

Band 1/2 - Dissertation

Zum Verhältnis urbaner Bebauungstypen und Energie

Analysen zu Interdependenzen von Orientierung, Form- und Struktureigenschaft urbaner Bebauungstypen und einer solaren Strombereitstellung unter den Paradigmen ‚Leistung‘ und ‚Energie‘

Dissertation

zur Erlangung eines Doktorgrades

an der

Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen

**Lehrstuhl Städtebau - Urban Scape
Prof. Dr.-Ing. Tanja Siems**

vorgelegt von

Steffen Wurzbacher

1. Gutachterin: Prof. Dr.-Ing. Tanja Siems
2. Gutachter: Prof. Manfred Hegger

Impressum

Steffen Wurzbacher

Zum Verhältnis urbaner Bebauungstypen und Energie

Analysen zu Interdependenzen von Orientierung, Form- und Struktureigenschaft urbaner Bebauungstypen und einer solaren Strombereitstellung unter den Paradigmen ‚Leistung‘ und ‚Energie‘

Dissertation zur Erlangung eines Doktorgrades

Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen

Betreut durch:

Univ. Prof. Dr.-Ing. Tanja Siems

Lehrstuhl Städtebau – Urban Scape

1. Gutachterin:

Univ. Prof. Dr.-Ing. Tanja Siems

Lehrstuhl Städtebau – Urban Scape

Bergische Universität Wuppertal

2. Gutachter:

Univ. Prof. Manfred Hegger

Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen

Technische Universität Darmstadt

Tag der mündlichen Prüfung: 10.10.2015

gefördert durch:

Promotionsstipendium der Stiftung Deutscher Architekten

Wuppertal 2016

Danksagung

Die vorliegende Dissertation habe ich als externer Doktorand der Bergischen Universität Wuppertal und parallel zu meiner wissenschaftlichen Mitarbeit an der Technischen Universität Darmstadt verfasst. Im Folgenden möchte ich mich von ganzem Herzen bei denjenigen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit maßgeblich unterstützt haben.

An erster Stelle bedanke ich mich bei meiner Erstgutachterin und Betreuerin Prof. Dr.-Ing. Tanja Siems, Lehrstuhl Städtebau Urban Scape der Bergischen Universität Wuppertal, für das entgegengebrachte Vertrauen, die vielen konstruktiven Gespräche und Anregungen vor und während der Bearbeitungszeit sowie die gemeinsame Planung und Durchführung des Symposiums inklusive anschließender Veröffentlichung „Urban Transitions“ im Jahr 2011.

Mein Dank gilt auch Prof. Manfred Hegger für die Erstellung des Zweitgutachtens sowie der Möglichkeit zur langjährigen Teilhabe an den vielschichtigen Forschungsaufgaben des Fachgebiets Entwerfen und Energieeffizientes Bauen der Technischen Universität Darmstadt. Die dadurch entstandenen Synergien waren sehr bereichernd für mich. Die schwere Erkrankung und der zu frühe Tod Prof. Heggers hat mich sehr erschüttert.

Danken möchte ich auch der Stiftung Deutsche Architekten und stellvertretend dem ehemaligen Vorsitzenden und jetzigen Hauptgeschäftsführer der Architektenkammer Nordrhein-Westfalen Markus Lehrmann für das entgegengebrachte Vertrauen sowie die großzügige, insgesamt dreijährige Förderung meiner Forschung durch ein Promotionsstipendium.

Ein weiterer herzlicher Dank gilt meinen Kolleginnen und Kollegen des Fachgebiets Entwerfen und Energieeffizientes Bauen der Technischen Universität Darmstadt für die vielen Diskussionen, Kritiken und Anregungen zu meiner Arbeit. Den aktuell Promovierenden wünsche ich viel Erfolg und Kraft zur erfolgreichen Beendigung ihres eigenen Vorhabens.

Für die stete Unterstützung bei strukturellen Fragen sowie das Lektorat und die damit investierte Zeit bedanke ich mich herzlich bei Dr. Hartmut Wurzbacher. Zudem möchte ich mich bei Prof. Dr. phil. Eugen Buß für die inspirierenden soziologischen Diskussionen sowie seine Beratung zu meiner Arbeit bedanken.

Abschließend gilt mein Dank meiner Familie und Freunden, insbesondere Carolin, Christine, Sabine und Hartmut Wurzbacher für die mentale Stütze und den fortwährenden Rückhalt.

„Mit der Transformation der Agrar- und Handwerkerstadt im 19. Jahrhundert zur kompakten Industrie- und Eisenbahnstadt ging eine Umstellung der Holz- und Torfenergie auf die Steinkohle einher. Die Moderne mit ihrer weitläufigen Dienstleistungs-, Konsum- und Autostadt wiederum beruhte auf der Umstellung von Kohle auf Gas und Öl. Bisher hat noch jede Umstellung der Basis-Energiequellen zu einer grundlegend anderen Stadtform geführt“.

Thomas Sieverts (2012 S.48)

Kurzfassung

Die Nutzung von Solarenergie hat von Beginn an maßgeblich die Form von Architektur und Stadt bestimmt. Erste Beispiele hierzu finden sich bereits im antiken Griechenland. Der dort entwickelte ‚Urtypus‘ einer Solararchitektur, das Megaron, wird zum Grundprinzip der antiken Stadtplanung. Dies lässt sich unter anderem am Beispiel der Stadt Priene demonstrieren, deren Struktur eine maximale passive Nutzung von Solarenergie in allen Gebäuden gewährleistet. Über erste gesetzliche Planungsprinzipien des britischen „Prescription Act 1832“, des amerikanischen „Zoning Law“ von 1916 aber auch im Rahmen von Entwürfen der Architekten und Planer des „International Style“ setzen sich die Bemühungen zur Nutzung der Sonne in Architektur und Stadtplanung bis in die Neuzeit fort. Ab den 1920er Jahren werden radikale Gegenkonzepte zur horizontal verdichteten europäischen Stadt mit überwiegend gerichteten und solitären Stadtstrukturen beschrieben. Viele der dargestellten Entwürfe dieser Zeit arbeiten mit Ost-West-orientierten Zeilenstrukturen (vgl. Entwicklungsprojekt Friedrichstadt, Berlin 1928, Ludwig Hilberseimer; Wiederaufbauplan Wallstraße, Mainz 1947, Marcel Lods).

Die Ursprünge energieeffizienter Architektur ab Mitte der 1980er Jahre wiederum ‚drehen‘ die bis dato vielfach favorisierte Ost-West-Orientierung um 90° und propagieren ab sofort die Nord-Süd-Zeile. Diese beruht auf einer Fortschreibung entsprechender energetischer Berechnungsmethoden im Bereich der Heizwärme. Das Passivhaus und ab dem neuen Jahrtausend auch das Plusenergiehaus machen diese gerichteten Nord-Süd-Strukturen zum Dogma solaren Bauens. Letzteres nutzt vor allem exponierte 30° Süd-geneigte Dächer, um über aktive Systeme (z.B. Photovoltaik) Strom zu produzieren. Die ursprünglich für die Berechnung von Wärmebedarfen entwickelten Bilanzierungsmethoden werden dabei auch zur Ermittlung von Strombedarfen und Strompotenzialen aus aktiven Solarsystemen verwendet. Vor dem Ziel des maximalen Ertrags (hier auch als Paradigma ‚Energie‘ tituliert) werden fortan Gebäude konzipiert, die im Jahresverlauf mehr Strom erzeugen, als sie benötigen. Das öffentliche Stromnetz dient dabei als unbegrenzter Speicher.

Hierbei wird jedoch dem volatilen Charakter regenerativen Solarstroms nicht in ausreichendem Maße Rechnung getragen. Bei stündlicher, leistungsspezifischer Betrachtung fällt der momentane Ertrag aufgrund von sich verändernden Einfallswinkeln oder wandelnden wetterbedingten Strahlungssituationen ganz unterschiedlich aus. Daneben unterliegt auch die eigentliche Nachfrage je nach Nutzung intensiven Schwankungen im Stunden-, Tages- und Wochenverlauf. Die Betrachtung einer maximalen Eigenversorgung (Paradigma ‚Leistung‘) anstatt eines maximalen Ertrages (Paradigma ‚Energie‘) erscheint in diesem Zusammenhang notwendig.

Hieran anknüpfend wird die Hypothese entwickelt, dass dieses neue Paradigma zu einer Neubewertung darüber führen wird, welche Strukturen (z.B. Nord-Süd, Ost-West, gerichtet, ungerichtet, etc.) zukünftig als leistungseffizient erachtet werden. In diesem Zusammenhang wird hinterfragt, ob unter einem neuen Paradigma ‚Leistung‘ die bisher präferierten Nord-Süd Strukturen mit 30° geneigten solaraktiven Süddächern noch Gültigkeit besitzen. Auch stellt sich die Frage, ob unterschiedliche Nutzungen entsprechend anders geartete Formen bevorzugen, um leistungseffizient zu sein. Zuletzt wird der Frage nachgegangen, wie sinnvoll aktive Systeme in Fassaden oder in Elementen des Freiraums (z.B. Carports, Garagen, Wegeüberdachungen, etc.) sind und in welcher Weise sie zu einer Verbesserung der Leistungseffizienz von Stadträumen beitragen können.

Zur Beantwortung gestellter Forschungsfragen wird eine eigene Typisierung von Stadtstrukturen vorgenommen und leistungsspezifische Typtage entwickelt. Diese berücksichtigen stündliche Änderungen sowohl auf der Nachfrageseite mit entsprechenden Strombedarfen und auf der Angebotsseite mit den Strombereitstellungspotenzialen. Ein eigens programmiertes Energiemodell dient einer systematischen leistungsspezifischen Analyse verschiedener abstrahierter Grundfiguren (Testkörper) sowie aller gängigen Stadtstrukturen (Bebauungstypen). Eine vergleichende Bewertung untersucher energetischer (Energiedeckung) und leistungsspezifischer (Anteil Eigenversorgung) Verhaltensweisen erfolgt quantitativ und qualitativ anhand von Kurvendiskussionen. Ziel der Arbeit ist es, ein neues Verständnis solaren Bauens unter den Prämissen vorliegender und zu erwartender technologischer Entwicklungen im Bereich aktiver Systeme zu befördern.

Abstract

Since the beginning, the usage of solar energy has significantly influenced the form of urban structure and architecture. First examples of this go as far back as to Ancient Greece. The Megaron an archetype of solar architecture became a guiding principle of ancient urban planning. The city of Priene is one of the examples of an urban structure that profited from maximal solar energy through passive measures. The attempt to integrate the use of solar energy into architecture and city planning has been continued into modern times through planning principles like the British Prescription Act in 1832 or the American Zoning Law in 1916 but also through designs from Architects and Planners of the „International Style“. In the 1920's, radical counter concepts of the horizontal densified European cities were composed of predominantly directed and solitary urban structures. Several of the designs of this time period work with East-West-oriented strip-like structures (e.g., Ludwig Hilberseimer's development project Friedrichstadt, Berlin, 1928; Macel Lods' reconstruction plan Wallstrasse, Mainz, 1947)

The origins of energy-efficient architecture since the mid 1980s, however, turn the previously preferred East-West-Orientation by 90 degree and promote North-South line-like buildings. This row is based on the extrapolation of energy calculation methods used for thermal heat. The Passive House and now even the Surplus House, developed in the new millennium, make the North-South orientation a dogma of solar building. The latter mainly uses exposed 30 degrees South tilted roofs to produce electricity via active systems (e.g. Photovoltaic). Accounting methods developed to calculate heat requirements are also used to determine electricity demands and potentials from active solar systems. Buildings that produce more electricity throughout the year than they require were designed with the goal to maximize yield (here also titled as „Energy“ paradigm). The public electricity grid hereby serves as an unlimited storage system.

However, this method doesn't sufficiently take the volatile character of regenerative solar energy into account. An hourly load analysis shows that the current yield varies significantly due to changing solar wave angles or changing weather situations. In addition, the demand itself changes throughout and hour, day and week. Therefore, it appears necessary to move from maximizing the yield (paradigm 'energy') to maximizing self-sufficiency (paradigm 'load').

Consequently, this paper develops the hypothesis that this new paradigm leads to a re-evaluation of which structures (e.g. North-South, East-West, aligned/not aligned, etc.) are considered most load efficient in the future. In this context, this research questions if the until now preferred North-South, 30 degree tilted solar active roof top systems are still the preferred model. Additionally, the paper evaluates how different usages require different forms to be most load efficient. Finally, the work examines how useful active systems in facades or free space elements (e.g. carports, garages, canopies) are and in which ways these systems can contribute to a higher performance of urban spaces.

In order to answer these research questions, a typification of urban structures is made and performance-specific day tapes are developed. These take hourly changes in terms of the side of the demand, the overall electricity demand, the side of the supplier and the current deployment potential into account. A custom programmed energy model analyzes systematically the load of different abstracted primitives (test bodies) as well as of all common urban structures (buildings types). The paper uses curve sketching to provide a qualitative and quantitative evaluation of different scenarios from an energy (energy coverage) and a load (self-sufficiency percentage) perspective.

Goal of the research is to promote a new understanding of solar building under the premises of the present and anticipated technological developments in the field of active systems.

Résumé

Depuis le début de la civilisation, l'usage de l'énergie solaire a eu une influence significative sur la structure et l'architecture urbaine. Nous trouvons les premiers exemples de cette influence dans la Grèce Antique : le Mégaron, l'archétype de l'architecture solaire, devenait un des principes directeurs de l'urbanisme antique. La ville de Priène est un des premiers exemples d'une ville où la structure des bâtiments permet de maximiser l'utilisation de l'énergie solaire. Les efforts visant à intégrer l'usage de l'énergie solaire dans l'architecture et la planification de la ville, ont depuis évolué par des lois sur l'urbanisme, comme le « Prescription Act » britannique de 1832, et le « American Zoning Law » de 1916, et aussi par les dessins des Architectes et des Planificateurs de l'« International Style ». Depuis les années 1920, des concepts ont vu le jour qui s'opposent radicalement à l'horizontal; par exemple des villes européennes denses qui ont des rangées des structures autonomes. Beaucoup de designs de cette période utilisent des structures en bandes orientées est-ouest (Par exemple, projet de développement, Ludwig Hilberseimer, Friedrichstradt en Berlin, 1928; la reconstruction de la Wallstrasse, Mainz, Marcel Lods, 1947)

Les origines de la construction efficace en énergie remontent au milieu des années 1980, quand l'orientation est-ouest précédemment préférée a été tournée de 90 degrés pour promouvoir des rangées nord-sud. Cette nouvelle approche est basée sur l'extrapolation des méthodes de calcul énergétique utilisée pour la chaleur thermique. Depuis le début des années 2000, la structure nord-sud est devenue la notion centrale de la construction solaire à la fois dans la maison passive et dans la maison à « Énergie Plus ». Cette dernière utilise principalement des toits exposés, orientés de 30 degrés en direction sud, afin de générer l'électricité par des systèmes actifs (comme les Photovoltaïques). Des méthodes de calcul, développées pour calculer des besoins en chaleur, sont également utilisées pour déterminer les besoins en électricité et le potentiel électrique à partir de systèmes actifs. Pour maximiser le rendement, les bâtiments sont développés pour produire plus d'énergie pendant l'année qu'ils en exigent. (Ceci est appelé le « paradigme énergétique » dans cet article.) Le réseau énergétique public sert comme solution de stockage illimité pour cette surproduction.

Néanmoins, cette méthode ne prend pas suffisamment en compte le caractère volatil de l'énergie solaire. Une analyse détaillée de la performance horaire montre que le rendement varie significativement en fonction des angles des rayons solaires et des changements météorologiques. En outre, la demande elle-même change pendant la journée et la semaine. Il apparaît donc nécessaire de déplacer l'idée de maximiser le rendement (le paradigme énergétique) à partir de l'idée de maximiser l'autosuffisance. (« le paradigme de charge »)

Par conséquent, l'hypothèse est développée dans cet article que ce nouveau paradigme nécessite une réévaluation de la question selon quelles structures (par exemple, nord-sud, est-ouest, incliné/ plat, etc.) sont les plus efficaces. Dans ce contexte, cette recherche approfondit la question selon laquelle le système de toit solaire photovoltaïque nord-sud avec un angle de 30 degrés, est toujours le modèle préféré. En outre, l'article évalue comment de différents profils d'utilisation ont besoin de différents systèmes pour être plus efficaces. Finalement, l'ouvrage examine l'utilité des systèmes actifs sur des éléments d'espace libre (par exemple, des parkings de voitures, des garages, des auvents); et comment ces systèmes peuvent améliorer l'efficacité de la charge des espaces de ville.

Pour répondre à ces questions de recherche, le document développe une typologie des structures urbaines, ainsi que, des types de jours de performances spécifiques. Celles-ci prennent en considération les changements horaires de la demande (les besoins en électricité) et de l'alimentation (les sources d'alimentation électrique). Un modèle d'énergie programmé d'une façon unique, analyse systématiquement la performance des différentes structures de base (le corpstest) aussi bien que, toutes les structure urbaines principales (des types de développement). Le document utilise la courbe d'esquisse pour fournir une évaluation qualitative et quantitative des différents scénarios d'un point de vue énergétique (couverture de l'énergie) et d'une perspective de charge (pourcentage de l'autosuffisance).

L'objectif de cette recherche est de promouvoir une nouvelle approche de la construction solaire, sous la prémisses des innovations technologique actuelles et futures dans le domaine des systèmes actifs.

Inhaltsverzeichnis

Kap. I	Einleitung, Forschungsfragen und Methodik	13
1.	Hintergrund: Stadtform und Energie	15
2.	Auswirkungen von Solarenergie auf die Formgebung von Gebäuden und Städten	17
3.	„Leistung“ – neues Paradigma energetischer Betrachtung	23
4.	Arbeitshypothesen und Forschungsfragen	27
5.	Aktueller Forschungsstand	28
6.	Methodik	31
7.	Aufbau und Struktur der Arbeit	35
Kap. II	Definitiver Teil	37
1.	Abkürzungen und Indizes	38
2.	Vorbemerkungen zu Abkürzungen, eigenen Setzungen und Definitionen	39
3.	Grundeinheiten und Begrifflichkeiten	39
4.	Analyseeinheiten (energetische / leistungsspezifische Größen)	45
5.	Bezugseinheiten (formbeschreibende Größen)	46
Kap. III	Entwicklung leistungsspezifischer Typologie und Szenarien der Potenzialnutzung	53
1.	Entwicklung leistungsspezifischer Typologie	55
2.	Entwicklung von Szenarien zur Nutzung aktiver Solarsysteme	65
Kap. IV	Typisierung von Stadtstrukturen	73
1.	Bestehende Typisierungsmethoden in der Literatur	75
2.	Entwicklung einer eigenen Typisierungsmethode	82
3.	Übersicht untersuchter Bebauungstypen	95
Kap. V	Versuchsaufbau und Energiemodell	111
1.	Sinnhaftigkeit und Grenzen beim Einsatz eines Modells	113
2.	Struktureller Aufbau und Funktionsweise des Energiemodells	113
3.	Ablauf einer Simulation von Direkt- und Diffusstrahlung im Programm Ecotect	119
Kap. VI	Ergebnisse durchgeführter Untersuchungen	123
1.	Vorbemerkungen zum Ablauf durchgeführter Untersuchungen	125
2.	Versuchsreihe A (Testkörper mit kleiner Volumetrie)	129
3.	Versuchsreihe B (Testkörper mit großer Volumetrie)	141
4.	Analyse zum Verlauf der stündlichen Direkt- und Diffusstrahlung über das Jahr	153
5.	Versuchsreihe C (urbane Bebauungstypen): Vergleichende Betrachtung formspezifischer Bezugsgrößen	155
6.	Versuchsreihe D (urbane Bebauungstypen, maximales Potenzial): Betrachtung ermittelter Analysegrößen in Abhängigkeit formspezifischer Eigenschaften	163
7.	Versuchsreihe E (urbane Bebauungstypen, reduziertes Potenzial): Betrachtung ermittelter Analysegrößen in Abhängigkeit formspezifischer Eigenschaften	179
8.	Gegenüberstellung des leistungsspezifischen Verhaltens untersuchter Bebauungstypen bei maximaler und reduzierter Potenzialnutzung	195
Kap. VII	Zusammenfassung und Fazit	199
1.	Zusammenfassung und Beantwortung gestellter Forschungsfragen	201
2.	Ableitung von Handlungsfeldern nach Bebauungstypen	208
3.	Weitere identifizierte Forschungsfragen	221
4.	Ausblick: Die horizontal verdichtete „Europäische Stadt“ als Modell der Zukunft?	224
Literaturverzeichnis		227
Tabellenverzeichnis		231
Abbildungsverzeichnis		232
Lebenslauf		245

KAP. I

Einleitung, Forschungsfragen und Methodik

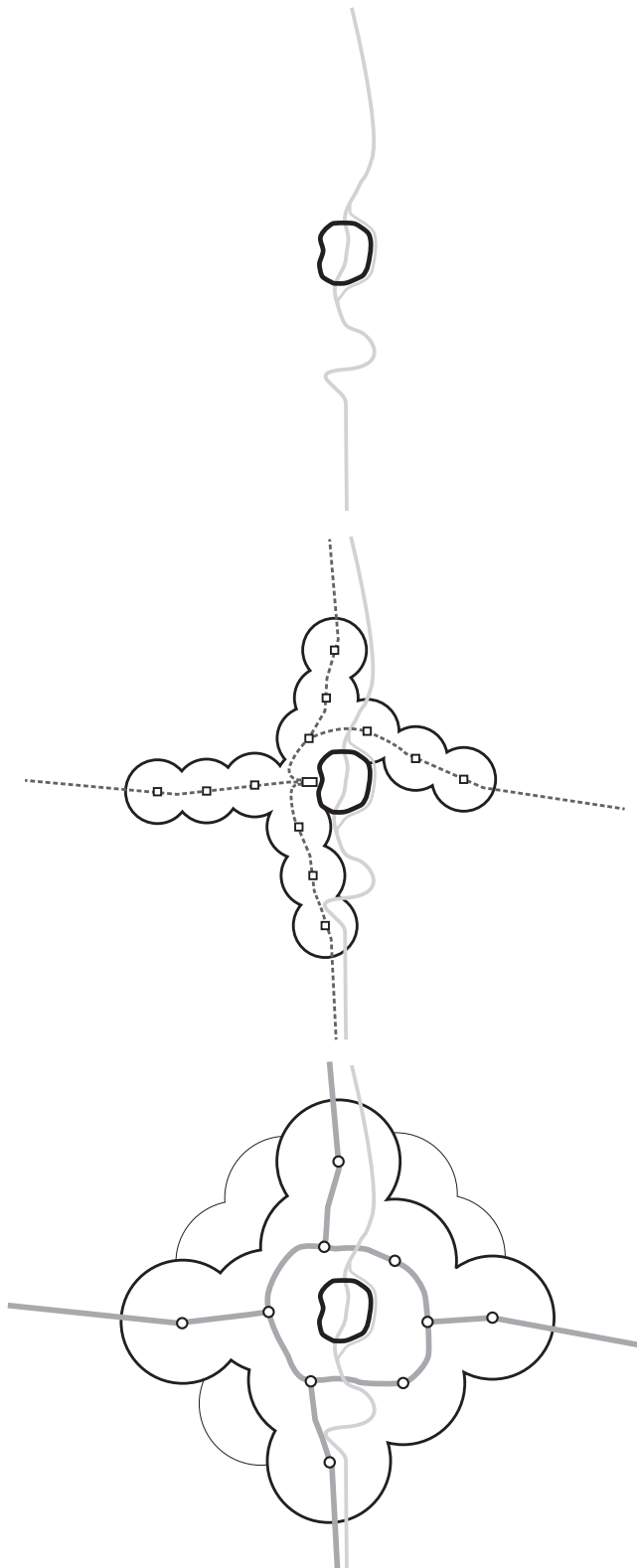


Abb. 1:
 ‚Makrostruktur‘ einer Gesamtstadt:

oben: Struktur der mittelalterlichen Handwerkerstadt: kompakte verdichtete Stadt mit maximaler Ausbreitung, welche eine fußläufige Erreichbarkeit ermöglicht;
 mitte: Industrielle Bahnstadt: ‚Perlenkettenartige Organisation von Siedlungsgebieten entlang von Bahntrassen;
 unten: Moderne Autostadt: Großflächige Besiedelung der Peripherie von Ballungszentren; Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von Sivardière (2007), erstmals veröffentlicht in (Siems et al. 2012)

1. Hintergrund: Stadtform und Energie

Städte und Stadtformen haben sich seit Beginn der Menschheit stets aus den technologischen Fähigkeiten und den sich wandelnden Bedürfnissen ihrer Bewohner heraus entwickelt. Im Laufe der Jahrhunderte haben sie ganz unterschiedliche Ausformungen erhalten. Struktur, Körnigkeit und Dichte sind dabei stets auch Abbild verfügbarer Energiequellen und werden durch diese geprägt. Sieverts (2012) stellt in diesem Zusammenhang die These auf, dass in der Vergangenheit jeden städtischen „Umwälzungen jeweils eine Umstellung auf neue Basis-Energien zugrunde“ (ebd. 2012 S.47) lag. Zur Erhärtung seiner These verweist Sieverts auf die Transformationsprozesse der Agrar- und Handwerkerstadt zur Industrie- und Eisenbahnstadt, welche mit einer „Umstellung der Holz- und Torfenergie auf die Steinkohle einher (ging). Die Moderne mit ihrer weitläufigen Dienstleistungs- Konsum- und Autostadt wiederum beruhte auf der Umstellung von Kohle auf Gas und Öl“ (ebd. 2012 S.47).

Diese ‚makrostrukturellen‘ Thesen benennen damit direkt jeweilig dominierende Energieformen und Energiesysteme als formbeeinflussende ‚Kraft‘ der Stadt (vgl. Abb. 1). Dieser Einfluss macht sich rückblickend auch losgelöst von den Rahmenbedingungen politischer und gesellschaftlicher Organisationsformen geltend. Vor allem die Frage der Zentralität und Dezentralität scheint als ‚Katalysator‘ oder ‚Hemmnis‘ bei der Entwicklung von Stadtstrukturen keine Auswirkung zu haben. Als Beleg dieser These können die Untersuchungen von Siems (2002) herangezogen werden, deren Arbeit Unterschiede und Parallelen der Stadtentwicklung in Ost- und Westdeutschland nach 1945 analysiert. Dabei stellt die Autorin fest, dass trotz unterschiedlicher politischer Systeme in Ost (zentrale Organisationsform) und West (dezentrale Organisationsform) „eine parallele städtebauliche und verkehrliche Entwicklung zu verzeichnen ist.“ (Siems 2002 S.157).

Mit der beschlossenen Energiewende wird in Deutschland ein Prozess eingeleitet, der langfristig zu einem Umbau bisheriger Energiesysteme führen wird. Hierbei ist davon auszugehen, dass dieser Transformationsprozesse auch städtische und gebäudebasierte Energiesysteme betreffen wird. Die bisher hierarchisch organisierte Versorgungsstruktur mit zentralen Systemen wird stärker ausdifferenziert und regional ganz unterschiedlich gestaltet werden.

Als regenerative Basis Energie benennen bisherige Untersuchungen vor allem die Photovoltaik und Windkraft als weiträumig nutzbare Quellen. Diese sind deutlich flächeneffizienter als andere Systeme. Für den Einsatz in urbanen Gebieten oder direkt am Gebäude kommt von diesen beiden Systemen nur die Photovoltaik in Betracht. Wind wird hier aus verschiedenen Gründen (reduzierte Windlasten aufgrund windreduzierender baulicher Strukturen, geringe Akzeptanz bei einer Aufstellung in unmittelbarer Nachbarschaft, etc.). Somit stellt sich künftig wohl die Aufgabe, Solarsysteme in Gebäude und Stadtstrukturen zu integrieren und durch geeignete Managementstrukturen effizient zu nutzen. In diesem Zusammenhang leitet Sieverts (2012) aus seinen Betrachtungen zu vergangenen Wandelungen der Stadtformen durch Umstellungen primärer Energieversorgungen auch Thesen zur zukünftigen Entwicklung der Stadt ab. Der Autor geht davon aus, dass es „unseren historischen Erfahrungen widersprechen (würde), wenn die Umstellung auf erneuerbare Energieformen nicht ebenfalls wieder zu tiefgreifenden Umwälzungen in unseren Städten führen würde.“ (ebd. 2012 S.47)

Somit impliziert die These Sieverts, dass eine Umstellung auf Solarenergie als Basis-Quelle auch eine grundlegende Transformation unserer Städte und insbesondere deren Strukturen nach sich ziehen wird.

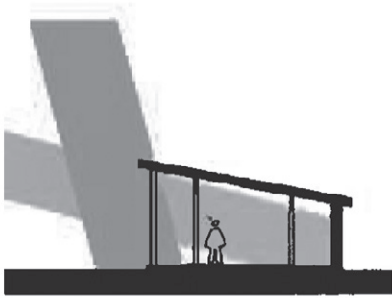


Abb. 2:
Struktur und Funktionsweise des Megarons; Quelle: J. Wendel in: Hoepfner; Schwandner (1994) entnommen aus: Behling et al. (1996 S.92)

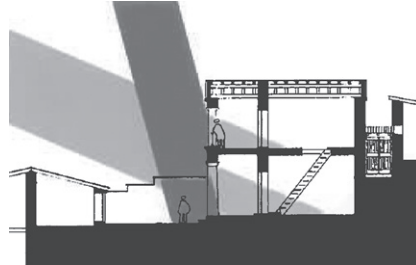


Abb. 3:
Struktur und Funktionsweise des Megarons; Quelle: J. Wendel in: Hoepfner; Schwandner (1994 S.319) entnommen aus: Behling et al. (1996 S.92)

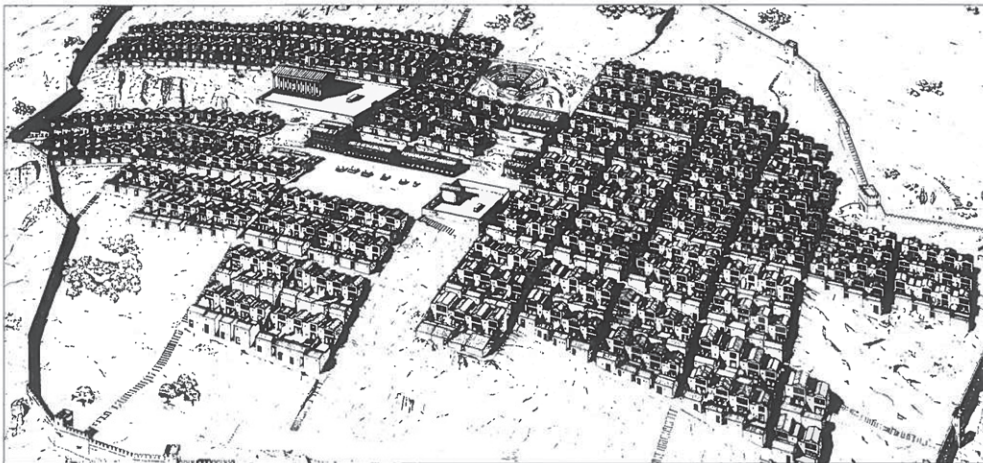


Abb. 4:
Priene als Urtypus einer ‚solar City‘ mit konsequenter Nutzung der Nord-Süd-Ausrichtung; Quelle: J. Wendel in: Hoepfner; Schwandner (1994 S.194) entnommen aus: Behling et al. (1996 S.86)

2. Auswirkungen von Solarenergie auf die Formgebung von Gebäuden und Städten

Solarer Urtypus ‚Megaron‘

Sieverts ‚makroskopische‘ Perspektive der Abhängigkeit zwischen Energie und Stadtform kann darüber hinaus auf ‚mikrostruktureller‘ Ebene, der Ebene von Morphologie und Typologie erweitert werden. In der Historie lassen sich insbesondere in der Gestalt des autochthonen Bauens energetische Einflüsse, insbesondere Einflüsse solarenergetischer Nutzung auf die Formung von Bauwerken identifizieren. Bereits in der Antike werden Städte und Gebäude nach solaren Randbedingungen hin entwickelt. Urtypus solarbeeinflusster Architektur stellt hierbei das ‚Megaron‘ (vgl. Abb. 2 und Abb. 3) dar, welches bereits in der Frühzeit entsteht und im antiken Griechenland das architektonische „Grundelement (bildet), aus welchem komplexere Gebäudeformen oder ganze Siedlungen zusammengesetzt werden.“ (Rullán Lemke 2010 S.12). Grundlage für die Gestalt des Megarons bildet eine optimal angepasste energetische Gebäudestruktur auf klimatische Einflüsse wie Lufttemperatur und Solarstrahlungsangebot. Die Form, Ausrichtung und Öffnung erlauben eine maximale Ausnutzung passiver Solarenergiegewinne in den Wintermonaten. Dies wird durch nach Süden geöffnete Fassaden erreicht, welche die flach stehende Sonne tief in das Gebäudeinnere eindringen lassen. In den Sommermonaten wird eine Überhitzung des Innenraums durch die hochstehende Sonne mittels verschattender Vordächer vermieden.

Eine systematische Anwendung des solarenergetischen Prinzips des Megarons findet im Laufe der Geschichte in vielen griechischen und römischen Städten statt. Die Stadt Priene stellt hier stellvertretend vieler antiker Städte ein besonders anschauliches Beispiel historischer Planstädte dar (vgl. Abb. 4). Hier wird das System maximaler passiver Solarenergienutzung bereits durch die konsequente Nord-Süd-Orientierung der städtischen Morphologie angewendet. Höhengestaffelte Atriumhäuser mit Dachüberständen ermöglichen im Sommer eine weitgehende Verschattung, im Winter einen maximalen Eintrag von Solarenergie in Innenräume.

Erneuerbare Energie- Optionen	Flächenbedarf Stromerzeugung (ha je GW _{el} /a)
Biomasse – Anbau	98
Biomasse – Reststoffe	148
Geothermie	18
Windenergie	7
Photovoltaik	6

Tab. 1:

Flächenbedarf in Hektar nach Energieträger (Erneuerbare Energien) zur Bereitstellung einer Gigawattstunde Strom. Wind, solaraktive Systeme und Umgebungswärme sind die flächeneffizientesten Energiequellen. Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage von (BBSR 2009 S.35) und (BBSR 2010 S.9)



Abb. 5:
Vergleich alter und neuer Blockaufteilungs-
methoden; Quelle: Gropius (1931
S.29) aus: Vallentin (2011 S.III-13); (c):
VG Bild-Kunst, Bonn 2016

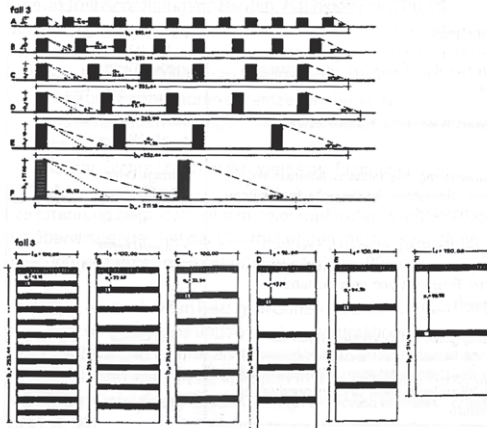


Abb. 6:
Untersuchungen von Walter Gropius
von 1931 zu Verschattungssituationen
in Abhängigkeit zur Gebäudehöhe und
Abständen zwischen Baukörpern; Quel-
le: Gropius (1931 S.32) aus: Vallentin
(2011 S.III-13); (c): VG Bild-Kunst, Bonn
2016

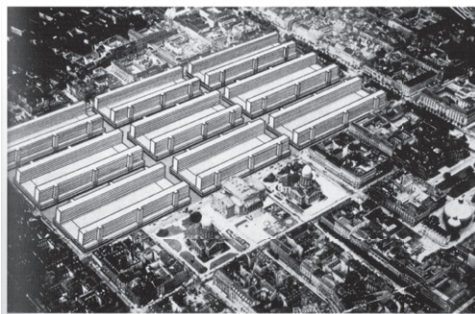


Abb. 7:
Ludwig Hilberseimer's Entwicklungsproj-
ekt Friedrichstadt, Berlin von 1928. Ra-
dikaler Stadtbau mit Ost-West-Zeilen
als Gegenvorschlag zum hochverdichte-
ten Berliner Block; Quelle: Hilberseimer,
Ludwig aus: Riley et al. (2001 S.51)



Abb. 8:
Wiederaufbauplan von Marcel Lods für
die Wallstraße Mainz (1947); Quelle:
Werkbund Rheinland-Pfalz (2009)

'Solar envelopes' und 'right to light'

In Mittel- und Nordeuropa sowie Nordamerika werden als Folge der sich stetig verschlechternden Lebensverhältnisse überbevölkerter industrialisierter Städte nach und nach verschiedene Schutzgesetze erlassen. Den Anfang hierzu macht der im Jahr 1832 in Großbritannien erlassene „Prescription Act 1832“ der zwingende Vorgaben des Zugangs zu Tageslicht von Wohn- und Arbeitsstätten festlegt (vgl. Wurzbacher 2013 S.26).

In New York, welches sich aufgrund der Begrenzungen der Halbinsel Manhattans stark in die Höhe verdichtet, wird im Jahr 1916 das sogenannte „Zoning Law“ eingeführt. Dieses Gesetz dient zur Regelung und Begrenzung von maximal zu errichtenden Volumen. Wesentlicher Regelungsgegenstand des Gesetzes ist die Vorgabe einer Hüllkurve, die eine dreidimensionale Baugrenze beschreibt, welche von geplanten Bauwerken nicht überschritten werden darf. Koolhaas (1999) betitelt das Zoning Law „nicht nur (als) ein Rechtsdokument, es ist auch ein Entwurfsprojekt“ (ebd. 1999 S.107). In dieser Funktion „legt (es) für jedes Grundstück oder jeden Block in Manhattan einen imaginären Umriss (sic.) fest, der die maximal zulässigen Dimensionen eines Bauwerks vorschreibt. Als Norm dient dabei das Woolworth“ (ebd. 1999 S.106f). Eine eindrucksvolle Visualisierung dieser gesetzlichen Regelung erfolgt im Jahr 1929 durch Hugh Ferriss.

Der Architekt und Architekturtheoretiker arbeitet in den 1920er Jahren als Visualisierer für verschiedene New Yorker Architekturbüros. Seine eindrücklichen Darstellungen sind bereits zu Lebzeiten häufig reproduzierte Motive in Zeitungen und Zeitschriften. Seine Zeichnungen (Ferriss 1929) finden schnell internationale Verbreitung. Die von ihm geschaffenen plastischen Stadtformen führen zu intensiven Debatten über die Verträglichkeit und Grenzen städtischer Dichte.

gerichtete Strukturen I (Ost-West) – nach Gropius, Hilberseimer & Co.

Als Reaktion auf die bis zum Zweiten Weltkrieg immer noch hygienisch unbefriedigenden und räumlich stark beengten baulichen Strukturen und (Abb. 5) in den historisch gewachsenen Städten wird von der Klassischen Moderne und vom International Style dem möglichst ungehinderten Spiel von Licht, Luft und Sonne eine zentrale Rolle in der Stadtentwicklung beigemessen. (vgl. Wurzbacher 2013 S.26). Die ‚klassische Blockstruktur wird dabei insbesondere von Walter Gropius abgelehnt und stattdessen gerichtete Zeilen favorisiert (Abb. 5). Vor diesem Hintergrund forschen auch Ludwig Hilberseimer und weitere namhafte Architekten dieser Zeit an neuen Stadtstrukturen und Typologien. Diese entwickeln sie als Gegenmodell zur kompakten und in der Fläche verdichteten europäischen Stadt. Den Autoren schwebt dabei eine aufgelockerte und gründurchzogene Stadtlandschaft vor.

Auf morphologischer Ebene liefern insbesondere die Studien zur solaren Exposition in Abhängigkeit zu Gebäudeabständen und Gebäudehöhen von Gropius (1931) wichtige gedankliche Grundlagen in der Diskussion um das richtige Maß und optimale Dichte baulicher Strukturen. Seine Verschattungsstudien (vgl. Abb. 6) bilden die wissenschaftliche Grundlage für die Festsetzung von Abstandsflächen in der später gesetzlich vorgeschriebenen Bauleitplanung.

Die Fokussierung auf Licht und Luft führt bei den Vertretern der Klassischen Moderne zu ganz unterschiedlichen Vorschlägen einer idealen Stadtform (vgl. Abb. 9). Beispielhaft seien an dieser Stelle die Entwürfe „Ville Radieuse“ (Le Corbusier 1924), Friedrichstadt Berlin (Hilberseimer 1928, vgl. Abb. 7) oder der „Wiederaufbauplan von Mainz“ (Marcel Lods 1947, vgl. Abb. 8) genannt. Trotz unterschiedlicher Gebäudetypologien lehnen alle Verfasser die ‚klassische‘ Blockrandbebauung zugunsten solitärer Volumen ab. Auffällig dabei ist die häufige Anwendung von Zeilenstrukturen, welche insbesondere bei Gropius und Hilberseimer fast durchgängig einer Ost-West Ausrichtung folgen.

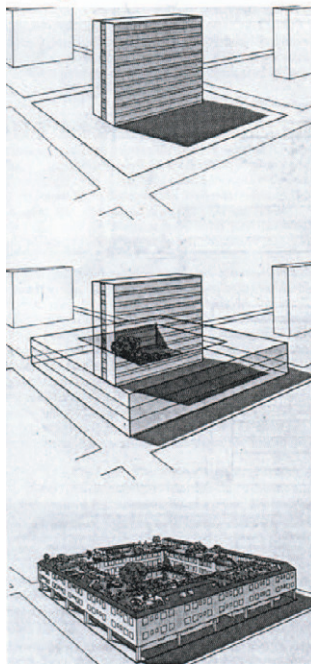


Abb. 9:
 „Scheibe contra Wohnhof“, die Rück-
 besinnung auf städtische Strukturen;
 Quelle: Kennedy (1984 S.31) aus: Siems
 (2002 S.58)



Abb. 10:
 Gerichtete Zeilenstrukturen als Basis
 für Plusenergiegebäude am Beispiel
 Vauban, Freiburg;
 Quelle: Steffen Wurzbacher

‚Ökologischer Städtebau‘ aus energetischer Sicht

Seit der ersten und zweiten Ölkrise (1973 und 1981) ist das Bewusstsein für Umwelt und Endlichkeit von Ressourcen sukzessive in das politische und alltägliche Handeln der politisch Verantwortlichen und der Zivilgesellschaft eingedrungen. Die eindrucksvollen Veröffentlichungen über die „Grenzen des Wachstums“ von Meadows (1972) und vom Club of Rome haben hierzu entscheidend beigetragen. Auf Gebäudeebene tritt mit der ersten Wärmeschutzverordnung (WärmeschutzV) von 1977 erstmals ein Gesetz zur Reduktion und Beschränkung von Wärmeenergiebedarfen in Kraft. Nach zweimaliger Novellierung wird diese Wärmeschutzverordnung ab 2002 durch die Energieeinsparverordnung (EnEV) abgelöst und in der zu betrachtenden Bilanzgrenze stetig erweitert.

Als Reaktion auf die seit dem Siegeszug des Automobils stark angestiegene ‚Stadtflucht‘ und der daraus resultierenden Suburbanisierung wird die verdichtete kompakte Stadt wieder als neue Qualität urbanen Lebens entdeckt. Der städtische Block erfährt dabei eine ‚Renaissance‘ und wird wieder Teil typologischer Formensprache von Architekten und Planern (vgl. Abb. 9). Verminderte Tageslichtversorgung des Gebäudeinneren aufgrund enger stehender Baukörper wird zugunsten der klaren Differenzierung von öffentlichen (Straße) und halböffentlichen (Hof) Bereichen in Kauf genommen. Die ursprünglichen Forderungen des CIAM nach der „kompakten Stadt“ werden in diesem Zusammenhang wieder rezipiert.

gerichtete Strukturen II (Nord-Süd) – Passivhaus, Solar City und Plusenergiehaus

Mit dem Einzug ökologischer Fragestellungen in die Architektur und Stadtplanung werden auch vermehrt Themen zum energieeffizienten Bauen in der Forschung thematisiert. Seit Mitte der 1980er Jahre und offiziell mit der Gründung des „Passivhaus-Institutes“ von 1996, werden unter der Federführung von Wolfgang Feist die Grenzen des baulichen Wärmeschutzes erforscht und zu einem energetischen Prinzip fortgeschrieben. Das Konzept des Passivhauses greift dabei in seiner Funktionsweise auf die Methodik des antiken Megarons zurück, indem es Solarenergie zur Wärmebereitstellung in den Wintermonaten durch große südorientierte Öffnungen ‚einfängt‘. Hochgedämmte, luftdichte Fassaden und kontrollierte Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung und Rückluftherwärmung lassen herkömmliche Heizsysteme redundant werden. Wärmedämmung in Wänden und Dächern zwischen 30 bis 40 Zentimetern und haustechnische Anlagen stellen bei diesem System seither eine untere Grenze technisch-ökonomischen Bauens dar. Weitere Reduktionen von Wärmeverlusten unterhalb der Passivhaus Grenzwerte (z.B. Heizwärmebedarf von 15 kWh/m²a) sind bauphysikalisch und ökonomisch nach derzeitigem Stand der Technik nicht mehr sinnvoll.

Eine Umsetzung des Passivhaus-Prinzips erfordert neben der Minimierung von Verlusten über die Gebäudehülle auch eine Maximierung von passiven solaren Gewinnen über entsprechende Fensterflächen. Um einen Ertrag auch in den Wintermonaten zu gewährleisten, fordern Experten Gebäudeabstände von 2,5 bis 3,5 mal der Gebäudehöhe (vgl. u.a. Sächsische Energie Agentur GmbH 2012). Goretzki (2007) untersucht in diesem Zusammenhang die Auswirkungen von verschiedenen Abständen auf den Heizwärmebedarf. Beim Passivhaus beschreibt er eine Erhöhung des Heizwärmebedarfs von 5% bei einem Abstand von 4,0facher Gebäudehöhe, von 30% bei einem Abstand von 1,6facher Gebäudehöhe und bereits von 50% bei einem Abstand von 1,2facher Gebäudehöhe. (vgl. ebd. 2007 S.7) Neben den Auswirkungen von Gebäudeabständen wird auch die Ausrichtung des Gebäudes als zweite elementare Einflussgröße untersucht. Dabei wird die Süd-Orientierung als essentieller Bestandteil zur Wahrung passiver Erträge benannt. Goretzki (2007) beschreibt für eine 90° Abweichung (Ost-West-Orientierung) von Süden eine Erhöhung des Heizwärmebedarfs von bis zu 30% bei Passivhäusern.

Südausgerichtete Zeilen mit entsprechend beschriebenen Gebäudeabständen werden im Zuge verschiedener Untersuchungen im Bereich Passivhaus zu einem vielfach realisierten Bebauungsmuster sogenannter ‚Solar Cities‘. Als Beispiel hierfür können stellvertretend die Passivhaussiedlung Darmstadt Kranichstein, Solar-City in Linz oder die Passivhaussiedlung in Leverkusen-Schlebusch, Leimbacher Berg genannt werden. Allen liegt eine entsprechend gerichtete und auf passive solare Gewinne hin optimierte Stadtform zugrunde.

Das System Passivhaus wird seit ca. 2005 auch als Basis für Niedrigstenergie-, Null- und Plusenergiehäuser verwendet. Neben Maßnahmen zur Verlustminimierung (Dämmung, Luftdichtheit) und passiver Gewinnmaximierung (passive solare Wärmegewinne) werden flächige aktive Systeme (z.B. Solarthermie, Photovoltaik) in Oberflächen eingesetzt (vgl. Abb. 10). Mit bekannten Bilanzierungsmethoden (z.B. DIN V 4108-6 2003; DIN V 18599 2013) in Monats- oder Jahresschärfe werden in diesem Zusammenhang auch Energiegewinne aktiver Systeme bilanziert. Rechnerisch ergeben sich durch die Summierung von Stromüberschüssen aus Photovoltaik (z.B. in Sommermonaten) und Unterdeckungen (z.B. in Wintermonaten) je nach Betrag eine bilanztechnische Null („Nullenergiehaus“), oder sogar ein Plus („Plusenergiehaus“).

Stadtstrukturell unterscheidet sich das System Plusenergiehaus nur unwesentlich von dem des Passivhauses. Sofern die im Passivhaussystem eng gesetzten Grenzen zum Heizwärmebedarf weniger eng gefasst werden, können beim System Null- oder Plusenergiehaus“ in Maßen engere Gebäudeabstände realisiert werden. Entscheidend hierbei ist es, aktive Oberflächen optimal auszurichten und übermäßige Verschattung zu vermeiden. Zur Generierung maximaler Jahreserträge eignen sich 30° südgeneigte Flächen am besten (vgl. Abb. 11).

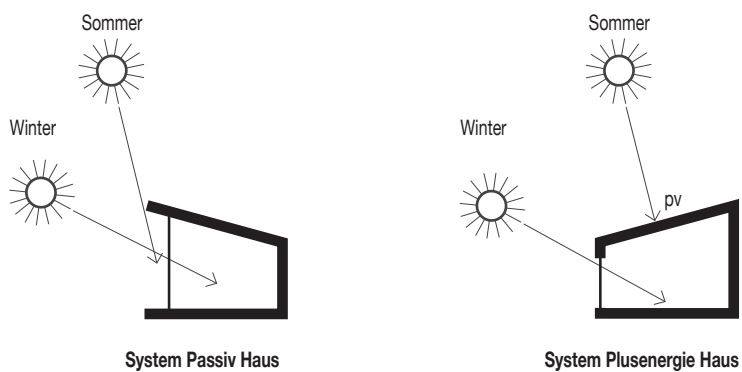


Abb. 11:
Strukturelle Unterschiede zwischen den Systemen des Passiv- und Plusenergiehauses; Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: FG ee (2011 S. 29)

3. ‚Leistung‘ – neues Paradigma energetischer Betrachtung

3.1. Bisher: Betrachtung gebäudebezogener Wärmeenergien

Die Entwicklung des energieeffizienten Bauens ist bisher geprägt durch die Betrachtung von Wärmeenergieströmen. Seit den frühen 1970er Jahren haben sich die Forschung und wenig später die Gesetzgebung im Bauwesen damit befasst, dem überbordenden Wärmebedarf in Gebäuden entgegenzuwirken. Hier haben verschiedene gesetzliche Maßnahmen und Rechtsverordnungen im Laufe der Zeit maximal zulässige Wärmeverluste sukzessive reduziert. Mit dem Passivhaus - System hat das Bauen hierbei eine ‚untere Grenze‘ energieeffizienten und ökonomisch noch vertretbaren Bauens erreicht. Dies liegt daran, dass sich Wärmeverluste über die Gebäudehülle mit zunehmenden Dämmstärken nicht linear, sondern regressiv fallend entwickeln. Ab einer Dämmstärke von circa 30 bis 35 Zentimeter, reduzieren sich Wärmeverluste nur noch geringfügig.

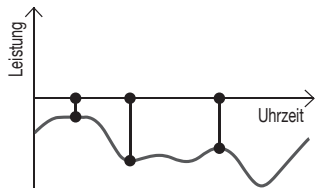
Parallel zu den sich verschärfenden gesetzlichen Anforderungen werden Bilanzierungsmethoden dabei immer ausgefeilter und komplexer. Derzeit gültige Rechenverfahren zur Bilanzierung des Wärmebedarfs liefern die DIN V 4108-6 (2003), DIN V 18599 (2013) oder das PHPP (Passivhaus Institut 2013). Allen drei Berechnungsmethoden liegt die Betrachtungsschärfe der Monatsbilanz zugrunde. Hierbei werden aus mittleren monatlichen Wärmeverlusten und passiven solaren Erträgen entsprechende Heizwärmebedarfe pro Monat errechnet. Grundlage hierfür bilden gemittelte Basiswerte (z.B. mittlere monatliche Außentemperatur, mittlere monatliche Globalstrahlung pro m², etc.).

Diese Rechenmethoden haben bisher primär der Ermittlung notwendiger Mengen Energieträger (z.B. Heizöl, Erdgas, Holzpellets, etc.) gedient. Eine Betrachtung kurzzeitiger Schwankungen haben sich dabei auf die Berechnungen zur Auslegung von Anlagen beschränkt (z.B. Heizlastberechnung, Dimensionierung von Heizkesseln, etc.). Weitere leistungsbezogene Betrachtungen sind hierbei nicht notwendig. Dies liegt daran, dass Wärmeströme in Gebäuden im Vergleich zu Schwankungen der Außentemperaturen ‚träge‘ reagieren. Hier ‚glätten‘ Speichermassen von Baustoffen auftretende Lastspitzen (z.B. durch tageszeitlich variierende passive Solarstrahlung über Fenster, Nachtabkühlung, etc.). Somit erscheinen oben genannte Rechenmethoden des Monatsbilanzverfahrens hinreichend detailliert, um zur Abdeckung eines Wärmebedarfs notwendige Energieträger bilanzieren zu können.

3.2. Neu: Betrachtung gebäudebezogenem Stroms

Seit den ersten „Null- oder Plusenergiegebäuden“ wird die Betrachtung von Wärme durch die Betrachtung gebäudebezogener Strombedarfe mehr und mehr verdrängt. Hierzu hat Vallentin (2011 S.VII-32ff) mit seinen Untersuchungen zu Auswirkungen energetischer Hüllqualitäten, Orientierung und Verschattung auf den jährlichen Heizwärmebedarf belegt, dass der Einfluss formspezifischer Eigenschaften auf den Heizwärmebedarf bei sich verbesserndem Dämmstandard abnimmt. Somit spielt die Form wärmeenergetisch zukünftig wohl nur noch eine untergeordnete Rolle.

Vergleichsweise neu hingegen ist der Versuch von Planern und Architekten Lösungen zu entwickeln, um gebäudebezogenen Strombedarf regenerativ am oder in unmittelbarer Nähe zum Gebäude bereit zu stellen. Dabei werden die vertrauten Rechenmethoden von Wärmeströmen zur Bilanzierung von Strombedarf und Strompotenzial übernommen. Mathematisch ist diese Übertragung korrekt und liefert richtige „Mengenangaben“ zum benötigten oder bereitgestellten Strom. Ein wesentlicher Faktor wird hierbei jedoch ignoriert:



Leistung



Energie = Leistung * Zeit

Abb. 12:
Eigenschaft der Leistung: ‚ein Wert pro Augenblick‘; Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 13:
Eigenschaft der Energie: ‚ein Wert pro betrachteten Zeitraum‘; Quelle: Eigene Darstellung

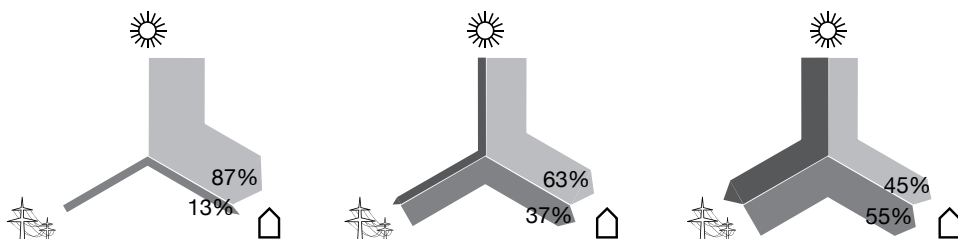


Abb. 14:
Veränderung des Eigennutzungsgrades einer 30° Nord orientierten Photovoltaikanlage in Abhängigkeit zur Betrachtungsschärfe (Monat, Stunde) oder der Berücksichtigung von Speichern bei Plusenergiehäusern; Quelle: eigene Darstellung und eigene Berechnung in Anlehnung an: Ina Planungsgesellschaft mHh: Untersuchungen zu Eigenversorgungsgraden von Plusenergiehäusern, 2015

Im Unterschied zu Wärme ist Strom flüchtig und nicht direkt speicherbar. Jede Form der Stromspeicherung erfordert stets eine Umwandlung von Strom in eine andere Energieform. Zwar stehen mittlerweile zahlreiche ‚Speicherformen‘ zur Verfügung, jeder Umwandlungsprozess ist jedoch stets mit Umwandlungsverlusten verbunden. Somit führt jeder notwendige Speichervorgang automatisch zu einer Reduktion des Betrages nutzbarer Energien. Bisher werden Speicher nur ‚additiv‘ in Strombilanzen (z.B. zur Berechnung von Plusenergiehäusern oder Effizienzhaus Plus nach BMVBS (2011)) verwendet. Den größten ‚Speicher‘ bei diesen Betrachtungen bildet dabei das öffentliche Stromnetz. Überschüsse können nach dieser Methode als Gutschrift in das Netz gespeist und zu einem späteren Zeitpunkt von dort wieder als Lastschrift zurückgeführt werden.

Untersucht man entsprechende Effizienzhäuser auf Jahresebene, weisen alle ein größeres oder kleineres energetisches Plus auf. Wählt man eine detailliertere Betrachtungsschärfe, so sinkt bei allen Plusenergiekonzepten der Anteil eigengenutzten Stroms rapide. Wie in älteren Untersuchungen bereits beschrieben, weist „ein typisches ‚Plusenergiehaus‘ in der Jahresbilanz noch einen Eigennutzungsanteil von 100 Prozent, auf Monatsebene einen Eigennutzungsanteil von ca. 60 Prozent und auf Stundenebene einen Eigennutzungsanteil von gerade einmal 30 Prozent auf.“ (Wurzbacher 2013 S.27)

Die rapide Abnahme des Eigennutzungsanteils in Abhängigkeit zur Betrachtungsschärfe zeigt, dass bisherige Methoden der Wärmebilanzierung nicht einfach auf die Betrachtung von Strom übertragen werden können. Im Detail fehlt eine Deckungsgleichheit oder Synchronisation des Angebots (Bereitstellungsleistung) mit der Nachfrage (Bedarfsleistung). Um dieser zeitlichen Problematik Rechnung zu tragen, ist es erforderlich, zukünftig anstatt ‚Energien‘ (vgl. Abb. 13) die ‚Leistung‘ (vgl. Abb. 12) zu betrachten.

Eine erweiterte Bewertung von Quartieren, Gebäuden oder Versorgungskonzepten hinsichtlich des effizienten Umgangs mit regenerativen Energien könnte durch einen neuen Begriff der ‚Leistungseffizienz‘ den oben genannten fehlenden Rahmenbedingungen Rechnung tragen. Hierbei würden insbesondere die Fähigkeiten belohnt werden, die zu einer Synchronisation zwischen Bedarf und Potenzial führten. Dies kann zum einen durch eine Anpassung der Nachfrage an das Angebot oder einer Anpassung des Angebots an die entsprechende Nachfrage geschehen. Eine genaue Begriffsdefinition hierzu erfolgt in Kapitel II Definitorischer Teil.

Eine Synchronisation von Bedarf und Potenzial kann einerseits durch Speichertechnologien erfolgen. Andererseits kann auch eine andersartige Beschaffenheit der Form zu einer Erhöhung der Leistungseffizienz führen. Dies gilt insbesondere für die Orientierung von Oberflächen und die damit zu anderen Zeiten verfügbaren Stromleistungen. Solch ‚nichttechnische‘ Möglichkeiten sollten Priorität vor ‚technischen‘ Lösungen haben. Aus diesem Grund fokussiert die vorliegende Arbeit auf die Identifizierung von Interdependenzen zwischen der Form und der Synchronisationsfähigkeit von Bedarfen und Potenzialen.

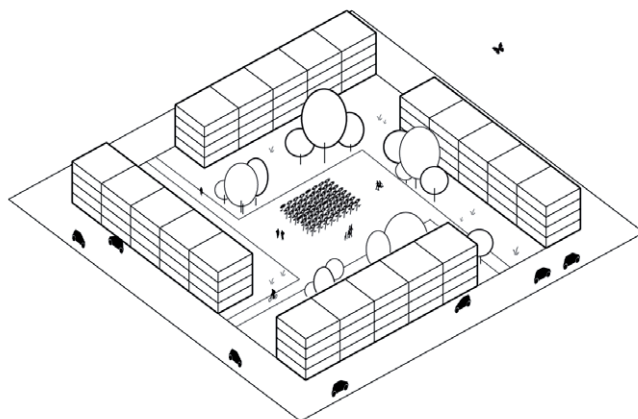
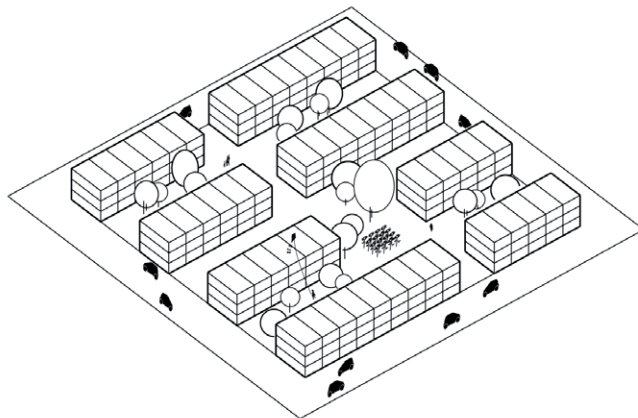
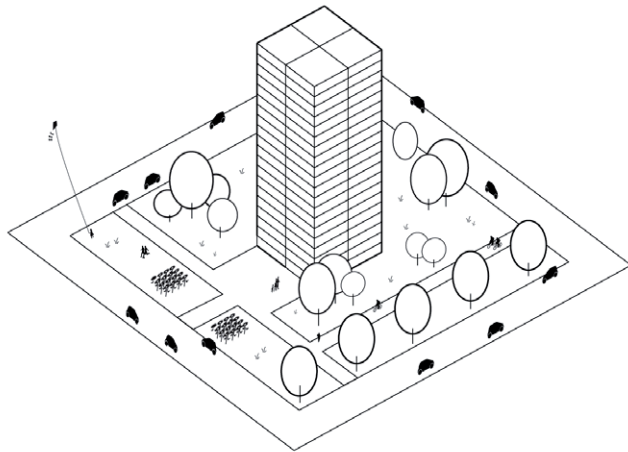


Abb. 15:
 Gleiches Maß baulicher Dichte
 (GFZ=1,0), verschiedene Morpholo-
 gien; Quelle: Eigene Darstellung auf
 Grundlage von: Fernandez Per & Mozas
 2004 aus: Berghauser Pont & Haupt,
 2010, S.13

4. Arbeitshypothesen und Forschungsfragen

Aus dem historischen Abriss über die Gebäude- und Stadtform lässt sich erkennen, dass die Nutzung von Solarstrahlung ein wichtiger formdefinierender Parameter in der Architektur darstellt. Je nach Fokus und Art der Nutzung (Belichtung, passive oder aktive Solarenergienutzung) führt dies zu ganz unterschiedlicher Formgebung (vgl. Abb. 15). In der Antike und später im Bereich des Passivhaus- Systems steht die passive Solarenergienutzung über Öffnungen in der Fassade im Vordergrund. Diese führt zu einer Präferenz von Nord-Süd gerichteten Strukturen. Vertreter der „Klassischen Moderne“ hingegen fokussieren ihre Konzepte eher auf die reine Belichtung von Wohnräumen (Energie steht zu dieser Zeit in Form von Öl und Gas ‚unbegrenzt‘ zur Verfügung). Deshalb werden hier tendenziell Ost-West gerichtete Strukturen bevorzugt dargestellt. Das noch relativ junge System des Plusenergiegebäudes präferiert in naher Verwandtschaft zum Passivhaussystem ebenfalls Nord-Süd gerichtete Strukturen. Der einzige Unterschied hierbei besteht in der Orientierung größerer geschlossener Dachflächen als Träger aktiver Systeme statt Öffnungen nach Süden.

Neben der Darlegung von Auswirkungen solarenergetischer Nutzungen auf die Form von Gebäuden und Städten haben die Untersuchungen zukünftiger Energiesysteme die Notwendigkeit gebäudeintegrierter Energiesysteme aufgezeigt. In den Analysen hierzu wird deutlich, dass aufgrund des volatilen Charakters regenerativer Energien der Lastspitzenausgleich die primäre Herausforderung darstellt. Insgesamt werden Bedarfe und Potenziale ‚synchroner‘ zueinander ausfallen müssen, um ein Übermaß notwendiger Speicherkapazitäten regenerativ gesammelter Energien zu vermeiden.

Die Betrachtung der Eigenversorgung anstatt des maximalen Ertrags stellt hierbei einen essenziellen Bestandteil zukünftiger Strategien dar. Diese Änderung der Betrachtungsweise führt zu einem Paradigmenwechsel, wie er bereits mehrfach in der Historie erfolgt ist. Aus diesem Grund stellt sich nun die Frage, ob ein neues Paradigma ‚Leistung‘ wieder zu einem neuen Formverständnis in der Architektur und im Städtebau führt.

Forschungsfragen

Anknüpfend an die beschriebenen Hypothesen, lassen sich folgende Fragestellungen extrahieren:

- Frage 1** Welchen Einfluss hat die Orientierung unter dem neuen Paradigma ‚Leistung‘?
- Frage 2** Gibt es eine ideale Orientierung für Wohnen und Gewerbe unter dem Paradigma der Leistungseffizienz?
- Frage 3** Welche Form sollten Stadtstrukturen aufweisen, um leistungseffizient zu sein?
- Frage 4** Wie wirkt sich die zusätzliche solaraktive Nutzung von Fassadenflächen und Flächen im Freiraum in Abhängigkeit zur Stadtstruktur auf deren Leistungseffizienz aus?

5. Aktueller Forschungsstand

Analysen zu Energie und insbesondere zu Solarenergiepotenzialen in der Architektur und im Städtebau liegen mittlerweile vielfach vor. Ausgehend von einem in den 1970er Jahren entstandenen Umweltbewusstsein, fokussieren sich seither Forschungsfragen auf die Verbesserung der Energieeffizienz und auf die Reduktion fossiler Brennstoffe in der Energiebereitstellung. Wie weiter oben bereits beschrieben, haben Forscher und Architekten als Antwort auf den enormen Wärmeverbrauch des Gebäudebestandes verschiedene Maßnahmen und Regularien entwickelt. So werden Betrachtungen und Bilanzverfahren von Wärmeströmen in Gebäuden durch fortschreitende Untersuchungen systematisch weiter verfeinert und Nachweise zu Transmissionswärmeverlusten, Lüftungsverlusten und passiven solaren Gewinnen über Fenster oder opake Bauteile (vgl. transparente Wärmedämmung, etc.) grundlegender Bestandteil von gesetzlich vorgeschriebenen Nachweisverfahren.

Im thematischen Umfeld dieser Analyse lassen sich verschiedene Werke identifizieren, welche der vorliegenden Arbeit inhaltlich und methodisch als wichtige Inspirationsquelle dienen.

Solarer Städtebau (Everding 2007)

Einen ersten wichtigen Meilenstein solarenergetischer Potenzialstudien in Abhängigkeit zu stadträumlichen Eigenschaften bildet die Arbeit von Dagmar Everding (2007). Ziel ihrer Arbeit ist es, Kenntnisse über solarenergetische Potenziale in Abhängigkeit zur Bebauungsform aufzuzeigen. Beschriebene Werte sollen gemäß der Autorin Grundlage für die Stadt- und Raumplanung sein, um Entwicklungspotenziale in einem frühen Stadium anhand einfacher Hochrechnungen identifizieren zu können. Die Autorin definiert dabei in Anlehnung an Roth (1980) eigene Stadtraumtypen. Diesen weist sie explizit solare Potenziale in Abhängigkeit zur Nettobaulandfläche zu. Daneben führt sie detaillierte Untersuchungen anhand verschiedener Bestandsfassaden zu Integrationsmöglichkeiten und Verträglichkeiten aktiver Systeme im Stadtbild durch. Die Untersuchungen von Everding (2007) bilden eine wichtige Grundlage bei der Bildung von „Szenarien zur Potenzialnutzung“ (vgl. Kapitel III).

ArchitekturForm & SolarEnergie (Rullán Lemke 2010)

Rullán Lemke untersucht in ihrer Studie Einflüsse der Gebäudegeometrie auf Solarpotenziale. Dabei führt die Autorin eine ganze Reihe an Simulationen zu Globalstrahlungen auf die Gebäudehülle durch. Hierfür verwendet sie eine Serie Testkörper, welche einer eigenen Formtypisierung entnommen sind. Simulierte Strahlungswerte pro Testkörper vergleicht die Autorin im Anschluss mit einem eigens entwickelten Bilanzmodell. Typisierung und Charakteristika der von der Autorin definierten Testkörper werden unter Kapitel IV erneut beschrieben.

Die Autorin betrachtet sowohl passive als auch aktive Solarenergiegewinne. Passive Gewinne werden in ihrem Bilanzmodell in eine Wärmebedarfsrechnung eingebunden. Aktive Gewinne werden über das System Photovoltaik als potenzielle Stromerträge über die Gebäudehülle mit bilanziert. In ihren Betrachtungen legt die Autorin fest, „die berechneten thermischen Transmissionswärmeverluste in kWh th mit elektrischen solaren Gewinnen in kWh el gegeneinander“ (ebd. 2010 S.95) zu bilanzieren. Mit dieser Setzung konzentriert sich die Arbeit somit auf rein wärmeenergetische und nicht auf stromenergetische Potenzialstudien in Abhängigkeit zur Form.

Bei Formstudien stehen diese stets losgelöst von einem baulichen Kontext da. Der Bilanzrahmen wird hierbei am Gebäude gezogen. Lediglich der Standort und das dortige Klima findet über Temperaturverläufe und das Solarstrahlungsangebot Berücksichtigung bei der Betrachtung energetischer Verhaltensweisen.

