] Stadt Wuppertal (Hg.) (2009): GeoPortal Stadt Wuppertal. Online verfügbar unter <http://www.wuppertal.de/microsite/geoportal/index.php>, zuletzt geprüft am 24.09.2013
- [Giebeler 2008] Giebeler, Georg; Fisch, Rainer; Krause, Harald; Musso, Florian; Petzinka, Karl H.; Rudolphi, Alexander (2008): Atlas Sanierung. Instandhaltung, Umbau, Ergänzung. 1. Aufl. München: Institut für Internationale Architektur-Dokumentation
- [Giedion 1985] Giedion, Siegfried; Huber, Dorothee (1985): Befreites wohnen. Frankfurt am Main: Syndikat
- [Gonzalo 1993] Gonzalo, Roberto (1993): Kritische Anmerkungen zur Solararchitektur. In: Detail 1993 (6), S. 676–678
- [Gonzalo 2006] Gonzalo, Roberto; Habermann, Karl J. (2006): Energieeffiziente Architektur. Grundlagen für Planung und Konstruktion. Basel Boston Berlin: Birkhäuser
- [Graabak 2011] Graabak, Ingeborg; Feilberg, Nicolai (2011): CO2 emissions in a different scenarios of electricity generation in Europe. Hg. v. SINTEF Energy Research. Trondheim
- [Greenpeace 2007] Barzantny, Katja; Achner, Sigrid; Böhling, Andree (2007): Klimaschutz: Plan B. Nationales Energiekonzept bis 2020. Hg. v. Greenpeace e.V. Hamburg
- [Griffith 2007] Griffith, Brend; Long, Nicholas; Torcellini, Paul; Judkoff, Ron; Crawley, Drury; Ryan, J. (2007): Assessment of the Technical Potential for Achieving Net Zero-Energy Buildings in the Commercial Sector. Hg. v. National Renewable Energy Laboratory NREL. Golden
- [Großklos 2013] Großklos, Marc; Frank, Milena (2013): Monatlicher Verlauf des kumulierten Energieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen im deutschen Strommix. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 63 (9), S. 32–35, zuletzt geprüft am 08.11.2013
- [Grund-Ludwig 2012] Grund-Ludwig, Pia (2012): Wandhängende Brennstoffzellen-Heizung ist in Betrieb enbausa.de. Hg. v. EnBauSa GmbH. Online verfügbar unter <http://www.enbausa.de/heizung-warmwasser/aktuelles/artikel/wandhaengende-brennstoffzellen-heizung-ist-in-betrieb-2689.html>, zuletzt geprüft am 06.02.2012
- [Günthner 2014] Günthner, Willibald A.; Hausladen, Gert; Freis, Julia; Vohlidka, Philipp (2014): Das CO2-neutrale Logistikzentrum. Entwicklung von ganzheitlichen Handlungsempfehlungen für energieeffiziente Logistikzentren. Forschungsbericht. Hg. v. Willibald A. Günthner und Thomas Auer Technische Universität München, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik und Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik. Garching

- [Guzowski 2010] Guzowski, Mary (2010): *Towards Zero Energy Architecture. New solar design.* London: Laurence King
- [Haimann 2012] Haimann, Richard (2012): EU will Zwangssanierung für Privathäuser. In: *Die Welt* 2012, Ausgabedatum 23.03.2012. Online verfügbar unter [http://www.welt.de/print/die\\_welt/finanzen/article13940845/EU-will-Zwangssanierung-fuer-Privathaeuser.html](http://www.welt.de/print/die_welt/finanzen/article13940845/EU-will-Zwangssanierung-fuer-Privathaeuser.html), zuletzt geprüft am 10.09.2013
- [Hall 2011] Hall, Monika; Musall, Eike (2011): Kraftwerk B. Bennau, CH 2009. In: Karsten Voss und Eike Musall (Hg.): *Nullenergiegebäude. Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten.* München: Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, S. 72–77, zuletzt geprüft am 15.01.2014
- [Hall 2012] Hall, Monika (2012): Von Minergie-A zu Nullenergiegebäuden. In: *Bauphysik* 34 (5), S. 197–203
- [Hanus 2007] Hanus, Christian; Hastings, Robert (Hg.) (2007): *Bauen mit Solarenergie. Wegweisende Wohnbauten, heutige Rahmenbedingungen, Entwicklungstendenzen.* 1. Aufl. Zürich: Vdf Hochschulverlag
- [Hassemer 2013] Hassemer, Friederike; Jenner, Nathalie (2013): 100% Wärme aus erneuerbaren Energien? Auf dem Weg zum Niedrigstenergiehaus im Bestand. Breitenauswertung - unter baugestalterischen, baukulturellen, ästhetischen und funktionalen Gesichtspunkten. Arbeitsgruppentreffen Darmstadt FGee., TU Darmstadt. Darmstadt, Ausgabedatum 24.01.2013
- [Hässig 1996] Hässig, Werner; Hardegger, Peter (1996): *Messprojekt Direktgewinnhaus Trin. Schlussbericht.* Unter Mitarbeit von Walter Frei, Andrea Rüedi und Charles Filleux. Hg. v. Forschungsstelle für Solararchitektur ETH Zürich Bundesamt für Energiewirtschaft. Zürich
- [Hauser 2013] Hauser, Gerd; Hild, Andreas; Holm, Andreas (2013): Wärmedämmverbundsysteme: Klimarettter oder Sondermüll? Ein Gespräch zwischen Gerd Hauser, Andreas Hild und Andreas Holm. In: *detail green* (02), S. 56–61
- [Hegger 2008] Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Stark, Thomas; Zeumer, Martin (Hg.) (2008): *Energie-Atlas. Nachhaltige Architektur.* 1. Aufl. München: Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation (Edition Detail)
- [Hegger 2012] Hegger, Manfred; Fafflok, Caroline; Hegger, Johannes; Passig, Isabell (2012): *Aktivhaus. Das Grundlagenwerk. Vom Passivhaus zum Energieplushaus.* 1. Aufl. München: Georg D. W. Callwey Verlag
- [Heilek 2013] Heilek, Christian; Kühne, Maximilian; Tzscheutschler, Peter (2013): *Energiewirtschaftliche Bewertung der Wärmepumpe in der Gebäudeheizung. Studie im Auftrag des Bundesverbandes Wärmepumpe e. V.* Hg. v. Technische Universität München - Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik. München
- [Heinze 2009] Heinze, Mira; Voss, Karsten (2009): Ziel Null Energie: Erfahrungen am Beispiel der Solarsiedlung Freiburg am Schlierberg. In: *Deutsche Bauzeitschrift DBZ* (1), S. 72–74
- [Helfferrich 2011] Helfferrich, Cornelia (2011): *Die Qualität qualitativer Daten. Manual für die Durchführung qualitativer Interviews.* 4. Aufl. Wiesbaden: VS, Verl. für Sozialwiss (Lehrbuch)
- [Heppe 2013] Kuehnle, Elke (2013): Aktives Lastmanagement ist der Schlüssel zum Erfolg. Sportstadien als Bausteine in einer intelligenten kommunalen Energieversorgung. Interview mit Thomas Heppe. München. In: *greenbuilding* 06/2013
- [Hermann 2014] Hermann, Laurenz (2014): Wege ins Plus. Zwischenbilanz für 35 Modellprojekte. In: *Deutsche Bauzeitschrift DBZ* (7), S. 72–75
- [Herzog 2002] Flagge, Ingeborg; Herzog-Loibl, Verena; Meseure, Anna (2002): *Thomas Herzog. Architektur und Technologie.* München: Prestel
- [Hinz 1994] Hinz, Eberhard; Werner, Johannes (1994): *Meßdatenerfassung und Auswertung beim ökologischen Nullenergiehaus Dörpe.* Darmstadt: Institut für Wohnen und Umwelt

- [Hirn 2012] Hirn, Gerhard (2012): Solardächer doppelt nutzen. Hybrid-Kollektoren auf dem Dach liefern Strom und Wärme. Hg. v. Fachinformationszentrum (FIZ) Karlsruhe - Gesellschaft für wiss.-technische Information mbH. Eggenstein-Leopoldshafen (BINE-Projektinfo, 10)
- [Hirsch 1996] Bundesarchitektenkammer (Hg.) (1996): Energiegerechtes Bauen und Modernisieren. Grundlagen und Beispiele für Architekten, Bauherren und Bewohner. Unter Mitarbeit von Harry Hirsch und Alex Lohr Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie. Basel, Berlin, Boston: Birkhäuser
- [Hoffmann 2007]: Sanierung als zweite Chance - Umsetzung passiver Kühlkonzepte in Bestandsgebäuden. Dissertation Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal. Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung, Fachbereich D - Architektur
- [Hoier 2013] Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) (13.09.2013): Leuchtturmprojekt an Kinder übergeben. Stuttgart. Hoier, Anna, Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart
- [Hönger 2009] Hönger, Christian; Brunner, Roman; Menti, Urs-Peter; Wieser, Christoph (Hg.) (2009): Das Klima als Entwurfaktor. Climate as a design factor. Luzern: Quart
- [Hörster 1980] Hörster, Horst (1980): Wege zum energiesparenden Wohnhaus. Bericht zum Forschungsprojekt Rationelle Energieverwendung und Nutzung der Sonnenenergie in Gebäuden. Unter Mitarbeit von Günter Bergmann. Hamburg: Philips (Philips Fachbücher)
- [IEA 2008] International Energy Agency IEA - SHC Task 40 / ECBCS Annex 52 (2008): IEA - SHC Task 40 / ECBCS Annex 52 "Towards Net Zero Energy Solar Buildings". Online verfügbar unter <http://task40.iea-shc.org/>, zuletzt aktualisiert am 22.12.2011, zuletzt geprüft am 03.06.2013
- [IFEU 2013] Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen (2013): 100 % Wärme aus erneuerbaren Energien? Auf dem Weg zum Niedrigstenergiehaus im Gebäudebestand. Materialband AP2 – Breitenauswertung Architektonische Breitenauswertung. Unter Mitarbeit von Nathalie Jenner, Friederike Hassemer und Manfred Hegger. Hg. v. IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH. Darmstadt
- [IPCC 2007] Parry, Martin L.; Canziani, Osvaldo F.; Palutikof, Jean P.; van der Linden, Paul J.; Hanson, Clair E. (2007): Climate change 2007. Impacts, adaptation and vulnerability. Working Group II contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press
- [IPCC 2013] Stocker, Thomas; Dahe, Qin; Plattner, Gian-Kasper (2013): Working Group I contribution to the IPCC 5th Assessment Report "Climate Change 2013: The Physical Science Basis". Technical Summary - Final Draft Underlying Scientific-Technical Assessment. Hg. v. Intergovernmental Panel on Climate Change. Genf
- [IPCC 2014] Intergovernmental Panel on Climate Change (2014): IPCC Fifth Assessment Report (AR5) "Climate Change 2014". Draft Synthesis Report. Hg. v. Intergovernmental Panel on Climate Change. Kopenhagen
- [ISE 1997] Stahl, Wilhelm; Goetzberger, Adolf; Voss, Karsten (1997): Das Energieautarke Solarhaus. Mit der Sonne wohnen. 1. Aufl. Heidelberg: C.F. Müller
- [ISE 2013] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (23.09.2013): Weltrekord-Solarzelle mit 44,7 Prozent Wirkungsgrad. Freiburg. Schneider, Karin, Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg
- [IWU 2003] Institut Wohnen und Umwelt (2003): Deutsche Gebäudetypologie. Stand und Systematik. Hg. v. Institut Wohnen und Umwelt. Darmstadt
- [Jäger 2002] Jäger, Helmut (2002): Solvis - Auf dem Weg zur Nullemissionsfabrik. Banz + Riecks Architekten. Leinfelden-Echterdingen: Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH (AIT Edition)
- [Jensen 2013] Jensen, Søren Østergaard (2013): Smart Grid – iPower. Buildings in smart grid. Towards Net Zero Energy Buildings Danish Technological Institute. Aalborg University, Kopenhagen. Kopenhagen, Ausgabedatum 30.04.2013

- [Jühnde 2007] Ruwisch, Volker (2007): Wärme- und Stromversorgung durch heimische Biomasse. Bioenergie-dorf Jühnde - Baustein einer nachhaltigen Energieversorgung Interdisziplinäres Zentrum für Nachhaltige Entwicklung der Universität Göttingen. Göttingen, Ausgabedatum 05.11.2007
- [Kagerer 2011] Kagerer, Florian; Herkel, Sebastian (2011): Sanierung Blaue Heimat. In: Karsten Voss und Eike Musall (Hg.): Nullenergiegebäude. Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten. München: Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, S. 78–83
- [Kaltenbrunner 2008] Kaltenbrunner, Robert (2008): Architektur und Nachhaltigkeit - eine schwierige Beziehung. In: Manfred Hegger, Matthias Fuchs, Thomas Stark und Martin Zeumer (Hg.): Energie-Atlas. Nachhaltige Architektur. 1. Aufl. München: Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation (Edition Detail), S. 18–23
- [Kaltschmitt 1993] Kaltschmitt, Martin; Wiese, Andreas (1993): Erneuerbare Energieträger in Deutschland. Potentiale und Kosten. Berlin, New York: Springer-Verlag
- [Kaltschmitt 2013a] Kaltschmitt, Martin; Schlüter, Michael; Schulz, Detlef; Skiba, Martin; Özdirik, Burcu (2013): Stromerzeugung aus Windenergie. In: Martin Kaltschmitt, Wolfgang Streicher und Andreas Wiese (Hg.): Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. 5. Aufl. Berlin: Springer Vieweg (SpringerLink : Bücher), S. 453–553
- [Kaltschmitt 2013b] Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang; Wiese, Andreas (Hg.) (2013): Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. 5. Aufl. Berlin: Springer Vieweg (SpringerLink : Bücher)
- [KBA 2013] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) (01.01.2013): Der Fahrzeugbestand am 1. Januar 2013. Pressemitteilung Nr. 8/2013. Berlin
- [Klein 1934] Klein, Alexander (1934): Das Einfamilienhaus. Südtyp. Studien und Entwürfe mit grundsätzlichen Betrachtungen. Stuttgart: Julius Hoffmann (Wohnbau und Städtebau, Beiträge zur Entwurfslehre, I)
- [Knowles 1974] Knowles, Ralph L. (1974): Energy and form: An Ecological Approach to Urban Growth. Cambridge: MIT Press
- [Korsgaard 1976] Urbanek, Axel (1976): Heizen mit Sonne. Die Fachvorträge der ersten Tagung der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie in Göttingen. Das dänische "Null-Energie-Haus". In: Sonnenenergie 1 (2), S. 19, zuletzt geprüft am 13.09.2013
- [Kottek 2006] Kottek, Markus; Grieser, Jürgen; Beck, Christoph; Rudolf, Bruno; Rubel, Franz (2006): World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. In: Meteorologische Zeitschrift 15 (3), S. 259–263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130
- [Kraft 2013] Kraft, Benedikt (2013): Deutscher Architekturpreis 2013. In: Deutsche Bauzeitschrift DBZ (7), S. 8–9
- [Künast 2007] Künast, Renate; Höhn, Bärbel; Fell, Hans-Josef; Hermann, Winfried; Hettlich, Peter; Loske, Reinhard; Trittin, Jürgen (2007): Energie 2.0. Die grünen Maßnahmen bis 2020. Energiesparen, Erneuerbare und Effizienz. Hg. v. Bündnis 90/Die Grünen. Berlin
- [Kunert 2012] Kunert, Uwe; Radke, Sabine; Chlond, Bastian; Kagerbauer, Martin (2012): Auto-Mobilität: Fahrleistungen steigen 2011 weiter. In: DIW-Wochenbericht (47), S. 3–14, zuletzt geprüft am 25.11.2013
- [Kurnitski 2013a] Kurnitski, Jarek (2013): Technical definition for nearly zero energy buildings. In: REHVA Journal (Mai), S. 22–28, zuletzt geprüft am 30.10.2013
- [Kurnitski 2013b] Kurnitski, Jarek (2013): Nearby use of renewable energy sources – an alternative for on-site production. In: REHVA Journal (August), S. 11–12, zuletzt geprüft am 09.12.2013
- [Kurnitski 2013c] Kurnitski, Jarek; Allard, Francis; Braham, Derrick; Dijk, Dick van; Fox, Jacquelyn; Gräslund, Jonas et al. (2013): REHVA nZEB technical definition and system boundaries for nearly zero energy buildings. 2013 revision for uniformed national implementation of EPBD recast prepared in cooperation with European standardization organization CEN. Hg. v. REHVA

[KWKG 2012] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (07.12.2012): Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz). KWKG, 2012, zuletzt geprüft am 21.06.2013

[Kyoto 2001] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2001): Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Hg. v. Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Bundesministerium für Umwelt. Berlin

[Lange 2011] Lange, Jörg; Musall, Eike; Gies, Michael (2011): Kleehäuser. Freiburg/Vauban, D 2006. In: Karsten Voss und Eike Musall (Hg.): Nullenergiegebäude. Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten. München: Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, S. 84–88

[Lee 1977] Lee, Kaiman (1977): Encyclopedia of Energy-efficient Building Design: 391 Practical Case Studies. Newtonville: Environmental Design & Research Center (EDRC). Online verfügbar unter <http://books.google.de/books?id=H4mEKu4jD6sC>

[Leibundgut 2010] Leibundgut, Hansjürg (2010): 2100 werden Häuser so aussehen wie heute. In: Magazin zur 9. Schweizer Hausbau- und Energie-Messe 2010, S. 11

[Leibundgut 2011] Leibundgut, Hansjürg (2011): LowEx building design. Für eine ZeroEmission Architecture. Zürich: Vdf Hochschulverlag

[Lenoir 2011] Lenoir, Aurélie; Garde, François (2011): Universitätsgebäude. Saint-Pierre, Insel La Reunion, F 2009. In: Karsten Voss und Eike Musall (Hg.): Nullenergiegebäude. Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten. München: Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, S. 154–157

[Loga 2007] Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus; Enseling, Andreas; Hacke, Ulrike; Born, Rolf; Knissel, Jens; Hinz, Eberhard (2007): Energieeffizienz im Wohngebäudebestand. Techniken, Potenziale, Kosten und Wirtschaftlichkeit. Querschnittsbericht. Hg. v. Verband der Südwestdeutschen Wohnungswirtschaft. Darmstadt

[Löhnert 2012] Löhnert, Günter (2012): Die Qualität des Planungsprozesses ist der Schlüssel für Nachhaltigkeit in der Gebäudeplanung. DI18 Bergische Universität Wuppertal. Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich D - Architektur. Wuppertal, Ausgabedatum 20.03.2012

[Lücking 2009] Lücking, Rolf-Michael; Hauser, Gerd (2009): Nachhaltige Energieversorgung von Gebäuden. In: tab (10), S. 62–66

[Lützkendorf 2013] Lützkendorf, Thomas (2013): Graue Energie in Dämmstoffen - ein Teilaspekt. Lohnt sich Dämmung aus Sicht von Ökobilanzen. Wärmeschutztag 2013. FIW München. München, Ausgabedatum 07.06.2013

[Mäckler, Hegger 2011] Bodenbach, Christof (21.02.2011): Eine Diskussion über die Zukunft des Bauens. Interview mit Christoph Mäckler und Manfred Hegger. Frankfurt. In: Outlook special zur ISH 2011

[Marszal 2010] Marszal, Anna Joanna; Bourelle, Julien S.; Musall, Eike; Heiselberg, Per; Gustavsen, Arild; Voss, Karsten (2010): Net Zero Energy Buildings - Calculation Methodologies versus National Building Codes. Hg. v. EuroSun Conference 2010. Graz

[Mazria 1979] Mazria, Edward (1979): The passive solar energy book. A complete guide to passive solar home, greenhouse, and building design. Emmaus: Rodale Press

[Meili 2010] Meili, Marcel; Schaub, Christoph (2010): Il Girasole. Ein Haus in der Nähe von Verona. Zurich: Scheidegger Und Spiess Ag Verlag

[Michelsen 2010] Michelsen, Claus; Müller-Michelsen, Silke (2010): Energieeffizienz im Altbau: Werden die Sanierungspotenziale überschätzt? Ergebnisse auf Grundlage des ista-IWH-Energieeffizienzindex. In: Wirtschaft im Wandel (9), S. 447–455, zuletzt geprüft am 19.09.2013

[Minergie 2011] MINERGIE® (Hg.) (2011): MINERGIE-A®/A-ECO®. Online verfügbar unter <http://www.minergie.ch/minergie-aa-eco.html>, zuletzt aktualisiert am 11.01.2012, zuletzt geprüft am 11.01.2012

- [Munari Probst 2012] Munari Probst, Maria Christina; Roecker, Christian (2012): Solar Energy Systems in Architecture. Integration criteria and guidelines. Unter Mitarbeit von Marja Edelman, Marja Lundgren, Kim Nagel, Francesco Frontini, Alessandra Scognamiglio, Alessia Giovanardi et al. Hg. v. International Energy Agency - Solar Heating and Cooling Programme Task 41 - Solar energy & Architecture
- [Musall 2009a] Musall, Eike (2009): Emissionslos Wohnen. Quartier "Am Müggenberg", Arnsberg-Neheim ; Städtebauliche und hochbauliche Konzeption eines Wohnquartiers ohne Emissionsausstoß. Hamburg: Diplomica Verlag GmbH. Online verfügbar unter [http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm/bok\\_id/277850](http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm/bok_id/277850)
- [Musall 2009b] Musall, Eike; Voss, Karsten; Spars, Guido; Mrosek, Holger; Wittwer, Volker; Sauer, Christian (2009): Markt für Kleinst-KWK-Anlagen - Strom-wärmegeführter Betrieb Voraussetzung für Wirtschaftlichkeit. In: EuroHeat and Power (4), S. 50–56
- [Musall 2011a] Musall, Eike (2011): Home for Life. Lystrup, DK 2009. In: Karsten Voss und Eike Musall (Hg.): Nullenergiegebäude. Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten. München: Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, S. 68–71, zuletzt geprüft am 15.01.2014
- [Musall 2011b] Musall, Eike; Voss, Karsten (2011): Projekte und ihre Merkmale im Überblick - Teil 1. In: Karsten Voss und Eike Musall (Hg.): Nullenergiegebäude. Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten. München: Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, S. 50–55
- [Musall 2011c] Musall, Eike; Voss, Karsten (2011): Plusenergiesiedlung. Freiburg, D 2006. In: Karsten Voss und Eike Musall (Hg.): Nullenergiegebäude. Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten. München: Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, S. 94–99, zuletzt geprüft am 27.08.2013
- [Musall 2011d] Musall, Eike; Voss, Karsten (2011): Projekte und ihre Merkmale im Überblick - Teil 2. In: Karsten Voss und Eike Musall (Hg.): Nullenergiegebäude. Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten. München: Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, S. 114–119
- [Musall 2011e] Musall, Eike; Voss, Karsten (2011): Ziel Klimaneutrale Gebäude – von der Bilanzierung zur Umsetzung. In: HLH 62 (12), S. 114–117
- [Musall 2011f] Musall, Eike; Voss, Karsten (2011): Klimaneutrale Gebäude als Ziel: Internationale Projekterfahrungen. In: XIA - intelligente Architektur (10-12), S. 64–68
- [Musall 2012a] Musall, Eike; Voss, Karsten (2012): The Passive House Concept as Suitable Basis towards Net Zero Energy Buildings. In: Wolfgang Feist (Hg.): Tagungsband 16. Internationale Passivhaustagung 2012. 16. Internationale Passivhaustagung. Hannover, 4.-5.5.2012. Darmstadt, S. 271–276
- [Musall 2012b] Musall, Eike; Voss, Karsten (2012): Nullenergiegebäude – ein Begriff mit vielen Bedeutungen. In: detail green (1), S. 80–85
- [Musall 2013a] Musall, Eike (2013): Querschnitt gebauter Beispiele. In: Faktor Verlag (Hg.): Zero. Konzepte für Null- und Plusenergiehäuser. Unter Mitarbeit von Othmar Humm. Zürich: Faktor Verlag, S. 34–49
- [Musall 2013b] Musall, Eike (2013): Architektonische Merkmale. In: Faktor Verlag (Hg.): Zero. Konzepte für Null- und Plusenergiehäuser. Unter Mitarbeit von Othmar Humm. Zürich: Faktor Verlag, S. 68–77
- [Musall 2013c] Musall, Eike (2013): Geschichte einer Idee. In: Faktor Verlag (Hg.): Zero. Konzepte für Null- und Plusenergiehäuser. Unter Mitarbeit von Othmar Humm. Zürich: Faktor Verlag, S. 10–21
- [Musall 2013d] Musall, Eike (2013): Netto-Nullenergiegebäude - Bilanzergebnisse bei monatlicher Anrechnungsbegrenzung und variierender Gewichtung. VDI-Expertenforum: Wie „smart“ managen wir Energie wirklich? VDI Verein Deutscher Ingenieure. Karlsruhe, Ausgabedatum 20.03.2013
- [Musall 2014a] Musall, Eike (2014): Net Zero Energy Buildings - worldwide. Velbert. Online verfügbar unter <http://batchgeo.com/map/net-zero-energy-buildings>, zuletzt aktualisiert am 07.12.2014, zuletzt geprüft am 08.12.2014

- [Musall 2014b] Musall, Eike (2014): Nullenergiegebäude - Karte internationaler Projekte. Hg. v. BINE Informationsdienst. Karlsruhe. Online verfügbar unter <http://www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebaeude-im-stromnetz-20/nullenergiegebaeude-karte-internationaler-projekte/>, zuletzt aktualisiert am 07.12.2014, zuletzt geprüft am 08.12.2014
- [Neu 2005] Neu, Urs; Thalmann, Esther (Hg.) (2005): Hitzesommer 2003. Synthesebericht ProClim - Forum for Climate and Global Change. Bern
- [Niebler 2007] Niebler, Dagmar; Krippner, Roland (2007): Gestalterische Aspekte bei der Integration solar-technischer Systeme in die bestehende Gebäudehülle. In: Dagmar Everding (Hg.): Solarer Städtebau. Vom Pilotprojekt zum planerischen Leitbild. Stuttgart: Kohlhammer, S. 88–100
- [Nitsch 2012] Nitsch, Joachim; Pregger, Thomas; Naegler, Tobias; Heide, Dominik; de Tena, Diego Luca; Trieb, Franz et al. (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Schlussbericht. Hg. v. Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Bundesministerium für Umwelt. Berlin
- [Noris 2014] Noris, Federico; Musall, Eike; Salom, Jaume; Berggren, Björn; Jensen, Sören Østergaard; Lindberg, Karen; Sartori, Igor (2014): Implications of weighting factors on technology preference in net zero energy buildings. In: *Energy and Buildings* 82, S. 250–262
- [Olyay 1973] Olgay, Victor (1973): *Design with climate. Bioclimatic approach to architectural regionalism*. 4. Aufl. Princeton NJ: Princeton Univ. Press
- [Pan 2014] Pan, Wei; Ning, Yan (2014): Delivering Zero Carbon Buildings. The status quo and way forward. In: *Zero Carbon Building Journal* (1), S. 7–14, zuletzt geprüft am 17.02.2014
- [Passipedia 2012] Contributors of [passipedia.de](http://passipedia.de) (2012): Anmerkungen zur Geschichte. Hg. v. [passipedia.de](http://passipedia.de). Online verfügbar unter [http://passipedia.de/passipedia\\_de/grundlagen/anmerkungen\\_zur\\_geschichte](http://passipedia.de/passipedia_de/grundlagen/anmerkungen_zur_geschichte), zuletzt aktualisiert am 11.09.2012, zuletzt geprüft am 25.01.2013
- [Passipedia 2013] Contributors of [www.passipedia.de](http://www.passipedia.de) (2013): Hintergründe: Energiebilanzen. Hg. v. [passipedia.de](http://www.passipedia.de) Passivhaus Institut. Darmstadt/Innsbruck. Online verfügbar unter [http://www.passipedia.de/passipedia\\_de/planung/energieeffizienz\\_ist\\_berechenbar/hintergruende\\_-\\_energiebilanzen?s=bezugsfl%C3%A4che](http://www.passipedia.de/passipedia_de/planung/energieeffizienz_ist_berechenbar/hintergruende_-_energiebilanzen?s=bezugsfl%C3%A4che), zuletzt aktualisiert am 30.08.2013, zuletzt geprüft am 24.10.2013
- [Pehnt 2013] Pehnt, Martin; Bettgenhäuser, Kjell; Bosquet, Michelle; Hassemer, Friederike; Heinze, Michael; Jenner, Nathalie et al. (2013): Auf dem Weg zum Niedrigenergiegebäude im Bestand. In: WEKA Media GmbH (Hg.): *Energetisch nachhaltige Sanierung. im Wettbewerb, in Studie und Forschung und in der Praxis*. Kissing: WEKA-Media GmbH (Praxis-Check Architektur, 3+4/2013), S. 28–36
- [PHPP 2008] Passivhaus Institut (2008): *Passivhaus Projektierungspaket PHPP*. Darmstadt
- [Pokorny 1982] Pokorny, Walter (1982): Die Entwurfsgütezahl von Solarhäusern. In: *Energie* 80 3 (3)
- [PVSOL 2012] Valentin, Gerhard (2012): *PV\* SOL Expert*. Berlin: Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH
- [RED 2009] Europäisches Parlament und der Rat der EU (04.06.2009): Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (RED). RED, zuletzt geprüft am 17.06.2012
- [Reinborn 1996] Reinborn, Dietmar (1996): *Stadtebau im 19. und 20. Jahrhundert*. Stuttgart: Kohlhammer
- [Remund 2011] Remund, Jan; Gantioler, Günther (2011): *Das Passivhaus im Klimawandel: erwartete Änderungen der Heiz- und Kühllasten*. Hg. v. Passivhaus Institut. Innsbruck
- [Roth 2001] Roth, Leland M. (2001): *American architecture. A history*. Boulder, Colo: Westview Press
- [Rudofsky 1989] Rudofsky, Bernard; Haslinger, Regina; Rudofsky, Berta (1989): *Architektur ohne Architekten. Eine Einführung in die anonyme Architektur*. Salzburg/Wien: Residenz