Insgesamt werden energetische Vergleiche zwischen untersuchten Testkörpern anhand einer Jahresbilanz durchgeführt. Die Autorin spricht in ihren einleitenden Untersuchungen von einer „Postfossilen Solararchitektur“ mit „positiver Gesamtenergiebilanz“ (vgl. ebd. 2010 S.19). Weiter stellt sie die These auf, dass „sich in naher Zukunft der Einsatz der vergleichsweise teuren Solartechnologien nur für solche Flächen lohnt, die eine hohe Einstrahlung je Quadratmeter

besitzen“ (ebd. 2010 S.19). Weniger exponierte und ertragreiche Flächen, welche unter dem Paradigma ‚Leistung‘ gegebenenfalls interessant werden können, werden hierbei nicht berücksichtigt. Somit folgt auch diese Arbeit wie alle bisher bekannten Analysen dem Paradigma ‚Energie‘ und nicht der ‚Leistung‘.

Energieeffizienter Städtebau mit Passivhäusern, Begründung belastbarer Klimaschutzstandards im Wohnungsbau (Vallentin 2011)

Bei seiner Untersuchung „Energieeffizienter Städtebau mit Passivhäusern“ untersucht Vallentin (2011) in ähnlicher Weise wie Rullán Lemke (2010) Auswirkungen von Bebauungsformen und den daraus resultierenden solaren Gewinnen auf den Wärmeenergiebedarf. Hierbei interessiert ihn, inwiefern „Wirkungszusammenhänge und die daraus abgeleiteten Planungsprinzipien zum solaren und/oder flächensparenden Städtebau auch für Passivhaussiedlungen (...) zutreffen.“ (Vallentin 2011 S.VI-9) Seine Untersuchungen konzentrieren sich dabei auf die Frage, ob verdichtete und damit zwangsläufig verschattete urbane Strukturen den Anforderungen der Passivhaus-Definition Rechnung tragen. Dies führt er anhand von Simulationen und Wärmebedarfsberechnungen durch.

Die Arbeit wird vor allem aufgrund der dort definierten Bebauungstypen als Referenz herangezogen. Diese werden in Kapitel IV unter methodischen Gesichtspunkten beschrieben.

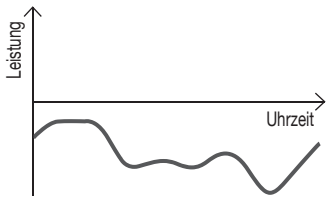
UrbanReNet (Hegger et al. 2012c)

Die Typisierungsmethoden von Roth (1980) und Everding (2007) greift das Forschungsprojekt „UrbanReNet“ (Hegger; Dettmar; Martin et al. 2012c) auf und entwickelt eine eigene Systematik „Energetischer Stadtraumtypen“. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes werden detaillierte Untersuchungen zu Energiebedarfen und regenerativen Potenzialen durchgeführt und in die Steckbriefe der Stadtraumtypen aufgenommen. Neben zusammenfassenden Steckbriefen wird auch eine Methode für ein derzeit in der Entwicklung befindliches Rechenmodell beschrieben. Geplant ist die Programmierung eines graphischen Modells, in welchem über die Fläche des Nettobaulandes (z.B. aus Flächennutzungsplänen) Energiebedarfe und regenerative Potenziale hochgerechnet werden können. Neben Wärme- und Strombedarfen werden hier auch Solarpotenziale für die Strom- oder Wärmebereitstellung in Monats- bzw. Jahresbilanzen benannt. Diese werden anhand von Sensitivitätsanalysen realer Betrachtungsräume ermittelt. Dabei werden Erträge über die identifizierten Dachflächen hochgerechnet. Bei der Hochrechnung werden die aufgenommenen Dachflächen mit einer mittleren Globalstrahlung und unter Berücksichtigung verschiedener Abminderungsfaktoren, zum Beispiel durch untergeordnete Bauteile wie Schornsteine, Brandwandüberstände oder Dachgauben, multipliziert.

Diese Studie stellt in zweifacher Hinsicht eine wichtige Grundlage für die vorliegende Analyse dar: Zum einen bildet die Typisierungsmethode der „Energetischen Stadtraumtypen“ einen wichtigen Ausgangspunkt für eine eigene Typisierung. Aus diesem Grund wird deren Definition von Stadtraumtypen unter Kapitel IV im Rahmen der Herleitung von Prinzipien einer Typisierung methodisch analysiert. Darüber hinaus liefert die Arbeit wichtige Datengrundlagen für das eigene Energiemodell. Hierbei wird vor allem auf die dezidiert ermittelten Abminderungsfaktoren zurückgegriffen, welche unter Kapitel V.2.3.2 Datenbanken detailliert beschrieben werden.

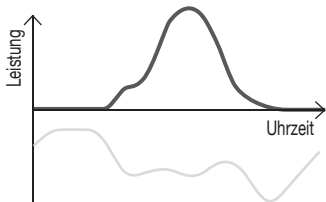
Wie alle beschriebenen bisherigen Potenzialstudien zur solarenergetischen Stromproduktion zeigen, sind diese primär aus der Logik der Wärmebilanzierung heraus entwickelt. Strombereitstellung aus Solarenergie wird zwar in verschiedenen Arbeiten benannt und auch bilanziert, diese folgen jedoch stets einer wärmeenergetischen Logik.

Bisher nicht berücksichtigt sind leistungsbezogene Parameter. Nach aktuellem Kenntnisstand liegen somit zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine Analysen zum Synchronitätsverhalten von regenerativen Bereitstellungspotenzialen urbaner Bebauungstypen und zeitlich variablen Energiebedarfen dort verorteter Nutzungen vor.



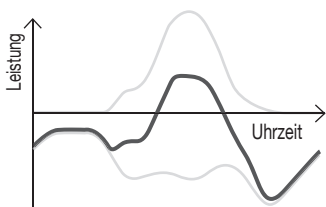
Generierung der Bedarfsleistung nach
Tytagen aus Standardlastprofilen
(Nachfrage)

+



Simulation der Potenzialleistung in
Abhängigkeit zur Form (Angebot)

=



Berechnung der Deckungsleistung aus
Bedarf- und Potenzialleistung (Summe
aus Nachfrage und Angebot)

Abb. 16:
Methodik zur Überlagerung von
Bedarf und Potenzial; Quelle: Eigene
Darstellung

6. Methodik

Definition von ‚Leistungseffizienz‘

Zu Beginn der Arbeit erfolgt die Auflistung verschiedener Setzungen und Definitionen. Hier wird der Begriff der Leistungseffizienz im Sinne der geplanten Untersuchungen definiert und inhaltlich umrissen. Diese Definition stellt die Antwort auf die erste Forschungsfrage dar.

Entwicklung leistungsspezifischer Typtage

In einem zweiten Schritt wird eine Methode entwickelt, wie in Abhängigkeit zu definierten Bebauungstypen jeweilige Bedarfsleistungen und Bereitstellungsleistungen generiert und anschließend miteinander verglichen werden können (vgl. Abb. 16). Für leistungsbezogene Analysen wird eine stundenweise Betrachtung von Bedarf und Potenzial vorgenommen, um kurzfristige Über- oder Unterdeckungen (beides potenzielle Netzbelastungen) abbilden zu können.

Da eine Betrachtung aller 8.760 Stunden pro Jahr aufgrund begrenzter Rechenkapazitäten (z.B. bei Simulationen, etc.) nicht durchführbar ist, werden in verschiedenen Voruntersuchungen leistungsbezogene typisierte Tage (Typtage) entwickelt. Anhand dieser in eigener Setzung definierten Typtage werden alle Betrachtungen der vorliegenden Analyse durchgeführt. Die Körnigkeit der Typtage richtet sich dabei nach strahlungsrelevanten Randbedingungen aus Klimadaten. Hierfür werden aus einem Datensatz des EnEV 2014 Referenzklimas - Potsdam (Klimadaten aus MeteoNorm) unter Berücksichtigung der jährlichen Sonnenlaufbahn insgesamt sieben Perioden definiert. Innerhalb jeder Periode werden weitere Unterteilungen von jeweils ein bis fünf Typtagen vorgenommen, welche die unterschiedlichen Wettersituationen (z.B. sonniger Tag, teils sonniger- teils bewölkter Tag, bewölkter Tag, etc.) abbilden. Insgesamt ergeben sich aus dieser Methode insgesamt 27 Typtage, die alle wesentlichen stündlichen Strahlungssituationen unter Berücksichtigung der Sonnenlaufbahn (Veränderung der Höhenwinkel) und der Strahlungsintensität (durch unterschiedliche Bewölkungsgrade) realitätsnah abbilden. Jedem Typtag werden eigene stündliche Direkt- und Diffusstrahlungswerte zugewiesen. Diese werden aus den zugrunde gelegten Datensätzen über Mittelung extrahiert. Daneben wird jeder Typtag mit einer Häufigkeitsangabe versehen, die beschreibt, wie oft ein jeweiliger Typtag vorkommt.

In einer weiteren Voruntersuchung werden Bedarfsleistungen in Abhängigkeit zu Art baulicher Nutzung untersucht. Hierbei werden Standardlastprofile für Haushalt- und Gewerbenutzung herangezogen, welche durch Energieversorger regelmäßig veröffentlicht werden (vgl. EON Mitte AG 2012). Diese Rohdaten werden den oben beschriebenen Perioden zugeordnet und Stundenmittelwerte pro Periode berechnet. Typische Lastprofile von Wohn- als auch Gewerbenutzung variieren stark von Werktag, Samstag und Sonntag. Aus diesem Grund wird innerhalb jeder Periode eine Unterteilung in diese drei Wochentage vorgenommen. Bei sieben Perioden und jeweils drei Wochentagen werden somit im vorliegenden Modell insgesamt 21 Typtage abgebildet. Jedem Typtag wird eine zugehörige spezifische stündliche Bedarfsleistung einbeschrieben.

Typisierung von Bauungsformen und Definition formbeschreibender Parameter

Bevor oben genannte Forschungsfragen beantwortet werden können, ist es erforderlich in einem ersten Schritt eine Übersicht über die breite Varianz bestehender Bauungstypen zu erlangen. Aufgrund divergenter Stadtstrukturen ist eine Abstraktion auf wesentliche morphologisch-charakteristische Eigenschaften notwendig. Hierbei gilt es, wesentliche formbeschreibende Parameter zu identifizieren und zu definieren. Diese dienen im Rahmen der vorliegenden Analyse als Bezugsgrößen, anhand derer energetische Verhaltensweisen miteinander verglichen werden können. Hierfür werden bestehende formbeschreibende Größen aus der Literatur extrahiert und um neue, in eigener Setzung definierte Größen erweitert. Die Definition der Testkörper und Bauungstypen erfolgt in Kapitel IV Typisierung .

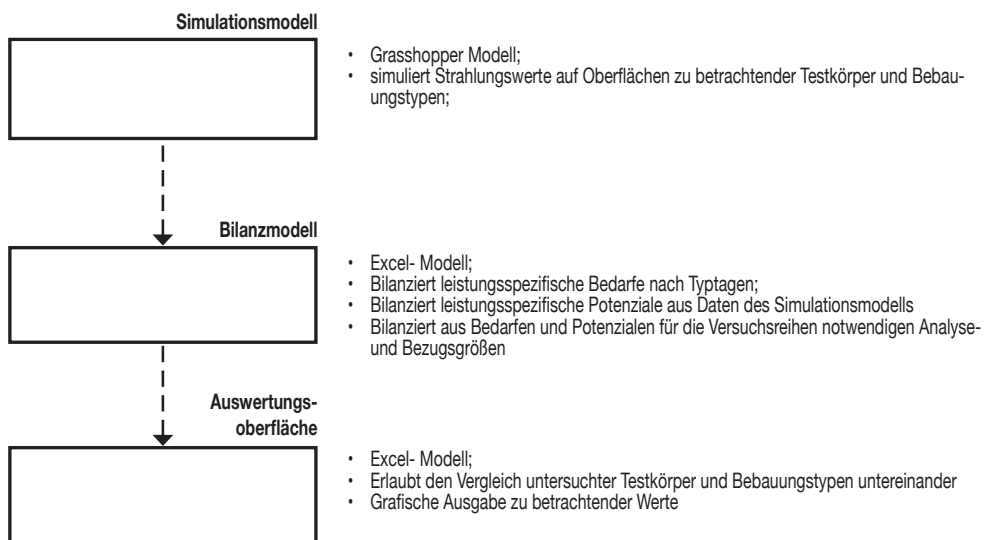


Abb. 17:
Übersicht des entwickelten Energiemodells; Quelle: Eigene Darstellung

Werkzeug: Energiemodell

Zur Durchführung beschriebener Analysen wird ein Energiemodell entwickelt. Dieses generiert und vergleicht Bedarfe und Potenziale jeweiliger Testkörper und Bebauungstypen anhand von 3D-Volumenmodellen. Die Konzeption des Modells folgt dabei einer experimentellen Entwicklungsphase und dient ausschließlich der Beantwortung oben gestellter Forschungsfragen. Es erhebt somit keinen Anspruch, Grundlage für ein kommerzialisierungsfähiges Produkt zu sein.

Strukturell setzt sich das Modell aus verschiedenen eigens entwickelten Analysetools zusammen (vgl. Abb. 17):

- **Simulationsmodell (Ermittlung von Strahlungseigenschaften)**
Einen ersten Baustein bildet das Simulationsmodell. Hierbei handelt es sich um ein Tool, welches mittels Simulationen Direkt- und Diffusstrahlungswerte anhand von 3D-Modellen generiert. Hier werden die oben beschriebenen Typen nacheinander durchsimuliert und zusammen mit weiteren Geometriedaten für die anschließenden Bilanzierungen gesammelt.
- **Bilanzmodell (Ermittlung von Analyse- und Bezugsgrößen)**
Den zweiten Baustein bildet das Bilanzmodell. Dieses übernimmt die gesammelten Geometrie- und Strahlungsdaten des Simulationsmodells und berechnet daraus alle für die Untersuchung notwendigen Analyse- und Bezugsgrößen.
- **Auswertungsoberfläche (Vergleich von Bebauungstypen)**
Den letzten Baustein bildet eine Auswertungsoberfläche. In dieser werden alle Analyse- und Bezugsgrößen untersuchter Bebauungstypen gesammelt und miteinander verglichen.

Aufbau, verwendete Daten und Funktionsweise des Energiemodells wird in Kapitel V Versuchsaufbau und Energiemodell erläutert.

Band 1/2: Dissertation

Kapitel I Einleitung	S. 13
	S. 36
Kapitel II Definitionen	S. 37
	S. 52
Kapitel III Typtage	S. 53
	S. 72
Kapitel IV Stadtstrukturen	S. 73
	S. 110
Kapitel V Energiemodell	S. 111
	S. 122
Kapitel VI Ergebnisse	S. 123
	S. 198
Kapitel VII Zusammenfassung	S. 199
	S. 226

Band 2/2: Anhang

Steckbriefe Punktförmige Bebauungstypen	S. 5
	S. 74
Steckbriefe Zeilenartige Bebauungstypen	S. 75
	S. 172
Steckbriefe Block- und teppichartige Bebauungstypen	S. 173
	S. 254
Typtage Punktförmige Bebauungstypen	S. 255
	S. 270

Abb. 18:
Struktureller Aufbau der Arbeit; Quelle:
Eigene Darstellung

7. Aufbau und Struktur der Arbeit

Gemäß den in der Methodik beschriebenen Arbeitsschritten, gliedert sich vorliegende Arbeit in insgesamt sieben Kapitel (vgl. Abb. 18):

Kapitel I Einleitung

Im ersten Kapitel (aktuelles Kapitel) werden Hintergrund, Forschungsfragen und Methodik der Arbeit erläutert. Dieses dient dazu, den Leser mit der Problemstellung vertraut zu machen und ihm einen groben Überblick zum entsprechenden Themenfeld zu verschaffen.

Kapitel II Definitiver Teil

Im zweiten Kapitel werden alle wesentlichen Analyse- und Bezugseinheiten definiert und beschrieben. Detailliert beschrieben wird die Herleitung von Größen, welche eigenen Setzungen entstammen. Diese enthält alle für das Verständnis der Setzung notwendigen Aspekte. Weitere, insbesondere im Modell verwendete Abkürzungen und Indizes werden in einer eigenen Übersicht zusammengefasst.

Kapitel III Entwicklung leistungsspezifischer Typtage und Szenarien der Potenzialnutzung

Im dritten Kapitel wird die Entwicklung einer Typisierungsmethode unter Berücksichtigung leistungsrelevanter Eigenschaften beschrieben. Diese dient einerseits dazu, zeitlich variable Verhaltensweisen in detaillierter Auflösung zu betrachten, andererseits gilt es, ‚repräsentative‘ Tagesverläufe zu modellieren, welche eine Hochrechnung auf das Jahr ermöglichen.

Kapitel IV Typisierung von Stadtstrukturen

Im vierten Kapitel wird eine Typisierung von Bebauungsformen als Grundlage von Analysen dieser Forschungsarbeit vorgenommen. Hierzu werden in einem ersten Schritt bestehende Typisierungsmethoden baulicher Strukturen in der Literatur untersucht. Nach einer Evaluation geeigneter Ansätze erfolgt die Entwicklung einer eigenen Typisierungsmethode.

Kapitel V Versuchsaufbau und Energiemodell

Im fünften Kapitel wird das für die Untersuchungen eigens entwickelte Energiemodell beschrieben. Dieser Modellbildung gehen verschiedene Voruntersuchungen zu Potenzialszenarien, Generierung eines leistungsbezogenen Klimadatensatzes oder verschiedenen Kennwerten (Wirkungsgrade, Umrechnungsfaktoren, etc.) des Bilanzmodells voraus.

Kapitel VI Ergebnisse durchgeführter Untersuchungen

Im sechsten Kapitel werden die Ergebnisse der Untersuchungen beschrieben und einer ersten kurzen Auswertung unterzogen.

Kapitel VII Zusammenfassung, Handlungsfelder und weiterführende Fragestellungen

Abschließend werden die wichtigsten Ergebnisse in einem zusammenfassenden Kapitel erneut benannt und in einen übergeordneten Kontext transkribiert. Hieraus werden potenzielle Anwendungsfälle dargestellter Ergebnisse im Bereich der Stadtplanung und Bestandsentwicklung identifiziert sowie weiterführende Forschungsfragen benannt.

KAP. II

Definitorischer Teil

1. Abkürzungen und Indizes

Tag	d	
Monat	M	
Jahr	a	
<i>Städtebau</i>		
Bruttobauland	BBL	[m ²]
Nettobauland	NBL	[m ²]
Private Freiflächen	PFF	[m ²]
Öffentliche Freiflächen (incl. Verkehr)	OFF	[m ²]
Umgebung	UMG	
Grundflächenzahl	GRZ	[-]
Maß baulicher Dichte (Geschossflächenzahl)	M-GFZ	[-]
<i>Hochbau</i>		
Grundfläche	GR	[m ²]
Fassadenfläche	WaF	[m ²]
Dachfläche	DF	[m ²]
Geschossfläche (auch: Brutto Grundfläche)	GF	[m ²]
Energiebezugsfläche	EBF	[m ²]
Brutto Volumen	V	[m ³]
mittlere Geschosshöhe	GH	[m]
mittlere Gebäudehöhe	H	[m]
Maß der Kompaktheit	M-A/V	[m ² /m ³]
Maß der Gerichtetheit	M-G	
Maß solarer Exposition	M-HAb/H	
<i>Energie</i>		
Strom	EL	
Globalstrahlung	S	[kWh/Zeit]
Erzeugung (allgemein)	PROD	
Deckung (allgemein)	D	
Leistung (allgemein)	P	[kW], [MW]
Erzeugungsleistung	P _{PROD}	[kW], [MW]
Bedarfsleistung (Strom)	P _{EL}	[kW], [MW]
Deckungsleistung	P _D	[kW], [MW]
Bedarf (allgemein)	Q	[kWh/Zeit], [MWh/Zeit]
Erzeugung	Q _{PROD}	[kWh/Zeit], [MWh/Zeit]
Strombedarf	Q _{EL}	[kWh/Zeit], [MWh/Zeit]
Maximale Deckungsleistung	P _{MAX}	[kW], [MW]
Minimale Deckungsleistung	P _{MIN}	[kW], [MW]
Energiedeckung	QD	[kWh/Zeit], [MWh/Zeit]
Anteil Eigenversorgung	E%	[%]
<i>Mathematik</i>		
Bestimmtheitsmaß	R ²	[-]

Tab. 2:
Definition von Abkürzungen und Indizes
in eigener Setzung

2. Vorbemerkungen zu Abkürzungen, eigenen Setzungen und Definitionen

In den folgenden Untersuchungen werden verschiedene Begriffe und Abkürzungen verwendet. Diese werden im folgenden Abschnitt beschrieben und begrifflich definiert.

Den Kern dabei bildet die Definition zur „Energie- und Leistungseffizienz“. Hierzu erfolgt in Anlehnung an die in Kapitel I beschriebenen Entwicklungen, weg von einer energetischen- und hin zu einer leistungsspezifischen Betrachtung eine inhaltliche Setzung.

Weitere Definitionen und begriffliche Setzungen folgen mit den Beschreibungen verwendeter Analyse- und Bezugseinheiten. Diese Unterscheidung resultiert aus dem in dieser Arbeit entwickelten Versuchsdesigns. Die Beschreibungen der Ergebnisse (vgl. Kapitel VI) erfolgen vielfach über mathematische Graphen. Hierbei wird einer Bezugseinheit auf der x-Achse eine Analyseeinheit auf der y-Achse gegenüber gestellt.

3. Grundeinheiten und Begrifflichkeiten

3.1. Energie, Energieeffizienz

Die vorliegende Analyse betrachtet ausschließlich elektrische Energieströme. Folglich wird der Begriff ‚Energie‘ im weiteren Verlauf als Synonym für „elektrische Arbeit“ verwendet. Energie bedeutet dabei einen spezifischen „Aufwand“ (= elektrische Leistung) über einen definierten Zeitraum. Verwendete Einheiten hierfür sind Wattstunden (Wh), Kilowattstunden (kWh) oder Megawattstunden (MWh).

Herleitung

$$(1) \quad Q = P \times t$$

mit:

$$P = \text{elektrische Leistung}$$

$$t = \text{Zeitraum der Betrachtung}$$

Energieeffizienz

Der Begriff der ‚Energieeffizienz‘ ist mittlerweile weithin geläufig und vielfach in der Literatur beschrieben. Für die folgende Arbeit wird der Begriff für Verhaltensweisen von Formen verwendet, die in der Jahressumme einen niedrigen Strombedarf vorweisen. Hierbei wird auf eine Berechnungsmethode für Plusenergiehäuser des BMVBS (2011) zurückgegriffen, die eine Addition von Überschüssen einer Zeiteinheit A und Unterdeckungen einer Zeiteinheit B erlaubt. Die zeitliche Unterschiedlichkeit wird hier nicht berücksichtigt beziehungsweise mit einer Möglichkeit der Einspeisung in das öffentliche Stromnetz erlaubt. Das Stromnetz wird demzufolge als Speicher betrachtet, der beliebig gefüllt und entladen werden kann.

In den folgenden Versuchsreihen wird für ein ‚Maß der Energieeffizienz‘ die Analysegröße ‚Energiedeckung‘ betrachtet. Somit gilt für alle folgenden Untersuchungen: Je kleiner der Betrag der Energiedeckung, desto größer ist die Energieeffizienz untersuchter Formen. Umgekehrt gilt eine Form als weniger energieeffizient, sofern ihr Betrag der Energiedeckung steigt.

3.2. Leistung, Leistungseffizienz

Aufbauend auf der oben beschriebenen Definition zur Einheit „Energie“ wird in der vorliegenden Arbeit ebenfalls ausschließlich elektrische Leistung betrachtet. Folglich wird auch hier der Begriff ‚Leistung‘ als Synonym für „elektrische Leistung“ verwendet. In der Elektrophysik wird der Begriff „elektrische Leistung“ als Energie pro Zeit definiert. Somit beschreibt diese Einheit einen entsprechenden „Aufwand“ innerhalb eines spezifischen „Moments“. Verwendete Einheiten hierfür sind Watt (W), Kilowatt (kW) oder Megawatt (MW).

Herleitung

$$(2) \quad P = \frac{Q}{t}$$

mit:

$Q = \text{elektrische Energie (Arbeit)}$

$t = \text{Zeitraum der Betrachtung}$

Leistungseffizienz

Begriff ‚Leistung‘ wird zunehmend in der Literatur und der Energieplanung verwendet. Dabei liegt bisher jedoch noch keine Definition zur Eigenschaft ‚leistungseffizient‘ vor. Somit ist eine eigene Setzung dieser Begrifflichkeit im Rahmen der in dieser Arbeit verfolgten Zielsetzungen erforderlich. Die Herleitung hierfür erfolgt über die Beschreibung notwendiger Verhaltensweisen, die solch eine Eigenschaft zwingend zugrunde liegen.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Plusenergie Quartier Oberursel“ (Hegger et al. 2014) wird erstmals der Begriff der Leistung als notwendige Betrachtungsgröße benannt. Hier stellen die Autoren folgende, aus ihrer Sicht notwendige Eigenschaften eines Energieversorgungskonzeptes auf: „Die Anforderungsgröße Leistung soll gewährleisten, dass Versorgungskonzepte ausscheiden, bei denen die regenerativen Energieerzeuger im Sommer wegen zu hoher Netzbelastung gedrosselt werden müssen, was die Erträge und damit die Überschüsse gegenüber der Planung z.T. deutlich vermindern würde. Gleichzeitig soll eine übermäßige Abhängigkeit vom Stromnetz im Winter vermieden werden, ohne Autarkie zu fordern.“ (ebd. 2014 S.61)

Die Problematik bei einer Begriffsdefinition liegt in den verschiedenen Anforderungen, die an leistungseffiziente Systeme gestellt werden können. Je nach ‚Standpunkt‘ kann darunter eine ganz unterschiedliche Verhaltensweise verstanden werden.

Aus Sicht des zentralen Energieversorgers wird die ‚Netzdienlichkeit‘ im Vordergrund stehen. Dabei könnte gemeint sein, dass angeschlossene Gebäudesysteme antizyklisch zur allgemeinen Stromnachfrage reagieren. Eine Netzentlastung würde dadurch eintreten, indem in Zeiten eines Netzüberschusses ein Bedarf und in Zeiten von Netzunterdeckungen ein Angebot erzeugt würde. Da solaraktive Systeme jedoch nur tagsüber Strom bereitstellen, ist ein antizyklisches Verhalten ohne eine Begrenzung des Ausbaus dieser Erzeugungssysteme nur begrenzt möglich.

Des Weiteren ist für solch eine Analyse ein netzspezifisches Leistungsprofil notwendig, welches vorgibt, wann das Netz antizyklisch belastet und wann es entlastet werden sollte. Solch ein Profil setzt sich jedoch aus allen Leistungskurven angeschlossener Nutzungen innerhalb eines Bilanzkreises zusammen. Je nachdem welche Nutzungen in der Umgebung vorliegen, sieht das jeweilige Netzprofil ganz unterschiedlich aus.

Eine stärker objektbezogene Betrachtung (Gebäude oder Gebäudeensemble) versucht die Abhängigkeit zum Netz zu reduzieren und den Eigenverbrauch zu erhöhen und Kosten für den Strombezug zu senken. Dies kann durch die Synchronisation von Bedarf und Potenzial geschehen. Dadurch würden zeitlich variable Potenziale effizient eigengenutzt. Hierbei wird insbesondere die Verschiebung der ‚Potenzialgrenzen‘ (früh morgens oder spät abends) interessant.

Bei dieser Betrachtungsweise steht die effiziente Eigennutzung und nicht die ‚Netzdienlichkeit‘ im Fokus. Daher sind bei dieser Betrachtung auch keine netzspezifischen Leistungsprofile notwendig. Für die vorliegende Arbeit wird die zweite Betrachtungsweise als mögliche Anforderungen an eine Leistungseffizienz favorisiert. Dies liegt an ihrer Unabhängigkeit zu spezifischen Veränderungen des Netzes. Somit wird der Begriff ‚Leistungseffizienz‘ wie folgt definiert:

Strukturen sind leistungseffizient, wenn sie ein möglichst hohes Maß an Eigenversorgung vorweisen können. Als Analysegröße hierfür wird der Anteil Eigenversorgung (vgl. Kapitel II.4.2 Anteil Eigenversorgung (Analysegröße leistungsspezifischer Verhaltensweisen)) verwendet.

3.3. Bestimmtheitsmaß (R^2)

Das Bestimmtheitsmaß (R^2) ist eine Größe der Statistik und bei Kurvendiskussionen. Es beschreibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit Variablen einer spezifischen mathematischen Funktion zugeordnet werden können. Ausgedrückt wird diese Größe durch eine Zahl. Null bedeutet dabei „maximal unbestimmt“, eins „maximal bestimmt“.

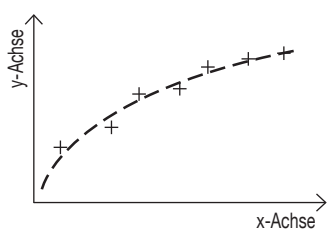
Es findet vielfach bei der Auswertung von Messreihen Anwendung (vgl. Abb 19). Hierbei wird es herangezogen, um mathematische Abhängigkeiten zwischen zwei Wertepaaren zu identifizieren. Je nach Messreihe können sich Werte mit einer Streuung in Form einer ‚Wolke‘ oder eng entlang von Linien oder Kurven sortieren. Je enger sich Werte an einer Linie oder Kurve entlang sortieren, desto größer wird das Bestimmtheitsmaß. Umgekehrt gilt, je größer die Streuung, desto kleiner wird dieser Kennwert.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird dieser Wert zur Identifizierung von Interdependenzen spezifischer Formeigenschaften (Bezugsgrößen) und energetischen und leistungsspezifischen (Analysegrößen) verwendet. Diese Bewertungen erfolgen durch Kurvendiskussionen anhand von Graphen.

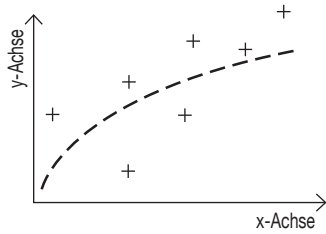
Zur Bestimmung von Abhängigkeiten werden folgende Grenzwerte des Bestimmtheitsmaßes definiert:

0 bis 0,55	„unbestimmt“	es liegen keinerlei mathematische Abhängigkeiten vor
0,55 bis 0,8	„eher unbestimmt“	es können mathematische Abhängigkeiten vorliegen
0,8 bis 1,0	„bestimmt“	es liegen mathematische Abhängigkeiten vor

Tab. 3:
Bereiche der Bestimmtheit in eigener
Setzung



Werte sortieren sich entlang einer Kurve
> Trendlinie bestimmt



Werte bilden eine ‚Wolke‘
> Trendlinie unbestimmt

Abb. 19:

Möglichkeit der Benennung von Abhängigkeiten zweier Betrachtungsgrößen mit dem Bestimmtheitsmaß. Je größer die Streuung, desto kleiner wird das Bestimmtheitsmaß. Es liegt dann keine Abhängigkeit vor. Je enger Werte sich entlang einer Funktion angliedern, desto größer wird dieser Wert. In diesem Fall liegt eine Abhängigkeit vor. Quelle: Eigene Darstellung

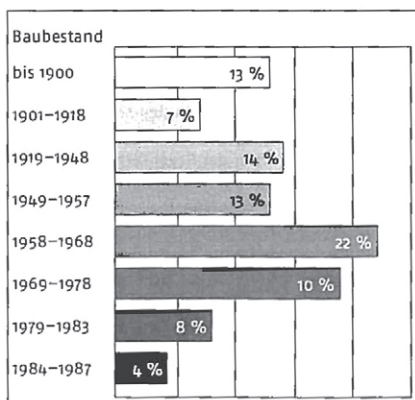


Abb. 20:

Baualtersklassen und prozentuale Anteile des Deutschen Gebäudebestandes an definierten Klassen; Quelle: Everding (2007 S.72)

3.4. Klassifizierung einer Eingriffsempfindlichkeit und Potenzialbewertung

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen zu energetischen und leistungsspezifischen Verhaltensweisen von Stadtstrukturen werden solare Potenziale identifiziert und bewertet. Diese Bewertung wird zum Ende dieser Arbeit einer qualitativen und subjektiv durchgeführten Einschätzung zur Eingriffsempfindlichkeit jeweiliger Hüllflächen untersuchter Bebauungstypen gegenübergestellt. Der Begriff ist der Literatur entnommen und wird für die Skizzierung von Handlungsfeldern entsprechend fortgeschrieben. Everding (2007 S.52ff) verwendet diesen Begriff im Zusammenhang mit ihren Untersuchungen zu Verträglichkeiten solaraktiver Systeme und bestimmte Dach- und Fassadentypen von Gebäuden.

Die Einteilung dient dabei zu beschreiben, an welchen Bauteilen (z.B. Fassade oder Dach) Eingriffe in der Regel geringe oder hohe Auswirkungen auf die Gestalt nach sich ziehen. Die Einteilung folgt dabei einer üblichen visuellen Präsenz und einer qualitativen Einschätzung der Gestalt anhand üblicher Baualter. Die visuelle Präsenz knüpft daran an, welches Bauteil wie präsent im Stadtraum ist. So werden zum Beispiel Flachdächer, Garagen, Carports, etc. mit geringer, Steildächer und Fassaden eher mit mittlerer bis hoher Eingriffsempfindlichkeit eingestuft. Letztgenannte Einstufung kann jedoch je nach Baualter die Eingriffsempfindlichkeit verschärfen oder vereinfachen. Im Bereich der Fassade werden dementsprechend Bauten der 1950er Jahre (z.B. Nachkriegszeitzeile) als mit eher geringer Eingriffsempfindlichkeit tituliert. Ein typischer Gründerzeitblock mit ornamental gestalteten Fassaden hingegen wird als hoch eingriffsempfindlich erachtet.

Eine erstmalige Einteilung der Eingriffsempfindlichkeit erfolgt im Rahmen der Typisierung von Stadtstrukturen (vgl. Kapitel IV) in folgende drei Stufen:

- **Gering** – robuste Eingriffe möglich; z.B. Fassaden von Nachkriegszeitzeilenbauten, nichteinsehbare Flachdächer
- **Mittel** – Eingriffe sorgsam zu wählen; z.B. Steildächer und Fassaden mit visueller Präsenz
- **Hoch** – Eingriffe nur in Ausnahmefällen möglich; z.B. historisch ornamentale Fassaden, historische Dachdeckung.

In gleicher Begrifflichkeit erfolgt eine Bewertung von solaren Potenzialen nach Bebauungstyp am Ende dieser Arbeit. Die dort beschriebenen Handlungsempfehlungen (vgl. Kapitel VII.2) greifen dabei die drei Klassen gering, mittel und hoch auf. Diese Einteilung erfolgt ebenfalls nach subjektiven Bewertungen der unter Kapitel VI identifizierten und beschriebenen Ergebnisse energetischer und leistungsspezifischer Verhaltensweisen.

3.5. Baualtersklassen

Zur übersichtlichen Einordnung baulicher Strukturen zu einer jeweiligen Entstehungszeit, findet sich in der Literatur vielfach der Begriff der Baualtersklasse (vgl. Roth (1980), Everding (2007) und Hegger; Dettmar; Martin et al. (2012c)). Diese Einteilung dient in den genannten Werken neben einer zeitlichen Einordnung auch einer groben Zuordnung zu einer in sich abgeschlossenen bauhistorischen Epoche. Damit einhergehen oftmals auch weitere Merkmale, wie typischerweise verwendete Materialien, Konstruktionsprinzipien, Gestaltungsprinzipien oder Typologien einer jeweiligen Epoche. Als typische Vertreter einer Baualtersklasse können in diesem Zusammenhang zum Beispiel die „Gründerzeitbauten“, die „1950er Zeilenbauten der Nachkriegszeit“, oder die 1970er Jahre Großwohnsiedlungen genannt werden. Bei all diesen Beispielen entstehen beim fachkundigen Leser unmittelbar direkte Bilder einer Typologie, bis hin zur Fassadengestaltung oder sogar von den Charakteren der jeweiligen Freiflächen. Somit dienen die verwendeten Baualtersklassen indirekt auch der Beschreibung typischer Merkmale jeweiliger Architekturen. Im Folgenden wird eine Einteilung von Baualtersklassen nach Everding (2007) verwendet (vgl. Abb. 20).

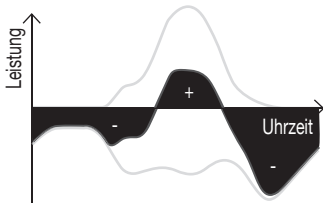


Abb. 21:
Energiedeckung (Integral der Deckungsleistung); Quelle: Eigene Darstellung

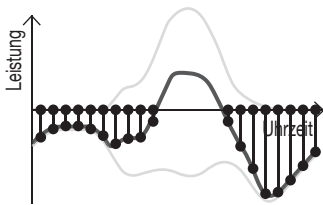


Abb. 22:
Summe negativer Deckungsleistung; Quelle: Eigene Darstellung

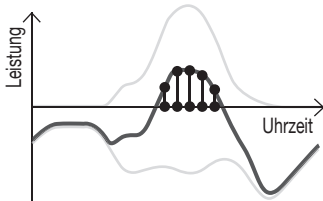


Abb. 23:
Summe positiver Deckungsleistung; Quelle: Eigene Darstellung

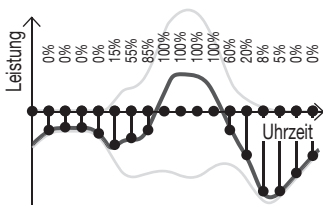


Abb. 24:
Anteil Eigenversorgung; Quelle: Eigene Darstellung

4. Analyseeinheiten (energetische / leistungsspezifische Größen)

4.1. Energiedeckung (Analysegröße energetischer Verhaltensweisen)

Die Energiedeckung beschreibt, wie viel Energie am Ende eines Zeitraumes ‚netto‘ überbeziehungsweise unterproduziert wurde. Dabei werden Überschüsse und Unterdeckungen gegengerechnet und eine Bilanz des Tagesverlaufs erstellt. Mathematisch berechnet sich die Energiedeckung aus dem Integral der Deckungsleistung pro Typtag (vgl. Abb 21).

Bisher wird diese Basisgröße bei ‚klassischen‘ Strombilanzen zum Beispiel von ‚Null-, oder ‚Plusenergiehäusern‘ verwendet. Hierbei wird sie häufig mit dem Begriff „Nutzenergie“, „Nutzstrombedarf“ oder dergleichen umschrieben.

In der vorliegenden Analyse wird neben leistungsspezifischen Betrachtungen die Energiedeckung als Einheit zur Bewertung der Energieeffizienz verwendet.

4.1.1. Summe negativer Deckungsleistung

Die Summe negativer Deckungsleistung beschreibt, wie viel ‚Unterdeckung‘ innerhalb des jeweilig betrachteten Typtages auftritt. Diese muss zur jeweiligen Zeiteinheit aus anderen Quellen als den solaraktiven Systemen nachgespeist werden. Eine Nachspeisung kann dabei aus dem öffentlichen Stromnetz oder aus Speichern erfolgen. Ein kleiner Betrag hierbei bedeutet eine geringe externe Nachfrage und ein hohes Maß an eigenproduziertem Strom (vgl. Abb. 22). Ein hoher Wert hingegen bedeutet eine starke ‚Dissynchronität‘ und damit im Zweifelsfall das Maß einer Netzbelastung.

4.1.2. Summe positiver Deckungsleistung

Die positive Deckungsleistung beschreibt, wie viel ‚Überdeckung‘ innerhalb des jeweilig betrachteten Typtages auftritt (vgl. Abb. 23). Diese kann zum entsprechenden Zeitpunkt nicht verwendet werden und wird entweder zwischengespeichert, in das öffentliche Stromnetz eingespeist, oder das aktive System wird temporär abgeschaltet.

Eine große Summe positiver Deckungsleistung könnte demzufolge neben der Summe negativer Deckungsleistung als Indikator einer Netzbelastung gesehen werden. In der vorliegenden Analyse wird der Summe positiver Deckungsleistung jedoch als nicht belastend eingestuft, da aktive Systeme im Zweifelsfall abgeschaltet werden können und damit eine belastende Überproduktion vermieden werden kann.

4.2. Anteil Eigenversorgung (Analysegröße leistungsspezifischer Verhaltensweisen)

Der Anteil Eigenversorgung beschreibt, wie viel der über solaraktive Systeme produzierten Energie im Gebäude selbst genutzt werden kann. Dieser Wert bildet die zweite wichtige Analysegröße der vorliegenden Arbeit und wird hierbei als Maß einer Leistungseffizienz verwendet (vgl. Abb. 24).

Mathematisch berechnet sich der Anteil Eigenversorgung aus dem Quotienten der Summe negativer Deckungsleistung und dem Gesamtbedarf. Angegeben wird der Anteil Eigenversorgung in Prozent. Ein Wert von 0% Anteil Eigenversorgung bedeutet, dass kein eigenproduzierter Strom zur Deckung des Strombedarfs verwendet wird. 100% bedeutet, dass der gesamte Bedarf über eigenproduzierten Strom gedeckt wird. Da in der vorliegenden Arbeit keine Speicher oder andere Möglichkeiten zur Lastverschiebung berücksichtigt werden, werden Stromüberproduktionen in dieser Analysegröße nicht berücksichtigt und dementsprechend ‚abgeschnitten‘.

5. Bezugseinheiten (formbeschreibende Größen)

5.1. Maß baulicher Dichte (M-GFZ)

In der vorliegenden Analyse wird der Begriff ‚Maß baulicher Dichte‘ verwendet und definitorisch mit den Regularien der Bauleitplanung, dem „Maß baulicher Nutzung“ gleichgesetzt. Das Maß baulicher Nutzung findet eine flächendeckende Anwendung innerhalb der Gesetzgebung in Deutschland. Eine gängige Definition ist in der Baunutzungsverordnung (BauNVO §16ff) aufgeführt und wird dort durch folgende determinierende Setzungen beschrieben:

- Grundflächenzahl (GRZ)
- Geschosßflächenzahl (GFZ)
- der Zahl der Vollgeschosse
- der Höhe baulicher Anlagen

Die weiteren Betrachtungen verwenden als Maß baulicher Dichte ausschließlich die Geschossflächenzahl (GFZ). Die M-GFZ errechnet sich aus der Geschossfläche (GF) und dem Nettobauland (NBL).

$$(3) \quad M - GFZ = \frac{GF}{NBL}$$

Je größer der Betrag des Maßes baulicher Dichte ist, desto mehr bauliches Volumen ist auf dem entsprechenden Betrachtungsraum verortet. Die M-GFZ sagt somit etwas über die ‚Masse‘, beziehungsweise die ‚Massivität‘ der jeweiligen Form aus. Massivität bedeutet für die Energiegewinnung größere absolute Fläche nutzbare Hüllflächen. Gleichzeitig bedeutet eine höhere M-GFZ jedoch auch einen höheren Energiebedarf, resultierend aus den äquivalent größeren Energiebezugsflächen. Somit ist fraglich, inwiefern die Bezugseinheit Maß baulicher Nutzung direkte Rückschlüsse auf das energetische Verhalten liefern kann.

5.2. Maß der Kompaktheit (M-A/V)

Das Maß der Kompaktheit ist ein weiterer wichtiger formbeschreibender Faktor. In der Literatur wird dieses Maß auch A/V („A zu V“), „Formfaktor“ oder einfach „Kompaktheit“ bezeichnet. Es wird aus dem Verhältnis Oberfläche zu Volumen errechnet.

$$(4) \quad M - A/V = \frac{A}{V}$$

Je kompakter ein Bebauungstyp ist, desto kleiner sind in einer relativen Betrachtung deren Oberflächen im Verhältnis zu dessen Volumen. Der Faktor A/V verändert sich nicht linear. Das heißt: Gleich beschaffene Formen (z.B. ein Quader oder eine Kugel) haben bei einem kleinen Volumen ein größeres Maß der Kompaktheit als größere Volumen. Dies resultiert aus der mathematischen Abhängigkeit zwischen dem quadratischen („hoch 2“) Zuwachs der Oberflächen und dem kubikartigen Zuwachs („hoch 3“) des Volumens. Bei gleicher Form wächst hierbei das Volumen ‚schneller‘ als die Oberfläche, weshalb der Quotient insgesamt kleiner wird.

Im Bereich des energieeffizienten Bauens spielt das Maß der Kompaktheit eine wichtige Rolle und wird als Indikator stets ausgewiesen. Je kompakter ein Gebäude ist, desto weniger Wärmeverluste entstehen über die Gebäudehülle. Umgekehrt reduzieren sich jedoch auch die passiven und aktiven Solarenergiegewinne aufgrund reduzierter Oberflächen. Insofern bildet diese Bezugsgröße einen wichtigen Indikator für potenziell nutzbare Solarenergien über die Hüllflächen städtischer Bebauungstypen.

5.3. Maß solarer Kompaktheit (M-Asol/V)

Das Maß solarer Kompaktheit ist eine Modifikation des Maßes der Kompaktheit und betrachtet das Verhältnis solaraktiver Oberflächen zum Bruttovolumen.

$$(5) \quad M - Asol = \frac{Asol}{V}$$

Je kompakter das Maß solarer Exposition ausfällt, desto weniger Ertrag aus Solarsystemen ist zu erwarten. Für die folgenden Untersuchungen wird erwartet, dass eine direkte Abhängigkeit dieser Bezugsgröße und dem solarenergetischen Verhalten des jeweiligen Testkörpers identifizierbar ist.

5.4. Maß solarer Exposition (M-Hab/H)

Das Maß solarer Exposition beschreibt, zu welchem Maß bauliche Strukturen ‚solarexponiert‘ geformt sind. Dabei werden die Abstände der Hauptfassaden von Gebäuden zu gegenüberliegenden benachbarten Bebauungen herangezogen. Die Definition ist vergleichbar mit der Regelung von Abstandsflächen im Baurecht, welche maximal zulässige Tiefen für „umgeklappte“ Fassadenflächen über einen Abminderungsfaktor (z.B. $0,5 \cdot H$) vorgeben. In der vorliegenden Definition errechnet sich das Maß solarer Exposition aus dem Quotienten des Hauptabstands (HAb) und der mittleren Gebäudehöhe (H).

$$(6) \quad M - Hab/V = \frac{Hab}{H}$$

Der Hauptabstand (HAb) ist ein gemittelter Wert aus den Abständen jeweils gegenüberliegender Hauptfassaden. Als Hauptfassaden werden entsprechende Oberflächen herangezogen, welche aufgrund ihrer Größe eine gewisse ‚Relevanz‘ für die Generierung solarer Gewinne besitzen. Je gerichteter eine Struktur ist, desto deutlicher bildet diese entsprechende Hauptfassaden aus. Orthogonal zu den Hauptabständen beschreiben Nebenabstände (NAb) die Abstände zweier Seitenfassaden, auf welchen keine nutzbaren solaren Gewinne erwartet werden.

Solare Exponiertheit entsteht durch die Vergrößerung von Gebäudeabständen untereinander oder durch die Verringerung der Gebäudehöhen. Je größer der Quotient ist, desto größer ist auch das Maß solarer Exponiertheit und desto ‚offener‘ werden Strukturen. Bei einem hohen Maß solarer Exposition ist ein höherer Strahlungsertrag, insbesondere auf Fassadenflächen zu erwarten. Umgekehrt bedeutet ein kleines Maß solarer Exposition auch eine engere Gebäudestellung zueinander mit entsprechend vermindertem Strahlungseingang auf Wand- und steil geneigten Dachflächen. Ein Strahlungsertrag auf flach geneigten oder horizontalen Dächern unterliegt hingegen keinem Einfluss durch das Maß solarer Exponiertheit.

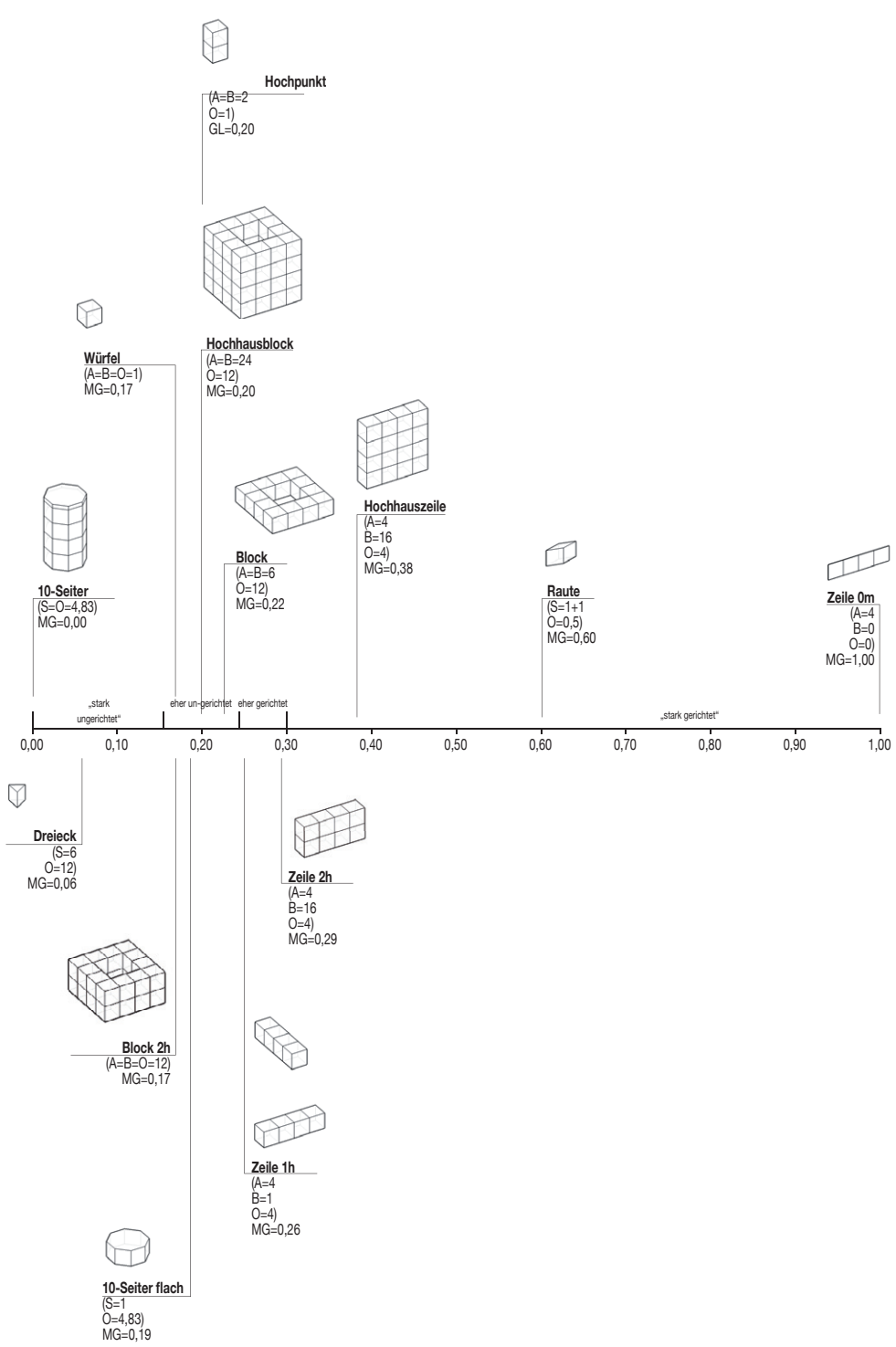


Abb. 25: Maß der Gerichtetheit gängiger Grundformen; Quelle: Eigene Darstellung

5.5. Maß der Gerichtetheit (M-G)

Die Definition dieser formbeschreibenden Bezugsgröße erfolgt in eigener Setzung und beschreibt den Grad primärer Orientierungen von Oberflächen einer Form. Hierbei handelt es sich um einen formbeschreibenden Indikator, welcher neben den beiden eher abstrakteren Indikatoren - dem ‚Maß baulicher Dichte‘ und dem ‚Maß der Kompaktheit‘ - Aussagen über die ‚Plastizität‘ eines Körpers trifft. Diese Charaktereigenschaft beschreibt, ob eine Struktur eher gerichtet oder eher ungerichtet ist. Das heißt, ob ein Volumen gleichmäßig in alle Richtungen ‚blickt‘ (ungerichtet) oder eine oder zwei dominierende Ausrichtungen (gerichtet) vorweist.

Als Beispiel einer maximal ungerichteten Struktur sei an dieser Stelle die Kugel genannt, deren Oberfläche gleichmäßig ausgerichtet ist und exakt gleiche Flächenanteile in alle Richtungen vorweisen kann. Beispiel einer maximal gerichteten Struktur ist ein unendlich dünner Quader, der lediglich nur noch eine Vorder- und eine Rückseite besitzt, die seitlichen, oberen und unteren Flächen hingegen unendlich klein sind. Dieser weist somit nur zwei Oberflächen in entgegengesetzter Richtung auf (vgl. Abb. 25).

Entgegengesetzte Richtungen werden nachfolgend jeweils als Orientierung definiert. Das heißt, ein unendlich dünner Quader mit einer nord- und einer südorientierten Fläche weist demzufolge eine Orientierung auf. Ein nord-süd positionierter Würfel hingegen weist drei Richtungen, Nord-Süd (N-S), Ost-West (O-W) und horizontal (U-D für up-down) auf. Je weniger Orientierungen und je ausgeprägter der Anteil von Oberflächen mit Richtungen dieser Orientierungen ist, desto gerichtet ist diese Struktur. Je mehr Richtungen und je gleichmäßiger der Anteil von Oberflächen mit Richtungen dieser Orientierungen ist, desto ungerichteter ist diese Struktur.

5.5.1. Skalierung

Ausgedrückt wird das Maß der Gerichtetheit auf einer Skala von Null bis Eins. Null ist dabei ein unterer Grenzwert einer maximal ungerichteten, Eins ein oberer Grenzwert einer maximal gerichteten Struktur. Eine maximal gerichtete Struktur (unendlich dünner Quader) kann minimal aus zwei gleichgroßen Seiten bestehen. Das bedeutet, dass eine Fläche maximal 50% Anteil an der Gesamtoberfläche eines Körpers aufweisen kann. Eine minimal gerichtete Struktur (z.B. Kugel) kann theoretisch eine unendliche Anzahl an Oberflächen mit einem Flächenanteil in Richtung 0% aufweisen. Im Modell wird, wie in den folgenden Abschnitten detaillierter erläutert, aufgrund steigender Komplexität eine Reduktion auf fünf Richtungen festgesetzt. Dies führt dazu, dass ein ungerichteter Körper Flächen mit minimal 20% vorweisen kann. Je nach Feinheitgrad der Unterscheidung in Orientierungen muss ein daraus resultierender unterer Flächengrenzwert entsprechend auf Null hin skaliert werden, um eine volle Bandbreite von Null bis Eins abbilden zu können.

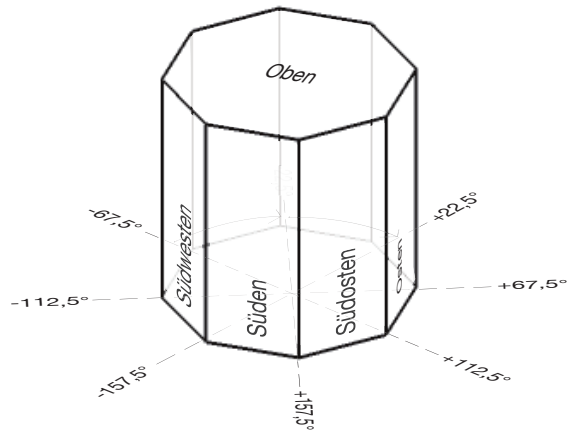
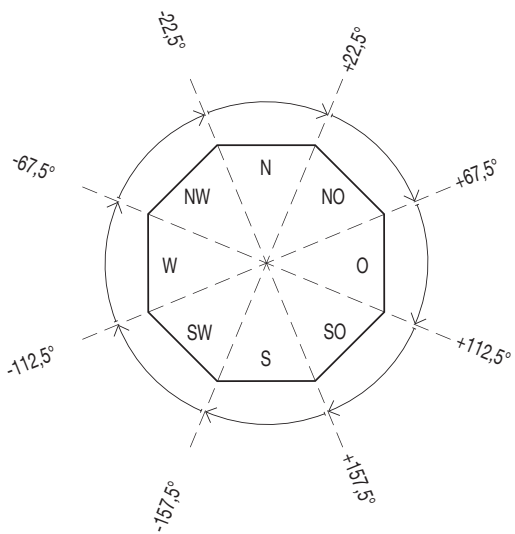


Abb. 26:

Im Modell wird insgesamt in zehn Ausrichtungen von Oberflächen, Norden, Nordosten, Osten, Südosten, Süden, Südwesten, Westen, Nordwesten, Oben und Unten unterschieden; Quelle: Eigene Darstellung

5.5.2. Klassifizierung von Gerichtetheit

Für eine übersichtlichere Handhabung werden innerhalb dieser Bandbreite Bereiche definiert, die Strukturen nach ihrem Maß der Gerichtetheit gruppieren. Insgesamt wird innerhalb der Skala unterschieden nach den Eigenschaften ‚stark ungerichtet‘, ‚eher ungerichtet‘, ‚eher gerichtet‘ und ‚stark gerichtet‘.

Aus Testrechnungen gängiger Typologien wird eine eigene Einteilung festgesetzt. Wie aus Abb. 25 ersichtlich wird, konzentrieren sich die meisten Typologien im Bereich zwischen 0,17 (Würfel) und 0,38 (Hochhausscheibe). Würde eine gleichmäßige Klassifizierung in 0,25er Schritten erfolgen, würden alle gängigen Bebauungstypen als ‚stark ungerichtet‘, bzw. ‚eher ungerichtet‘ klassifiziert. Aus subjektivem Empfinden heraus wird ein Block mit gleicher Länge und Breite als eine eher ungerichtete Struktur, eine Zeile mit gleicher Höhe und Tiefe und deutlich größerer Breite als eine gerichtete Struktur bewertet. Deshalb wird folgende freie Klassifizierung anhand der errechneten Werte untersuchter Typologien festgesetzt:

- ‚stark ungerichtet‘ >0,00 bis <0,15
- ‚eher ungerichtet‘ >0,15 bis >0,25
- ‚eher gerichtet‘ >0,25 bis >0,35
- ‚stark gerichtet‘ >0,35 bis <1,00

5.5.3. Orientierungsanteile

Im vorliegenden Modell werden Oberflächen mit einer Betrachtungsschärfe von zehn Ausrichtungen hin untergliedert. Diese setzen sich aus den vier Himmelsrichtungen Norden, Osten, Süden und Westen, deren Zwischenwinkel Nordost, Südost, Südwest und Nordwest und ‚Oben‘ und ‚Unten‘ zusammen. Eine noch detailliertere Aufgliederung zwischen geringen Winkelunterschieden kann aufgrund steigender Komplexität in der Modellierung nicht erfolgen. Gemäß den geometrischen Informationen zur Ausrichtung („orientation“) und Höhenwinkel („altitude“) aus dem 3D Modell werden prozentuale Anteile dieser orientierten Flächen am Gesamtbetrag aller Oberflächen bestimmt. Entgegengesetzte Ausrichtungen werden aufsummiert und ergeben den Anteil folgender Orientierung:

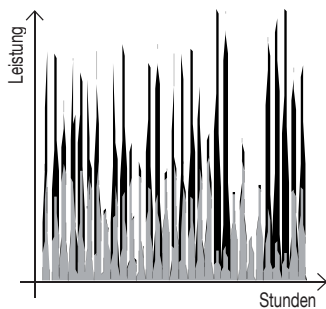
- Nord-Süd (N-S)
- Nordost-Südwest (NO-SW)
- Ost-West (O-W)
- Nordwest-Südost (NW-SO)
- Horizontal (U-D)

Somit unterscheidet das vorliegende Modell fünf Orientierungen von Oberflächen (vgl. Abb. 26). Als Vergleichsmöglichkeit energetischen Verhaltens werden diese Orientierungen im Modell jeweils als eigene Bezugsgröße ausgewiesen. Dadurch kann vergleichend geprüft werden, inwiefern orientierungsrelevante Formeigenschaften Auswirkungen auf die zu betrachtende Analysegröße haben.

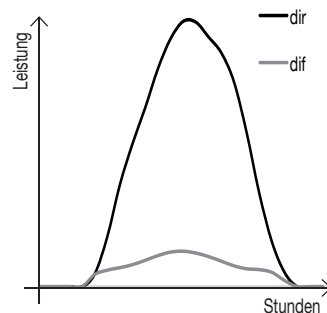
KAP. III

**Entwicklung
leistungsspezifischer
Typtage und Szenarien der
Potenzialnutzung**

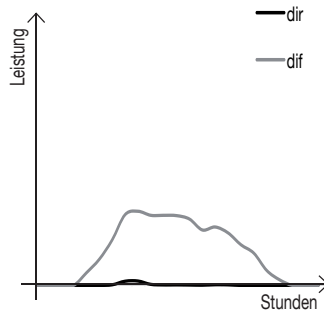
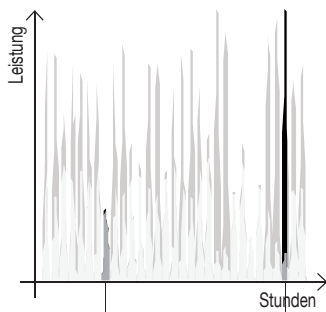
Abbildungen zu: Strahlungsmodell



volatiler Strahlungsverlauf in der Periode vom 05.06. bis 05.07.

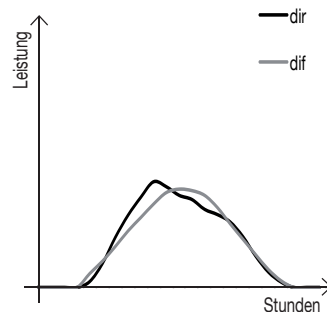


Strahlungsverlauf am 11.06. mit großen Direktstrahlungsleistungsspitzen



Strahlungsverlauf am 02.07. ohne Direktstrahlung, dafür größerem Betrag an Diffusstrahlung

Mittelwerte



über die Periode vom 05.06. bis 05.07. gemittelter Strahlungsverlauf mit fast gleich großen Direkt- und Diffusstrahlungsleistungen

Abb. 27: Problematik des Informationsverlustes im Bereich von Leistungsspitzen bei der Mittelung von Strahlungswerten über einen längeren Zeitraum (Hier Periode vom 05.06. bis 05.07.); Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von Strahlungswerten aus MeteoNorm

>> Informationen zu ‚Spitzen‘ gehen durch Mittelung verloren

1. Entwicklung leistungsspezifischer Typtage

Für eine leistungsspezifische Analyse ist eine andere zeitliche Auflösung erforderlich, wie sie derzeit bei energetischen Betrachtungen üblicherweise angewendet wird. Der Strommarkt verwendet hierfür eine viertelstündliche, in manchen Fällen auch eine stündliche Zeiteinheit, Klimamodelle zur Bewertung von Extremereignissen (z.B. Starkregen, maximale Einstrahlung, etc.) in der Regel eine Genauigkeit von einer Stunde.

Die Wahl der Stunde als kleinste Einheit einer Betrachtung erfolgt in der vorliegenden Arbeit aus verschiedenen Gründen. Zum Einen erschienen zeitlich variable Schwankungen im Strombedarf in dieser ‚Körnigkeit‘ noch hinreichend genau, zum Anderen liegen hierfür bereits verschiedene Quellenwerte vor, welche einfach in ein Energiemodell integriert werden können. Hierbei handelt es primär um klimatische Werte wie der Globalstrahlung. Diese wird in gängigen Klimadatensätzen in Stundenwerten angegeben. Daneben liefern Energieversorger sogenannte Standardlastprofile, die sogar in einer viertelstündlichen Auflösung Strombedarfe auflisten.

Ein Jahr hat insgesamt 8760 Stunden. Dies bedeutet, dass bei einer leistungsspezifischen Analyse auch alle 8760 Stunden im Jahr entsprechend bilanziert und bewertet werden müssen. Dies trifft zumindest auf die Berechnung von Strombedarfen zu, da diese ganztägig in schwankenden Beträgen auftreten. Im Hinblick auf die Berechnung von Potenzialen aus Solarstrahlung kann die Anzahl der Stunden auf circa 5840 Stunden pro Jahr reduziert werden. Die nächtlichen Stunden nach Sonnenuntergang und vor Sonnenaufgang ergeben hierbei kein Potenzial und können entsprechend ‚abgeschnitten‘ werden.

Nach ersten Versuchen in einem frühen Stadium der Entwicklung des Energiemodells zeigt sich, dass auch eine Berechnung der reduzierten Anzahl von 5840 Tagesstunden mit den zur Verfügung stehenden Rechnerleistungen nicht durchzuführen ist. Insofern bedürfen die Betrachtung und der Vergleich stundenweiser Verhaltensweisen einer Vereinfachung und Reduktion auf eine handhabbare Größe. Aus diesem Grund wird die Entwicklung leistungsspezifischer Typtage für die vorliegenden Untersuchungen gewählt. Hierbei handelt es sich um repräsentative Tage, mit denen Hochrechnungen auf das gesamte Jahr erfolgen können. Dadurch kann die Komplexität von Rechenprozessen deutlich reduziert und dennoch eine ausreichende Genauigkeit in der Betrachtungsschärfe garantiert werden.

Für die Entwicklung entsprechender Typtage wird in einem ersten Schritt eine detaillierte Untersuchung klimatischer Eigenheiten anhand von repräsentativen Klimadaten durchgeführt. Nach der Bestimmung einer ‚Mindestauflösung‘ und der Benennung einer mindestens notwendigen Anzahl von Typtagen, welche die klimatischen Veränderungen innerhalb eines Jahres ausreichend genau abbilden, werden diesen Typtagen Häufigkeiten zugeordnet, anhand derer eine Hochrechnung auf das gesamte Jahr erfolgen kann. Daneben werden Untersuchungen zu Bedarfsverläufen in Abhängigkeit zur Art der Nutzung erstellt. Hierbei wird auf bekannte Bedarfsdatenätze (z.B. EON Mitte AG 2012) zurückgegriffen und gemäß einer Einteilung nach (Kalab 2006) in Typtage – Werktag, Samstag, Sonntag unterteilt.

Diese beiden unterschiedlichen Ansätze, ‚Klima-Typtag‘ und ‚Bedarfs-Typtag‘ werden anschließend miteinander überlagert und zu entsprechenden leistungsspezifischen Typtagen fortgeschrieben.

1.1. Typisierung von Strahlungseigenschaften

1.1.1. Hintergrund und Problemstellung

Den geplanten Untersuchungen wird in Anlehnung an die DIN V 18599 (2013) das deutsche Referenzklima für energetische Bilanzierungen - Potsdam zugrunde gelegt. Für eine Beschreibung von Auswirkungen einer Orientierung von Oberflächen baulicher Strukturen auf die Synchronisation von zeitlich variablen Strombedarfen und ebenfalls zeitlich variablem Strombereitstellungspotenzial wird ein realitätsnahes Strahlungsmodell benötigt, welches neben kumulierten Mengen auftreffender Globalstrahlung auch leistungsbezogene Strahlungsspitzen abbildet (vgl. Abb. 28). Gängige Klimadatensätze wie DIN V 4108-6 (2003), welche vor allem für statische thermische Bilanzen herangezogen werden, weisen lediglich über einen längeren Zeitraum (z.B. Monat, Jahreszeit) gemittelte Stundenwerte aus. Dabei werden Werte für Direkt- und Diffusstrahlung an sonnigen Tagen und bewölkten Tagen des jeweiligen Betrachtungszeitraums summiert und durch die Anzahl an Tagen geteilt. Resultat dieser Mittelung ist ein rechnerisch großer (je nach Klimazone teilweise über 50%) Anteil der Diffusstrahlung an vorliegender Globalstrahlung, mit ‚gekappten‘ Leistungsspitzen (vgl. Abb. 27). Eine leistungsbezogene Analyse bedarf aber gerade dieser Strahlungsspitzen.

Da bisher keine Strahlungsmodelle vorliegen, welche volatile Effekte und Leistungsspitzen berücksichtigen, ist es erforderlich, eine entsprechende Typisierung von Wetterdaten neu zu entwickeln.

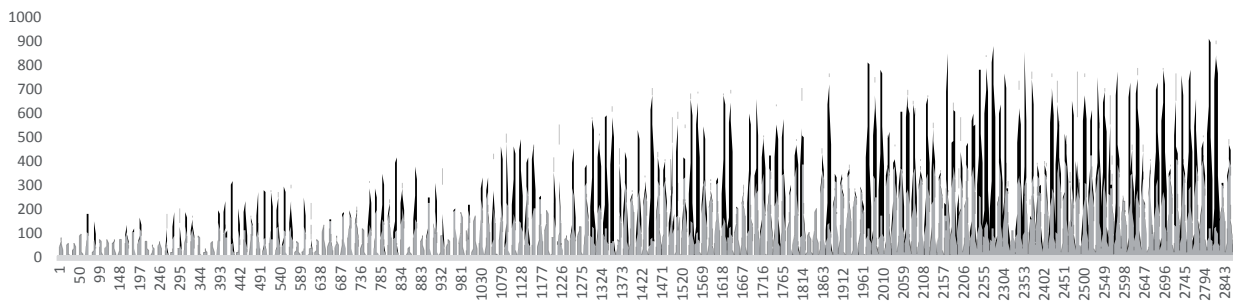


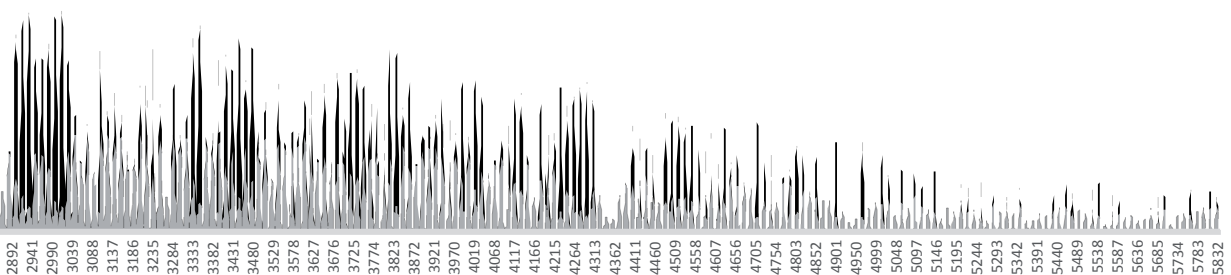
Abb. 28:
Stündliche Direkt- und Diffusstrahlung
am Standort Potsdam im Jahresverlauf;
Quelle: Eigene Darstellung auf Daten-
grundlage von MeteoNorm

1.1.2. Methode zur Typisierung von Strahlungseigenschaften

Im Rahmen der Entwicklung eines für die geplante Analyse geeigneten Strahlungsmodells werden im Folgenden die wichtigsten Einflussfaktoren im Energiemodell untersucht. Da sich diese Arbeit der Untersuchung von formspezifischen Eigenschaften wie Orientierung, Maß der Kompaktheit, Maß der Gerichtetheit und Maß baulicher Dichte auf eine Synchronisationsfähigkeit von Strombedarfen und Strombereitstellungspotenzialen konzentriert, müssen insbesondere gerichtete Strahlungsanteile realitätsnah abgebildet werden. Eine gerichtete Strahlung ist in der Regel die Direktstrahlung.

Diffusstrahlung wird hingegen je nach Bewölkungsgrad und Trübungsfaktor stärker bis komplett in alle Richtungen diffus reflektiert. Somit wirkt sich Diffusstrahlung zwar auf den Betrag der Jahresbilanz aus, hat aber bei maximaler ungerichteter Streuung keine Auswirkungen auf die Orientierung von aktiven Systemen. Ein maximal ungerichteter Strahlungsertrag kann dementsprechend bei gleicher Neigung in gleichem Betrag auf einer Nord-, Ost-, Süd- oder Westoberfläche gewonnen werden. Somit entscheidet nur der Direktstrahlungsanteil über den Einfluss der Orientierung und ist bei der Modellierung eines geeigneten Strahlungsmodells entsprechend zu berücksichtigen.

Insgesamt lassen sich zwei wesentliche Einflussfaktoren auf den Betrag und Richtung von Solarstrahlung identifizieren, den Sonnenjahresverlauf (Einflussgrößen: Einfallswinkel, Himmelsrichtung) und die Verteilung von Direkt- und Diffusstrahlung nach Wetterlage. Beide werden folgend näher analysiert. Darauf aufbauend wird erläutert, wie diese in den entwickelten Typtagen Berücksichtigung finden.



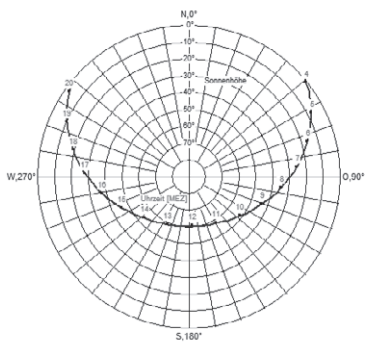
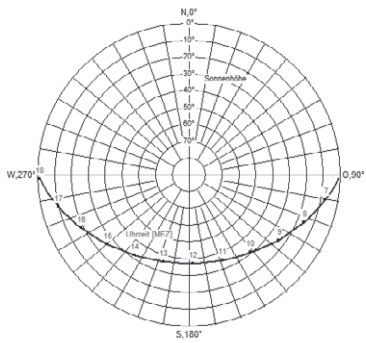
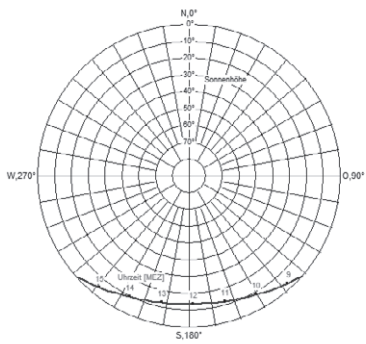


Abb. 29:
 Schemabilder zum Sonnenverlauf vom
 21.12. / 21.03. / 21.06. am Standort
 Potsdam; Quelle: Stadtklima Stuttgart
 (2014)

Der Sonnenjahresverlauf

Im Sommer (21.06.) geht die Sonne am Standort Potsdam um 3:45 Uhr im Nordosten auf und um 20:34 Uhr im Nordwesten wieder unter. Demzufolge werden Fassaden und steil geneigte Dächer Ost-West-orientierter Gebäude intensiv in den Morgen- und Abendstunden beschienen. Fassaden von Nord-Süd-orientierten Gebäuden werden in den Sommermonaten hingegen weniger stark besonnt. Der größte Strahlungsertrag erfolgt im Sommer auf flach geneigten Süddächer.

Im Winter (21.12.) geht die Sonne am Standort Potsdam um 8:16 Uhr im Südosten auf und um 15:56 Uhr im Südwesten wieder unter. Fassaden und Dächer von Ost-West-orientierten Gebäuden werden zu dieser Zeit weniger stark besonnt. Der größte Strahlungsertrag fällt auf Südfassaden und steil geneigten Süddächern an.

Wie beide Beschreibungen zeigen, hat der jahreszeitliche Sonnenverlauf einen wesentlichen Einfluss auf den Betrag und Richtung von Direktstrahlung. Somit sind jahreszeitliche Veränderungen von Einstrahlungswinkeln in einem Strahlungsmodell entsprechend detailliert zu berücksichtigen.

Für eine Typisierung des Strahlungsmodells wird eine Einteilung des Sonnenjahresverlaufs in Perioden gewählt. Hierbei wird eine monatsweise Einteilung als ausreichend detailliert erachtet, da sich der Azimut um 12:00 Uhr von Monat zu Monat in einer Bandbreite von minimal $1,6^\circ$ bis maximal $5,9^\circ$ im Vergleich zum jeweiligen Monatsmittelwert verändert. Durch die Symmetrie der Sonnenlaufbahn zwischen den beiden Sonnenwenden vom 21.012. und 21.06. kann die Anzahl an Perioden auf insgesamt sechs reduziert werden. Die Sonnenwenden bilden im weiteren Verlauf auch die Mittelwerte gewählter Stufen. Bei einer ‚Stufenbreite‘ von einem Monat beginnt somit eine Stufe immer jeweils um den 05. eines jeden Monats. Insgesamt werden im vorliegenden Strahlungsmodell Perioden gemäß Tab. 4 ausgebildet.

Periode	Mittelwert	Grenzen
I.	21.12.	06.12. bis 04.01.
II.	21.01 / 21.11.	05.01. bis 04.02 und 04.11. bis 05.12.
III.	21.02. / 21.10.	05.02. bis 06.03 und 06.10. bis 04.11.
IV.	21.03. / 21.09.	07.03. bis 04.04 und 05.09. bis 05.10.
V.	21.04. / 21.08.	05.04. bis 05.05 und 05.08. bis 04.09.
VI.	21.05. / 21.07.	06.05. bis 04.06 und 06.07. bis 04.08.
VII.	21.06.	05.06 bis 05.07.

Tab. 4:
Gliederung von Perioden des Sonnenjahresverlaufes mit Mittelwerten und Grenzen; Quelle: Eigene Darstellung

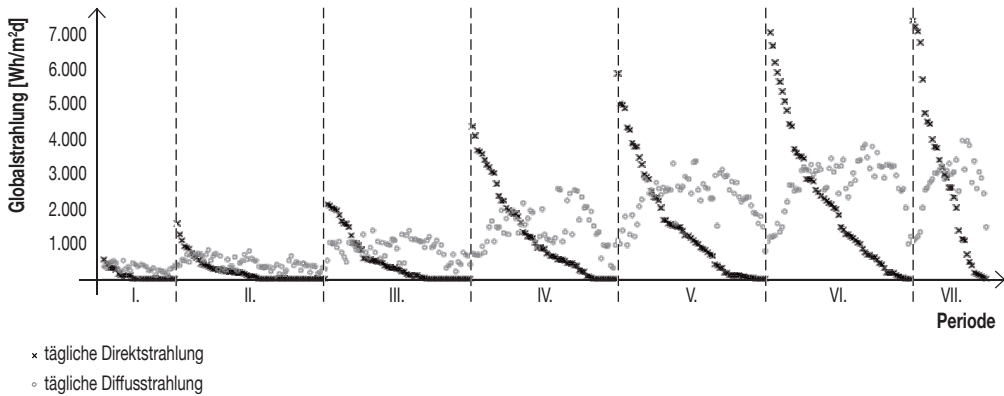


Abb. 30:
 Häufigkeitsverteilung mit nach Größe sortierten täglichen Direktstrahlungswerten und deren zugehörige Diffusstrahlungswerte innerhalb der definierten Perioden I. bis VII.; Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage von Meteonorm, Standort: Potsdam

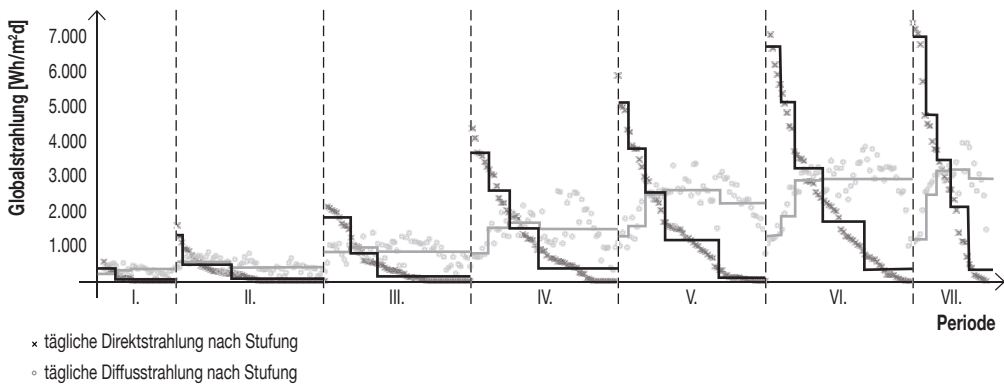


Abb. 31:
 Vereinfachte Häufigkeitsverteilung täglicher Direktstrahlungswerte mit zugehöriger Diffusstrahlung innerhalb der definierten Perioden als Typisierungsstufen für das Strahlungsmodell. Innerhalb einer Stufe werden stündliche Mittelwerte aus allen Stundenwerte einer Stufe gebildet; Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage von Meteonorm, Standort: Potsdam

Bewölkungs- und Trübungsgrad der Atmosphäre

Die Analyse stundenscharfer Klimadatensätze (Quelle: MeteoNorm) am Standort zeigt, dass Betrag und Verhältnis von Direkt- und Diffusstrahlung je nach Wetterlage stark variieren. Tendenziell entwickeln sich die Anteile Direkt- und Diffusstrahlung bis zu einem gewissen Grad gegenläufig. Das heißt, dass mit zunehmender Bewölkung der Betrag der Direktstrahlung ab- und die Diffusstrahlung zunimmt. An einem klaren und wolkenfreien Tag kann sich die Diffusstrahlung auf unter 100 Watt pro Quadratmeter einer Horizontalfläche reduzieren. Insgesamt hängt der Betrag an Diffusstrahlung an sonnigen Tagen jedoch stark von Einflussfaktoren wie Luftverschmutzung und Feuchtigkeitsgehalt ab.

Je größer Bewölkungsgrad und Trübungsfaktor in der Atmosphäre sind, desto stärker reduziert sich der Direktstrahlungsanteil zugunsten der Diffusstrahlung. Insgesamt reduziert sich der Direktstrahlungsanteil bei einer gänzlich geschlossenen Wolkendecke auf einen zu vernachlässigenden Restbetrag, ab einer bestimmten Dichte des Bewölkungsgrades liegt überhaupt keine Direktstrahlung mehr vor.

Ab einem Bewölkungsgrad von 100% liegt ausschließlich ungerichtete Diffusstrahlung vor, welche sich bei den vorliegenden Untersuchungen nur noch auf den Betrag zu erntender Energien, hingegen nicht mehr auf die Orientierung von aktiven Systemen und Oberflächen auswirkt. Steigt die Dichte und Dicke der geschlossenen Wolkendecke weiter, reduziert sich auch noch der verbliebene Betrag an Diffusstrahlung.

Ordnet man alle Beträge täglicher Direktstrahlung innerhalb o.g. Perioden ihrer Größe nach (vgl. Abb. 30), lassen sich zuvor beschriebene Wettersituationen auch grafisch abbilden. Lediglich Direktstrahlung weist im zeitlichen Verlauf Richtungskomponenten auf. Diese können einen Einfluss auf die in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Bewertungen von Orientierungen haben. Diffusstrahlung hingegen trifft in den meisten Strahlungsmodellen gleichmäßig aus allen Richtungen auf Oberflächen. Hier kann sich im Hinblick auf die vorliegenden Untersuchungen maximal der Öffnungsanteil zur Himmelkugel auf eine Bewertung von Richtungen auswirken.

Für die geplanten Untersuchungen wird eine Typisierung von Strahlungssituationen anhand der Verteilungskurven der Direktstrahlung vorgenommen.

Im weiteren Verfahren werden somit ‚Strahlungsstufen‘ definiert, welche in den Bereichen des oberen Grenzwertes enger, in den Bereichen des unteren Grenzwertes weiter gestuft sind. Insgesamt ergeben sich aus dieser Einteilung 27 Strahlungstypage, für welche jeweils Stundenwerte simuliert werden müssen (vgl. Abb. 31). Insgesamt erfordert diese Typisierung eine Berechnung von 432 Stunden (jeweils von 5:00 Uhr bis 20:00 Uhr pro Tag). Demgegenüber erfordert eine Betrachtung aller Stunden im Jahr von 5840 Stunden (ebenfalls jeweils von 5:00 Uhr bis 20:00 Uhr pro Tag) und benötigt somit ungefähr das zehnfache an Rechnerkapazität.

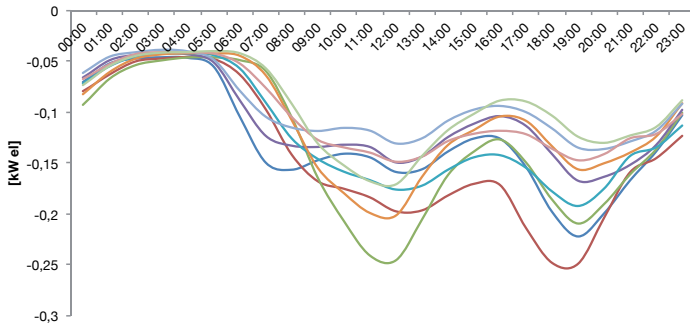


Abb. 32:
Standardlastprofil Haushalte (H0) an den
Tryptagen Werktag, Samstag und Sonnt-
tag in den Perioden I, IV und VII; Quelle:
Eigene Darstellung auf Datengrundlage
von EON Mitte AG (2012)

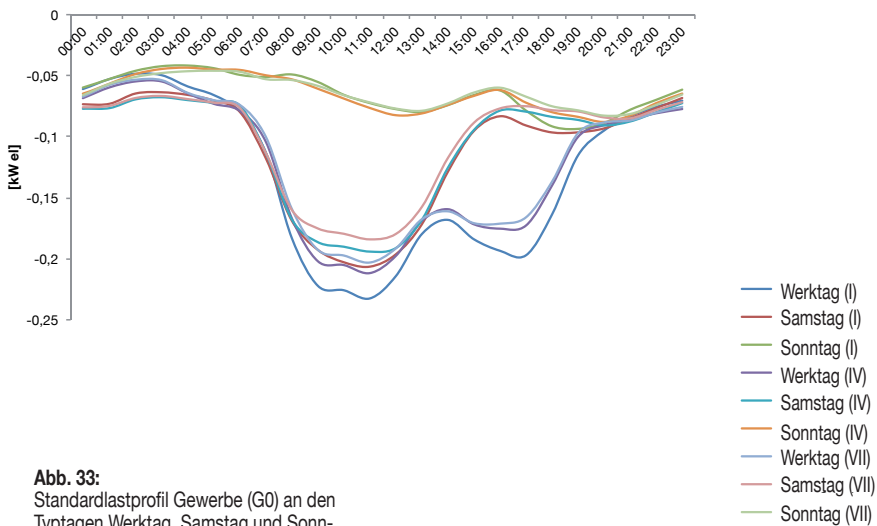


Abb. 33:
Standardlastprofil Gewerbe (G0) an den
Tryptagen Werktag, Samstag und Sonnt-
tag in den Perioden I, IV und VII; Quelle:
Eigene Darstellung auf Datengrundlage
von EON Mitte AG (2012)

1.2. Typisierung von leistungsspezifischen Strombedarfen

Als Grundlage zur Ermittlung zeitlich variabler Bedarfsleistungen werden Standardlastprofile für die Nutzungen Haushalt (H0) und Gewerbe (G0) herangezogen. Hierbei werden Rohdatensätze der EON Mitte AG (2012) für das Bundesland Nordrhein-Westfalen und das Jahr 2012 verwendet. Diese über die Webseite des Energieversorgers bereitgestellten Datensätze sind fortlaufend in viertelstündigen Zeitschritten aufgelistet und beziehen sich auf einen Jahresstrombedarf von 1.000,00 kWh el /a. Vor einer Nutzung müssen diese jedoch aufbereitet und für das Modell entsprechend angepasst werden.

In einem ersten Schritt werden die viertelstündigen Werte der Rohdatensätze ‚abstrahiert‘ und auf Stundenwerte gemittelt. Danach werden alle Stundenwerte in die oben beschriebenen Perioden sortiert. Gemäß den Untersuchungen von Kalab (2006 S.1) variiert der Tagesverlauf primär zwischen Werktag, Samstag und Sonntag. Aus diesem Grund wird für jede Periode aus den Datensätzen jeweils ein Tagesverlauf für die Typtage ‚Werktag‘, ‚Samstag‘ und ‚Sonntag‘ gemittelt.

Das Ergebnis ist eine stundenscharfe Bedarfsaufstellung nach Typtagen oben beschriebener Perioden. Mit diesen leistungsspezifischen Typtagen lassen sich einerseits differenzierte ‚Momentaufnahmen‘ eines Lastverhaltens, andererseits eine annähernd genaue Hochrechnung eines Jahresbedarfs abbilden.

Um auch Mischnutzungen leistungsspezifisch abbilden zu können, werden beide Verlaufskurven über einen prozentualen Anteil miteinander verschnitten (vgl. Abb. 34). Damit lassen sich stufenlos alle Anteile Wohnen – Gewerbe in den folgenden Untersuchungen abbilden. Interessanterweise lässt sich bereits bei einer qualitativen Bewertung der Verlaufskurven eine geringere Schwankung bei einer Nutzungsmischung von 50% Wohnen und 50% Gewerbe feststellen. Hier scheinen die beiden Kurven der Bedarfsleistungen von H0 und G0 ein Stück weit konrazyklisch zu verlaufen.

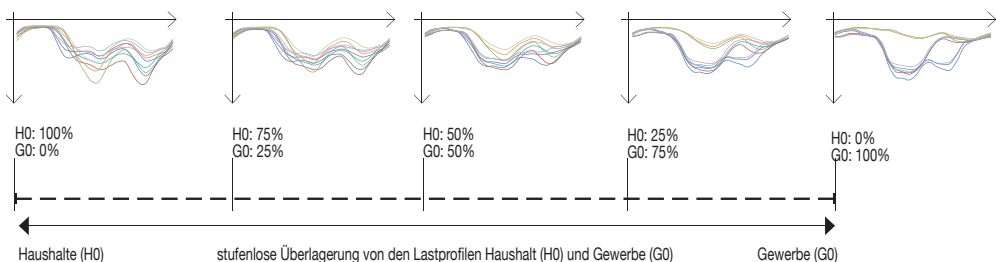


Abb. 34:
Stufenlose Verschneidung der Lastprofile Haushalt (H0) und Gewerbe (G0) zu Mischnutzungen; Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage von EON Mitte AG (2012)

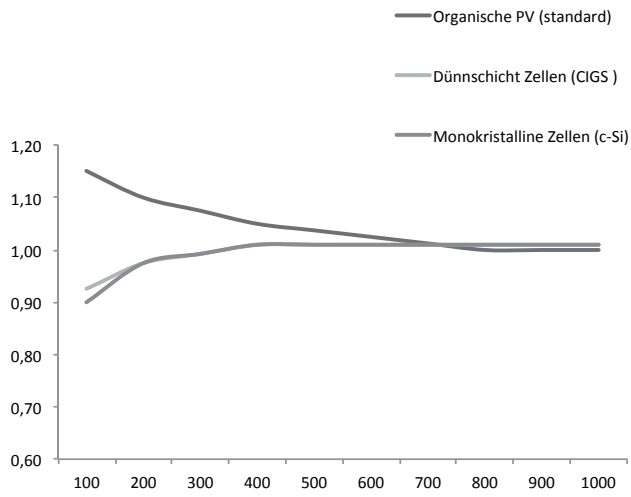


Abb. 35:
 Veränderung von Modul-Wirkungsgraden
 bei Schwach- und Starklicht
 Quelle: Eigene Darstellung auf Daten-
 grundlage von Heliatek (2014)

2. Entwicklung von Szenarien zur Nutzung aktiver Solarsysteme

2.1. Aktive Systeme, Funktion und Wirkungsweise

Seit Anfang des neuen Jahrtausends wird die Photovoltaik über das Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG mit einer auf zwanzig Jahre garantierten Einspeisevergütung gefördert. Dies hat zu einem rasanten Ausbau dieses Systems geführt. Waren im Jahr 2002 gerade einmal 114 Megawattpeak (vgl. Statista 2014) Photovoltaik installiert, wuchs die installierte Leistung dieses Systems bis 2013 auf 35.948 Megawattpeak (vgl. ebd. 2014). Durch diesen Zuwachs und der damit verbundenen gestiegenen Nachfrage sind seitdem die Systempreise kontinuierlich gesunken. Beliefen sich die Kosten pro Kilowatt Peak im Jahr 2007 noch auf 4,9€/Wp, fielen diese bis zum Jahr 2013 auf 1,8€/Wp (vgl. ISE 2014 S.8). Parallel dazu wurde die gesetzlich garantierte Einspeisevergütung von 56ct/kWh im Jahr 2004 auf 14ct/kWh im Jahr 2014 (vgl. ebd. 2014 S.9) gesenkt. Seit 2012 liegt damit die Einspeisevergütung für neue Anlagen an Gebäuden unterhalb des durchschnittlichen Brutto Strompreises für Haushalte. Der reine Verkauf von Strom aus Photovoltaik lohnt sich seit diesem Zeitpunkt nicht mehr. Stattdessen tritt die Eigenversorgung in den Vordergrund. Unter dem Gesichtspunkt des reinen Verkaufs erwirtschaften aufgrund der solaren Strahlungssituationen die 30°-südgeneigten Dächer den höchsten Jahresertrag. Zur Erhöhung des Anteils Eigenversorgung hingegen könnten andere Orientierungen lukrativ werden.

Das System Photovoltaik hat sich seit seiner vermehrten Verbreitung in unterschiedliche Subsysteme weiterentwickelt. Einige dieser Subsysteme sind technisch mittlerweile ausgereift, andere sind noch mitten in der Entwicklung. Im Folgenden werden die wesentlichen und für die vorliegende Analyse wichtigsten Wirkungsweisen verschiedener Photovoltaik - Systeme beschrieben und miteinander verglichen.

Übersicht Systeme:

- Polykristalline Zellen
- Monokristalline Zellen
- Dünnschichtzellen
- Organische Zellen

Wie bei der Entwicklung leistungsspezifischer Typtage (vgl. Kapitel III.1 Entwicklung leistungsspezifischer Typtage) bereits beschrieben, überwiegen mehrheitlich Tage mit Diffusstrahlung im Schwachlichtbereich. Um eine möglichst hohe Strombereitstellung aus Photovoltaiksystemen an diesen Tagen zu ermöglichen, müssen diese ein entsprechend gutes Schwachlichtverhalten aufweisen. Etablierte Systeme wie monokristalline oder polykristalline Zellen erzielen hohe Wirkungsgrade im Starklichtbereich. Dadurch erzielen sie im Jahresmittel den höchsten Ertrag. Im Schwachlichtbereich vermindert sich deren Wirkungsgrad jedoch stark, so dass der Ertrag in diesen Zeiten stark zurückgeht. Neue Systeme wie Dünnschichtzellen oder organische Photovoltaik reagieren hier anders. Sie weisen geringere Wirkungsgrade als die ‚etablierten‘ Systeme auf, weshalb der Jahresertrag geringer ausfällt. Allerdings verzeichnen sie unter Schwachlicht keinen Einbruch der Wirkungsgrade (vgl. Abb. 35). Insbesondere bei neuen Entwicklungen im Bereich organischer Photovoltaik verbessern sich Wirkungsgrade sogar je schwächer die Einstrahlung wird (vgl. Heliatek 2014). Die Entwicklung dieses Systems hat aber erst begonnen. Wirkungsgrade von 12% (ebd. 2014) unter Laborbedingungen lassen hier noch eine weitere Steigerung von Wirkungsgraden unter realen Bedingungen prognostizieren.

In den folgenden Vergleichen verschiedener Systeme werden potenzielle Stromerträge nach definierten Typtagen (vgl. Kapitel III.1 Entwicklung leistungsspezifischer Typtage) einander gegenübergestellt. Diese Betrachtung dient der Festsetzung von Wirkungsgraden für die Datenbanken des entwickelten Energiemodells. Wie in Abb. 36 zu erkennen ist, produziert eine monokristalline Zelle an sonnigen Tagen mit Starklicht einen höheren Stromertrag als zum Beispiel organische Photovoltaik. An bewölkten Wintertagen (vgl. hierzu Abb. 37) liefert die organische Photovoltaik oder die Dünnschichtzelle höhere Erträge als die monokristalline Zelle.

Typtag 23 (VII.-1): Sonniger Tag im Sommer

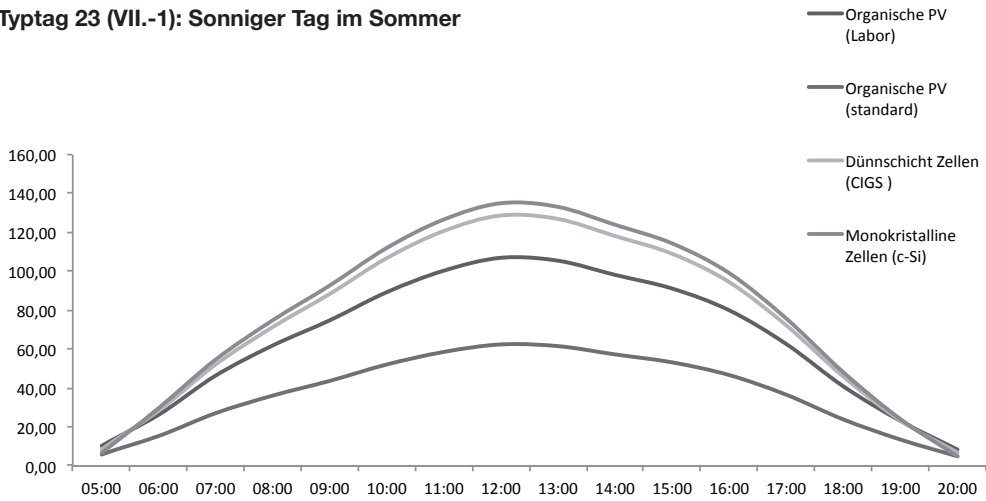


Abb. 36: Vergleich des Stromertrags unterschiedlicher Photovoltaik Systeme an einem sonnigen Tag im Sommer. >> etablierte Systeme (z.B. Monokristalline Zellen) bringen den höchsten Ertrag; Quelle: Eigene Darstellung

Typtag 2 (I.-2): Bewölkter Tag im Winter

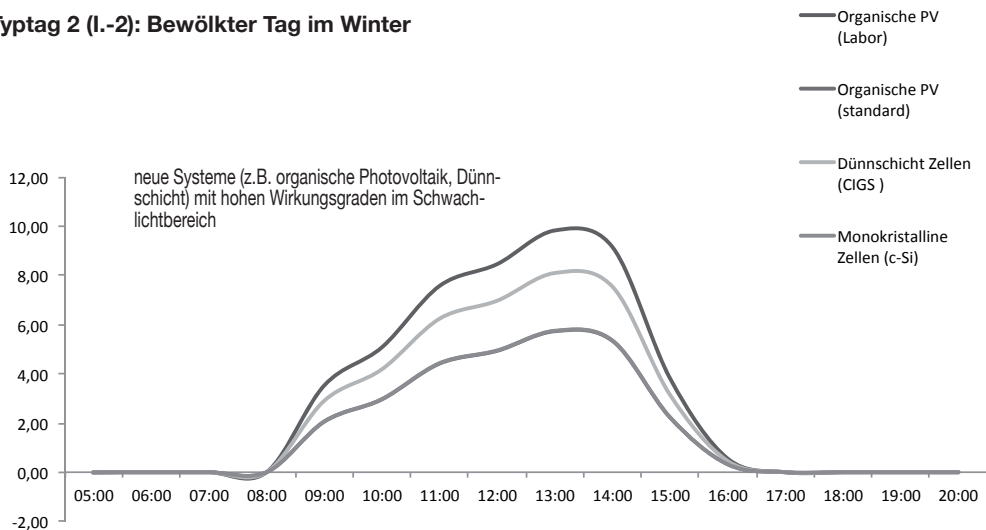


Abb. 37: Vergleich des Stromertrags unterschiedlicher Photovoltaik Systeme an einem bewölkten Tag im Winter. >> etablierte Systeme (z.B. Monokristalline Zellen) bringen den niedrigsten Ertrag; Quelle: Eigene Darstellung

Die Studien zum Stromertrag nach Typtagen haben gezeigt, dass Systeme mittlerweile auch unter Schwachlicht mit gleichen Wirkungsgraden arbeiten, wie unter Starklicht. Für die folgenden Untersuchungen mittels Energiemodell wird daher eine vereinfachte Festsetzung eines Wirkungsgrades für alle Strahlungsintensitäten getroffen. Als realistischer Pauschalwert wird dabei ein Systemwirkungsgrad von 12% festgesetzt. Dieser wird in den folgenden Simulationen von Testkörpern und Bebauungstypen als Fixgröße herangezogen.

2.2. Flächenpotenziale im Stadtraum zur Nutzung aktiver Systeme

Für eine Betrachtung solarenergetischer Potenziale werden im entwickelten Energiemodell Oberflächen als Träger aktiver Systeme herangezogen. Je nach Beschaffenheit des Bebauungstyps können mehr oder weniger große Mengen Energie ‚gesammelt‘ werden.

Der Betrag, welcher über entsprechende Systeme generiert werden kann, hängt in erster Linie vom spezifischen Globalstrahlungsangebot ab, dessen Höhe durch Ausrichtung, der Eigen- und Fremdverschattung maßgeblich beeinflusst wird. Je geringer die Eigen- und Fremdverschattung ist, desto größer werden die spezifischen Energieerträge auf jeweiligen Systemflächen.

Neben hohen spezifischen Einstrahlungswerten spielt auch die Größe der ‚Erntefläche‘ eine wesentliche Rolle im Hinblick auf absolute Mengen bereitzustellender Energie. So kann zum Beispiel eine flächenmäßig große Oberfläche (z.B. ein Norddach oder eine Ostfassade, etc.), welche aufgrund ihrer Ausrichtung oder ihrer Eigen- und Fremdverschattung einen nur verminderten spezifischen Ertrag erbringt, absolut betrachtet dennoch einen signifikanten Beitrag bei der Energiebereitstellung durch die schiere Größe der ‚Erntefläche‘ liefern. Lässt man den wirtschaftlichen Aspekt hierbei einmal außer Acht, könnten energetisch weniger exponierte Oberflächen dennoch eine lokale Strombereitstellung unterstützen.

In den vorliegenden Untersuchungen spielt nun die zeitliche Komponente des Potenzials neben der Menge bereitgestellter Energie ebenfalls eine wichtige Rolle. Bei der Bereitstellung von Strom speziell in den Morgen oder Abendstunden können gerade aufgrund des Sonnentagesverlaufes Ost- und West Ausrichtungen von Oberflächen interessant werden. Dementsprechend gilt es, Potenziale auch dieser Flächen entsprechend zu identifizieren (vgl. maximales Potenzial).

Aus den bisher geschilderten Wirkungsweisen könnte nun der Schluss gezogen werden, pauschal alle Oberflächen für eine Potenzialstudie heranzuziehen. Eine Integration von aktiven Systemen speziell in Fassaden ist aufgrund von Flächenkonkurrenzen anderer Nutzungen indessen maximal nur in Teilbereichen möglich. So wird die Fläche einer Fassade zu einem nicht unerheblichen Anteil durch Öffnungen (Fenster, Türen, etc.) in Anspruch genommen, welche auch bei einer maximalen Nutzung aller Oberflächen nicht einfach mit aktiven Systemen überzogen werden können. Daneben gibt es weitere untergeordnete Bauteile (Balkone, Gesimse, Schilder, etc.), welche je nach Situation eine Nutzung verbliebener Fassadenflächen weiter reduzieren können.

Ähnliches gilt auch für Dachflächen, bei welchen technische Aufbauten wie Anlagen, Schornsteine, Antennen, oder baulich- architektonische Elemente wie Dachgauben, Attika, Brandwandüberstände einerseits direkt entsprechende Bruttoflächen reduzieren, andererseits auch noch ihre benachbarten, nicht verbauten Dachflächen teilweise beträchtlich verschatten. Somit ist es erforderlich, Bruttodachflächen gleichfalls über Abminderungsfaktoren auf ein realistisches Maß zu mindern. Im Rahmen des Forschungsprojektes „UrbanReNet 1“ (Hegger; Dettmar; Martin et al. 2012c) wurden hierzu aufgrund eingehender Untersuchungen von realen Stadträumen und mittels Sensitivitätsanalysen entsprechende Abminderungsfaktoren von Bauteilen (ebd. 2012c S.134ff) ermittelt. Entsprechende Werte sind im vorliegenden Modell in den Datenbanken integriert.

Neben der solaraktiven Nutzung von Dach- und Fassadenflächen weisen einige Bebauungstypen auch ein Potenzial im Freiraum auf. Dieses wird bei einer architektonischen Betrachtung leicht

übersehen, auf Ebene des Quartiers oder der Stadt ist dieses Potenzial jedoch unbedingt zu berücksichtigen. Gerade aufgelockerte Strukturen geringer oder mittlerer Dichte mit großen Freiraumanteilen würden ansonsten aufgrund ihrer geringeren architektonischen Oberflächen gegenüber verdichteten Strukturen benachteiligt. In urbanen Freiräumen finden sich verschiedene Elemente wie Garagen, Überdachungen, Werbeeinrichtungen, Kioske, etc., welche potenziell als Träger aktiver Systeme herangezogen werden können. Hierzu hat das oben genannte Forschungsprojekt „UrbanReNet“ ebenfalls dezidierte Untersuchungen vorgenommen. Aus den Steckbriefen zu den im Projekt entwickelten „Energetischen Stadtraumtypen“ (vgl. Hegger et al. 2012b S.18ff) lassen sich Werte extrahieren, anhand derer sich potenzielle Flächenanteile für solaraktive Nutzung in Freiräumen hochrechnen lassen.

Mit Hilfe oben beschriebener Abminderungsfaktoren lassen sich nun zu erwartende Nettoflächen für aktive Systeme bestimmen. Eine typische Geometrie eines Bebauungstyps bietet hierbei insgesamt ein enormes Flächenpotenzial, sollten alle theoretisch nutzbaren Nettoflächen in Dächern, Fassaden, privaten und öffentlichen Freiräumen solaraktiv genutzt werden. Die Untersuchungen von (Hegger; Dettmar; Martin et al. 2012c) bestätigen insgesamt eine technische Nutzbarkeit dieser Flächenanteile, weshalb eine Nutzung aller Nettoflächen als ein Potenzialszenario in den weiteren Untersuchungen dieser Arbeit definiert wird. Dieses ‚maximale Potenzial‘ stellt somit eine ‚obere Grenze‘ technisch, konstruktiver und struktureller Nutzungen aktiver Systeme in urbanen Oberflächen dar. Ein wesentlicher potenzieller Kritikpunkt an diesem ‚maximalen Potenzial‘ bleibt jedoch unbeantwortet:

Unter Umständen mag eine Integration aktiver Systeme in alle städtischen Oberflächen gemäß beschriebener Abminderungsfaktoren technisch und aus Sicht einer Flächennutzungskonkurrenz umsetzbar sein, gerade aber in Bestandssituationen würde eine Umwidmung von Oberflächen zu einer massiven Veränderung des ursprünglichen Charakters von Architektur und Freiraum führen. Bestandssituationen weisen hierbei sehr unterschiedliche „Eingriffsempfindlichkeiten“ (vgl. Everding 2007 S.52ff) auf, welche in der Realität „an die jeweiligen städtebaulichen und architektonischen Grundcharakteristika der Stadtbausteine angepasst werden“ (ebd. 2007 S.52) müssen. Verfolgt man im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen die Maxime eines maximalen Erhaltens des bestehenden Charakters, wird ein Eingriff in die visuell dominierenden Oberflächen der Fassade und des privaten und öffentlichen Freiraums ausgeschlossen sein. Gerade die Fassade übernimmt in der Baukultur eine wesentliche Rolle als identitätsstiftendes Element, deren Ausdruck stets ein ‚Spiegel‘ der jeweiligen Gesellschaft ist. Demzufolge wird unter derzeitigen technischen Voraussetzungen eine flächendeckende Nutzung der Fassade durch aktive Systeme in den meisten Bestandssituationen nur in eingeschränktem Maße möglich sein.

Die vorliegende Arbeit will dennoch den ‚Spagat‘ zwischen einer fundierten Analyse aller technisch verfügbaren Potenziale und den baukulturellen und wirtschaftlichen ‚Zwängen‘ schaffen, indem sie zwei unterschiedliche Potenzialszenarien zugrunde legt. Somit werden bei allen morphologischen Untersuchungen zwei Fälle unterschieden: Nutzung des ‚maximalen Potenzials‘ (alle Nettooberflächen unter Berücksichtigung beschriebener Abminderungsfaktoren) und des ‚reduzierten Potenzials‘ (lediglich Nutzung von Dachflächen).

2.3. Maximales Potenzial

Das maximale Potenzial stellt die Nutzung aller technisch zur Verfügung stehenden Oberflächen innerhalb eines Bebauungstyps dar, welche nicht durch andere Nutzungen (z.B. Fenster, technische Aufbauten, Freiflächennutzung, Erschließungsfläche, etc.) in Anspruch genommen werden. Hierbei handelt es sich um ein theoretisches Potenzial, welches die ‚Grenzen‘ solarenergetischer Nutzung an Oberflächen urbaner Bebauungstypen abbilden soll.

Hierbei werden Dachflächen zu 65%, Fassadenflächen zu 46%, und private sowie öffentliche Freiflächen zu jeweils 5% solaraktiv genutzt (vgl. Abb. 38 u. Abb. 39).

2.4. Reduziertes Potenzial

Das ‚reduzierte‘ Potenzial berücksichtigt gestalterisch kulturelle Aspekte, die eine systematische Nutzung aller städtischen Oberflächen speziell in Bestandsstrukturen ausschließt. Dort sind insbesondere Eingriffe in den Fassaden in der Regel mit einer Änderung des Erscheinungsbildes und der ‚Eigenlogik‘ des spezifischen baulichen Objektes verbunden, welche zu einem Konflikt mit den Bemühungen um einen Erhalt des baukulturellen Erbes führen kann. Aus diesem Grund beschränkt sich das reduzierte Potenzial auf die ausschließliche energetische Nutzung von Dachflächen, welche im Vergleich zur Fassade deutliche weniger Konfliktpotenzial im Hinblick auf eine gestalterisch-ästhetische Integration aktiver Systeme bietet.

Daneben ist aufgrund der tendenziell geringeren Eigen- und Fremdverschattung hier ein spezifisch höherer Stromertrag im Vergleich zu Systemen in der Fassade oder auf Freiraumelementen zu erwarten. Somit berücksichtigt dieses Potenzialszenario auch qualitativ wirtschaftliche Aspekte, indem weniger exponierte Bereiche wie die Fassade für eine solarenergetische Nutzung ausgeschlossen werden (vgl. Abb. 40 u. 41).

2.5. Vergleich von Flächennutzungsanteilen aktiver Systeme nach Potenzialszenarien

Bauteil	Abk.	Maximales Potenzial	Reduziertes Potenzial
Dachfläche	DF	65%	65%
Fassadenfläche	WaF	46%	0%
Private Freifläche	PFF	5%	0%
Öffentliche Freifläche	OFF	5%	0%

Tab. 5:
Übersicht dem Energiemodell zugrunde
gelegter Flächennutzungsanteile nach
Bauteil; Quelle: Eigene Setzung auf
Datengrundlage von Hegger; Dettmar;
Martin et al. (2012c)

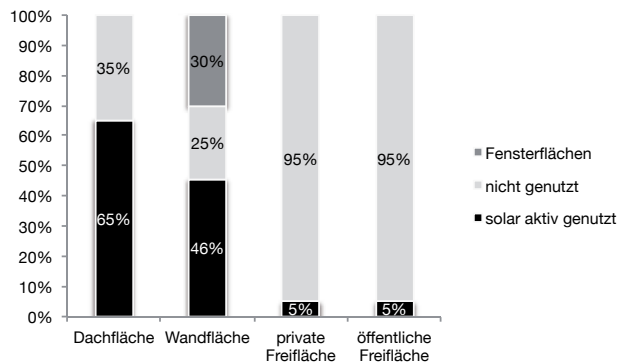


Abb. 38:
Flächennutzungsverteilung nach Bauteilen des Szenarios ‚maximales Potenzial‘; Quelle: Eigene Setzung auf Datengrundlage von Hegger; Dettmar; Martin et al. (2012c)

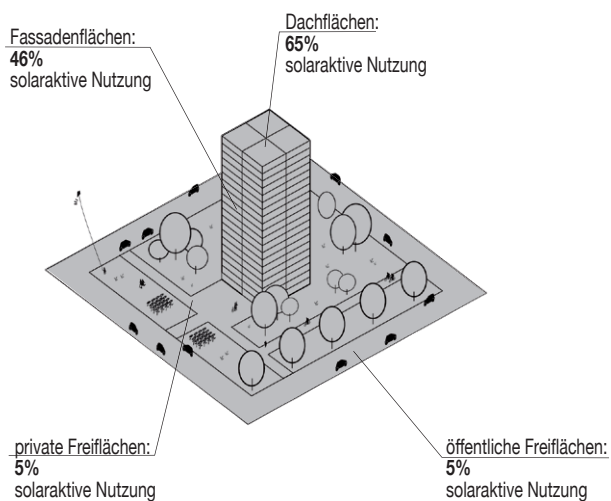


Abb. 39:
Flächennutzungsverteilung nach Bauteilen des Szenarios ‚maximales Potenzial‘; Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von: Fernandez Per & Mozas 2004 aus: Berghauser Pont & Haupt, 2010, S.13; Daten in eigener Setzung auf Grundlage von Hegger; Dettmar; Martin et al. (2012c)

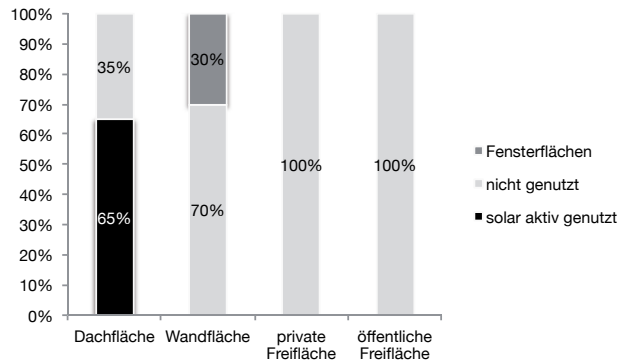


Abb. 40: Flächennutzungsverteilung nach Bauteilen des Szenarios ‚reduziertes Potenzial‘; Quelle: Eigene Setzung auf Datengrundlage von Hegger; Dettmar; Martin et al. (2012c)

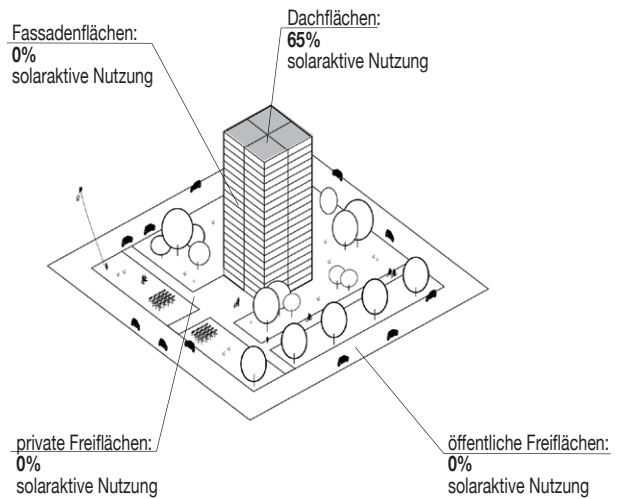
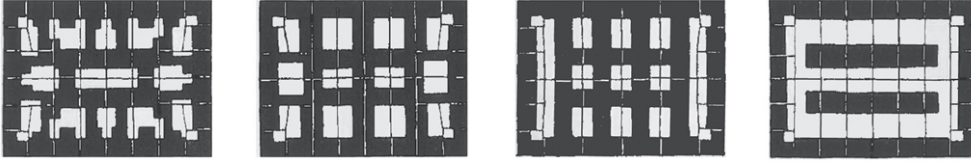


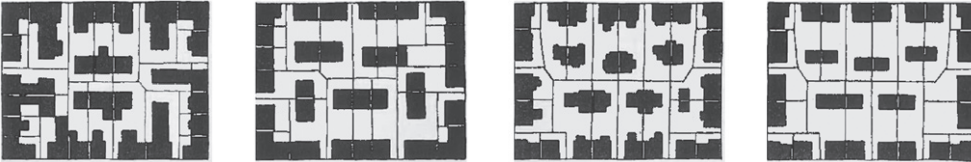
Abb. 41: Flächennutzungsverteilung nach Bauteilen des Szenarios ‚reduziertes Potenzial‘; Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von: Fernandez Per & Mozas 2004 aus: Berghauser Pont; Haupt (2010 S.13); Daten in eigener Setzung auf Grundlage von Hegger; Dettmar; Martin et al. (2012c)

KAP. IV **Typisierung von Stadtstrukturen**

geschlossene Bebauungen mit und ohne Flügelbauten



offene Bebauungen mit und ohne Flügelbauten



„Staffeln“ - Bauformen nach Münchner Staffelbauordnung von 1904

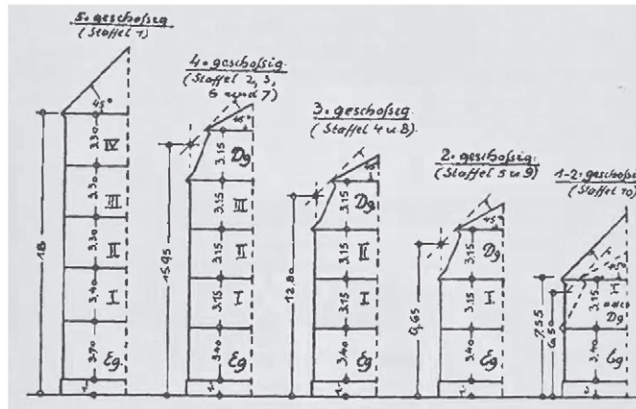


Abb. 42:
Nach „Münchner Staffelbauordnung“
von 1904 zulässige Bebauungsformen
in einem von 35 Musterblöcken zur Er-
mittlung von Wertezahlen; Quelle: Nagel
(1927 S.20, 22f, 39, 47)

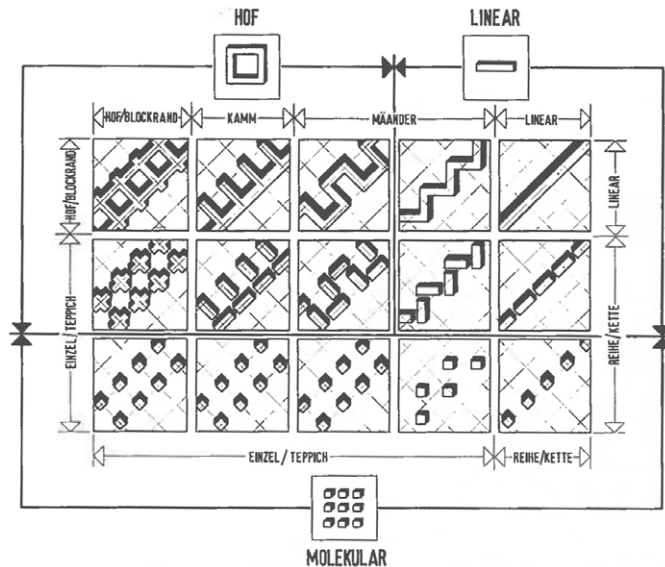


Abb. 43:
Wohnbereichstypen nach geometri-
schen Grundformen: „Hof, Linear und
Molekular“; Quelle: Deilmann; Bicken-
bach; Pfeiffer (1977 S.24)

1. Bestehende Typisierungsmethoden in der Literatur

Die Stadtforschung hat in der Vergangenheit zu verschiedenen Zwecken Typen urbaner Bebauungsformen definiert, um deren spezifische Eigenschaften greifbar zu machen und neue Steuerinstrumente für die Bauleitplanung zu gewinnen. Primäre Kriterien hierbei bestimmen sich vor allem durch Geometrie, Baualter und Entstehungszeit, die überwiegende Art baulicher Nutzung und energetische Eigenschaften. Je nach Ziel des späteren Gebrauchs einer Typisierung werden die einzelnen Kriterien von Methode zu Methode ganz unterschiedlich stark gewichtet. In der Literatur lassen sich verschiedene Methoden einer Typisierung urbaner Bebauungsformen identifizieren. Diese bauen definitorisch oftmals aufeinander auf und stellen somit eine stetige Weiterentwicklung von Typisierungsmethoden dar.

1.1. „Wertezahlen“ (Nagel 1927)

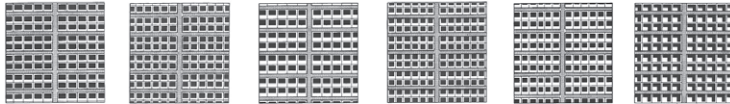
Eine erste Typisierung von Bebauungsmustern im städtebaulichen Kontext findet sich innerhalb der Literatur bei Nagel (1927). Der Münchner Stadtbaumeister schafft mit seiner Analyse zu „Wertezahlen über Wohndichte und Besiedelungsdichte im Städtebau“ im Jahr 1927 eine wichtige Grundlage für alle späteren Typisierungsmethoden (vgl. Abb. 42). Ziel seiner Untersuchung ist es, „erschöpfende Wertzahlen bzw. Formeln, die bei den Berechnungen der Wohndichte in den Baublöcken oder der Besiedelungsdichte für ganze Gebiete vorteilhaft verwendet werden könnten“ (ebd. 1927 S.7), zu generieren. Explizit zielen die Untersuchungen Nagels auf die Erhebung von belastbaren Daten, auf deren Grundlage verschiedene städtebauliche Kennzahlen bestehender oder neu zu planender Gebiete hochgerechnet werden können. Die entwickelte Typisierung konzentriert sich dabei auf Bauarten gemäß der „Münchner Staffelbauordnung von 1904. Diese beschreibt ‚Musterbauformen‘ in zehn „Staffeln“ (Münchner Staffelbauordnung 1904 in: Nagel 1927 S.12), die sich in Geschosshöhe und Bauweise (geschlossen, offen) unterscheiden. Anhand eines definierten Betrachtungsraums mit 35 verschiedenen Blöcken werden Mittelwerte von Bebauungsdichten errechnet. Diese Werte zahlen bilanzierter Bebauungsdichten verbindet der Autor mit Kennzahlen für sogenannte ‚Wohnfolgeeinrichtungen‘ wie Schulen, Krankenhäuser, Kirchen, Bäder und Friedhöfe und notwendige Verkehrs- und Freiflächen. Daraus leitet Nagel (1927) einen ‚Dichtekatalog‘ her, mit welchem über Bruttobaulandflächen und durch die Wahl von Bauarten („Staffeln“) Flächen für Wohnungen, Arbeitsstätten, öffentliche Gebäude, Verkehrsflächen, Erholungsflächen und Spiel- u. Sportflächen“ (ebd. 1927 S.102) errechnet werden können.

1.2. „Wohnbereichstypen“ (Deilmann et al. 1977)

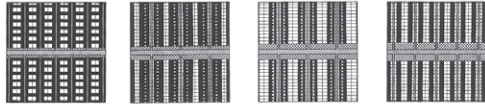
Deilmann; Bickenbach; Pfeiffer (1977) nähern sich einer Typisierung von morphologischen Gegebenheiten über den Begriff des „Wohnbereichs“ an, „in erster Linie abgeleitet aus der wie auch immer geprägten, geometrischen Anordnung der Wohneinheiten und Wohngebäude um einen ‚halböffentlichen‘ oder ‚öffentlichen‘ Freiraum.“ (ebd. 1977 S.12) Dabei legen die Autoren einen Fokus auf die Analyse von zur Zeit der Veröffentlichung neu realisierten Wohnmodellen. Ihr Ziel ist es, belastbare Kenntnisse über städtebauliche und geometrische Kennziffern von ihrer Meinung nach qualitätsvollen Wohnmodellen zu erlangen.

Parallel zur Auswertung von ‚Best Practise - Beispielen‘ entwickeln die Autoren ein Konzept zur Klassifizierung von Wohnbereichen, welches primär auf geometrischen Randbedingungen basiert. Hierzu gehen die Autoren von einer „Reduktion der nach ausschließlich topologischen Merkmalen vorhandenen Variationsbreite an Formen“ (ebd. 1977 S.23) aus und ordnen alle gängigen Bauformen den drei Grundformen „Hof, Linear, Molekular“ (ebd. 1977 S.24) zu (vgl. Abb. 43). Zur Ermittlung geometrischer und städtebaulicher Kennwerte testen die Autoren jeweils drei Volumetrien je Grundform. So werden entsprechende Werte jeweils mit einer Geschosshöhe von zwei, vier und acht und einer auf Belichtungs- und Beleuchtungsaspekte angepassten Form errechnet. In der Folge gehen die Autoren davon aus, dass durch die Bildung von Modulationen

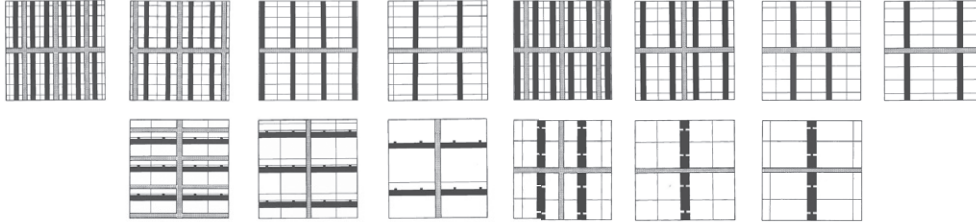
Einzelbebauung



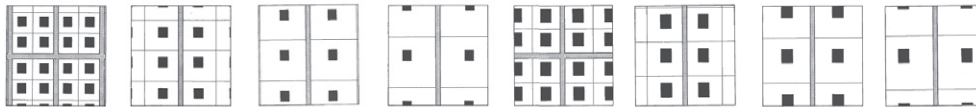
Reihenbebauung



Zeilenbebauung



Punktbebauung



Terrassierte Bebauung



Abb. 44:
Dichtekatalog von städtischen Strukturen auf Grundlage typischer Gebäudeformen; Quelle: Reinhardt; Trudel (1979 S.68ff)

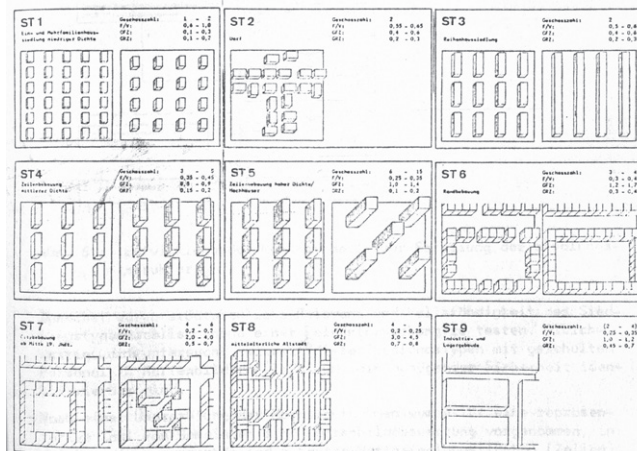


Abb. 45:
Siedlungsstrukturtypen (ST) als Grundlage zur Berechnung von Wärmeenergiebedarfen von Quartieren; Quelle: Roth (1980 S.15)

zwischen den Grundformen alle typischen Geometrien abgebildet werden können. Dabei stellen die beiden Formen „Hof“ und „Linear“ in geschlossener Weise „extreme Formen“ (ebd. 1977 S.24) dar, deren Modulation in Richtung offener Bebauung zu dem Typus „Molekular“ führt.

Das Typisierungskonzept von Deilmann; Bickenbach; Pfeiffer (1977) stellt einen wichtigen Beitrag in der Theorie der Typisierung urbaner Bauungsformen dar. Bei dem Versuch, sich den vielschichtigen Ausprägungen über eine ‚systematisierte‘ Definition der Formgebung zu nähern, wählen die Autoren einen bis dahin völlig unbekanntem Ansatz. Ihre Methode stellt in der Literatur den radikalsten und am stärksten abstrahierten Ansatz einer Typisierung dar. Dieser wird in späteren Studien ‚schematischer Modellbildung‘ (Vallentin 2011 S.VI-14) regelmäßig aufgegriffen, in diesem radikalen Abstraktionsgrad so jedoch nicht mehr verwendet.

1.3. „Dichtekatalog“ (Reinhardt et al. 1979)

Einen ebenfalls ‚schematischen‘, jedoch in der volumetrischen und strukturellen Schärfe im Unterschied zu Deilmann; Bickenbach; Pfeiffer (1977) wesentlich ausdifferenzierteren ‚Dichtekatalog‘, entwickeln Reinhardt; Trudel (1979), mit welchem ‚die Beziehungen zwischen der erreichbaren Dichte und dem städtebaulichen Erscheinungsbild‘ (ebd. 1979 S.67) anschaulich beschrieben werden soll. Ziel ihrer Typisierung ist es ‚Planungsfachleuten, Gemeinderäten und interessierten Laien Vorstellungshilfen an die Hand zu geben, über die Auswirkungen festzulegender Wohndichten auf danach mögliche Bauungsformen.‘ (ebd. 1979 S.8)

Der von den Autoren verfasste Typisierungskatalog gliedert sich primär nach geometrischen Parametern in ‚Einzelbauung, Reihenbauung, Zeilenbauung, Punktbauung und terrassierter Bauung‘ (vgl. Abb. 44). Innerhalb dieser Typen werden durch eine unterschiedliche Anzahl an ‚Mustergebäuden‘ Untertypen gebildet, die insgesamt zu einer breiten Varianz möglicher geometrischer Ausprägungen führt. Reinhardt; Trudel (1979) unternehmen damit den Versuch, alle gängigen Wohntypologien zu berücksichtigen und gemäß zur Zeit der Veröffentlichung gültiger Gesetze, Verordnungen, Erlasse und Richtlinien in eine räumliche Konstellation zu bringen. So bestimmen im Modell von Reinhardt; Trudel (1979) gesetzlich notwendige Abstandsflächen die Positionierung von Baukörpern untereinander. Je größer die Geschosshöhe von verorteten Gebäuden wird, desto weiter werden diese im Modell positioniert.

1.4. „Siedlungstypen (ST)“ (Roth 1980)

Eine erste Typisierung von Bauungsformen hinsichtlich energetischer Eigenschaften erfolgt Anfang der 1980er Jahre mit der Studie ‚Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen‘ von Ueli Roth (1980). Ziel seiner Analysen ist es, Wärmebedarfe von Quartieren anhand einfach zu identifizierender baustruktureller Merkmale hochrechnen zu können. Diese ‚schnell‘ ermittelbaren Zielgrößen dienen vor allem als Grundlage für Machbarkeitsstudien über Rentabilität und Dimensionierung von Fernwärmenetzen. Hierzu definiert er Stadtraumtypen, welche er mit baulichen und energetischen Kennziffern hinterlegt. Somit schlägt Roth erstmals ein mit statistischen Werten hinterlegtes Analyseverfahren vor, um aufwendige Bedarfsermittlungen über Verbrauchsdaten zu vermeiden. Mit dieser ‚energetischen‘ Klassifizierung legt er einen wichtigen Grundstein für alle folgenden städtebaulich-energetischen Analysen. Der Autor gliedert gängige Stadtstrukturen in ‚neun repräsentative Siedlungstypen (ST), mit denen die gesamte Siedlungs- und Bausubstanz der Bundesrepublik Deutschland identifizierbar ist.‘ (ebd. 1980 S.15) Eigenschaften und Kennwerte der unterschiedlichen Siedlungstypen beschreibt er durch Steckbriefe (vgl. Abb. 45).

Bei der Ermittlung geometrischer Parameter operiert er in Anlehnung an Deilmann; Bickenbach; Pfeiffer (1977) mit den drei Grundtypen ‚Punkt, Zeile, Block‘, welche er jedoch nach jeweils vorliegenden Gebäudetypologien unterscheidet. So differenziert er zum Beispiel zwischen einer Reihenhause- (ST3) und einer Mehrfamilienhauszeile (ST4), anstatt diese pauschal einem baustrukturellen Typus zuzuweisen, obwohl volumetrisch beide Typen beinahe identisch

Stadtraumtypen	Solarenergienutzung								
	lang- fristiger Heizwär- mebedarf kWh/m²a	Warm- wasser- bedarf/ Hilfsener- giebedarf kWh/m²a	aktive Deckung		Solarthermie-Flächen		PV-Modul- Flächen m²/1000 m² Nbl	Zielwert CO ₂ kg/m²a	inkl. PV Gutschrift CO ₂ kg/m²a
			Heizung	WW	m²/1000 m² Nbl				
					Dach	Fassade			
01 Altstadtquartiere	130	17	20 %	50 %	140	0	0	13	/
02 Innerstädtische Baublöcke Grün- derzeit	50	17	0 %	0 %	0	0	45	23	20
03 Gewerbe u. Industriekomplexe Gründerzeit	50	5	0 %	0 %	0	0	400	57	/
04 Zweckbaukomplexe Gründerzeit	70	5	0 %	15 %	30	0	0	50	/
05 Werks- und Genossenschafts- siedlungen	50	17	0 %	60 %	45	0	0	12	/
06 Einfamilienhaus- gebiete Vorkriegszeit	70	17	25 %	60 %	45	0	0	18	/
07 Wiederaufbau Ensembles	70	17	20 %	50 %	290	0	0	14	/
08 Sozialer Wohnungs- bau 50er	50	17	40 %	60 %	80	0	30	14	11
09 Sozialer Wohnungs- bau 60er	50	17	50 %	50 %	0	55	70	11	8
10 Sozialer Wohnungs- bau 70er	40	17	0 %	0 %	0	0	85	13	10
11 Plattenbausiedlungen der 80er	40	17	0 %	0 %	0	0	200	15	8
12 Einfamilienhausge- biete der 50/60/70er	50	17	40 %	60 %	30	0	20	15	9
13 Zweckbau, öffent- liche Einrichtungen der 50/60/70er	70	5	0 %	10 %	0	0	10	9	6
14 Gewerbe u. Industrie 50/60/70er	60	5	0 %	0 %	0	0	130	19	10

Abb. 46:

Stadtraumtypen mit geometrischen und energetischen Kennwerten zur Annäherung an zu erwartende Energiebedarfe und Potenziale;

Quelle: Everding (2007 S.238)

sein können. Die Siedlungstypen sind in ihrer Konfiguration ‚idealisiert‘. Das heißt, Roth konstruiert „aufgrund allgemeiner Kenntnisse über die Siedlungsstruktur“ (Roth 1980 S.15) auf einer einheitlichen quadratischen Planfläche entsprechende Typen und bestätigt „ihre siedlungsstrukturelle Relevanz (...) anhand einer Felduntersuchung in Freiburg i.Br.“ (ebd. 1980 S.15) Somit generiert er städtebauliche und geometrische Kenngrößen der einzelnen Siedlungstypen nicht auf Grund von Raumanalysen, sondern mittels eigener Setzungen, welche er anschließend am o.g. Beispiel in Freiburg evaluiert.

1.5. „Stadttraumtypen“ (Everding 2007)

Im Gegensatz zu Roth (1980), Deilmann; Bickenbach; Pfeiffer (1977) und Reinhardt; Trudel (1979) verfolgt Everding (2007) mit ihrer Typisierung von Bebauungsformen (vgl. Kapitel I.5 Aktueller Forschungsstand) keinen ‚schematischen‘ Weg in Abhängigkeit von geometrischen Parametern, sondern entwickelt gezielt „Stadttraumtypen“, welche neben typologischen auch nutzungsspezifische und bauhistorische Merkmale aufweisen. Insgesamt bildet die Autorin 20 Stadttraumtypen, welche nach der historischen Entwicklung sortiert sind. Beginnend mit Altstadtquartieren (01), innerstädtischen Baublöcken Gründerzeit (02) über Einfamilienhausgebiete Vorkriegszeit (05), Einfamilienhausgebiete Nachkriegszeit (12) bis hin zu Einkaufszentren der 80er Jahre (19) und Freizeitanlagen der 80er Jahre (20) schreibt die Autorin die für die jeweilige Epoche vorwiegende Bauform einem Typus zu. Jedem Typus sind geometrische, typisch baustrukturelle, nutzungsspezifische und weitere Merkmale in einem Steckbrief zugeordnet (vgl. Abb. 46).

1.6. „Rechteckige, regelmäßige und unregelmäßige polygone Grundrissformen, gebaute Solararchitektur“ (Rullán Lemke 2010)

Rullán Lemke (2010) greift in ihren solarenergetischen Untersuchungen auf eine Reihe von Formengruppen in eigener Setzung zurück. Insgesamt definiert sie für ihre Analysen sieben Typen, welche eine breite Varianz rudimentärer Volumen abbilden. Diese variieren im Spektrum „konventionelle Formen mit einer quaderförmigen Primärstruktur (...) (bis) unkonventionelle Formen mit einer pyramidalen Primärstruktur“ (ebd. 2010 S.74). Letztere stellen einen neuen Ansatz eines Untersuchungsdesigns dar, welcher anhand von „Extremformen“ (ebd. 2010 S.73). eine ‚Überspitzung‘ zu erwartender energetischer Verhaltensweisen darstellt.

Ihre sieben Formengruppen beschreiben mit den Reihen eins bis drei rein kubische Volumina, Reihe vier bildet verschiedene typische Dachformen, die Reihen fünf und sechs regelmäßige und unregelmäßige polygone Grundrissformen und Reihe sieben „gebauter Solararchitektur“ (ebd. 2010 S.78). Dieser unkonventionelle Typisierungsansatz der Untersuchung extremer Formen, stellt für die vorliegende Analyse insbesondere bei der Modellierung von Testkörpern einen inspirierenden und erfrischenden Ansatz dar (vgl. Abb. 47).