- [Rühm 2013] Rühm, Bettina (2013): Energieplushäuser. Nachhaltiges Bauen für die Zukunft. 1. Aufl. München: Deutsche Verlags-Anstalt
- [Rullan Lemke 2009] Rullán Lemke, Christina (2009): ArchitekturForm & SolarEnergie. Eine globale Formenstudie zur Untersuchung des Einflusses der Gebäudegeometrie auf Potentiale solarer Energieversorgung über die Gebäudehülle. 1. Aufl. Göttingen: Cuvillier
- [Saint-Gobain 2011] Saint-Gobain Weber GmbH (Hg.) (2011): Architekten und WDVS - Eine Hassliebe? Der Weber-Webkongress für Architekten vom 7. bis 11. November 2011. Online verfügbar unter <http://weber-webkongress.streampark.tv/>, zuletzt geprüft am 10.01.2012
- [Salom 2011] Salom, Jaume; Widen, Joakim; Candanedo, Jose A.; Sartori, Igor; Voss, Karsten; Marszal, Anna Joanna (2011): Understanding Net Zero Energy Buildings: Evaluation of Load Matching And Grid Interaction Indicators. Hg. v. Sydney Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association. Sydney
- [Salom 2014] Salom, Jaume; Marszal, Anna Joanna; Candanedo, Jose; Widen, Joakim; Byskov Lindberg, Karen; Sartori, Igor (2014): Analysis of Load Match and Grid Interaction Indicators in Net Zero Energy Buildings with High-Resolution Data. A report of Subtask A - IEA Task 40/Annex 52 Towards Net Zero Energy Solar Buildings. Unter Mitarbeit von Usman Ijaz, Ala Hassan, Björn Berggren, Søren Østergard Jensen, Francesco Guarino, Davide Nardi et al. Hg. v. IEA Task 40 / Annex 52 Catalonia Institute for Energy Research, IREC. Barcelona
- [Sartori 2007] Sartori, Igor; Hestnes, Anne-Grete (2007): Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings - A review article. In: Energy and Buildings 2007 (3), S. 249–257
- [Sartori 2012] Sartori, Igor; Napolitano, Assunta; Voss, Karsten (2012): Net Zero Energy Buildings: A Consistent Definition Framework. In: Energy and Buildings (48), S. 220–232
- [Schittich 2006a] Schittich, Christian (2006): Die Glasarchitektur von der Moderne bis zur Gegenwart. In: Christian Schittich, Gerald Staib, Dieter Balkow, Matthias Schuler und Werner Sobek (Hg.): Glasbau Atlas. 2. Aufl. Basel, München: Birkhäuser; Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, S. 30–57
- [Schittich 2006b] Schittich, Christian; Staib, Gerald; Balkow, Dieter; Schuler, Matthias; Sobek, Werner (Hg.) (2006): Glasbau Atlas. 2. Aufl. Basel, München: Birkhäuser; Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation
- [Schoof 2011] Schoof, Jakob (2011): Übersicht 2500 Jahre solares Bauen. Von Vitruv zum Solar Decathlon. Hg. v. Institut für internationale Architektur-Dokumentation. München. Online verfügbar unter [www.detail.de/thema\\_green-themendossiers-solares-bauen\\_520\\_De.htm](http://www.detail.de/thema_green-themendossiers-solares-bauen_520_De.htm), zuletzt geprüft am 23.05.2011
- [Schoof 2012] Schoof, Jakob (2012): Elektromobil in die Sackgasse? In: *detail green*, Ausgabedatum 2012 (02), S. 16–19
- [Scognamiglio 2012] Scognamiglio, Alessandra; Musall, Eike; Røstvik, Harald N. (2012): Photovoltaics and (Nearly) Net Zero Energy Buildings: Architectural Considerations. In: Masa Noguchi (Hg.): ZEMCH 2012 International Conference Proceedings. Glasgow: ZEMCH Network, S. 301–318
- [SDE 2010] Solar Decathlon Commission (Hg.) (2010): Solar Decathlon Europe 2010 - Rules and Regulations. Madrid
- [SIA 2013] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (2013): Grundlagen für energetische Berechnungen von Gebäuden - Entwurf 504416/1. SIA 416/1:2013, zuletzt geprüft am 04.11.2013
- [SIA 2031 2009] SIA 2031 - Energieausweis für Gebäude, Ausgabedatum 01.01.2009, zuletzt geprüft am 22.04.2012
- [SIA 380 1995] SIA 380/4, Ausgabedatum 11.1995
- [Siems 2011] Siems, Tanja; Simon, Katharina; Dinkel, Arnulf; Musall, Eike (2011): Stadtbauprojekt Masdar. In: Karsten Voss und Eike Musall (Hg.): Nullenergiegebäude. Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten. München: Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, S. 108–113

- [Solar Decathlon 2011] Leitte, Sandra; Strobl, Cosima (Hg.) (2011): Solar Architektur hoch4. Die deutschen Beiträge zum Solar Decathlon Europe 2010. Unter Mitarbeit von Soara Bernard Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich D - Architektur. 1. Aufl. München: Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation
- [Solarworld 2014] BINE Informationsdienst (Hg.) (2014): Leistungsstärkere Solarzellen gehen in Pilotproduktion. Online verfügbar unter [http://www.bine.info/index.php?id=39&no\\_cache=1&typ=30&artikel=2689&cHash=7658f1043134a61208ac389bc8859d9c](http://www.bine.info/index.php?id=39&no_cache=1&typ=30&artikel=2689&cHash=7658f1043134a61208ac389bc8859d9c), zuletzt geprüft am 19.03.2014
- [Soleri 2013] Cosanti Foundation (2013): Arcosanti. Hg. v. Cosanti Foundation. Arcosanti. Online verfügbar unter [http://arcosanti.org/arcosanti\\_today](http://arcosanti.org/arcosanti_today), zuletzt aktualisiert am 12.12.2013, zuletzt geprüft am 13.12.2013
- [Sonnenhaus 2008] Sonnenhaus-Institut e.V. (Hg.) (2008): Das Sonnenhaus. ...unabhängig und umweltbewusst: Wohnen mit der Sonne. Straubing
- [Steiger 2013] Steiger, Peter; Lenel, Severin (2013): Planen und Bauen für das Notwendige. In: Roland Köhler und Sigrid Hanke (Hg.): Schweizer Energiefachbuch 2014. Nachhaltig Planen, Bauen und Betreiben. St. Gallen: Kömedia AG (31), S. 8–23
- [Steinmüller 2008] Steinmüller, Bernd (2008): Reducing energy by a factor of 10. Promoting energy efficient sustainable housing in the western world. Lüneburg: Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre Umweltmanagement Leuphana Universität Lüneburg. Online verfügbar unter [http://www.leuphana.de/csm/content/nama/downloads/download\\_publicationen/66-5\\_download.pdf](http://www.leuphana.de/csm/content/nama/downloads/download_publicationen/66-5_download.pdf)
- [Stern 2010] Sterner, Michael; Gerhardt, Norman; Saint-Drenan, Yves-Marie; von Oehsen, Amany; Hochloff, Patrick; Kocmajewski, Maximilian et al. (2010): Energiewirtschaftliche Bewertung von Pumpspeichern und anderen Speichern im zukünftigen Stromversorgungssystem. Endbericht. Hg. v. Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) und FuE-Bereich Energiewirtschaft und Netzbetrieb. Kassel
- [Stockinger 2013] Stockinger, Volker; Grunewald, John; Jensch, Werner (2013): Energieausweis+ für Plusenergie-Wohngebäude mit zusätzlichen Informationen gemäß § 17 Absatz 4 der Energieeinsparverordnung (EnEV). In: Bauphysik 35 (3), S. 212–219. DOI: 10.1002/bapi.201310066
- [Stutterecker 2012] Stutterecker, Werner; Blümel, Ernst (2012): Energy plus standard in buildings constructed by housing associations? In: Energy 48 (1), S. 56–65. DOI: 10.1016/j.energy.2012.06.044
- [Torcellini 2006] Torcellini, Paul; Pless, Shanti; Deru, Michael; Crawley, Drury (2006): Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. Hg. v. National Renewable Energy Laboratory NREL U.S. Department of Energy DEO. Golden
- [Treberspurg 1999a] Treberspurg, Martin (1999): Neues Bauen mit der Sonne. Ansätze zu einer klimagerechten Architektur. 2. Aufl. Wien: Springer
- [Treberspurg 1999b] Treberspurg, Martin (1999): Vom Standardgebäude zum Haus der Zukunft: Sind wir auf dem richtigen Weg? Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie; Institut für Nachhaltige Technologien AEE Intec. Wien
- [TÜV 2013] TÜV NORD CERT GmbH (Hg.) (2013): TÜV NORD CERT – Zertifizierung „Klimaneutrales Gebäude“ (Carbon Neutral Building). Bauen auf den Klimaschutz TÜV NORD CERT GmbH. Hannover. Online verfügbar unter [www.tuev-nord.de/de/klimaneutralitaet/klimaneutrales-gebäude-93200.htm](http://www.tuev-nord.de/de/klimaneutralitaet/klimaneutrales-gebäude-93200.htm), zuletzt geprüft am 09.12.2013
- [Vahlenkamp 2007] Vahlenkamp, Thomas (2007): Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland. Sektorperspektive Gebäude. Eine Studie von McKinsey & Company, Inc. erstellt im Auftrag von "BDI initiativ - Wirtschaft für Klimaschutz". Hg. v. Inc McKinsey & Company BDI initiativ - Wirtschaft für Klimaschutz. Düsseldorf

- [Vallentin 2011] Vallentin, Rainer (2011): Energieeffizienter Städtebau mit Passivhäusern. Begründung belastbarer Klimaschutzstandards im Wohnungsbau. 1. Aufl. Göttingen: Cuvillier
- [VDE 2013] ETG-Task Force Aktive EnergieNetze (2013): Aktive Energienetze im Kontext der Energiewende. Anforderungen an künftige Übertragungs- und Verteilnetze unter Berücksichtigung von Marktmechanismen. Studie der Energietechnischen Gesellschaft im VDE (ETG). Hg. v. VDE Verband der Elektrotechnik. Frankfurt am Main
- [VDI 3807-1 2013] VDI 3807 Blatt 1: Verbrauchskennwerte für Gebäude - Grundlagen, Technische Regel, Ausgabedatum 06.2013, zuletzt geprüft am 23.10.2013
- [Voss 1996] Voss, Karsten; Goetzberger, Adolf; Bopp, G; Häberle, A; Heinzl, A; Lehmborg, H (1996): The self-sufficient solar house in Freiburg—Results of 3 years of operation. In: Solar Energy 58 (Issues 1-3), S. 17–23
- [Voss 2007] Voss, Karsten; Kramp, Miriam (2007): Nullenergie-/Nullemissionsgebäude: Hintergründe, Beispiele und Bilanzierungsmodelle. Seminar btga3, WS 07/08. Hg. v. Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung, btga Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich D - Architektur. Wuppertal
- [Voss 2010a] Voss, Karsten; Musall, Eike; Lichtmeß, Markus (2010): Vom Niedrigenergie- zum Nullenergiehaus: Standortbestimmung und Entwicklungsperspektiven. In: Bauphysik 32 (12), S. 424–434
- [Voss 2010b] Voss, Karsten; Sartori, Igor; Napolitano, Assunta; Geier, Sonja; Gonçalves, Helder; Hall, Monika et al. (2010): Load Matching and Grid Interaction of Net Zero Energy Buildings. Hg. v. EuroSun Conference 2010. Graz
- [Voss 2011a] Voss, Karsten (2011): Methodische Grundlagen der Bilanzierung. In: Karsten Voss und Eike Musall (Hg.): Nullenergiegebäude. Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten. München: Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, S. 28–39
- [Voss 2011b] Voss, Karsten (2011): Wege zum Klimaneutralen Gebäude. Unter Mitarbeit von Monika Hall, Sonja Geier und Armin Binz. In: Karsten Voss und Eike Musall (Hg.): Nullenergiegebäude. Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten. München: Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, S. 10–27
- [Voss 2011c] Voss, Karsten (2011): Energiebilanzierung: Praxis, Normung und Gesetzgebung. Unter Mitarbeit von Monika Hall, Sonja Geier und Armin Binz. In: Karsten Voss und Eike Musall (Hg.): Nullenergiegebäude. Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten. München: Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, S. 40–47
- [Voss 2011d] Voss, Karsten; Musall, Eike (2011): Null- und Plusenergiegebäude: Allgemeine Bilanzierungsverfahren und Schnittstellen zur normativen Praxis in Deutschland. In: EnEVaktuell (IV), S. 3–5
- [Voss 2012] Voss, Karsten; Künz, Carolin (2012): Klimadaten und Klimawandel - Untersuchungen zum Einfluss auf den Energiebedarf, den Leistungsbedarf und den thermischen Komfort von Gebäuden. In: Bauphysik 34 (5), S. 189–196. DOI: 10.1002/bapi.201200027
- [Voss 2013] Voss, Karsten; Musall, Eike (2013): Energiebilanzierung. In: Faktor Verlag (Hg.): Zero. Konzepte für Null- und Plusenergiehäuser. Unter Mitarbeit von Othmar Humm. Zürich: Faktor Verlag, S. 16–27
- [Voss Musall 2011] Voss, Karsten; Musall, Eike (Hg.) (2011): Nullenergiegebäude. Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten. München: Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation
- [Weiß 2012] Weiß, Tobias (2012): Nullenergiegebäude in einem städtischen Umfeld - Planungsherausforderungen und Möglichkeiten. Gleisdorf Solar 2012. AEE – Institut für nachhaltige Technologien. Gleisdorf, Ausgabedatum 12.09.2012

[WestLB 2012] Voss, Karsten; Musall, Eike; Arbach, Simon; Spars, Guido; Wittwer, Christof; Sauer, Christian et al. (2012): Dezentrale Stromerzeugung im Kleinleistungsbereich als Beitrag zur Emissionsminderung im Gebäudebestand – Potentialanalyse und beispielhafte Umsetzung für Hauseigentümer in NRW. Schlussbericht zum Vorhaben. Hg. v. WestLB Stiftung Zukunft NRW. Düsseldorf

[Windreich 2012] Windreich AG (16.05.2012): Windreich baut riesige Windkraftanlage für Daimler. Wolf-schlugen. Loistl, Marcus

[Wirth 2013] Wirth, Harry (2013): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Fassung vom 12.9.2013. Hg. v. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE). Freiburg

[Wouters 2007] Wouters, Frank (2007): Potentiale passiver und aktiver Solarenergienutzung in den Stadt-raumtypen. In: Dagmar Everding (Hg.): Solarer Städtebau. Vom Pilotprojekt zum planerischen Leitbild. Stuttgart: Kohlhammer, S. 229–245

[WR 1999] Wissenschaftsrat (1999): Stellungnahme zur Energieforschung. Köln: Wissenschaftsrat

[WSchV 1977] Bundesregierung (11.08.1977): Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung). WSchV, zuletzt geprüft am 10.06.2013

[Xenophon 1962] Xenophon (1962): Erinnerungen an Sokrates. (Memorabilia Socratis, griechisch u. deutsch). Von Xenophon. Ed. Peter Jaerisch. Unter Mitarbeit von Dr. Hans Färber und Dr. Max Faltner. München: Ernst Heimeran Verlag

## Nomenklatur

### Länderkürzel nach ISO 3166

INT	International
EU	Europäische Union
AE	Vereinigte Arabische Emirate
AQ	Antarktis
AT	Österreich
AU	Australien
AZ	Aserbaidschan
BE	Belgien
CA	Kanada
CH	Schweiz
CN	China
CR	Costa Rica
CZ	Tschechische Republik
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DE	Deutschland
DK	Dänemark
ET	Äthiopien
FI	Finnland
FR	Frankreich
GR	Griechenland
HU	Ungarn
ID	Indonesien
IN	Indien
IR	Irland
IT	Italien
JP	Japan
KR	Südkorea
MY	Malaysia
NL	Niederlande
NO	Norwegen
NZ	Neu Seeland
PL	Polen

PT	Portugal
SD	Sudan
SE	Schweden
SG	Singapur
SP	Spanien
TW	Taiwan
UK	Groß Britannien
US	Vereinigte Staaten von Amerika

### **Abkürzungen**

AKW	Atomkraftwerk
allg.	allgemein
BauGB	Baugesetzbuch
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BDA	Bund Deutscher Architekten
BGF	Bruttogrundfläche
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMZ	Baummassenzahl
BK	Biomassekessel
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
bspw.	beispielsweise
BtL	<i>Biomass to Liquid</i> , dt. Biomasseverflüssigung
BUS	Binary Unit System (System zur Datenübertragung)
bzw.	beziehungsweise
COP	<i>Coefficient of performance</i> , dt. Leistungszahl von Wärmepumpen - als Quotient aus der ausgegebenen Wärme und dem eingesetzten Strom
CSH	Code for Sustainable Homes
d	Tag
DG	Dachgeschoss
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
DIN	Deutsche Industrienorm
DIN V	Deutsche Industrienorm - Vornorm
dt.	deutsch
DWD	Deutscher Wetterdienst
EBF	Energiebezugsfläche nach u.a. „MINERGIE-A“ (Umrechnungsfaktor zu NGF 0,85 gemäß [VDI 3807-1 2013])
EDV	Elektronische Datenverarbeitung

---

EEG	Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz)
EEWärmeG	Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz)
EEX	<i>European Energy Exchange</i> , dt. Europäische Energiehandelsbörse
EFH	Einfamilien- oder kleines Wohnhaus
EG	Erdgeschoss
EIB	<i>European Installation Bus</i> , dt. Europäischer Installations-Bus
EnEG	Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinsparungsgesetz)
EnEV	Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung)
EnOB	Forschung für Energieoptimiertes Bauen
EPBD	Directive on the Energy Performance of Buildings (Energy Performance of Buildings Directive, dt. EU-Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden)
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule (Zürich)
FW	Fernwärme
G	Gesamtenergiedurchlasskoeffizient
GEMIS	Globales Emissions-Modell integrierter Systeme
GES	gesamt - im Sinne von vollständig
gesamt	nicht erneuerbarer und erneuerbarer Anteil der Primärenergieaufwendungen
GFZ	Geschossflächenzahl
ggf.	gegebenenfalls
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
GK	Gas-Brennwertkessel
GLT	Gebäudeleittechnik
GPWL	Gebäude für Produktion, Werkstätten und Lagerung
GRZ	Grundflächenzahl
HeizAnIV	Heizungsanlagenverordnung
IBP	Fraunhofer-Institut für Bauphysik
IEKP	Integriertes Energie- und Klimaprogramm
IINAS	Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien
inkl.	inklusive(e)
INT	International
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISE	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
IWU	Institut für Wohnen und Umwelt
KEA	kumulierter Energieaufwand
KEABW	Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg
KEV	kumulierter Energieverbrauch

---

KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KNX	KONNEX (Eigenname eines standardisierten Telegrammstils zwischen Sensoren und Akteuren in einem Bussystem)
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz)
LED	<i>light-emitting diode</i> , dt. Licht-emittierende Diode, Leuchtdiode
Lon	<i>local operation network</i> , dt. lokales Netzwerk
MAP	Marktanreizprogramm
MFH	Mehrfamilien- oder großes Mehrparteienwohnhaus
Mio.	Millionen
MSR	Messen, Steuern, Regeln
n.e.	nicht erneuerbarer Anteil der Primärenergieaufwendungen
NEH	Niedrigenergiehaus
NF	Nutzfläche
NGF	Nettogrundfläche
Nr.	Nummer
NRW	Nordrhein-Westfalen
nutz.-spez.	Nutzungsspezifischer Energiebedarf/-verbrauch
o.	oder
OG	Obergeschoss
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
P	Primärenergie
PCM	<i>Phase Change Materials</i> , dt. Phasenwechselmaterialien
PEF	Primärenergiefaktor
Pers	Person
PH	Passivhaus
PHPP	Passivhaus-Projektierungs-Paket
PHLIX	Physical Electricity Index (Stromindex)
PHPP	Passivhaus Projektierungspaket
PV	Photovoltaik(-fläche/-anlage)
RLT	Raumlufttechnik
s. / s.o. / s.u.	siehe / siehe oben / siehe unten
SGZ	Solare Gütezahl
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
sog.	sogenannt(e/en)
ST	Solarthermie, solarthermische Anlage

StromEinspG	Gesetz über die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien in das öffentliche Netz (Stromeinspeisungsgesetz)
TF	Technische Funktionsfläche
TGA	(Energiebedarf/-verbrauch) Technische Gebäudeausrüstung
THG	Treibhausgasemissionen
tlw.	teilweise
TRY	<i>test reference year</i> , dt. Testreferenzjahr
TU	Technische Universität
u.a.	unter anderem
ü.NN.	über Normalnull
UCTE	<i>Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity</i> , dt. Union für die Koordinierung des Transports von Elektrizität
UN	<i>United Nations</i> , dt. Vereinte Nationen
USV	unterbrechungsfreie Stromversorgung
u.U.	unter Umständen
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VF	Verkehrsfläche
vgl.	vergleiche
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
WE	Wohneinheit
Wfl	Wohnfläche
WK	Windkraft(-anlage)
WP	Wärmepumpe
WRG	Wärmerückgewinnung
WSchV	Wärmeschutzverordnung
WW	Warmwasser
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

### Symbole, Zeichen und Einheiten

Zeichen	Einheit	Bedeutung
A	m <sup>2</sup> , km <sup>2</sup> , ha	Fläche in Quadratmeter/-kilometer, Hektar
A <sub>N</sub>	m <sup>2</sup>	Nutzfläche der Energieeinsparverordnung
A/V	m <sup>-1</sup>	Oberflächen zu Volumen-Verhältnis
c	kJ/kgK	spezifische Wärmespeicherkapazität
C <sub>wirk</sub>	kJ/K	wirksame Wärmespeicherfähigkeit
CO <sub>2</sub>	g, kg, t	Kohlenstoffdioxid bzw. CO <sub>2</sub> -äquivalente THG

Zeichen	Einheit	Bedeutung
$\Delta$		Delta (Abweichung, Differenz)
$\Sigma$		Summe
E	kWh, MWh	Endenergie
e		(Anlagen-)Aufwandszahl
<i>fa</i>		(Umrechnungs-)Faktor
$F_c$		Faktor des Gesamtenergiedurchlassgrads (transparenter) Bauteile
H	kWh, MWh	Energiegehalt, Wärmeverlust
L	m, km	Länge in Meter, Kilometer
m	g, kg, t	Masse in Gramm, Kilogramm, Tonnen
n	$h^{-1}$	Luftwechsel(-rate)
p	Pa	Druck in Pascal
P	kWh, MWh	Primärenergie
$P_{SFP}$	$kW/(m^3/s)$	Spezifische Leistungsaufnahme des Ventilators
P	ppm	Quotient in parts per million
Q	W	Leistung in Watt
Q, Q	kWh, MWh	Energie(-bedarf)
T	K	Temperatur in Kelvin
T	°C	Temperatur in Grad Celsius
t	m, h, d, M, a	Zeitspanne in Minute, Stunde, Tag, Monat, Jahr
U-Wert	$W/m^2K$	Wärmedurchgangskoeffizient
U	V	Spannung in Volt
V	$m^3$	geheiztes Gebäude- bzw. (Brutto-)Raumvolumen
W	kWh, MWh	Hilfsenergie
$\emptyset$		durchschnittlich

### Einheitenpräfixe, dezimale SI-Vielfache

c	Zenti / Hundertstel
G	Giga / Milliarde
k	Kilo / Tausend
m	Milli / Tausendstel
M	Mega / Million
T	Tera / Billion

### Indizes

a	Jahr, jährlich
BGF	Bruttogeschossfläche

---

CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid/Treibhausgasemissionen
d	Tag
DF	Dachfläche
E	Endenergie
e	erneuerbar/erneuerbar Anteil der Primärenergie
EBF	Energiebezugsfläche
el	elektrisch
exp	exportiert
<i>fa</i>	(Umrechnungs-)Faktor
f	<i>Frame</i> , dt. Rahmen
g	Glas
ges	gesamt; nicht erneuerbarer und erneuerbarer Anteil der Primärenergieaufwendungen
<i>gen</i>	<i>generation</i> , dt. Erzeugung
h	Heizwärme
i	intern
imp	importiert
<i>j</i>	Index
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
<i>l</i>	<i>load</i> , dt. Energielast oder -bedarf
N	Nutz(-energie; -fläche)
n.e.	nicht erneuerbarer Anteil der Primärenergieaufwendungen
NGF	Nettogrundfläche
P	Primärenergie
p	<i>peak</i> , dt. maximal
Pers	Person
PV	Photovoltaik
S	Strom
SA	Solaranlage
sol	Solar
ST	Solarthermie
T	Transmission
th	thermisch
V	Lüftung
w	<i>window</i> , dt. Fenster
WRG	Wärmerückgewinnung

## Erklärungen

### Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst, nur die angegebenen Hilfsmittel und Quellen genutzt und alle wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Die vorliegende Arbeit wurde bisher weder im In- oder im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form veröffentlicht noch einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt. Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe, und dass keine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades vorliegt.