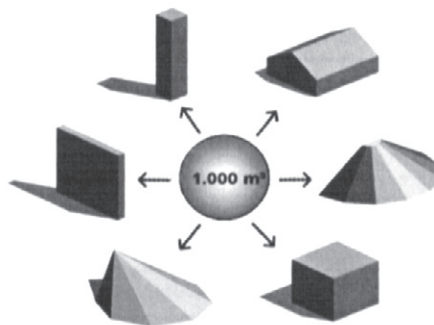


Abb. 47:
„Rechteckige, regelmäßige und unregelmäßige polygone Grundrissformen, gebaute Solararchitektur“; Quelle: Rullán Lemke (2010)

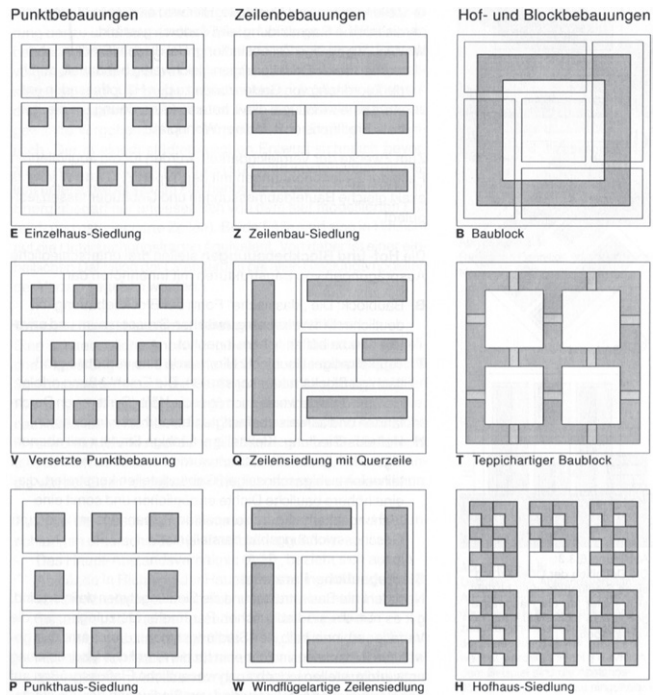


Abb. 48: Idealtypen: Punktbebauungen, Zeilenbebauungen, Hof- und Blockbebauungen; Quelle: Vallentin (2011 S.VI-15)

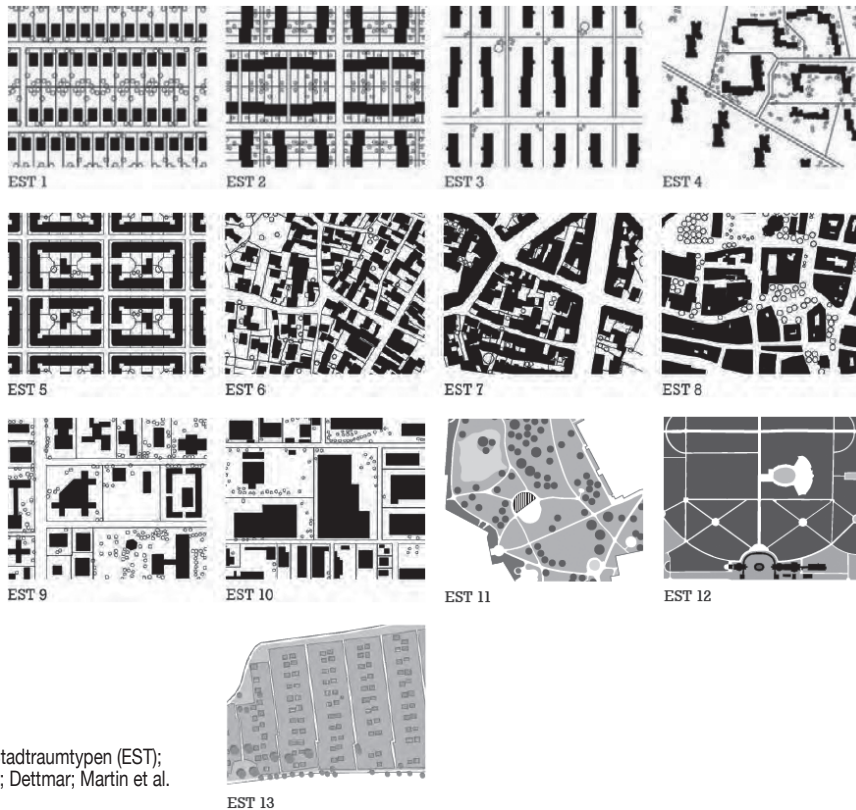


Abb. 49: Energetische Stadtraumtypen (EST); Quelle: Hegger, Dettmar, Martin et al. (2012a S.30)

1.7. „Punktbebauungen, Zeilenbebauungen und Hof- und Blockbebauungen“ (Vallentin 2011)

Geometrisch entwickelt Vallentin für seine Untersuchungen in Anlehnung an Nagel (1927); Reinhardt; Trudel (1979); Roth (1980) ebenfalls drei Siedlungstypen, „Punktbebauungen, Zeilenbebauungen und Hof- und Blockbebauungen“ (Vallentin 2011 S.VI-15). Im Gegensatz zu Roth (1980) gliedert Vallentin seine Typen jedoch nicht nach typologischen Merkmalen (z.B. Reihenhauszeile – Mehrfamilienhauszeile), sondern fokussiert ausschließlich volumetrische Unterschiede. Seinen drei Basistypen fügt er weitere Untertypen hinzu, welche alle wesentlichen volumetrischen Varianzen bestehender städtischer Formungen abbilden sollen. Insgesamt definiert Vallentin mit Haupt- und Untergruppen neun Siedlungstypen, welche jeweils in seinen weiteren Untersuchungen nach geometrischen Eigenschaften wie Orientierung des Siedlungsmoduls, Abstandsverhältnisse, Geschosshöhe, Gebäudetiefe, Dachzonenausbildung und weiteren räumlichen Festsetzungen variiert werden (vgl. Abb. 48). Präzise benennt Vallentin die aus seiner Sicht notwendigen Schritte einer „Abstraktion und Generalisierung der in der gebauten Realität vorzufindenden Formenvielfalt (...) mit dem Ziel, die mögliche und denkbare [unendliche] Vielfalt von Siedlungsausformungen in einer begrenzten Zahl von idealtypischen Grundformen und deren Variationen abzubilden.“ (Vallentin 2011 S.VI-8) Um sich im Hinblick seiner „schematischen Modellbildung“ (ebd. 2011 S.VI-14) nicht angreifbar zu machen, untersucht Vallentin jeden seiner Siedlungstypen mit einer ganzen Reihe geometrischer Abwandlungen. So berücksichtigt er die Orientierung, indem er seine Versuchsgebäude und deren Hauptfassaden nacheinander nach Süden, Südwesten und Westen ausrichtet und verortete Baukörper in Proportion (Höhe, Breite und Tiefe) variiert. Bei der Volumetrie variiert Vallentin zudem bei den Geschosshöhen, in Abhängigkeit von der Nutzung und bei der Form des Daches (Flach-, Staffel, Pult- und Satteldach mit 0°, 15°, 30°, 45°, 60° Neigung)

1.8. „Energetische Stadtraumtypen“ (Hegger et al. 2012a)

Im Forschungsprojekt „UrbanReNet“ von Hegger et al. werden insgesamt 13 „Energetische Stadtraumtypen (EST)“ definiert, die „als Stadtbausteine (...) zusammengesetzt die Agglomeration bilden.“ (Hegger; Dettmar; Martin et al. 2012a S.30) Ziel der Typisierungsmethode ist es, ein ‚realitätsnahes‘ Abbild vorliegender urbaner Bebauungsmuster in Deutschland zu erhalten und in Datenbanken Hochrechnungen zu Bedarfen und Potenzialen äquivalent zur Methode von Roth (1980) und Everding (2007) erstellen zu können. Aus diesem Grund erfolgt eine Typisierung neben geometrischen Variablen vor allem auch mittels Parametern der baulichen und freiräumlichen Nutzung, der Art der Bepflanzung und der historischen Entstehungsgeschichte. Neben ‚bebauten‘ EST’s werden auch Freiraum - EST’s nach Maßgabe ihrer Bepflanzung und freiräumlichen Nutzung definiert (vgl. Abb. 49). Des Weiteren können energetisch stark abweichende ‚Sonderformen‘ wie Krankenhäuser, Bäder, Kinos, etc. als „Energetische Einzelelemente (EE)“ (Hegger; Dettmar; Martin et al. 2012a S.32f) berücksichtigt und damit der Gefahr einer fehlerhaften Berechnung von Bedarfen und Potenzialen entgegengewirkt werden.

Geometrische Parameter werden in Median- und Mittelwerten sowie in der Realität typischerweise vorkommenden Bandbreiten in Steckbriefen beschrieben. Werte dazu werden durch eine großangelegte Erhebung verschiedener Kenngrößen über Sensitivitätsanalysen realer Stadträume bestimmt. Somit beschreiben die Parameter im Projekt ‚mittlere reale‘ Situationen.

2. Entwicklung einer eigenen Typisierungsmethode

Den oben dargestellten Typisierungsmethoden liegen zwei verschiedene Ansätze zugrunde: die „schematische Modellbildung“ nach Vallentin (2011 S.VI-14), deren Logik auch die Typisierungsmethoden von Deilmann; Bickenbach; Pfeiffer (1977), Reinhardt; Trudel (1979) sowie Rullán Lemke (2010) folgen, und die exemplarische Betrachtung ‚realer‘ Stadträume nach Hegger; Dettmar; Martin et al. (2012a) und Everding (2007). Beide Ansätze erscheinen als Basis für stadträumliche Kennwertermittlungen plausibel.

Durch die Mittelung von statistisch erhobenen Kennwerten bei den Betrachtungen ‚realer‘ Stadträume werden ‚idealtypische Situationen‘ wie einheitliche Ausrichtung, ideale Gebäudeabstände, etc. vermieden. Die Mittelung führt dabei zu einer ‚Glättung‘, bzw. Abminderung von spezifischen Effekten. Umgekehrt lassen sich Abhängigkeiten leichter anhand homogener Ausgangssituationen benennen und somit Fehlschlüsse reduzieren. Vallentin merkt in diesem Zusammenhang an, dass „für die Analyse städtebaulicher Strukturen (..) es oftmals hilfreich (ist), Abstraktionen und Vereinfachungen vorzunehmen, um die Komplexität der städtebaulichen Einzelerrscheinungen und Phänomene in einem größeren Zusammenhang interpretieren zu können.“ (ebd. 2011 S.VI-11)

Aus diesem Grund wird für die folgenden Untersuchungen eine „schematische Modellbildung“ nach Vallentin (2011 S.VI-14) vorgenommen. Auf dieser Grundlage werden die drei Grundformen: ‚Punkt, Zeile, Block‘ (vgl. Abb. 50) in all ihren wesentlichen Variationen modelliert und untersucht. Ausgangsbasis für deren Entwicklung ist, dass alle Abwandlungen dieser drei Bebauungstypen in ihrer Formbeschaffenheit ‚realen‘ Abhängigkeiten wie zulässige Gebäudetiefe oder Mindestabstände zwischen Baukörpern genügen müssen.

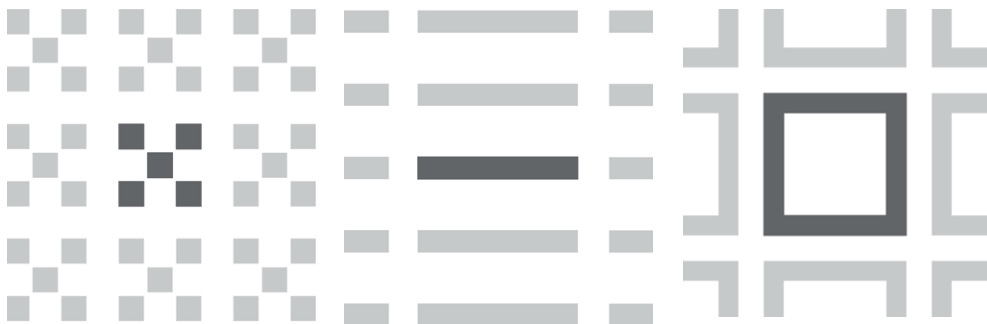


Abb. 50:
Drei Grundtypen urbaner Bebauungstypen: Punktförmige Bebauung, Zeilenartige Bebauung und Block- und teppichartige Bebauung; Quelle: Eigene Darstellung

2.1. Änderungen formspezifischer Eigenschaften

Die definierten Grundtypen werden für die folgenden Untersuchungen in den wesentlichen Parametern formspezifischer Eigenschaften verändert. Hierdurch wird eine Bandbreite an Varianten eines jeden Grundtypus erzeugt. Diese Varianten bilden alle in Deutschland gängigen Bebauungsmuster ab.

Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten werden alle Typen in einheitlichen ‚Volumengruppen‘ modelliert. Innerhalb einer Volumengruppe liegen gleiche Strombedarfe vor. Dies resultiert aus der Bilanzierung von Bedarfen anhand der Energiebezugsfläche, welche sich wiederum aus dem Volumen und der mittleren Geschosshöhe ableitet. Die Veränderung formspezifischer Parameter bei gleicher Volumetrie kann zur Ausbildung stärker und schwächer exponierter Oberflächen und damit zu variierenden Potenzialen führen. Somit können regenerative Potenziale innerhalb einer Volumengruppe ganz unterschiedlich ausfallen. Je nach Oberflächenbeschaffenheit und Orientierung generiert die Form spezifische Potenzialkurven.

Volumengruppen:

- V0: 1.000 m³
- V1: < 10.000 m³
- V2: 20.000 m³ bis 40.000 m³
- V3: 50.000 m³ bis 70.000 m³
- V4: 80.000 m³ bis 100.000 m³
- V5: > 150.000 m³

Jede Volumengruppe wird in folgenden Parametern verändert:

- Anzahl Baukörper
- Tiefe, Breite, Höhe (Geschossanzahl)
- Maß solarer Exposition (Abstände zu Gebäudehöhe)
- Neigungswinkel (Dach, Fassade)
- Orientierung (z.B. Nord-Süd, Ost-West, 45° gedreht, etc.)

Insgesamt ergeben sich auch Mischtypen, welche aufgrund ihrer Formbeschaffenheit mehreren Bebauungstypen zugeordnet werden können (vgl. die offene Zeilenbebauung, welche sowohl den punktförmigen als auch zeilenartigen Bebauungen zugeordnet werden kann). Als wichtiges formgebendes Kriterium wird in einer Serie das Maß solarer Exposition schrittweise verändert. Hierbei werden in allen Grundtypen gleichartige Veränderungen vorgenommen. Zur besseren Vergleichbarkeit werden hierbei Bereiche solarer Exposition definiert, innerhalb welcher sich entsprechende Formvarianten bewegen. Alle Grundformen und deren jeweilige Volumengruppen haben einen Testkörper aus den nachfolgend genannten Bereichen solarer Exposition. Daneben werden vereinzelt auch Körper mit größerer und kleinerer solarer Exposition modelliert.

Bereiche solarer Exposition (Hab/H)

- 2,50 (2,25 bis 2,75) (z.B. Wettbewerb Freiam, München)
- 2,00 (1,75 bis 2,25)
- 1,50 (1,25 bis 1,75)
- 1,00 (0,75 bis 1,25)

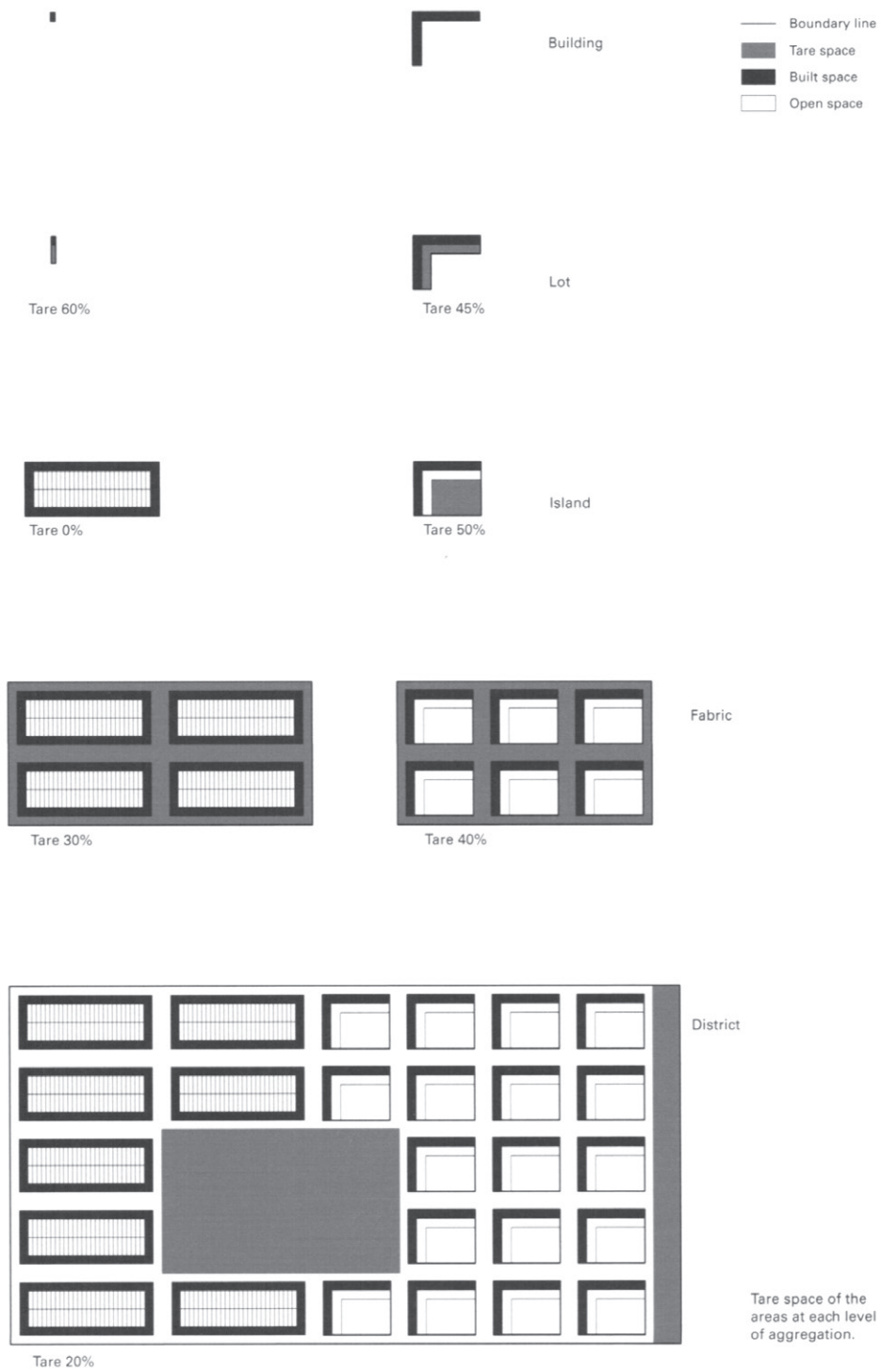


Abb. 51:
 Unterscheidung von Körnigkeiten von Betrachtungsräumen in „lot“, „island“, „fabric“ und „district“; Quelle: Berghauer Pont; Haupt (2010 S.32ff)

2.2. Größe und Zuschnitt des Betrachtungsraums

Die vorliegende Untersuchung betrachtet Energieströme im urbanen Kontext. Nicht das Einzelgebäude, sondern der Gebäudeverbund steht somit im Fokus der Betrachtung. Demzufolge gilt es den Betrachtungsraum entsprechend zu wählen, um Einflüsse gegenseitiger Verschattung zu berücksichtigen. Dabei darf dieser weder zu klein (umliegende Bebauung bleibt unberücksichtigt) noch zu groß sein (Grenzen der Kapazität des Modells aufgrund steigender Komplexität).

In der Literatur finden sich verschiedene Definitionen von Größen von Betrachtungsräumen, welche als Basis und Bezugsquelle einer eigenen Setzung dienen.

2.2.1. „lot“, „island“, „fabric“, „district“ (Berghauser Pont; Haupt 2010)

Berghauser Pont; Haupt (2010) definieren in diesem Zusammenhang vier unterschiedliche Größen städtischer Betrachtungsräume, „lot“, „island“, „fabric“ und „district“ (ebd. 2010 S.103 u. Abb. 51).

„Lot“ ist gleichzusetzen mit dem einzelnen bebauten Grundstück. Dieses beinhaltet überbaute Flächen (Grundfläche) und private Freiflächen.

„Island“ definiert sich bei Berghauser Pont; Haupt (2010) als Summe von „lots“, welche durch eine Umsäumung von Straßen zu einer ‚Insel‘ zusammengefasst werden. Diese ‚Insel‘ ist vergleichbar mit einem städtischen Block. Gemäß den Autoren (ebd. 2010 S.103) beinhaltet die „Island“ mehrere „Lots“. Die umläufigen öffentlichen Freiflächen werden in dieser Definition nicht berücksichtigt und dementsprechend nicht in die Betrachtung mit einbezogen.

Die nächstfolgende Ebene wird von den Autoren als „fabric“ bezeichnet. Diese beinhaltet eine Gruppe von „islands“ und kann mit einem Ausschnitt mehrerer strukturell gleicher Straßenzüge verglichen werden. Der Ausdruck „urban fabric“ wird in der Fachliteratur in der Regel als „Stadtgefüge“ oder „Stadtstruktur“ übersetzt. Bei Berghauser Pont; Haupt (2010) setzen sich mehrere Blocks, inklusive öffentlicher Freiflächen zu einer „fabric“ zusammen.

Eine letzte, übergeordnete Betrachtungsebene wird von den Autoren als „district“ benannt. Dieser beinhaltet ein zusammenhängendes Gebiet einer „fabric“, ‚Wohnfolgenutzungen‘ und weiteren städtebaulichen ‚Sonderbausteinen‘. Dieser kann mit der Definition eines Stadtteils gleichgesetzt werden.

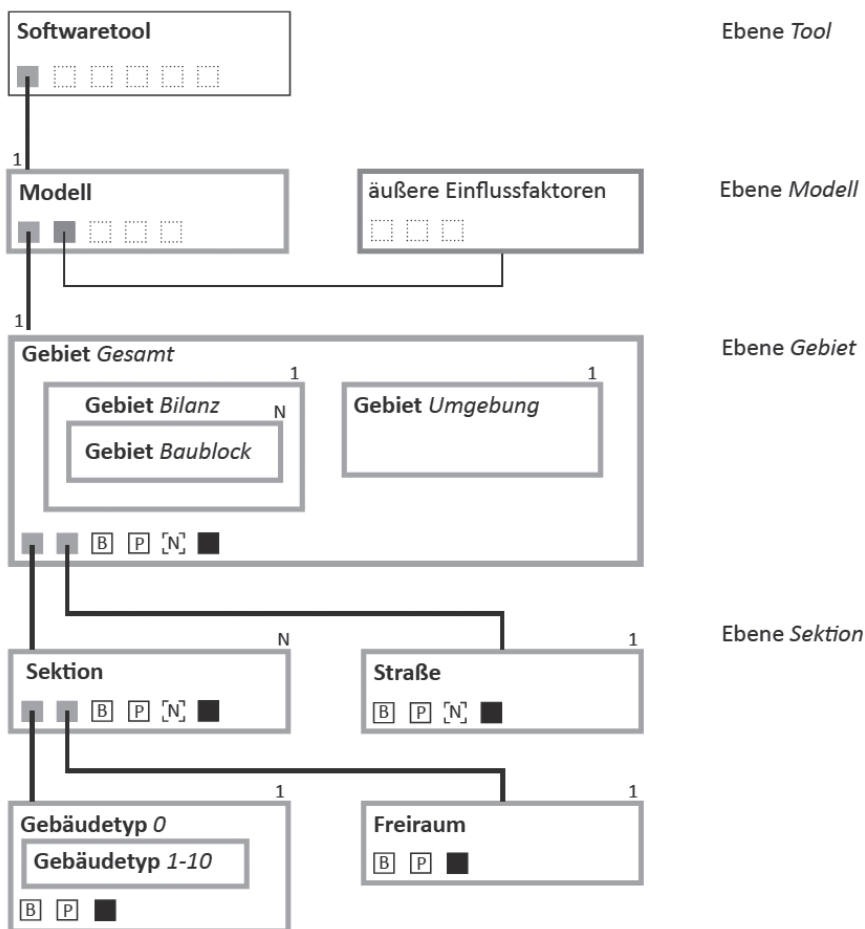


Abb. 52: Ebenen von Stadtstrukturen im Softwaretool „UrbanReNet“ von „Sektion“, „Baublock“ und „Gebiet“; Quelle: Hegger; Dettmar; Martin et al. (2012c S.43)

2.2.2. „Sektion“, „Baublock“, „Gebiet“ (Hegger; Dettmar; Martin et al. 2012c)

Hegger; Dettmar; Martin et al. (2012c) unterscheiden im Rahmen des Forschungsprojektes „UrbanReNet“ neben dem Gebäude drei städtische Ebenen. Die unterste Ebene bildet die „Sektion“ (ebd. 2012c S.43 u. Abb. 52). Diese definiert sich als kleinste zusammenhängende und in ihrer baulichen Struktur homogen bebaute Fläche.

Die nächste Ebene bildet der „Baublock“, welcher sich äquivalent zur „island“ von Berghauser Pont; Haupt (2010) als eine von Straßen umschlossene zusammenhängende Fläche definiert. Die umgebenden öffentlichen Freiflächen werden auch bei Hegger; Dettmar; Martin et al. (2012c) nicht als Teil des Baublocks definiert. Hier wird eine separate Einheit „Straße“ definiert.

Die nächste, höhere Ebene wird von den Autoren als „Gebiet“ bezeichnet. Dieses setzt sich aus allen Baublöcken und Straßen zusammen.

2.2.3. Eigene Setzung zur Größe und Inhalt des Betrachtungsraums

Um die in der Untersuchung vorgesehenen Simulationen durchführen zu können, ist der Betrachtungsraum so klein wie möglich zu wählen. Je größer und fragmentierter der jeweilige Testkörper ausgeformt ist, desto größere Rechenkapazitäten sind für die Durchführung der Analyse erforderlich.

Aus stadtstruktureller Sicht wird die Körnigkeit einer „island“ nach Berghauser Pont; Haupt (2010 S.103), bzw. „Baublocks“ nach Hegger; Dettmar; Martin et al. (2012c S.43) als sinnvoll erachtet. Hierfür wird im Folgenden der Begriff ‚Insel‘ verwendet. Diese bildet sich aus einer oder mehreren Netto-Baulandflächen und wird allseitig von öffentlichen Verkehrsflächen umsäumt. Anders als zuvor beschriebene Definitionen der Literatur sind diese öffentlichen Verkehrsflächen Bestandteil der Insel. Diese werden zur Hälfte mit einberechnet und in den Bilanzierungen entsprechend berücksichtigt. Jede Insel besitzt damit eine entsprechende ‚Folgenutzung‘, welche jedoch zur Erschließung der Insel zwingend erforderlich ist. Mit dieser Definition lassen sich leicht Hochrechnungen zum Beispiel auf einen oder gleich mehreren Hektars Stadtraum durchführen.

2.3. Steckbriefe untersuchter Bebauungstypen (Struktur und Aufbau)

Zur besseren Vergleichbarkeit werden Steckbriefe entwickelt, die alle wesentlichen Informationen beinhalten. Insgesamt besteht jeder Steckbrief aus vier Seiten. Die erste Seite enthält formspezifische und städtebauliche Kennwerte. Die zweite Seite enthält die wichtigsten energetischen Kennwerte. Auf den Seiten drei und vier sind die ‚Karten zur Eigenversorgung‘ abgebildet.

Erste Seite

Neben einer codierten Benennung und einer Perspektive sind hier städtebauliche, geometrische und energetische Eigenschaften beschrieben. Die Benennung beinhaltet eine Kurzform des jeweiligen Bebauungstyps, P (Punkt), Z (Zeile), B (Block) in Kombination mit einer fortlaufenden Nummer. Daran schließen sich Zahlen als Kennwerte für Orientierung, Geschossflächenzahl, Maß der Kompaktheit, Maß der Gerichtetheit und Maß solarer Exposition an.

Eine Perspektive in Falschfarbendarstellung veranschaulicht die Formbeschaffenheit des jeweiligen Volumens (vgl. Abb. 53).

Neben der Angabe von Kennwerten beschreiben Diagramme spezifische Flächenverteilungsanteile. Hierbei beschreibt ein erstes Kreisdiagramm die Flächenverteilung von privaten- und öffentlichen Freiflächen sowie überbauten Flächen. Ein zweites Kreisdiagramm beschreibt das Maß der Gerichtetheit in Grundriss und Schnitt. Hierbei wird ersichtlich, in welche Richtung die jeweilige Form primär orientiert ist. Ein drittes Kreisdiagramm beschreibt die Anteile solaraktiver Flächen in Relation zu den gesamten Oberflächen des zu betrachtenden Testkörpers. Je nach Typus können Formen ganz unterschiedliche Anteile aufweisen. Zum Beispiel weist eine typische Blockbebauung einen deutlich größeren Dachflächenanteil auf als eine Zeilenbebauung.

Zweite Seite

In einer Tabelle werden die wichtigsten energetischen Kenngrößen des jeweiligen Testkörpers zusammengefasst. Hier wird getrennt nach Art des Potenzials (maximal oder reduziert) und nach Art der Nutzungsverteilung (Wohnen / Gewerbe) ein entsprechender Wert pro Hektar Bruttobauland angegeben. Der Bezug auf das Bruttobauland ist wichtig, um eine Vergleichbarkeit zwischen ganz unterschiedlichen Bebauungsstrukturen zu gewährleisten. Da gerade bei Solitärstrukturen nicht immer eindeutig zwischen Nettobauland und öffentlichen Freiflächen unterschieden werden kann, wird auf eine Bezugsgröße Nettobauland verzichtet. Das Nettobauland wird jedoch gemäß den baurechtlichen Festsetzungen zur Berechnung baulicher Dichten - Geschossflächenzahl (GFZ) und Grundflächenzahl (GRZ) verwendet.

In zwei getrennten Diagrammen werden geordnete Jahresdauerlinien der Energiedeckung für das maximale und reduzierte Potenzial ausgewiesen. Hierbei wird nach Art der Nutzungsmischung (Wohnen und Gewerbe) unterschieden. Die Jahresdauerlinien veranschaulichen die Menge an Tagen im Jahr, an denen insgesamt eine Über- oder Unterdeckung des Strombedarfs erreicht werden kann. Je negativer die Kurve ausfällt, desto höher fällt der netzbezogene Strombedarf aus (vgl. Abb. 53).

Dritte und vierte Seite

Auf den Seiten drei und vier werden ‚Karten zur Eigenversorgung‘ (vgl. Kapitel VI), getrennt nach maximalem Potenzial und reduziertem Potenzial (vgl. Kapitel IV) abgebildet. Zudem wird innerhalb beider Potenzialszenarien nach Art der Nutzung, Wohnen und Gewerbe unterschieden. Der Vergleich der ‚Karten zur Eigenversorgung‘ zwischen den zu untersuchenden Bebauungstypen ermöglicht eine visuelle Erfassung von unterschiedlichen leistungsspezifischen Verhaltensweisen.

Geometrische und städtebauliche Kennwerte

codierte Benennung und perspektivische Darstellung

Städtebauliche Kennwerte und Flächenverteilung

Geometrieigenschaften und Orientierung

Formfaktoren und Anteil solaraktiver Flächen

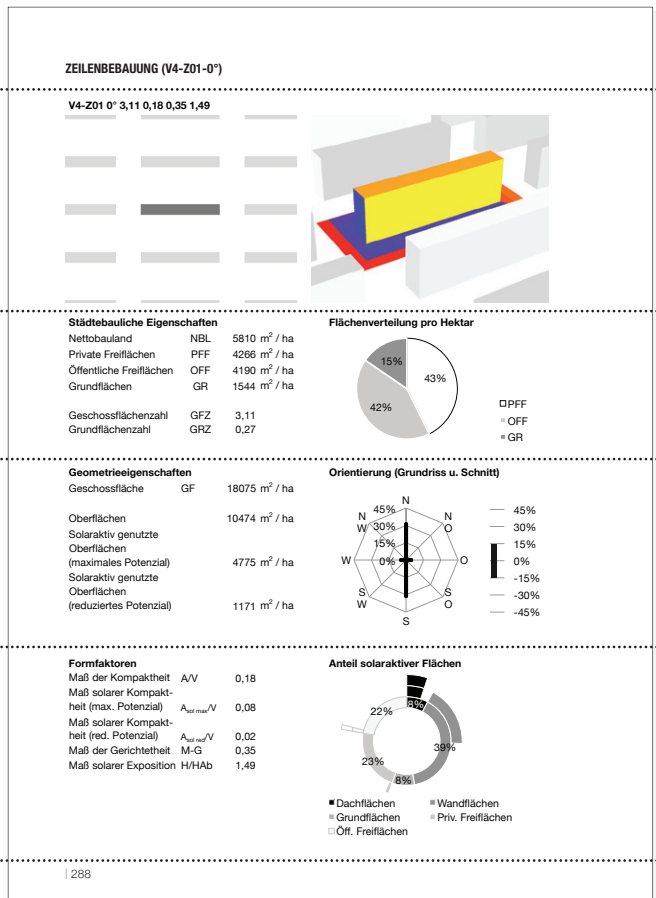


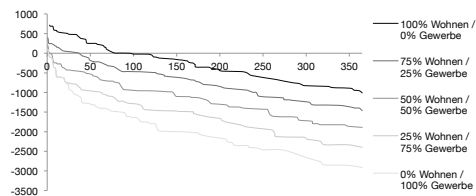
Abb. 53: Aufbau der Steckbriefe untersuchter Morphologien (links: erste Seite mit formspezifischen und städtebaulichen Kennwerten; rechts: zweite Seite mit energetischen Kennwerten; Quelle: Eigene Darstellung)

Energetische Kennwerte

Anteil Wo / Ge	Maximales Potenzial					Reduziertes Potenzial				
	100% / 0%	75% / 25%	50% / 50%	25% / 75%	0% / 100%	100% / 0%	75% / 25%	50% / 50%	25% / 75%	0% / 100%
Σ positiver Deckungsleistung [MW / ha]	88	47	21	9	8	5	0	0	0	0
Σ negativer Deckungsleistung [MW / ha]	-201	-322	-455	-599	-751	-255	-412	-571	-727	-880
Betrag der Deckungsleistung [MW / ha]	288	370	476	608	759	260	412	571	727	880
Energiedeckung QD [MWh / ha]	-113	-275	-434	-590	-743	-250	-412	-571	-727	-880
Spitze-Tal-Wert [MW / ha]	39	42	45	53	69	26	36	46	61	79
Anzahl Stunden mit Überdeckung [h/a]	2.031	1.338	797	386	260	464	25	3	1	3

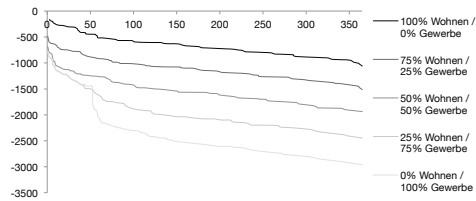
Übersicht zu energetischen Kennwerten nach Art des Potenzials und Anteil Wohnen und Gewerbe

Energiedeckung QD [kWh/ha d] - Maximales Potenzial



geordnete Jahresdauerlinie bei maximalem Potenzial

Energiedeckung QD [kWh/ha d] - Reduziertes Potenzial



geordnete Jahresdauerlinie bei reduziertem Potenzial

**„Karten zur Eigenversorgung“
(maximales Potenzial)**

Darstellung des Jahreslastverhalten Anzahl Stunden mit Eigenversorgung der Größe nach sortiert

links: maximales Potenzial bei reiner Wohnnutzung,

rechts: maximales Potenzial bei reiner Gewerbenutzung

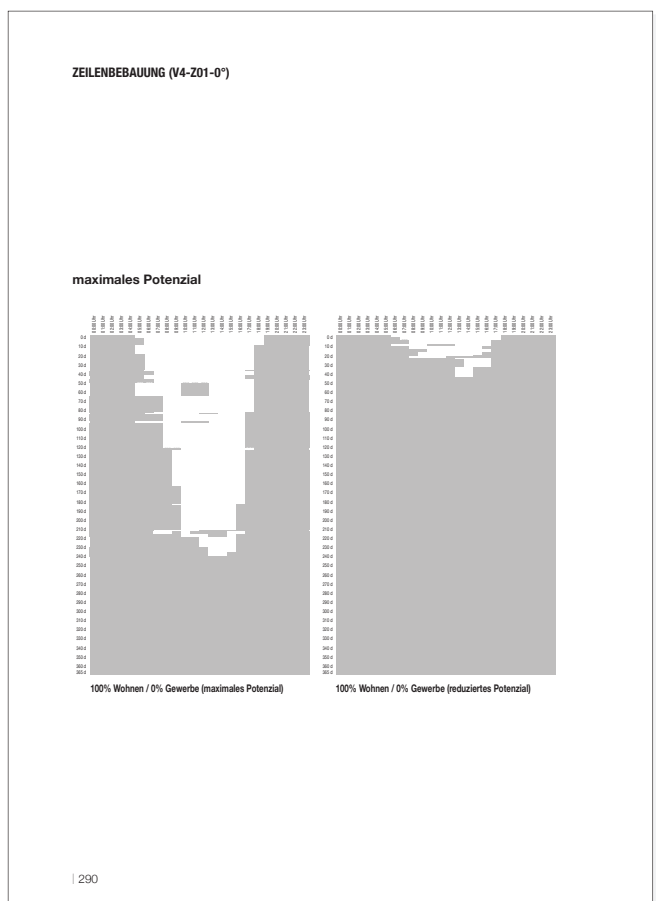
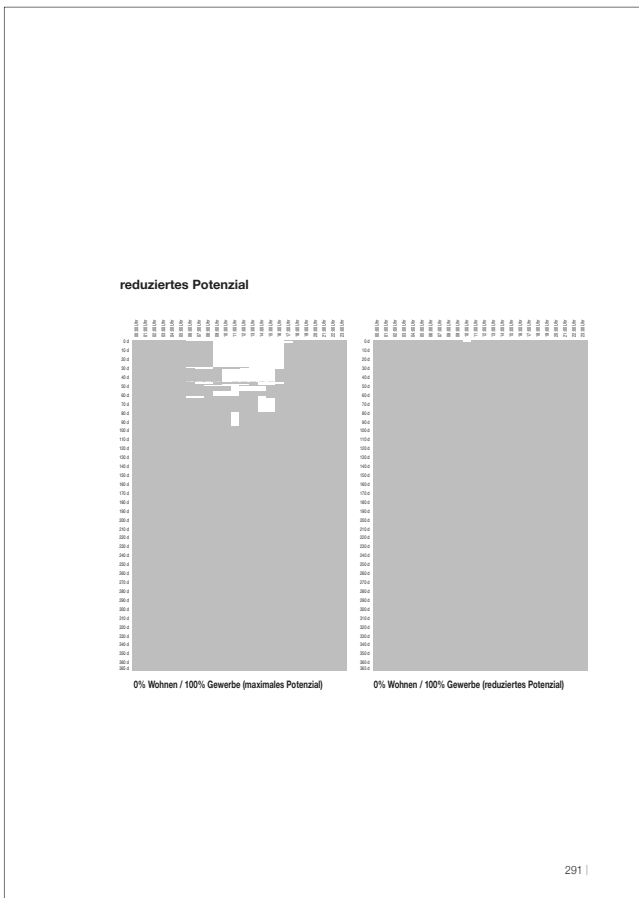


Abb. 54:
Aufbau 2 der Steckbriefe untersuchter Morphologien (links: dritte Seite mit „Karten zur Eigenversorgung“ bei maximalem Potenzial; rechts: vierte Seite mit „Karten zur Eigenversorgung“ bei reduziertem Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung)

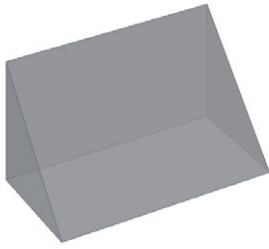


**„Karten zur Eigenversorgung“
(reduziertes Potenzial)**

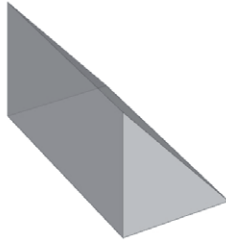
links: reduziertes Potenzial bei reiner
Wohnnutzung,

rechts: reduziertes Potenzial bei reiner
Gewerbenutzung

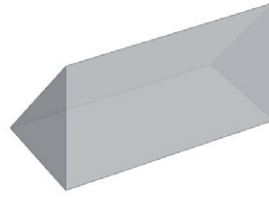
Einseitig orientierte Testkörper:



reine Süd-Orientierung
(TK01-0° / TK07-0°)



reine Ost-Orientierung
(TK01-90° / TK07-90°)

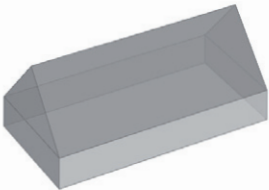


reine Nord-Orientierung
(TK01-180° / TK07-180°)

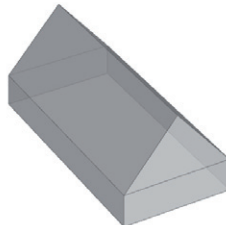


reine West-Orientierung
(TK01-270° / TK07-270°)

Zweiseitig orientierte Testkörper:

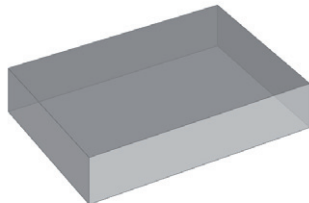


Nord-Süd-Orientierung
(TK02-0° / TK08-0°)



Ost-West-Orientierung
(TK02-90° / TK08-90°)

Horizontal orientierte Testkörper:



horizontale-Orientierung
(TK03-0° / TK09-0°)

Abb. 55:
Übersicht verwendeter Testkörper;
Quelle: Eigene Darstellung

3. Übersicht untersuchter Bebauungstypen

3.1. Testkörper

Der erste Typus bildet eine Serie an Testkörpern (Abb. 55) . Diese werden in einem ersten Schritt bei der Entwicklung des Energiemodells verwendet, um im Prozess der Programmierung regelmäßige Evaluationen der Funktionsfähigkeit und Signifikanz der Ergebnisse liefern zu können. In einem zweiten Schritt werden mit diesen Testkörpern die ersten beiden Versuchsreihen A und B (vgl. Kapitel VI) durchgeführt.

Hierbei handelt es sich um einfache Volumen mit jeweils unterschiedlicher Orientierung solaraktiver Dachflächen. Durch die einfache Beschaffenheit, ohne umgebende ‚Störfaktoren‘, lassen sich Einflüsse der Orientierung direkter testen. Es werden einfach- und zweifach orientierte Testkörper mit gleicher Größe solaraktiver Flächen entwickelt. Es werden verschiedene Testkörper folgender Orientierung modelliert: reine Süd-Orientierung, reine Ost-Orientierung, reine Nord-Orientierung, reine West-Orientierung, Nord-Süd-Orientierung, Ost-West-Orientierung, horizontale Orientierung.

Um neben dem Einfluss der Orientierung auch noch Erkenntnisse über den Einfluss des Volumens im Verhältnis zur solaraktiven Oberfläche zu gewinnen, werden zwei Reihen Testkörper modelliert. Die erste Reihe weist ein Volumen von 1.000 Kubikmetern auf und entspricht damit der Größe eines kleinen freistehenden Einfamilienhauses. Die zweite Reihe weist demgegenüber ein Volumen von 6.750 Kubikmetern auf und entspricht damit der Größe eines vier- bis fünfgeschossigen Mehrfamilienhauses.



Abb. 56:
Varianten punktförmiger Bebauungen;
Fotos: Steffen Wurzbacher



Abb. 57:
maximale Dichte punktförmiger Bebauung; Fotos: Steffen Wurzbacher

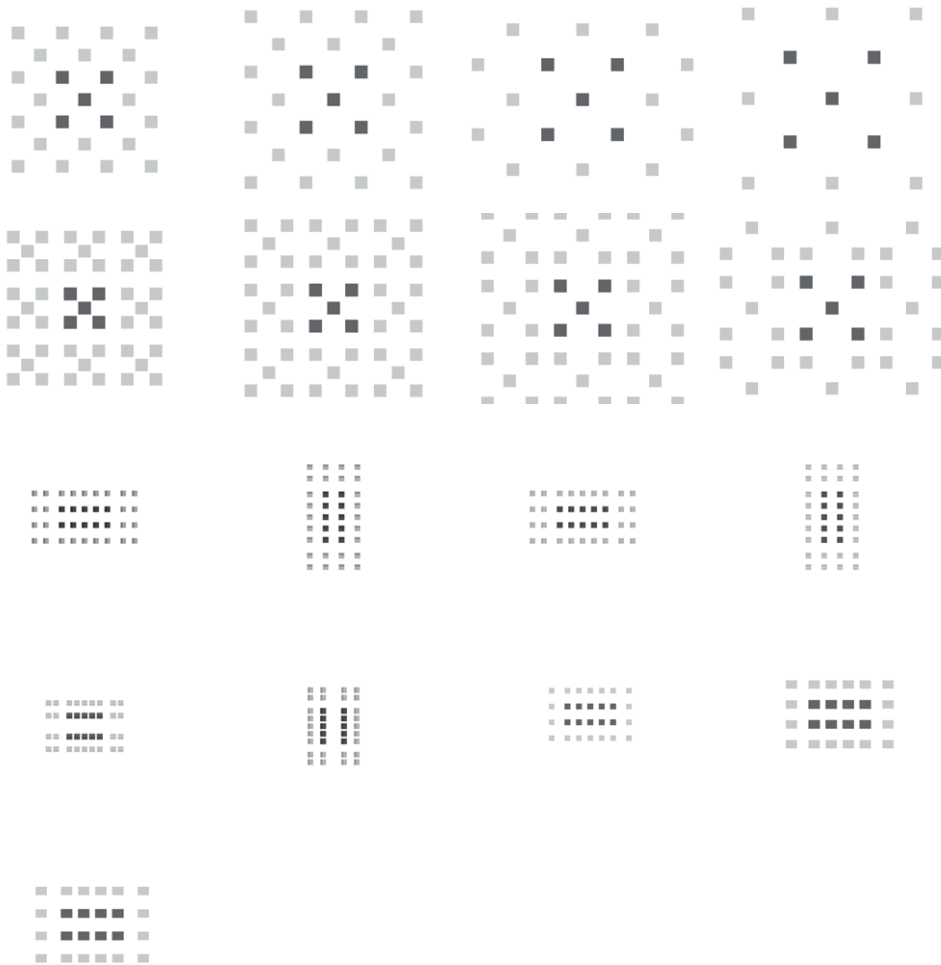


Abb. 58:
 Übersicht untersuchter Morphologien
 des Typus – punktförmige Bebauung;
 Quelle: Eigene Darstellung

3.2. Punktförmige Bebauung

Die untersuchten Bebauungstypen mit punktförmiger Bebauung reichen von der klassischen Einfamilienhaussiedlung auf der einen bis hin zum Hochhaus auf der anderen Seite. Typischerweise weisen punktförmige Bebauungstypen eine breite Varianz innerhalb von Strukturen geringer bis hoher Bebauungsdichte auf.

Punktförmige Bebauung mit geringer baulicher Dichte

Im unteren Dichtebereich lassen sich verschiedene Formen von Einfamilienhausstrukturen und kleine Gewerbeeinheiten identifizieren. Diese variieren stark in der Größe ihrer baulichen Volumen, der Orientierung, der Dachform (Flachdach, Giebeldach), der Dachneigung (60°, 45°, 30°) und den Abständen untereinander (3m bis 10m). Vom Baualter her sind diese Strukturen den Jahren ab 1920 bis zur Gegenwart zuzuordnen.

Die Fassade ist bei diesen Subtypen in der Regel sehr unterschiedlich konstruktiv und mit ganz unterschiedlichen Materialien gestaltet. Bei freistehenden Einfamilienhäusern kommt es durch Vegetation und untergeordneten Bauteilen (z.B. Carports, Garagen, Schuppen, etc.) auf privaten Freiflächen oftmals zu starken Verschattungen. Insgesamt schwankt die Bandbreite der Eingriffsempfindlichkeit von gering bis hoch. Abgesehen von freistehenden ‚Bungalow‘ Typen, ist das Dach bei diesen Bebauungstypen im Wohnbereich in der Regel visuell sehr präsent. Dies liegt einerseits an der geringen Geschossigkeit und andererseits an der Eigenart dieser Typologie selbst. Das typische Einfamilienhaus hat in Laufe der Zeit unzählige Dachformen hervorgebracht. Als Beispiel sei hier das Satteldach, Walmdach, Krüppelwalmdach, etc. zu nennen. Die Form und Materialität des Daches ist somit bei diesem Bebauungstyp maßgeblich Gestalt prägend.

Punktförmige Bebauung mit mittlerer baulicher Dichte

Innerhalb einer mittleren Bebauungsdichte finden sich ‚Stadt villen‘, freistehende Mehrfamilienhäuser und freistehende Bürogebäude wieder. Diese weisen ganz unterschiedliche Gebäudeabstände und Anordnungen auf dem Grundstück auf. In ihrer Dimension im Grundriss sind diese Bauformen oftmals ähnlich beschaffen und als Zwei- oder Dreispänner (im Wohnungsbau) ausgebildet. Dabei weisen diese typischerweise ein Maß von 18 bis 22 Metern Kantenlänge auf. Bürogebäude diesen Typus sind in Ihrer Form noch etwas größer und im Grundriss in der Regel eher rechteckig geformt. Vom Baualter sind diese Typen in die Jahre ab 1950 bis zur Gegenwart einzuordnen.

Die Fassaden diesen Typus sind oftmals in Elementbauweise, beziehungsweise in einfacher Massivbauweise errichtet und mit unterschiedlichen Materialien verkleidet. Dadurch weisen sie in der Regel eine eher geringe bis mittlere Eingriffsempfindlichkeit auf. Trotzdem ist bei Eingriffen auf die visuelle Präsenz der Fassade zu achten. Dächer sind oftmals als Flachdächer konzipiert und weisen damit in der Regel eine geringe Eingriffsempfindlichkeit auf.

Punktförmige Bebauung mit hoher baulicher Dichte

Im oberen Dichtebereich finden sich bei diesem Bebauungstyp Wohn- oder Gewerbehochhäuser wieder. Diese sind in der Regel erst ab den 1970er Jahren bis zur Gegenwart errichtet.

Vielfach besitzen diese Typen nichttragende Elementfassaden. Diese können in der Regel leicht saniert und durch integrierte aktive Systeme ersetzt werden. Somit ist die Eingriffsempfindlichkeit trotz visueller Präsenz eher gering bis mittel. Dächer sind bei Hochhäusern in der Regel als nicht einsehbare Flachdächer konzipiert. Deren Eingriffsempfindlichkeit ist daher gering.



Abb. 59:
 Varianten zeilenartiger
 Bebauungen; Fotos: Steffen Wurzba-
 cher



Abb. 60:
maximale Dichte zeilenartiger Bebauung; Fotos: Steffen Wurzbacher



Abb. 61:
 Übersicht untersuchter Morphologien
 des Typus – zeilenartige Bebauung
 (Auswahl); Quelle: Eigene Darstellung

3.3. Zeilenartige Bebauung

In der Gruppe zeilenartiger Bebauung findet sich ebenfalls die gesamte Bandbreite baulicher Dichte wieder. Diese reicht von kleinen Reihenhauszeilen, kleinen Gewerbezeilen bis hin zu Büro- oder Wohnhochhauszeilen.

Der Grundtypus der Zeile steht aufgrund seiner gerichteten Volumetrie im Fokus der Betrachtung. Hier lassen sich Auswirkungen einer Orientierung nach Himmelsrichtung (z.B. Nord-Süd, Ost-West, etc.) besonders deutlich testen. Insbesondere die Frage, ob eine Ost-West Orientierung gegebenenfalls eine synchronere Strombereitstellung über aktive Systeme ermöglicht, als eine Nord-Süd orientierte Struktur, wird sich am ehesten bei diesem Bebauungstyp beantworten lassen.

Zeilenartige Bebauung mit geringer baulicher Dichte

Den Bereichen geringer baulicher Dichte lassen sich verschiedene Typen von Reihen-, niedrigen Mehrfamilienhäusern sowie mittleren Bürozeilen zuordnen. Deren Baukörper variieren in der Regel zwischen einer Tiefe von 9 bis 15 Metern. Reihenhausstrukturen finden sich in allen Baualtersklassen bis zur Gegenwart wieder.

Die Gestalt der Fassaden fällt bei diesen Bebauungstypen sehr heterogen aus. Insgesamt wird deren Eingriffsempfindlichkeit aufgrund dieser Vielfältigkeit auf eher gering bis mittel eingestuft. Dächer sind entweder als Flach- oder traufseitige Satteldächer konzipiert. Je nach visueller Präsenz ergibt sich dadurch eine geringe bis mittlere Eingriffsempfindlichkeit.

Zeilenartige Bebauung mit mittlerer baulicher Dichte

Im Bereich einer mittleren baulichen Dichte finden sich Mehrfamilien- und Bürogebäude wieder. Diese weisen je nach Erschließungstypus ebenfalls eine Gebäudetiefe von 9 bis 18 Metern auf. Dieser Typus findet sich überwiegend in den Baualtersklassen ab den 1950er Jahren wieder. Hierbei dominieren insbesondere die ‚50er Jahre Wohnzeilen‘ und Büroriegel.

Die beschriebenen Zeilen sind in der Fassadengestalt ebenfalls wieder sehr heterogen beschaffen. Gerade den Wohnzeilen der 1950er Jahre wird jedoch eine geringe bis mittlere Eingriffsempfindlichkeit zugeschrieben. Dächer sind in der Regel als Flachdächer oder Satteldächer konzipiert. Aufgrund der mittleren Geschossigkeit werden Satteldächer hierbei jedoch als weniger visuell präsent erachtet. Somit wird den Dachflächen eine geringe Eingriffsempfindlichkeit zugeschrieben.

Zeilenartige Bebauung mit hoher baulicher Dichte

In den Bereichen hoher baulicher Dichte finden sich große Mehrfamilien- und Bürohäuser wieder. Dieser Typus fand sich im Wesentlichen in der Bautätigkeit der 1960er Jahre bis 1970 wieder. Gegenwärtig werden Zeilenstrukturen mit hoher baulicher Dichte fast nicht mehr errichtet.

Fassaden sind dabei oftmals elementiert konstruiert. Typischen ‚Plattenbauten‘ oder Bürohochhauszeilen wird eine geringe Eingriffsempfindlichkeit zugeschrieben. Manche terrassierte Großwohnsiedlungen mit ihren plastisch gestalteten Balkonen aus Sichtbeton können hingegen durchaus eine mittlere Eingriffsempfindlichkeit haben. Dächer sind fast ausnahmslos als Flachdächer mit geringer Eingriffsempfindlichkeit errichtet.



Abb. 62:
Varianten block- und teppich-artiger Bebauungen; Fotos: Steffen Wurzbacher



Abb. 63:
maximale Dichte block- und teppichartiger Bebauung; Fotos: Steffen Wurzbacher

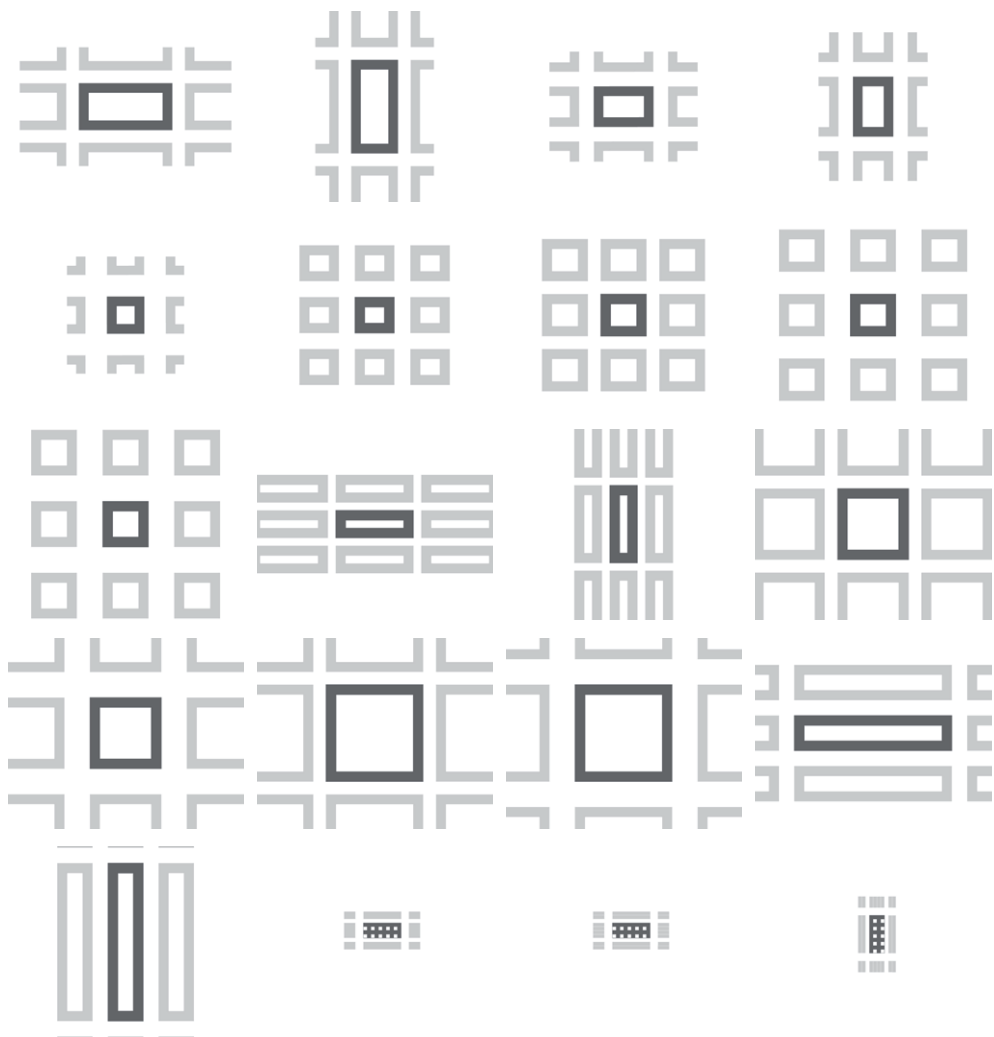


Abb. 64:
 Übersicht untersuchter Morphologien
 des Typus – block- und teppichartige
 Bebauung (Auswahl); Quelle: Eigene
 Darstellung

3.4. Block- und teppichartige Bebauung

Der dritte Bebauungstyp, die Block- und teppichartigen Bebauung, ist volumetrisch am heterogensten. Hier finden sich von eingeschossigen Teppichsiedlungen bis hin zu hochverdichteten Blockstrukturen alle Formen ‚flächiger‘ Bebauungstypen wieder.

Block- und teppichartige Bebauung mit geringer baulicher Dichte

Im Bereich niedriger Dichte finden sich hofförmig angeordnete Reihenaustypen, Teppichsiedlungen, Hofhäuser und kleine Gewerbestrukturen wieder. Speziell im Wohnbereich werden diese Typen überwiegend erst ab den 1960er Jahren bis in die Gegenwart errichtet. Frühere Teppichstrukturen lassen sich nicht identifizieren.

Die Konstruktion der Fassaden ist in den meisten Fällen als Massivkonstruktion (Loch- oder Bandfassade) ausgeführt. Vielfach sind diese Strukturen zusätzlich mit zahlreichen Vor- und Rücksprünge versehen. Aus diesem Grund werden bei Fassaden diesen Typus alle Grade der Eingriffsempfindlichkeit, von gering über mittel bis hoch, als möglich errichtet. Dächer sind bei teppichartigen Strukturen in aller Regel als Flachdächer konzipiert. Oftmals sind diese begehbar oder zumindest einsehbar. Somit weisen sie eine gewisse visuelle Präsenz auf. Insgesamt sind Dachflächen dieser Bebauung mit geringer bis mittlerer Eingriffsempfindlichkeit einzustufen.

Block- und teppichartige Bebauung mit mittlerer bis hoher baulicher Dichte

Die Bereiche mittlere und hohe bauliche Dichte lassen sich bei diesem Bebauungstyp nicht an eindeutigen baustrukturellen Merkmalen festmachen. In beiden Bereichen findet sich der ‚klassische‘ Blockrand wieder. Dieser zeichnet sich durch eine breite Varianz in der Formgebung aus. In Deutschland finden sich dementsprechende Blöcke mit kurzen Kantenlängen von 45 bis 95 Metern (vgl. den „Mannheimer Block“) bis hin zu Blöcken mit großen Kantenlängen von 190 bis 250 Metern (vgl. den „Berliner Block“). Der „Berliner Block“ bildet gleichzeitig durch seine mehrschichtige Bebauung im Blockinneren eine teppichartige Stadtstruktur aus.

Die Blockstruktur kann aufgrund seiner Kompaktheit trotz einer im Vergleich zu einem Hochhaus geringen Geschosshöhe sehr hohe bauliche Dichten generieren. In innerstädtischen Bereichen wie zum Beispiel Berlin Kreuzberg oder Stuttgart West sind GFZ-Werte von zwei bis drei, in einigen Bereichen bis zu fünf die Regel. Die geschlossene und oftmals enge Bauweise führt nicht selten zu Schwierigkeiten bei der Belichtung und Belüftung. Andererseits können sich große Bereitstellungspotenziale aufgrund vergleichsweise hoher Anteile von Dachflächen an den gesamten Gebäudehüllflächen ergeben.

Die Blockbebauung geht bereits auf Baualtersklassen vor 1920 zurück. In vielen Städten existieren zahlreiche Quartiere der sogenannten „Gründerzeit“. Nach den Zerstörungen des Zweiten Weltkrieges wurden vielfach Ersatzneubauten in ähnlicher Volumetrie errichtet.

Dächer von Blockbebauungen sind oftmals als traufseitige Satteldächer, Mansarddächer und vereinzelt auch Flachdächer konstruiert. Ihnen wird aufgrund der geringeren visuellen Präsenz eine geringe bis mittlere Eingriffsempfindlichkeit zugeschrieben. Fassaden sind, sofern sie nicht zerstört wurden, vielfach reichlich ornamental verziert. Somit werden dem Block der mittleren und höheren Dichtebereiche alle drei Eingriffsempfindlichkeiten gering, mittel und hoch zugeschrieben.

Testkörper

		V0-TK01-0°	V0-TK01-90°	V0-TK01-180°	V0-TK01-270°	V0-TK02-0°	V0-TK02-90°	V0-TK03-0°
Maß baulicher Nutzung	GFZ	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
Maß der Kompaktheit	A/V	0,78	0,78	0,78	0,78	0,68	0,68	0,72
Maß der Gerichtetheit (skaliert)	MdG	0,33	0,33	0,33	0,33	0,28	0,28	0,38
Maß solarer Exposition	HAb/H	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Orientierung		N-S	O-W	N-S	O-W	N-S	O-W	Up-Do

Punktförmige Bebauung

		V4-P00-0°	V4-P01-0°	V4-P02-0°	V4-P03-0°	V3-P04-0°	V3-P05-0°	V3-P06-0°	V3-P07-0°
Maß baulicher Nutzung	GFZ	3,18	2,30	1,58	1,15	3,19	2,36	1,77	1,30
Maß der Kompaktheit	A/V	0,25	0,25	0,25	0,25	0,28	0,28	0,28	0,30
Maß der Gerichtetheit (skaliert)	MdG	0,21	0,21	0,21	0,21	0,17	0,17	0,17	0,17
Maß solarer Exposition	HAb/H	1,11	1,49	2,00	2,51	1,00	1,48	2,00	2,48
Orientierung		N-S O-W	N-S O-W	N-S O-W	N-S O-W	N-S O-W	N-S O-W	N-S O-W	N-S

		V1-P08-0°	V1-P08-90°	V1-P09-0°	V1-P09-90°	V1-P10-0°	V1-P10-90°	V1-P11-0°	V2-P12-0°
Maß baulicher Nutzung	GFZ	0,49	0,49	0,33	0,33	0,48	0,48	0,56	0,95
Maß der Kompaktheit	A/V	0,71	0,71	0,80	0,80	0,75	0,75	0,67	0,48
Maß der Gerichtetheit (skaliert)	MdG	0,24	0,24	0,21	0,21	0,22	0,22	0,17	0,20
Maß solarer Exposition	HAb/H	2,03	2,03	3,02	3,02	2,60	2,60	1,78	2,00
Orientierung		O-W	N-S	O-W	N-S	N-S	O-W	-S O-W Up-E	Up-Do

		V2-P13-0°
Maß baulicher Nutzung	GFZ	0,80
Maß der Kompaktheit	A/V	0,48
Maß der Gerichtetheit (skaliert)	MdG	0,20
Maß solarer Exposition	HAb/H	2,44
Orientierung		Up-Do

Tab. 6:
Übersicht untersuchter Morphologien
mit Angabe wesentlicher städte-
baulicher Kennwerte; Quelle: Eigene
Darstellung

Zeilenartige Bebauung

		V4-Z00-0°	V4-Z00-90°	V4-Z01-0°	V4-Z01-90°	V4-Z02-0°	V4-Z02-90°	V4-Z03-0°	V4-Z03-90°
Maß baulicher Nutzung	GFZ	4,52	4,52	3,11	3,11	2,34	2,34	1,48	1,44
Maß der Kompaktheit	A/V	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Maß der Gerichtheit (skaliert)	MdG	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Maß solarer Exposition	HAb/H	1,01	1,01	1,49	1,49	1,99	1,99	2,82	2,82
Orientierung		N-S	O-W	N-S	O-W	N-S	O-W	N-S	O-W

		V3-Z04-0°	V3-Z04-90°	V3-Z05-0°	V3-Z05-90°	V3-Z06-0°	V3-Z06-90°	V3-Z07-0°	V3-Z07-90°
Maß baulicher Nutzung	GFZ	3,44	3,44	2,57	2,57	2,02	2,02	1,69	1,69
Maß der Kompaktheit	A/V	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Maß der Gerichtheit (skaliert)	MdG	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
Maß solarer Exposition	HAb/H	1,00	1,00	1,48	1,48	2,00	2,00	2,48	2,48
Orientierung		N-S	O-W	N-S	O-W	N-S	O-W	N-S	O-W

		V1-Z08-0°	V1-Z08-90°	V1-Z09-0°	V1-Z09-90°	V1-Z10-0°	V1-Z10-90°	V1-Z10-180°	V1-Z10-270°
Maß baulicher Nutzung	GFZ	1,46	1,46	1,32	1,32	1,09	1,09	1,09	1,09
Maß der Kompaktheit	A/V	0,46	0,46	0,46	0,46	0,54	0,54	0,54	0,54
Maß der Gerichtheit (skaliert)	MdG	0,30	0,30	0,30	0,30	0,40	0,40	0,40	0,40
Maß solarer Exposition	HAb/H	2,00	2,00	2,44	2,44	2,67	2,67	2,67	2,67
Orientierung		Up-Do	Up-Do	Up-Do	Up-Do	N-S	O-W	N-S	O-W

		V1-Z08-0°	V1-Z08-90°	V1-Z09-0°	V1-Z09-90°	V1-Z10-0°	V1-Z10-90°	V1-Z10-180°	V1-Z10-270°
Maß baulicher Nutzung	GFZ	1,46	1,46	1,32	1,32	1,09	1,09	1,09	1,09
Maß der Kompaktheit	A/V	0,46	0,46	0,46	0,46	0,54	0,54	0,54	0,54
Maß der Gerichtheit (skaliert)	MdG	0,30	0,30	0,30	0,30	0,40	0,40	0,40	0,40
Maß solarer Exposition	HAb/H	2,00	2,00	2,44	2,44	2,67	2,67	2,67	2,67
Orientierung		Up-Do	Up-Do	Up-Do	Up-Do	N-S	O-W	N-S	O-W

Block- und teppichartige Bebauung

		V4-B01-0°	V4-B01-90°	V4-B02-0°	V4-B02-90°	V4-B03-0°	V3-B04-0°	V3-B05-0°	V3-B06-0°
Maß baulicher Nutzung	GFZ	2,43	2,43	4,23	4,23	8,12	4,35	3,30	3,30
Maß der Kompaktheit	A/V	0,26	0,26	0,22	0,22	0,19	0,22	0,24	0,24
Maß der Gerichtheit (skaliert)	MdG	0,24	0,24	0,19	0,19	0,17	0,19	0,21	0,21
Maß solarer Exposition	HAb/H	2,02	2,02	1,20	1,20	0,90	0,72	2,06	2,06
Orientierung		Up-Do	Up-Do	Up-Do	Up-Do	N-S	Up-Do	Up-Do	Up-Do

		V3-B07-0°	V3-B08-0°	V3-B08-90°	V3-B09-0°	V3-B10-0°	V3-B11-0°	V3-B12-0°	V4-B13-0°
Maß baulicher Nutzung	GFZ	2,66	2,65	2,65	2,09	2,09	1,61	1,61	2,31
Maß der Kompaktheit	A/V	0,27	0,29	0,29	0,27	0,27	0,27	0,27	0,29
Maß der Gerichtheit (skaliert)	MdG	0,24	0,31	0,31	0,24	0,24	0,24	0,24	0,33
Maß solarer Exposition	HAb/H	2,89	1,00	1,00	3,61	4,32	5,05	6,74	2,00
Orientierung		Up-Do	Up-Do	Up-Do	Up-Do	Up-Do	Up-Do	Up-Do	Up-Do

		V4-B13-90°	V1-B14-0°	V1-B15-0°	V1-B15-90°
Maß baulicher Nutzung	GFZ	2,31	0,49	0,81	0,81
Maß der Kompaktheit	A/V	0,29	1,04	0,77	0,77
Maß der Gerichtheit (skaliert)	MdG	0,33	0,35	0,26	0,26
Maß solarer Exposition	HAb/H	2,00	1,98	1,19	1,19
Orientierung		Up-Do	Up-Do	Up-Do	Up-Do

KAP. V

Versuchsaufbau und Energiediagramm

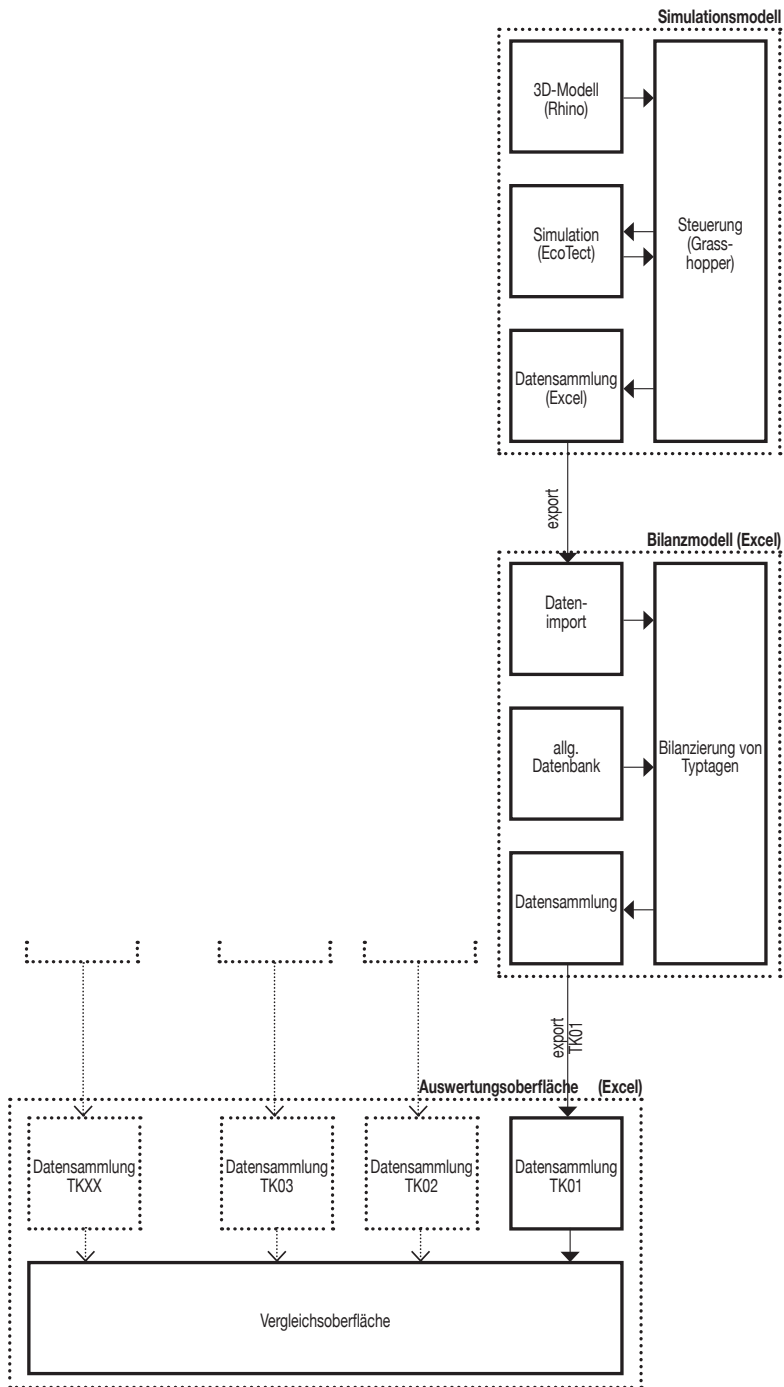


Abb. 65: Schematischer Aufbau und Funktionsweise des Energiemodells mit den drei Teilmodellen - Simulationsmodell, Bilanzmodell, Auswertungsoberfläche; Quelle: Eigene Darstellung

1. Sinnhaftigkeit und Grenzen beim Einsatz eines Modells

Zur Bewertung energetischer Formeigenschaften urbaner Bebauungstypen wird in der vorliegenden Arbeit ein Energiemodell entwickelt, welches unter Berücksichtigung verschiedener variabler Parameter Energiebedarfe und regenerative Potenziale bilanziert. Durch die genannte Möglichkeit, verschiedene Eingabeparameter manuell zu variieren, können spezifische Verhaltensweisen detailliert untersucht werden. Für die Gewinnung realitätsnaher Ziele ist es erforderlich, das Modell präzise zu definieren und seinen Zweck und seine Grenzen zu benennen. Hierfür wird folgend eine kurze Einordnung und Definition des Begriffs Modell vorgenommen.

Der Systemwissenschaftler Hartmut Bossel (2004 S.13) beschreibt „Modelle und Simulationen jeder Art (als) [...] Hilfsmittel für den Umgang mit der Realität; sie sind so alt wie die Menschheit selber.“ Dabei haben „Menschen [...] von jeher in Denkmodellen Pläne gemacht, sie in Gedenken durchgespielt, d.h. ‚simuliert‘, mitgeteilt, diskutiert, verändert, in die Tat umgesetzt oder verworfen.“ (ebd. 2004 S.13) In den unterschiedlichsten wissenschaftlichen Disziplinen werden alltäglich verschiedenste Arten an Modellen und Modellbildungen verwendet, um komplexe Teilvorgänge eines Interessensgebietes zu untersuchen. Bossel (2004 S.51f) verweist im Hinblick auf die Aussagefähigkeit eines Modells auf folgende Aspekte: „Das Modell ist (...) nicht das Originalsystem; es kann nur einen begrenzten Verhaltensausschnitt des Originals wiedergeben, der durch den Modellzweck und die entsprechende Modellformulierung bestimmt ist. Ein gut funktionierendes Modell verführt aber leicht dazu, sein Verhalten als Systemverhalten schlechthin zu interpretieren.“ Somit kann ein Modell immer nur Aussagen zu dem ihm aufgetragenen Zweck liefern. Je breiter der Zweck eines Modells gesteckt wird, desto komplexer wird es in seiner Struktur. Es erfordert eine feingliedrigere Modellierungsarchitektur, welche durch ihr wachsendes Maß an Komplexität auch die Gefahr von Fehlern birgt. Aus diesem Grund ist eine präzise Abgrenzung des Modellzwecks unabdingbar.

Das vorliegende Energiemodell wurde rein zur Beantwortung der unter Kapitel I.4 gestellten Arbeitshypothesen entwickelt. Weitere Nutzungen, wie wärmeenergetische oder klimatische Betrachtungen sind hierbei nicht vorgesehen und mit dem vorliegenden Tool nicht möglich.

2. Struktureller Aufbau und Funktionsweise des Energiemodells

Das entwickelte Energiemodell dient der Analysereihe als Arbeitsinstrument und bildet die Grundlage des Versuchsaufbaus. Struktur und Funktionsweise sind nach vielfacher Modifikation auf die spezifischen Anforderungen der durchgeführten Analyse konzipiert. Dabei erhebt das Energiemodell nicht den Anspruch, ein ‚fertiges‘ Programm zur Evaluation und Darstellung von urbanen Energiebedarfen zu sein, sondern will vornehmlich als Plattform für eine effiziente und ökonomische Datenerhebung und -auswertung im Rahmen der in dieser Arbeit formulierten Thesen dienen.

Strukturell besteht das Energiemodell aus drei Teilen, einem ‚Simulationsmodell‘, einem ‚Bilanzmodell‘ und einer ‚Auswertungsoberfläche‘ (vgl. Abb. 65). Alle drei Teilmodelle sind jeweils ‚händisch‘ programmiert und greifen teilweise auf bestehende kommerzielle Programme zur Durchführung bestimmter Operationen zurück.

Insgesamt erfolgt eine Datengenerierung über die Erstellung von 3D-Modellen der zu untersuchenden Bebauungstypen, einer Simulation von Strahlungswerten, dem Export von Strahlungs- und Geometriedaten und der Bilanzierung von Strombedarfen und Strombereitstellungspotenzialen anhand generierter Werte.

2.1. Verwendete Software

Hauptprogramme:

(Rhino)

Robert Mc Neel & Associates - Rhinoceros (Version 5 SR8 32-bit): 3D-Modellierung

(Grasshopper)

Robert Mc Neel & Associates – Grasshopper (Version November-08, 2013 Build 0.9.0064):
Automatisierung und Steuerung

(EcoTect)

Autodesk - Ecotect Analysis 2011: Simulation von Strahlungswerten

(Excel)

Microsoft – Excel: Bilanzierung von Bedarfs- und Bereitstellungsleistungen und formspezifischen Parametern

Grasshopper Plug-Ins:

(Geco)

Uto - Geco (Geco-GH2ECO and vice versa RH5): Steuerungstool zwischen Grasshopper und
EcoTect, Automatisierung der Simulationen

(LunchBox)

Nathan Miller – LunchBox (v2014.05.05): Excel Exporttool

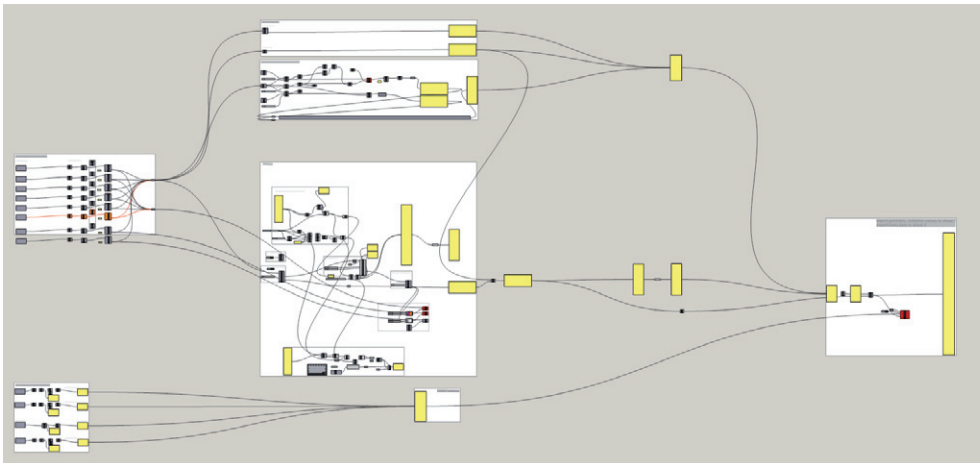


Abb. 66:

Screenshot des Grasshopper Modells
(nur zur Veranschaulichung des methodischen Vorgehens bei der Entwicklung
des Simulationsmodells); Quelle: Eigene
Darstellung

2.2. Simulationsmodell

Die Dateneingabe der Analysereihe beginnt nach Auswahl und Festlegung von zu untersuchenden Betrachtungsräumen mit der Generierung von 3D-Modellen im Programm Rhino. Hierbei sind verschiedene Aspekte beim Detaillierungsgrad, Layerbezeichnung, Objekttyp, etc. zu berücksichtigen. Nach Erstellung eines 3D-Abbildes des zu untersuchenden Bebauungstypus wird die 3D-Geometrie über das ‚Simulationsmodell‘ ausgelesen und für weitere Schritte der Datenverarbeitung vorbereitet. Das Simulationsmodell ist in Grasshopper programmiert und bildet eine automatisierte Schnittstelle, welche Geometriedaten und Layerinformationen des in Rhino erzeugten 3D-Modells auslesen und weiterverarbeiten kann. Dabei extrahiert es Geometriedaten aus dem 3D-Modell und übermittelt diese an das Simulationsprogramm Ecotect. Dieses Simulationsprogramm kann sowohl Direkt-, als auch Diffusstrahlung unter dem Einfluss umgebender Körper simulieren. Hierbei werden simulierte Strahlungswerte erneut über Grasshopper abgegriffen und weitergeleitet. Eine Weiterleitung sendet Strahlungswerte zur Visualisierung zurück an Rhino, aus welchem automatische Bilddaten (jpg) exportiert werden. Eine zweite Weiterleitung sendet Strahlungswerte zusammen mit den zuvor extrahierten Geometriedaten in einer Excel Tabelle. Dort werden sie als Datengrundlage für weitere Betrachtungen zum Import in das Bilanzmodell gesammelt.

2.2.1. 3D-Modellierung & Modellumgebung

Modellumgebung

Bei der Erstellung von zu untersuchenden Testkörpern sind zur Sicherstellung fehlerfreier und realitätsnaher Ergebnisse verschiedene Aspekte zu beachten. Da eine Eigen- und Fremdverschattung signifikante Auswirkungen auf den Betrag zur Verfügung stehender Bereitstellungspotenziale haben kann, ist neben dem eigentlichen Testkörper auch seine direkte Umgebung mit zu modellieren. Hierbei wird die Modellumgebung in zwei Gruppen unterteilt, um einen Modellierungsprozess effizient zu gestalten.

Die unmittelbare Umgebung (UMG) von zu untersuchenden Testkörpern wird in gleichem Detaillierungsgrad wie der Testkörper selber modelliert. Höhen, Gebäudetiefen und prägnante volumenbildende Bauteile sind hier entsprechend zu modellieren.

Die weitere Umgebung (UMG2) wird vereinfacht als durchlaufender Rand modelliert. Dieser vermeidet zufällige horizontale Bestrahlung von Oberflächen des Testkörpers zum Beispiel entlang einer Straßenachse. Die Höhe des Randes passt sich der mittleren Gebäudehöhe (H) des Testkörpers an und wird in den weiteren Untersuchungen mit $0,5 \cdot H$, als der halben mittleren Gebäudehöhe des Testkörpers festgesetzt.

3D-Modellierung strahlungssimulationsrelevanter Daten

Im 3D-Programm Rhino werden einfache Volumen über geschlossene Flächendaten modelliert. Diese werden nach Bauteilen entsprechend auf verschiedenen Layern gesammelt. Hierbei werden folgende Bauteile unterschieden:

- Dachfläche (DF)
- Fassadenfläche (WaF)
- Grundfläche (GR)
- Private Freifläche (PFF)
- Öffentliche Freifläche (OFF)
- Direkte Umgebung (UMG)
- Umgebender Rand (UMG2)

3D-Modellierung weiterer formspezifischer Daten

Daneben werden ebenfalls auf eigenen Layern weitere Informationen zur Geometrie in Form von Linien- und Volumendaten gesammelt. Aus diesen lassen sich später morphologische Bezugsgrößen wie das Maß solarer Exposition ermitteln. Insgesamt werden folgende Zusatzdaten im Modell gezeichnet und nach Layer unterschieden:

- Brutto Volumen (Vol)
- Mittlere Höhe der Bebauung (H)
- Mittlerer Abstand zwischen zwei Gebäuden orthogonal zu den Hauptfassaden (HAb)
- Mittlerer Abstand zwischen zwei Gebäuden orthogonal zu den Nebenfassaden (NAb)

Detailierungsgrad der 3D-Modellierung

Bebauungstypen sind eingenordet zu zeichnen. Da sehr detaillierte Modelle die Rechenkapazitäten der Simulation empfindlich beeinflussen, ist eine Reduktion des Detaillierungsgrades auf die jeweilige ‚Primärform‘ notwendig. Die ‚Primärform‘ stellt dabei das Brutto-Volumen mit seinen raumumgreifenden Elementen wie Versprünge in der Gebäudetiefe, Dachform oder gestaltprägenden Erkern dar. Untergeordnete Bauteile wie Dachgauben, Vordächer, Balkone, Attika, Brandwandüberstände oder Schornsteine sind nicht zu modellieren. Einflüsse dieser untergeordneten Bauteile werden an anderer Stelle im Modell über Reduktionsfaktoren (Abminderungsfaktoren) entsprechend berücksichtigt.

2.2.2. Struktureller Aufbau des Simulationsmodells

Das Simulationsmodell wird im Programm Grasshopper programmiert. Dabei kann im Wesentlichen auf vorprogrammierte Befehlsbausteine zurückgegriffen werden, welche miteinander „verkabelt“ werden. Das vorliegende Modell ist chronologisch und äquivalent zu den üblichen Schritten, Dateneingabe (aus Rhino), Datenverarbeitung (in Grasshopper und Ecotect) und Datenausgabe (Excel) entwickelt.

In einem ersten Block werden Geometrieeigenschaften von Flächendaten nach Layern aus Rhino abgegriffen. Die Layerinformation ist wichtig, um Bauteile wie Dach (DF), Wand, (WaF), Grundfläche (GR), private Freifläche (PFF) und öffentliche Freifläche (OFF) zu unterscheiden. Hierbei handelt es sich um Bruttoflächen, welchen später mit verschiedenen Abminderungsfaktoren auf ein realitätsnahes Abbild nutzbarer Solarpotenziale reduziert werden.

Ein zweiter Block beinhaltet verschiedene Rechenoperationen zur Ermittlung geometrischer Kenngrößen pro Fläche. Diese sind zur Berechnung verschiedener Bezugsgrößen wie das Maß der Gerichtetheit oder zur Unterscheidung maximaler und reduzierter Potenziale notwendig. Im Modell werden sie den jeweiligen Flächen als Attribute ‚angehängt‘. Insgesamt werden folgende Werte ermittelt:

- Orientierung (N, NO, O, SO, S, SW, W, NW, UP, DO)
- Neigung
- Größe der Fläche
- Layerzugehörigkeit

In einem dritten Block werden die verschiedenen Simulationen zu Strahlungsleistungen durchgeführt. Hierbei steuert Grasshopper das Simulationsprogramm Ecotect an. Das Automatisierungspugin - Geco sammelt dabei entsprechende Geometrien und sendet sie als ‚surfaces‘ zur Simulation. Darüber hinaus steuert dieser Baustein auch alle weiteren Parameter einer jeden Simulation an. Unter anderem werden so zu simulierende Stunden im Jahr und der Klimadatensatz mit spezifischen Strahlungswerten dem Programm übermittelt. Umgekehrt sammelt das Simulationsmodell alle simulierten Strahlungswerte und ‚heftet‘ diese in gleicher Weise wie oben beschriebene geometrische Werte (z.B. Orientierung, Neigung, etc.) den jeweiligen Flächen als Attribute an. Am Ende aller 432 Simulationen entsteht demzufolge eine Datenbank, welche alle Flächen des untersuchten Modells mit jeweils allen berechneten und simulierten Attributen gelistet hat.

Ein letzter Block sammelt weitere formspezifische Daten (Vol, H, Hab, NAb), welche zwar nicht den Prozess der Simulation durchlaufen, zur Berechnung geometrischer Formfaktoren aber notwendig sind.

Für weitere Bilanzierungen werden simulierte strahlungs- und formbeschreibende Geometriedaten in ein eigenes Excel-Blatt ‚IMP_data‘ geschrieben. Hierfür wird das Grasshopper Plugin - LunchBox verwendet. Dieses schreibt die gesammelten Flächen sowie deren zugehörige Attribute in ein eigenes Excel-Sheet. Dabei erfolgt eine automatische Sortierung aller Attribute nach Spalten. Somit beinhaltet das Export-Datenblatt pro Zeile alle notwendigen Daten jeweiliger Flächen.

Die oben beschriebenen formspezifischen Daten (Vol, H, Hab, NAb) werden ebenfalls über das Plugin – LunchBox in ein eigenes Excel-Blatt ‚IMP_basis‘ exportiert. Eine Integration in das erste Excel-Blatt ‚IMP_data‘ ist aufgrund der unterschiedlichen Datenstrukturen nicht sinnvoll.

2.3. Bilanzmodell

Das Bilanzmodell ist das ‚Herzstück‘ des Energiemodells und ist händisch in Excel programmiert. Es bilanziert alle für die Untersuchungen notwendigen Analyse- und Bezugsgrößen. Hier werden die simulierten Strahlungswerte und Geometriedaten in ‚nutzbare‘ Potenziale übersetzt und mit eigens berechneten Bedarfswerten gegenübergestellt. Der Kern der vorliegenden Arbeit, der Überlagerung von Angebot und Nachfrage findet in diesem Baustein statt.

2.3.1. Struktureller Aufbau des Bilanzmodells

‚Gefüttert‘ wird das Bilanzmodell mit den Daten, welche im zuvor beschriebenen Simulationsmodell über Simulationen und weitere Rechenoperationen generiert und exportiert wurden. Äquivalent zu den beiden Exportreitern ‚IMP_basis‘ und ‚IMP_data‘ verfügt das Bilanzmodells über zwei namensgleiche Importreiter. Diese sind direkt mit den beiden Exportdatenblättern des Simulationsmodells verknüpft und übertragen nach jedem Aktualisierungsvorgang entsprechende Daten von der Simulation in die Bilanz.

Gesammelte Rohdaten werden in einem ersten Schritt über verschiedene Pivot Tabellen verwaltet und sortiert, bevor diese für weitere Rechenoperationen herangezogen werden. Dieser Zwischenschritt dient vor allem der Rationalisierung von Rechenprozessen und der Vermeidung allzu langer fehleranfälliger Befehlsketten innerhalb von Excel.

In einem eigenen Reiter ‚Typtage‘ werden nun die verschiedenen stündlichen Stromerträge nach Bauteilen und Orientierung aus den simulierten Strahlungswerten pro Periode und Typtag (Werktag, Samstag und Sonntag) berechnet. Hierbei werden die in den Pivot Tabellen vorsortierten Strahlungswerte nach Bauteilen unterschieden und um oben beschriebene Abminderungsfaktoren und Wirkungsgrade auf ein realitätsnahes Maß einer möglichen Strombereitstellungsleistung reduziert.

Aus dieser Sammlung aller theoretisch vorliegenden Potenziale wird in Abhängigkeit zur getroffenen Auswahl ein ‚maximales‘ oder ‚reduziertes‘ Potenzial errechnet. Hierbei werden alle Erträge der in den jeweiligen Potenzialszenarien definierten nutzbaren Flächen aufsummiert und in eine individuelle Bereitstellungskurve einbeschrieben.

Dieser Bereitstellungstagesverlauf wird in einem weiteren Schritt nun mit spezifisch ermittelten Bedarfskurven in Abhängigkeit zu der in der Datenbank eingestellten prozentualen Nutzungsverteilung (Haushalt – Gewerbe) und dem jeweiligen Typtag und Periode überlagert. Diese Überlagerung erfolgt durch Summierung der einzelnen Stundenwerte beider Leistungskurven zur Deckungsleistung.

Aus den Stundenwerten der Deckungsleistung lassen sich nun für jeden zu betrachtenden Typtag oben beschriebene Analysegrößen wie Summe negativer Deckungsleistung sowie die Energiedeckung und den Spitze-Tal-Wert bilanzieren.

In einen weiteren Reiter ‚ZUS‘ werden alle Ergebnisse zu Analyse- und Bezugswerten zusammengetragen und für einen erneuten Export für die Auswertungsoberfläche gesammelt. In diesem Zusammenhang werden die verschiedenen Analysegrößen pro Typtag auch mit dem Betrag der jeweiligen Häufigkeit versehen, um damit eine spätere Hochrechnung auf ein Jahreslastverhalten durchführen zu können.

2.3.2. Datenbanken

Die Entwicklung und Programmierung des Bilanzmodells erfolgt als Prozess, welcher aus kontinuierlichen ‚Arbeitsschleifen‘ mit sich wiederholenden Phasen der Erarbeitung, der Evaluation und der Korrektur besteht. Innerhalb der Entwicklung eines Modells, welches im Rahmen dieser Analysen eingesetzt wird, ist es erforderlich, in vielen Bereichen in einem ersten Schritt mit ‚Platzhaltern‘ zu arbeiten, sofern zu diesem Zeitpunkt noch keine belastbaren Werte vorliegen. Wissenschaftliche Recherchen parallel und im Anschluss an die Programmierung erlauben bei dieser ‚Platzhaltermethode‘ eine sukzessive Korrektur getroffener Annahmen durch fundierte und belastbare Werte.

Aus diesem Grund werden im vorliegenden Modell alle wesentlichen Faktoren und Kenngrößen in einer zentralen Datenbank gesammelt. Auf diese zentrale Datenbank greifen alle Dateien jeweiliger Textkörper zurück. Eine Änderung von Basisgrößen kann somit noch im laufenden Prozess der Versuchsreihe durchgeführt werden. Insgesamt gliedert sich die Datenbank in unten beschriebene Wertegruppen:

Morphologisch strukturelle Eigenschaften

- Verhältnis Energiebezugsfläche (EBF) zu Geschossfläche (GF)
- Mittlere Geschosshöhe
- Mittlerer Fensterflächenanteil nach Orientierung

Energiebedarf und regeneratives Potenzial

- Strombedarf nach Nutzung (Wohnen und Gewerbe)
- Anteil nutzbarer Flächen aktiver Systeme
 - Anteil nutzbarer Dachflächen
 - Fensterflächenanteil
 - Anteil nutzbarer Fassadenflächen
 - Anteil nutzbarer Grundflächen
 - Anteil nutzbarer privater Freiflächen
 - Anteil nutzbarer öffentlicher Freiflächen
- Abminderungsfaktoren untergeordneter Bauteile
- Wirkungsgrad aktiver Systeme

2.4. Auswertungsoberfläche

Die Auswertungsoberfläche dient der vergleichenden Betrachtung aller untersuchter Testkörper und Bebauungstypen. Diese ist ebenfalls ‚händisch‘ in Excel programmiert. Alle Informationen zuvor simulierter und bilanzierter Analyse- und Bezugsgrößen jeweiliger Körper werden hier in gleicher Systematik gesammelt. In einem zentralen Bereich dieses Teilmodells sind verschiedene Matrizen programmiert, in welche über ‚drop-down‘- Menüs zu analysierende Werte geladen werden können. Graphen und Diagramme übersetzen geladene Werte in einfach verständliche Darstellungen. So können innerhalb der entwickelten Matrizen zum Beispiel Werte zur Anzahl der Stunden mit Eigenversorgung dem jeweiligen Maß baulicher Dichte gegenübergestellt und daraus potenzielle Abhängigkeiten dieser beiden Bezugs- und Analysegrößen abgeleitet werden.

Strukturell ist die Auswertungsoberfläche in zwei Teile gegliedert. In einem ersten, datenbankähnlichen Bereich werden alle notwendigen Daten der zu untersuchenden Testkörper und Bebauungstypen gesammelt. Jeder Körper bekommt dabei seinen eigenen Excel-Reiter. Dieser Datenreiter ist stets exakt gleich aufgebaut, so dass eine spätere Verknüpfung auf entsprechende Werte immer an den gleichen Koordinaten erfolgen kann. Gesammelt werden hier grundlegende baustrukturelle, energiebezogene sowie leistungsspezifische Werte jeweiliger Körper. Ein zentrales Übersichtsblatt ermöglicht die Sammlung gewünschter Werte aus den Datenreitern jeweiliger Bebauungstypen. Hierbei werden in einem ersten Schritt die zu vergleichenden Körper chronologisch in eine Liste mit dem Namen des entsprechenden Reiters eingetragen. Durch die gleiche Systematik aller Datenreiter kann nach Wahl der zu betrachtenden Objekte das Programm auf die immer gleichen Koordinaten gewünschter Werte zugreifen und diese zentral in oben beschriebenen Matrizen für weitere Vergleiche und Gegenüberstellungen sammeln.

3. Ablauf einer Simulation von Direkt- und Diffusstrahlung im Programm Ecotect

3.1. Aufbau des Programms

Das Programm „Autodesk® Ecotect®“ (Marsh; Autodesk Inc 2015) (ab sofort: Ecotect) wurde ursprünglich durch den australischen Architekten und Wissenschaftler „Dr. Andrew Marsh“ entwickelt und über die Firma „Share One research“ vertrieben. Im Jahr 2008 wurde das Programm an die Firma Autodesk verkauft. Autodesk verfolgte dabei den Plan: To „integrate functionality similar to Ecotect Analysis into the Revit® product family“ (ebd. 2015). Das ursprüngliche Programm Ecotect selber wurde nicht weiterentwickelt. Ecotect verfügt über einen Baustein zur Simulation der „incident solar radiation“ (Autodesk 2011). Das Rechenverfahren hierzu beschreibt das verantwortliche Softwareunternehmen wie folgt: „The calculation used by the software includes shading from surrounding objects (Fshading), the portion of the sky “visible” by the surface (Fsky), and the angle of incidence between the sun and the face being analyzed (theta).“ (ebd. 2011) Insgesamt unterscheidet Ecotect in der Simulation von Solarstrahlung zwischen Direkt- und Diffusstrahlung. Beide werden über eine „shading mask placed over the sky dome“ (ebd. 2011) berechnet. Diese Masken werden im Simulationsvorgang für jede einzelne Oberfläche separat konstruiert. Dabei erlaubt das Programm, einmalig berechnete Masken abzuspeichern und für spätere Untersuchungen zur Einsparung von Rechenzeit wiederzuverwenden. Wird die Geometrie des jeweiligen Modells nicht verändert, so können mit gespeicherten Masken weitere Simulationsreihen (z.B. Jahreserträge, Monatliche Erträge, etc.) deutlich schneller berechnet werden.

Die Berechnung des Betrags der Diffusstrahlung eines Bauteils erfolgt anhand der jeweiligen Maske und den dort geometrisch konstruierten „visible sky factor“ (ebd. 2011). Hierbei wird der ‚Ausblick‘ eines jeden Bauteils in einer eigenen Projektion fixiert. Neigungswinkel und umliegende Körper bilden sich hierbei als reduzierende Flächen auf der jeweiligen Projektion

ab. Mit Vergrößerung des Neigungswinkels einer Analysefläche aus der Horizontalen heraus verkleinert sich der Anteil der einwirkenden Himmelskuppel („dome“). Folglich reduziert sich in den Berechnungen zur Diffusstrahlung deren Höhe, je vertikaler eine Fläche wird. Umliegende Körper, die den freien Blick zu Teilen der Himmelskuppel verstellen, werden dort mit entsprechendem ‚Abdruck‘ einbeschrieben (vgl. Abb. 67).

3.2. Test zum realitätsnahen Abbild von Diffusstrahlung

Im folgenden Abschnitt wird anhand einer einfachen Versuchsreihe getestet, ob das Programm Ecotect plausible Ergebnisse zu Diffusstrahlungswerten generieren kann. Dies ist erforderlich, da eine Verfälschung von Beträgen der Diffusstrahlung Fehlschlüsse in der Interpretation von Einflüssen der Orientierung auf den Anteil der Eigenversorgung evozieren kann. Dieser Test gilt der Prüfung, ob der Rechenkern von Ecotect ein realitätsnahes Abbild einer Diffusstrahlung auf Dach- und Fassadenflächen sowie Flächen im Freiraum unter dem Einfluss umgebender Bebauung generieren kann. Insbesondere wird hierbei geprüft, wie sich umliegende Körper mit unterschiedlichem Abstand zu jeweiligen Fassaden auf deren spezifischen Diffusstrahlungsertrag in der Jahressumme auswirken.

3.2.1. Versuchsaufbau

Die beschriebene Untersuchung wird in einer ersten Simulation anhand eines einfachen Würfels mit einer Kantenlänge von zehn mal zehn mal zehn Metern durchgeführt. Deren vertikale Flächen werden zudem mit einem quadratischen Raster von zwei mal zwei Metern unterteilt. Die Unterteilung dient der besseren Anschaulichkeit von Unterschieden im Betrag simulierter Strahlungswerte. In einer ersten Simulation wird der beschriebene Würfel ohne weitere Objekte in der Umgebung untersucht. Hierbei wird die kumulierte Direkt- und Diffusstrahlung pro Jahr mit dem Referenzklima Potsdam der Energieeinsparverordnung 2014 hinterlegt. Der Klimadatensatz wurde im Rahmen der vorliegenden Analyse dem Programm „MeteoNorm“ entnommen. Zu erwarten ist, dass alle Rastereinheiten unabhängig von ihrer jeweiligen Himmelsrichtung oder Anordnung auf der Seitenfläche den gleichen Diffusstrahlungsertrag aufweisen.

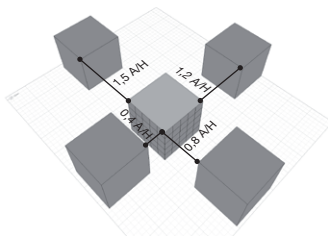
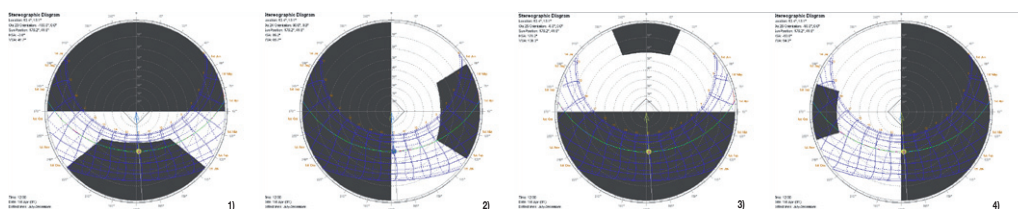


Abb. 67:
 „Shading“ Masken von Seitenflächen
 eines Testwürfels aus dem Programm
 Ecotect
 Quelle: Screenshot eines Versuchsauf-
 baus aus dem Programm Ecotect

In einer zweiten Simulation wird den vier Wandbereichen des Würfels jeweils ein weiterer Würfel gegenüber gestellt. Hierbei werden unterschiedliche Abstände zwischen den umgebenden Körpern und des Testwürfels gewählt (vgl. Abb. 67). Diese werden im Folgenden mit dem Verhältnis Abstand zu Höhe (des Testwürfels) A/H angegeben. Ziel dabei ist es, den Einfluss umgebender Körper auf den Ertrag der Diffusstrahlung vertikaler Bauteile zu identifizieren. Die Abstände zwischen den beiden Körpern belaufen sich auf $0,4A/H$, $0,8 A/H$, $1,2 A/H$ und $1,5 A/H$.

3.2.2. Ergebnis

Die erste Simulation des einzelnen Würfels zeigt einen identischen Betrag Diffusstrahlung auf allen Rasterfeldern. Eine Auswirkung durch unterschiedliche Orientierung nach den vier Haupthimmelsrichtungen ist somit nicht zu beobachten. Somit wird die zu erwartende gleichmäßige Diffusstrahlung hier durch das Modell richtigerweise abgebildet.

In der zweiten Simulation lassen sich die negativen Einflüsse der Umgebung auf den Betrag der Diffusstrahlung erkennen. Im Vergleich zu den Strahlungserträgen ohne umliegende Strukturen fallen diese in der zweiten Simulation geringer aus. Zudem variiert der Betrag der Diffusstrahlung pro Rasterfeld je nach Lage auf der Seitenfläche (vgl. Abb. 68). Rasterfelder in der Mitte und im unteren Bereich weisen einen geringeren, Felder an den seitlichen und an der oberen Kante weisen hingegen einen höheren Diffusstrahlungswert auf. Darüber hinaus lassen sich Unterschiede in den Beträgen je nach Abstand eindeutig identifizieren. Je näher der Körper an die Seitenflächen des Testwürfels herangeschoben wird, desto größer fällt die Reduktion der Diffusstrahlung aus.

Somit wird der Einfluss umliegender Strukturen auf die Diffusstrahlung durch das Programm Ecotect entsprechend hinreichend berücksichtigt.

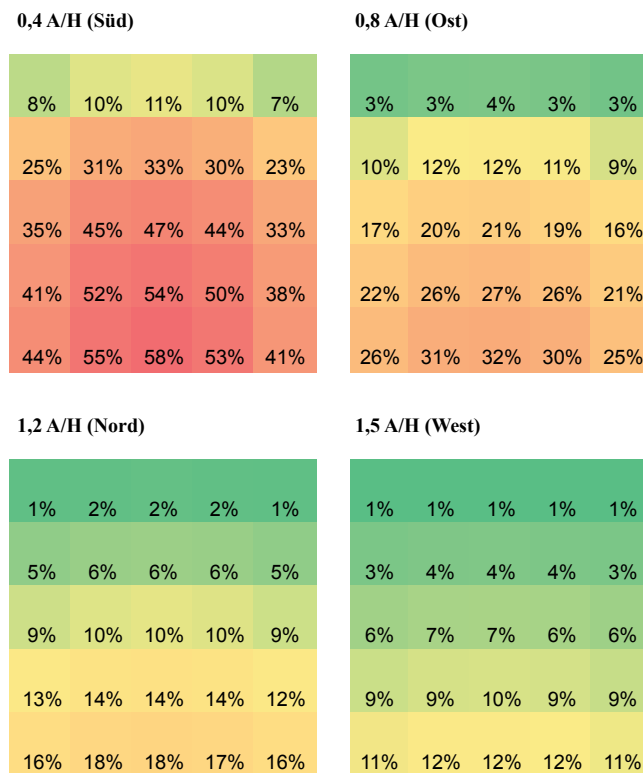


Abb. 68:
Reduktionsfaktoren pro Rasterfeld in Abhängigkeit zum Verhältnis Abstand (A) zu Höhe des Testwürfels (H)
Quelle: Eigene Darstellung

KAP. VI

Ergebnisse durchgeführter Untersuchungen

1. Vorbemerkungen zum Ablauf durchgeführter Untersuchungen

1.1. Übersicht geplanter Versuchsreihen

Die folgenden Untersuchungen werden aufgrund der Vielschichtigkeit der Thematik in verschiedenen Teilschritten durchgeführt. Hierfür werden insgesamt fünf Versuchsreihen (A bis E) nacheinander analysiert und betrachtet.

Grundlegende Einflüsse der Orientierung und der Form werden mit zwei Versuchsreihen (A und B) an einfachen Testkörpern durchgeführt. Hierbei werden losgelöst von städtisch-morphologischen Randbedingungen ‚reine‘ Geometrien betrachtet (vgl. Abb. 56). Durch exakt gleichwertigen Aufbau (z.B. identische solaraktive Oberfläche, identisches Volumen, etc.) können Auswirkungen von Orientierungen solaraktiver Flächen direkt miteinander verglichen werden. Daran anschließend werden in drei Versuchsreihen (C bis E) die in Kapitel IV definierten Stadtbausteine analysiert.

Versuchsreihe A

Eine erste Versuchsreihe A beschreibt die Ergebnisse einer Versuchsreihe mit einfachen Testkörpern mit kleiner Volumetrie (vgl. Kapitel IV.3.1 Testkörper). Diese werden zu Beginn der Arbeit entwickelt und insbesondere zur Fehler- und Funktionsprüfung des programmierten Energiemodells verwendet. Durch die maximale Reduktion der jeweiligen Geometrien fallen erste Rückschlüsse auf Interdependenzen zwischen Form und energetischem Verhalten leichter, als bei komplexeren ‚realen‘ Formen.

Die Testkörper mit kleiner Volumetrie weisen ein Volumen von 1.000 Kubikmeter auf. Von der Größe her sind diese mit kleinen freistehenden Einfamilienhäusern vergleichbar.

Versuchsreihe B

Das ‚Design‘ der zweiten Versuchsreihe B ist identisch wie die Versuchsreihe A aufgebaut. Der Unterschied liegt in der Größe der zu analysierenden Testkörper. Die zweite Serie von Testkörpern ist in ihrer Formung zwar gleich aufgebaut wie die erste Serie, der Unterschied liegt jedoch in der Größe des Volumens. Diese zweite Reihe dient der Beantwortung der Frage, ob Änderungen in der Größe des Volumens bei gleicher Form auch Änderungen im energetischen und leistungsspezifischen Verhalten nach sich ziehen.

Die Testkörper mit großer Volumetrie haben ein Volumen von 6.750 Kubikmetern und sind damit deutlich größer als die Testkörper der ersten Reihe A. Sie sind von der Größe her mit Mehrfamilien- oder mehrgeschossigen Bürogebäuden vergleichbar.

Versuchsreihe C

Die dritte Versuchsreihe C betrachtet nun erstmals die in Kapitel IV beschriebenen Bebauungstypen. Hierbei erfolgen jedoch noch keine direkten energetischen Analysen, sondern es werden Formstudien durchgeführt. Hierbei werden nacheinander jeweils zwei Bezugsgrößen (z.B. Maß baulicher Dichte und Maß der Gerichtetheit, etc. gemäß Definition in Kapitel II) gegenüber gestellt. Ziel dabei ist es, Charakteristika der zu untersuchenden Formen besser zu verstehen und in einem zweiten Schritt qualitative Rückschlüsse aus den Erkenntnissen der Versuchsreihen A und B auf ein potenzielles energetisches und leistungsspezifisches Verhalten zu ziehen.

Versuchsreihe D

Die vierte Versuchsreihe D analysiert die energetischen und leistungsspezifischen Formeigenschaften der betrachteten Bebauungstypen. Diese Untersuchung wird mit dem Szenario ‚maximales Potenzial‘ (vgl. Kapitel III. 2 Entwicklung von Szenarien zur Nutzung aktiver Solarsysteme) durchgeführt. Hierbei gilt es, das unter technischen Bedingungen maximal mögliche Potenzial zu bestimmen. Dieses stellt ein Grenzverhalten untersuchter Bebauungstypen dar.

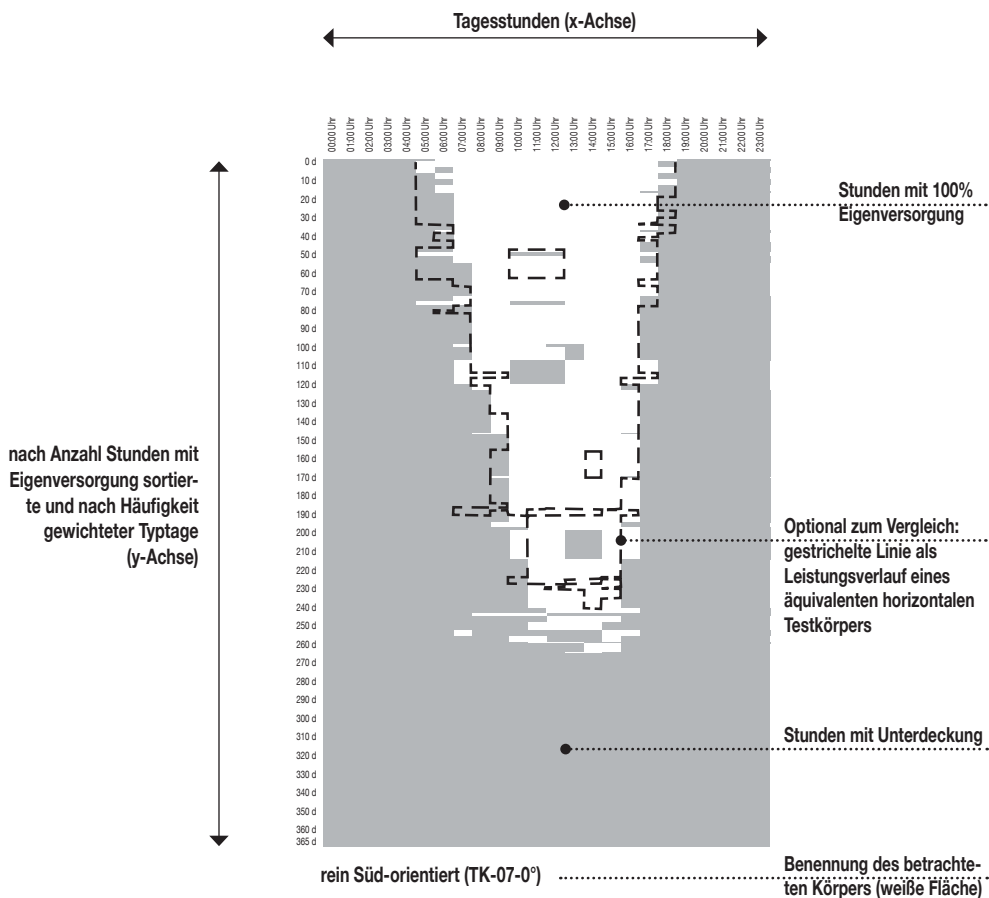


Abb. 69:
Beispiel „Karte zur Eigenversorgung“:
Darstellung aller leistungsspezifischen
Typtage mit Anzahl Stunden mit
Eigenversorgung (Weiß bedeutet 100%
Eigenversorgung, Grau bedeutet Stunde
mit Unterdeckung). Stunden mit Ei-
genversorgung werden auf der x-Achse
abgetragen. Auf der y-Achse werden
Typtage der Größe nach sortiert und
mit der Typtag spezifischen Häufigkeit
gewichtet; Quelle: Eigene Darstellung

Der Ablauf der Untersuchungen dieser Reihe erfolgt chronologisch. Hierbei werden nacheinander die beiden Analysegrößen ‚Energiedeckung‘ und ‚Anteil Eigenversorgung‘ durchdekliniert und den unter Kapitel II beschriebenen Bezugsgrößen gegenüber gestellt. Über den Graphen und dem ermittelten Bestimmtheitsmaß werden nacheinander Abhängigkeiten zwischen Analyse- und Bezugsgröße definiert. Eine kurze Zusammenfassung am Ende dieser Auswertungsreihe erläutert die wichtigsten Ergebnisse.

Versuchsreihe E

Die fünfte und letzte Versuchsreihe E erfolgt in gleichem ‚Design‘ wie die vierte Versuchsreihe D. Hierbei wird an Stelle des Szenarios ‚maximales Potenzial‘ das ‚reduzierte Potenzial‘ angesetzt. Auch hier werden in einer kurzen Zusammenfassung die wichtigsten Ergebnisse dieser Reihe nochmals benannt.

Gegenüberstellung maximales und reduziertes Potenzial

Nach den insgesamt fünf Versuchsreihen werden in einem letzten Schritt die leistungsspezifischen Auswirkungen der beiden definierten Potenzialszenarien einander gegenübergestellt. Dieser Vergleich erfolgt getrennt nach Bebauungstyp. Als Bezugsgröße wird das Maß baulicher Dichte verwendet. Diese Testreihe dient dazu den Einfluss von solaraktiven Systemen in Fassaden und Freiflächen nach Bebauungstyp zu identifizieren.

1.2. Mittel und Methoden zur Analyse und Bewertung durchgeführter Versuchsreihen

Im Rahmen durchgeführter Versuchsreihen werden zu Analyse- und Bewertungszwecken verschiedene Darstellungsmethoden verwendet. Bei den ersten beiden Versuchsreihen A und B kommen verschiedene Balkendiagramme zum Einsatz, welche einen direkten Vergleich untereinander ermöglichen.

‚Karte zur Eigenversorgung‘

Für leistungsspezifische Betrachtungen wird in der vorliegenden Analyse eine eigene ‚Karte zur Eigenversorgung‘ entwickelt. Diese zeigt alle Typtage im Jahr mit ihren jeweiligen Stunden mit Über- und Unterdeckung. Durch eine Überlagerung oder Gegenüberstellung zweier solcher Karten können visuell qualitative Bewertungen leistungsspezifischer Verhaltensweisen getätigt werden. So zeigen Karten zweier unterschiedlicher Testkörper zum Beispiel variierende Anfänge und Enden jeweiliger Überdeckungen nach Uhrzeit. Auch zeigt diese Grafik, an wie vielen Tagen Stunden mit Eigenversorgungen auftreten. Jede Form weist somit einen ureigenes Lastverhalten auf, welcher mit einem ‚Fingerabdruck‘ verglichen werden kann (vgl. Abb. 69).

Kurvendiskussion als Werkzeug zur Gegenüberstellung von Analyse- und Bezugsgrößen

Bei den Versuchsreihen C bis E kann aufgrund der Menge analysierter Bebauungstypen keine Gegenüberstellung jeweiliger ‚Karten leistungsspezifischen Verhaltens‘ erfolgen. Dies würde zu einer zu langen und unübersichtlichen Liste von ‚Karten‘ führen, deren Aussagekraft nicht mehr gegeben wäre. Stattdessen werden die berechneten Analyse- und Bezugswerte in ein XY-Diagramm übertragen. Anhand der Werteverteilung im Graphen werden qualitativ Rückschlüsse auf mögliche Abhängigkeiten gezogen. Sortieren sich Werte entlang von Trendlinien, so ist eine mathematische Abhängigkeit beider gegenüber gestellten Werten gegeben. Weisen die Werte im Graphen eine starke Streuung („Wolke“) auf, kann eine Abhängigkeit nicht eindeutig bestimmt werden. Zur Unterscheidung, bei welcher Streuung noch von einer Abhängigkeit beider Wertepaare ausgegangen werden kann, wird die statistische Kenngröße „Bestimmtheitsmaß (R²)“ herangezogen. Eine Unterscheidung, ab wann eine mathematische Abhängigkeit vorliegt, erfolgt anhand der unter Kapitel II beschriebenen Grenzwerte.

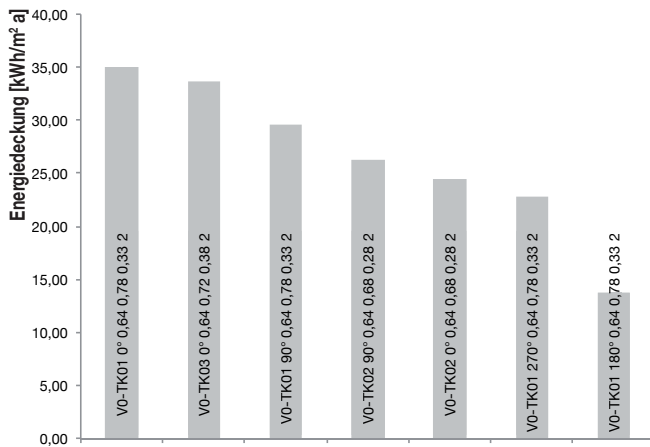


Abb. 70:
 Gruppe kleiner Testkörper (V0): Ener-
 giedeckung nach Größe sortiert; Einstel-
 lung: Reine Wohnnutzung; Spezifische
 Betrachtung (pro m² GF); Quelle: Eigene
 Darstellung

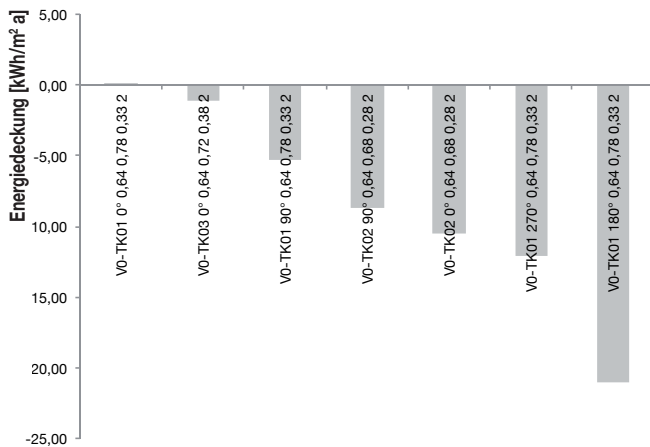


Abb. 71:
 Gruppe kleiner Testkörper (V0):
 Energiedeckung nach Größe sortiert;
 Einstellung: Reine Gewerbenutzung;
 Spezifische Betrachtung (pro m² GF);
 Quelle: Eigene Darstellung

2. Versuchsreihe A (Testkörper mit kleiner Volumetrie)

Bei allen Untersuchungen an den Testkörpern (Versuchsreihe A und B) wird das Systemszenario ‚Reduziertes Potenzial‘ (vgl. Kapitel III. 2 Entwicklung von Szenarien zur Nutzung aktiver Solarsysteme) betrachtet. In diesem Szenario werden ausschließlich Dachflächen als Träger aktiver Systeme bilanziert. Da es sich bei den Testkörpern nicht um städtebauliche Formen handelt, ist eine Bilanzierung von Potenzialen aus Wand-, privaten und öffentlichen Freiflächen sowie allgemeinen städtebaulichen Kennwerten (Maß baulicher Dichte, Maß der Kompaktheit, etc.) nicht erforderlich.

Um eine ‚ungefilterte‘ Bewertung von Einflüssen der Ausrichtung solaraktiver Oberflächen treffen zu können, werden stets gleich große Flächen verwendet. Diese werden in die jeweilig zu betrachtenden Richtungen gedreht. Jeder der insgesamt sieben Testkörper dieser ersten Serie bezieht sich auf ein gleich großes und gleich geformtes Volumen. Damit ist sichergestellt, dass dem nach Ausrichtung variierenden Potenzial ein stets identischer Bedarf gegenüber steht.

Bei der in dieser ersten Versuchsreihe A verwendeten Serie von Testkörpern handelt es sich um einfache Geometrien mit geringem Volumen. Dieses beträgt bei allen Volumen 1.000 Kubikmeter. Als architektonisches Äquivalent kann hierbei das freistehende Einfamilienhaus herangezogen werden. Die Testkörper weisen durch ihre ein bis zweiseitige Orientierung ein hohes Maß an Gerichtetheit auf. Dieses bewegt sich in einem Korridor zwischen 0,28 und 0,33. Durch die exponierten Oberflächen der Baukörper lassen sich hohe Strahlungswerte auf entsprechende Oberflächen erwarten.

Im Folgenden werden die unter Kapitel II beschriebenen Analysegrößen nacheinander abgefragt und entsprechend analysiert.

2.1. Energetische Verhaltensweisen (Energiedeckung)

Reine Wohnnutzung

Wie erwartet, weist der rein Süd-orientierte Testkörper (TK01-0°) die größte spezifische Energiedeckung (pro m² GF) auf. Gefolgt wird dieser vom horizontal orientierten Testkörper (TK03-0°), dem rein Ost-orientierten Testkörper (TK01-90°), dem Ost-West-orientierten Testkörper (TK02-90°), dem Nord-Süd-orientierten Testkörper (TK02-0°) und dem rein West-orientierten Testkörper (TK01-270°). Mit deutlichen Abstand zu dieser Reihenfolge weist der rein Nord-orientierte Testkörper (TK01-180°) die geringste Energiedeckung dieser Serie auf.

Insgesamt werden bei allen Testkörpern deutliche Überschüsse produziert. Alle Testkörper zählen somit unter gegenwärtiger Konfiguration zu den „Plusenergie“ Formen. Dieser Überschuss stellt sich selbst beim rein Nord-orientierten Testkörper (TK01-180°) ein. Dies liegt an der extremen Formgebung der Reihe Testkörper mit kleiner Volumetrie mit vergleichsweise großer solaraktiver Fläche. Darüber hinaus mindern keine umgebenden baulichen Strukturen eine maximale Exposition der jeweiligen solaraktiven Fläche.

Reine Gewerbenutzung

Bei dieser Nutzungsverteilung zeichnet sich eine gleiche Reihenfolge wie bei der ersten Untersuchung mit reiner Wohnnutzung ab. Aufgrund der höheren Strombedarfe gewerblicher Nutzung kommt es hier zu einer Verschiebung hin zu einer negativen jährlichen Energiedeckung. Lediglich der rein Süd-orientierte Testkörper (TK01-0°) erzielt einen minimalen jährlichen Überschuss und damit einer positiven Energiedeckung.

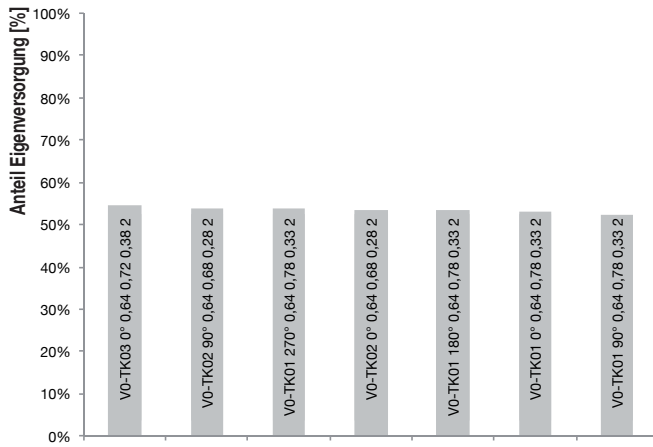


Abb. 72:

Gruppe kleiner Testkörper (VO): Anteil Eigenversorgung nach Größe sortiert; Einstellung: Reine Wohnnutzung; Quelle: Eigene Darstellung

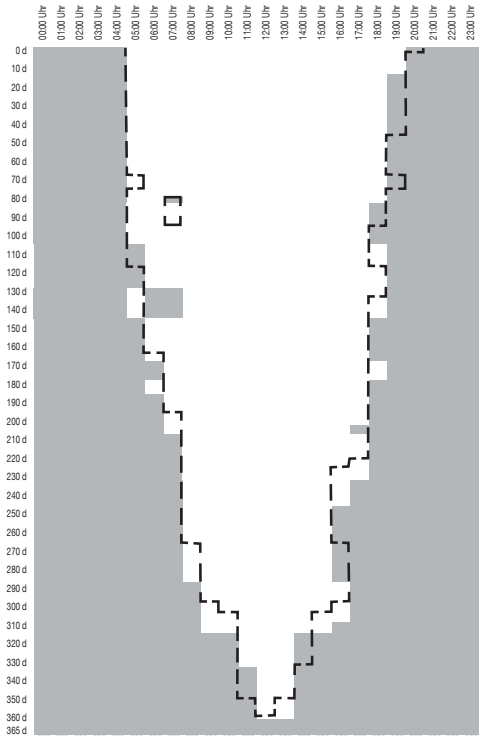
2.2. Leistungsspezifische Verhaltensweisen (Anteil Eigenversorgung)

Reine Wohnnutzung

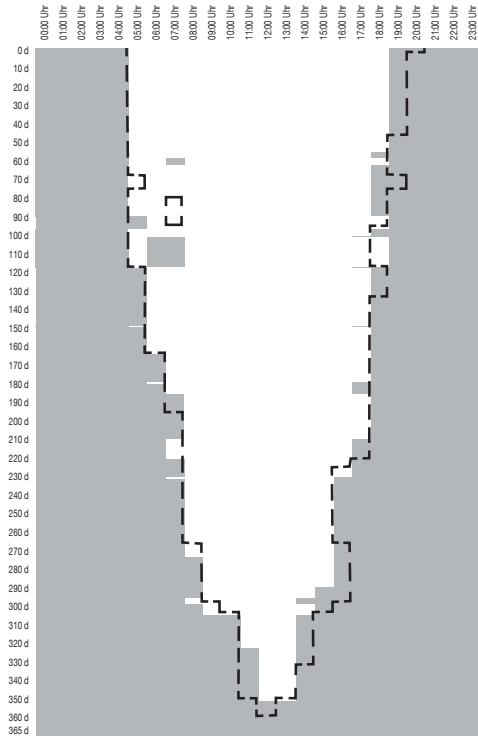
Die Untersuchungen zum Anteil Eigenversorgung am Gesamtbedarf zeichnen ein anderes Bild als die zuvor beschriebenen Analysen zur Energiedeckung. Hier ist der horizontal orientierte Testkörper (TK-03-0°) am leistungseffizientesten. Den geringsten Anteil Eigenversorgung am Gesamtbedarf weist der rein Ost-orientierte Testkörper (TK01-90°) auf. Dazwischen sortieren sich vom ‚Großen ins Kleine‘ der Ost-West-orientierte Testkörper (TK02-90°), der rein West-orientierte Testkörper (TK01-270°), der Nord-Süd-orientierte Testkörper (TK02-0°), der rein Nord-orientierte Testkörper (TK01-180°) und der rein Süd-orientierte Testkörper (TK01-0°) ein.

Insgesamt liegen alle Anteile Eigenversorgung am Gesamtbedarf untersuchter Testkörper mit kleiner Volumetrie innerhalb einer sehr engen Bandbreite von 2,2% Abweichung zwischen dem Testkörper mit dem höchsten und dem Testkörper mit dem niedrigsten Anteil.

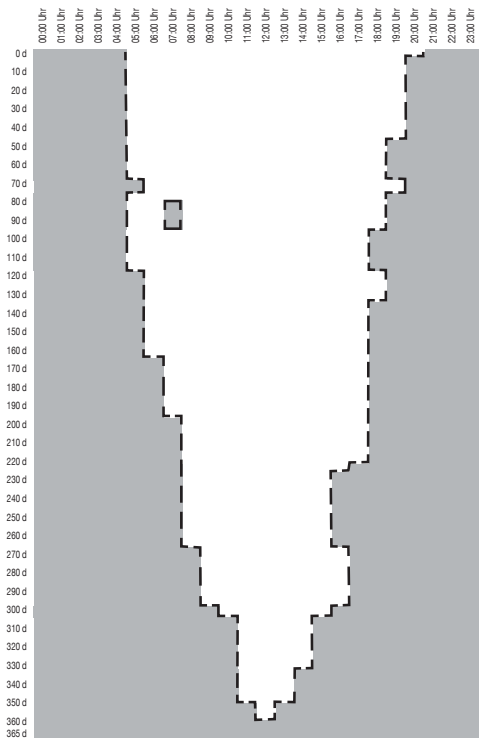
Betrachtet man die ‚Karten zur Eigenversorgung‘, genauer, lassen sich weitere Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Verhalten der jeweiligen kleinen Testkörper qualitativ benennen: Alle Orientierungen sind nicht nur bedarfsdeckend (Grund hierfür der aus dem kleinen Volumen und der energetisch sparsameren Wohnnutzung resultierende geringe Bedarf) sondern produzieren selbst an Typtagen mit geringer Globalstrahlung auch noch Überschüsse. Dies wird insbesondere an der Länge (y-Richtung) der jeweiligen Bereiche Stunden mit Eigenversorgung (weiße Bereiche in der ‚Karte‘) sichtbar. Kleinere Unterschiede lassen sich lediglich an der Lage der Grenzen (Übergang von Bereichen mit Unterdeckung zu Bereichen mit Überdeckung und umgekehrt) beobachten. So weisen einzelne Orientierungen mal einen früheren Beginn mal ein späteres Ende einer tagesweisen Überdeckung auf.



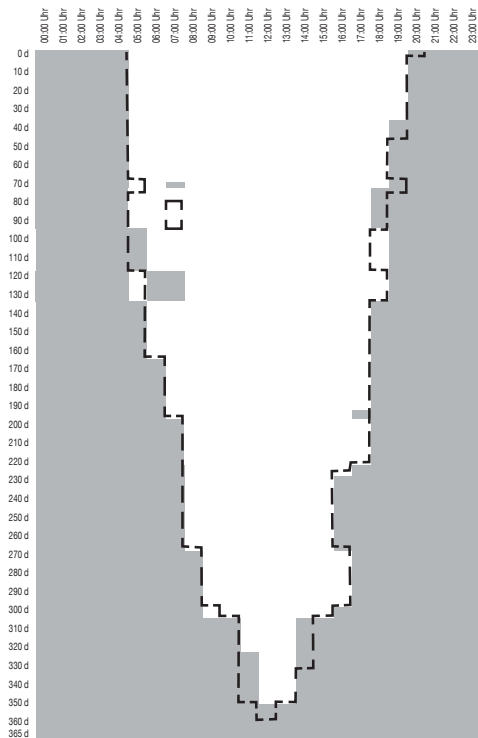
rein Süd-orientiert (TK-01-0°)



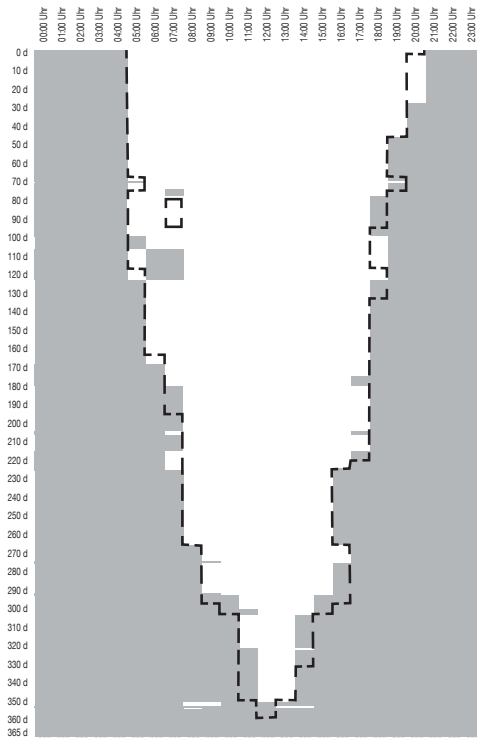
rein Ost-orientiert (TK-01-90°)



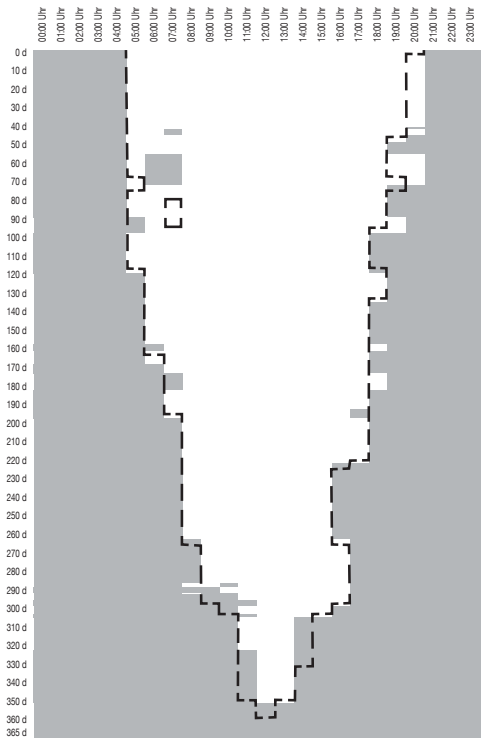
Horizontal-orientiert (TK-03-0°)



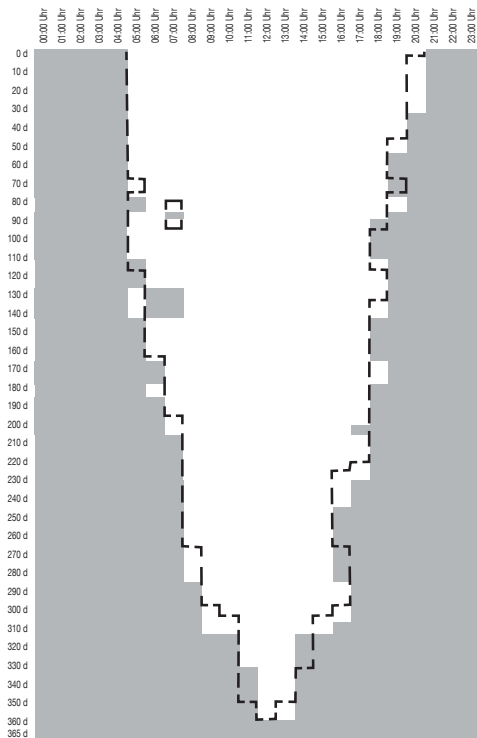
Nord-Süd-orientiert (TK-02-0°)



rein Nord-orientiert (TK-01-180°)



rein West-orientiert (TK-01-270°)



Ost-West-orientiert (TK-02-90°)

Abb. 73:
Eigenversorgung der Serie kleiner Testkörper (V0): mit Anzahl Stunden mit Eigenversorgung in Abhängigkeit zur Orientierung bei reiner Wohnnutzung;
Quelle: Eigene Darstellung

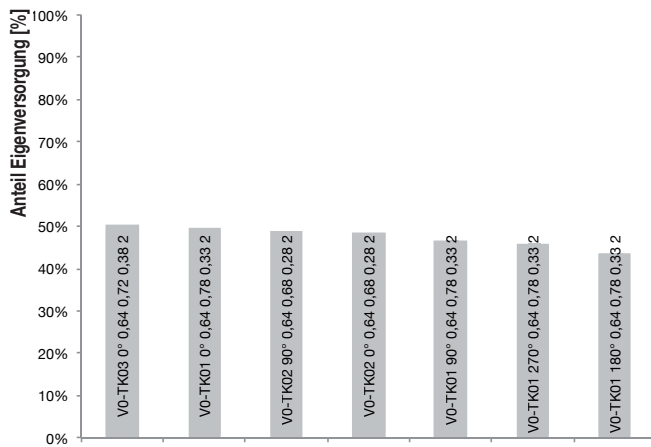


Abb. 74:

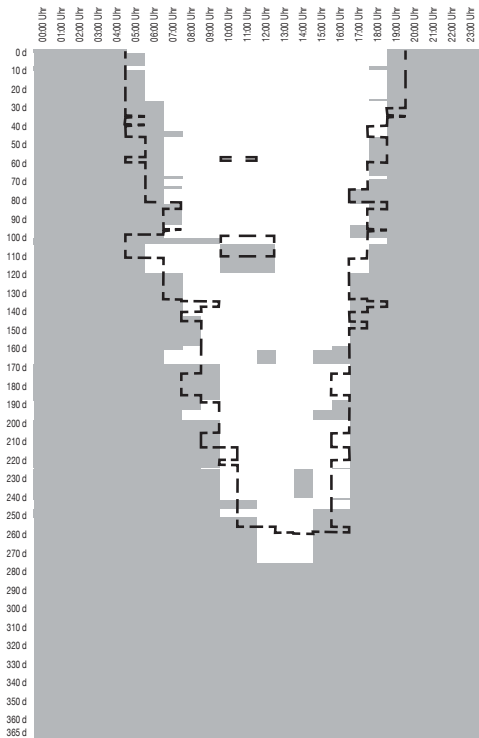
Gruppe kleiner Testkörper (V0): Anteil Eigenversorgung nach Größe sortiert;
 Einstellung: Reine Gewerbenutzung;
 Quelle: Eigene Darstellung

Reine Gewerbenutzung

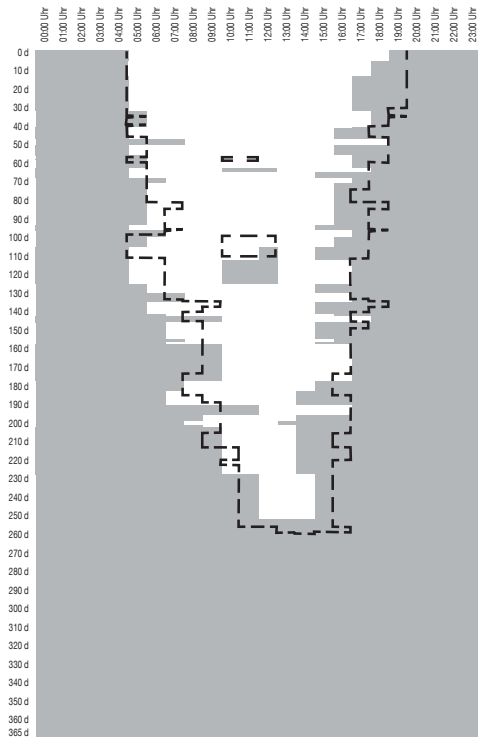
Bei reiner Gewerbenutzung zeichnet sich eine andere Reihenfolge ab, wie bei der zuvor beschriebenen reinen Wohnnutzung. Hier weist der horizontal-orientierte Testkörper (TK03-0°) ebenfalls den höchsten Anteil Eigenversorgung, den geringsten Anteil weist hierbei jedoch der rein Nord-orientierte Testkörper (TK01-180°) auf. Dazwischen sortiert sich der rein Süd-orientierte Testkörper (TK01-0°), der Ost-West-orientierte Testkörper (TK02-90°), der Nord-Süd-orientierte Testkörper (TK02-0°), der rein Ost-orientierte Testkörper (TK01-90°) und der rein West-orientierte Testkörper (TK01-270°) ein.