Eike Musall, Velbert den 19.01.2015

### Rechtlicher Hinweis

Die in der Dissertation aufgeführten Bezeichnungen für Label oder Definitionen sind bisweilen durch markenrechtliche Bestimmungen oder das Urheberrecht geschützt. Um die Lesbarkeit der Arbeit zu vereinfachen, wurden die Symbole des Copyrights (©), der Registered Trademark (®) und der Unregistered Trade Mark (™) nur beim erstmaligen Auftreten der zu schützenden Bezeichnung im Text verwendet.

Überdies ist anzumerken, dass die Rechte der in der Arbeit als Grundlage von Vergleichen genutzten Werte und Angaben teilweise durch Dritte gehalten und ausschließlich zum wissenschaftlichen Untersuchungszweck dieser Arbeit überlassen und genutzt werden. Selbiges gilt für einige Projektfotos.

## **Kurzvita Eike Musall**

Der Lebenslauf ist in der Online-Version aus Gründen des Datenschutzes nicht enthalten

## Veröffentlichungen im Zuge dieser Arbeit

### Bücher und Buchbeiträge

Voss, Karsten; Musall, Eike (Hg.) (2011): Nullenergiegebäude. Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten. München: Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation

Voss, Karsten; Musall, Eike (Hg.) (2013): Net Zero Energy Buildings. International Projects of Carbon Neutrality in Buildings. 2. Aufl. Berlin: Walter De Gruyter Inc (Detail green books)

Musall, Eike (2013): Geschichte einer Idee. In: Faktor Verlag (Hg.): Zero. Konzepte für Null- und Plusenergiehäuser. Zürich: Faktor Verlag, S. 10–21

Musall, Eike (2013): Querschnitt gebauter Beispiele. In: Faktor Verlag (Hg.): Zero. Konzepte für Null- und Plusenergiehäuser. Zürich: Faktor Verlag, S. 34–49

Musall, Eike (2013): Architektonische Merkmale. In: Faktor Verlag (Hg.): Zero. Konzepte für Null- und Plusenergiehäuser. Zürich: Faktor Verlag, S. 68–77

Voss, Karsten; Musall, Eike (2013): Energiebilanzierung. In: Faktor Verlag (Hg.): Zero. Konzepte für Null- und Plusenergiehäuser. Zürich: Faktor Verlag, S. 16–27

Voss, Karsten; Musall, Eike; Sartori, Igor; Lollini, Roberto (2013): Nearly Zero, Net Zero, and Plus Energy Buildings – Theory, Terminology, Tools, and Examples. In: Detlef Stolten und Viktor Scherer (Hg.): Transition to renewable energy systems. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, S. 875–889

Aelenei, Laura; Aelenei, Daniel; Gonçalves, Helder; Lollini, Roberto; Musall, Eike; Scognamiglio, Alessandra et al. (2012): Design Issues for Net Zero-Energy Buildings. In: Masa Noguchi (Hg.): ZEMCH 2012 International Conference Proceedings. Glasgow: ZEMCH Network, S. 37–48

Scognamiglio, Alessandra; Musall, Eike; Røstvik, Harald N. (2012): Photovoltaics and (Nearly) Net Zero Energy Buildings: Architectural Considerations. In: Masa Noguchi (Hg.): ZEMCH 2012 International Conference Proceedings. Glasgow: ZEMCH Network, S. 301–318

### Zeitschriftenartikel

Musall, Eike; Voss, Karsten; Spars, Guido; Mrosek, Holger; Wittwer, Volker; Sauer, Christian (2009): Markt für Kleinst-KWK-Anlagen - Strom-wärmegeführter Betrieb Voraussetzung für Wirtschaftlichkeit. In: EuroHeat and Power (4), S. 50–56

Voss, Karsten; Musall, Eike; Lichtmeß, Markus (2010): Vom Niedrigenergie- zum Nullenergiehaus: Standortbestimmung und Entwicklungsperspektiven. In: Bauphysik 32 (12), S. 424–434

Voss, Karsten; Musall, Eike; Lichtmeß, Markus (2011): From Low Energy to Net Zero-Energy Buildings: Status and Perspectives. In: Journal of Green Building 6 (1), S. 46–57

Marszal, Anna Joanna; Heiselberg, Per; Bourelle, Julien S.; Musall, Eike; Voss, Karsten; Sartori, Igor; Napolitano, Assunta (2011): Zero Energy Building - A Review of definitions and calculation methodologies. In: Energy and Buildings 43 (4), S. 971–979

Musall, Eike; Voss, Karsten (2011): Klimaneutrale Gebäude als Ziel: Internationale Projekterfahrungen. In: XIA - intelligente Architektur (10-12), S. 64–68

Musall, Eike; Voss, Karsten (2011): Ziel Klimaneutrale Gebäude – von der Bilanzierung zur Umsetzung. In: HLH 62 (12), S. 114–117

Voss, Karsten; Musall, Eike (2011): Null- und Plusenergiegebäude: Allgemeine Bilanzierungsverfahren und Schnittstellen zur normativen Praxis in Deutschland. In: EnEVaktuell (IV), S. 3–5

Musall, Eike; Voss, Karsten (2012): Nullenergiegebäude – ein Begriff mit vielen Bedeutungen. In: detail green (1), S. 80–85

Arbach, Simon; Hollinger, Raphael; Wittwer, Christof; Musall, Eike; Voss, Karsten (2013): Mini-KWK in Gründerzeitgebäuden. Zum Ausgleich von fluktuierender Stromerzeugung. In: tab 44 (03), S. 46–51

Aelenei, Daniel; Aelenei, Laura; Musall, Eike; Cubi, Eduard; Ayoub, Joseph; Belleri, Annamaria (2013): Design Strategies for Non-Residential Zero-Energy Buildings. Lessons learned from Task 40/Annex 52 “Towards Net Zero - Energy Solar Buildings”. In: Society of Environmental Engineering (Hg.): Clima 2013. Prag: Society of Environmental Engineering, S. 5414–5423

Musall, Eike; Voss, Karsten (2014): Renewable Energy Ratio in Net Zero Energy Buildings. In: REHVA Journal 51 (3), S. 14–18

Noris, Federico; Musall, Eike; Salom, Jaume; Berggren, Bjørn; Jensen, Søren Østergaard; Lindberg, Karen; Sartori, Igor (2014): Implications of weighting factors on technology preference in net zero energy buildings. In: Energy and Buildings 82, S. 250–262

### Tagungsbeiträge

Musall, Eike; Weiß, Tobias; Voss, Karsten; Lenoir, Aurélie; Donn, Michael; Cory, Shaan; Garde, François (2010): Net Zero Energy Solar Buildings: An Overview and Analysis on worldwide Building Projects. Hg. v. EuroSun Conference 2010. Graz

Voss, Karsten; Sartori, Igor; Napolitano, Assunta; Geier, Sonja; Gonçalves, Helder; Hall, Monika et al. (2010): Load Matching and Grid Interaction of Net Zero Energy Buildings. Hg. v. EuroSun Conference 2010. Graz

Marszal, Anna Joanna; Bourelle, Julien S.; Musall, Eike; Heiselberg, Per; Gustavsen, Arild; Voss, Karsten (2010): Net Zero Energy Buildings - Calculation Methodologies versus National Building Codes. Hg. v. EuroSun Conference 2010. Graz

Musall, Eike; Voss, Karsten (2012): The Passive House Concept as Suitable Basis towards Net Zero Energy Buildings. In: Wolfgang Feist (Hg.): Tagungsband 16. Internationale Passivhaustagung 2012. 16. Internationale Passivhaustagung. Hannover, 4.-5.5.2012. Darmstadt, S. 271–276

Musall, Eike (2013): Netto-Nullenergiegebäude - Bilanzergebnisse bei monatlicher Anrechnungsbegrenzung und variierender Gewichtung. VDI-Expertenforum: Wie „smart“ managen wir Energie wirklich? VDI Verein Deutscher Ingenieure. Karlsruhe

### Projektberichte

Voss, Karsten; Musall, Eike; Arbach, Simon; Spars, Guido; Wittwer, Christof; Sauer, Christian et al. (2012): Dezentrale Stromerzeugung im Kleinleistungsbereich als Beitrag zur Emissionsminderung im Gebäudebestand – Potentialanalyse und beispielhafte Umsetzung für Hauseigentümer in NRW. Schlussbericht zum Vorhaben. Hg. v. WestLB Stiftung Zukunft NRW. Düsseldorf

Noris, Federico; Assunta, Napolitano; Lollini, Roberto (2013): Measurement and Verification protocol for Net Zero Energy Buildings. A report of Subtask A - IEA Task 40/Annex 52 Towards Net Zero Energy Solar Buildings. Unter Mitarbeit von Søren Østergaard Jensen, Jose Candanedo, Sonja Geier, Michel Tardif, Daniel Aelenei, François Garde et al. Hg. v. International Energy Agency IEA - SHC Task 40 / ECBCS Annex 52. Bozen

Hermelink, Andreas; Schimschar, Sven; Boermans, Thomas; Pagliano, Lorenzo; Zangheri, Paolo; Armani, Roberto et al. (2013): Towards nearly zero-energy buildings. Definition of common principles under the EPBD. Hg. v. Ecofys by order of European Commission Europäische Kommission. Köln. Online verfügbar unter [http://ec.europa.eu/energy/efficiency/buildings/implementation\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/efficiency/buildings/implementation_en.htm), zuletzt geprüft am 03.06.2013



---

# Kapitel **A**

## Anhang



Hauptquartier des WWF - NL\_1, Foto Hans Lebbe

## A. Anhang

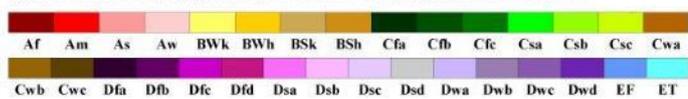
Die folgenden Abschnitte sind entsprechend der Reihenfolge ihrer thematischen Verweisung aus dem Hauptteil der Arbeit sortiert und können sich daher mitunter thematisch voneinander unterscheiden.

### A.1 Klimazuordnung der in der Datenbank erfassten Nullenergiegebäude

Anhand von [Kottek 2006] und der darin gezeigten Karte nach Abbildung A-1 werden die 415 in der Datenbank erfassten Nullenergiegebäude in unterschiedliche Klimazonen und damit energetische Anforderungsprofile unterteilt. Dazu werden vornehmlich die Hauptklimare („Main climates“) genutzt, da eine genauere Unterteilung meist nicht möglich bzw. sehr aufwendig ist. Die nötigen gebäude- bzw. standortspezifischen Temperaturdaten liegen nicht vor. Die Überwiegende Mehrzahl der erfassten Projekte liegt in der Klimazone C „warm temperate“, also der gemäßigten Klimazone (s. Abbildung 5-9).

#### World Map of Köppen–Geiger Climate Classification

updated with CRU TS 2.1 temperature and VASCLimO v1.1 precipitation data 1951 to 2000



#### Main climates

A: equatorial  
B: arid  
C: warm temperate  
D: snow  
E: polar

#### Precipitation

W: desert  
S: steppe  
f: fully humid  
s: summer dry  
w: winter dry  
m: monsoonal

#### Temperature

h: hot arid  
k: cold arid  
a: hot summer  
b: warm summer  
c: cool summer  
d: extremely continental  
F: polar frost  
T: polar tundra

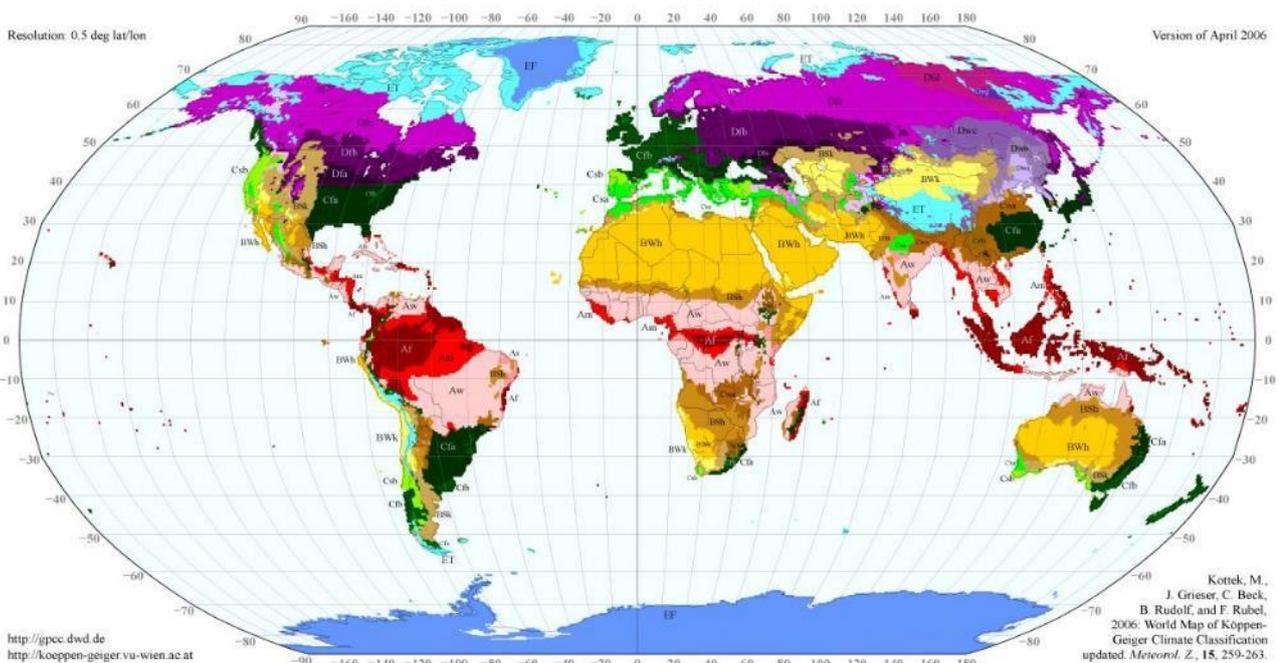


Abbildung A-1: Köppen-Geiger Weltklimakarte für die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts basierend auf Datensätzen des Climatic Research Unit (CRU) der Universität von East Anglia und des Weltzentrums für Niederschlagsklimatologie (WZN) am Deutschen Wetterdienst präsentieren im Jahr 2006. Quelle [Kottek 2006]

Die Klimate werden in dieser Arbeit wie folgt beschrieben:

Main climates	Klimazone	Kurzbezeichnung
polar	Polargebiet	polar
snow	Subpolargebiet	subpolar
warm temperate	Gemäßigte Klimazone	gemäßigt
equatorial	Subtropische Klimazone	subtropisch
arid	Tropengebiet	tropisch

## A.2 Unterstützende Angaben zum Kontext klimaneutraler Gebäude in Deutschland

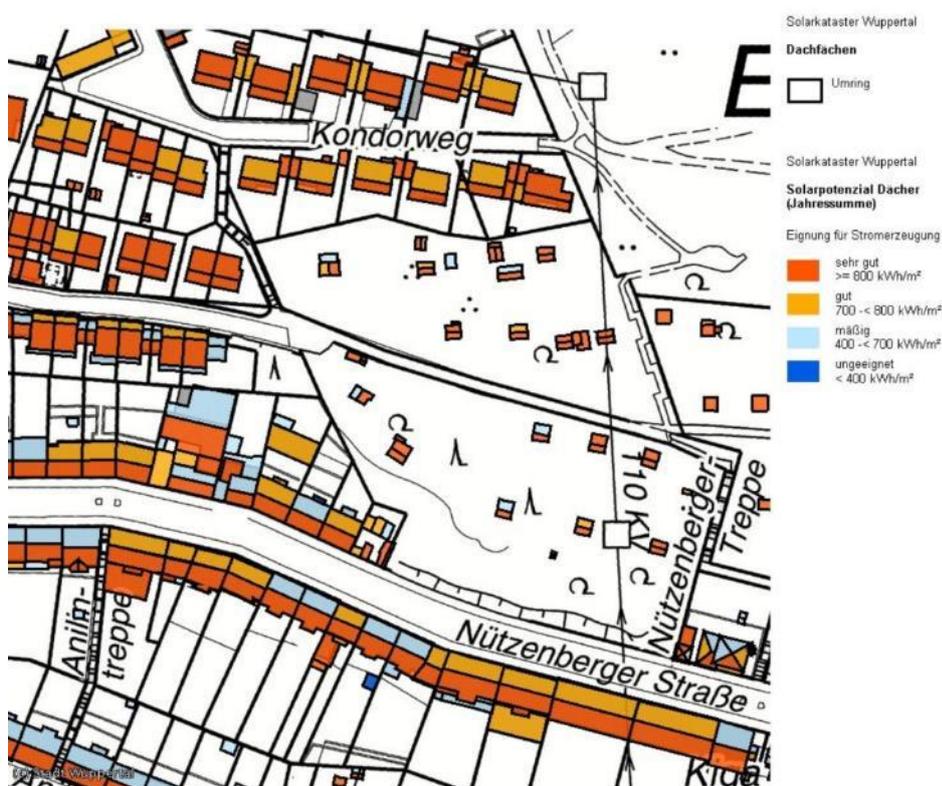


Abbildung A-2: Ausschnitt des Wuppertaler Umwelt- und Geodatenportals als Beispiel einer Ausweisung von solaren Potenzialen zur Nutzung von Solaranlagen in einem innerstädtischen Wohn-Mischgebiet mit topographischen Unterschieden (südliche stark abfallend, nördlich eher eben). Quelle [GeoPortal 2009]

### A.3 Merkmale deutscher (Wohn-)Gebäude unterteilt nach Gebäudealtersklassen

Die relevanten energetischen Kennwerte zur Einschätzung des deutschen Gebäudebestands sind zusammengetragen aus [Bigalke 2012; Diefenbach 2010; Loga 2007; Everding 2007; BMVBS 2012a; Giebeler 2008] sowie vor allem [IFEU 2013; Michelsen 2010; BMVBS 2010; Hirsch 1996; IWU 2003].

#### A.3.1 Häuser aus der Gründer- und Vorkriegszeit

Tabelle A-1: Merkmale der (Stadt-)Häuser aus der Gründer- und Vorkriegszeit

\* inkl. Sanierungsmaßnahmen

\*\* Unterschiedlichkeit der Angaben auf Grund verschiedener Studienergebnisse und Projekthintergründe (Förderanforderungen, Demonstrationsgebäude, Standardsanierung/-spotenzial)

		kleine Häuser (EFH, ZFH)	große Häuser (MFH, RH, HH)
Dach / oberste Geschossdecke	Aufbau	Einfache Holzkonstruktionen ohne Dämmung	Einfache Holzkonstruktionen, Dämmung tlw. durch Schüttung in oberster Geschossdecke
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	1,54	2,44
Außenwand	Aufbau	Dickes Einfach- und Vollziegelmauerwerk, keine zusätzliche Dämmung	
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	1,79	1,71
Kellerdecke / Fußboden	Aufbau	Holzbalken- oder Kappendecken ohne Dämmung	
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	1,06	1,22
mittlerer U-Wert gesamt [W/m <sup>2</sup> K]		1,57	1,68
Fensterqualitäten		Überwiegend Zweischeibenverglasung (83 %), mehrheitlich Einbau vor 1995	
Gedämmte Bauteilflächen* [%]	Dach	62	61
	Wand	27	30
	Kellerdecke	21	18
Davon nachträglich gedämmt [%]	Dach	47	48
	Wand	20	26
	Kellerdecke	10	11
Ø Dämmstärken [cm]	Dach	12,2	
	Wand	8,4	
	Kellerdecke	6,8	
Einsparpotenzial Heizwärme** [%]		62 - 88	
Solarurbane Gütezahl [m <sup>2</sup> <sub>SA</sub> /m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]	Dach	0,073	
	Fassade	0,000	



Abbildung A-3: Das 1884 erbaute und unter Denkmalschutz stehende Gründerzeit-Wohnhaus in der Sophienstraße in Wuppertal (Kaufmann-Schacht-Architekten) erreicht nach einer Sanierung 2007 einen geringeren Energiebedarf als Neubaustandard (Primärenergiekennwert  $33 \text{ kWh/m}^2_{\text{NGFa}}$ ). Zu den energetischen Maßnahmen zählen eine Pelletheizung, wohnungsweise Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, die nachträgliche Dämmung der rückseitigen Fassade, eine Isolierung des Daches mit 24 cm Zellulose, einer Dämmung der Kappendecken im Keller mit Mineralfaserdämmung, einem Fenstertausch (Holzfenster mit Wärmeschutzverglasung), sowie einer Innendämmung der Schauffassade zur Straßenseite mit Kalziumsilikatplatten. Aus Denkmalschutzgründen schied eine äußere Dämmung ebenso aus, wie eine Solaranlage auf dem Dach (topographische Gegebenheiten ermöglichen den Blick auf die Dachflächen). Quelle Kaufmann-Schacht-Architekten, Wuppertal

### A.3.2 Gebäude der 1920er und -30er Jahre

Tabelle A-2: Merkmale der Gebäude der 1920er und -30er Jahre

\* inkl. Sanierungsmaßnahmen

\*\* Unterschiedlichkeit der Angaben auf Grund verschiedener Studienergebnisse und Projekthintergründe (Förderanforderungen, Demonstrationsgebäude, Standardsanierung/-spotenzial)

		kleine Häuser (EFH, ZFH)	große Häuser (MFH, RH, HH)
Dach / oberste Geschossdecke	Aufbau	Einfache Holzkonstruktionen ohne Dämmung, Dämmung tlw. durch Schüttung in oberster Geschossdecke	
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	1,11	0,95
Außenwand	Aufbau	Massives Mauerwerk, tlw. zweischalig, tlw. mit Luftschicht als Dämmung	
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	1,70	1,49
Kellerdecke / Fußboden	Aufbau	Ortbeton- oder Kappendecken ohne Dämmung	
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	1,11	1,15
mittlerer U-Wert gesamt [W/m <sup>2</sup> K]			1,33
Fensterqualitäten			
Gedämmte Bauteilflächen* [%]	Dach	62	61
	Wand	27	30
	Kellerdecke	21	18
Davon nachträglich gedämmt [%]	Dach	47	48
	Wand	20	26
	Kellerdecke	10	11
Ø Dämmstärken [cm]	Dach	12,2	
	Wand	8,4	
	Kellerdecke	6,8	
Einsparpotenzial Heizwärme** [%]			
Solarurbane Gütezahl [m <sup>2</sup> <sub>SA</sub> /m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]	Dach	0,051	
	Fassade	0,000	

### A.3.3 Nachkriegsbauten und Gebäude der 1950er Jahre

		kleine Häuser (EFH, ZFH)	große Häuser (MFH, RH, HH)
Dach / oberste Geschossdecke	Aufbau	Verschiedenste Dachkonstruktionen ohne Dämmung	
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	1,11	1,37
Außenwand	Aufbau	Leichte Bims- oder Gitterziegelmauerwerke mit Putz als Dämmschicht	
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	0,93	1,23
Kellerdecke / Fußboden	Aufbau	Überwiegend Stahlbetondecken, kaum Dämmung	
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	1,01	1,32
mittlerer U-Wert gesamt [W/m <sup>2</sup> K]			1,21
Fensterqualitäten			
Gedämmte Bauteilflächen* [%]	Dach	62	61
	Wand	27	30
	Kellerdecke	21	18
Davon nachträglich gedämmt [%]	Dach	47	48
	Wand	20	26
	Kellerdecke	10	11
Ø Dämmstärken [cm]	Dach	12,2	
	Wand	8,4	
	Kellerdecke	6,8	
Einsparpotenzial Heizwärme** [%]			
Solarurbane Gütezahl [m <sup>2</sup> <sub>SA</sub> /m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]	Dach	0,157	
	Fassade	0,000	

Tabelle A-3: Merkmale der Nachkriegsbauten und Gebäude der 1950er Jahre

\* inkl. Sanierungsmaßnahmen

\*\* Unterschiedlichkeit der Angaben auf Grund verschiedener Studienergebnisse und Projekthintergründe (Förderanforderungen, Demonstrationsgebäude, Standardsanierung/-spotenzial)

## A.3.4 Häuser der 1960er Jahre

Tabelle A-4: Merkmale der Häuser der 1960er Jahre

\* inkl. Sanierungsmaßnahmen

\*\* Unterschiedlichkeit der Angaben auf Grund verschiedener Studienergebnisse und Projekthintergründe (Förderanforderungen, Demonstrationsgebäude, Standardsanierung/-spotenzial)

		kleine Häuser (EFH, ZFH)	große Häuser (MFH, RH, HH)
Dach / oberste Geschossdecke	Aufbau	Einfache Sparrendächer mit geringen Dämmstärken bis 4 cm	Massive Flachdächer Stahlbeton mit geringen Dämmstärken bis 3 cm
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	0,92	1,41
Außenwand	Aufbau	Leichtes und mittelschweres Ziegelmauerwerk mit Hohlräumen als Dämmung (Bimshohlblocksteine)	Wie kleine Wohnhäuser, zudem bei großen Gebäuden Betonelementbauweise
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	1,44	1,22
Kellerdecke / Fußboden	Aufbau	Massive Stahlbetondecken mit leichter (Trittschall-)Dämmung bis 4 cm	
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	0,97	0,96
mittlerer U-Wert gesamt [W/m <sup>2</sup> K]			1,23
Fensterqualitäten			
Gedämmte Bauteilflächen* [%]	Dach	62	61
	Wand	27	30
	Kellerdecke	21	18
Davon nachträglich gedämmt [%]	Dach	47	48
	Wand	20	26
	Kellerdecke	10	11
Ø Dämmstärken [cm]	Dach		12,2
	Wand		8,4
	Kellerdecke		6,8
Einsparpotenzial Heizwärme** [%]			
Solarurbane Gütezahl [m <sup>2</sup> <sub>SA</sub> /m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]	Dach		0,116
	Fassade		0,017

### A.3.5 Häuser aus den 1970er Jahren

		kleine Häuser (EFH, ZFH)	große Häuser (MFH, RH, HH)	Tabelle A-5: Merkmale der Häuser aus den 1970er Jahren * inkl. Sanierungsmaßnahmen ** Unterschiedlichkeit der Angaben auf Grund verschiedener Studienergebnisse und Projekthintergründe (Förderanforderungen, Demonstrationsgebäude, Standardsanierung/-spotenzial)
Dach / oberste Geschossdecke	Aufbau	Einfache Holzkonstruktionen mit Zwischensparrendämmung in Steildächern, tlw. Stahlbeton-Flachdächer, Dämmungen bis 8 cm	Häufig massive Stahlbeton-Flachdächer mit Dämmstärken bis 10 cm	
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	0,58	0,68	
Außenwand	Aufbau	Sehr unterschiedliche Wandaufbauten mit verschiedensten Materialien und geringen Dämmstärken		
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	0,90	0,93	
Kellerdecke / Fußboden	Aufbau	Überwiegend dicke Stahlbetondecken mit leichter (Trittschall-)Dämmung		
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	0,92	0,87	
mittlerer U-Wert gesamt [W/m <sup>2</sup> K]			0,92	
Fensterqualitäten				
Gedämmte Bauteilflächen* [%]	Dach	62	61	
	Wand	27	30	
	Kellerdecke	21	18	
Davon nachträglich gedämmt [%]	Dach	47	48	
	Wand	20	26	
	Kellerdecke	10	11	
Ø Dämmstärken [cm]	Dach		12,2	
	Wand		8,4	
	Kellerdecke		6,8	
Einsparpotenzial Heizwärme** [%]				
Solarurbane Gütezahl [m <sup>2</sup> <sub>SA</sub> /m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]	Dach		0,114	
	Fassade		0,072	

### A.3.6 Wohngebäude ab den 1980er Jahren

Tabelle A-6: Merkmale der Wohngebäude ab den 1980er Jahren (nach der ersten Wärmeschutzverordnung)

\* inkl. Sanierungsmaßnahmen

		kleine Häuser (EFH, ZFH)	große Häuser (MFH, RH, HH)
Dach / oberste Geschossdecke	Aufbau	Holzdächer (Steildach) mit Dämmstärken bis anfangs 10 cm, später 14 cm	Stahlbeton-Flachdächer oder Holzdächer (Steildach) mit Dämmstärken bis max. 12 cm
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	0,37	0,69
Außenwand	Aufbau	Leichtes und mittelschweres Lochziegel- oder Porenbetonmauerwerk inkl. Dämmung durch Hohlräume sowie geringen Dämmstärken bis max. 6 cm	
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	0,74	0,84
Kellerdecke / Fußboden	Aufbau	Massive Stahlbetondecken mit leichter (Trittschall-)Dämmung	
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	0,68	0,82
mittlerer U-Wert gesamt [W/m <sup>2</sup> K]			0,70
Fensterqualitäten			
Gedämmte Bauteilflächen* [%]	Dach	90	85
	Wand	50	49
	Kellerdecke	61	50
Davon nachträglich gedämmt [%]	Dach		
	Wand	Keine Angaben	
	Kellerdecke		
Ø Dämmstärken [cm]	Dach	14,3	
	Wand	10,2	
	Kellerdecke	8,5	
Einsparpotenzial Heizwärme** [%]			
Solarurbane Gütezahl [m <sup>2</sup> <sub>SA</sub> /m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]	Dach	0,073	
	Fassade	0,048	

### A.3.7 Häuser um die Jahrtausendwende

		kleine Häuser (EFH, ZFH)	große Häuser (MFH, RH, HH)	Tabelle A-7: Merkmale der Häuser neueren Baualters um die Jahrtausendwende * inkl. Sanierungsmaßnahmen
Dach / oberste Geschossdecke	Aufbau	Holzdächer (Steildach) mit Dämmstärken um 18 cm	Leichte Holzdächer (Steildach) mit Dämmstärken bis ca. 20 cm, tlw. Stahlbeton-Flachdächer	
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	0,22	0,21	
Außenwand	Aufbau	Unterschiedliche Konstruktions- bzw. Wandaufbauten: u.a. Porenbetonmauerwerk mit ca. 12 cm WDVS oder Holzständerwerke mit Gefachedämmung	Unterschiedliche Konstruktions- bzw. Wandaufbauten: überwiegend Gas- und Porenbeton- bzw. Kalksandstein- und Leichtlochziegelmauerwerke, WDVS mit 12 cm Dämmstoffdicke	
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	0,43	0,32	
Kellerdecke / Fußboden	Aufbau	Stahlbetondecken mit Dämmung um 10 cm		
	Ø U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	0,37	0,34	
mittlerer U-Wert gesamt [W/m <sup>2</sup> K]			0,29	
Fensterqualitäten				
Gedämmte Bauteilflächen* [%]	Dach	98	99	
	Wand	64	59	
	Kellerdecke	85	84	
Davon nachträglich gedämmt [%]	Dach			
	Wand	Üblicherweise bisher keine nachträglichen Dämmmaßnahmen		
	Kellerdecke			
Ø Dämmstärken [cm]	Dach	15,7		
	Wand	14,1		
	Kellerdecke	11,9		
Einsparpotenzial Heizwärme** [%]				
Solarurbane Gütezahl [m <sup>2</sup> <sub>SA</sub> /m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]	Dach	0,065		
	Fassade	0,043		

### A.4 Weitere Darstellungen zur Entstehung und Entwicklung von Nullenergiegebäuden

Abbildung A-4: Anzahl bekannter Nullenergiegebäude verteilt auf Nationen (sechs Stadtbauprojekte sind hier nicht eingeschlossen)

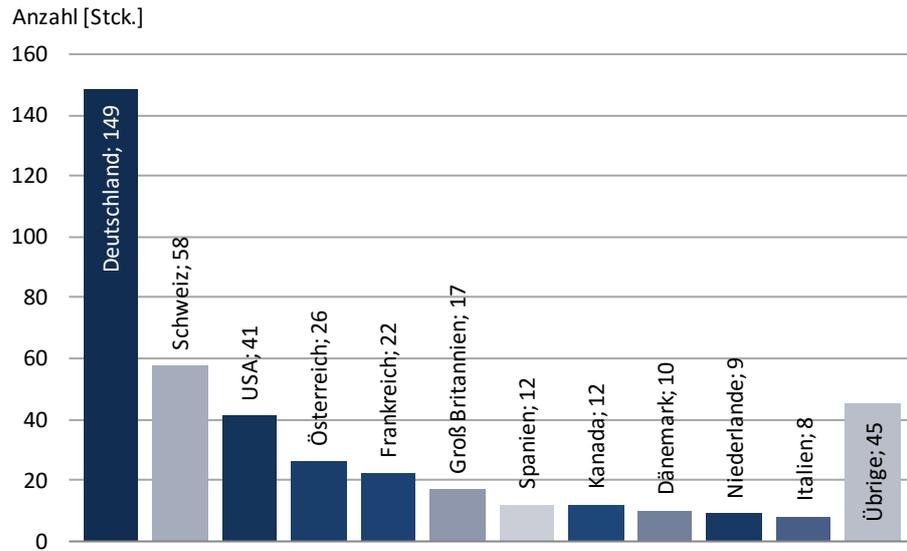


Abbildung A-5: Verhältnis zwischen Neubau- bzw. Sanierungsbeispielen bei den bekannten Nullenergiegebäuden

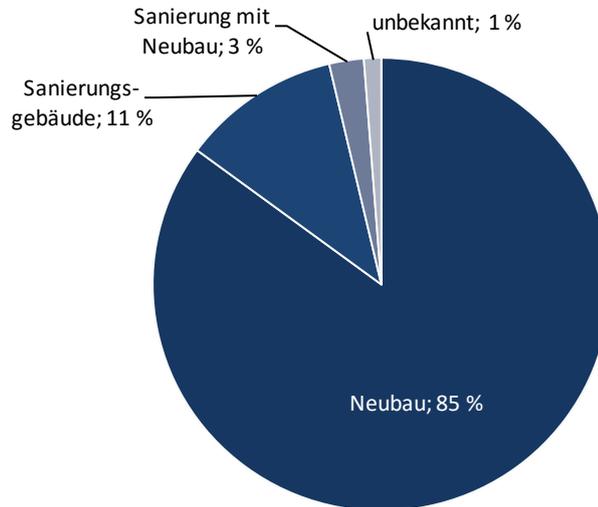
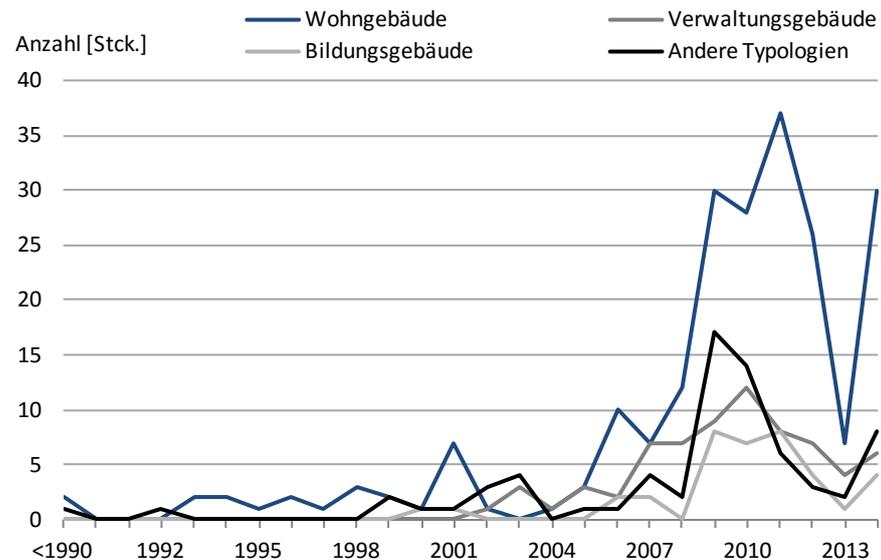


Abbildung A-6: Realisierungsjahr bekannter Nullenergiegebäude unterteilt nach Typologien. Die geringe Zahl erfasster Gebäude für das Jahr 2013 entsteht durch das Anfertigen dieser Arbeit in diesem Zeitraum, die Beendigung der Gebäuderecherche, die verspätete Berichterstattung über realisierte Bauvorhaben sowie die Etablierung des Nullenergiegebäudeansatzes und einem damit einhergehenden Rückgang in der Berichterstattung. Der Anstieg für nach 2013 erfassten Gebäude spiegelt die Fortführung des Konzepts des Nullenergiegebäudes wider



## A.5 Interviewleitfaden

### Interviewleitfaden „Der Einfluss des Nullenergiekonzepts auf formale Aspekte/die Architektur von Gebäuden“

Interviewpartner (Name): \_\_\_\_\_

Interviewpartner (Büro): \_\_\_\_\_

Status Interviewpartner: \_\_\_\_\_

Beispielgebäude: \_\_\_\_\_

Datum und Uhrzeit: \_\_\_\_\_

Ort/Räumlichkeit: \_\_\_\_\_

Zusätzliche Informationen: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Dauer: \_\_\_\_\_

Einverständnis Aufzeichnung: \_\_\_\_\_

Gedankenstütze Einleitung: Bewertung von Architektur ist sehr subjektiv. Neben vieler Zahlen und Auswertungen will ich auch Aussagen bezüglich des Einflusses des Nullenergiekonzepts auf einen Gebäudeentwurf bzw. dessen Erscheinungsbild und Gestalt tätigen. Hierzu möchte ich ein Meinungsbild einiger Architekten einholen, die sich bereits mit dem Thema Nullenergiegebäude in ihrer Arbeit auseinandergesetzt haben.

## 1. Die eigene Arbeit/konkretes Projektbeispiel

*Klimaziele sind vereinbart, der Klimawandel bereits erlebbar. Der Gebäudesektor mit einem enormen Energieverbrauch soll sich daher einreihen und sein Energieaufkommen nun selbst decken. Eine einheitliche Definition fehlt aber bisher. Auch die aktuelle Fassung der EnEV bzw. DIN 18599 beinhaltet keine Definition für Nullenergiegebäude. Wie definieren/interpretieren Sie für Ihre eigene Arbeit ein Null- bzw. Plusenergiehaus? Mit/ohne nutzerspezifische Verbräuche oder zentralen Dienste, graue Energie, Elektromobilität, externe Erzeuger, ggf. asymmetrische Gewichtungen, oder ggf. projektabhängig.*

Welche Beweggründe haben bei Ihrem Projekt „...“ (s.o.) zu der realisierten Form geführt und wie stark hatte das Nullenergieziel hierauf Einfluss?

Ist die Wahl der Materialität in Konstruktion und Fassade auf das Nullenergieziel zurückzuführen (Lebenszyklusbilanzierung, ökologischer Anspruch und Ausdruck, Marketing, ...)?

Inwieweit konnten Synergien über den integralen Entwurfsprozess (auch abseits energetischer Aspekte) erzielt werden?

Wer hat das Thema Nullenergie bei Ihren Projekten initiiert oder forciert? Wenn Sie als Architekt es waren: Hat es viel Einsatz gefordert, das Thema „schmackhaft zu machen“ und welche Hürden gab es (Akzeptanz - ästhetische wie nutzerseitig, Ausrichtung durch Bebauungsplan, Einbindung PV, ...)? Wenn es der Bauherr war: Überwogen rein formale Wünsche oder energetische Vernunft?

*In der Planung bilden Klima- und Ressourcenschutz nur einen Aspekt unter vielen. Sie können allerdings verschieden ausgedrückt und später durch das Gebäude repräsentiert werden. Wie stark beeinflussten (ökologische oder marketingrelevante) Interessen des Bauherrn das Erscheinungsbild?*

## 2. Auswirkungen auf den Entwurf (allgemein):

Was sind Ihrer Meinung und Erfahrung nach die prägendsten Elemente von Null- bzw. Plusenergiegebäuden (bezogen auf Energieeffizienz und -erzeugung)?

Inwieweit beherrscht das Nullenergieziel das Entwurfskonzept? Beengen Themen wie Energieeinsparen über große Dämmstärken oder niedriges A/V-Verhältnis (vornehmlich bei Wohngebäuden) bzw. das Einbringen von Solaranlagen den Entwurf oder stellt dies insgesamt nur eine weitere Anforderung im Gesamtentwurfsprozess dar?

Inwieweit ließen differenziert ausgerichtete Solaranlagen, die eine gewünschte Erhöhung der Eigenverbrauchsdeckung am Gebäude ermöglichen, formal einbinden? Ist dann eine zu große Beeinflussung der Gestaltungsfreiheit erreicht oder wird sich auch dies als eine weitere Aufgabe zu jenen einreihen, die bereits gelöst werden müssen?

Wie sehen Sie bei Nullenergiegebäuden das Verhältnis von geschlossenen und geöffneten Fassadenflächen? *Architekten setzten in naher Vergangenheit (in Mitteleuropa) häufig auf Fassadentypen mit großen Glasanteilen. Wenn man die (noch) fragwürdige/geringe Effizienz dieser Fassaden in unseren Klimaten und die damit verbundenen aufwändigen technischen Lösungen zur Gebäudeklimatisierung dahinter betrachtet, scheint es, als fehle die planerische Auseinandersetzung mit örtlichen Gegebenheiten. Dem gegenüber stehen klar limitierte und zudem asymmetrische Fensterflächenverteilungen aus dem Passivhausbau. Schränkt der Effizienzgedanke formale Freiheiten ein? In wie weit greift hierbei das Referenzgebäudeverfahren der DIN 18599 zu kurz?*

In welchem Maße lässt sich durch das Abwägen zwischen Energieeffizienz und -erzeugung technischer Aufwand vereinfachen, dessen formaler Einfluss verringern und ein insgesamt robusteres Gebäude entstehen?

Inwieweit gibt es einen Konflikt zwischen Baukultur und Energieeffizienz und -erzeugung? Und wie gehen Sie mit diesem Konflikt um? *Wie ist Ihr subjektives Empfinden: Wird die Baukultur der Energieeinsparung und -erzeugung untergeordnet und entbehren Nullenergiegebäude (ggf. durch sichtbare Technik/technische Überfrachtung) ästhetischer Sensibilität - drohen Nullenergiegebäude sogar durch mangelnde (ästhetische) Akzeptanz für den „Massenmarkt“ untauglich zu werden? Oder ermöglichen die mannigfaltigen technischen Möglichkeiten trotz der hohen Anforderungen genug formale Freiheiten? Werden besondere „Figuren“ wie z.B. die Elbphilharmonie Hamburg auch in Zukunft möglich sein?*

Wie kommt es zu dem Vorurteil, dass die Konzeption von Nullenergiegebäuden die entwerferische Freiheit/Architektur einschränkt?

Eine Einschätzung: Wie tendieren Architekten allgemein zu dem Thema Nullenergiegebäude?

Wie groß ist der planerische Mehraufwand des Architekten bei Nullenergiekonzepten? *Auf genannte Teilaspekte dann genauer eingehen, nachfragen: Wie haben Sie konkret diese Aufgabe eingebunden, Herausforderung umgesetzt? Wo mussten Sie sich im Bezug auf Nullenergieprojekte weiterentwickeln? Lernkurve bei mehreren Projekten aufzeigbar?*

Ist die messbare Qualitätsgröße „Null“ für Architekten abschreckend oder helfen die Anforderungen, Parameter vorzeitig abzustecken und darüber ggf. sogar die Planung zu strukturieren?

Bildet sich (durch z.B. kompakte Gebäude, asymmetrische Dachformen oder große Solaranlagen) bereits eine eigene Architektursprache von Nullenergiegebäuden oder gar eine neue Epoche?

### 3. Politische Fragestellungen

*Vor dem Hintergrund der Ziele der Bundesregierung mit einem klimaneutralen Gebäudebestand bis 2050 erscheint die Übertragung des Nullenergiekonzepts auf den Gebäudebestand als wichtige Herausforderung. Wo sehen Sie die besonderen Herausforderungen im Gebäudebestand? Wie sehen Sie die Möglichkeiten zur Integration von Systemen zur Nutzung erneuerbarer Energien (vor allem PV, ST) und zur Einbindung von Energieeinsparmaßnahmen? Eine Debatte über den sog. „Dämmwahn“ hat begonnen andererseits wird die Frage gestellt, ob ein Ensembleschutz mit 70er Jahre Waschbetonfassaden oder kostengünstige und schnell realisierbare WDVS-Lösungen präferiert werden sollten. Ist diese im Bezug auf die Bestandssanierung richtig, unbegründet oder einfach nicht differenziert genug betrachtet?*

**Was erscheint sinnvoller: Verdichtetes Bauen im Stadtkern oder flächenintensive Nullenergiegebäude in der Peripherie?** *Das pro Kopf-Flächenaufkommen in Deutschland steigt stetig an (u.a. durch ein vermehrtes Aufkommen an peripheren Einfamilienhäusern) und frisst Effizienzschnitte teilweise auf. Es entsteht mitunter ein Eindruck von „Quantität statt Qualität“. Diese Entwicklung kommt dem Konzept von Nullenergiegebäuden entgegen, sinkt doch das Potenzial bei dichteren Gebäuden, wenn größerer Nutzfläche weniger Dach- oder ggf. Fassadenflächen zur Energiegewinnung vor Ort gegenüberstehen (dichte Mehrfamilienhäuser, die als sparsam im Bezug auf die Transmissionswärmeverluste gelten, erscheinen mit mehr als drei Geschossen und ohne externe erneuerbare Energieerträge derzeit nicht möglich bzw. unwirtschaftlich). Erscheint der Trend zu mehr pro-Kopf-Nutzfläche sinnvoll, wenn damit Nullenergiegebäude einfacher realisiert werden können, oder sollte eher ein Umschwenken zu mehr verdichtetem, effizientem Wohnraum (ggf. mit Steigerung der Wohnqualität) vorangetrieben werden?*

**Wie sehen Sie Umsetzungspotenziale bzw. welche Lösungsansätze bei hohen Gebäuden?** *Stichwort verringerte Einbindungspotenziale von Systemen zur Nutzung erneuerbarer Energien.*

*Die Idee der 2000-W-Gesellschaft aus der Schweiz bezieht den Bereich des Energieverbrauchs in Gebäuden/bzw. beim Wohnen mit in eine ganzheitliche Betrachtung pro Kopf und Jahr ein. Sehen Sie eine Energiebetrachtung pro Person als ein denkbare Szenario, um u.a. dem Flächenverbrauch beizukommen? Persönlicher Energieverbrauch sinkt bei verdichtetem Wohnen. Das Potenzial der erneuerbaren Deckung am Gebäude sinkt allerdings auch, wenn alle Verbräuche einbezogen werden. Allerdings wird dann auch Individualverkehr mit einbezogen - bei Nullenergiegebäuden in der Peripherie dann ggf. ein Problem.*

**Wie schätzen Sie die Option ein, Klimaschutzziele vorrangig durch „grüne Netze“ zu erreichen und damit den Druck auf die Energieeffizienz des Gebäudes sowie die vor-Ort-Stromerzeugung zu reduzieren (ETH Zürich Debatte)?**

## A.6 Aufstellung aktueller Umrechnungs- bzw. Bewertungsfaktoren für Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Aufwendungen

Tabelle A-8: Aufstellung aktuell genutzter bzw. vorgeschlagener Bewertungsfaktoren für Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Aufwendungen für Europa [DIN EN 15603 2008; DIN prEN 15603 2013], Deutschland [DIN 18599 2009; DIN 18599 2011; GEMIS 2013] und die Schweiz [SIA 2013; EnDK 2009]

Energieträger	Land	Europa		Deutschland		Schweiz			
		Quelle	EN 15603		DIN V 18599		GEMIS	SIA	EnDK
		Jahr	2008	2013	2009	2011*	2013	2013	2009
Strom (allg. Mix)	PEF <sub>n.e.</sub>	kWh <sub>P</sub> /kWh <sub>E</sub>	3,14	2,3****	2,60	2,4***	1,86	2,63**	2,00
	PEF <sub>ges</sub>	kWh <sub>P</sub> /kWh <sub>E</sub>	3,31	2,5****	3,00	2,80	2,28	3,05**	
	CO <sub>2</sub>	g <sub>CO2</sub> /kWh <sub>E</sub>	617,00				580,00	149**	
Erdgas	PEF <sub>n.e.</sub>	kWh <sub>P</sub> /kWh <sub>E</sub>	1,36	1,05	1,10	1,10	1,15	1,11	1,00
	PEF <sub>ges</sub>	kWh <sub>P</sub> /kWh <sub>E</sub>	1,36	1,05	1,10	1,10	1,15	1,12	
	CO <sub>2</sub>	g <sub>CO2</sub> /kWh <sub>E</sub>	277,00				246,00	237,00	
Heizöl	PEF <sub>n.e.</sub>	kWh <sub>P</sub> /kWh <sub>E</sub>	1,35	1,05	1,10	1,10	1,16	1,23	1,00
	PEF <sub>ges</sub>	kWh <sub>P</sub> /kWh <sub>E</sub>	1,35	1,05	1,10	1,10	1,17	1,24	
	CO <sub>2</sub>	g <sub>CO2</sub> /kWh <sub>E</sub>	330,00				317,00	298,00	
Biogas/-öl	PEF <sub>n.e.</sub>	kWh <sub>P</sub> /kWh <sub>E</sub>		0,5		0,50		0,34	
	PEF <sub>ges</sub>	kWh <sub>P</sub> /kWh <sub>E</sub>		1,5		1,50		0,37	
	CO <sub>2</sub>	g <sub>CO2</sub> /kWh <sub>E</sub>						125,00	
Stückholz	PEF <sub>n.e.</sub>	kWh <sub>P</sub> /kWh <sub>E</sub>	0,09	0,05	0,20	0,20	0,03	0,05	0,70
	PEF <sub>ges</sub>	kWh <sub>P</sub> /kWh <sub>E</sub>	1,09	1,05	1,20	1,20	1,14	1,06	
	CO <sub>2</sub>	g <sub>CO2</sub> /kWh <sub>E</sub>	14,00				19,00	13,00	
Holzpellets	PEF <sub>n.e.</sub>	kWh <sub>P</sub> /kWh <sub>E</sub>		0,05			0,07	0,21	0,70
	PEF <sub>ges</sub>	kWh <sub>P</sub> /kWh <sub>E</sub>		1,05			1,00	1,22	
	CO <sub>2</sub>	g <sub>CO2</sub> /kWh <sub>E</sub>					23,00	37,00	
Nahwärme Mix*****	PEF <sub>n.e.</sub>	kWh <sub>P</sub> /kWh <sub>E</sub>		1,3	0,70	0,70	0,91	0,80	0,60
	PEF <sub>ges</sub>	kWh <sub>P</sub> /kWh <sub>E</sub>		1,3	0,70	0,70	1,15	0,81	
	CO <sub>2</sub>	g <sub>CO2</sub> /kWh <sub>E</sub>					255,00	163,00	
Umweltenergie (Solarenergie, Erdwärme, etc.)	PEF <sub>n.e.</sub>	kWh <sub>P</sub> /kWh <sub>E</sub>		0,00	0,00	0,00			
	PEF <sub>ges</sub>	kWh <sub>P</sub> /kWh <sub>E</sub>		1,00	1,00	1,00			
	CO <sub>2</sub>	g <sub>CO2</sub> /kWh <sub>E</sub>							

PEF<sub>n.e.</sub>: Umrechnungsfaktor für nicht erneuerbare Primärenergie; PEF<sub>ges</sub>: Gesamtprimärenergiefaktor; CO<sub>2</sub>: Umrechnungsfaktor für CO<sub>2</sub>-äquivalente Treibhausgasemissionen

\* Einführung ab EnEV 2014

\*\* Gibt den tatsächlich an die Verbraucher gelieferten Wert wieder (durch Ländergrenzen-überschreitenden Im- und Export von Strom unterscheiden sich diese Werte vom Produktionsmix)

\*\*\* Bei Stromexport wird auch der erneuerbare Anteil einbezogen (Faktor 2,8 kWh<sub>P</sub>/kWh<sub>E</sub>)

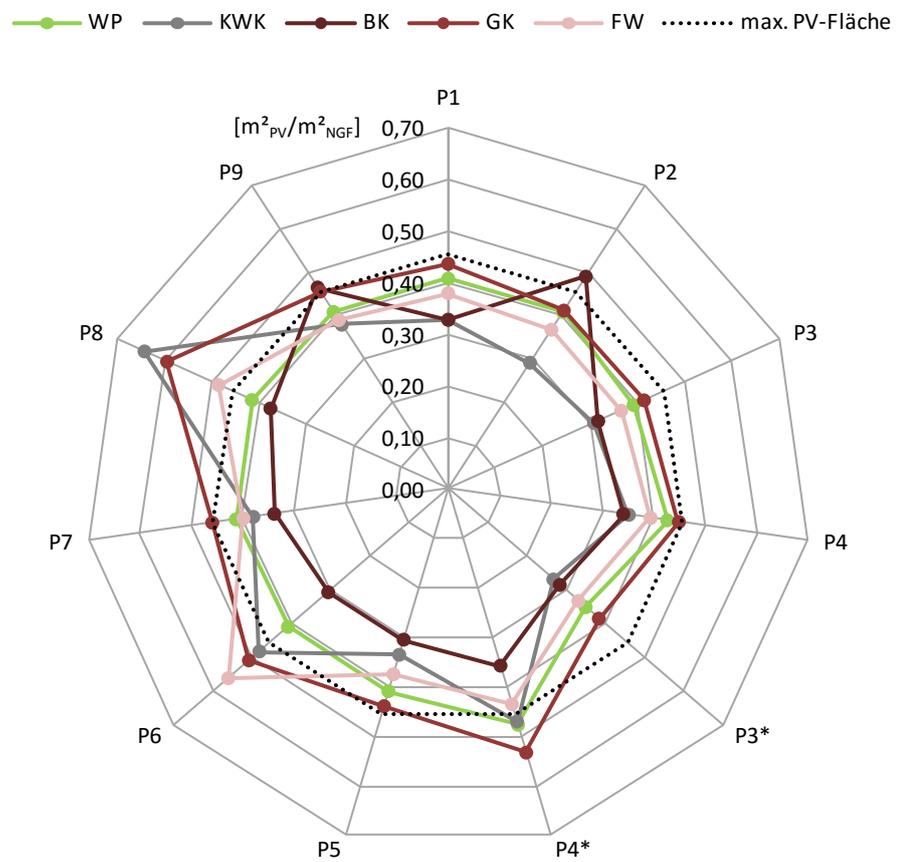
\*\*\*\* Am Gebäudestandort erzeugter sowie eingespeister Strom wird gesondert bewertet (s. Tabelle 7-2)

\*\*\*\*\* Weitere Unterscheidungen (z.B. erneuerbare oder KWK-Anteile) meist gegeben

## A.7 Reduzierte Darstellungen zum Einfluss von Umrechnungs- bzw. Gewichtungsfaktoren für Primärenergie und CO<sub>2</sub>-Emissionen

### A.7.1 Kindergarten „Die Sprösslinge“

Abbildung A-7: Reduzierte Gegenüberstellung von fünf Technologieoptionen jeweils ohne Solarthermie bei elf verschiedenen Sets an Primärenergie-Umrechnungs- bzw. Gewichtungsfaktoren für den Kindergarten „Die Sprösslinge“