Auch hier liegen alle Anteile ebenfalls innerhalb einer engen Bandbreite von 6,9% Abweichung zwischen dem Testkörper mit dem höchsten und dem Testkörper mit dem niedrigsten Anteil.

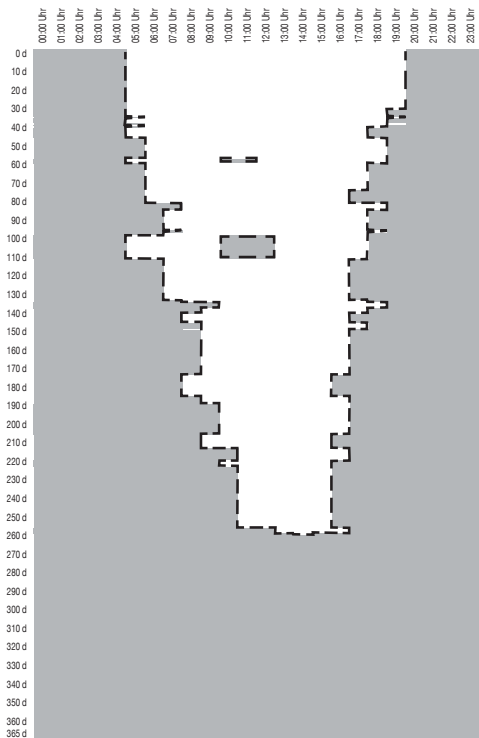
Die ‚Karten zur Eigenversorgung‘ reiner Gewerbenutzung zeigen deutlichere Unterschiede als die zuvor beschriebenen ‚Karten‘ reiner Wohnnutzung auf. So ist zwar in der Summe der horizontal orientierte Testkörper (TK-03-0°) leistungseffizienter als der rein Süd-orientierte Testkörper (TK01-0°), dieser generiert jedoch länger noch kleine Überschüsse (der weiße Bereich ist in y-Richtung länger). Der horizontale Testkörper hingegen produziert in den aktiven Zeiten früher und noch später einen Überschuss (breiterer Verlauf in x-Richtung). Der rein Ost-orientierte Körper kann an verschiedenen Typtagen bereits früher als die anderen Testkörper einen Überschuss bereitstellen. Er weist dementsprechend jedoch auch wieder früher am Abend Unterdeckungen auf. Der rein West-orientierte Testkörper weist große Bereiche in den Vormittags- bis frühen Mittagsstunden auf, an denen Unterdeckung vorliegt. Dafür liefert dieser insbesondere an den sonnigen Typtagen noch später am Abend mehr Strom als benötigt. Die reine Nordseite weist insgesamt den geringsten Anteil Eigenversorgung auf, kann aber interessanterweise an den sonnigen Sommertypen genauso lange Überschüsse produzieren, wie eine horizontale Fläche. Dies liegt an der Fähigkeit frühe Direktstrahlung direkt nach Sonnenaufgang aus Nord-östlicher Richtung sowie späte Direktstrahlung direkt vor dem Sonnenuntergang aus Nord-westlicher Richtung zu ‚ernten‘.



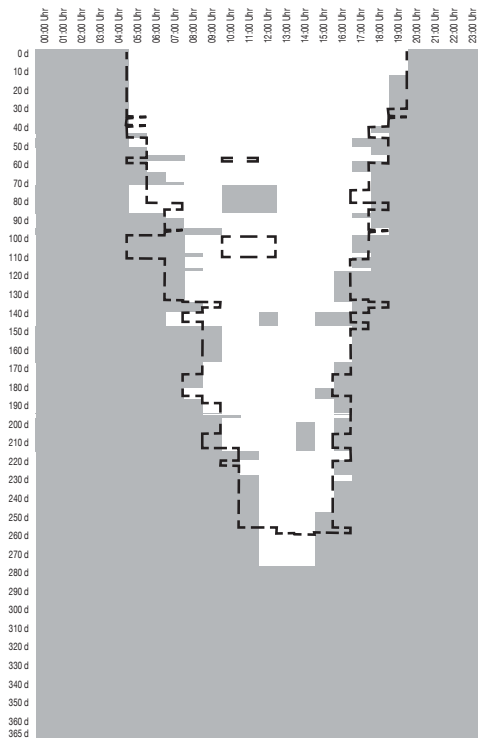
rein Süd-orientiert (TK-01-0°)



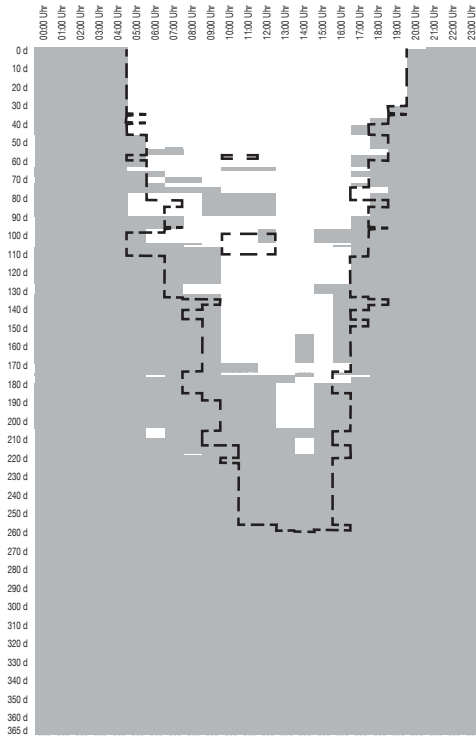
rein Ost-orientiert (TK-01-90°)



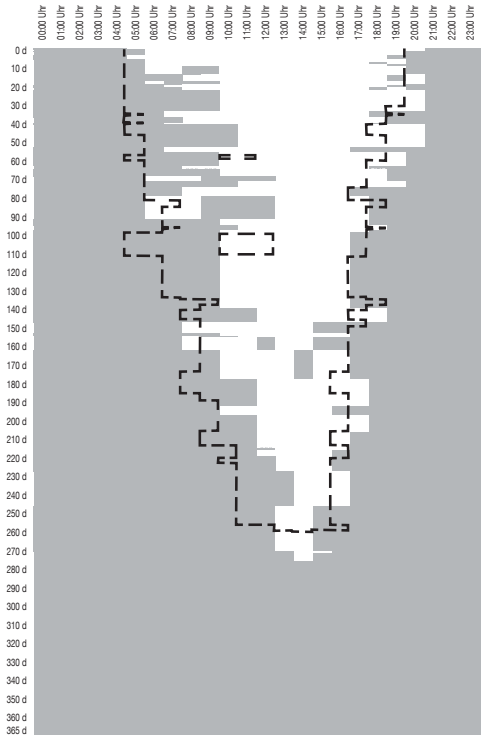
Horizontal-orientiert (TK-03-0°)



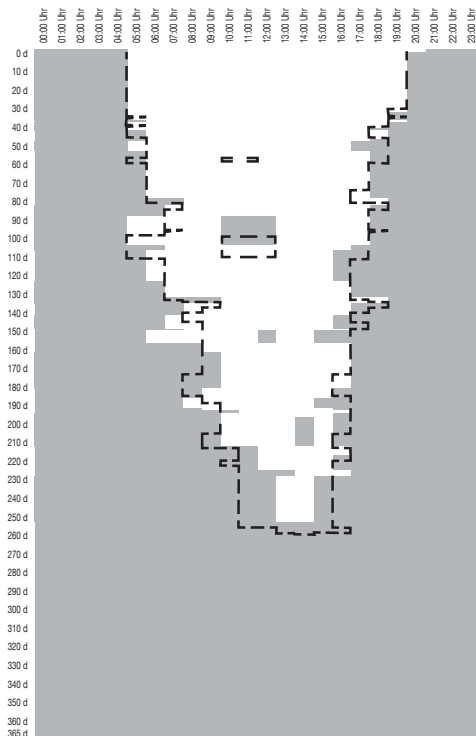
Nord-Süd-orientiert (TK-02-0°)



rein Nord-orientiert (TK-01-180°)



rein West-orientiert (TK-01-270°)



Ost-West-orientiert (TK-02-90°)

Abb. 75:
Eigenversorgung der Serie kleiner Testkörper (V0): mit Anzahl Stunden mit Eigenversorgung in Abhängigkeit zur Orientierung bei reiner Gewerbenutzung; Quelle: Eigene Darstellung

2.3. Versuchsreihe A: Zusammenfassende Bewertung identifizierter energetischer und leistungsspezifischer Verhaltensweisen untersuchter Testkörper mit kleiner Volumetrie

Die erste durchgeführte Versuchsreihe A hat gezeigt, dass kleine Testkörper unter den Paradigmen ‚Energie‘ einerseits und ‚Leistung‘ andererseits (vgl. Kapitel I.3 ‚Leistung‘ – neues Paradigma energetischer Betrachtung) jeweils ganz unterschiedlich bewertet werden können. Zeigen die Untersuchungen noch eindeutige Präferenzen in der ‚Energieeffizienz‘ jeweiliger Testkörper, verändern sich die Bewertungsmaßstäbe unter dem Paradigma ‚Leistung‘ fundamental. Diejenigen Körper, die am ‚energieeffizientesten‘ eingestuft werden, verhalten sich nicht zwangsläufig am ‚leistungseffizientesten‘.

Erstmals wird hierbei auch deutlich, dass umfassendere Betrachtungen bei der Bewertung der jeweiligen „Effizienz“ solaraktiver Systeme notwendig werden. Im Folgenden werden die Ergebnisse der ersten Versuchsreihe A zusammengefasst und einer ersten Bewertung unterzogen. Dabei werden die beiden genannten Paradigmen ‚Energie‘ und ‚Leistung‘ nacheinander beschrieben.

Energetische Betrachtung

Wie erwartet, lässt sich bei den Testkörpern mit kleiner Volumetrie über eine rein Süd-orientierte Fläche die größte Menge Strom im Jahr produzieren. Die Untersuchungen zeigen, dass der rein Süd-orientierte Testkörper (TK01-0°) unabhängig von der Art der Nutzung (Wohnen oder Gewerbe) den größten Wert der Energiedeckung aufweist. Am schlechtesten schneidet unter diesem Paradigma der rein Nord-orientierte Testkörper (TK01-180°) ab. Unabhängig von der Art der Nutzung weisen die Werte der Energiedeckung einen großen Unterschied zwischen dem maximalen Ertrag der reinen Süd-Orientierung und dem minimalen Ertrag der reinen Nord-Orientierung von circa 20 Kilowattstunden pro Quadratmeter Energiebezugsfläche auf. Unterschiedliche Formeigenschaften kleiner Volumen bewirken somit große Unterschiede bei der spezifischen Höhe der Energiedeckung.

Die vorliegenden Ergebnisse zeichnen damit bekannte energetische Verhaltensweisen nach. Gemäß diesen werden in der Praxis die unter Kapitel I.2 beschriebenen Null- oder Plusenergiegebäude konzipiert. Bisher realisierte Projekte nach der Definition des BMVI (2011), weisen daher allesamt großflächige, südorientierte und exponierte Dachflächen zur solaraktiven Strombereitstellung auf.

Leistungsspezifische Betrachtung

Die erste Versuchsreihe A hat das Süd-orientierte geneigte Dach als am ‚energieeffizientesten‘ beschrieben. Die Ergebnisse unter dem neuen Paradigma der ‚Leistung‘, zeichnen hinsichtlich der ‚Leistungseffizienz‘ ein anderes Bild. Hierbei können andere Orientierungen als die Süd-geneigte Dachfläche als ‚effizient‘ klassifiziert werden. Am ‚leistungseffizientesten‘, unabhängig von der Art der Nutzung, stellt sich bei den Testkörpern mit kleinen Volumen die horizontale Orientierung dar. Diese weist sowohl bei reinem Wohnen, als auch bei reinem Gewerbe den größten Anteil Eigenversorgung auf.

Hinter der ‚leistungseffizientesten‘ horizontalen Orientierung variiert die Reihenfolge je nach Art der Nutzung. Bei reiner Wohnnutzung produziert die reine Süd-Orientierung und die reine Ost-Orientierung den geringsten Anteil Eigenversorgung. Dazwischen sortieren sich alle anderen getesteten Orientierungen ein. Hierzu ist einschränkend anzumerken, dass alle Werte zum Anteil Eigenversorgung innerhalb einer sehr engen Bandbreite liegen. Der ‚leistungsineffizienteste‘ weist gegenüber dem ‚leistungseffizientesten‘ Testkörper bei reiner Wohnnutzung eine Verminderung des Anteils Eigenversorgung von 2,2%, bei reiner Gewerbenutzung von 6,9% auf.

Die Ergebnisse zu leistungsspezifischen Verhaltensweisen von Testkörpern mit kleiner Volumetrie zeigen, dass die Orientierung unter dem Paradigma der ‚Leistung‘ an Bedeutung verliert. Selbst eine Nord-orientierte Dachfläche kann unter diesen Umständen maßgeblich eine Eigenversorgung mit Strom aus Solarenergie gewährleisten. Darüber hinaus kann das Zusammenspiel mehrerer unterschiedlich orientierter solaraktiver Oberflächen den Anteil Eigenversorgung verbessern. Wie die ‚Karten zur Eigenversorgung (vgl. Abb. 73 und Abb. 75) gezeigt haben, sind die jeweiligen Orientierungen in der Lage, zu unterschiedlichen Tageszeiten Überschüsse zu produzieren. Innerhalb eines größeren Verbundes wie einer Siedlung oder gar einer Stadt können damit die Zeitfenster solaraktiver Stromproduktion deutlich vergrößert werden.

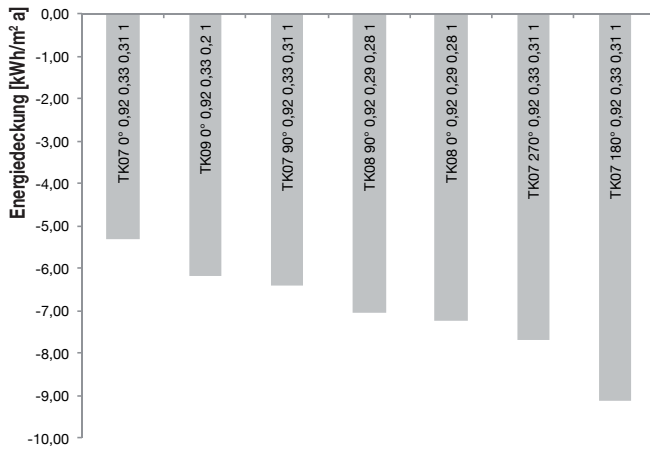


Abb. 76:

Gruppe großer Testkörper (V1):
Energiedeckung nach Größe sortiert;
Einstellung: Reine Wohnnutzung; Spezi-
fische Betrachtung (pro m2 GF); Quelle:
Eigene Darstellung

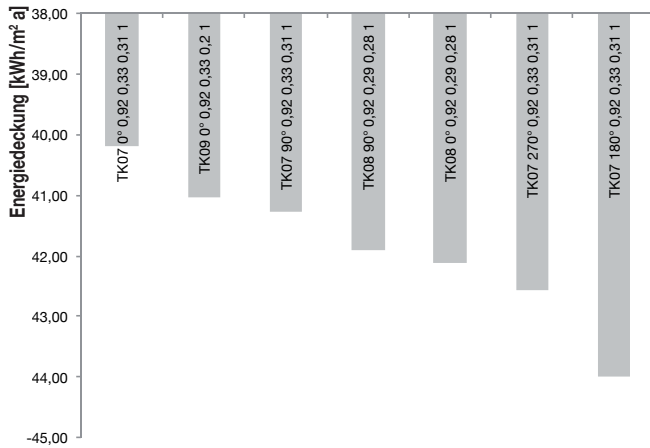


Abb. 77:

Gruppe großer Testkörper (V1):
Energiedeckung nach Größe sortiert;
Einstellung: Reine Gewerbenutzung;
Spezifische Betrachtung (pro m2 GF);
Quelle: Eigene Darstellung

3. Versuchsreihe B (Testkörper mit großer Volumetrie)

Bei der zweiten Versuchsreihe B werden Testkörper mit großer Volumetrie von insgesamt 6.750 Kubikmetern verwendet. Dieses Volumen entspricht der Größe eines vier- bis fünfgeschossigen Mehrfamilien- oder Bürohauses. Getestet hierbei wird, inwiefern die dargestellten leistungsspezifischen Effekte ‚im Kleinen‘ auch ‚im Großen‘ wirken.

3.1. Energetische Verhaltensweisen (Energiedeckung)

Reine Wohnnutzung

Bei Testkörpern mit großer Volumetrie mit reiner Wohnnutzung ergibt sich hinsichtlich der Energiedeckung die gleiche Reihenfolge wie bei Testkörpern mit kleiner Volumetrie der ersten Versuchsreihe A. Die höchste Energiedeckung weist auch hier wieder der rein Süd-orientierte Testkörper (TK07-0°), die geringste Energiedeckung der rein Nord-orientierte Testkörper (TK07-180°) auf. Dazwischen sortieren sich der horizontal-orientierte Testkörper (TK09-0°), der rein Ost-orientierte Testkörper (TK07-90°), der Ost-West-orientierte Testkörper (TK08-90°), der Nord-Süd-orientierte Testkörper (TK08-0°) und der rein West-orientierte Testkörper (TK07-270°) ein.

Die Unterschiede zwischen dem energieeffizientesten und dem energieineffizientesten Testkörper sind deutlich. So weist der letztplatzierte rein Nord-orientierte Testkörper (TK07-180°) eine 71% geringere Energiedeckung als der erstplatzierte rein Süd-orientierte Testkörper (TK07-0°) auf. Somit ist eine Klassifizierung nach dem Paradigma ‚Energie‘ bei dieser Versuchsreihe eindeutig vorzunehmen.

Insgesamt liegen alle Werte der Energiedeckung im negativen Bereich. Das bedeutet, dass die untersuchten Testkörper mit großer Volumetrie im Jahresmittel mehr Strom benötigen, als sie über ihre solaraktiven Flächen produzieren können. Somit entsprechen sie nicht mehr dem Plusenergie-Standard des BMVI (2011).

Reine Gewerbenutzung

Bei einer reinen Gewerbenutzung stellt sich die gleiche Reihenfolge wie bei einer reinen Wohnnutzung ein. Hierbei sind lediglich die einzelnen Beträge der Energiedeckung noch weiter in den negativen Bereich verschoben.

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Testkörpern fallen hierbei geringer aus, als bei reiner Wohnnutzung. Dies liegt an dem insgesamt sehr hohen Strombedarf der zweiten Versuchsreihe. Demgegenüber fällt das Strombereitstellungspotenzial anteilmäßig deutlich kleiner aus und verliert somit an Einfluss auf die Höhe der Energiedeckung. Insgesamt belaufen sich die Unterschiede im Betrag der Energiedeckung zwischen dem erstplatzierten rein Süd-orientierten Testkörper (TK07-0°) und dem letztplatzierten rein Nord-orientierten Testkörper (TK07-180°) auf gerade einmal 9%.

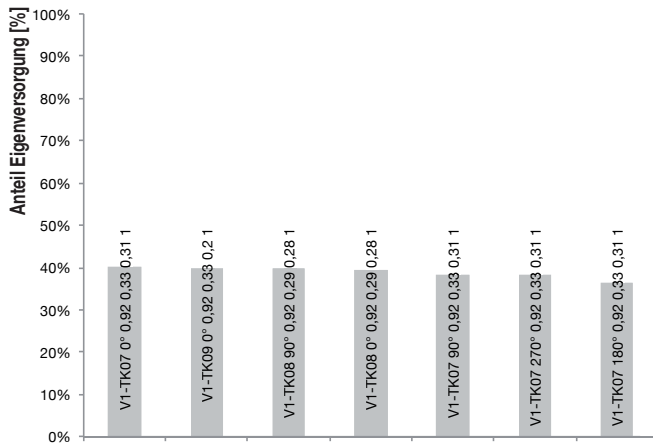


Abb. 78:
 Gruppe großer Testkörper (V1): Anteil
 Eigenversorgung nach Größe sortiert;
 Einstellung: Reine Wohnnutzung; Quel-
 le: Eigene Darstellung

3.2. Leistungsspezifische Verhaltensweisen (Anteil Eigenversorgung)

Reine Wohnnutzung

Bei reiner Wohnnutzung weist der rein Süd-orientierte Testkörper (TK07-0°) den höchsten, der rein Nord-orientierte Testkörper (TK07-180°) den geringsten Anteil Eigenversorgung auf. Dazwischen sortiert sich der horizontal-orientierte Testkörper (TK09-0°), der Ost-West-orientierte Testkörper (TK08-90°), der Nord-Süd-orientierte Testkörper (TK08-0°), der rein Ost-orientierte Testkörper (TK07-90°) und der rein West-orientierte Testkörper (TK07-270°) ein.

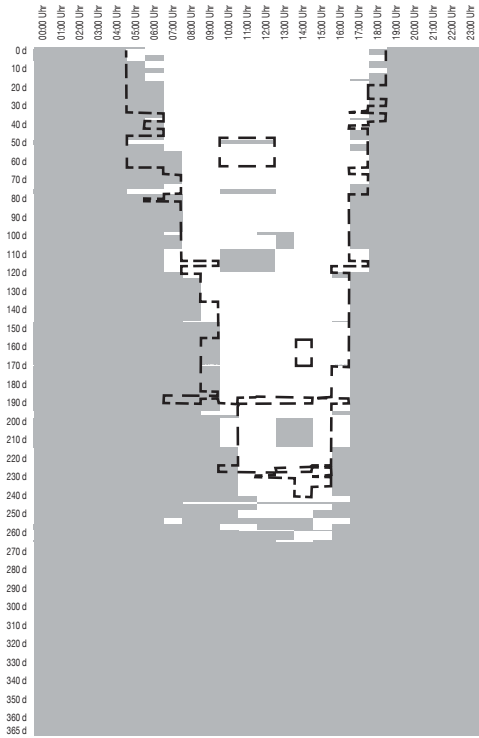
Somit verhalten sich die Testkörper mit großer Volumetrie hinsichtlich einer ‚Leistungseffizienz‘ anders als die Testkörper mit kleiner Volumetrie. Trotz unterschiedlicher Anteile Eigenversorgung, sortieren sich auch bei dieser zweiten Testreihe die Analysewerte wieder innerhalb einer engen Bandbreite. Der Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Anteil Eigenversorgung beträgt 3,8%. Somit kann man davon ausgehen, dass sich bei reiner Wohnnutzung alle Orientierungen fast gleichermaßen ‚leistungseffizient‘ verhalten.

Aussagekräftiger bei den leistungsspezifischen Untersuchungen ist die Gegenüberstellung der ‚Karten zur Eigenversorgung‘. Hier zeigt sich, dass trotz fast identischer Gesamtwerte jeweils ganz unterschiedliche Verhaltensweisen über den Tag und im Jahresverlauf auftreten. So erzeugt der horizontale Testkörper an den meisten Typtagen ein bis zwei Stunden früher als der rein Süd-orientierte Testkörper eine Überdeckung. Dies lässt sich an der Breite des Überdeckungsbereichs – weiß entlang der x-Achse erkennen. Trotz kürzerer Zeitfenster der Überdeckung im Tagesverlauf weist der rein Süd-orientierte Testkörper im Jahresverlauf mehr Typtage mit Überdeckungen auf. Dies lässt sich an der ‚Länge‘ des Überdeckungsbereichs y-Richtung erkennen.

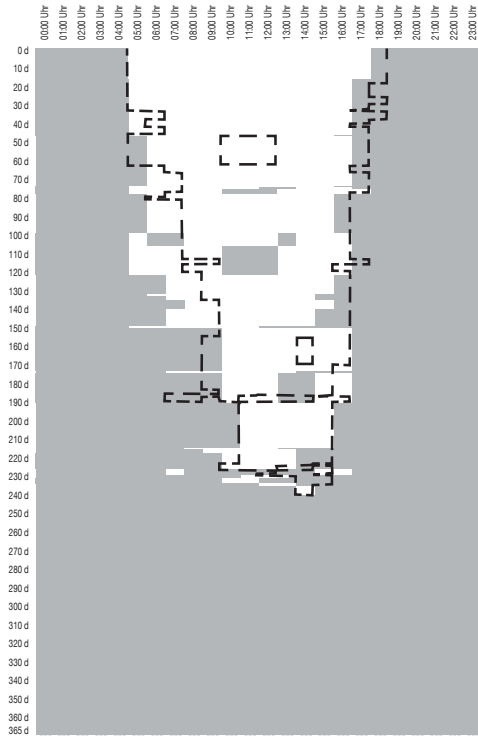
Der rein Ost-orientierte Testkörper weist ein signifikantes Potenzial zur Strombereitstellung in den Vormittagsstunden auf. Interessanterweise endet bei dieser Orientierung die Überdeckung nur circa eine Stunde früher als bei der rein horizontalen Ausrichtung. Ein Körper mit dieser Orientierung kann demzufolge auch noch in den Nachmittagsstunden für das Leistungsprofil – Wohnnutzung genügend Energie aus der zu dieser Zeit nicht mehr optimal orientierten solaraktiven Fläche gewinnen.

Im Unterschied dazu weist der rein West-orientierte Testkörper große Deckungslücken in den Vormittagsstunden aller Typtage auf. In den Abendstunden kann diese Orientierung auch nur circa eine Stunde länger als ein horizontaler Körper eine Überdeckung erzeugen. Trotz ‚schmalerer‘ Anzahl Stunden mit Eigenversorgung, weist die reine West-Orientierung eine größere Anzahl an Typtagen mit zumindest kurzzeitiger Überdeckung auf. Dies wird an der ‚Länge‘ in y-Richtung deutlich.

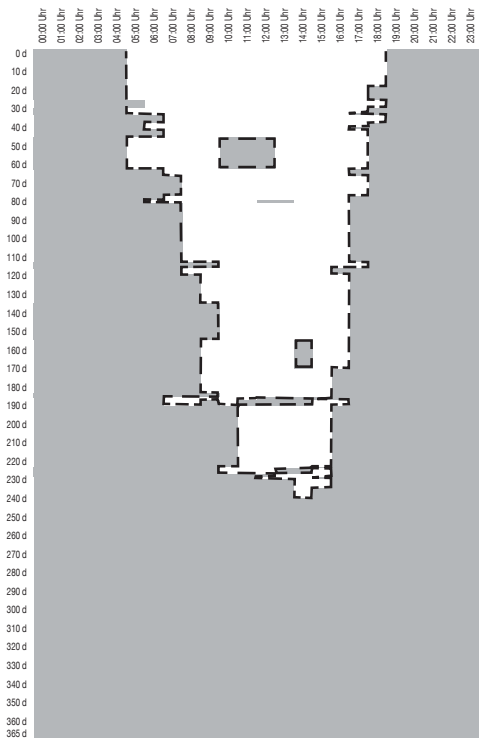
Unterschiede in den beiden Testkörpern Ost-West-Orientierung und Nord-Süd-Orientierung lassen sich in den ‚Karten zur Eigenversorgung‘ nur marginal erkennen. So weist die Ost-West-Orientierung gegenüber der Nord-Süd-Orientierung etwas längere Zeiten mit Überdeckung an einigen Typtagen auf. Insgesamt glätten die jeweils gegenüberliegenden solaraktiven Flächen beider Testkörper den Tageslastgang. Der bei dieser Analysegröße am schlechtesten abschneidende Nord-orientierte Körper weist gemäß seiner ‚Karte zur Eigenversorgung‘ trotzdem noch eine große Anzahl an Stunden mit Eigenversorgung auf. Viele Typtage ähneln im Tagesverlauf sogar dem Profil der horizontalen Orientierung.



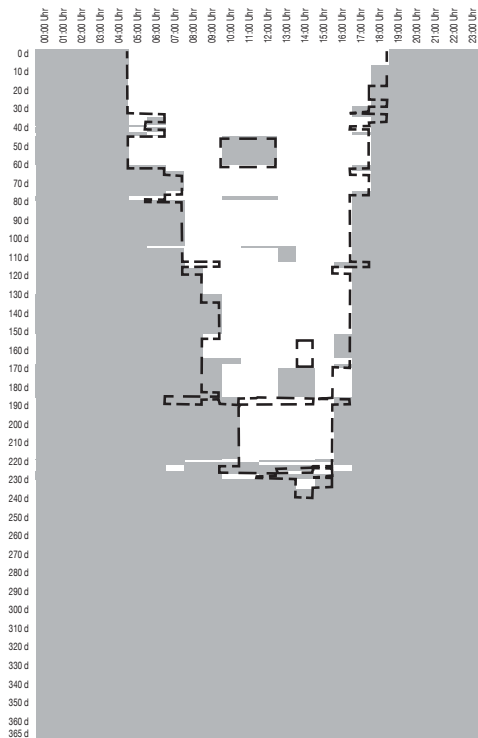
rein Süd-orientiert (TK-07-0°)



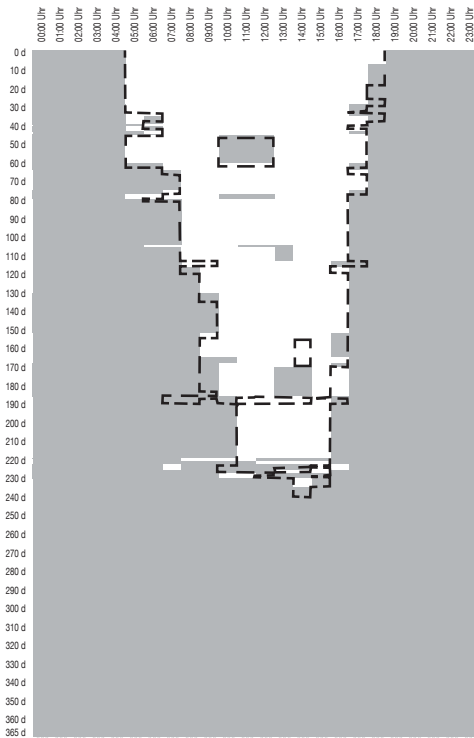
rein Ost-orientiert (TK-07-90°)



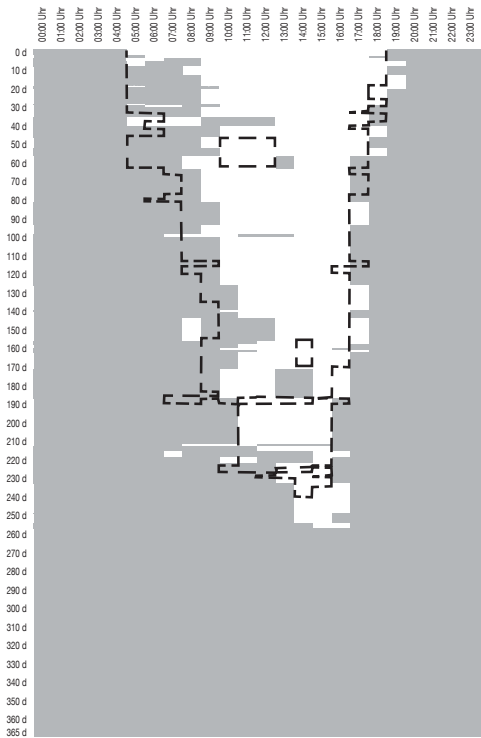
Horizontal-orientiert (TK-09-0°)



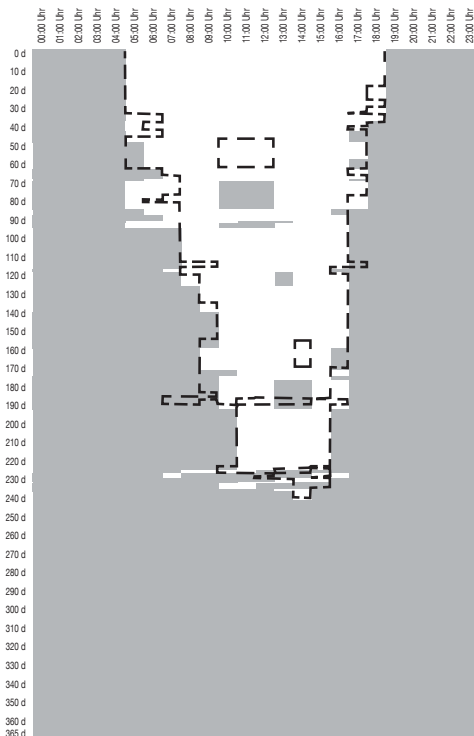
Nord-Süd-orientiert (TK-08-0°)



rein Nord-orientiert (TK-07-180°)



rein West-orientiert (TK-07-270°)



Ost-West-orientiert (TK-08-90°)

Abb. 79:
Eigenversorgung der Serie großer Testkörper (V1) mit Anzahl Stunden mit Eigenversorgung in Abhängigkeit zur Orientierung bei reiner Wohnnutzung;
Quelle: Eigene Darstellung

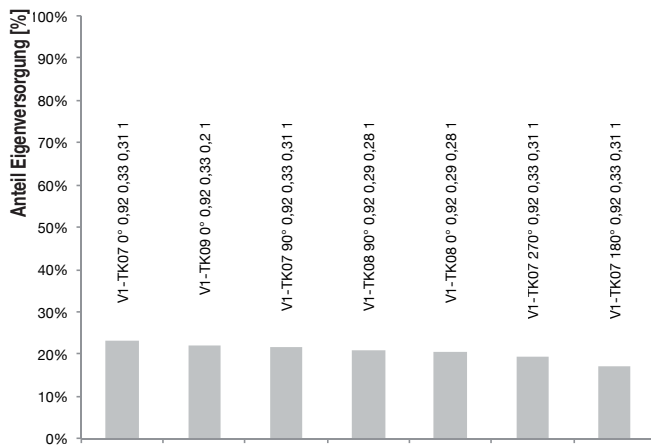


Abb. 80:

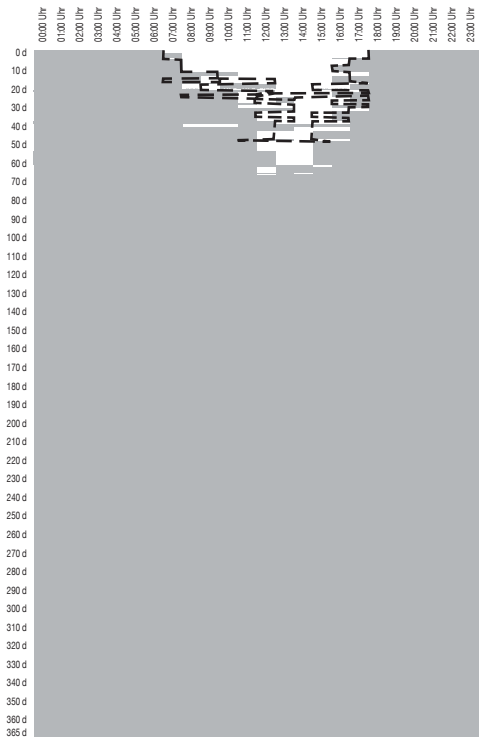
Gruppe großer Testkörper (V1): Anteil
Eigenversorgung nach Größe sortiert;
Einstellung: Reine Gewerbenutzung;
Quelle: Eigene Darstellung

Reine Gewerbenutzung

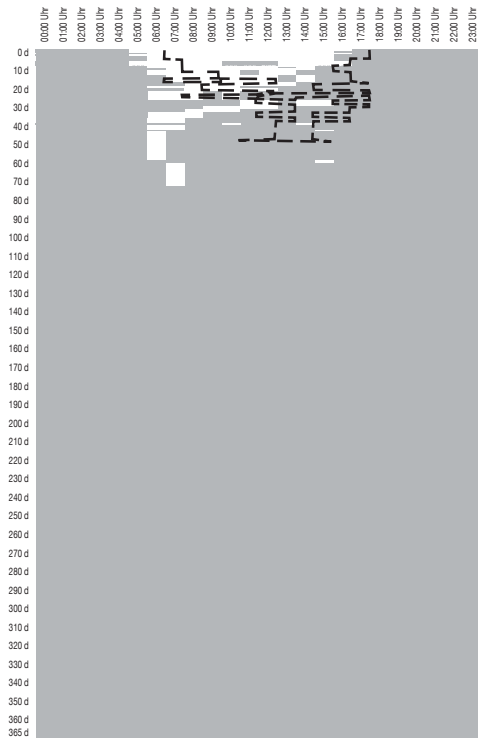
Bei reiner Gewerbenutzung weist der rein Süd-orientierte Testkörper (TK07-0°) den höchsten, der rein Nord-orientierte Testkörper (TK07-180°) den niedrigsten Anteil Eigenversorgung auf. Dazwischen sortiert sich der horizontale Testkörper (TK09-0°), der rein Ost-orientierte Testkörper (TK07-90°), der Ost-West-orientierte Testkörper (TK08-90°), der Nord-Süd-orientierte Testkörper (TK08-0°) und der rein West-orientierte Testkörper (TK07-270°) ein.

Auch bei reiner Gewerbenutzung verhalten sich somit die Testkörper mit großer Volumetrie anders als die mit kleiner Volumetrie. Insgesamt liegen alle Werte ebenfalls wieder innerhalb einer sehr engen Bandbreite. Der Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Anteil Eigenversorgung liegt bei 6,1%. Somit können auch hier alle Orientierungen als gleichermaßen ‚leistungseffizient‘ erachtet werden.

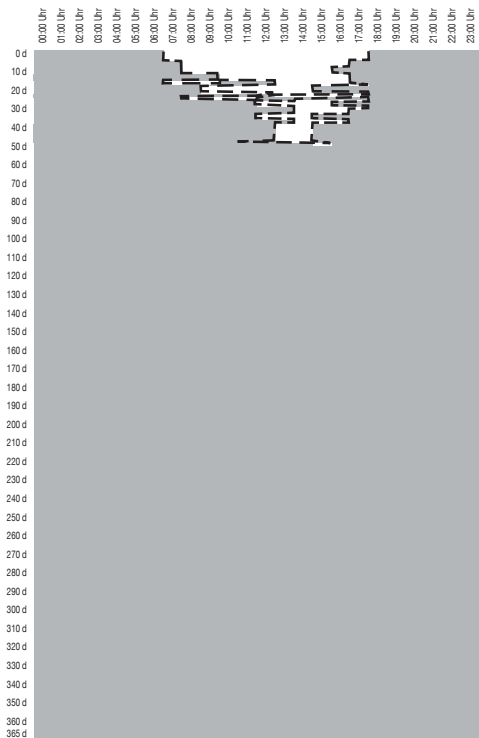
Aufgrund der geringen Eigenversorgung ergibt eine Gegenüberstellung der ‚Karten zur Eigenversorgung‘ keine brauchbaren Ergebnisse. Insgesamt sind alle Testkörper mit großer Volumetrie nur an wenigen Typtagen in der Lage, eine vollständige Eigenversorgung durch aktive Systeme zu übernehmen. Die meiste Zeit besteht ein Bedarf für Strom aus dem öffentlichen Stromnetz.



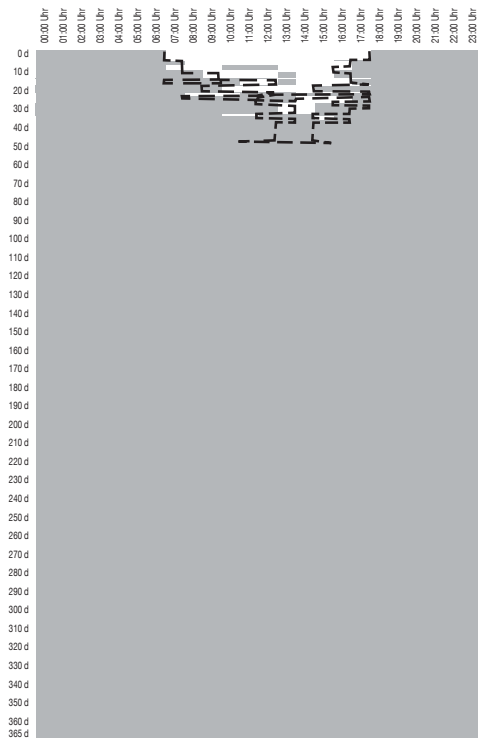
rein Süd-orientiert (TK-07-0°)



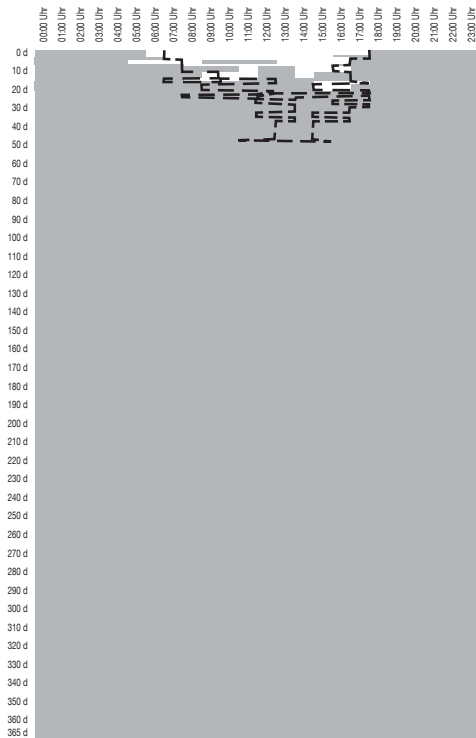
rein Ost-orientiert (TK-07-90°)



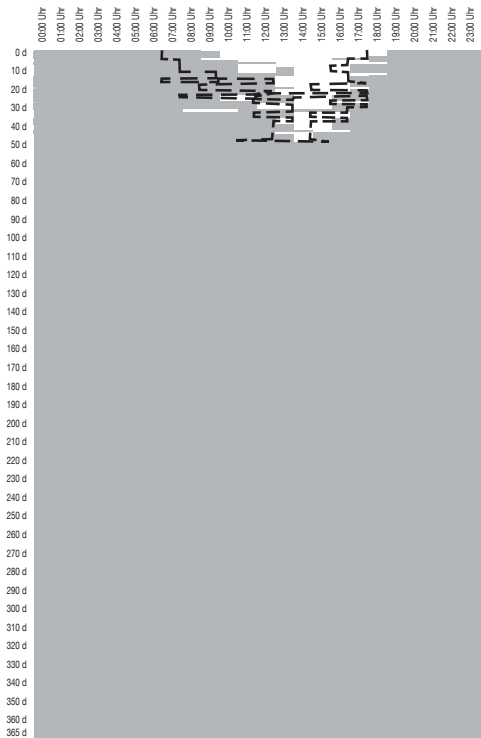
Horizontal-orientiert (TK-09-0°)



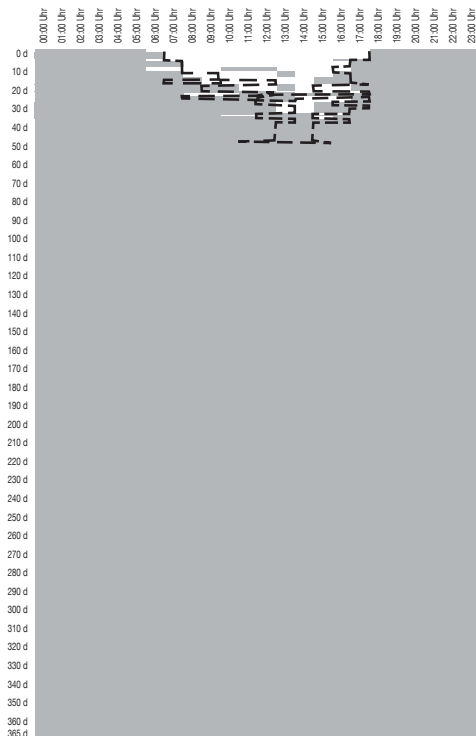
Nord-Süd-orientiert (TK-08-0°)



rein Nord-orientiert (TK-07-180°)



rein West-orientiert (TK-07-270°)



Ost-West-orientiert (TK-08-90°)

Abb. 81:
Eigenversorgung der Serie großer Testkörper (V1) mit Anzahl Stunden mit Eigenversorgung in Abhängigkeit zur Orientierung bei reiner Gewerbenutzung; Quelle: Eigene Darstellung

3.3. Versuchsreihe B: Zusammenfassende Bewertung identifizierter energetischer und leistungsspezifischer Verhaltensweisen untersuchter Testkörper mit großer Volumetrie

Die Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe B bestätigen die abweichenden Effizienzbewertungen je nach gewähltem Paradigma ‚Energie‘ oder ‚Leistung‘. Die große Volumetrie der Testkörper dieser zweiten Versuchsreihe B führt dabei zu einer Abminderung von Erträgen im Vergleich zu den Testkörpern mit kleiner Volumetrie.

Energetische Betrachtung

Die Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe B haben gezeigt, dass unter dem Paradigma der ‚Energie‘ die Größe der Volumetrie keine Auswirkung auf eine bevorzugte Orientierung hat. Wie bereits in der ersten Versuchsreihe A beobachtet, erweisen sich auch in dieser zweiten Versuchsreihe B die rein Süd-orientierten Dächer als am ‚energieeffizientesten‘. Dies ist unabhängig von der Art der Nutzung (Wohnen oder Gewerbe). Bei beiden Versuchsreihen A und B werden deutliche Unterschiede in der Höhe der Energiedeckung in Abhängigkeit zur Orientierung deutlich. Sowohl bei reiner Wohnnutzung als auch bei reiner Gewerbenutzung weisen die Untersuchungen Unterschiede zwischen dem maximalen Ertrag der reinen Süd-Orientierung und dem minimalen Ertrag der reinen Nord-Orientierung von ca. vier bis fünf Kilowattstunden pro Quadratmeter Energiebezugsfläche auf. Vergleicht man den Differenzbetrag der zweiten mit dem der ersten Untersuchung, reduziert sich dieser von circa 20 auf fünf Kilowattstunden. Somit nähern sich die Erträge der unterschiedlichen Orientierungen einander an und der Einfluss der Orientierung ‚egalisiert‘ sich ein Stück weit. Je größer ein Volumen ist, desto geringere Unterschiede entstehen durch die jeweiligen Orientierungen solaraktiver Systeme. Im Umkehrschluss gilt auch: Je kleiner das Volumen wird, desto größer werden entsprechende Unterschiede.

Aufgrund des größeren baulichen Volumens erzielen die Testkörper dieser zweiten Serie sowohl bei reiner Wohn- als auch bei der Gewerbenutzung keinen jährlichen Überschuss mehr. Somit entsprechen diese nicht mehr dem Plus-Energie-Standard gemäß Definition des BMVI (2011).

Leistungsspezifische Betrachtung

Unter dem Paradigma der ‚Leistung‘ zeichnen die Testkörper mit großer Volumetrie ein ähnliches Verhaltensmuster ab, wie die Testkörper mit kleiner Volumetrie der ersten Versuchsreihe A. Alle untersuchten Orientierungen weisen dabei ähnliche Werte auf und liegen in einer engen Bandbreite. Insgesamt fällt die Höhe des Anteils Eigenversorgung bei allen Testkörpern mit großer Volumetrie (Versuchsreihe B) geringer aus, als bei den Testkörpern mit kleiner Volumetrie (Versuchsreihe A). Kann ein Testkörper mit kleiner Volumetrie eine Eigenversorgung von maximal 55% (reine Wohnnutzung), beziehungsweise 50% (reine Gewerbenutzung) über aktive Systeme erreichen, decken solaraktive Systeme von Testkörpern mit großer Volumetrie maximal 40% (reine Wohnnutzung), beziehungsweise 23% (reine Gewerbenutzung) ab.

Im Unterschied zur ersten Versuchsreihe A, schneidet bei der zweiten Versuchsreihe B die reine Süd-Orientierung unabhängig von der Art der Nutzung (Wohnen oder Gewerbe) um 1,6% besser als die horizontale Orientierung ab. Die reine Nord-Orientierung schneidet ebenfalls unabhängig von der Art der Nutzung mit einer Abweichung von 6,1% am schlechtesten ab.

An den ‚Karten zur Eigenversorgung‘ lassen sich ganz individuelle Vor- und Nachteile einzelner Orientierungen studieren. Hierbei wird deutlich, dass die horizontale Orientierung sich bei reiner Wohnnutzung insgesamt am ‚breitesten‘ verhält. Das bedeutet, sie stellt an fast allen Typtagen jeweils die größte Anzahl Stunden mit Eigenversorgung bereit. Die reine Süd-Orientierung hingegen liefert an noch mehr Typtagen als die horizontale Orientierung zumindest kurzzeitige Überschüsse. Interessant im Hinblick auf eine frühe (Morgenstunden) und späte (Abendstunden) Bereitstellung von eigenproduziertem Strom aus solaraktiven Systemen verhält sich auch die Ost-, beziehungsweise die Ost-West-Orientierung. Hierbei wird eine breite Eigennutzung ermöglicht. Eine reine West-Orientierung erscheint aufgrund der großen Deckungslücken in den Vormittagsstunden weniger für eine reine Wohnnutzung geeignet.

Bei reiner Gewerbenutzung lässt sich anhand der ‚Karten zur Eigenversorgung‘ bei allen Orientierungen eine große Anzahl an Typtagen identifizieren, an denen der produzierte Strom gar nicht mehr zur Eigenversorgung ausreicht. Abhängig von der Orientierung kann maximal an bis zu 60 Tagen im Jahr überhaupt ein kurzzeitiger Überschuss von ein bis zwei Stunden gewonnen werden. In der restlichen Zeit herrscht ein Bedarf aus einer zusätzlichen Quelle wie dem Stromnetz oder einem dezentralen Erzeuger.

Die Frage, welche Orientierung bei Gebäuden mit großer Volumetrie die ‚leistungseffizienteste‘ sei, lässt sich äquivalent zur Versuchsreihe A wie folgt beantworten:

Jede Orientierung solaraktiver Flächen, inklusive ein Nord-geneigtes Dach, kann in fast gleicher Weise zu einer Eigenversorgung beitragen. Unterschiede zwischen den Orientierungen sind dabei sehr gering. Je größer das Volumen und damit der absolute Strombedarf werden, desto geringer wird der Anteil Eigenversorgung. Da eine reine Gewerbenutzung einen höheren Strombedarf aufweist als eine reine Wohnnutzung, reduziert sich der Anteil Eigenversorgung durch die Art der Nutzung nochmals.

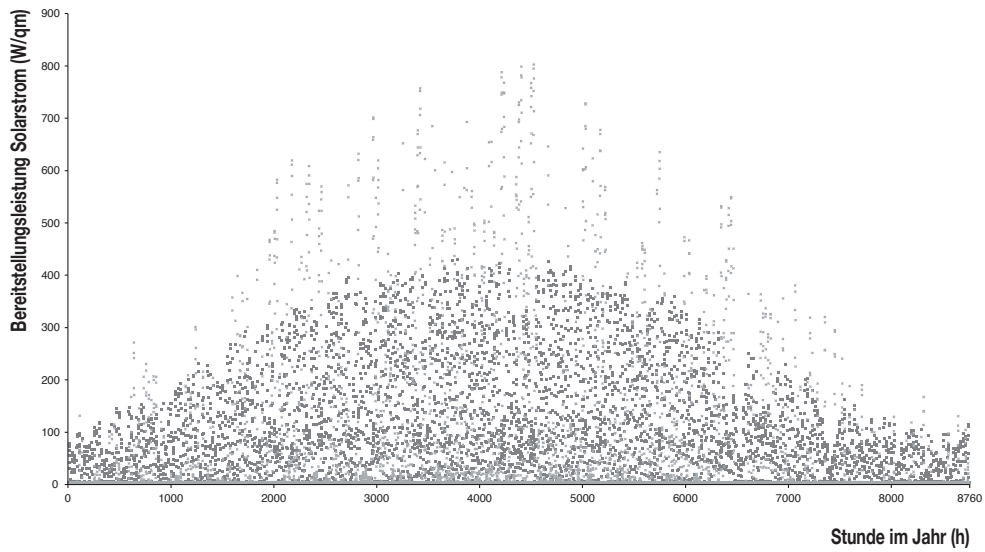


Abb. 82:
 Höhe der stündlichen Strahlungsleistung von Direkt- und Diffusstrahlung über das Jahr betrachtet; Referenzklima Potsdam
 Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage von Meteonorm

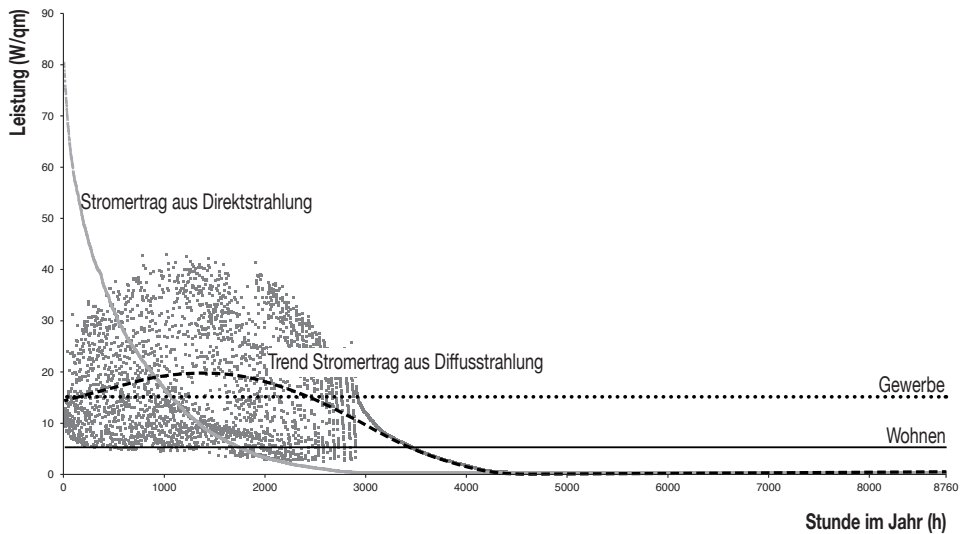


Abb. 83:
 Intensität von Direkt- und Diffusstrahlung nach Intensität Direktstrahlung sortiert; Berechnung mit 10% Wirkungsgrad PV; Referenzklima Potsdam
 Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage von Meteonorm und EON (2011)

4. Analyse zum Verlauf der stündlichen Direkt- und Diffusstrahlung über das Jahr

Die zuvor beschriebenen Ergebnisse haben gezeigt, dass unter dem Paradigma ‚Energie‘ die Ergebnisse erwartungsgemäß einen maximalen Jahresertrag bei einer 30° Süd-geneigten Dachfläche ausweisen. Im Gegensatz dazu übt die Orientierung und dem Paradigma ‚Leistung‘ die keinen signifikanten Einfluss auf den Anteil der Eigenversorgung auf. Diese völlig unterschiedlichen Verhaltensweisen, je nach gewählter Betrachtungsebene, führen zu entsprechend unterschiedlicher Bewertung einer Energie- oder Leistungseffizienz. Warum die Orientierung keinen Einfluss auf die Höhe des Anteils Eigenversorgung (Maß der Leistungseffizienz) hat, erklärt sich aus den folgenden Untersuchungen.

Der dieser Arbeit zugrundeliegende Datensatz des EnEV 2014 Referenzklimas ‚Potsdam‘ weist in der Jahressumme einen ähnlich großen Anteil an Direkt- (446 kWh/qm a) wie Diffusstrahlung (574 kWh/ qm a) auf eine horizontale Fläche auf. Die Spitzen stündlicher Direkt und Diffusstrahlung nehmen dabei in ihrer Intensität in den Sommermonaten zu. Im Winter hingegen nimmt die Höhe der maximalen Strahlungsleistung wieder ab. Dabei sind die maximalen Stundenwerte der Direktstrahlung innerhalb eines Monats teilweise doppelt so groß, wie entsprechende Maximalwerte der Diffusstrahlung. Im Sommer werden Direktstrahlungsleistungen von 806 W / qm erreicht. Die maximale Diffusstrahlung hingegen erreicht nur Spitzen von 418 W / am (vgl. Abb. 82). Somit wird ersichtlich, dass für einen maximalen Jahresertrag die Nutzung von Direktstrahlung essentiell ist. Folglich gilt es unter dem Paradigma ‚Energie‘ eine maximale Nutzung der Direktstrahlung zu befördern.

Bei den Untersuchungen zur Eigenversorgung spielt die Orientierung und damit die maximale Nutzung von Direktstrahlung keine Rolle. Somit eröffnet sich die Vermutung, dass für die Höhe der Eigenversorgung eher die maximale Nutzung ungerichteter Diffusstrahlung relevant sein könnte. Zur Überprüfung dieser These werden die potenziell zu erzielenden Leistungswerte solarerzeugten Stroms aller 8.760 Stunden in Normalverteilung nach Höhe der Direktstrahlung angeordnet. Vereinfachend wird die Bereitstellungsleistung hierbei mit einer Stromausbeute von 10% der jeweiligen Solarstrahlung berechnet. Den zu erwartenden Stromertragsleistungen aus Direkt- und Diffusstrahlung wird die maximale spezifische Bedarfsleistung, unterschieden in Wohnen und Gewerbe gegenüber gestellt.

Abb. 83 zeigt, dass insgesamt nur wenige Stunden hoher Strombereitstellungsleistung aus Direktstrahlung im Jahr vorliegen. Bereits mit circa 1.000 Stunden sinkt die Bereitstellungsleistung aus Direktstrahlung unter die maximale Bedarfsleistung der Gewerbenutzung, nach circa 1.700 Stunden unter die maximale Bedarfsleistung der Wohnnutzung. Somit kann in nur wenigen Stunden eine Eigenversorgung über Direktstrahlung erfolgen. In diesen wenigen Stunden hoher Direktstrahlung wird jedoch selbst bei hoher baulicher und den daraus resultierenden hohen Bedarfsleistungen ein entsprechender Überschuss produziert. Dieser Überschuss bestimmt maßgeblich, ob im Rahmen eines Plusenergie Konzeptes ein jährlicher Überschuss oder ein Defizit entsteht.

Betrachtet man die Entwicklung der zugehörigen Diffusstrahlung, so lässt sich eine ‚wolkenartige‘ Verteilung beobachten. Diese weist sowohl hohe, als auch niedrige Bereitstellungsleistungen in einem Bereich bis circa 3.500 Stunden im Jahr auf. Bis zu dieser Stundenzahl liegt der Ertrag aus Diffusstrahlung meistens höher, als die maximale Bedarfsleistung reiner Wohnnutzung. Bei Gewerbenutzung unterschreitet die Trendlinie der Bereitstellungsleistung aus Diffusstrahlung bei circa 2.500 Stunden deren Bedarfsleistung. Somit kann eine Eigenversorgung über Diffusstrahlung zu einer deutlich höheren Stundenzahl erzielt werden, als dies bei der Direktstrahlung der Fall ist. Gleichzeitig fallen Überschüsse deutlich geringer aus, als unter der Direktstrahlung.

Somit ist festzuhalten, dass die effiziente Nutzung der Direktstrahlung nicht zwangsläufig zu einer Verbesserung der Eigenversorgung führt. Wohl aber zu einer Erhöhung des maximalen Jahresertrages. Im Gegensatz dazu führt die Nutzung der Diffusstrahlung jedoch in der Regel zu einer Verbesserung der Eigenversorgung.

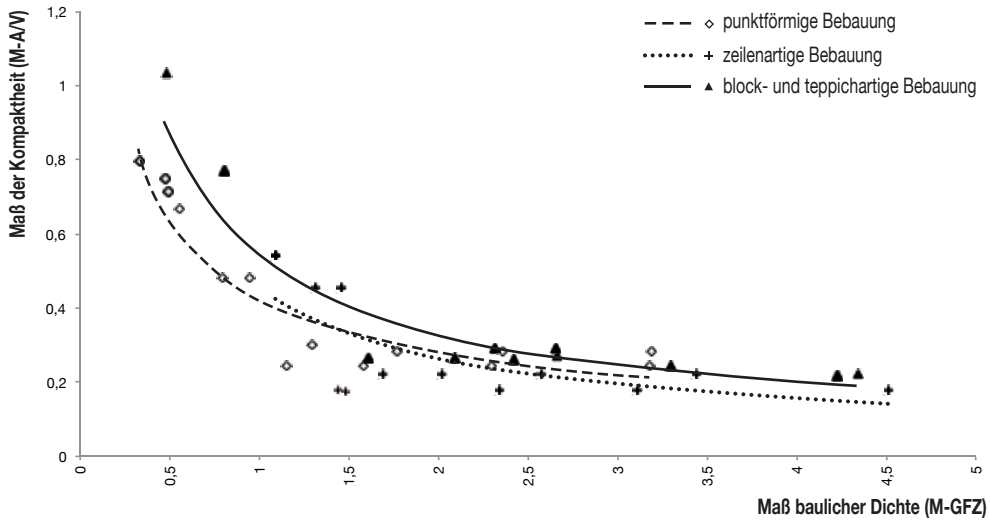


Abb. 84:
Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zu Maß der Kompaktheit (M-A/V);
Quelle: Eigene Darstellung

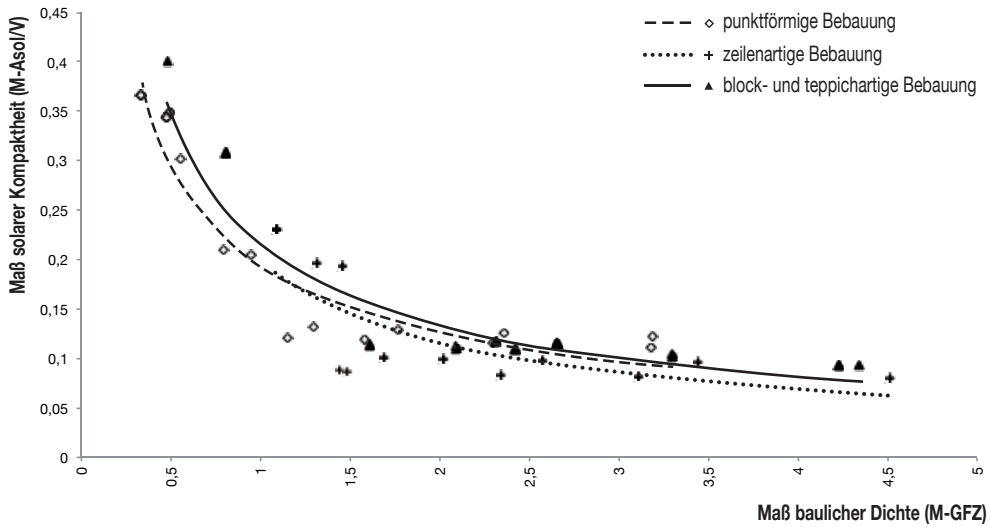


Abb. 85:
Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zu Maß solarer Kompaktheit (M-Asol/V); Quelle: Eigene Darstellung

5. Versuchsreihe C (urbane Bebauungstypen): Vergleichende Betrachtung formspezifischer Bezugsgrößen

Während in den ersten beiden Versuchsreihen A und B energetische und leistungsspezifische Verhaltensweisen anhand von ‚abstrahierten‘ Testkörpern untersucht wurden, werden den Untersuchungen in den nachfolgenden drei Versuchsreihen C, D und E urbane Bebauungstypen gemäß Kapitel IV zugrunde gelegt.

Dabei werden zunächst die formspezifischen Eigenschaften aller untersuchten Bebauungstypen miteinander verglichen und qualitativ und quantitativ beschrieben. Ziel des Vergleiches ist es, unter Betrachtung der Form und unter Verwendung der Ergebnisse der Versuchsreihen A und B Hypothesen bezüglich des energetischen und leistungsspezifischen Verhaltens zu bilden. Mit den sich daran anschließenden Untersuchungen sollen die Hypothesen entsprechend überprüft werden.

Hierfür werden in einem Graphen jeweils zwei Bezugsgrößen (vgl. Kapitel II) gegenüber gestellt und auf potenzielle geometrisch-mathematische Abhängigkeiten hin untersucht. Die Gegenüberstellungen jeweils zweier Bezugsgrößen werden im Folgenden chronologisch beschrieben und ausgewertet.

5.1. Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) und Maß der Kompaktheit (M-A/V)

Kurvendiskussion und Beschreibung des Graphen

Der Graph beider Bezugsgrößen weist eine eindeutige Abhängigkeit zwischen dem Maß baulicher Dichte und dem Maß der Kompaktheit auf. Wie in der Beschreibung zur Definition des Maßes der Kompaktheit (vgl. Kapitel II) bereits erläutert, gibt es eine direkte mathematische Abhängigkeit zwischen dem Maß baulicher Dichte und dem Maß der Kompaktheit. Im Graphen bildet sich als Trendlinie aller Punkte eine hyperbelförmige Kurve mit horizontaler Asymptote.

Betrachtet man die Trendlinien der jeweiligen Bebauungstypen, so lässt sich eine leichte Abweichung der block- und teppichartigen Bebauung zu den beiden anderen Formen (punktförmige Bebauung, zeilenartige Bebauung) identifizieren. In den Bereichen geringerer baulicher Dichte erweisen sich die blockartigen Bebauungstypen als weniger kompakt als die beiden anderen Bauungsformen. Dies ist auf die Auswirkung des Hofes auf den Oberflächenanteil zurückzuführen. Bei zunehmender Dichte nimmt diese Auswirkung jedoch ab und alle Bebauungstypen nähern sich einer Kompaktheit von circa $M-A/V = 0,2$ an.

Ableitung möglicher energetischer und leistungsspezifischer Verhaltensweisen

Im Hinblick auf die zu untersuchenden Forschungsfragen lassen sich aus dieser Abhängigkeit folgende Hypothesen ableiten:

Je größer die Volumetrie eines Betrachtungsraumes ist, desto kleiner werden relativ betrachtet deren Oberflächen. Folglich wird die Deckungsrate zwischen Potenzial und Bedarf geringer werden. Es ist zu erwarten, dass die Energiedeckung sinken wird. Je kleiner das Volumen hingegen wird, desto größer wird die Deckungsrate zwischen Potenzial und Bedarf. Die Energiedeckung wird entsprechend steigen. Ob der identifizierte Unterschied im Maß der Kompaktheit im unteren Bereich baulicher Dichte zwischen der Block- und teppichartigen Bebauung und den beiden weiteren Bebauungstypen auch Auswirkungen auf eine Leistungseffizienz hat, kann an dieser Stelle noch nicht eindeutig beantwortet werden.

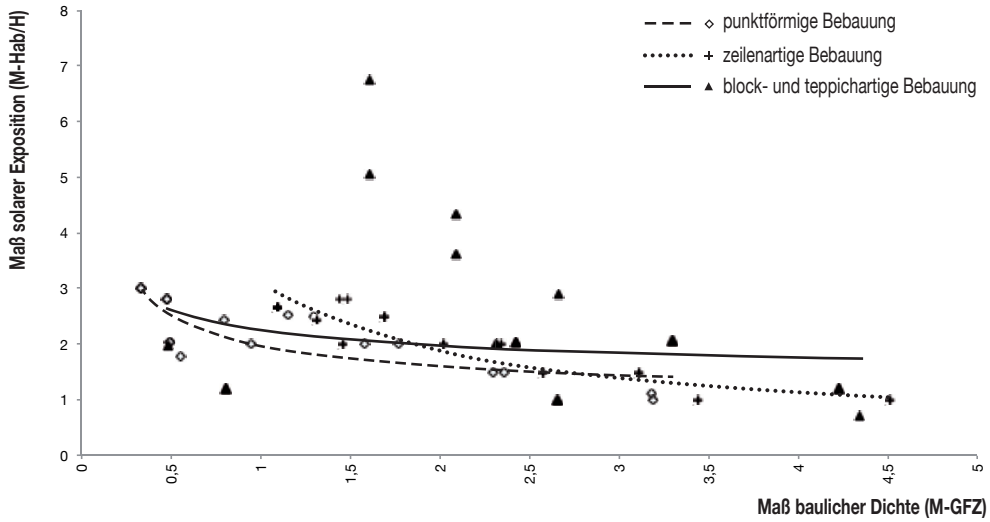


Abb. 86:
 Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zu Maß der solarer Exposition (M-Hab/H);
 Quelle: Eigene Darstellung

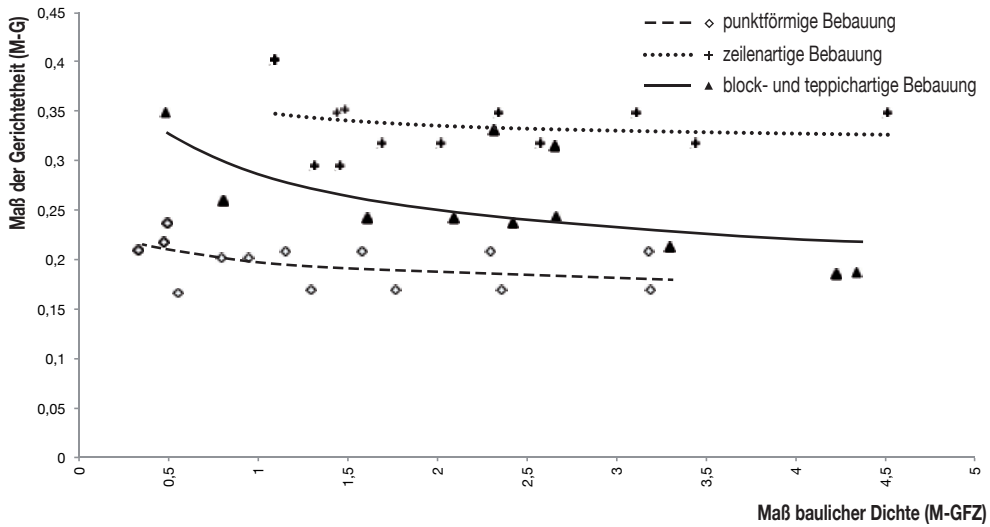


Abb. 87:
 Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zum Maß der Gerichtetheit (M-G);
 Quelle: Eigene Darstellung

5.2. Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) und Maß solarer Kompaktheit (M-Asol/V)

Die Graphen der beiden Bezugsgrößen Maß baulicher Dichte und Maß solarer Kompaktheit gleichen im Verlauf stark dem zuvor beschriebenen Graphen aus dem Maß baulicher Dichte und Maß der Kompaktheit.