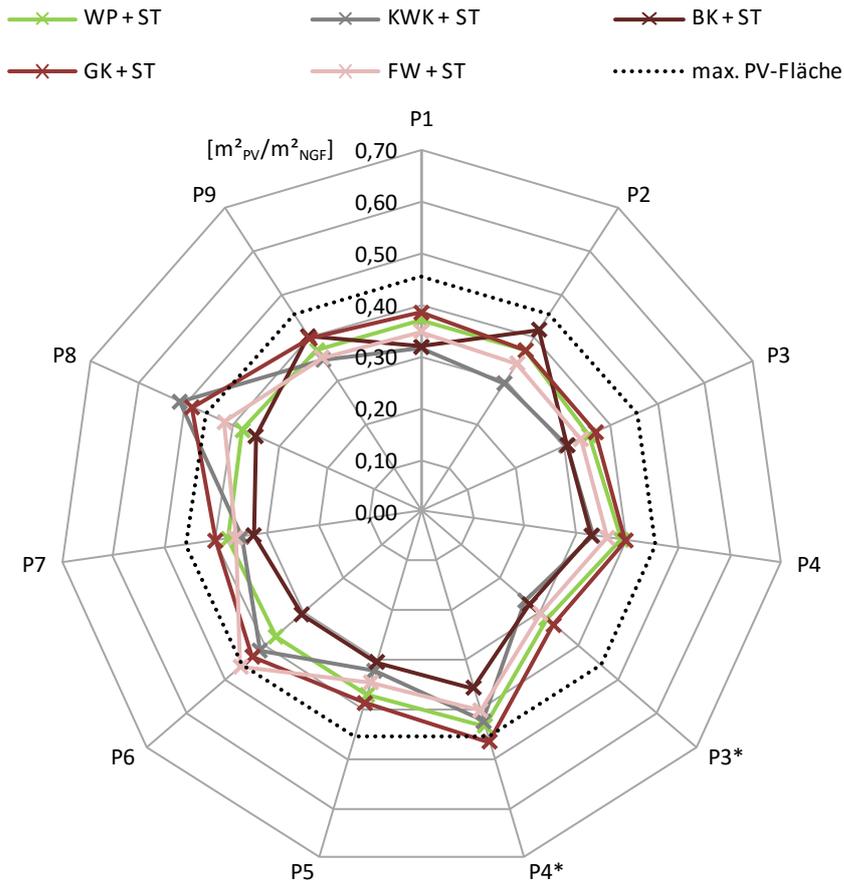


Abbildung A-8: Reduzierte Gegenüberstellung von fünf Technologieoptionen jeweils mit Solarthermie bei elf verschiedenen Sets an Primärenergie-Umrechnungs- bzw. Gewichtungsfaktoren für den Kindergarten „Die Sprösslinge“

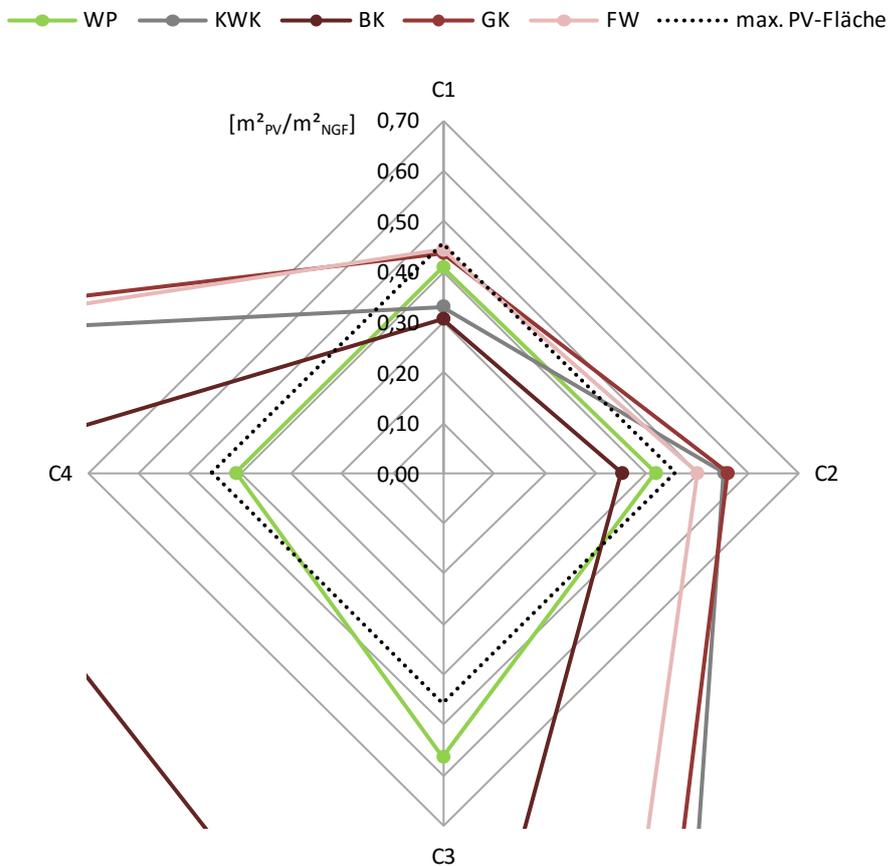
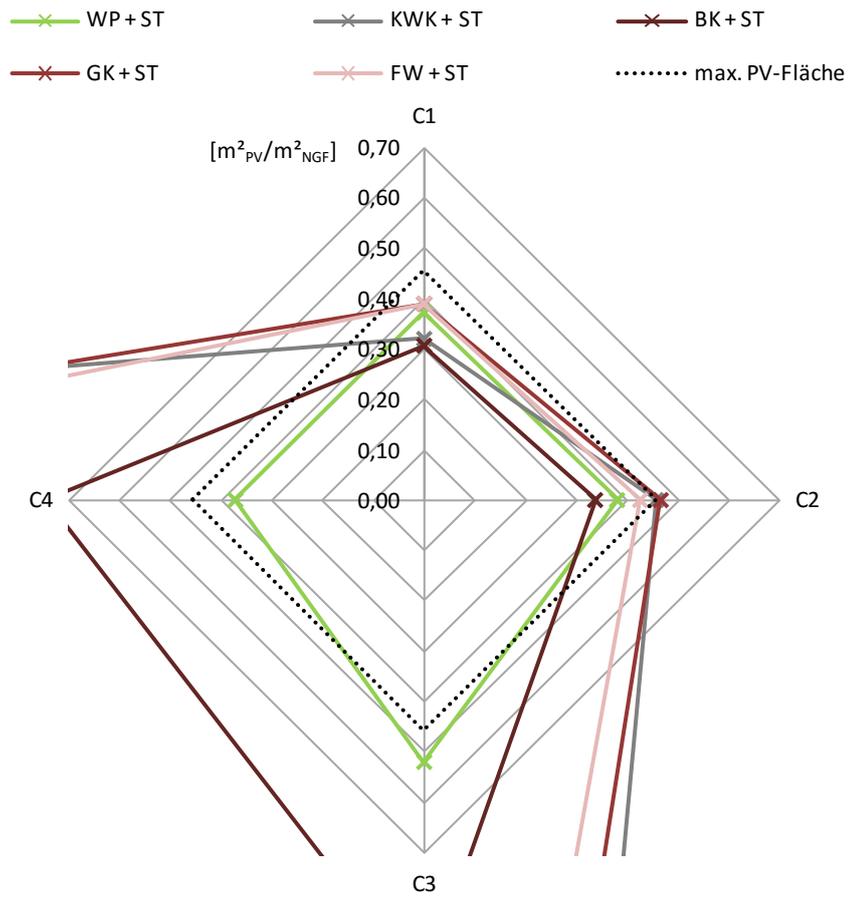


Abbildung A-9: Reduzierte Gegenüberstellung von fünf Technologieoptionen jeweils ohne Solarthermie bei vier verschiedenen Sets an Umrechnungs- bzw. Gewichtungsfaktoren für CO<sub>2</sub>-Emissionen des Kindergartens „Die Sprösslinge“

Abbildung A-10: Reduzierte Gegenüberstellung von fünf Technologieoptionen jeweils mit Solarthermie bei vier verschiedenen Sets an Umrechnungs- bzw. Gewichtungsfaktoren für CO<sub>2</sub>-Emissionen das Kindergartens „Die Sprösslinge“



### A.7.2 Mehrfamilienhäuser „Kleehäuser“

—●— WP   
 —●— KWK   
 —●— BK   
 —●— GK   
 —●— FW   
 ..... max. PV-Fläche

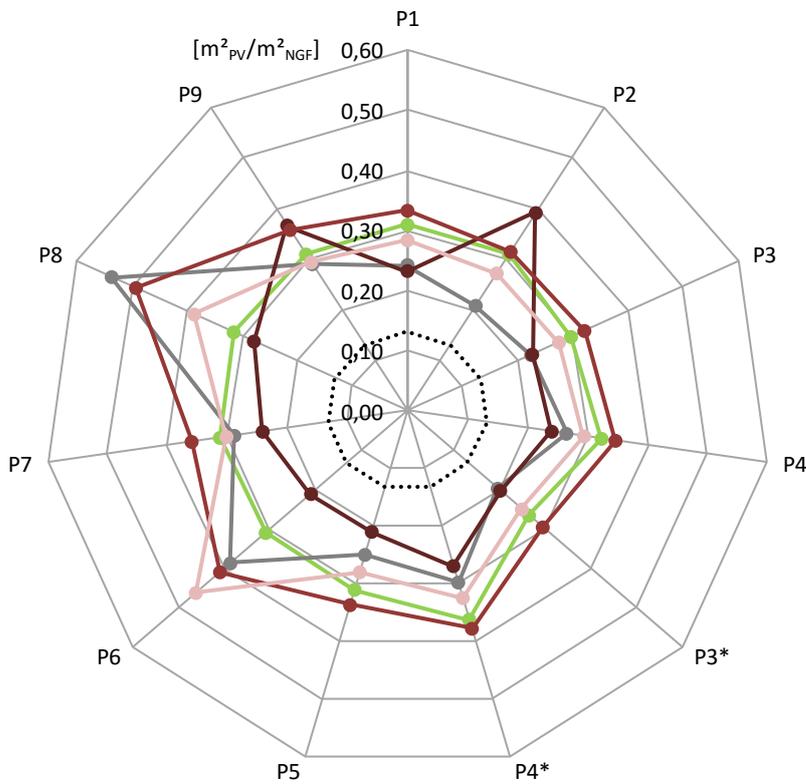


Abbildung A-11: Reduzierte Gegenüberstellung von fünf Technologieoptionen jeweils ohne Solarthermie bei elf verschiedenen Sets an Primärenergie-Umrechnungs- bzw. Gewichtungsfaktoren für die „Kleehäuser“

—x— WP + ST   
 —x— KWK + ST   
 —x— BK + ST   
 —x— GK + ST   
 —x— FW + ST   
 ..... max. PV-Fläche

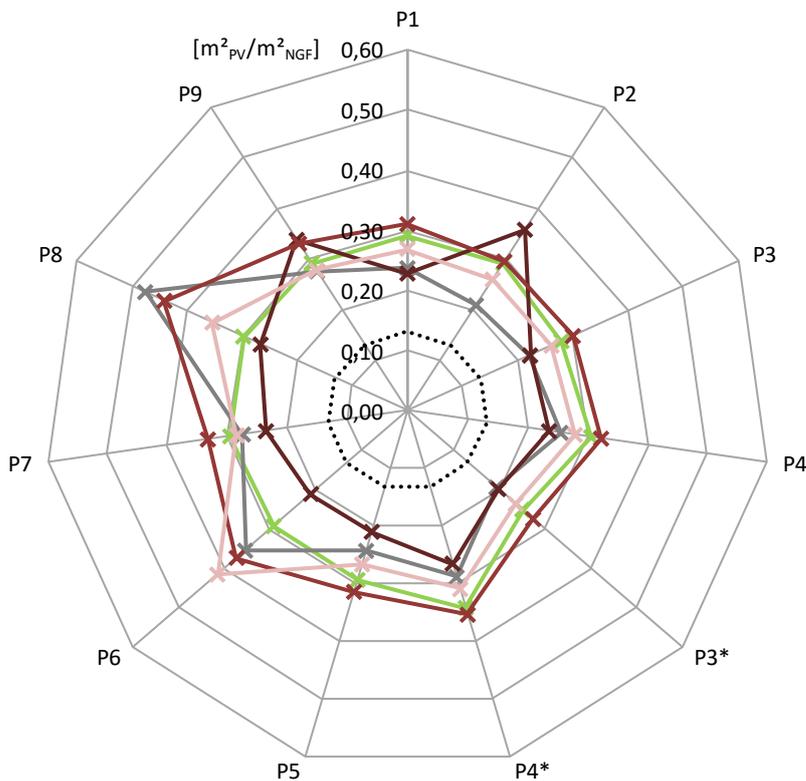


Abbildung A-12: Reduzierte Gegenüberstellung von fünf Technologieoptionen jeweils mit Solarthermie bei elf verschiedenen Sets an Primärenergie-Umrechnungs- bzw. Gewichtungsfaktoren für die „Kleehäuser“

Abbildung A-13: Reduzierte Gegenüberstellung von fünf Technologieoptionen jeweils ohne Solarthermie bei vier verschiedenen Sets an Umrechnungs- bzw. Gewichtungsfaktoren für CO<sub>2</sub>-Emissionen bei den „Kleehäusern“

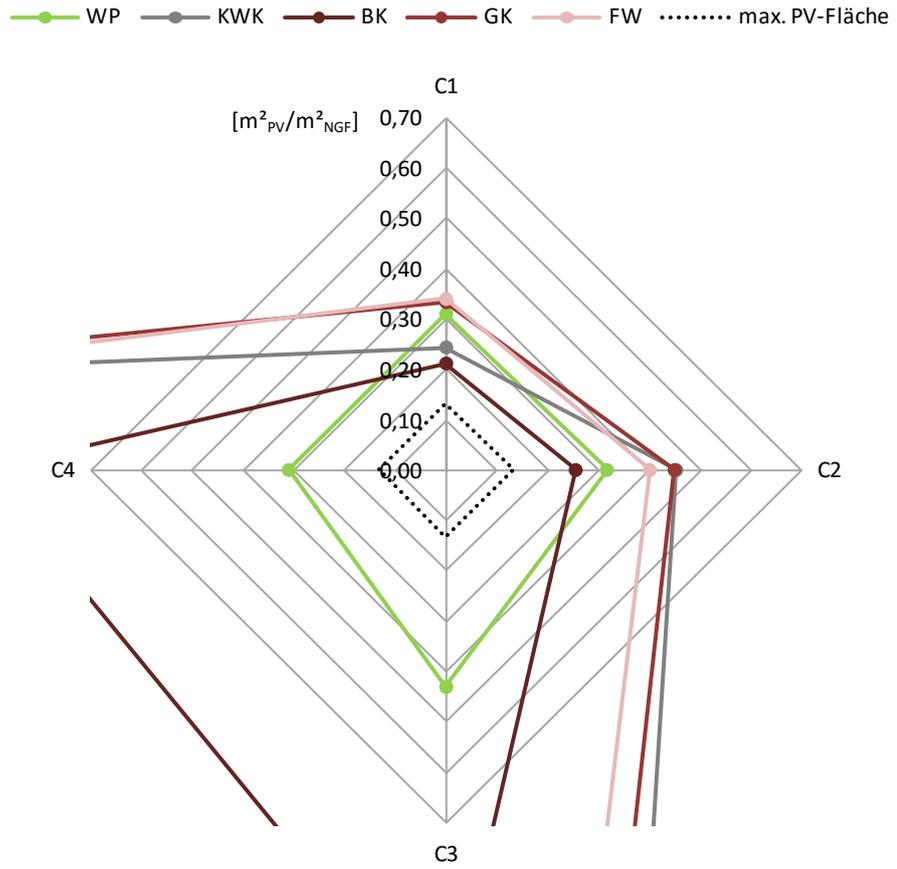
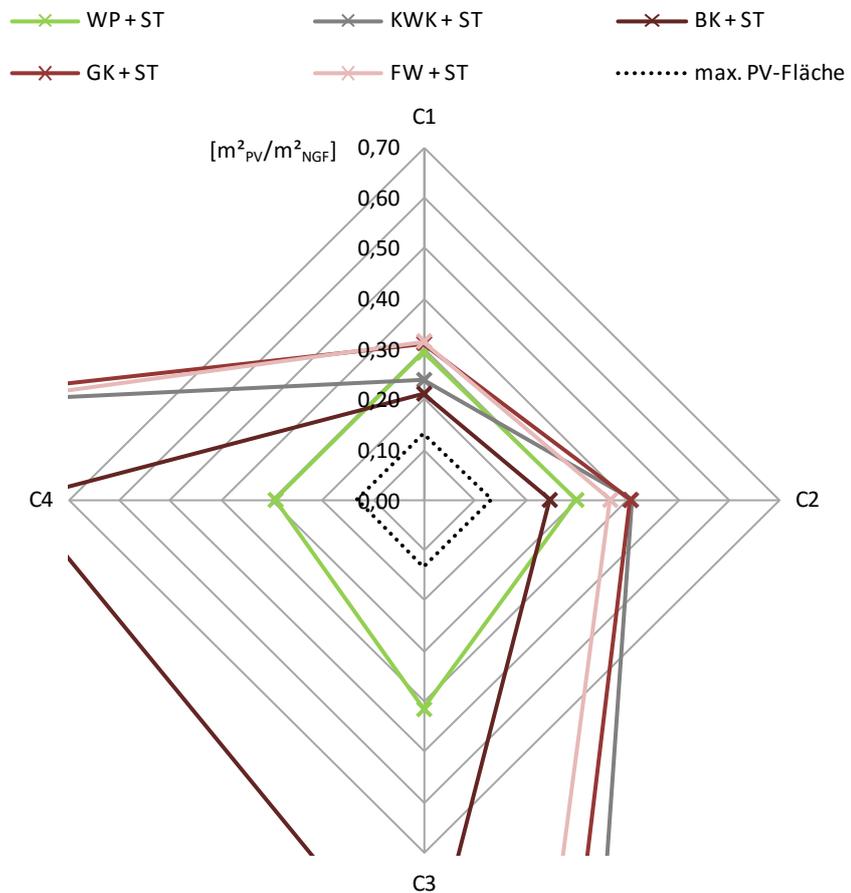


Abbildung A-14: Reduzierte Gegenüberstellung von fünf Technologieoptionen jeweils mit Solarthermie bei vier verschiedenen Sets an Umrechnungs- bzw. Gewichtungsfaktoren für CO<sub>2</sub>-Emissionen bei den „Kleehäusern“



## A.8 Auswahl an Nebenanforderungen bekannter Nullenergiedefinitionen

Tabelle A-9: Übersicht über formulierte Nebenanforderungen einer Auswahl von Definitionen von Null- und Plusenergiegebäuden

Bezeichnung	Land	Autor, Institution	Gebäudeeffizienz / -anforderungen	Allgemeine Effizienz / Anforderungen	Weitere Anforderungen
Effizienzhaus-Plus	DE	BMVBS	Negative End- und Primärenergiebilanz	Haushaltsgeräte der höchsten Effizienzklasse, pauschaler Maximalwert von 20 kWh <sub>E</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub> (davon Kochen 3 kWh <sub>E</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub> ) bzw. 2.500 kWh <sub>E</sub> /WEa für Wohnungsbeleuchtung und Haushaltsgeräte	Nutzung von intelligenten Zählern
Auf dem Weg zum EffizienzhausPlus	DE	dena, Deutsche Energie Agentur	Transmissionswärmeverlust H'T min. 45 % unter Referenzwert nach DIN 18599 (Sanierung 30 %), Primärenergiebedarf Q <sub>p</sub> min. 60 % unter Referenzwert nach DIN 18599 (Sanierung 45 %), Endenergiebedarf Q <sub>E</sub> min. 60 % unter Q <sub>p</sub> des Referenzgebäudes nach DIN 18599 (Sanierung 35 %)		
Plusenergiehaus	DE	Rolf Disch Solararchitektur			Ökologische Baustoffe und Materialien
zeroHaus	DE	Solares bauen GmbH	U-Werte 45 % besser als aktuelle EnEV, Maximalwert für End- und Primärenergiebedarf 100 kWh/m <sup>2</sup> y		Dreistufige Zertifizierung (Planung, Bauabnahme nach Fertigstellung, Messdatenauswertung nach erstem Betriebsjahr)
Triple Zero	DE	Werner Sobek Greentech			Kein Verbrennungsprozess zur Heizwärmebereitstellung, komplette Recycling der Baumaterialien
Powerhouse	NO	Powerhouse project / ZEB centre		Haushaltsgeräte der höchsten Effizienzklasse	Messdatenerfassung / Monitoring
Zero Emission Building	NO	ZEB centre	Passivhaus-Standard	Haushaltsgeräte der höchsten Effizienzklasse	Messdatenerfassung / Monitoring, keine Nutzung von fossilen Energieträgern
Net zero energy house	FI	VTT - Technical Research Centre of Finland		Haushaltsgeräte der höchsten Effizienzklasse	
BOLIG+	DK	BOLIG+ Konsortium		pauschaler Maximalwert von 1.600 kWh <sub>E</sub> /WEa für Wohnungsbeleuchtung und Haushaltsgeräte	

Tabelle A-9: Übersicht über formulierte Nebenanforderungen einer Auswahl von Definitionen von Null- und Plusenergiegebäuden

Danish Building Regulation 2010 (BR10)	DK	Danish Building Research Institute (SBI)	Primärenergiekennwert von maximal 20 kWh/m <sup>2</sup> a (Wohngebäude) bzw. 25 kWh/m <sup>2</sup> a (Nichtwohngebäude)		
BBC:Bâtiment Basé Consommation	FR	Effinergie	Endenergiebedarf von maximal 50 kWh/m <sup>2</sup> a		
Green office	FR	Bouygues Immobilier	Endenergiebedarf 65 % unter nationalem Standard	Effizientestes EDV-Equipment	
Rendimento energetico in edilizia	IT	EURAC	Maximalwerte für Primärenergiebedarf für winterliche und sommerliche Raumkonditionierung		50 % des jährlichen Trinkwarmwasserbedarfs muss über Solarthermie bereitgestellt werden, PV-Anlagen sind einzubinden
MINERGIE-A	CH	MINERGIE	Maximaler Wärme- und Warmwasserbedarf von 30 kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup> <sub>EBFa</sub> , bei Nutzung von Biomasse müssen 50 % des Wärmebedarfs über Solarthermie gedeckt werden, maximal 90 % des Grenzwerts des Heizwärmebedarf	Maximalwert für die Graue Energie der Baustoffe und Materialien von 50 kWh <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>EBFa</sub> , Haushaltsgeräte der höchsten Effizienzklasse	Luftdichtigkeitswert von n50 ≤ 0,6 h <sup>-1</sup>

## A.9 Ergebnisse von Parameterstudien zu den Tests der Faktoren „F<sub>surplus</sub>“, „F<sub>grid</sub>“ und „F<sub>export</sub>“

### A.9.1 Ergebnisse bei variierenden Technologien zur Wärme- und Warmwasserbereitstellung sowie Bilanzergebnissen

Auszug von Ergebnissen von Parameterstudien zum Test der Faktoren „F<sub>surplus</sub>“, „F<sub>grid</sub>“ und „F<sub>export</sub>“ anhand von Berechnungsergebnissen mit dem Beispielgebäude Kindergarten „Die Sprösslinge“. Die exemplarischen Berechnungen beziehen bei unveränderten Energiebedarfen unterschiedlich große Solarstromanlagen ein, um die Faktoren auch bei nicht vollständig oder genau ausgeglichenen Bilanzergebnissen zu testen. Neben der Variante eines Nur-Strom-Gebäudes mit einer Wärmepumpe (Tabelle A-10 bis Tabelle A-16) wird auch eine Variante mit einem Biomassekessel gezeigt (Tabelle A-17 bis Tabelle A-23). Unter den Tabellen werden kurze Erläuterungen zur Deutung der Faktoren gestellt.

Für die Varianten mit positiver Jahresenergiebilanz werden zu Vergleichszwecken auch die Ergebnisse der Faktoren „f<sub>load</sub>“ und „γ<sub>s</sub>“ gezeigt.

### A.9.1.1 Nur-Strom-Gebäude

Tabelle A-10: Berechnungsergebnisse zu einer ausgeglichenen Jahresenergiebilanz bei Nutzung einer Wärmepumpe und einer Solarstromanlage mit einer Kapazität von 55,75 kW<sub>p</sub>

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Strombedarf [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	4,46	3,46	2,97	2,59	2,41	2,34	2,37	2,39	2,50	2,76	3,56	4,53	36,32
Stromerzeugung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	1,18	2,17	2,81	4,09	4,66	4,49	4,61	4,19	3,38	2,57	1,34	0,86	36,30
Stromüberschuss [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	0,00	0,00	0,00	1,50	2,25	2,15	2,24	1,79	0,88	0,00	0,00	0,00	10,81
Stromunterde- ckung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	3,28	1,28	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	2,22	3,67	10,81
F <sub>surplus</sub> [%]													30
F <sub>grid</sub> [%]													100
F <sub>export</sub> [%]													0

Die Ergebnisse der Faktoren in Tabelle A-10 sagen aus, dass knapp 30 % des erzeugten Stroms nicht direkt im gleichen Monat genutzt werden können und im Stromnetz zwischen gespeichert werden. Der zwischengespeicherte Strom wird jedoch zu 100 % wieder vom Gebäude bezogen und zur Deckung von (winterlichen) Stromlasten bzw. Unterdeckungen genutzt. Im Falle von Nullenergiegebäuden mit Nur-Strom-Konzept und genau ausgeglichener Jahresenergiebilanz sind die 0 % Netto-Stromexport üblich.

Tabelle A-11: Berechnungsergebnisse zu einer nahezu ausgeglichenen Jahresenergiebilanz bei Nutzung einer Wärmepumpe und einer Solarstromanlage mit einer Kapazität von 10 kW<sub>p</sub>

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Strombedarf [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	4,46	3,46	2,97	2,59	2,41	2,34	2,37	2,39	2,50	2,76	3,56	4,53	36,34
Stromerzeugung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	0,21	0,39	0,50	0,73	0,84	0,81	0,83	0,75	0,61	0,46	0,24	0,15	6,52
Stromüberschuss [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Stromunterde- ckung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	4,25	3,07	2,46	1,86	1,58	1,54	1,55	1,64	1,90	2,30	3,32	4,37	29,82
F <sub>surplus</sub> [%]													0
F <sub>grid</sub> [%]													0
F <sub>export</sub> [%]													0

Die Ergebnisse der Faktoren in Tabelle A-11 und Tabelle A-12 zeigen auf, dass zu keiner Zeit ein Stromüberschuss generiert wird (0 %) und somit auch keine saisonalen Lastverschiebungen bzw. Überschussexporte möglich sind.

Tabelle A-12: Berechnungsergebnisse zu einer nahezu ausgeglichenen Jahresenergiebilanz bei Nutzung einer Wärmepumpe und einer Solarstromanlage mit einer Kapazität von 20 kW<sub>p</sub>

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Strombedarf [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	4,46	3,46	2,97	2,59	2,41	2,34	2,37	2,39	2,50	2,76	3,56	4,53	36,34
Stromerzeugung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	0,42	0,78	1,01	1,47	1,67	1,61	1,65	1,50	1,21	0,92	0,48	0,31	13,04
Stromüberschuss [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Stromunterde- ckung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	4,04	2,68	1,96	1,13	0,74	0,73	0,72	0,89	1,29	1,83	3,08	4,22	23,30
F <sub>surplus</sub> [%]													0
F <sub>grid</sub> [%]													0
F <sub>export</sub> [%]													0

Tabelle A-13: Berechnungsergebnisse zu einer nahezu ausgeglichenen Jahresenergiebilanz bei Nutzung einer Wärmepumpe und einer Solarstromanlage mit einer Kapazität von 30 kW<sub>p</sub>

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Strombedarf [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	4,46	3,46	2,97	2,59	2,41	2,34	2,37	2,39	2,50	2,76	3,56	4,53	36,34
Stromerzeugung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	0,63	1,17	1,51	2,20	2,51	2,42	2,48	2,25	1,82	1,38	0,72	0,46	19,56
Stromüberschuss [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,07	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28
Stromunterde- ckung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	3,83	2,29	1,45	0,39	0,00	0,00	0,00	0,14	0,68	1,37	2,84	4,07	17,06
F <sub>surplus</sub> [%]													1
F <sub>grid</sub> [%]													6.162
F <sub>export</sub> [%]													0

Die 1,4 % für den Faktor „F<sub>surplus</sub>“ stehen dafür, dass nahezu sämtlicher erzeugter Strom über den Zeitraum eines Jahres auch direkt im gleichen Monat verbraucht werden können. Das Ergebnis des Faktors „F<sub>grid</sub>“ besagt, dass 60-mal so viel Strom importiert werden muss, als eingespeist werden kann. Die Werte in Tabelle A-14 zeigen bereits ein etwas homogeneres Bild auf. Allerdings muss noch immer fast 4-mal mehr Strom bezogen werden, als eingespeist werden kann. Die Jahresenergiebilanz ist nicht ausgeglichen.

Tabelle A-14: Berechnungsergebnisse zu einer nahezu ausgeglichenen Jahresenergiebilanz bei Nutzung einer Wärmepumpe und einer Solarstromanlage mit einer Kapazität von 40 kW<sub>p</sub>

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Strombedarf [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM</sub> ,a)]	4,46	3,46	2,97	2,59	2,41	2,34	2,37	2,39	2,50	2,76	3,56	4,53	36,34
Stromerzeugung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM</sub> ,a)]	0,84	1,56	2,02	2,93	3,34	3,22	3,31	3,00	2,43	1,85	0,96	0,61	26,08
Stromüberschuss [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM</sub> ,a)]	0,00	0,00	0,00	0,34	0,93	0,88	0,93	0,61	0,00	0,00	0,00	0,00	3,70
Stromunterde- ckung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM</sub> ,a)]	3,61	1,90	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,91	2,60	3,91	13,96
F <sub>surplus</sub> [%]													14
F <sub>grid</sub> [%]													378
F <sub>export</sub> [%]													0

Tabelle A-15: Berechnungsergebnisse zu einer positiven Jahresenergiebilanz bei Nutzung einer Wärmepumpe und einer Solarstromanlage mit einer Kapazität von 60 kW<sub>p</sub>

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Strombedarf [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM</sub> ,a)]	4,46	3,46	2,97	2,59	2,41	2,34	2,37	2,39	2,50	2,76	3,56	4,53	36,34
Stromerzeugung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM</sub> ,a)]	1,27	2,34	3,02	4,40	5,01	4,83	4,96	4,51	3,64	2,77	1,45	0,92	39,12
Stromüberschuss [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM</sub> ,a)]	0,00	0,00	0,06	1,81	2,60	2,49	2,59	2,11	1,14	0,01	0,00	0,00	12,81
Stromunterde- ckung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM</sub> ,a)]	3,19	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,11	3,61	10,03
F <sub>surplus</sub> [%]													33
F <sub>grid</sub> [%]													78
F <sub>export</sub> [%]													22
f <sub>load</sub> [%]													80
γ <sub>s</sub> [%]													67

Bei den positiven Jahresenergiebilanzen in Tabelle A-15 und Tabelle A-16 werden knapp 80 bzw. 50 % der kumulierten Stromüberschüsse dazu genutzt, saisonale Lasten auszugleichen. Das Netz wird stark beansprucht, wobei auch große Stromanteile dem Stromnetz überlassen werden und nicht zu einem anderen Zeitpunkt vom Gebäude zurück verlangt werden.

Tabelle A-16: Berechnungsergebnisse zu einer positiven Jahresenergiebilanz bei Nutzung einer Wärmepumpe und einer Solarstromanlage mit einer Kapazität von 70 kW<sub>p</sub>

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Strombedarf [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	4,46	3,46	2,97	2,59	2,41	2,34	2,37	2,39	2,50	2,76	3,56	4,53	36,34
Stromerzeugung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	1,48	2,72	3,53	5,13	5,85	5,64	5,79	5,26	4,25	3,23	1,69	1,08	45,64
Stromüberschuss [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	0,00	0,00	0,56	2,54	3,44	3,30	3,42	2,87	1,74	0,47	0,00	0,00	18,33
Stromunterde- ckung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	2,98	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,87	3,45	9,04
F <sub>surplus</sub> [%]													40
F <sub>grid</sub> [%]													49
F <sub>export</sub> [%]													51
f <sub>load</sub> [%]													92
γ <sub>s</sub> [%]													60

### A.9.1.2 Energieträgerwechsel

Tabelle A-17: Berechnungsergebnisse zu einer ausgeglichenen Jahresenergiebilanz bei Nutzung eines Biomassekessels und einer Solarstromanlage mit einer Kapazität von 49,30 kW<sub>p</sub>

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Strombedarf [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	2,69	2,33	2,36	2,25	2,25	2,18	2,24	2,26	2,24	2,35	2,48	2,74	28,37
Stromerzeugung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	1,04	1,92	2,49	3,61	4,12	3,97	4,08	3,70	2,99	2,28	1,19	0,76	32,14
Stromüberschuss [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	0,00	0,00	0,12	1,36	1,87	1,79	1,84	1,45	0,75	0,00	0,00	0,00	9,18
Stromunterde- ckung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM,a</sub> )]	1,65	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	1,29	1,98	5,41
F <sub>surplus</sub> [%]													29
F <sub>grid</sub> [%]													59
F <sub>export</sub> [%]													41

Auf Grund des Ansatzes einer Jahresprimärenergiebilanz und dem Ausgleich eines zweiten Energieträgers neben Strom (in diesem Fall Biomasse), erreicht der Faktor „F<sub>export</sub>“ auch bei einem genau ausgeglichene Bilanzergebnis nicht 0 %. Nahezu 40 % des erzeugten Stromüberschusses werden aufgewendet, um den Bezug von Biomasse primärenergetisch auszugleichen. Der Stromüberschuss verbleibt allerdings trotzdem als erneuerbar erzeugte Energie im Stromnetz und erhöht damit dessen Quote an „grünem“ Strom. Knapp ein Drittel der erzeugten Strom kann nicht direkt genutzt werden, während fast zwei Drittel des eingespeisten Stromüberschusses nur im Stromnetz zwischengespeichert werden, um zu anderen Zeitpunkten zurückbezogen zu werden.





Tabelle A-22: Berechnungsergebnisse zu einer positiven Jahresenergiebilanz bei Nutzung eines Biomassekessels und einer Solarstromanlage mit einer Kapazität von 60 kW<sub>p</sub>

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Strombedarf [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM</sub> ,a)]	2,69	2,33	2,36	2,25	2,25	2,18	2,24	2,26	2,24	2,35	2,48	2,74	28,37
Stromerzeugung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM</sub> ,a)]	1,27	2,34	3,02	4,40	5,01	4,83	4,96	4,51	3,64	2,77	1,45	0,92	39,12
Stromüberschuss [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM</sub> ,a)]	0,00	0,00	0,66	2,15	2,77	2,65	2,72	2,25	1,40	0,42	0,00	0,00	15,02
Stromunterde- ckung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM</sub> ,a)]	1,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	1,82	4,27
F <sub>surplus</sub> [%]													38
F <sub>grid</sub> [%]													28
F <sub>export</sub> [%]													72
f <sub>load</sub> [%]													87
γ <sub>s</sub> [%]													62

Bei den in Tabelle A-22 und Tabelle A-23 gezeigten positiven Strom- wie Primärenergiebilanzen können über 40 % des erzeugten Stroms nicht in den gleichen Zeitintervallen (hier Monate) genutzt werden. Der Anteil des exportieren und im Stromnetz zwischengespeicherten Stroms ist jeweils recht gering (unter 30 bzw. 20 %), während die Übergabeanteile von Solarstrom an das Netz auf Grund der Plusenergiebilanz und dem Primärenergieausgleich der Biomasse sehr groß sind.

Tabelle A-23: Berechnungsergebnisse zu einer positiven Jahresenergiebilanz bei Nutzung eines Biomassekessels und einer Solarstromanlage mit einer Kapazität von 70 kW<sub>p</sub>

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Strombedarf [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM</sub> ,a)]	2,69	2,33	2,36	2,25	2,25	2,18	2,24	2,26	2,24	2,35	2,48	2,74	28,37
Stromerzeugung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM</sub> ,a)]	1,48	2,72	3,53	5,13	5,85	5,64	5,79	5,26	4,25	3,23	1,69	1,08	45,64
Stromüberschuss [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM</sub> ,a)]	0,00	0,39	1,17	2,88	3,60	3,46	3,55	3,00	2,00	0,88	0,00	0,00	20,93
Stromunterde- ckung [kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> <sub>NGFM</sub> ,a)]	1,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	1,67	3,66
F <sub>surplus</sub> [%]													46
F <sub>grid</sub> [%]													18
F <sub>export</sub> [%]													83
f <sub>load</sub> [%]													89
γ <sub>s</sub> [%]													54

## A.9.2 Ergebnisse bei variierender zeitlicher Auflösung

Neben der Variation des Bilanzergebnisses und der Wärmeversorgung werden die Faktoren auch bei variierenden Zeitschritten getestet. Anhand von Simulationsdaten des Experimental- und Demonstrationshauses der Universität Wuppertal zum Solar Decathlon 2010 wird der Unterschied zwischen Zeitschritten, die größer und kleiner als ein Tag sind, deutlich. Während sich Stromüberschuss und -unterdeckung bei größeren

Zeitschritten kaum unterscheiden, verändern sich die Werte auf Grund des genaueren Lastprofils und den darin abgebildeten tageszeitlichen Unterschieden zwischen Energiebedarf und Erzeugung deutlich. Gleiches gilt dementsprechend für die drei vorgestellten Faktoren (s. Tabelle A-24). Der deutliche Sprung der Faktoren wird auch in Abbildung 7-39 ersichtlich.

Zusätzlich zu den drei neuen Faktoren sind auch die Ergebnisse für die bereits in der Literatur hinterlegten Faktoren „ $f_{load}$ “ und „ $\gamma_S$ “ aufgezeigt.

Tabelle A-24: Kumulierte Simulationsergebnisse des Experimental- und Demonstrationshauses der Universität Wuppertal zum Solar Decathlon 2010 zu einer positiven Jahresenergiebilanz in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung und entsprechende Darstellung der drei vorgestellten und zwei etablierten Faktoren

	Monat	Woche	Tag	Stunde
Strombedarf [kWh <sub>E</sub> /a]	3.514,27	3.514,27	3.514,27	3.514,27
Stromerzeugung [kWh <sub>E</sub> /a]	7.052,20	7.052,20	7.052,20	7.052,20
Stromüberschuss [kWh <sub>E</sub> /a]	4.600,48	4.638,48	4.786,70	6.000,88
Stromunterdeckung [kWh <sub>E</sub> /a]	1.062,08	1.091,81	1.248,71	2.464,94
$F_{surplus}$ [%]	65	65	67	85
$F_{grid}$ [%]	23	23	26	41
$F_{export}$ [%]	77	77	74	59
$f_{load}$ [%]	79	79	76	39
$\gamma_S$ [%]	35	34	32	15

### A.10 Ergebnisse der Parameterstudien zu den Faktoren „ $F_{surplus}$ “, „ $F_{grid}$ “ und „ $F_{export}$ “ sowie „ $f_{load}$ “ und „ $\gamma_S$ “ bei unterschiedlichen Technologie- und Gewichtungsoptionen

#### A.10.1 Ergebnisse des Kindergartens „Die Sprösslinge“

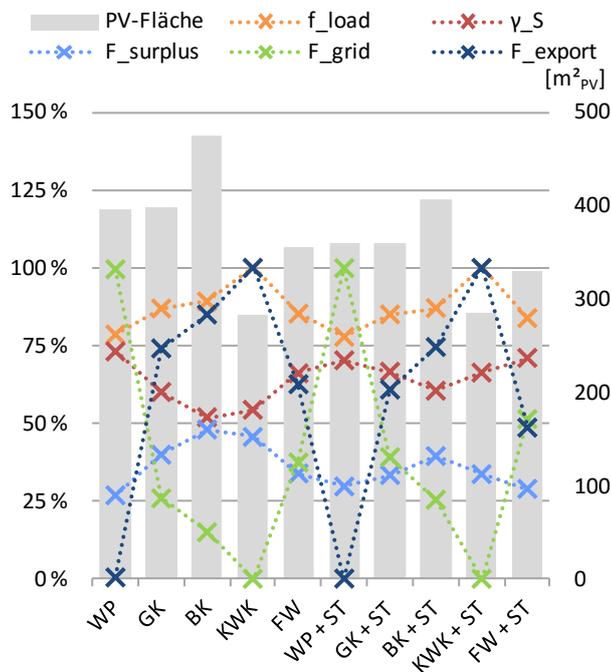


Abbildung A-15: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P2 (symmetrische Umrechnung nach DIN V 18599 2009 inkl. nicht erneuerbarer Anteile; s. Kapitel 7.3.2)

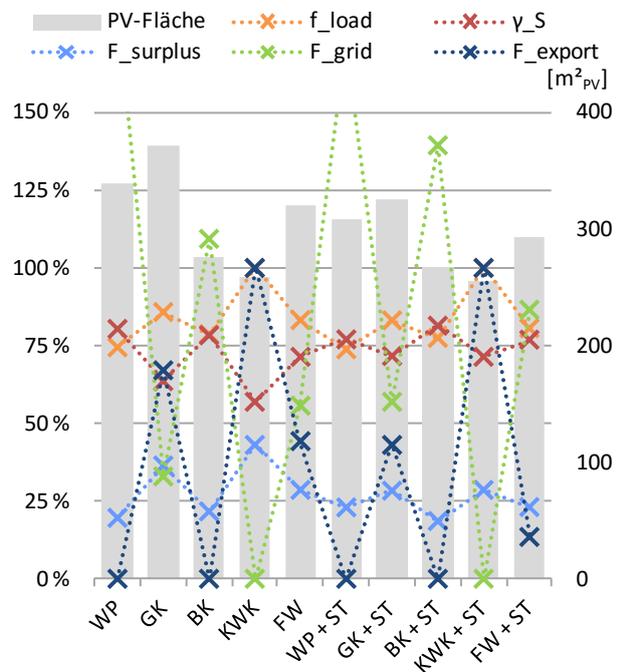


Abbildung A-16: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P3\* (asymmetrische Gewichtung, Bilanz zwischen Jahresenergiebedarf und -erzeugung; s. Kapitel 7.3.2)

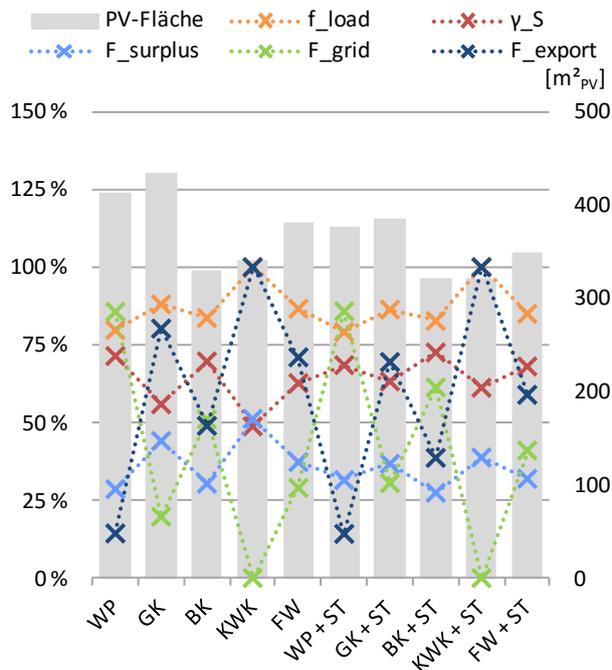


Abbildung A-17: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P4 (asymmetrische Gewichtung nach DIN V 18599 2011 invers; s. Kapitel 7.3.2)

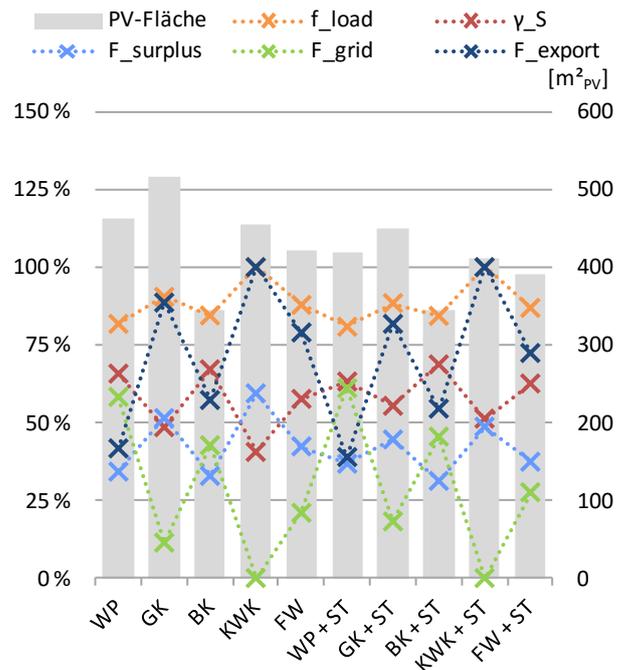


Abbildung A-18: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P4\* (asymmetrische Gewichtung nach DIN V 18599 2011 invers, Bilanz zwischen Jahresenergiebedarf und Jahresenergieerzeugung; s. Kapitel 7.3.2)

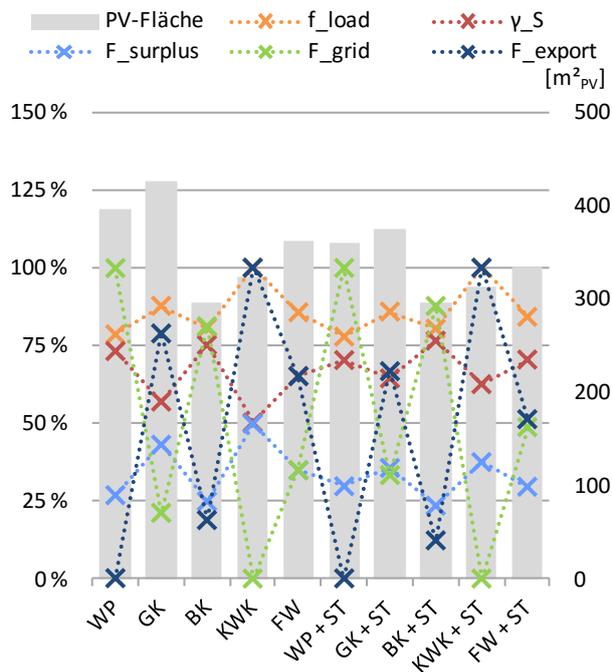


Abbildung A-19: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P5 (symmetrische Umrechnung nach DIN EN 15603 - 2008; s. Kapitel 7.3.2)

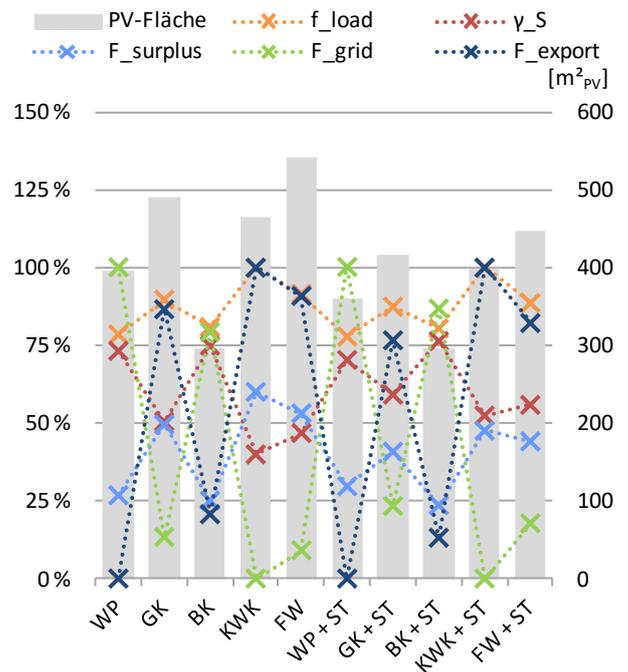


Abbildung A-20: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P6 (asymmetrische Umrechnung nach DIN EN 15603 - 2013; s. Kapitel 7.3.2)

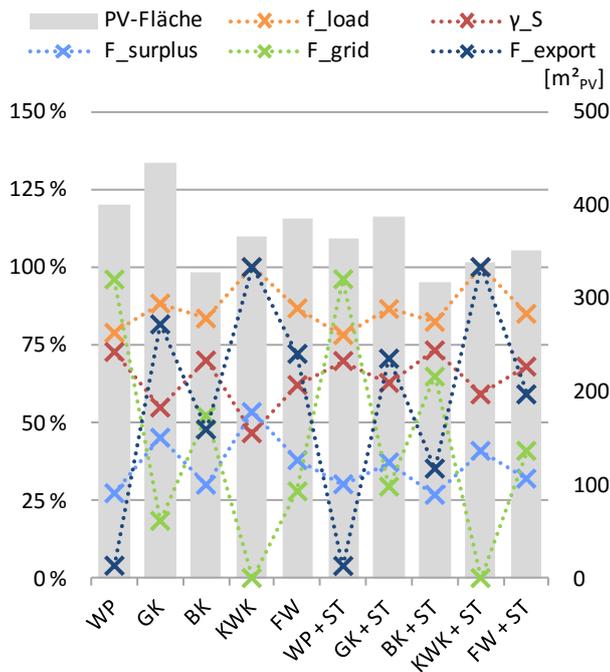


Abbildung A-21: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P7 (quasi-dynamische Gewichtung nach KEV DE - 2012; s. Kapitel 7.3.2)

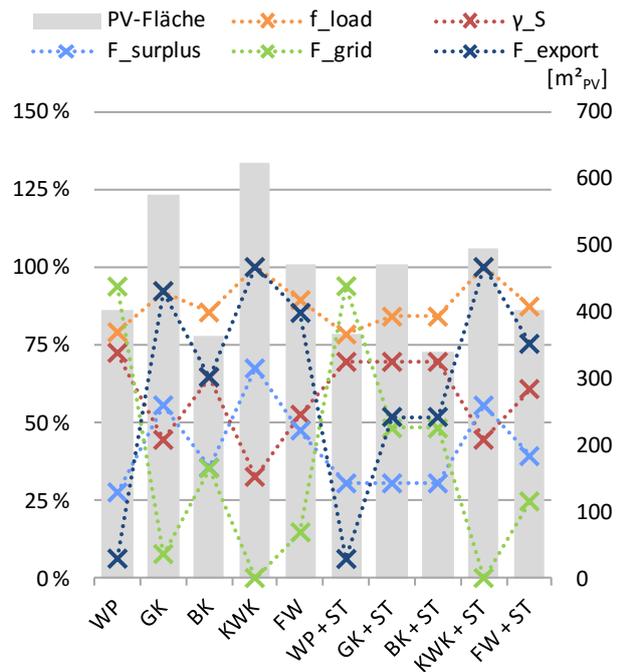


Abbildung A-22: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P8 (quasi-dynamische Gewichtung nach KEV DE - 2020; s. Kapitel 7.3.2)

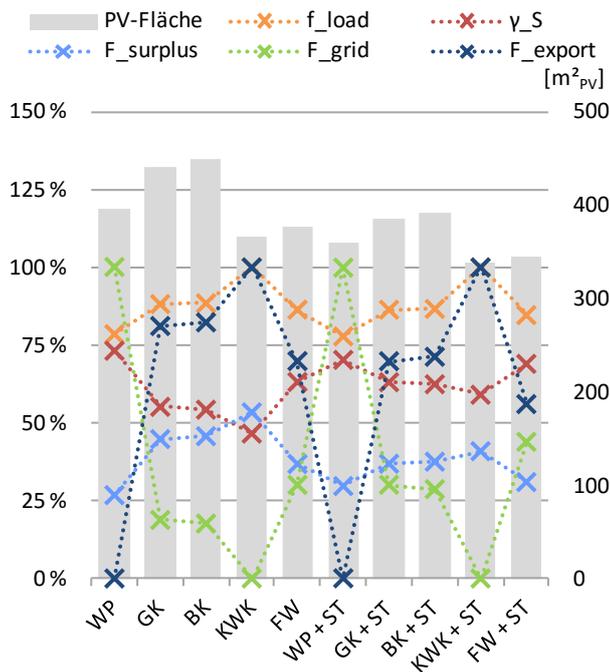


Abbildung A-23: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P9 (politische Einflussnahme bei Holz nach EnDK - 2009; s. Kapitel 7.3.2)

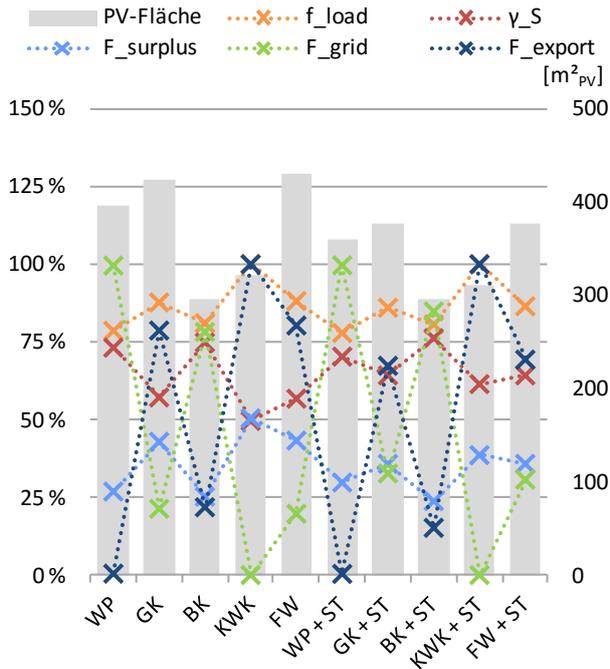


Abbildung A-24: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach C1 (symmetrische Umrechnung nach GEMIS 4.8 2013; s. Kapitel 7.3.2)

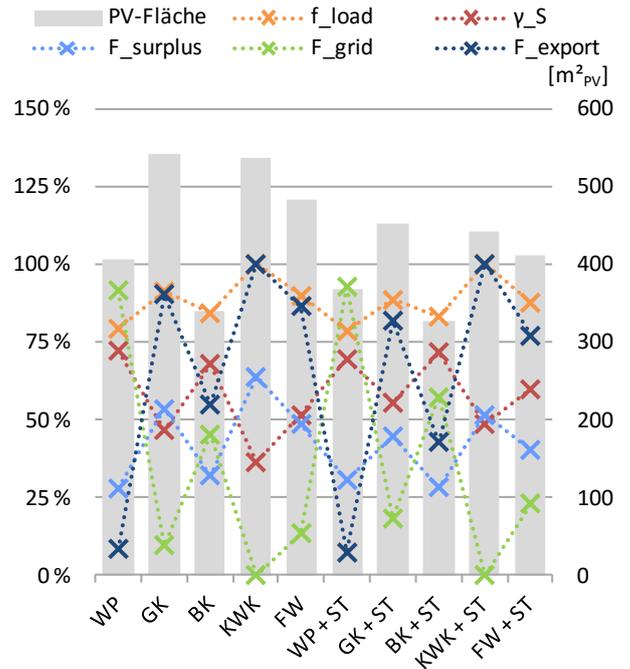


Abbildung A-25: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach C2 (quasi-dynamische Gewichtung nach CO<sub>2</sub> EU - 2010; s. Kapitel 7.3.2)