Weitere, über die bereits genannten Rückschlüsse hinausgehende Schlussfolgerungen lassen sich aus dieser Betrachtung nicht ziehen.

5.3. Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) und Maß solarer Exposition (M-HAb/H)

Kurvendiskussion und Beschreibung des Graphen

Der Graph beider Bezugsgrößen verhält sich im unteren Bereich baulicher Dichte diffus. Hier ‚klafft‘ er weit auseinander und bildet sowohl Strukturen mit hoher Exposition als auch Strukturen mit geringer Exposition ab. Dies liegt daran, dass der Entwicklung jeweiliger Bebauungstypen eine strenge Systematik zum Umgang mit Gebäudeabständen zu Grunde liegt. Diese sind unter Kapitel IV detailliert beschrieben. Ausnahme hierbei bilden Blöcke mit geringer Dichte. Hier werden im Rahmen der Modellierung auch Blöcke mit sehr großen Gebäudeabständen modelliert, um den deutschen Gebäudebestand vollständig abbilden zu können. Ansonsten weisen Bebauungstypen aller Dichtebereiche sowohl ein hohes als auch ein geringes Maß solarer Exposition auf.

Ableitung möglicher energetischer und leistungsspezifischer Verhaltensweisen

Direkte Ableitungen aus dem Graphen zu einem potenziellen energetischen und leistungsbezogenen Verhalten lassen sich aus der qualitativen Betrachtung nicht ziehen. Es wird jedoch vermutet, dass ein hohes Maß solarer Exposition bei Bebauungstypen mit vergleichsweise geringerem Anteil an horizontalen Oberflächen (z.B. die punktförmige Bebauung) sich deutlicher auf energetische oder leistungsbezogene Parameter auswirkt, als dies bei stärker horizontal orientierten Strukturen (z.B. block- und teppichartige Bebauung) der Fall ist.

5.4. Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) und Maß der Gerichtetheit (M-G)

Kurvendiskussion und Beschreibung des Graphen

In der Gegenüberstellung dieser beiden Bezugsgrößen weist der Graph ein eindeutiges Formverhalten auf. Betrachtet man die Trendlinien der drei Bebauungstypen, so lässt sich eine klare Differenzierung des jeweiligen Typus erkennen. Alle Abwandlungen untersuchter Bebauungstypen dieser drei Typen ordnen sich in einen ‚typenspezifischen‘ Bereich ein. Zeilenartige Bebauung liegen dabei in einem oberen Bereich zum Maß der Gerichtetheit von circa 0,35 und sind damit gemäß Definition (vgl. Kapitel II) ‚stark gerichtet‘. In einem unteren Bereich mit einem Maß der Gerichtetheit von 0,2 liegen hingegen die Abwandlungen punktförmiger Bebauung. Diese sind damit ‚eher ungerichtet‘ bis ‚stark ungerichtet‘.

Ob gerichtete Strukturen der zeilenartigen oder ungerichtete Strukturen der punktförmigen Bebauung, das Maß der Gerichtetheit bleibt auch bei dem sich verändernden Maß baulicher Dichte konstant. Dies lässt sich an den beiden horizontalen Trendlinien der jeweiligen Struktur erkennen.

Anders dazu verhält sich das Maß der Gerichtetheit von block- und teppichartiger Bebauung. Deren Abwandlungen weisen einerseits eine stärkere Streuung auf, andererseits sinkt das

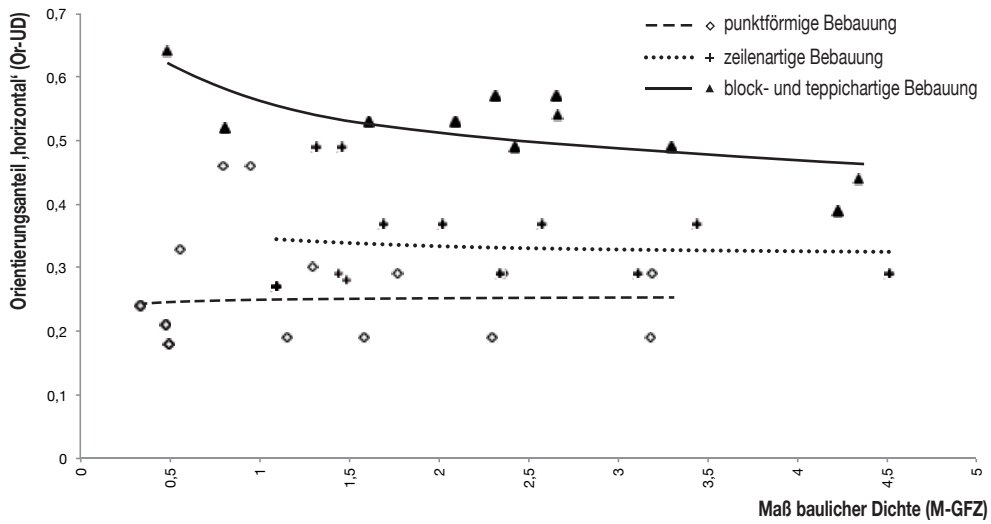


Abb. 88:
 Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zum Orientierungsanteil ,horizontal';
 Quelle: Eigene Darstellung

Maß der Gerichtetheit mit dem Anstieg des Maßes baulicher Dichte. Dies liegt daran, dass Blockstrukturen im unteren Bereich baulicher Dichte eine dominierende Orientierung horizontaler (Dach) Oberflächen aufweisen. Dies führen dazu, dass diese Körper eine eindeutige Richtung erhalten. Bei dichteren Blockstrukturen erhöht sich in der Regel die Anzahl der Geschosse und damit steigt der Anteil von Wand- an der gesamten Hüllfläche. Dadurch wird die Struktur mit Zunahme der baulichen Dichte insgesamt ungerichteter.

Ableitung möglicher energetischer und leistungsspezifischer Verhaltensweisen

Auch aus dieser Gegenüberstellung jeweils zweier Bezugsgrößen kann keine eindeutige Ableitung auf energetische oder leistungsspezifische Eigenschaften vorgenommen werden. Dies liegt an der bisher ungeklärten Frage, inwiefern sich diese Bezugsgröße überhaupt entsprechend auswirkt.

Der einzige Rückschluss lässt sich im Hinblick auf die identifizierte Gerichtetheit von block- und teppichartigen Strukturen im unteren baulichen Dichtebereich ziehen. Aus der zuvor beschriebenen Auswertung A geht hervor, dass horizontal orientierte Strukturen leistungseffizienter sind als andere Orientierungen. Dies lässt die Vermutung zu, dass Blöcke mit geringerer und mittlerer Dichte entsprechend leistungseffizient sein müssen.

5.5. Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) und Orientierungsanteil 'Horizontal' ($M-G_{up-do}$)

Kurvendiskussion und Beschreibung des Graphen

Der Graph beider Bezugsgrößen weist auch bei diesem Vergleich eindeutig identifizierbare Abhängigkeiten auf. Die Trendlinien der drei Bebauungstypen weisen jeweils drei typenspezifische Orientierungsanteile ‚Horizontal‘ auf.

Den höchsten Orientierungsanteil ‚Horizontal‘ weist die block- und teppichartige Bebauung mit circa 0,6 bis 0,5, den geringsten Anteil die punktförmige Bebauung mit circa 0,25 auf. Dazwischen liegen die Abwandlungen der zeilenartigen Bebauung mit circa 0,35.

Veränderungen der baulichen Dichte führen nur bei dem Orientierungsanteil von block- und teppichartigen Strukturen zu einer konstanten Verkleinerung. Hierbei ist eine Reduktion von circa 0,6 auf 0,5 zu beobachten. Steigende bauliche Dichte führt zu einer Vergrößerung des Anteils von Fassadenflächen an den gesamten Hüllflächen.

Bei den anderen beiden Bebauungstypen (punktförmige- und zeilenartige Bebauung) lässt sich eine Veränderung nicht beobachten. Dies liegt an dem ohnehin deutlich geringeren Orientierungsanteil ‚Horizontal‘ dieser beiden Typen.

Ableitung möglicher energetischer und leistungsspezifischer Verhaltensweisen

Wie bereits bei der vorhergehenden Ableitung zum Verhältnis Maß baulicher Dichte und dem Maß der Gerichtetheit lassen sich auch an dieser Stelle nur bedingt Rückschlüsse auf ein energetisches oder leistungsspezifisches Verhalten ziehen. Auch nach dieser Betrachtung wird erwartet, dass aufgrund des hohen Anteils von horizontalen Oberflächen bei block- und teppichartiger Bebauung mit geringer bis mittlerer Dichte diese leistungseffizienter als die beiden anderen Bebauungstypen sein könnten.

5.6. Versuchsreihe C: Zusammenfassende Bewertung identifizierten Formverhaltens

Aus den ersten beiden Versuchsreihen A und B sowie der eingehenden Analyse formspezifischer Eigenschaften untersuchter Bebauungstypen dieser Versuchsreihe C lassen sich verschiedene Rückschlüsse auf die Ergebnisse der kommenden beiden Auswertungen urbaner Bebauungstypen ziehen.

Energetische Verhaltensweisen

Die Gegenüberstellung der beiden Bezugsgrößen Maß baulicher Dichte und Maß der Kompaktheit hat gezeigt, dass mit zunehmender Dichte energetisch nutzbare Oberflächen weniger stark ‚mit wachsen‘, als dies entsprechende Energiebezugsflächen tun. Somit nimmt der Anteil solaraktiver Flächen im relativen Vergleich zu dem Anteil Energiebezugsflächen ab. Bei diesen beiden Gegenüberstellungen werden zudem Unterschiede zwischen den drei Bebauungstypen sichtbar. Bei gleicher baulicher Dichte weisen die block- und teppichartigen Bebauungstypen eine geringere Kompaktheit (der Wert des Maßes der Kompaktheit ist größer) als die anderen beiden Bebauungstypen auf. Am kompaktesten erweist sich die punktförmige Bebauung. Hierbei ist davon auszugehen, dass Bebauungstypen mit geringerer Kompaktheit durch ihren relativ betrachteten größeren Anteil solaraktiv nutzbarer Oberflächen entsprechend mehr Strom gewinnen können. Es wird erwartet, dass im Allgemeinen Bebauungstypen mit hoher Dichte eine entsprechend geringere Energiedeckung haben als Bebauungstypen mit geringer oder mittlerer baulicher Dichte. Im Besonderen wird erwartet, dass block- und teppichartige Bebauungstypen aufgrund ihres höheren Anteils an Oberflächen auch eine höhere Energiedeckung bereitstellen können, als zeilen- oder punktförmige Bebauungen.

Leistungsspezifische Verhaltensweisen

Aus den Betrachtungen zum Maß der Gerichtetheit zeigt sich, dass die zeilenartige Bebauung erwartungsgemäß am stärksten, die punktförmige Bebauung am wenigsten gerichtet ist. Dazwischen sortiert sich die block- und teppichartige Bebauung ein. Diese verhält sich in den niedrigen Dichtebereichen gerichteter, mit steigender Dichte werden die Ausprägungen dieses Bebauungstyps immer ungerichteter. Inwiefern sich hieraus Auswirkungen auf ein Leistungsverhalten ergeben, kann bei diesem Stand der Analyse noch nicht abgeschätzt werden.

Eine Abwandlung zum Maß der Gerichtetheit stellt der Orientierungsanteil ‚Horizontal‘ dar. Auch hierbei gibt es Unterschiede zwischen den drei Bebauungstypen. So weisen die block- und teppichartigen Bebauungstypen den höchsten, punktförmige Bebauungen den geringsten Orientierungsanteil ‚Horizontal‘ auf. Dazwischen reiht sich die zeilenartige Bebauung ein. Wie bereits bei der Bezugsgröße Maß der Gerichtetheit weiter oben beobachtet, beschreibt die Trendlinie der block- und teppichartigen Bebauung eine fallende Kurve. Somit haben Blockstrukturen mit geringer baulicher Dichte einen hohen Anteil horizontaler Flächen. Mit steigender Dichte wachsen diese jedoch primär in die Höhe und reduzieren damit den Anteil entsprechender Teiloberflächen. Da insbesondere horizontale Dachflächen in der leistungsspezifischen Bewertung in den beiden Versuchsreihen A und B vergleichsweise gut abgeschnitten haben, wird erwartet, dass bauliche Strukturen mit entsprechend hohem Anteil dieser Flächen im Bereich der Leistungseffizienz ebenfalls gut abschneiden werden.

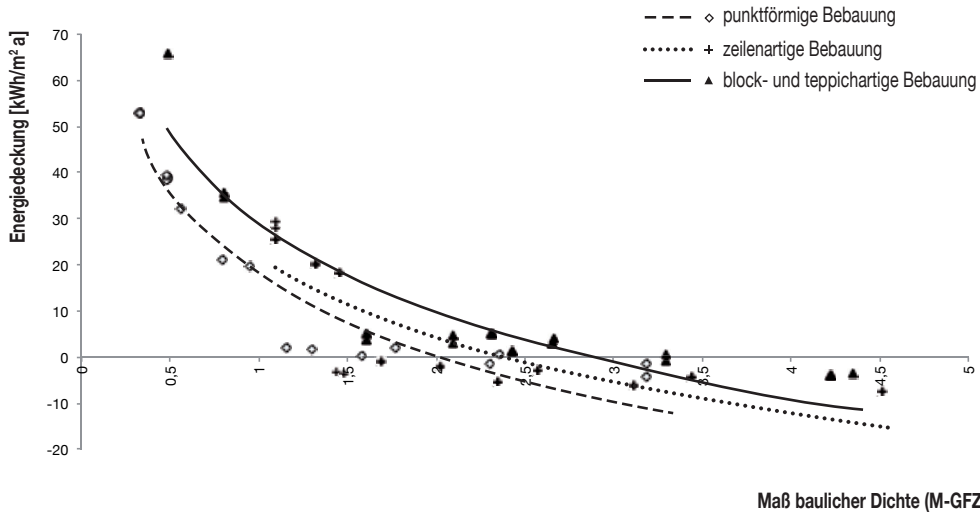


Abb. 89:
 Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

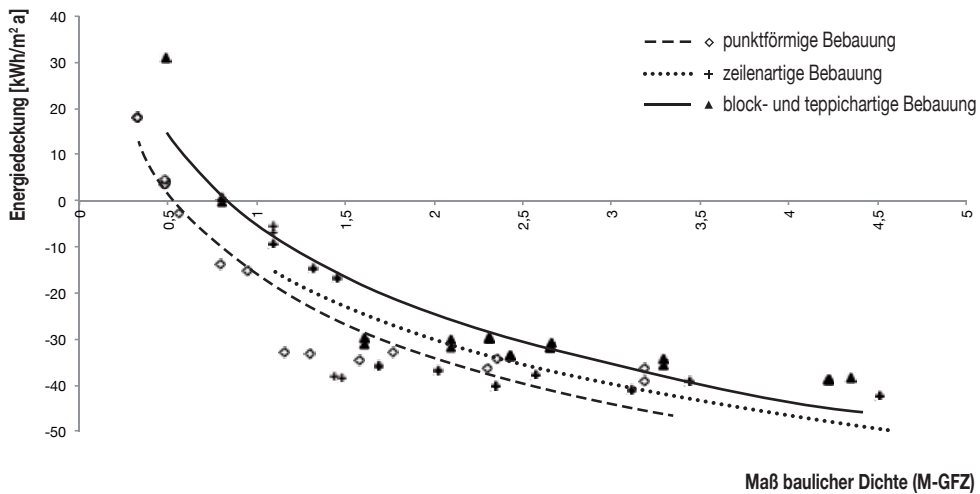


Abb. 90:
 Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

6. Versuchsreihe D (urbane Bebauungstypen, maximales Potenzial): Betrachtung ermittelter Analysegrößen in Abhängigkeit formspezifischer Eigenschaften

Die folgenden Untersuchungen betrachten energetische und leistungsspezifische Verhaltensweisen urbaner Bebauungstypen bei einer maximalen Potenzialnutzung (vgl. Kapitel III.2.3 Maximales Potenzial). Dieses stellt dabei eine Form der solaraktiven Nutzung dar, welche zwar baulich und technisch möglich ist, in der Realität aufgrund verschiedener determinierender Bedingungen vielfach aber nur teilweise umsetzbar ist. Trotzdem soll mit diesem Szenario ein ‚Grenzverhalten‘ analysiert und Aussagen zu der maximalen Leistungsfähigkeit des jeweiligen Bebauungstyps getroffen werden.

6.1. Energetische Verhaltensweisen (Energiedeckung)

6.1.1. Vergleich Maß baulicher Dichte und Energiedeckung

Reine Wohnnutzung

Bei der Betrachtung des Graphen – Maß baulicher Dichte und der spezifischen Energiedeckung lässt sich eine eindeutige Abhängigkeit zwischen Analyse- und Bezugsgröße identifizieren. Der Graph fällt hyperbelartig in Richtung eines unteren Grenzwertes des jährlichen spezifischen Energiebedarfs. Dieser liegt in der vorliegenden Arbeit für die reine Wohnnutzung bei 22 kWh/m² a (Nutz- + Hilfsstrom). Je näher sich der Graph diesem Grenzwert annähert, desto weniger Strom wird insgesamt über die Hüllflächen bereitgestellt.

Bei der Trendlinienbildung lassen sich weitere Unterschiede im Kurvenverlauf der jeweiligen Typen identifizieren. Alle drei Linien weisen zwar einen ähnlichen hyperbelartigen Verlauf auf, die Kurve der block- und teppichartigen Bebauung verläuft jedoch höher als die anderen beiden Kurven. Am niedrigsten verläuft die Kurve der punktförmigen Bebauung, dazwischen reiht sich die zeilenartige Bebauung ein. Dementsprechend erreichen block- und teppichartige Bebauungen, bei gleicher baulicher Dichte, eine höhere Energiedeckung als andere Bebauungsformen. Unter der Annahme einer maximalen Potenzialnutzung könnten gemäß vorliegender Untersuchung Blockstrukturen mit einer baulichen Dichte (M-GFZ) von bis zu 2,8 sowie punktförmige Strukturen bis 2,0 noch einen jährlichen Überschuss an Strom an den eigenen Hüllflächen generieren.

Reine Gewerbenutzung

Die Kurven bei einer reinen Gewerbenutzung verlaufen ähnlich wie die zuvor beschriebenen Kurven der Energiedeckung bei reiner Wohnnutzung. Der Unterschied besteht in einem deutlich negativeren Gesamtverlauf. Auch bei dieser Konfiguration weisen Block- und teppichartige Bebauungen den positivsten, punktförmige Bebauungen den negativsten Verlauf auf. Auch hier sortiert sich die zeilenartige Bebauung dazwischen ein. Unter der Annahme einer maximalen Potenzialnutzung können Blockstrukturen bis zu einer baulichen Dichte (M-GFZ) von ca. 0,8, punktförmige Strukturen bis 0,5 einen Überschuss produzieren.

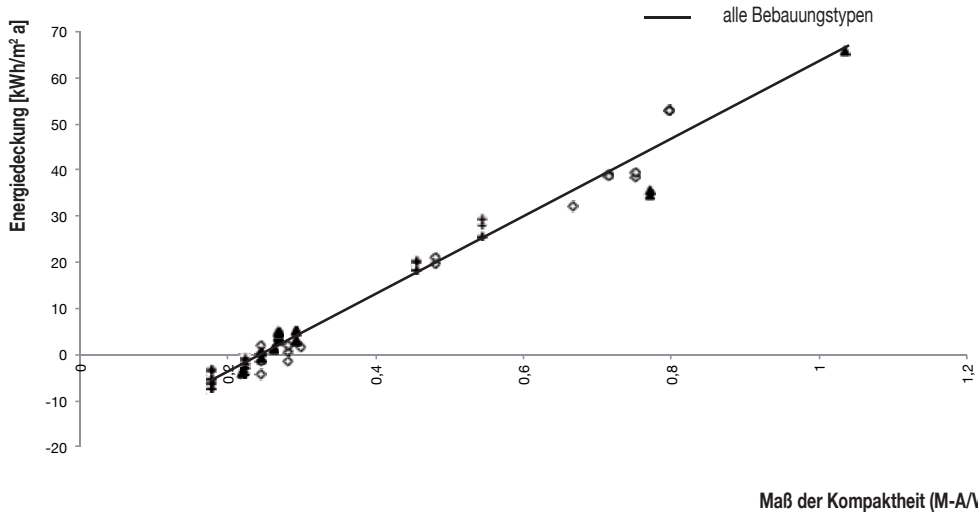


Abb. 91:
Verhältnis Maß der Kompaktheit (M-A/V) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

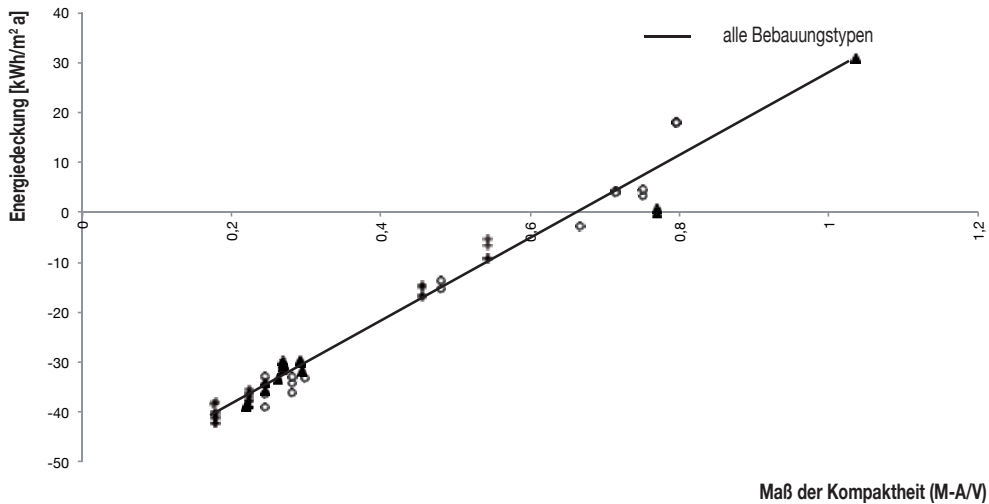


Abb. 92:
Verhältnis Maß der Kompaktheit (M-A/V) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

6.1.2. Vergleich Maß der Kompaktheit und Energiedeckung

Reine Wohnnutzung

Die Kurve der Gegenüberstellung von Maß der Kompaktheit und Energiedeckung zeigt eine lineare Abhängigkeit beider Bezugs- und Analysegrößen. Die Abhängigkeit folgt dabei jeweils einer stetig steigenden Geraden. Ab einem Maß der Kompaktheit größer als circa $0,25 \text{ m}^2/\text{m}^3$ wird in diesem Szenario eine positive jährliche Energiedeckung erreicht. Bebauungstypen mit geringerem Maß der Kompaktheit (je größer der Wert der Kompaktheit, desto weniger kompakt ist der Körper) als dieser Grenzwert, generieren keine positive Energiedeckung. Die Art des Bebauungstyps spielt bei dieser Gegenüberstellung keine Rolle.

Reine Gewerbenutzung

Der Graph bei einer reinen Gewerbenutzung weist einen ähnlichen Verlauf auf wie bei einer reinen Wohnnutzung. Auch hier ordnen sich alle Werte der Energiedeckung auf einer stetig steigenden Linie an. Das Steigungsmaß ist gleich wie das Maß des Graphen der reinen Wohnnutzung. Bei reiner Gewerbenutzung ist die Gerade lediglich weiter in den negativen Bereich verschoben. Der Nullpunkt liegt hierbei bei circa $0,7 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Das heißt, Bebauungstypen mit einem Maß der Kompaktheit größer als $0,7$ erzeugen eine positive jährliche, Bebauungstypen mit einer Kompaktheit unterhalb dieses Wertes eine negative Energiedeckung.

Abhängigkeiten zwischen dem Maß der Kompaktheit und nutzbarer Solarenergie (passiv oder aktiv) wurden in verschiedenen Analysen der Literatur (vgl. Rullán Lemke 2010 S.213; Vallentin 2011 S.VII-90) beschrieben. Somit bestätigt der in dieser Analyse entwickelte Versuchsaufbau bekannte Ergebnisse und bestätigt erneut die Funktionsfähigkeit der gewählten Methodik.

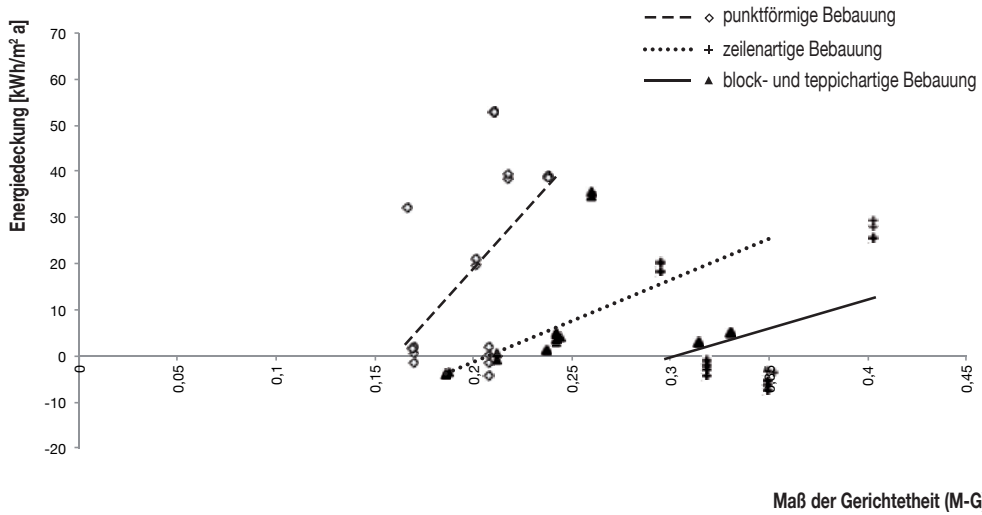


Abb. 93:
Verhältnis Maß der Gerichtetheit (M-G) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

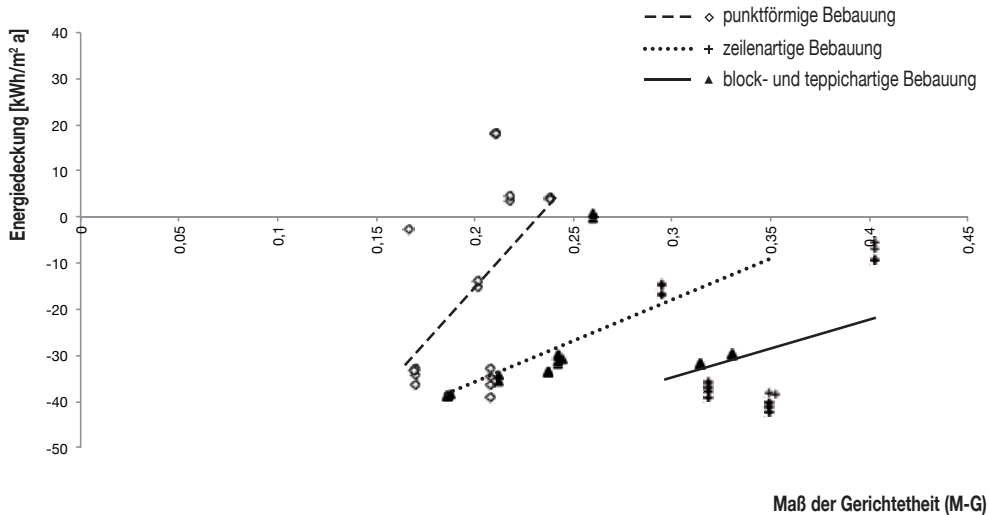


Abb. 94:
Verhältnis Maß der Gerichtetheit (M-G) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

6.1.3. Vergleich Maß der Gerichtetheit und Energiedeckung

Reine Wohnnutzung

Die Gegenüberstellung von Maß der Gerichtetheit und Energiedeckung generiert einen Graphen mit diffuser Verteilung. Betrachtet man die Trendlinien der drei Bebauungstypen, weisen alle drei eine Steigung mit Zunahme des Maßes der Gerichtetheit auf. Das heißt, je gerichteter Strukturen sind, desto größer kann deren Energiedeckung werden. Aufgrund der Streuung der Ergebnisse ist der abgebildete Trend jedoch nicht eindeutig definiert.

Reine Gewerbenutzung

Der Graph bei einer reinen Gewerbenutzung zeigt ein ähnliches Bild wie bei einer reinen Wohnnutzung. Die Werte sind lediglich weiter in den negativen Bereich verschoben. Auch hier liegt eine starke Streuung vor. Die steigenden Trendlinien sind somit nicht eindeutig definiert.

Durch die starke Streuung der Trendlinien, sowohl bei reiner Wohn- als auch bei reiner Gewerbenutzung, können keine Rückschlüsse auf Abhängigkeiten dieser formspezifischen Bezugs- und der Energiedeckung gezogen werden. Die steigenden Trendlinien aller Graphen stellen somit lediglich ein Potenzial zur Hypothesenbildung dar. Zur wissenschaftlichen Untermauerung müssten hierzu noch größere Mengen an Körpern untersucht werden.

6.1.4. Zusammenfassende Beschreibung von Abhängigkeiten der Form und der Energiedeckung

Die beschriebenen Analysen zu Abhängigkeiten spezifischer Formeigenschaften und der Energiedeckung innerhalb des gewählten Szenarios ‚maximales Potenzial‘ hat bekannte Verhaltensweisen der Literatur bestätigt. Somit ist die Funktionsfähigkeit des entwickelten Energiemodells erneut bewiesen worden.

Die wichtigste Abhängigkeit formspezifischer Eigenschaften auf die Größe der Energiedeckung stellt das Maß der Kompaktheit dar. Je kompakter (kleiner Wert - Maß der Kompaktheit) eine Struktur ist, desto kleiner wird die jährliche Energiedeckung. Umgekehrt weisen Bebauungstypen mit einer geringen Kompaktheit (großer Wert - Maß der Kompaktheit) ein höheres Maß an Energiedeckung auf. Aus energetischer Betrachtung entsteht hierbei ein Widerspruch zu bisherigen wärmebezogenen Paradigmen, die eine kompakte Bauweise als Maßnahme zur Reduktion von Wärmeverlusten fordern.

Die zweite wesentliche Abhängigkeit besteht zwischen dem Maß baulicher Dichte und Energiedeckung. Hierbei weisen die Untersuchungen eindeutige Abhängigkeiten auf. Je größer die bauliche Dichte wird, desto kleiner wird der Wert der Energiedeckung. Innerhalb der untersuchten Bebauungstypen weisen die Abwandlungen der block- und teppichartigen Bebauung, bei gleicher baulicher Dichte, die besten Werte auf. Die punktförmigen Bebauungen schneiden demgegenüber am schlechtesten ab. Dazwischen sortieren sich zeilenartige Bebauungen ein.

Weitere formspezifische Einflüsse wie das Maß der Gerichtetheit oder Orientierungsanteile ‚Horizontal‘, etc. auf die Energiedeckung können anhand der durchgeführten Betrachtung nicht eindeutig identifiziert werden. Hierfür ist die Streuung in den Graphen zu groß. Es lassen sich lediglich Tendenzen anhand von Trendlinien beobachten. So bieten die Trendlinien der Gegenüberstellung von Maß der Gerichtetheit und Energiedeckung Raum für Hypothesen, dass grundsätzlich gerichtete Strukturen eine höhere Energiedeckung aufweisen als ungerichtete.

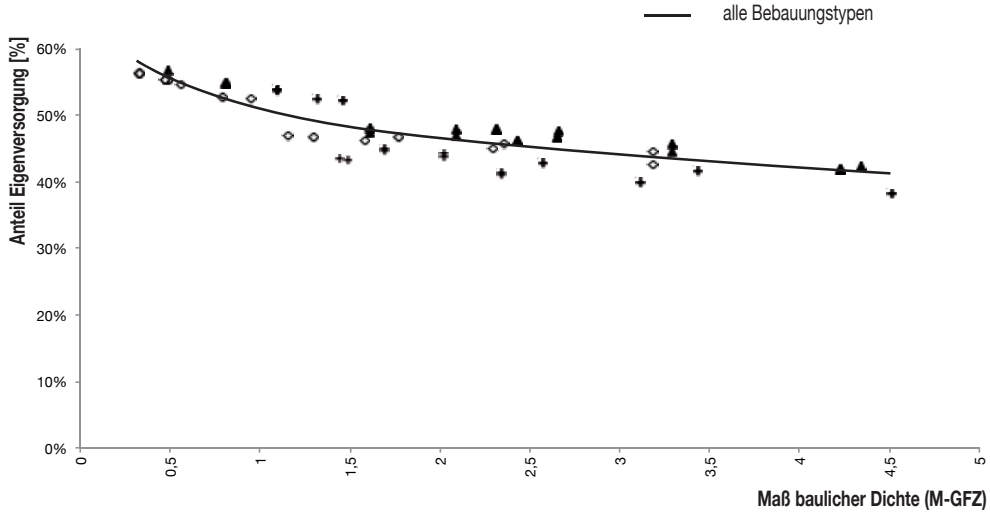


Abb. 95:
 Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zum Anteil Eigenversorgung;
 Einstellung: Reine Wohnnutzung;
 maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

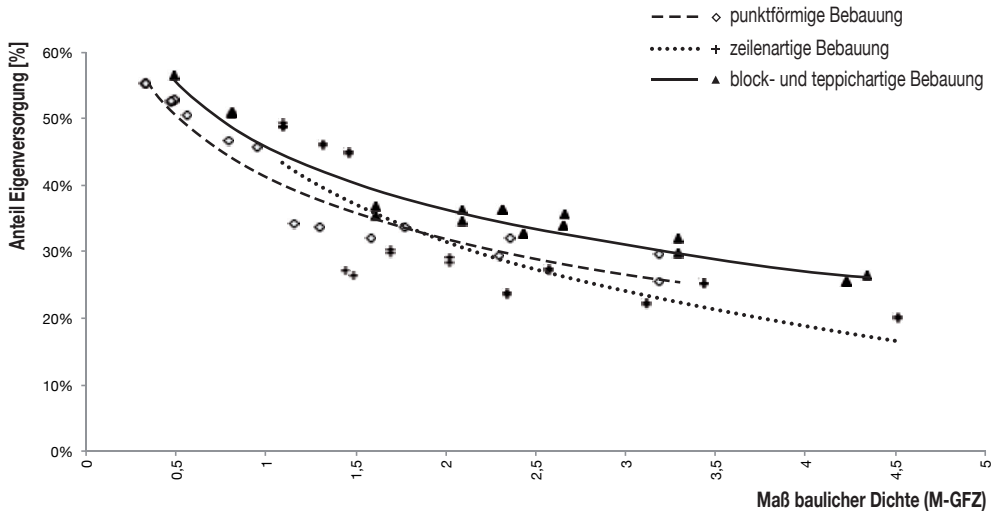


Abb. 96:
 Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zum Anteil Eigenversorgung;
 Einstellung: Reine Gewerbenutzung;
 maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

6.2. Leistungsspezifische Verhaltensweisen (Anteil Eigenversorgung)

6.2.1. Vergleich Maß baulicher Dichte und Anteil Eigenversorgung

Reine Wohnnutzung

Die Gegenüberstellung der Größen Maß baulicher Dichte und Anteil Eigenversorgung zeigt eine eindeutige Abhängigkeit zwischen beiden Bezugs- und Analysegrößen. Die Trendlinien der drei Bebauungstypen verlaufen dabei eng nebeneinander in einer regressiv fallenden Kurve. Alle Werte liegen dabei in einem sehr engen Korridor, so dass eine Unterscheidung zwischen den drei Bebauungstypen nicht möglich ist. Je größer die bauliche Dichte wird, desto geringer wird der Anteil Eigenversorgung.

Reine Gewerbenutzung

Bei reiner Gewerbenutzung verlaufen die Trendlinien der drei Bebauungstypen ebenfalls in einer regressiv fallenden Kurve. Im Gegensatz zu den Untersuchungen bei reiner Wohnnutzung, fallen hier die drei Trendlinien steiler und mit stärkerer Spreizung zueinander. Mit Zunahme der baulichen Dichte fällt die Kurve der block- und teppichartigen Bebauung flacher als die anderen beiden Kurven. Am steilsten fällt die Kurve zeilenartiger Bebauung. Dazwischen sortiert sich die Kurve der punktförmigen Bebauung ein.

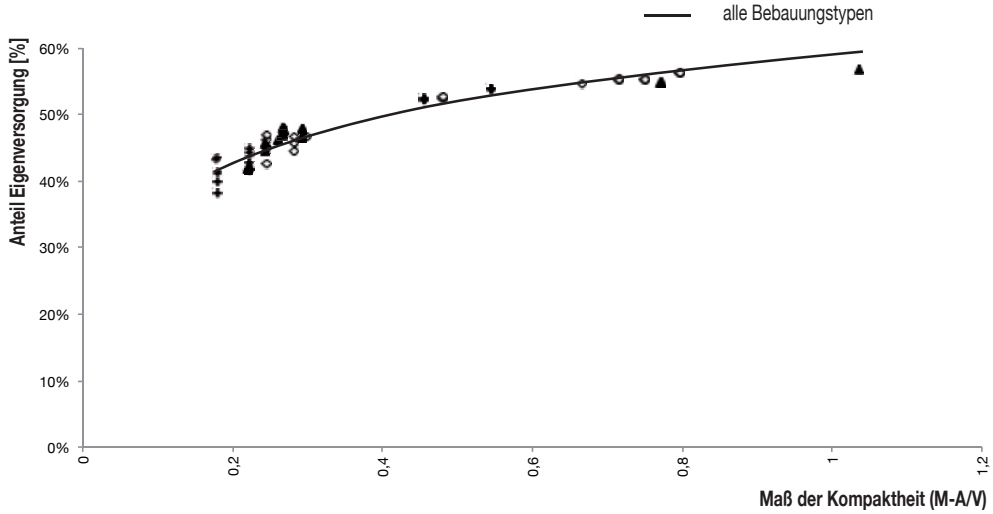


Abb. 97:
Verhältnis Maß der Kompaktheit (M-A/V) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

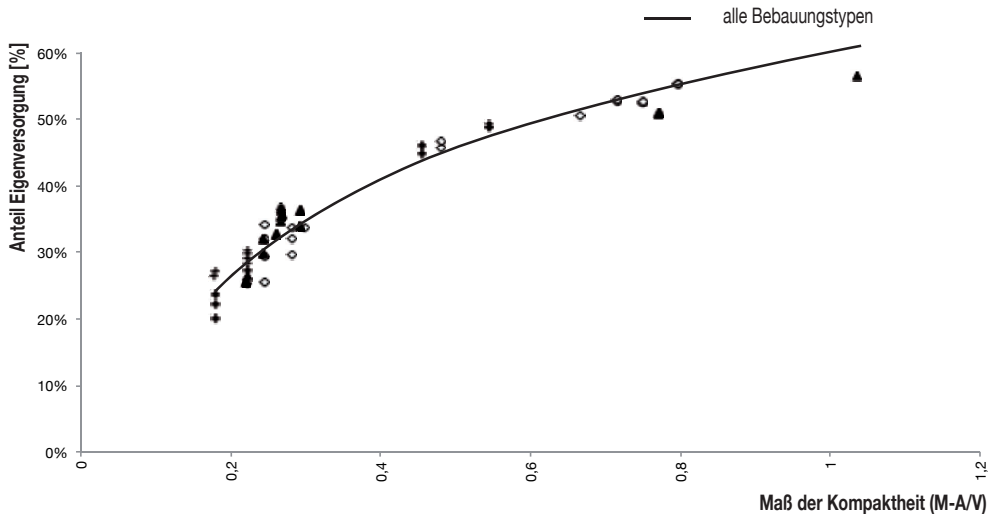


Abb. 98:
Verhältnis Maß der Kompaktheit (M-A/V) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

6.2.2. Vergleich Maß der Kompaktheit und Anteil Eigenversorgung

Reine Wohnnutzung

Bei reiner Wohnnutzung sortieren sich alle Analysewerte entlang einer degressiv steigenden Kurve an. Unterschiede zwischen den drei Bebauungstypen lassen sich hierbei nicht feststellen. Mit steigender Kompaktheit (Maß der Kompaktheit wird kleiner), sinkt auch der Anteil Eigenversorgung. Weisen Körper bei einer Kompaktheit von eins einen durchschnittlichen Anteil Eigenversorgung von 55% auf, sinkt dieser auf 40% bei einer Kompaktheit von 0,2.

Reine Gewerbenutzung

Bei reiner Gewerbenutzung sortieren sich alle Analysewerte ebenfalls auf einer degressiv steigenden Kurve an. Die Steigung ist im Gegensatz zu den Kurven reiner Wohnnutzung jedoch steiler. Somit wirkt sich die Veränderung der Kompaktheit bei reiner Gewerbenutzung stärker aus, als bei reiner Wohnnutzung. Hier weisen Bebauungstypen mit einer Kompaktheit von eins ebenfalls noch einen Anteil Eigenversorgung von 55% auf. Mit steigender Kompaktheit sinkt diese auf ca. 20% (bei einer Kompaktheit von 0,2).

Unterschiede zwischen den drei Bebauungstypen lassen sich auch bei reiner Gewerbenutzung nicht ausmachen.

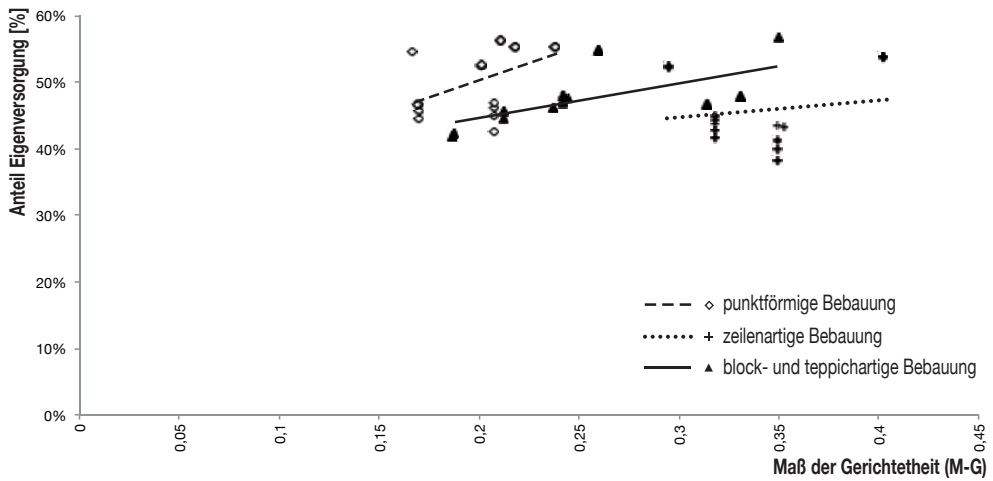


Abb. 99:
Verhältnis Maß der Gerichtetheit (M-G) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

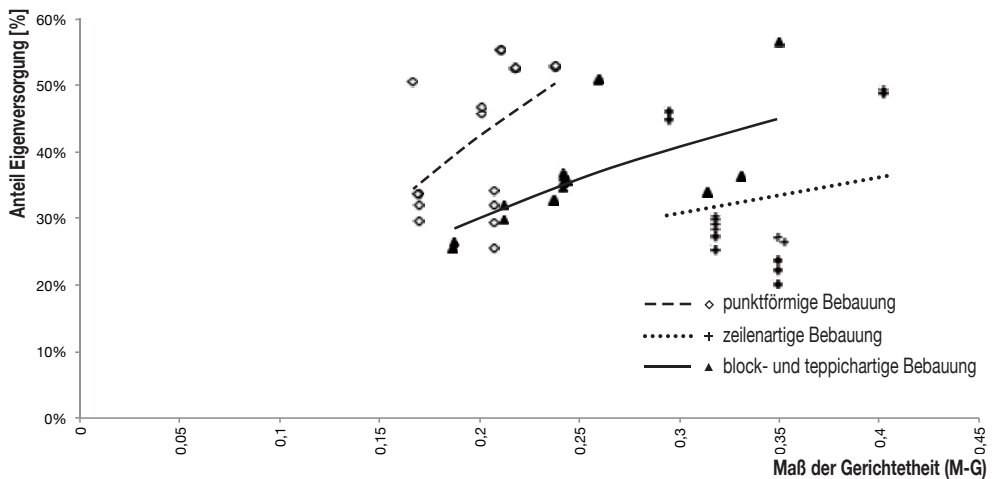


Abb. 100:
Verhältnis Maß der Gerichtetheit (M-G) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

6.2.3. Vergleich Maß der Gerichtetheit und Anteil Eigenversorgung

Reine Wohnnutzung

Bei der Gegenüberstellung Maß der Gerichtetheit und dem Anteil Eigenversorgung stellt sich eine diffuse Werteverteilung ein. Die Trendlinien der drei Bebauungstypen weisen zwar eine lineare Steigung auf, deren Bestimmtheitsmaß ist jedoch so gering, dass eine Abhängigkeit hier nicht nachgewiesen werden kann.

Reine Gewerbenutzung

Bei einer reinen Gewerbenutzung ergibt sich ein gleiches diffuses Bild wie bei reiner Wohnnutzung. Eine direkte Abhängigkeit kann hier ebenfalls nicht identifiziert werden

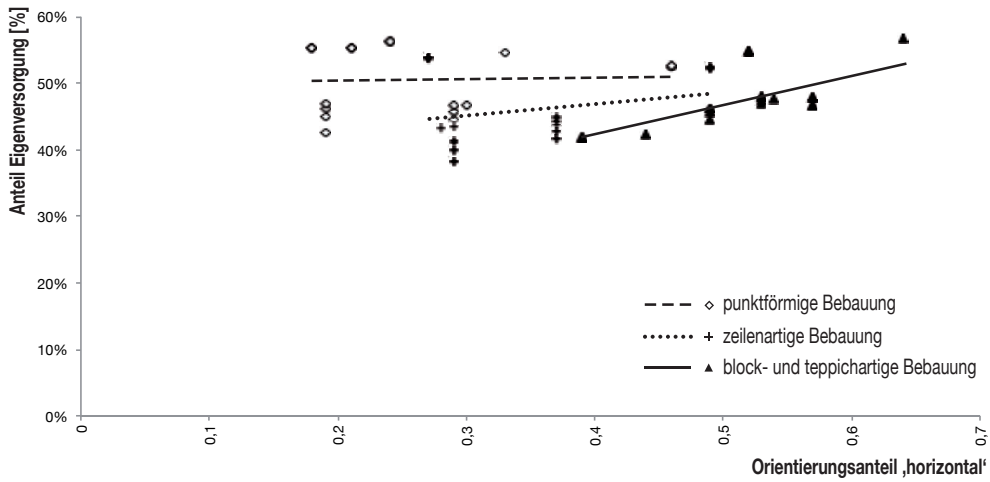


Abb. 101:
 Verhältnis Orientierungsanteil horizontal zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

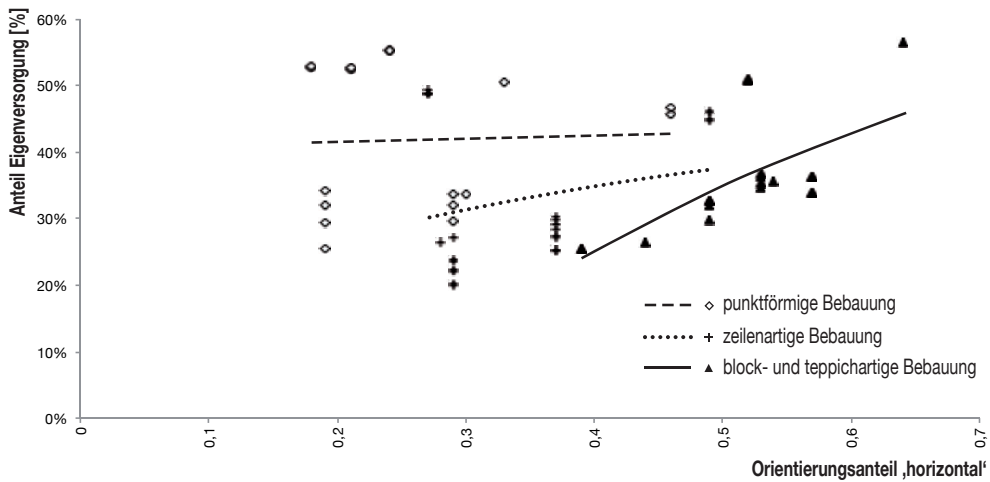


Abb. 102:
 Verhältnis Orientierungsanteil horizontal zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

6.2.4. Vergleich Orientierungsanteil ‚horizontal‘ und Anteil Eigenversorgung

Reine Wohnnutzung

Die Gegenüberstellung des Orientierungsanteils ‚horizontal‘ und Anteil Eigenversorgung zeigt ebenfalls eine diffuse Werteverteilung. Anders als bei der vorangegangenen Gegenüberstellung der Größen Maß der Gerichtetheit und Anteil Eigenversorgung, kann zumindest für die Trendlinie der block- und teppichartigen Bebauung eine Tendenz in die Werteentwicklung interpretiert werden. Hierbei verläuft die Trendlinie linear steigend. Somit besteht Grund zur Annahme, dass mit steigendem Orientierungsanteil ‚horizontal‘ der Anteil Eigenversorgung linear ansteigt. Einen endgültigen mathematischen Beweis hierfür kann aufgrund des zu geringen Bestimmtheitsmaßes nicht geliefert werden.

Reine Gewerbenutzung

Bei reiner Gewerbenutzung stellt sich eine noch diffusere Werteverteilung als bei reiner Wohnnutzung ein. Eindeutige Abhängigkeiten lassen sich auch hier nur als Tendenz interpretieren. So ist anzunehmen, dass bei steigendem Orientierungsanteil ‚horizontal‘ der Anteil Eigenversorgung bei block- und teppichartiger Bebauung ebenfalls mit ansteigt. Ein mathematischer Beweis liegt hier aufgrund des zu geringen Bestimmtheitsmaßes jedoch nicht vor.

6.2.5. Zusammenfassende Beschreibung von Abhängigkeiten der Form und dem Anteil Eigenversorgung

Die Gegenüberstellungen der Analysegröße Anteil Eigenversorgung mit den unterschiedlichen Bezugsgrößen hat einerseits verschiedene Abhängigkeiten, andererseits Unbestimmtheiten von Abhängigkeiten aufgezeigt.

Die deutlichste Abhängigkeit besteht zwischen dem Maß der Kompaktheit und dem Anteil Eigenversorgung. Hier zeigen die Untersuchungen, dass eine direkte Abhängigkeit zwischen beiden Analyse- und Bezugsgrößen besteht. Je kompakter eine Bebauung wird, desto geringer wird der Anteil Eigenversorgung mittels solar erzeugtem Strom. Die Abhängigkeiten sind unabhängig von der Art baulicher Nutzung (Wohnen oder Gewerbe) und weisen keine Unterschiede zwischen den drei Bebauungstypen auf. Die Art der Nutzung verschiebt dabei lediglich die Höhe des Anteils Eigenversorgung.

Beschriebene Abhängigkeiten wirken sich auch auf das Verhältnis Maß baulicher Dichte und Anteil Eigenversorgung aus. Auch hier wird unabhängig von der Art der Nutzung eine direkte Abhängigkeit identifiziert. Je höher die bauliche Dichte wird, desto geringer wird der Anteil Eigenversorgung. Die Art der Nutzung bestimmt hierbei die Höhe des Betrages und die Geschwindigkeit, mit der der Betrag bei steigender Dichte abnimmt. Bei reiner Wohnnutzung verläuft die Abnahme moderat, bei reiner Gewerbenutzung deutlich steiler. Zwischen den drei Bebauungstypen lassen sich nur bei reiner Gewerbenutzung Unterschiede im Verlauf der Trendlinien erkennen. Dort weist die Kurve der block- und teppichartigen Bebauung durchweg einen höheren Anteil Eigenversorgung auf, als die anderen beiden Bebauungstypen. Die geringste Eigenversorgung weisen bei gleicher Dichte in den unteren Dichtebereichen die punktförmige, in den oberen Dichtebereichen (ab circa 2,0) die zeilenartige Bebauung auf. Somit sind zeilenartige Bebauungen in hohen Dichtebereichen am leistungsineffizientesten.

Weitere Einflussfaktoren wie das Maß der Gerichtetheit und der Orientierungsanteil horizontal können mathematisch nicht eindeutig belegt werden. Hierzu sind die Streuungen der Werte zu groß. Anhand der Trendlinien können lediglich Annahmen geäußert werden. So wird angenommen, dass bei dem block- und teppichartigen Bebauungstyp bei steigendem Orientierungsanteil ‚horizontal‘ der Anteil Eigenversorgung ebenfalls größer wird. Bei den anderen beiden Bebauungstypen ist solch eine Tendenz hingegen nicht zu erkennen.

6.3. Versuchsreihe D: Zusammenfassende Bewertung identifizierter energetischer und leistungsspezifischer Verhaltensweisen untersuchter Bebauungstypen (maximales Potenzial)

Die vorliegende Versuchsreihe D hat energetische und leistungsspezifische Verhaltensweisen unter Annahme einer maximalen Potenzialnutzung (vgl. Kapitel III.2.3 Maximales Potenzial) analysiert. Das maximale Potenzial stellt dabei eine obere ‚Grenze‘ nutzbarer Oberflächen dar. Die folgenden Werte und Verhaltensweisen können dementsprechend als ‚Grenzverhalten‘ interpretiert werden.

Energetische Verhaltensweisen

Aus energetischer Sicht lässt sich bei einer maximalen Potenzialnutzung festhalten, dass alle Bebauungstypen fast gleichermaßen energieeffizient hinsichtlich der Strombereitstellung über aktive Systeme sind. Trotz aller Ähnlichkeiten im energetischen Verhalten, erweist sich die block- und teppichartige Bebauung insgesamt am ‚energieeffizientesten‘. Am ineffizientesten verhält sich die punktförmige Bebauung. Dazwischen sortiert sich die zeilenartige Bebauung ein. Ursache für diese geringen Unterschiede ist der Anteil Dachflächen jeweiliger Bebauungstypen. Da block- und teppichartige Strukturen durchweg einen höheren Anteil an exponierten Dachflächen aufweisen, kann die einfallende Strahlungsenergie großflächiger genutzt werden. Die zeilenartige und die punktförmige Bebauung sind demgegenüber stärker ‚zerklüftet‘ und weisen gegenüber der block- und teppichartigen Bebauung einen höheren Anteil an Fassadenflächen und Freiflächen auf. Diese beiden Flächenarten können jedoch nicht in gleichem Maße solaraktiv genutzt werden, wie dies bei Dachflächen der Fall ist.

Leistungsspezifische Verhaltensweise

Im Rahmen der leistungsspezifischen Vergleiche bei maximaler Potenzialnutzung zeichnen sich die Unterschiede zwischen den drei Bebauungstypen nicht mehr in derselben Deutlichkeit ab, wie es bei den energetischen Verhaltensweisen der Fall ist. Hinsichtlich des Anteils Eigenversorgung lassen sich bei reiner Wohnnutzung keine Unterschiede untereinander feststellen. Alle drei Bebauungstypen sind somit gleichermaßen leistungseffizient. Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass die Nutzung Wohnen unter einem maximalen Potenzial keine dezidierten Anforderungen an die Form stellt.

Im Gegensatz dazu weisen die Untersuchungen leistungsspezifischer Verhaltensweisen bei reiner Gewerbenutzung Unterschiede zwischen den drei Bebauungstypen auf. Hier erweist sich die block- und teppichartige Bebauung als leistungseffizienter als die anderen beiden Bebauungstypen. Das bedeutet, dass Gewerbenutzung sich aus Gründen der Leistungseffizienz besser in block- und teppichartigen Strukturen verorten lassen als in anderen Bebauungsformen.

Zusammenfassend lässt sich in Bezug auf die Ergebnisse der Versuchsreihe D festhalten, dass die block- und teppichartigen Strukturen sowohl am energie- als auch am leistungseffizientesten aller drei untersuchten Bebauungstypen ist. Insgesamt sind sowohl auf der Betrachtungsebene ‚Energie‘ und ‚Leistung‘ die Unterschiede zwischen den drei Bebauungstypen vergleichsweise gering. Alle drei Bebauungsformen können in hohem Maße Energie gewinnen und diese selber nutzen. Wesentlich dabei ist, dass alle relevanten Oberflächen systematisch genutzt werden.

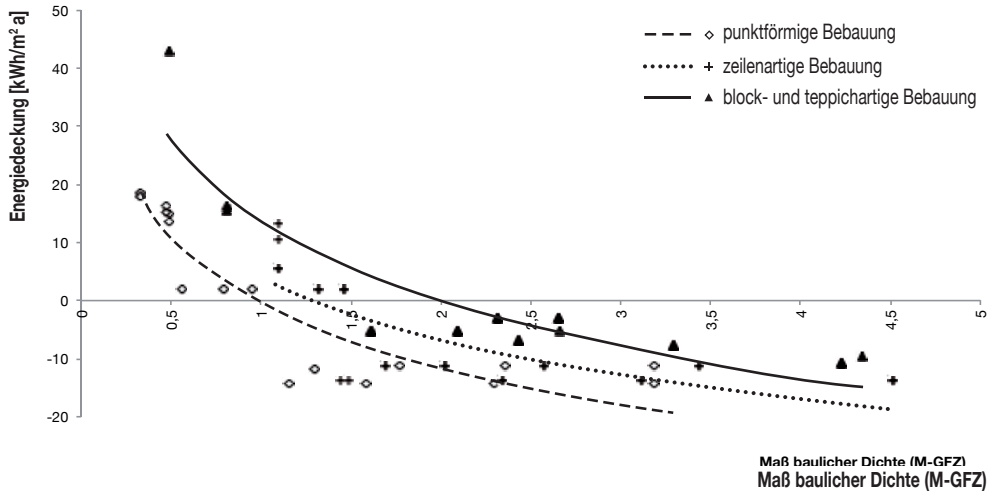


Abb. 103:
 Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

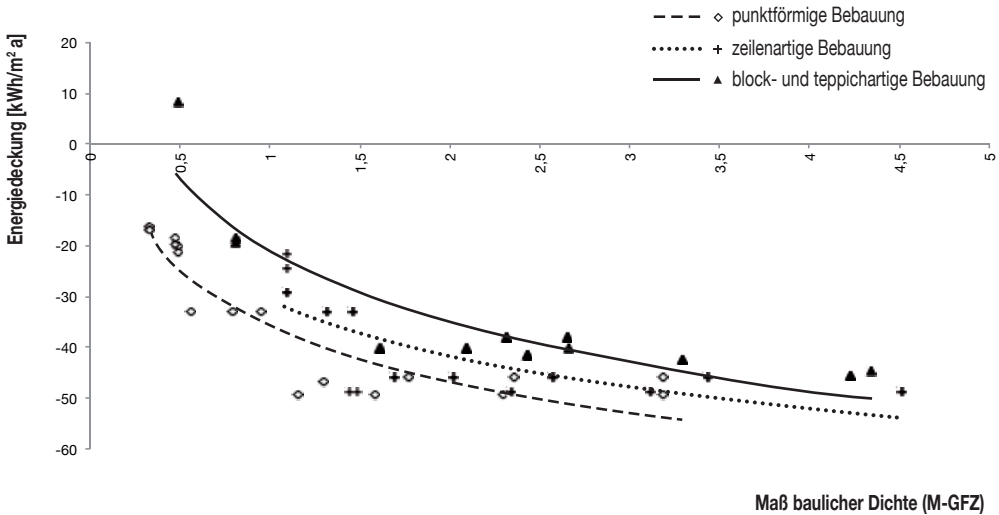


Abb. 104:
 Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

7. Versuchsreihe E (urbane Bebauungstypen, reduziertes Potenzial): Betrachtung ermittelter Analysegrößen in Abhängigkeit formspezifischer Eigenschaften

Die fünfte Versuchsreihe E wird in der gleichen Methode wie die zuvor beschriebene Versuchsreihe D durchgeführt. Hierbei wird nacheinander die energetische und leistungsspezifische Analysegröße in Relation zu formbeschreibenden Bezugsgrößen gesetzt.

Den Berechnungen dieser Auswertung liegt das Szenario ‚reduziertes Potenzial‘ gemäß Kapitel III.2.4 Reduziertes Potenzial zugrunde. Hierbei werden ausschließlich Dachflächen solaraktiv genutzt. Potenziale auf Fassadenflächen und Flächen im Freiraum werden in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt. Es wird erwartet, dass sich insbesondere Bebauungstypen mit großem Anteil horizontal orientierter Flächen hier noch deutlicher von den anderen Typen unterscheiden, als es in der vorangegangenen Versuchsreihe D bereits der Fall ist.

7.1. Energetische Verhaltensweisen (Energiedeckung)

7.1.1. Vergleich Maß baulicher Dichte und Energiedeckung

Reine Wohnnutzung

Die Gegenüberstellung der Energiedeckung und dem Maß baulicher Dichte beschreibt auch in dieser Versuchsreihe wieder eine eindeutige Abhängigkeit zwischen beiden Analyse- und Bezugsgrößen. Im Graphen bildet sich eine hyperbelförmige Trendlinie der Wertereihen ab. Deutliche Unterschiede lassen sich auch wieder zwischen den drei Bebauungstypen ablesen. Hierbei weist die Trendline der block- und teppichartigen Bebauung bei gleicher baulicher Dichte die höchste, die punktförmige Bebauung die geringste Energiedeckung auf. Dazwischen sortiert sich die zeilenartige Bebauung ein. Die Trendlinie der block- und teppichartigen Strukturen schneidet die Nulllinie bei einer baulichen Dichte von circa 2,0, die Trendlinie der punktförmigen Bebauung bereits bei circa 1,0. Somit ähnelt der Verlauf dieser Versuchsreihe E dem der vorangegangenen Versuchsreihe D. Der Unterschied zu dieser besteht lediglich in dem negativeren Verlauf der Trendlinien. Auch ‚klaffen‘ die Verläufe der beiden Trendlinien der block- und teppichartigen und der punktförmigen Bebauung weiter auseinander als in der Versuchsreihe D.

Reine Gewerbenutzung

Bei einer reinen Gewerbenutzung ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei der zuvor beschriebenen reinen Wohnnutzung. Der Graph ist lediglich negativ verschoben und liegt bis auf wenige Ausnahmen durchgehend im negativen Bereich. Auch hier ist ein deutlicher Unterschied zwischen den drei Bebauungstypen erkennbar. Bei gleicher baulicher Dichte ergibt sich bei den Blockstrukturen eine deutlich höhere Energiedeckung als bei den anderen beiden Typen. Die negativste Energiedeckung weist auch hier wieder die punktförmige Bebauung auf. Zwischen diesen beiden Typen sortiert sich die zeilenartige Bebauung ein.

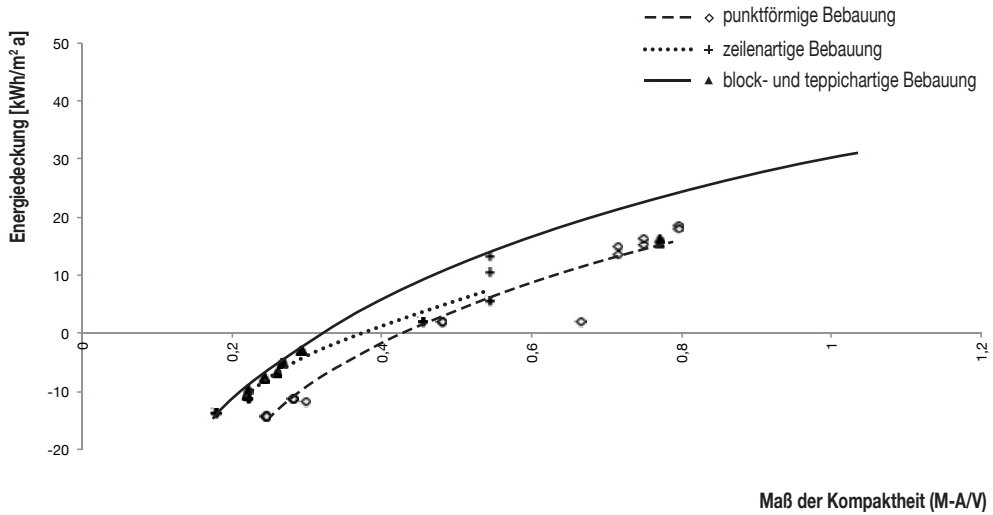


Abb. 105:
Verhältnis Maß der Kompaktheit (M-A/V) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); reduziertes Potenzial;
Quelle: Eigene Darstellung

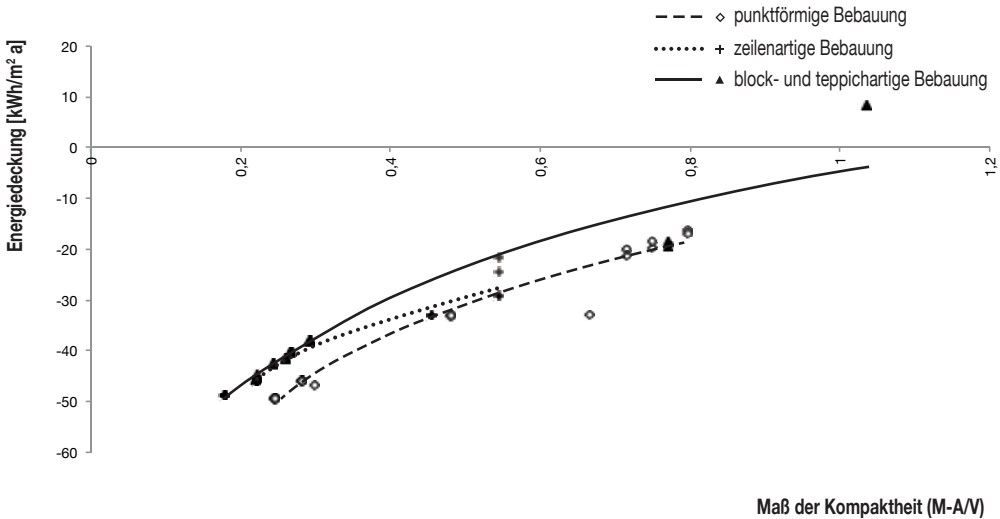


Abb. 106:
Verhältnis Maß der Kompaktheit (M-A/V) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); reduziertes Potenzial;
Quelle: Eigene Darstellung

7.1.2. Vergleich Maß der Kompaktheit und Energiedeckung

Reine Wohnnutzung

Die Energiedeckung und das Maß der Kompaktheit weisen in der Gegenüberstellung eine eindeutige Abhängigkeit auf. Die Analysegrößen bilden eine degressive Wertekurve im Graphen. Unterschiede lassen sich auch zwischen den drei Bebauungstypen identifizieren. Hierbei verläuft die Trendlinie der block- und teppichartigen Bebauung bei gleichem Maß der Kompaktheit positiver als jene der anderen beiden Bebauungstypen. Am negativsten verläuft die Trendlinie der punktförmigen Bebauung. Die Wertekurve der block- und teppichartigen Bebauung schneidet die x-Achse (ab hier wird mehr Energie benötigt, als lokal bereitgestellt werden kann) bei einer Kompaktheit von $0,3\text{m}^2/\text{m}^3$, die der punktförmigen Bebauung bei einer Kompaktheit von $0,45\text{m}^2/\text{m}^3$.

Reine Gewerbenutzung

Bei einer reinen Gewerbenutzung ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei der zuvor beschriebenen reinen Wohnnutzung. Auch hier stellt sich eine degressive Wertekurve ein, die lediglich negativ verschoben ist. Diese verläuft bis auf wenige Ausnahmen durchgehend im negativen Bereich. Hierbei weisen wieder die block- und teppichartigen Bebauungstypen die höchste, die punktförmige Bebauung die niedrigste Energiedeckung auf.