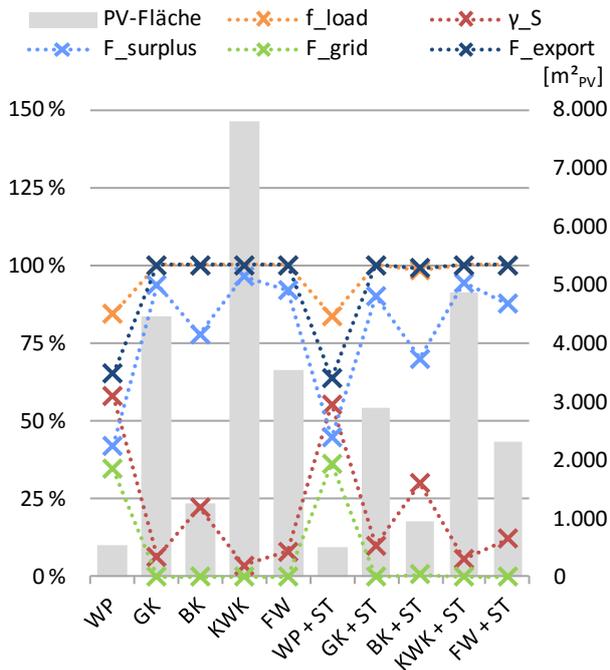


Abbildung A-26: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach C3 (quasi-dynamische Gewichtung nach CO<sub>2</sub> EU - 2050; s. Kapitel 7.3.2)

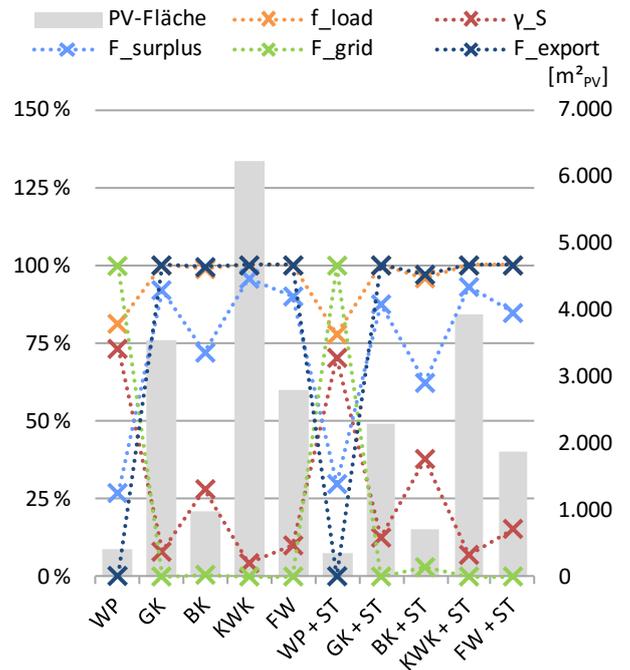


Abbildung A-27: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach C4 (symmetrische Umrechnung nach CO<sub>2</sub> EU - 2050; s. Kapitel 7.3.2)

### A.10.2 Ergebnisse der „Kleehäuser“

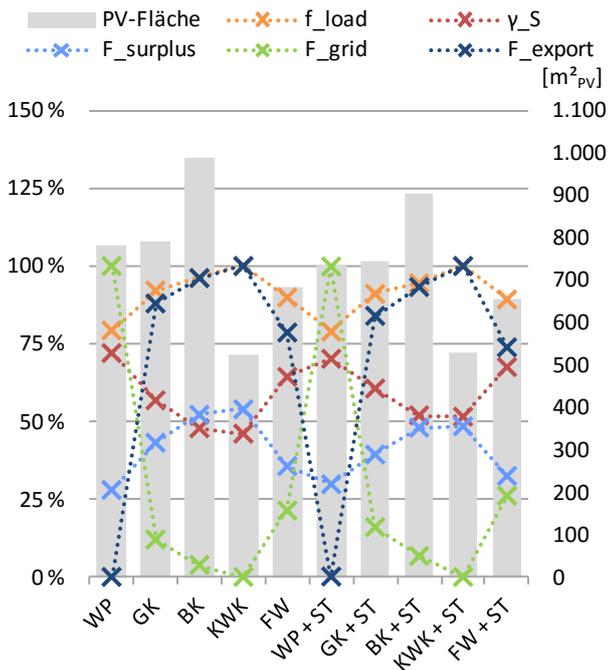


Abbildung A-28: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P2 (symmetrische Umrechnung nach DIN V 18599 2009 inkl. nicht erneuerbarer Anteile; s. Kapitel 7.3.2)

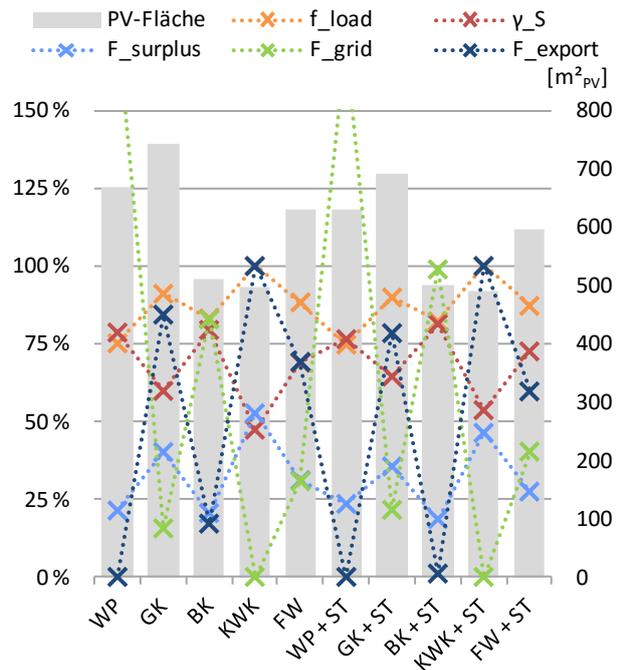


Abbildung A-29: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P3\* (asymmetrische Gewichtung nach DIN V 18599 2011, Bilanz zwischen Jahresenergiebedarf und Jahresenergieerzeugung; s. Kapitel 7.3.2)

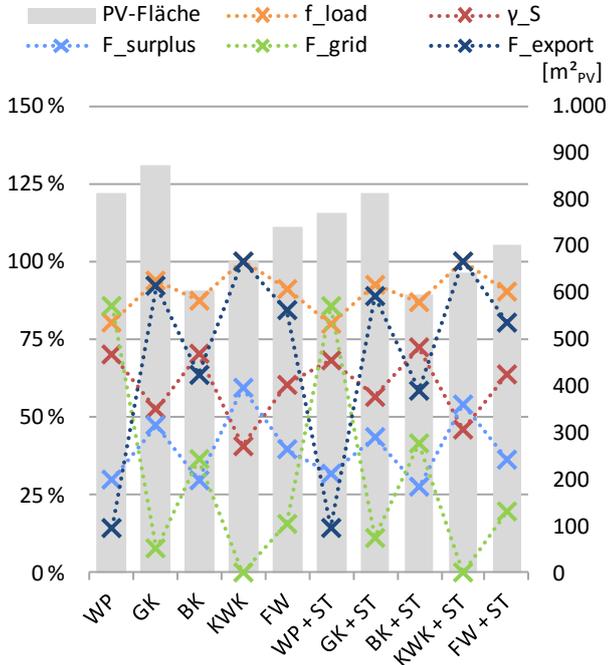


Abbildung A-30: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P4 (asymmetrische Gewichtung nach DIN V 18599 2011 invers; s. Kapitel 7.3.2)

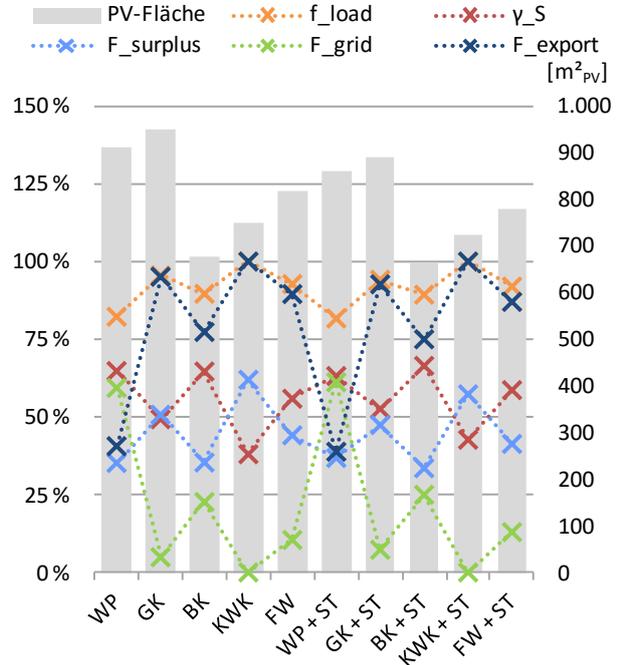


Abbildung A-31: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P4\* (asymmetrische Gewichtung nach DIN V 18599 2011 invers, Bilanz zwischen Jahresenergiebedarf und Jahresenergieerzeugung; s. Kapitel 7.3.2)

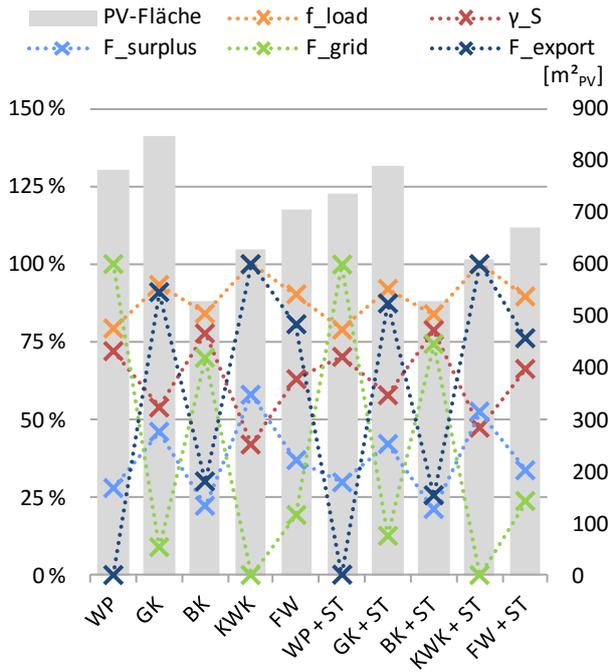


Abbildung A-32: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P5 (symmetrische Umrechnung nach DIN EN 15603 - 2008; s. Kapitel 7.3.2)

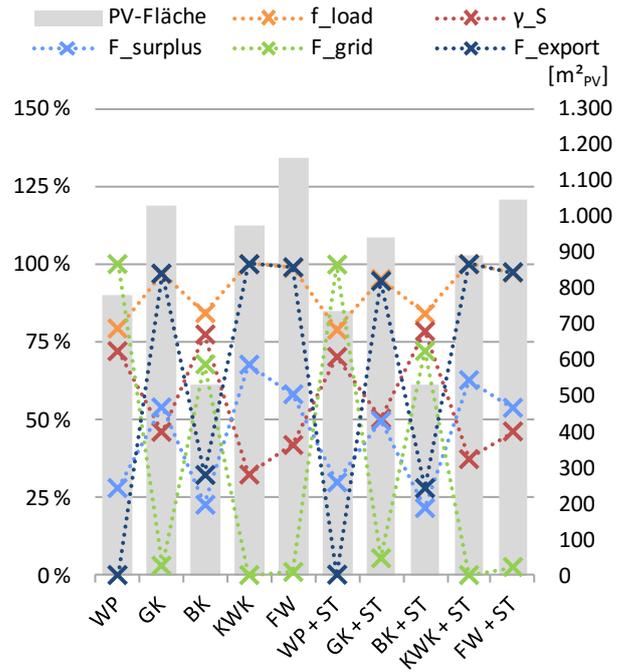


Abbildung A-33: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P6 (asymmetrische Umrechnung nach DIN EN 15603 - 2013; s. Kapitel 7.3.2)

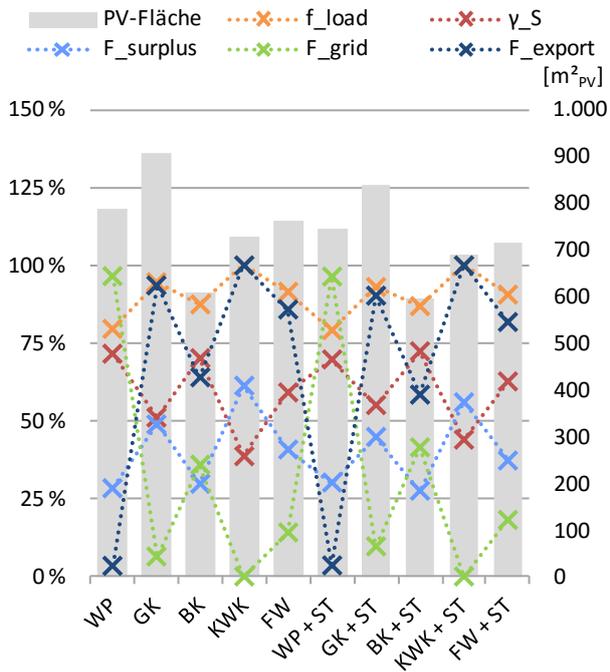


Abbildung A-34: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P7 (quasi-dynamische Gewichtung nach KEV DE - 2012; s. Kapitel 7.3.2)

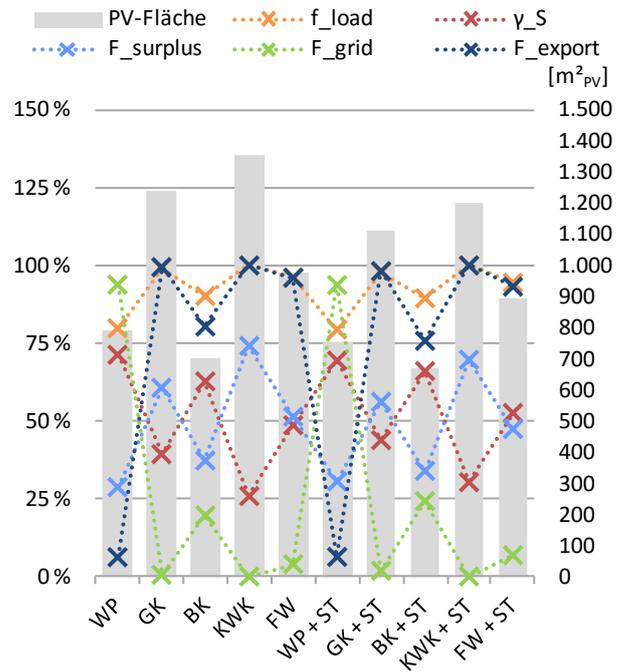


Abbildung A-35: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P8 (quasi-dynamische Gewichtung nach KEV DE - 2020; s. Kapitel 7.3.2)

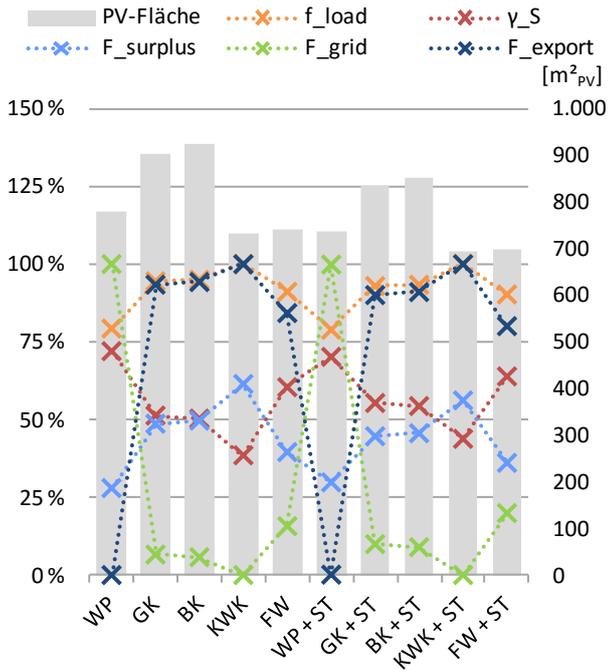


Abbildung A-36: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach P9 (politische Einflussnahme bei Holz nach EnDK - 2009; s. Kapitel 7.3.2)

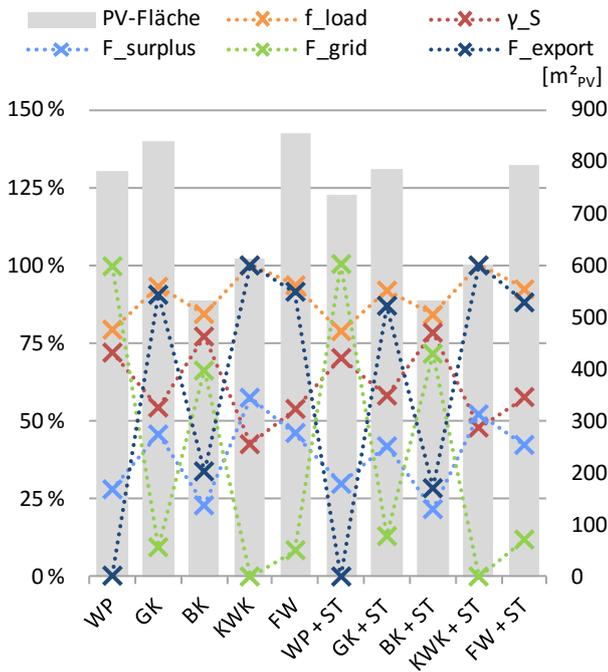


Abbildung A-37: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach C1 (symmetrische Umrechnung nach GEMIS 4.8 2013; s. Kapitel 7.3.2)

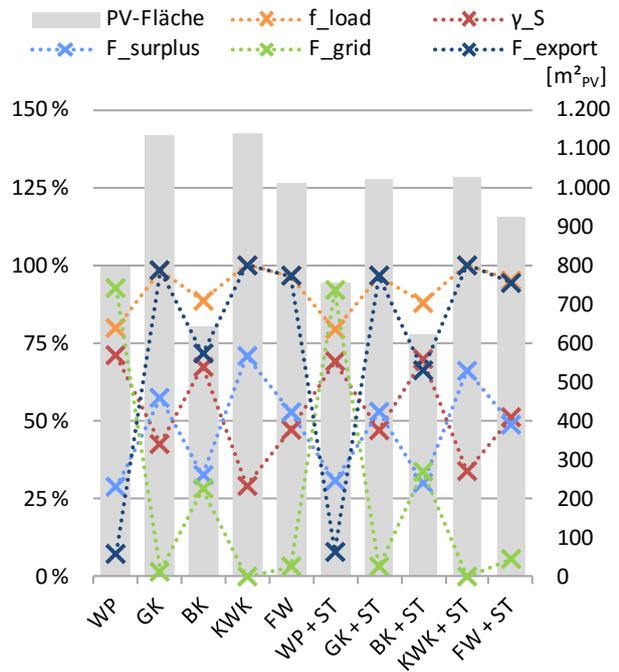


Abbildung A-38: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach C2 (quasi-dynamische Gewichtung nach CO<sub>2</sub> EU - 2010; s. Kapitel 7.3.2)

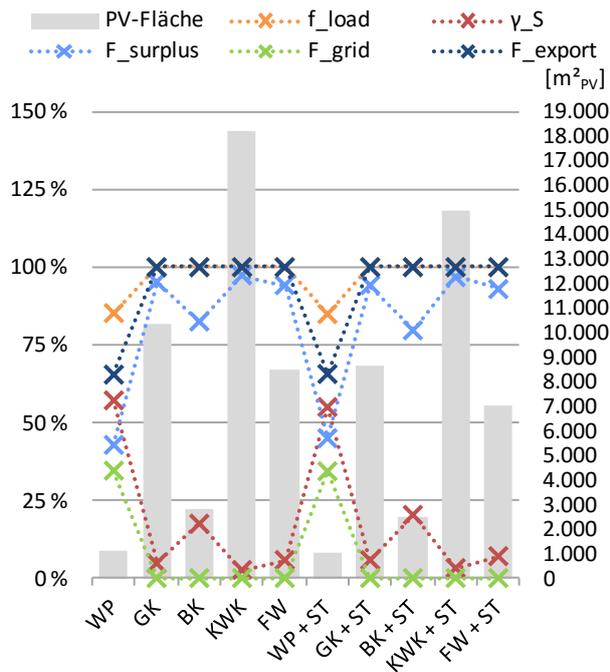


Abbildung A-39: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach C3 (quasi-dynamische Gewichtung nach CO<sub>2</sub> EU - 2050; s. Kapitel 7.3.2)

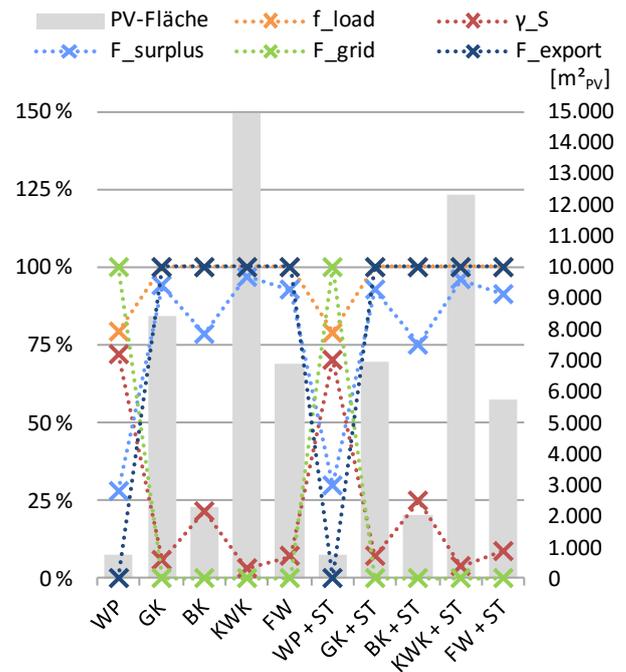


Abbildung A-40: Abhängigkeit der untersuchten Quantifizierungsfaktoren von Technologieoptionen bei Gewichtungsfaktoren nach C4 (symmetrische Umrechnung nach CO<sub>2</sub> EU - 2050; s. Kapitel 7.3.2)

### A.11 Vorstellung des Gründerzeit-Beispielgebäudes mit KWK-Steuerung

Das gründerzeitliche Beispielgebäude wurde im Zuge des wissenschaftlichen Realisierungsprojekts „Dezentrale Stromerzeugung im Kleinleistungsbereich als Beitrag zur Emissionsminderung im Gebäudebestand – Potentialanalyse und beispielhafte Umsetzung für Hauseigentümer in NRW“ (s. [WestLB 2012]) zur Umrüstung auf einen Strom-Wärme-geführten Wärmeversorgungs über ein Mini-BHKW ausgewählt und entsprechend den Projektvorgaben mit Mess-, Steuer- und Regelungstechnik ausgerüstet.

Das Gebäude wurde um 1920 erbaut, ist denkmalgeschützt und liegt im historisch geprägten „Ölberg“-Viertel in der südlichen Hälfte der Wuppertal-Elberfelder Nordstadt. Es verfügt über eine Wohnfläche von 453 m<sup>2</sup>, die sich auf fünf Mietwohnungen verteilen. Im Projektzeitraum wird das Gebäude von sieben Personen bewohnt. Zusätzlich ist im Erdgeschoss ein Büro vermietet.

Abbildung A-41: Gründerzeit-  
Beispielgebäude in der Wup-  
pertaler Nordstadt



Voraussetzung für den ökonomisch sinnvollen Betrieb des Mini-BHKWs war eine ganzjährig hohe Wärmeabnahme. Diese ist bei Mehrfamilien-Gründerzeithäusern auch ohne Missachtung von Effizienzsritten gegeben, sofern - wie im vorliegenden Fall - Denkmalschutz besteht. Eine energetische Ertüchtigung im Jahr 2000 umfasste daher nur den Austausch der Fenster im Dachgeschoss und an der Rückseite des Gebäudes sowie eine Dämmung der Kellerdecke und des Daches. Das Mauerwerk besteht aus einem ungedämmten verputzten Ziegelmauerwerk mit Wandstärken zwischen 20 cm und 57 cm, so dass sich ein mittlerer U-Wert von  $1,14 \text{ W/m}^2\text{K}$  und ein Heizwärmebedarf von ca.  $136 \text{ kWh/m}^2_{\text{NGfA}}$  ergeben.

Im Zuge der Umrüstung auf eine Wärmeversorgung über das BHKW wurden die Gasetagenheizungen entfernt. Um die Möglichkeit einer genauen Verbrauchserfassung und Abrechnung der einzelnen Wohnparteien beizubehalten, wurde jede Wohneinheit mit einem eigenen Heizkreis samt Wärmemengenzähler ausgestattet. Als Voraussetzung für den Strom-Wärme-geführten Betrieb wurden drei Pufferspeicher mit einem Speichervermögen von je 1.000 l installiert.

## A.12 Ergänzungen zu den Umsetzungsstrategien

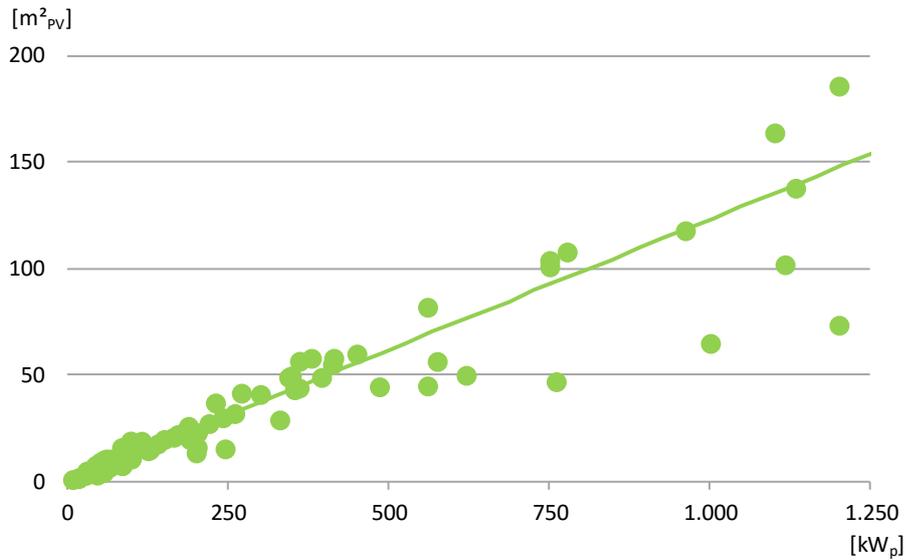


Abbildung A-42: Verhältnis zwischen der Leistung von Solarstromanlagen der bekannten Nullenergiegebäude in  $W_p$  und deren Fläche in  $m^2_{PV}$ . Der Mittelwert beträgt  $8,3 m^2_{PV}/kW_p$



Abbildung A-43: Beim Pearl River Tower in Guangzhou (s. CN\_1) trägt die Form zum Energieertrag bei. Die vier trichterförmigen Öffnungen in beiden markanten Technikgeschossen leiten den Windstrom zu dort positionierten Windturbinen (s. Abbildung A-44). Die eigentlich relativ geringen Winde aus verschiedenen Richtungen werden hierüber verstärkt und kanalisiert und steigern damit die Effizienz der Windturbinen um das 2,5-fache.

In Kombination mit Solarstromanlagen erzeugen die Turbinen dennoch lediglich rund 4 % des Strombedarfs des Gebäudes, womit einerseits die gewaltigen Aufwendungen bzw. enormen Auswirkungen der Nutzung von Windenergie an Gebäuden sowie andererseits die Schwierigkeiten beim Erreichen einer Nullenergiebilanz bei Hochhäusern deutlichen werden. Quelle Emporis / Skidmore, Owings & Merrill, Foto Si ye Zhang



Abbildung A-44: Adaption des Savonius-Rotors als verdrehte Vertikal Windturbine im trichterförmigen Zwischenraum eines Technikgeschosses des Pearl River Tower in Guangzhou (s. Abbildung A-43). Quelle Skidmore, Owings & Merrill, Foto Tim Griffith

### A.13 Typische, monatliche Stromlastprofile von Nullenergiegebäuden samt Darstellung der Deckungsraten

Die genutzten Werte stammen aus unterschiedlichen Jahren zwischen 2007 und 2013. Teilweise stellt dies das erste Betriebsjahr dargestellter Gebäude dar, so dass sich durch (technische) Anpassungen Unterschiede hinsichtlich veränderter Verbräuche oder Erträge im Jahresverlauf bzw. zwischen den beiden Winterperioden zu Jahresbeginn respektive -ende ergeben können (s. bspw. Gebäude UK\_1 - Seite 185 und NL\_1 - Anhang Seite I). In zwei bekannten Fällen konnten die KWK-Anlagen erst im Verlauf des ersten Betriebsjahres in Betrieb genommen werden. Bei anderen Beispielen wurden technische Fehlfunktionen korrigiert oder das Nutzerverhalten besprochen. Es gehen nur „on-site“-Stromerzeuger ein.

Tabelle A-25: Aufstellung typischer, monatlicher Stromlastprofile von 29 Nullenergiegebäuden mit unterschiedlichen Konzepten, typologischen Hintergründen und klimatischen Bedingungen (tlw. werden bei Siedlungen Messwerte von einzelnen Referenzgebäuden genutzt). Erläuterung der Faktoren s. Kapitel 7.8

Kategorie	Gebäude	Energiekonzept (Bilanzrahmen)	Jahresstromprofil		f <sub>load</sub> [%]	Y <sub>s</sub> [%]	F <sub>surplus</sub> [%]	F <sub>grid</sub> [%]	F <sub>export</sub> [%]
			Stromertrag	Stromverbrauch					
EFH Gemäßigte Klimazone	CH_6	PV 47,6 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> WP 18,2 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ST 0,02 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	8,0	4,0	76	52	48	50	50
		+ 22,2							
					45,6	34,5			
EFH Gemäßigte Klimazone	UK_2	PV 59,5 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> BK 126,5 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ST 0,05 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	10,0	5,0	84	72	28	47	53
		+ 25,5							
					61,0	50,6			
EFH Gemäßigte Klimazone	DK_3	PV 38,9 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> WP 36,9 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ST 0,04 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	8,0	5,0	70	60	40	121	0
		- 9,1							
					35,2	38,2			

Tabelle A-25: Aufstellung typischer, monatlicher Stromlastprofile von 29 Nullenergiegebäuden mit unterschiedlichen Konzepten, typologischen Hintergründen und klimatischen Bedingungen (tlw. werden bei Siedlungen Messwerte von einzelnen Referenzgebäuden genutzt). Erläuterung der Faktoren s. Kapitel 7.8

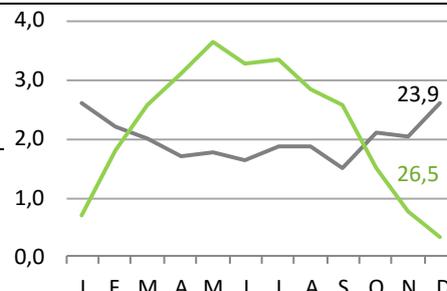
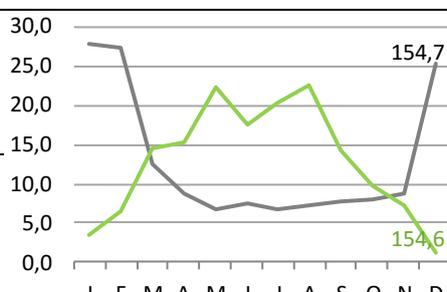
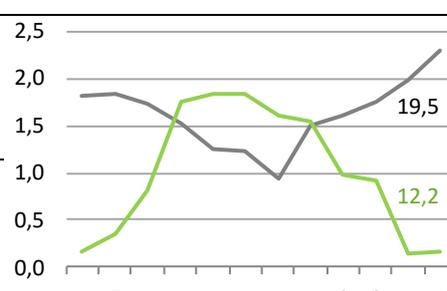
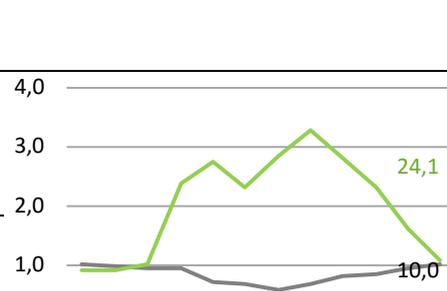
Kategorie	Gebäude	Energiekonzept (Bilanzrahmen)	Jahresstromprofil 	f <sub>load</sub> [%]	Y <sub>s</sub> [%]	F <sub>surplus</sub> [%]	F <sub>grid</sub> [%]	F <sub>export</sub> [%]
EFH	DE_16	PV 30,3 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> GK 111,1 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ST 0,07 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>		78	66	34	72	28
EFH	DE_37	PV 244 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> WP 46,0 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ST 0,12 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>		77	54	46	100	0
EFH	DK_10	PV 63,1 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> WP 34,5 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ST 0,03 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>		59	83	17	447	0
EFH	AT_10	PV 20,8 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> BK 104,2 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ST 0,15 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>		100	41	59	0	100

Tabelle A-25: Aufstellung typischer, monatlicher Stromlastprofile von 29 Nullenergiegebäuden mit unterschiedlichen Konzepten, typologischen Hintergründen und klimatischen Bedingungen (tlw. werden bei Siedlungen Messwerte von einzelnen Referenzgebäuden genutzt). Erläuterung der Faktoren s. Kapitel 7.8

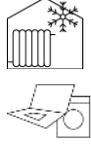
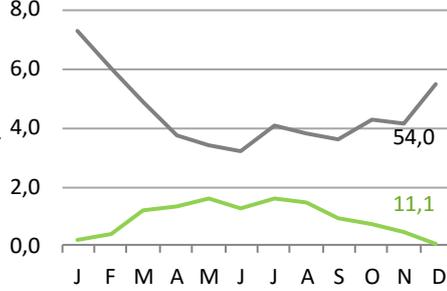
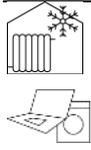
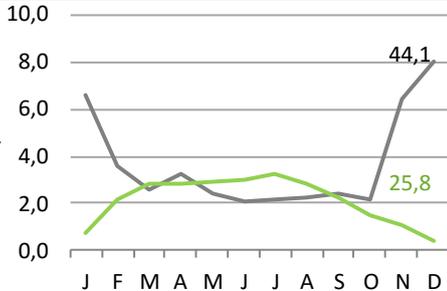
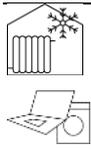
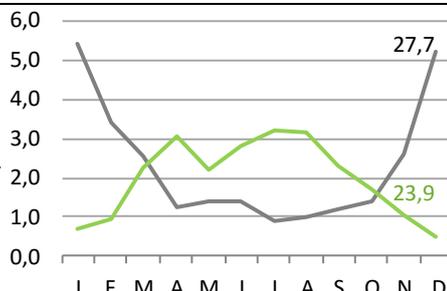
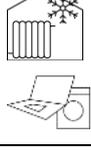
Kategorie	Gebäude	Energiekonzept (Bilanzrahmen)	Jahresstromprofil <span style="color: green;">—</span> Stromertrag <span style="color: grey;">—</span> Stromverbrauch	f <sub>load</sub> [%]	Y <sub>s</sub> [%]	F <sub>surplus</sub> [%]	F <sub>grid</sub> [%]	F <sub>export</sub> [%]
EFH Subpolargebiete	CA_5	PV 12,1 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> WP 47,4 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ST 0,24 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	8,0 6,0 4,0 2,0 0,0	24	100	0	0	0
		- 66,1						
EFH Subpolargebiete	CA_3	PV 23,9 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> WP ST 0,09 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	10,0 8,0 6,0 4,0 2,0 0,0	70	87	13	663	0
		- 27,6						
MFH Gemäßigte Klimazone	CH_8	PV 23,2 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> BK WP ST 0,11 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> Wärmeexport	6,0 5,0 4,0 3,0 2,0 1,0 0,0	73	58	42	138	0
		+ 23,6						
MFH Gemäßigte Klimazone	DE_7	PV 9,1 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> WK „off-site“ 10,5 W <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> BHKW 5,6 W <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ST 0,02 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	5,0 4,0 3,0 2,0 1,0 0,0	97	85	15	17	83
		- 4,2						

Tabelle A-25: Aufstellung typischer, monatlicher Stromlastprofile von 29 Nullenergiegebäuden mit unterschiedlichen Konzepten, typologischen Hintergründen und klimatischen Bedingungen (tlw. werden bei Siedlungen Messwerte von einzelnen Referenzgebäuden genutzt). Erläuterung der Faktoren s. Kapitel 7.8

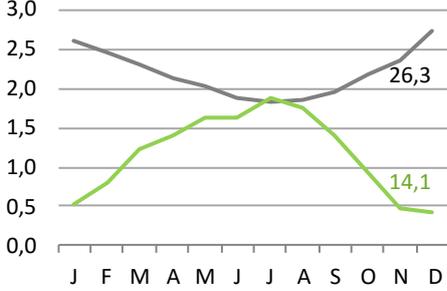
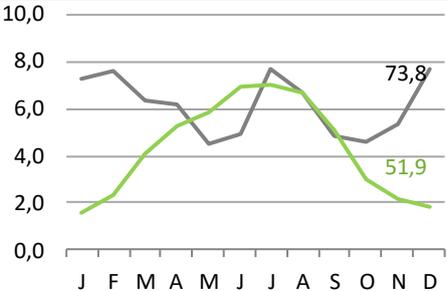
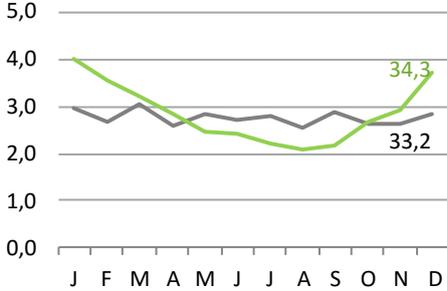
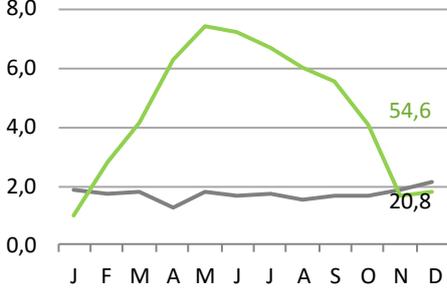
Kategorie	Gebäude	Energiekonzept (Bilanzrahmen)	Jahresstromprofil		f <sub>load</sub> [%]	Y <sub>s</sub> [%]	F <sub>surplus</sub> [%]	F <sub>grid</sub> [%]	F <sub>export</sub> [%]			
			Stromertrag	Stromverbrauch								
MFH	CH_11	PV 19,3 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> WP 16,1 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ST 0,02 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	Die angegebenen Werte geben die entsprechenden Jahressummen an. Alle Werte in [kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ]		57	100	0	18.075	0			
			 <p>Gemäßigte Klimazone</p>	<p>- 30,9 (Die Bilanz umfasst alle Verbraucher während real eine TGA-Bilanz erstrebt wird)</p>								
MFH	IT_3	PV 41,5 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> WP 34,8 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ST 0,04 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> Aktive Kühlung	Die angegebenen Werte geben die entsprechenden Jahressummen an. Alle Werte in [kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ]		69	93	7	717	0			
			 <p>Gemäßigte Klimazone</p>	<p>- 47,5 (Die Bilanz umfasst alle Verbraucher während real eine TGA-Bilanz erstrebt wird)</p>								
MFH	DE_8	PV 3,6 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> GK 54,5 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> BHKW 14,8 W <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	Die angegebenen Werte geben die entsprechenden Jahressummen an. Alle Werte in [kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ]		93	90	10	68	32			
			 <p>Gemäßigte Klimazone</p>	<p>- 101,5 (ursprünglich vorgesehene Erträge aus einem Windkraftinvestment bleiben aus)</p>								
Siedlung	DE_5	PV 50,7 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> Fernwärme	Die angegebenen Werte geben die entsprechenden Jahressummen an. Alle Werte in [kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ]		94	35	65	4	96			
			 <p>Gemäßigte Klimazone</p>	<p>+ 72,2</p>								

Tabelle A-25: Aufstellung typischer, monatlicher Stromlastprofile von 29 Nullenergiegebäuden mit unterschiedlichen Konzepten, typologischen Hintergründen und klimatischen Bedingungen (tlw. werden bei Siedlungen Messwerte von einzelnen Referenzgebäuden genutzt). Erläuterung der Faktoren s. Kapitel 7.8

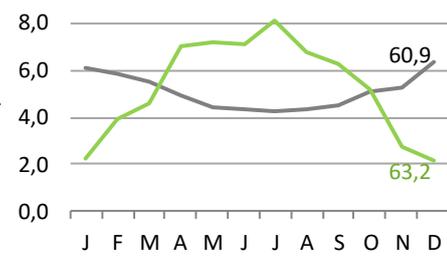
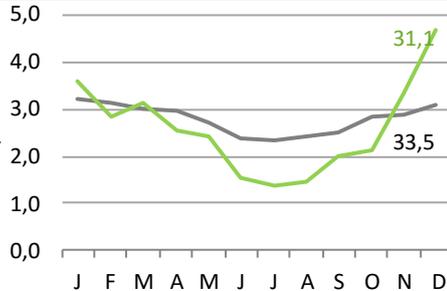
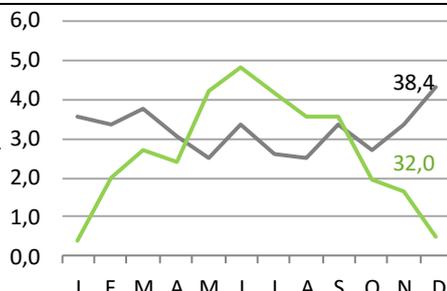
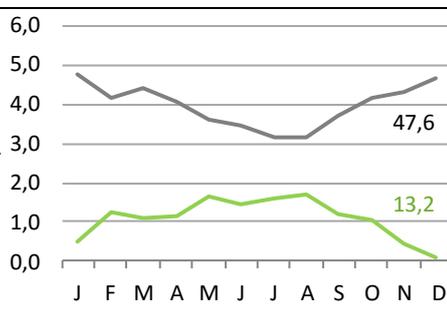
Kategorie	Gebäude	Energiekonzept (Bilanzrahmen)	Jahresstromprofil		f <sub>load</sub> [%]	Y <sub>s</sub> [%]	F <sub>surplus</sub> [%]	F <sub>grid</sub> [%]	F <sub>export</sub> [%]	
			Stromertrag	Stromverbrauch						
Siedlung	AT_10	PV 19,2 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> WP 10,8 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	10,0	Die angegebenen Werte geben die entsprechenden Jahressummen an. Alle Werte in [kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ]		81	75	25	86	14
				 + 5,2 						
Siedlung	UK_1	PV 12,2 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> BHKW 13,6 W <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	5,0	Die angegebenen Werte geben die entsprechenden Jahressummen an. Alle Werte in [kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ]		81	89	11	186	0
				 - 13,6 						
Verwaltung	CH_2	PV 34,4 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> WP 14,1 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	6,0	Die angegebenen Werte geben die entsprechenden Jahressummen an. Alle Werte in [kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ]		71	81	19	207	0
				 - 19,7 						
Verwaltung	AT_3	PV 12,3 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> BK 369,7 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ST 0,26 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> Wärmeexport	6,0	Die angegebenen Werte geben die entsprechenden Jahressummen an. Alle Werte in [kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ]		30	100	0	0	0
				 + 619,1 (Überschüsse werden über Wärmeexporte und den Ersatz von Wärme aus Gaskesseln erbracht) 						

Tabelle A-25: Aufstellung typischer, monatlicher Stromlastprofile von 29 Nullenergiegebäuden mit unterschiedlichen Konzepten, typologischen Hintergründen und klimatischen Bedingungen (tlw. werden bei Siedlungen Messwerte von einzelnen Referenzgebäuden genutzt). Erläuterung der Faktoren s. Kapitel 7.8

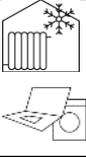
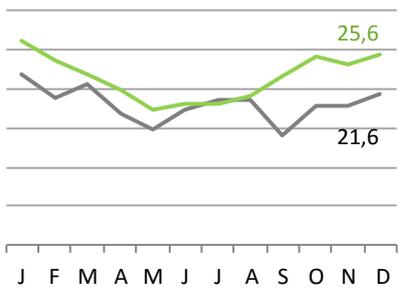
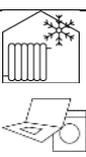
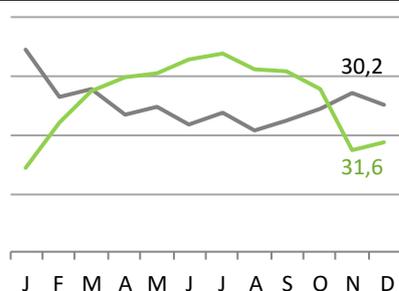
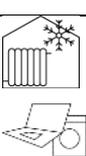
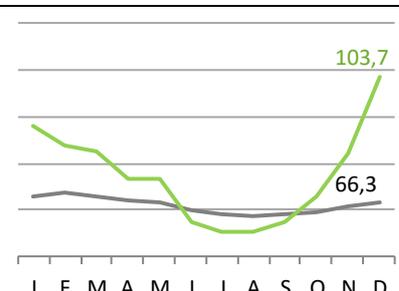
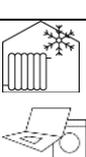
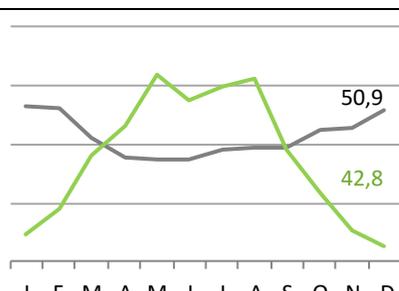
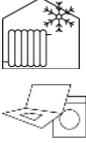
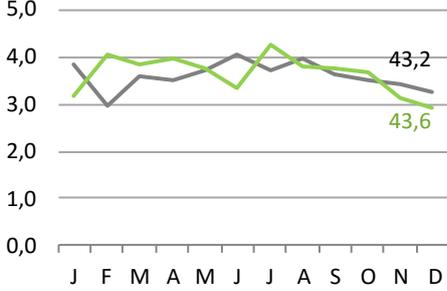
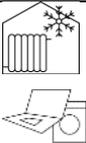
Kategorie	Gebäude	Energiekonzept (Bilanzrahmen)	Jahresstromprofil		f <sub>load</sub> [%]	Y <sub>s</sub> [%]	F <sub>surplus</sub> [%]	F <sub>grid</sub> [%]	F <sub>export</sub> [%]	
			Stromertrag	Stromverbrauch						
Verwaltung Gemäßigigte Klimazone	AU_3	PV 7,7 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> WK 6,1 W <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> GK 50,4 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> WP 168,5 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> Aktive Kühlung	3,0	2,5	100	84	16	1	99	
	 - 39,2									
		PT_1	PV 25,0 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> GK ST 0,01 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	4,0	3,0	89	82	18	74	26
		 + 3,7								
NL_1	PV 12,2 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> BHKW 7,4 W <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> WP 14,9 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ST 0,01 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>		25,0	15,0	85	58	42	25	75	
Verwaltung Gemäßigigte Klimazone	 + 78,7									
		DE_43	PV 50,6 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> WP 28,9 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ST 0,02 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	8,0	6,0	69	75	25	177	0
		 - 3,0								
Bildung Gemäßigigte Klimazone										

Tabelle A-25: Aufstellung typischer, monatlicher Stromlastprofile von 29 Nullenergiegebäuden mit unterschiedlichen Konzepten, typologischen Hintergründen und klimatischen Bedingungen (tlw. werden bei Siedlungen Messwerte von einzelnen Referenzgebäuden genutzt). Erläuterung der Faktoren s. Kapitel 7.8

Kategorie	Gebäude	Energiekonzept (Bilanzrahmen)	Jahresstromprofil <span style="color: green;">—</span> Stromertrag <span style="color: grey;">—</span> Stromverbrauch	f <sub>load</sub> [%]	Y <sub>s</sub> [%]	F <sub>surplus</sub> [%]	F <sub>grid</sub> [%]	F <sub>export</sub> [%]	
									Bilanzgrenze
Bildung	Gemäßigte Klimazone	DE_42	PV 8,4 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> BK 33,5 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> BHKW 0,3 W <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	2,5	41	99	1	24.876	0
		-45,1 (Das vorgesehene Biomasse-BHKW konnte bisher nicht genutzt werden)							
Bildung	Gemäßigte Klimazone	FR_8	PV 34,4 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> WP ST 0,01 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> Aktive Kühlung	8,0	60	73	27	463	0
		-45,2							
Bildung	Gemäßigte Klimazone	AT_16	PV 7,7 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> WP 16,6 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ST 0,02 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>	4,0	39	81	19	1.200	0
		-23,0							
Bildung	Subpolargebiete	US_9	PV 126,6 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> WP Aktive Kühlung	25,0	87	58	42	36	64
		+71,2							

Tabelle A-25: Aufstellung typischer, monatlicher Stromlastprofile von 29 Nullenergiegebäuden mit unterschiedlichen Konzepten, typologischen Hintergründen und klimatischen Bedingungen (tlw. werden bei Siedlungen Messwerte von einzelnen Referenzgebäuden genutzt). Erläuterung der Faktoren s. Kapitel 7.8

Kategorie	Gebäude	Energiekonzept (Bilanzrahmen)	Jahresstromprofil		f <sub>load</sub> [%]	γ <sub>s</sub> [%]	F <sub>surplus</sub> [%]	F <sub>grid</sub> [%]	F <sub>export</sub> [%]
			Stromertrag	Stromverbrauch					
Die angegebenen Werte geben die entsprechenden Jahressummen an. Alle Werte in [kWhel/m <sup>2</sup> NGF]									
SG_1		PV 42,7 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> NGF Aktive Kühlung	5,0		95	94	6	84	16
Bildung	Subtropische Gebiete	 + 1,2							
			FR_4		PV 73,42 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> NGF tlw. aktive Kühlung	10,0		100	41
Bildung	Subtropische Gebiete	 + 316,0 (Die geringen Stromverbräuche beruhen wegen des Klimas allein auf den nutzungssp. Verbräuchen)							

## A.14 Merkmale bekannter städtebaulicher Projekte

Tabelle A-26: Merkmale und Energiekonzepte bekannter städtischer und städtebaulicher Projekte mit einem Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz (Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis)

Projekt	Realisierung	Bilanz- und Projektschwerpunkt	Fläche [ha]	Dichte [Pers/ha]	GFZ	NGF [m <sup>2</sup> ]	Wärmebereitstellung	Stromerzeugung
Sundays, Gleisdorf, AT_4	1999	Solar gestütztes Nahwärmenetz zur erneuerbaren Heizwärmeversorgung	0,25	96	0,44	943	BK (82,5 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> )	PV (2,9 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> )
							ST (0,5 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> )	WK „off-site“
							14 m <sup>3</sup> Solarspeicher lokales Wärmenetz	
Sunny Watt, CH_10	2010	Komplette Bilanzierung auf Ebene von kompakten und effizienten MFH	0,40	125	0,68	5.015	semizentrale Erdreich-WP ST (0,02 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> )	PV (20,7 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> )
solaR2, München Riem, DE_48	2008	Economy of Scale bei Wärmebereitstellung mit großem Speicher und Nahwärmenetz, vollständige Bilanz	0,48	208	0,97	3.970	BK (12,6 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ) ST (0,02 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> )	PV (15,1 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> )
Passivhaus-Siedlung Hannover Kronsberg, DE_6	1998	Addition erneuerbarer Energieerträge zu Passivhausidee für komplett erneuerbare Deckung	0,64	172	0,66	3.579	GK	WK „off-site“ (23,2 W <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> )
							KWK	KWK
							ST	KWK
							lokales Wärmenetz	
Quartier Plusenergiesiedlung Weiz, AT_1	2006	Vollständiger Bilanzbezug auf einzelne Reihenhäuser	0,70	94	0,30	2.345	dezentrale Luft-WP (10,8 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> )	PV (19,2 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> )
Solarsiedlung am Schlierberg in Freiburg, DE_5	2006	Vollständige Bilanzierung auf Siedlungsebene	1,10	155	0,72	7.890	Örtliches Nahwärmenetz	PV (50,7 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> )
BedZED, Sutton, UK_1	2002	Gemeinschaftsidee und „Economy of Scale“ aber Bilanzierung aller Sektoren auf Gebäudeebene	1,20	183	0,74	8.850	Holzvergaser-BHKW (28,3 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ) lokales Wärmenetz	PV (12,2 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ) KWK (13,6 W <sub>el</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> )
Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark, Landshut, DE_69	2013	„Economy of Scale“ bei Wärmebereitstellung mit großem Speicher und Nahwärmenetz	2,20	84	1,05	6.460	(Biomasse-)BHKW und BK mit lokalem Wärmenetz dezentrale Erdreich-WP (EFH)	PV KWK
Siedlung Modellprojekt Berlin-Möckernkiez, DE_144	Im Bau	smart grid zur Kopplung verschiedenster Stromerzeuger bei komplettem Ausgleich	3,00	367	1,82	46.300	BK/KWK	PV
							Erdreich-WP	WK „on-site“
							ST	

Tabelle A-26: Merkmale und Energiekonzepte bekannter städtischer und städtebaulicher Projekte mit einem Anspruch an eine ausgeglichene Energiebilanz (Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis)

	Projekt	Realisierung	Bilanz- und Projektschwerpunkt	Fläche [ha]	Dichte [Pers/ha]	GFZ	NGF [m <sup>2</sup> ]	Wärmebereitstellung	Stromerzeugung
Siedlung	PlusEnergie Quartier Oberursel, DE	Im Bau	Zentrale + dezentrale Energieversorgung, Kopplung an externes Gewerbegebiet, Lastmanagement, saisonale Speicher	3,00		1,06	28.050	Holzvergaser-BHKW BK lokales Wärmenetz	PV
	zero:e Park, Hannover, DE_82	Im Bau	Bilanzierung gebäudebezogen mit externen Zukäufen	12,18	82			KWK ST lokales Wärmenetz	PV KWK WK „off-site“
	Revitalisierung eines Stadtteils in Bad Aibling, DE_70	Im Bau	Einbindung von Altbauten, Energiemanagement, kompletter Bilanzausgleich	70,00 / 13,80		0,09	61.200	BK/GK (115,2 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ) (Biomasse-)BHKW dezentrale WP für WW ST (0,03 m <sup>2</sup> <sub>ST</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ) lokales Wärmenetz	PV (46,2 W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ) KWK Kleinwasserkraft Freiflächen-PV
Stadtteil	Fujisawa Sustainable Smart Town, JP_4	Im Bau	Insellösung mit smart grid management (inkl. Batteriespeichern, Haushalten, und Elektroautos)	19,00	158			dezentrale WP Brennstoffzellen (optional)	PV (4,5 kW <sub>p</sub> /WE)
	Stadt	1. Bauabschnitt Masdar, Abu Dhabi, AE_2	Im Bau	Vollständige Versorgung durch vielfachen Technologieeinsatz	59,00	145	1,68	3.360	Geothermische WP (Ø 15 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ) ST KWK