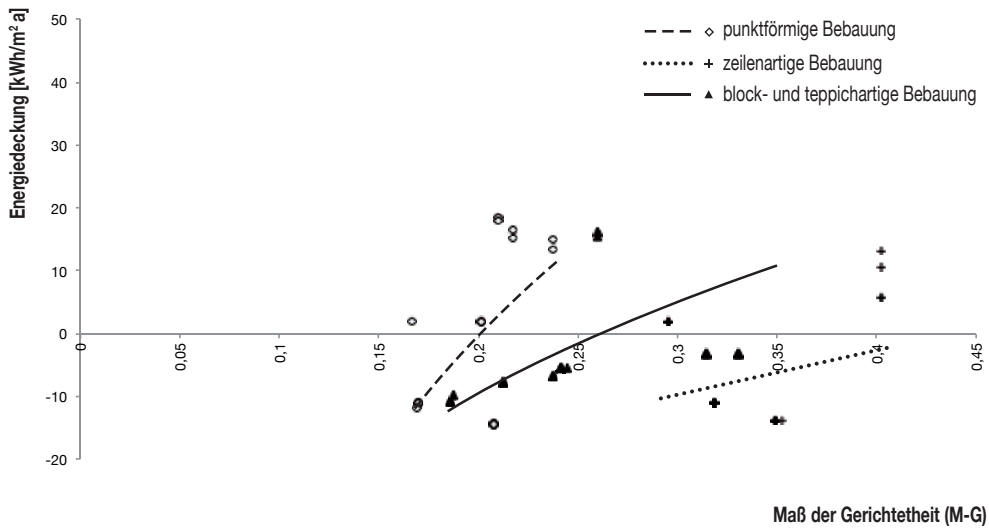


Abb. 107:
Verhältnis Maß der Gerichtetheit (M-G) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); reduziertes Potenzial;
Quelle: Eigene Darstellung

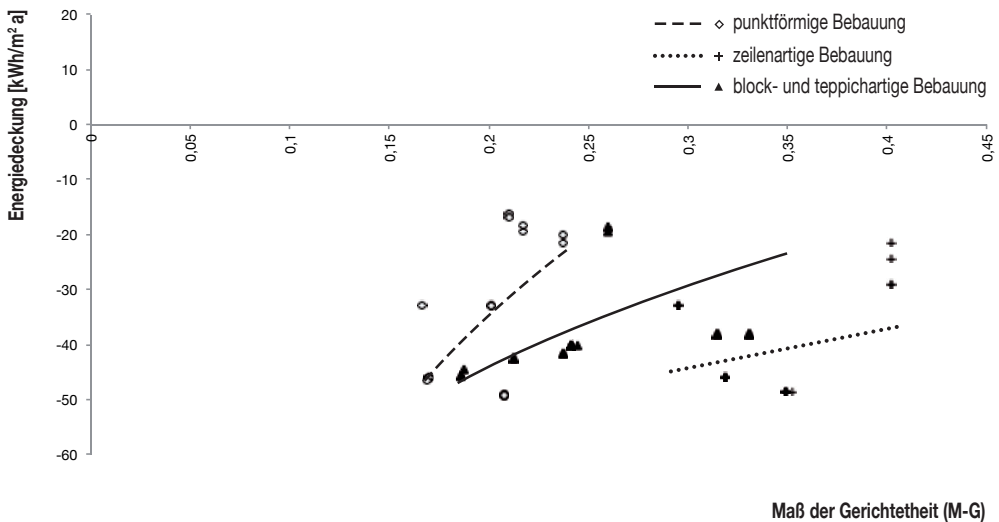


Abb. 108:
Verhältnis Maß der Gerichtetheit (M-G) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); reduziertes Potenzial;
Quelle: Eigene Darstellung

7.1.3. Vergleich Maß der Gerichtetheit und Energiedeckung

Reine Wohnnutzung

Die Gegenüberstellung der Energiedeckung und dem Maß der Gerichtetheit führt zu einer breiten Streuung der Analysewerte. Eindeutige Abhängigkeiten lassen sich nicht identifizieren. Dies liegt an dem zu geringen Bestimmtheitsmaß der jeweiligen Trendlinie. Lediglich Tendenzen lassen sich aus den Graphen herleiten. So weisen alle drei Bebauungstypen eine positive Steigung aus. Tendenziell steigt mit der Zunahme des Maßes der Gerichtetheit somit auch die Energiedeckung. Mathematisch beweisen lässt sich diese Vermutung jedoch nicht.

Reine Gewerbenutzung

Auch bei einer reinen Gewerbenutzung lassen sich keine eindeutigen Abhängigkeiten zwischen der Energiedeckung und dem Maß der Gerichtetheit identifizieren. Der Graph zeichnet ein ähnliches Bild wie bei einer reinen Wohnnutzung. Der Unterschied liegt in der Verschiebung aller Werte in den negativen Bereich.

7.1.4. Zusammenfassende Beschreibung von Abhängigkeiten der Form und der Energiedeckung

Bei den vorliegenden Betrachtungen unter Berücksichtigung des Szenarios ‚reduziertes Potenzial‘ haben sich verschiedene eindeutige Abhängigkeit zwischen Formeigenschaften und der Energiedeckung ergeben. Direkte Abhängigkeiten zwischen Analyse- und Bezugsgröße sind insbesondere bei dem Maß baulicher Dichte und dem Maß der Kompaktheit zu beobachten.

Je größer das Maß baulicher Dichte ist, desto geringer wird die Energiedeckung. Die Kurve im Graphen nähert sich dabei einem unteren Grenzwert an. Dieser stellt den jeweiligen spezifischen Strombedarf in Abhängigkeit zur Art der Nutzung (Wohnen oder Gewerbe) dar. Gleiches gilt für das Maß der Kompaktheit. Je kompakter eine Struktur wird, desto weniger Strom kann sie über die Oberflächen im Verhältnis zum jeweiligen Bedarf bereitstellen.

Die Ergebnisse der Versuchsreihe E haben die bereits in der Versuchsreihe D teilweise identifizierten Unterschiede zwischen den drei Bebauungstypen noch deutlicher werden lassen. Aufgrund der ausschließlich solaraktiven Nutzung von Dachflächen innerhalb dieser Untersuchungsreihe treten bei den Bezugsgrößen Maß baulicher Dichte und Maß der Kompaktheit deutliche Unterschiede in den Trendlinien auf. Ordneten sich noch bei der Gegenüberstellung von Energiedeckung und Maß der Kompaktheit in der Versuchsreihe D alle Analysewerte entlang einer einzelnen Trendlinie, so bilden bei der Versuchsreihe E die Analysewerte der drei Bebauungstypen unterschiedliche Trendlinien. Die block- und teppichartige Struktur ist bei gleicher Kompaktheit deutlich effizienter als die anderen beiden Bebauungsformen. Am wenigsten effizient ist der Bebauungstyp der punktförmigen Bebauung.

Weitere Abhängigkeiten zu formspezifischen Eigenschaften, wie dem Maß der Gerichtetheit, lassen sich bei der durchgeführten Gegenüberstellung mathematisch nicht bei allen Werten eindeutig identifizieren. Die beschriebenen Graphen zum Maß der Gerichtetheit oder dem Orientierungsanteil ‚horizontal‘ in Relation zur Energiedeckung weisen eine starke Streuung entsprechender Werte auf. Lediglich die Trendlinie des block- und teppichartigen Bebauungstyps verzeichnet einen ausreichend hohen Wert des Bestimmtheitsmaßes, um hierbei von einer wahrscheinlichen Abhängigkeit zu sprechen. Insbesondere die Zunahme bei dem Orientierungsanteil ‚horizontal‘ führt bei diesem Bebauungstyp zu einer Zunahme der Energiedeckung. Dies erscheint plausibel, da Dachflächen in der Regel deutlich solarexponierter sind als alle übrigen potenziell solaraktiv nutzbaren Flächen (Fassadenflächen oder Flächen in den Freiräumen).

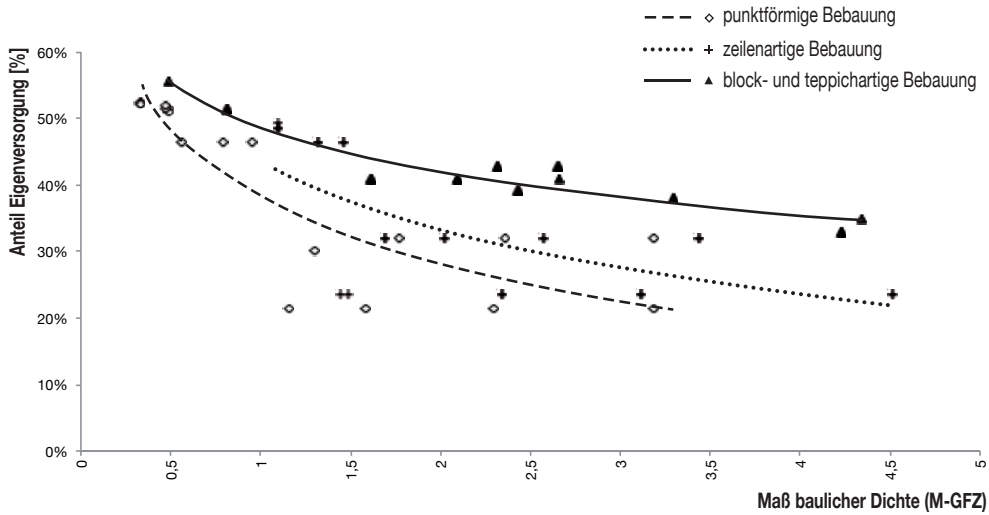


Abb. 109:
 Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zum Anteil Eigenversorgung;
 Einstellung: Reine Wohnnutzung;
 reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

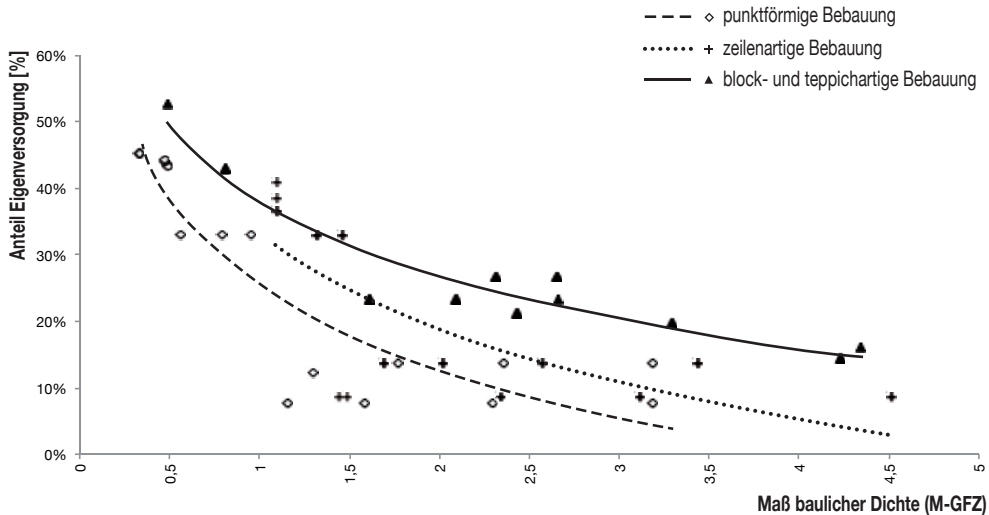


Abb. 110:
 Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zum Anteil Eigenversorgung;
 Einstellung: Reine Gewerbenutzung;
 reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

7.2. Leistungsspezifische Verhaltensweisen (Anteil Eigenversorgung)

7.2.1. Vergleich Maß baulicher Dichte und Anteil Eigenversorgung

Reine Wohnnutzung

Die Gegenüberstellung des Anteils Eigenversorgung und dem Maß baulicher Dichte zeigt eine eindeutige Abhängigkeit zwischen beiden Analyse- und Bezugsgrößen. Die Trendlinien der drei Bebauungstypen verlaufen entlang einer regressiv fallenden Kurve. Die Unterschiede zwischen den drei Bebauungstypen fallen dabei sehr deutlich aus. So weist die Trendlinie der block- und teppichartigen Bebauung bei gleicher baulicher Dichte einen höheren Anteil Eigenversorgung auf als die anderen beiden Bebauungstypen. Am schlechtesten schneidet die punktförmige Bebauung ab. Dazwischen sortiert sich die zeilenartige Bebauung ein. Neben dem deutlich flacheren Verlauf weist die Verteilung der Werte der block- und teppichartigen Bebauung auch eine geringere Streuung auf, als die anderen beiden Bebauungstypen. Insbesondere die Werte der zeilenartigen Bebauung verteilen sich diffus.

Reine Gewerbenutzung

Bei reiner Gewerbenutzung weisen die Ergebnisse wieder eine eindeutige Abhängigkeit zwischen den beiden Analyse- und Bezugsgrößen auf. Die Trendlinien verlaufen in ähnlicher Weise wie bei der reinen Wohnnutzung, fallen jedoch steiler ab. Auch hier verläuft die Trendlinie der block- und teppichartigen Bebauung flacher als die Kurven der anderen beiden Bebauungstypen. Somit weist auch unter dieser Konstellation die block- und teppichartige Bebauung bei gleicher baulicher Dichte einen höheren Anteil Eigenversorgung auf als die anderen beiden Typen. Der geringste Anteil Eigenversorgung stellt sich bei der punktförmigen Bebauung ein. Zwischen diesen beiden Wertekurven sortiert sich die Trendlinie der zeilenartigen Bebauung ein. Wie bereits bei der reinen Wohnnutzung identifiziert, weisen bei reiner Gewerbenutzung die Werte der zeilenartigen Bebauung eine breite Streuung auf.

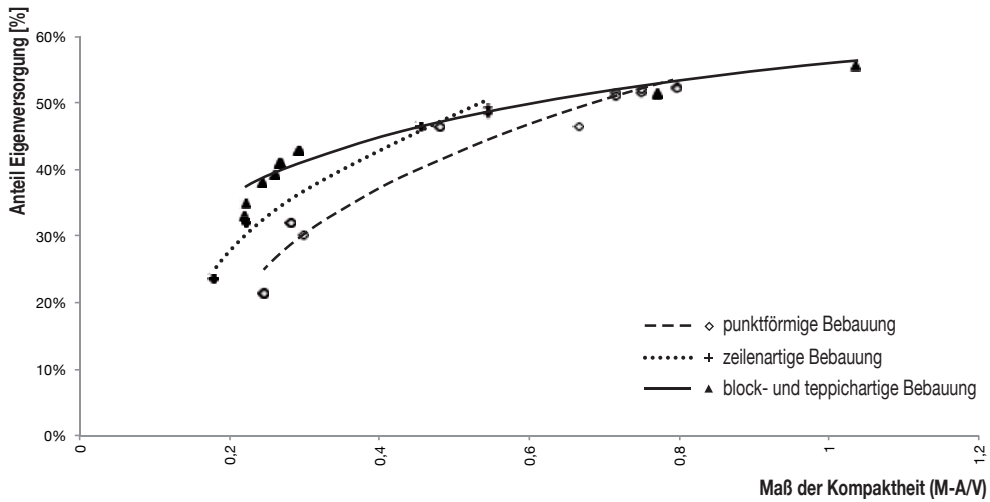


Abb. 111:
Verhältnis Maß der Kompaktheit (M-A/V) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

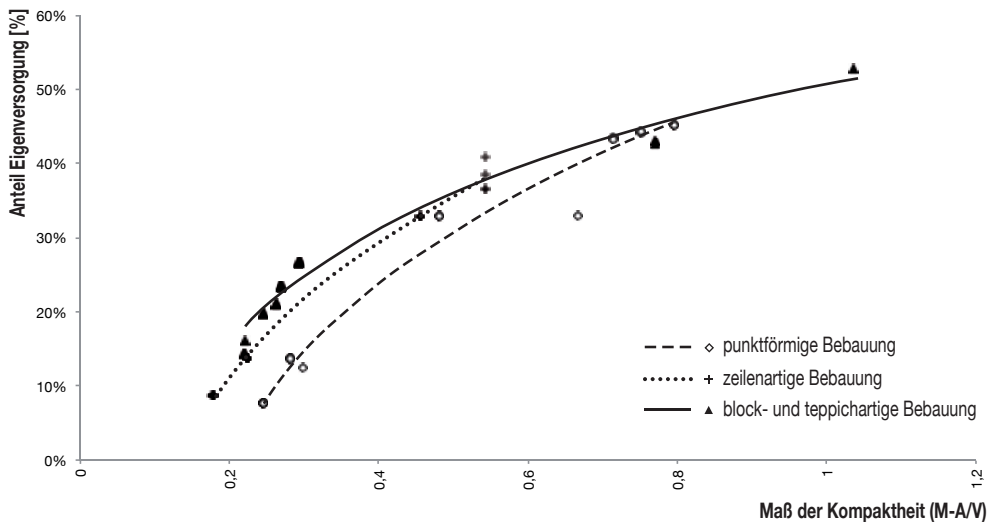


Abb. 112:
Verhältnis Maß der Kompaktheit (M-A/V) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

7.2.2. Vergleich Maß der Kompaktheit und Anteil Eigenversorgung

Reine Wohnnutzung

Das Maß der Kompaktheit in Gegenüberstellung zum Anteil Eigenversorgung bestätigt die zuvor beschriebene Abhängigkeit zwischen dem Maß baulicher Dichte und entsprechender Analysegröße. Hierbei weisen die Trendlinien der drei Bebauungstypen einen degressiv steigenden Kurvenverlauf auf. Im Falle einer hohen Kompaktheit (geringes Maß der Kompaktheit) stellt sich zudem eine Spreizung der Trendlinien der drei Bebauungstypen ein. Hier erzeugt die block- und teppichartige Bebauung bei gleicher Kompaktheit einen höheren Anteil Eigenversorgung als die anderen beiden Bebauungstypen. Den geringsten Anteil Eigenversorgung weist die punktförmige Bebauung auf. Dazwischen sortiert sich die zeilenartige Bebauung ein. Bei geringer Kompaktheit (hohes Maß der Kompaktheit), ab circa 0,7 verschmelzen die drei zu einer einzelnen Trendlinie.

Reine Gewerbenutzung

Bei reiner Gewerbenutzung verhält sich die Werteverteilung ähnlich wie bei reiner Wohnnutzung. Auch hier verlaufen die Trendlinien der drei Bebauungstypen entlang einer degressiv steigenden Kurve. Je größer das Maß der Kompaktheit wird (je weniger kompakt), desto größer wird der Anteil Eigenversorgung. Auch hier weisen die Werte der drei Bebauungstypen in den oberen Bereichen der Kompaktheit (kleines Maß der Kompaktheit) eine Spreizung auf. Hier erzeugt die block- und teppichartige Bebauung bei gleicher Kompaktheit eine höhere Eigenversorgung als die anderen beiden Bebauungstypen. Die geringste Eigenversorgung erzeugt die punktförmige Bebauung. Dazwischen sortiert sich die zeilenartige Bebauung ein.

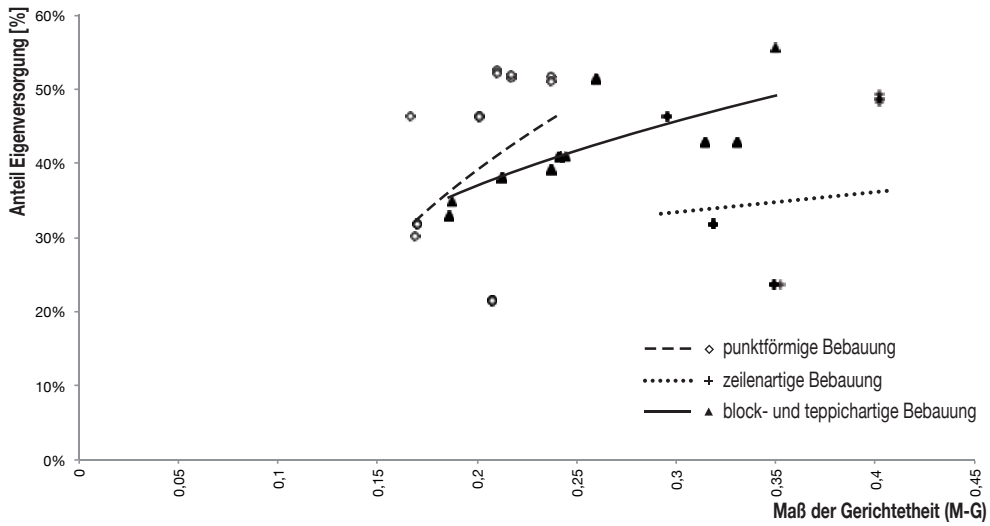


Abb. 113:
Verhältnis Maß der Gerichtetheit (M-G) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

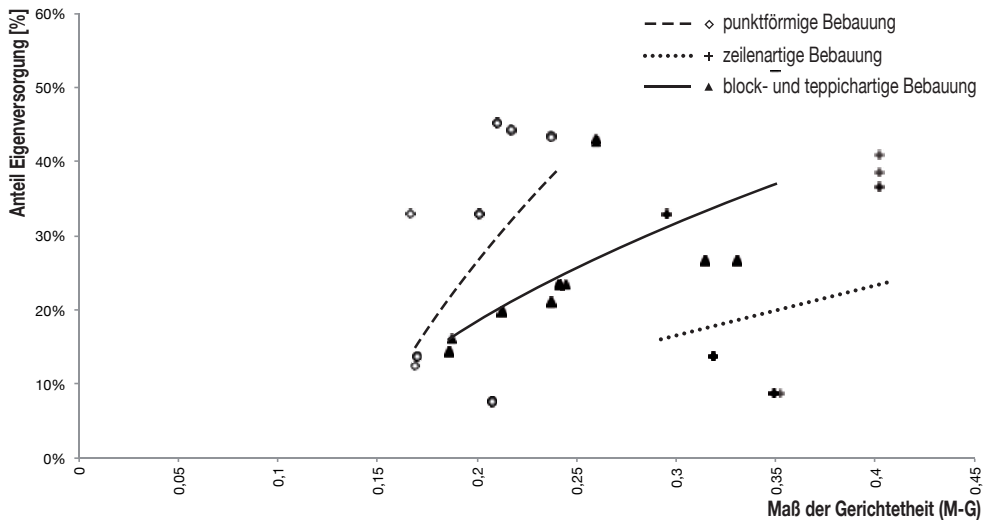


Abb. 114:
Verhältnis Maß der Gerichtetheit (M-G) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

7.2.3. Vergleich Maß der Gerichtetheit und Anteil Eigenversorgung

Reine Wohnnutzung

Die Gegenüberstellung des Maßes der Gerichtetheit mit dem Anteil Eigenversorgung zeigt eine diffuse Werteverteilung. Das Bestimmtheitsmaß aller drei Trendlinien ist sehr klein, weshalb eine direkte Abhängigkeit mathematisch nicht nachgewiesen werden kann. Dennoch liegt bei der Trendlinie der block- und teppichartigen Bebauung die Vermutung nahe, dass mit abnehmender Kompaktheit (steigendes Maß der Kompaktheit) eine Zunahme des Anteils Eigenversorgung erfolgt. Bei den anderen beiden Typen der punkt- bzw. zeilenartigen Bebauung kann solch eine Interpretation aufgrund der breiten Wertestreuung nicht erfolgen.

Reine Gewerbenutzung

Bei reiner Gewerbenutzung ergibt sich ein gleichartiges Bild wie bei reiner Wohnnutzung. Hier streuen die Werte der block- und teppichartigen Bebauung noch stärker als bei reiner Wohnnutzung. Der Wert des Bestimmtheitsmaßes sinkt dabei weiter, so dass eine mathematische Abhängigkeit nicht eindeutig identifiziert werden kann. Trotzdem wird eine gleiche Tendenz wie bei reiner Wohnnutzung der block- und teppichartigen Bebauung auf Grund der Werteverteilungen interpretiert.

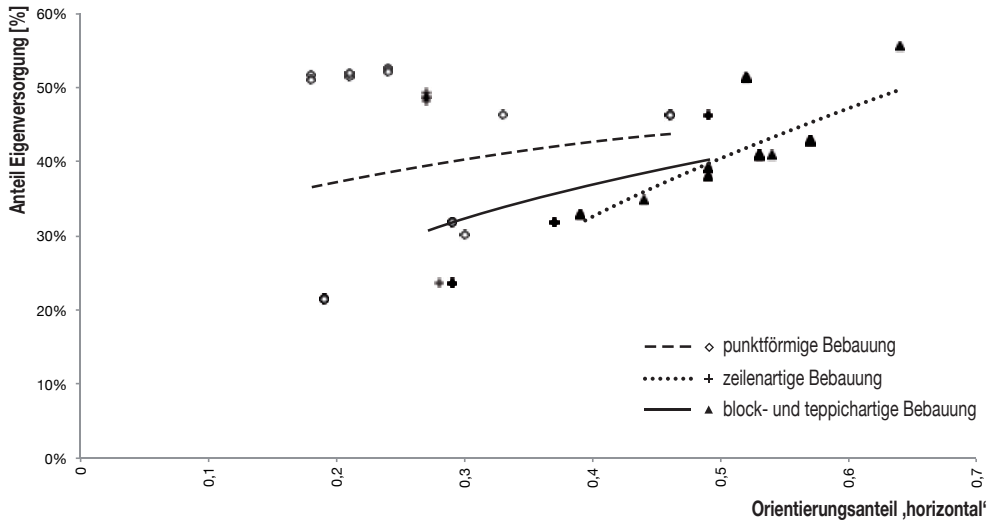


Abb. 115:
 Verhältnis Orientierungsanteil horizontal zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

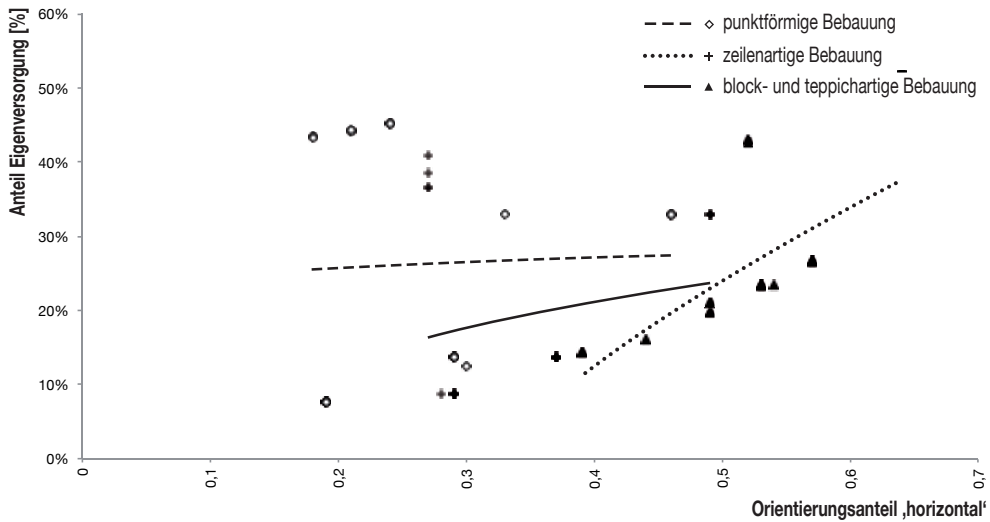


Abb. 116:
 Verhältnis Orientierungsanteil horizontal zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung

7.2.4. Vergleich Orientierungsanteil ‚horizontal‘ und Anteil Eigenversorgung

Reine Wohnnutzung

Die Gegenüberstellung des Orientierungsanteils ‚horizontal‘ und Anteil Eigenversorgung zeigt eine diffuse Werteverteilung. Auch hier lassen sich keine eindeutigen mathematischen Abhängigkeiten identifizieren. Lediglich die Trendlinie der block- und teppichartigen Bebauung legt auch bei dieser Gegenüberstellung die Annahme nahe, dass hier eine Abhängigkeit zwischen beiden Analyse- und Bezugsgrößen in den Kurvenverlauf besteht. Es wird davon ausgegangen, dass bei steigendem Orientierungsanteil ‚horizontal‘ der Anteil Eigenversorgung bei diesem Bebauungstyp ebenfalls ansteigt.

Reine Gewerbenutzung

Bei reiner Gewerbenutzung stellt sich ein vergleichbares Bild wie bei reiner Wohnnutzung ein. Auch hier kann eine eindeutige mathematische Abhängigkeit nicht zweifelsfrei belegt werden. Dennoch wird auch hier wieder den Werten der block- und teppichartigen Bebauung tendenziell eine Abhängigkeit unterstellt. Auch hier wird vermutet, dass bei steigendem Orientierungsanteil ‚horizontal‘ der Anteil Eigenversorgung ebenfalls steigt.

7.2.5. Zusammenfassende Beschreibung von Abhängigkeiten der Form und dem Anteil Eigenversorgung

Die Analysen zu leistungsspezifischen Verhaltensweisen städtischer Bebauungstypen unter einem reduzierten Potenzial haben ebenfalls wieder verschiedene Abhängigkeiten zwischen untersuchte Analyse- und Bezugsgrößen identifiziert. Die wichtigste Abhängigkeit wird zwischen dem Maß der Kompaktheit und der untersuchten Analysegröße identifiziert.

Je kompakter eine Form wird, desto geringer wird ihr Anteil Eigenversorgung. Dabei verzeichnen die drei Bebauungstypen bei gleichem Maß der Kompaktheit unterschiedliche Anteile Eigenversorgung. In den Bereichen hoher Kompaktheit (geringer Wert des Maßes der Kompaktheit) verlaufen die Trendlinien der drei Bebauungstypen unterschiedlich zueinander. Hier weist die block- und teppichartige Bebauung bei gleicher Kompaktheit einen höheren Anteil Eigenversorgung auf, als die anderen beiden Bebauungstypen. Den geringsten Anteil Eigenversorgung weist die punktförmige Bebauung auf. Dazwischen sortiert sich die zeilenartige Bebauung ein.

Gleiches gilt bei der Betrachtung des Anteils Eigenversorgung in Relation zum Maß baulicher Dichte. Hier stellen sich, bei gleicher baulicher Dichte, große Unterschiede in der Höhe des Anteils Eigenversorgung zwischen den drei Bebauungstypen ein. Durchweg leistungseffizienter verhält sich hierbei die block- und teppichartige Bebauung, am ineffizientesten hingegen die punktförmige Bebauung. Dazwischen sortiert sich die zeilenartige Bebauung ein. Die Art der Nutzung verschiebt die Kurven der drei Bebauungsformen in der Vertikalen zwischen einem höheren zu einem niedrigeren Anteil Eigenversorgung. Darüber hinaus nimmt das Gefälle der Wertekurven bei einer Veränderung der Art der Nutzung in Richtung reiner Gewerbenutzung zu.

Die höhere Leistungseffizienz der block- und teppichartigen Bebauung lässt sich durch den durchweg höheren Anteil an Dachflächen dieses Typus beschreiben. Da bei einem reduzierten Potenzial nur Dachflächen zur Potenzialnutzung betrachtet werden, erweisen sich diejenigen Strukturen als leistungseffizienter, die entsprechende solaraktive Dachflächen in möglichst großem Maße vorweisen. Dies lässt sich bei den Gegenüberstellungen des Anteils Eigenversorgung und den beiden Bezugsgrößen Maß der Gerichtetheit, beziehungsweise dem Orientierungsanteil ‚horizontal‘, erahnen. Obwohl die Streuung der Werte relativ groß ist, lässt sich insbesondere bei der Trendlinie der block- und teppichartigen Bebauung ein linearer Anstieg bei Zunahme der jeweiligen Bezugsgröße beobachten.

7.3. Versuchsreihe E: Zusammenfassende Bewertung identifizierter energetischer und leistungsspezifischer Verhaltensweisen untersuchter Bebauungstypen (reduziertes Potenzial)

Das zugrunde gelegte Szenario ‚reduziertes Potenzial‘ hat bei der letzten durchgeführten Versuchsreihe E in den Ergebnissen deutlich sichtbare Unterschiede im Verhalten untersuchter Bebauungstypen hervorgerufen. Die einleitend formulierten Erwartungen zur weiteren Ausdifferenzierung energetischer und leistungsspezifischer Verhaltensweisen haben sich hierbei bestätigt. Durch die ausschließliche Nutzung von Dachflächen für die solaraktive Stromerzeugung lassen sich formspezifische Unterschiede der getesteten Bebauungstypen eindeutig ablesen. Im Folgenden werden die identifizierten Ergebnisse zusammenfassend bewertet:

Energetische Verhaltensweisen

Im Bereich energetischer Verhaltensweisen machen die Untersuchungen dieser Reihe erneut zwei wichtige Abhängigkeiten deutlich. Das Maß der Kompaktheit und das Maß baulicher Dichte bestimmen in direkter Abhängigkeit die Höhe des Jahresertrages. Dabei gilt: Je kompakter, beziehungsweise je dichter eine Struktur ist, desto geringer ist der Jahresertrag und damit die Energiedeckung.

Block- und teppichartige Strukturen weisen bei reduziertem Potenzial eine deutlich höhere Kapazität zur aktiven Stromerzeugung als die beiden anderen getesteten Bebauungstypen auf. Am geringsten ist die Energiedeckung bei punktförmiger Bebauung. Dazwischen sortiert sich die zeilenartige Bebauung ein. Im Vergleich zum maximalen Potenzial der Versuchsreihe D sind die Unterschiede zwischen den drei Bebauungstypen bei einem reduzierten Potenzial sichtbar. So weist die blockartige Bebauung eine mehr als doppelt so hohe Energiedeckung als die punktförmige Bebauung auf. Somit ist aus ‚energetischer‘ Sicht die block- und teppichartige Struktur am ‚energieeffizientesten‘ hinsichtlich der Bereitstellung von Strom aus aktiven Solarsystemen.

Leistungsspezifische Verhaltensweisen

Die leistungsspezifischen Ergebnisse bei reduziertem Potenzial unterscheiden sich deutlich von den Ergebnissen bei einem maximalen Potenzial (Versuchsreihe D). Im Gegensatz zu den dort identifizierten geringen Unterschieden leistungsspezifischer Verhaltensweisen, erweisen sich die drei Bebauungstypen bei einem reduzierten Potenzial als signifikant unterschiedlich leistungseffizient.

Die block- und teppichartige Bebauung erzeugt sowohl bei den Gegenüberstellungen des Anteils Eigenversorgung mit dem Maß baulicher Dichte, als auch mit dem Maß der Kompaktheit bei gleichen Bezugswerten stets einen deutlich höheren Anteil Eigenversorgung. Den geringsten Anteil weist die punktförmige Bebauung auf. Diese Unterschiede zeichnen sich unabhängig von der Art der Nutzung (Wohnen oder Gewerbe) ab. Die Art der Nutzung verschiebt jeweils nur die Höhe des jeweiligen Anteils Eigenversorgung gleichmäßig bei allen drei Bebauungstypen. Somit ist die block- und teppichartige Bebauung die deutlich ‚leistungseffizienteste‘ Stadtstruktur und kann auftreffende Solarstrahlung am effizientesten nutzen.

Das bessere Leistungsverhalten der block- und teppichartigen Bebauung lässt sich auf den durchweg höheren Anteil Dachflächen an den gesamten Hüllflächen diesen Typus zurückführen. Dies lässt sich anhand der Ergebnisse zwar nicht eindeutig beweisen, eine Tendenz ist jedoch im Falle der Gegenüberstellung des Anteils Eigenversorgung und dem Maß der Gerichtetheit, beziehungsweise dem Orientierungsanteil ‚horizontal‘ bei der block- und teppichartigen Bebauung zu beobachten. Der Anteil Eigenversorgung steigt stetig bei größer werdendem Dachflächenanteil.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass der Anteil horizontaler Oberflächen in Stadträumen eine entscheidende Rolle hinsichtlich einer leistungseffizienten Bereitstellung von Strom aus solaraktiven Systemen spielt. Je größer der genannte Anteil an Dachflächen ist, desto größer wird erwartungsgemäß der Anteil Eigenversorgung ausfallen.

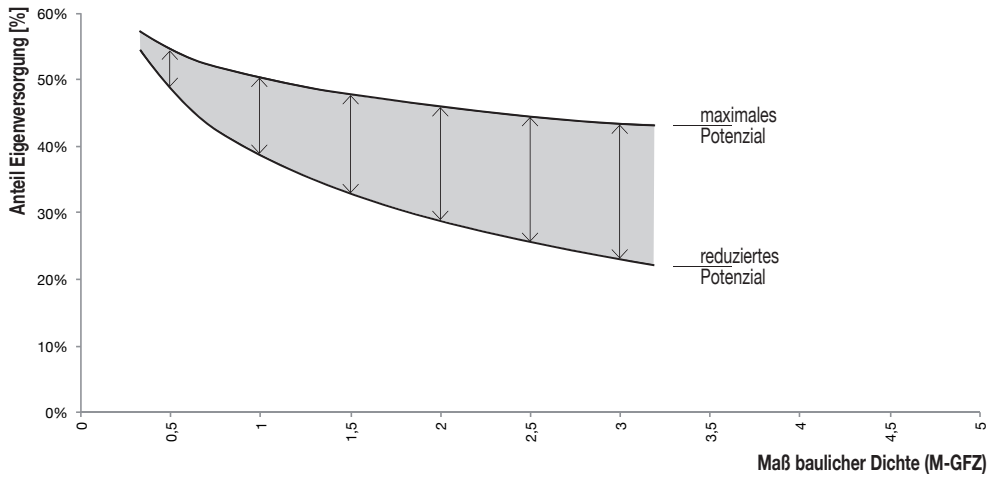


Abb. 117:
 Punkt förmige Bebauung;
 Gegenüberstellung maximales und
 reduziertes Potenzial; Einstellung: reine
 Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung
 (pro m² GF); Quelle: Eigene Darstellung

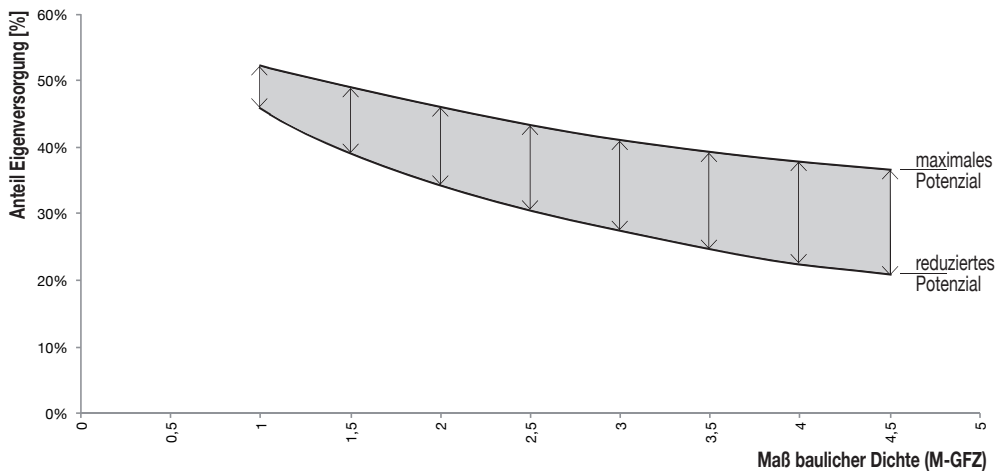


Abb. 118:
 Zeilenartige Bebauung;
 Gegenüberstellung maximales und
 reduziertes Potenzial; Einstellung: reine
 Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung
 (pro m² GF); Quelle: Eigene Darstellung

8. Gegenüberstellung des leistungsspezifischen Verhaltens untersuchter Bebauungstypen bei maximaler und reduzierter Potenzialnutzung

Zum Abschluss der beschriebenen, breit angelegten Untersuchungen werden die Ergebnisse der beiden Versuchsreihen D und E noch einmal einander gegenübergestellt. Ziel dabei ist es, die unterschiedlichen leistungsspezifischen Verhaltensweisen der betrachteten drei Bebauungstypen unter dem Einfluss des maximalen Potentials einerseits und des reduzierten Potentials andererseits zu benennen. Hierfür werden die Trendlinien beider Potentialszenarien jedes Bebauungstyps separiert und in einen Graphen einbeschrieben. Beide Trendlinien definieren dabei einen ‚Korridor‘, der unten durch die Trendlinie des reduzierten, oben durch die Trendlinie des maximalen Potentials begrenzt wird. Beim reduzierten Potenzial werden solaraktive Systeme gemäß eigener Setzung (vgl. Kapitel III.2.4 Reduziertes Potenzial) ausschließlich auf Dachflächen betrachtet. Beim maximalen Potenzial (vgl. Kapitel III.2.3 Maximales Potenzial) hingegen werden zusätzlich noch solaraktive Systeme auf Fassadenflächen und Freiflächen betrachtet, wobei diese Flächen nur in einem bestimmten Umfang einbezogen werden können. Der Anteil solaraktiver Systeme auf Dachflächen ist bei beiden Potentialszenarien (maximal und reduziert) gleich.

Somit beschreibt die Größe des Korridors, wie stark der Einfluss von solaraktiven Systemen auf Fassadenflächen und Freiflächen ist. Je größer der Korridor wird, desto stärker wirken sich Wandsysteme und Systeme im Freiraum auf den Anteil Eigenversorgung aus. Umgekehrt gilt auch: Je kleiner der Korridor ist, desto weniger wirkt sich der Anteil von Wandsystemen und Systemen im Freiraum auf den Anteil Eigenversorgung aus. (vgl. Abb. 120)

8.1. Entwicklung des Anteils Eigenversorgung nach Potentialszenarien bei punktförmiger Bebauung

Die Überlagerung beider Potentialszenarien beschreibt einen sich stark aufspreizenden Korridor, der mit steigender baulicher Dichte eine beachtliche Höhe aufweisen kann (vgl. Abb. 117). In den unteren Dichtebereichen starten die Trendlinien des maximalen und reduzierten Potentials in ähnlicher Höhe bei 54%, beziehungsweise 58% Anteil Eigenversorgung. Mit steigender baulicher Dichte fällt die Trendlinie des reduzierten Potentials jedoch deutlich steiler ab als die Trendlinie des maximalen Potentials. Der Korridor wird somit höher. Bei einer hohen baulichen Dichte von 3,0 ist der Anteil Eigenversorgung beim maximalen Potenzial mit 43% annähernd doppelt so groß wie beim reduzierten Potenzial mit 22%.

Somit zeigt die Gegenüberstellung beider Potentialszenarien, dass solaraktive Systeme in Fassadenflächen und Freiflächen bei höheren baulichen Dichten einen signifikanten Beitrag zur Erhöhung des Anteils Eigenversorgung leisten können. Umgekehrt gilt auch, dass bei ausschließlicher Nutzung von Dachflächen bei punktförmiger Bebauung kein signifikanter Anteil Eigenversorgung mehr erwartet werden kann. Somit besteht bei punktförmigen Bebauungstypen ein gewisser ‚Druck‘ zur Nutzung von Fassaden und Freiflächen, sofern eine leistungseffiziente Strombereitstellung über solaraktive Systeme angestrebt wird.

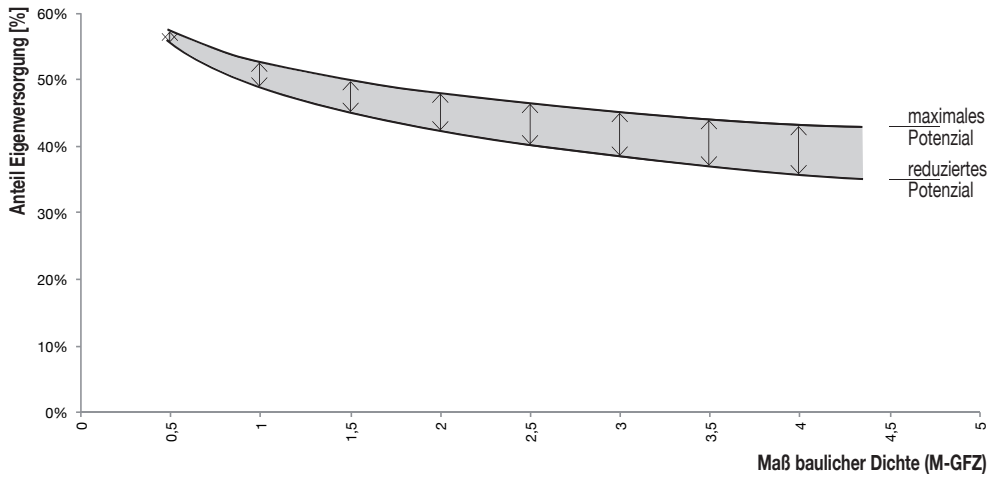


Abb. 119:
 Block- und teppichartige Bebauung:
 Gegenüberstellung maximales und
 reduziertes Potenzial; Einstellung: reine
 Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung
 (pro m² GF); Quelle: Eigene Darstellung

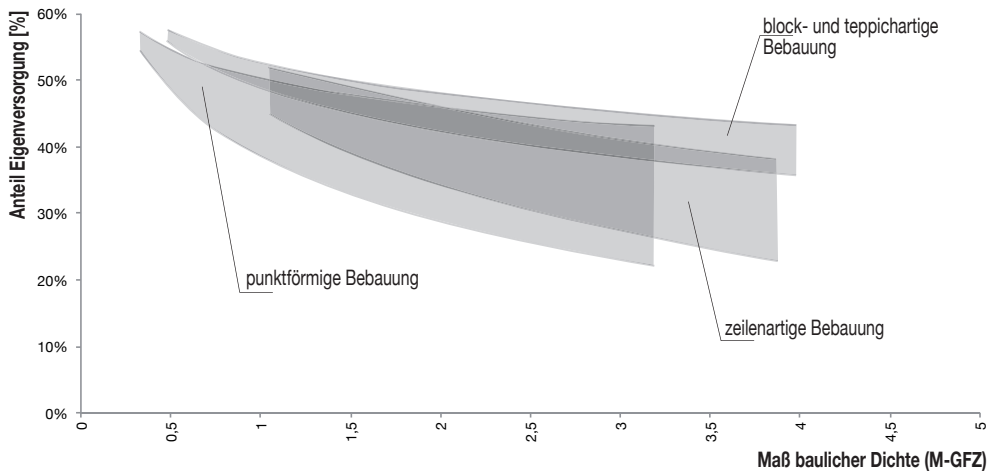


Abb. 120:
 Korridor zwischen maximalem und re-
 duziertem Potenzial nach Bebauungstypen; Einstellung: reine Wohnnutzung;
 Spezifische Betrachtung (pro m² GF);
 Quelle: Eigene Darstellung

8.2. Entwicklung des Anteils Eigenversorgung nach Potenzialszenarien bei zeilenartiger Bebauung

Bei zeilenartiger Bebauung bilden die beiden Trendlinien des maximalen und des reduzierten Potenzials ebenfalls wieder einen Korridor aus (vgl. Abb. 118). Dieser startet im unteren Bereich baulicher Dichte bei circa 62% (maximales Potenzial), beziehungsweise 46% (reduziertes Potenzial). Bei steigender baulicher Dichte vergrößert sich dieser Korridor moderat und die beiden ‚Grenzen‘ fallen dabei relativ gleichmäßig. Insgesamt verläuft die Aufweitung des Korridors dabei lange nicht so deutlich wie bei der zuvor beschriebenen punktförmigen Bebauung. In den oberen Dichtebereichen stabilisiert sich der Unterschied zwischen beiden Potenzialszenarien. So weist die zeilenartige Bebauung bei einer Dichte von 3,0 einen Anteil Eigenversorgung von circa 41% (maximales Potenzial), beziehungsweise 26% (reduziertes Potenzial) auf.

Aus der Gegenüberstellung beider Potenzialszenarien lässt sich bei zeilenartiger Bebauung feststellen, dass eine solaraktive Nutzung von Fassadenflächen und Freiflächen einen signifikanten Beitrag zur leistungseffizienten Strombereitstellung leisten kann. Sofern eine Nutzung von Fassadenflächen oder Flächen im Freiraum nicht möglich ist, bieten die Dachflächen der zeilenartigen Bebauung immer noch ein ordentliches Potenzial zur Nutzung aktiver Systeme.

8.3. Entwicklung des Anteils Eigenversorgung nach Potenzialszenarien bei block- und teppichartiger Bebauung.

Die Gegenüberstellung beider Potenzialszenarien bei block- und teppichartiger Bebauung bildet einen nur sehr schmalen Korridor aus (vgl. Abb. 119). Die Trendlinien des maximalen und des reduzierten Potenzials verlaufen dabei fast parallel. In den unteren Dichtebereichen beläuft sich der Unterschied beider Grenzen auf circa 5%. Bei einer baulichen Dichte von 1,0 weisen die block- und teppichartigen Bebauungen bei maximalem Potenzial einen Anteil Eigenversorgung von circa 53%, bei einem reduzierten Potenzial von 48% auf. Bei steigender Dichte nimmt dieser Unterschied nur unwesentlich zu. Bei einer Dichte von 3,0 erzeugt die Blockstruktur noch einen Anteil Eigenversorgung bei maximalem Potenzial von 45%, beziehungsweise 38% bei reduziertem Potenzial.

Zusammenfassend lässt sich in Hinblick auf die block- und teppichartige Bebauung feststellen, dass ein Einsatz solaraktiver Systeme in Fassaden oder Freiflächen keine signifikante Erhöhung einer leistungseffizienten Strombereitstellung befördert.

KAP. VII Zusammenfassung und Fazit

Zur Beantwortung der Forschungsfrage 1 gilt:

- » *Die Orientierung in spezielle Himmelsrichtungen aktiver Dachsysteme spielt für eine leistungseffiziente Strombereitstellung keine signifikante Rolle.*

- » *Alle Dachorientierungen (inkl. Norddächer) leisten einen ähnlich großen Beitrag zum Anteil Eigenversorgung mit Strom aus Solarenergie, sofern sie einen möglichst großen Öffnungswinkel zur Himmelskuppel aufweisen.*

- » *Die horizontale Orientierung (bei kleinen Volumen), beziehungsweise die reine 30° Süd-Orientierung (bei großen Volumen) erweisen sich – wenn auch nur in relativ geringem Maße – als die leistungseffizientesten Orientierungen.*

- » *Die Größe des Volumens wirkt sich auf den Anteil Eigenversorgung aus. Je größer das Volumen, desto geringer ist der Anteil Eigenversorgung.*

1. Zusammenfassung und Beantwortung gestellter Forschungsfragen

Zu Beginn dieser Arbeit wurden aus den beschriebenen Hypothesen insgesamt vier Forschungsfragen (vgl. Kapitel I.4 Arbeitshypothesen & Forschungsfragen) formuliert. Zur Beantwortung dieser wurden eigene leistungsspezifische Typtage (vgl. Kapitel III) entwickelt. Diese berücksichtigen stündliche Schwankungen sowohl auf der Seite des Angebotes (volatile Solarstrahlung), als auch auf der Seite der Nachfrage (Stromleistungskurven nach Art der Nutzung). Darüber hinaus wurde eine eigene Typisierungsmethode von Stadtstrukturen (vgl. Kapitel IV) entwickelt. Anhand dieser lassen sich alle in Deutschland vorkommenden Bebauungsstrukturen abbilden. Zur Simulation von Synchronitätsverhalten unterschiedlicher Bebauungstypen wurde ein eigenes Energiemodell (Kapitel V) programmiert. Mit diesem wurden in den weiteren Untersuchungen insgesamt fünf Testreihen durchgeführt und nacheinander beschrieben (vgl. Kapitel VI). Zusammenfassend werden in den folgenden Abschnitten die im Rahmen dieser Arbeit gestellten Forschungsfragen beantwortet.

1.1. Einfluss der Orientierung von Oberflächen auf die Leistungseffizienz solaraktiver Strombereitstellung (Antwort zur 1. Forschungsfrage)

Die erste Forschungsfrage zielt darauf, ob sich unter dem Paradigma ‚Leistung‘ eine andere Orientierung als effizient erweist, als unter dem bisherigen Paradigma ‚Energie‘. Die Untersuchungen hierzu haben gezeigt, dass diese Frage nicht pauschal beantwortet werden kann, sondern je nach Rahmenbedingungen unterschiedliche Orientierungen an erster Stelle stehen. Antworten hierzu liefern insbesondere die Ergebnisse der ersten beiden Versuchsreihen A (vgl. Kapitel VI.2 Versuchsreihe A (Testkörper mit kleiner Volumetrie)) und B (vgl. Kapitel VI.3 Versuchsreihe B (Testkörper mit großer Volumetrie)). Die Unterscheidung in Testkörper mit kleiner und mit großer Volumetrie hat sich als notwendig erwiesen, da im Hinblick auf eine Leistungseffizienz Unterschiede sowohl in Abhängigkeit zur Größe, als auch je nach Art der Nutzung (Wohnen oder Gewerbe) identifiziert werden. Hierbei ergibt sich in Abhängigkeit zu diesen beiden Einflussfaktoren jeweils eine andere Bewertung, welche der getesteten Orientierungen solaraktiver Dächer (30° geneigt nach Norden, Osten, Süden, Westen sowie horizontal) den größten Anteil Eigenversorgung erzielt. Hierbei liegt einmal die horizontale Orientierung, einmal die Süd-Orientierung leicht vorne.

Festgestellt wird auch, dass die Unterschiede zwischen den getesteten Orientierungen vergleichsweise gering sind und somit alle Dach-Orientierungen einen signifikanten Anteil Eigenversorgung bereitstellen können. Selbst ein 30° Nord-orientiertes Dach kann einen nicht unerheblichen Anteil Eigenversorgung am Gesamtbedarf aufbringen. Ihr Anteil Eigenversorgung liegt nur um ungefähr 7% unter dem maximalen Wert einer horizontalen (bei kleinen Testkörpern), beziehungsweise Süd-orientierten (bei großen Testkörpern) Dachfläche. Somit bleibt festzuhalten dass für eine leistungseffiziente Strombereitstellung idealerweise Flächen genutzt werden, die einen maximalen Öffnungswinkel zum Himmel aufweisen. Dadurch kann gerade an Tagen mit überwiegender Diffusstrahlung ein maximaler Ertrag gewonnen werden. Der Grad der Nutzung von Diffusstrahlung bestimmt somit die Leistungseffizienz (Maximale Eigenversorgung), der Grad der Nutzung von Direktstrahlung den maximalen Ertrag.

Zur Beantwortung der Forschungsfrage 2 gilt:

- » *Es gibt keine ‚ideale‘ Orientierung für die jeweilige Art der Nutzung.*

- » *Sowohl bei reiner Wohnnutzung, als auch bei reiner Gewerbenutzung können alle Orientierungen jeweils einen fast gleichen Anteil Eigenversorgung bereitstellen.*

- » *Die Art der Nutzung beeinflusst bei gleichem Volumen die Höhe des Anteils Eigenversorgung. Reine Wohnnutzung erzielt hierbei einen höheren Anteil Eigenversorgung als reine Gewerbenutzung.*

1.2. Einfluss der Art der Nutzung auf die Leistungseffizienz solaraktiver Strombereitstellung (Antwort zur 2. Forschungsfrage)

Die zweite Forschungsfrage zielt darauf ab, ob es je nach Art der Nutzung eine ‚ideale‘ Orientierung von Strukturen gibt. Hierzu liefern ebenfalls die Untersuchungen der ersten beiden Versuchsreihen A (vgl. Kapitel VI.2 Versuchsreihe A (Testkörper mit kleiner Volumetrie)) und B (vgl. Kapitel VI.3 Versuchsreihe B (Testkörper mit großer Volumetrie)) entsprechende Ergebnisse. Die wichtigste Erkenntnis ist, dass es für die unterschiedlichen Nutzungen keine jeweilige ideale Orientierung von Dachflächen gibt. Vielmehr hängt die Leistungseffizienz primär von der Größe des Volumens ab und ob in genügendem Maße Dachflächen vorhanden sind. Bei gleichem Volumen ergeben sich sowohl bei reiner Wohnnutzung, als auch bei reiner Gewerbenutzung jeweils die gleichen ‚idealen‘ Orientierungen.

Der Unterschied zwischen den beiden Nutzungsarten liegt jedoch in der Höhe des Anteils Eigenversorgung. Die Art der Nutzung wirkt sich erst einmal auf die Höhe des Strombedarfs pro Quadratmeter Energiebezugsfläche aus. Bei reiner Wohnnutzung ist der spezifische Strombedarf niedriger als bei reiner Gewerbenutzung. Somit vergrößert oder verkleinert die Art der Nutzung die Höhe des Strombedarfs. Bei gleicher Form kann dadurch unter Umständen bei Wohnnutzung ein Überschuss, bei Gewerbenutzung eine Unterdeckung entstehen. Ein insgesamt kleinerer Strombedarf der reinen Wohnnutzung kann leichter durch Strom aus aktiven Systemen gedeckt werden. Deshalb fällt der Anteil Eigenversorgung in beiden Versuchsreihen A und B bei reiner Wohnnutzung stets höher aus, als bei reiner Gewerbenutzung.

Neben der Auswirkung auf die Höhe des spezifischen Strombedarfs weisen die beiden Nutzungen ganz unterschiedliche Profile im Tagesverlauf auf. Diese sind im Kapitel III.1.2 Typisierung von leistungsspezifischen Strombedarfen beschrieben und in Abb. 32, Abb. 33 und Abb. 34 dargestellt. Die Profilkurven der Wohnnutzung zeigen vor allem zur Mittag- und Abendzeit eine maximale Nachfrage, Gewerbe hingegen an Werktagen in den Vormittags- und Nachmittagsstunden. Diese Unterschiedlichkeit im Tagesverlauf drückt sich bei gleichem Volumen jedoch nur bei den ohnehin weniger leistungseffizienten Formen aus. Die effizienteren Testkörper weisen bei Wohn- und Gewerbenutzung stets die gleiche Orientierung auf. Welche Orientierung auf dem ersten Platz landet, hängt wiederum von der Größe des Volumens ab (vgl. Antwort zur 1. Forschungsfrage). Vereinfachend kann somit festgehalten werden, dass die jeweilige Art der Nutzung keine spezifische ‚ideale‘ Orientierung erwünscht.

Zur Beantwortung der Forschungsfrage 3 gilt:

- » *Die Formbeschaffenheit, insbesondere das Maß der Kompaktheit und das Maß baulicher Dichte spielt bei der Leistungseffizienz von Stadtstrukturen eine entscheidende Rolle.*

- » *Je kompakter und je dichter eine Struktur, desto weniger leistungseffizient ist sie.*

- » *Bei gleicher baulicher Dichte weist die block- und teppichartige Bebauung den höchsten, die punktförmige Bebauung den geringsten Anteil Eigenversorgung auf. Dazwischen sortiert sich die zeilenartige Bebauung ein.*

1.3. Einfluss der Form von Stadtstrukturen auf die Leistungseffizienz solaraktiver Strombereitstellung (Antwort zur 3. Forschungsfrage)

Die dritte Forschungsfrage zielt auf die Formbeschaffenheit einer leistungseffizienten Stadtstruktur. Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurde in einem ersten Schritt eine Typisierung von Stadtstrukturen (vgl. Kapitel IV.2) vorgenommen. Diese erfolgte in Anknüpfung an eine eingehende Analyse dargestellter Typisierungsmethoden in der Literatur (vgl. Kapitel IV.1). Die eigene Definition von Bebauungstypen unterscheidet in punktförmige Bebauung, zeilenartige Bebauung sowie block- und teppichartige Bebauung. Energetische und leistungsspezifische Verhaltensweisen dieser drei Bebauungstypen wurden in den letzten drei Versuchsreihen C (vgl. Kapitel VI.4), D (vgl. Kapitel VI.5) und E (Kapitel VI.5) entsprechend getestet und anschließend beschrieben.

Die Ergebnisse zeigen, dass vor allem die beiden Bezugsgrößen Maß der Kompaktheit und Maß baulicher Dichte einen direkten Einfluss auf den Anteil Eigenversorgung ausüben. Je dichter eine Struktur, beziehungsweise je kompakter diese Struktur ist, desto niedriger fällt der Anteil Eigenversorgung aus. Diese Abhängigkeit ist jedoch nicht bei allen drei Bebauungstypen in gleicher Weise zu beobachten. Bei gleicher baulicher Dichte, beziehungsweise bei gleicher Kompaktheit weist die block- und teppichartige Bebauung einen höheren Anteil Eigenversorgung auf.

Bei einer zusätzlichen Nutzung von aktiven Systemen in Fassaden und Freiräumen (vgl. Kapitel III.2.3 Maximales Potenzial und Kapitel VI.5) sortieren sich hinter der Blockstruktur bis zu einer Dichte von circa 2,0 die zeilenartige, danach die punktförmige Bebauung ein. Ab einer Dichte von 2,0 tauschen die letzten beiden Bebauungstypen ihre Positionen. Bei hoher baulicher Dichte ist im Falle einer zusätzlichen Nutzung von aktiven Systemen in Fassaden und Freiräumen somit die zeilenartige Bebauung weniger leistungseffizient als die punktförmige Bebauung und die an erster Stelle stehende block- und teppichartige Bebauung. Ohne eine zusätzliche Nutzung aktiver Systeme in Fassaden und Freiräumen (vgl. Kapitel III.2.4 Reduziertes Potenzial und Kapitel VI.6), d. h. bei ausschließlicher Nutzung von Dachflächen für die solaraktive Strombereitstellung, erweist sich in allen Dichtestufen die block- und teppichartige Bebauung am leistungseffizientesten, die punktförmige Bebauung am wenigsten leistungseffizient. Dazwischen sortiert sich die zeilenartige Bebauung ein.

Das positive Abschneiden der block- und teppichartigen Bebauung bei der Beurteilung der Leistungseffizienz solaraktiver Strombereitstellung ist auf den hohen Anteil horizontaler Dachflächen dieser Bebauungsstrukturen zurückzuführen. Durch den vergleichsweise höheren Anteil horizontaler Orientierung kann insbesondere an Tagen mit überwiegender Diffusstrahlung eine höhere solare Stromausbeute erzielt werden. Somit erscheinen ‚in der Fläche‘ verdichtete Strukturen in Hinblick auf die Leistungseffizienz besser geeignet als Strukturen, die ‚in der Höhe‘ verdichtet sind. Sofern Strukturen vertikal verdichtet sind, kann die Nutzung von Fassadenflächen und Flächen im Freiraum zu einer signifikanten Erhöhung der Leistungseffizienz führen.

Zur Beantwortung der Forschungsfrage 4 gilt:

- » *Der Einfluss zusätzlicher Solarsysteme in Fassaden und Freiräumen nimmt mit steigender baulicher Dichte zu. Je geringer die bauliche Dichte ist, desto geringer ist die Erhöhung des Anteils Eigenversorgung. Je höher die bauliche Dichte steigt, desto größer wird die Erhöhung des Anteils Eigenversorgung.*

- » *Je nach Bebauungstyp wirkt sich eine solaraktive Nutzung von Fassadenflächen und Flächen im Freiraum mal deutlicher, mal weniger deutlich auf die Erhöhung des Anteils Eigenversorgung aus.*

- » *Bei punktförmiger Bebauung wirken sich zusätzliche Solarsysteme in Fassaden und Freiräumen signifikant auf die Erhöhung des Anteils Eigenversorgung aus. Gerade in Bereichen mittlerer bis hoher baulicher Dichte führen zusätzliche Systeme zu einer deutlich höheren Leistungseffizienz.*

- » *Bei zeilenartiger Bebauung wirken sich zusätzliche Solarsysteme in Fassaden und Freiräumen ebenfalls deutlich auf die Erhöhung des Anteils Eigenversorgung aus. Hierbei kann eine fast gleichmäßig höhere Leistungseffizienz in allen Dichtebereichen erzielt werden.*

- » *Bei block- und teppichartiger Bebauung sind Solarsysteme in Fassaden und Freiräumen aufgrund der starken Verschattung fast wirkungslos. Zusätzliche Systeme erzielen hier in allen Dichtebereichen nur eine geringfügige Erhöhung des Anteils Eigenversorgung.*

1.4. Einfluss solaraktiver Nutzung von Fassadenflächen und Flächen im Freiraum auf die Leistungseffizienz solaraktiver Strombereitstellung (Antwort zur 4. Forschungsfrage)

Mit der letzten und vierten Forschungsfrage soll beantwortet werden, ob und inwiefern zusätzliche Systeme an Fassaden und auf untergeordneten Elementen des Freiraums (z.B. Garagen, Carports, Wegeüberdachungen, Pergolen, etc.) die Leistungseffizienz solaraktiver Strombereitstellung verbessern. Hierzu liefern insbesondere die Vergleiche zwischen maximaler und reduzierter Potenzialnutzung (vgl. Kapitel VI.7 und Abb. 117 bis Abb. 120) Antworten. Für Fassadensysteme und Systeme im Freiraum sind den vorliegenden Untersuchungen unter Berücksichtigung von Abminderungsfaktoren feste Prozentwerte von 46% solaraktiver Nutzung der Fassadenflächen und 5% solaraktiver Nutzung von privaten und öffentlichen Freiflächen (vgl. Kapitel III.2.2) zugrunde gelegt.

Die Gegenüberstellung zeigt, dass je nach Bebauungstyp unterschiedlich große ‚Korridore‘ zwischen den Trendlinien des maximalen und reduzierten Potenzials ausgebildet werden. Insgesamt nimmt der Unterschied des Anteils Eigenversorgung zwischen beiden Szenarien mit steigender baulicher Dichte zu.

Die punktförmige Bebauung weist dabei den größten Unterschied im Anteil Eigenversorgung zwischen beiden Potenzialszenarien auf. Das bedeutet, dass sich zusätzliche solaraktive Systeme in Fassaden und im Freiraum bei punktförmiger Bebauung am deutlichsten auf die Verbesserung der Leistungseffizienz auswirken.

Bei der zeilenartigen Bebauung bildet sich bei der Gegenüberstellung beider Potenzialszenarien ein schmalerer Korridor als bei der punktförmigen Bebauung aus. Dennoch ist der Unterschied zwischen dem Anteil Eigenversorgung unter dem maximalen und dem reduzierten Potenzial immer noch eindeutig ablesbar. Somit verbessern zusätzliche Systeme auch bei diesem Bebauungstyp die Leistungseffizienz solaraktiver Strombereitstellung signifikant.

Bei dem dritten untersuchten Bebauungstyp, der block- und teppichartigen Bebauung, zeigen die Untersuchungen nur geringe Unterschiede zwischen den beiden Potenzialszenarien. Insgesamt gehen die beiden Trendlinien des maximalen und des reduzierten Potenzials bei steigender baulicher Dichte mit nur geringer Spreizung auseinander. Somit bewirken zusätzliche Systeme in Fassaden und im Freiraum auch keine gravierende Verbesserung der Leistungseffizienz solaraktiver Strombereitstellung.

2. Ableitung von Handlungsfeldern nach Bebauungstypen

Aus den identifizierten Ergebnissen (vgl. Kapitel VI Ergebnisse durchgeführter Untersuchungen) und den im vorangegangenen Abschnitt beantworteten Forschungsfragen werden zum Schluss Handlungsfelder beim Umgang mit solaraktiven Systemen skizziert. Diese werden nach den drei definierten Bebauungstypen, punktförmige Bebauung, zeilenartige Bebauung sowie block- und teppichartige Bebauung beschrieben. Bewertungen und Benennungen von Handlungsfeldern erfolgen innerhalb eines jeden Bebauungstyps mit einer Einteilung in die drei Dichtestufen – geringe, mittlere und hohe Dichte.

Zur besseren Übersicht wird eine Wirkungs- und Handlungsmatrix entwickelt. Dort geben Ampelfarben eine qualitative Bewertung der ‚Sinnhaftigkeit‘ einer Potenzialnutzung in Abhängigkeit zur entsprechenden Oberfläche (Dach, Fassade, Freiraum) wieder. Rot bedeutet in diesem Zusammenhang, dass eine Nutzung der entsprechenden Oberfläche aufgrund eines zu geringen Potenzials nicht sinnvoll ist. Gelb bedeutet, dass eine Potenzialnutzung entweder durch eine hohe Eingriffsempfindlichkeit (z.B. historische Fassade, visuelle Präsenz, etc.) oder ein lediglich mäßiges Potenzial nur bedingt sinnvoll erscheint. Grün hingegen bedeutet, dass eine Potenzialnutzung gestalterisch eher unproblematisch erscheint und zudem ein hohes Potenzial zur Eigenversorgung vorliegt.

Die jeweiligen Eingriffsempfindlichkeiten sind in den Beschreibungen der Bebauungstypen (vgl. Kapitel IV.3.2 Kapitel IV.3.3 Kapitel IV.3.4) dargestellt und klassifiziert. Die Einteilung des Potenzials zur Eigenversorgung erfolgt in eigener Setzung auf der Grundlage der Ergebnisse gemäß Kapitel VI.

2.1. Spezifische Handlungsfelder bei punktförmiger Bebauung

Wie im Kapitel IV.3.2 Punktförmige Bebauung beschrieben, deckt dieser Bebauungstyp mit seinen Subtypen das gesamte Spektrum baulicher Dichten ab. Die Bandbreite reicht dabei von kleinen freistehenden Einfamilienhäusern bis zu Wohn- oder Bürohochhäusern. Alle Abwandlungen diesen Typus weisen im Vergleich zu den anderen Bebauungstypen der zeilenartigen Bebauung sowie der block- und teppichartigen Bebauung einen deutlich kleineren Anteil Dachflächen an den gesamten Hüllflächen auf. Im Gegensatz dazu besitzen diese Strukturen jedoch größere Anteile an Fassadenflächen. Aufgrund der unterschiedlichen Ausprägungen dieses Bebauungstyps fallen die Bewertungen zur solaraktiven Nutzung von Teilhüllflächen gemäß Tab 7 sehr unterschiedlich aus.

Handlungsfelder bei punktförmiger Bebauung, geringer baulicher Dichte

Im Bereich geringer baulicher Dichte existieren in Deutschland punktförmige Bebauungen in allen Baualtersklassen. Demzufolge sind sowohl Dächer und Fassaden ganz unterschiedlich gestaltet. Dies bedeutet, dass beide Teilhüllflächen eine geringe (z.B. 50er bis 70er Jahre Einfamilienhaus), mittlere (z.B. Einfamilienhaus mit Sichtbetonfassade) aber auch hohe (z.B. historisches freistehendes Klinkergebäude) Eingriffsempfindlichkeit aufweisen können. Bei Dachflächen liegt in der Regel ein hohes Potenzial zur Eigenversorgung vor. Gleichzeitig ist das Dach bei kleinen freistehenden Gebäuden oftmals visuell stark präsent. Eine Änderung der Dachgestalt kann daher den gesamten Charakter des Gebäudes empfindlich verändern. Deshalb ist bei einer Integration solaraktiver Systeme besonders auf eine gestalterische Verträglichkeit zu achten.

Im Bereich der Fassadenflächen liegt bei kleinen freistehenden Gebäuden gemäß den Untersuchungen nur ein geringes Potenzial zur Eigenversorgung vor. Auf Fassadenflächen kann es insbesondere in den unteren Bereichen zu stärkeren Verschattungen durch Bepflanzungen der umsäumenden privaten Gärten kommen. Darüber hinaus ist auch bei dieser Teilhüllfläche wieder eine starke visuelle Präsenz gegeben. Aus den genannten Gründen heraus wird eine solaraktive Nutzung von Fassadenflächen punktförmiger Bebauung geringer baulicher Dichte nur in Ausnahmefällen als sinnvoll erachtet.

Freiflächen punktförmiger Bebauungen geringer baulicher Dichte weisen in der Regel ein hohes Potenzial zur solaraktiven Nutzung auf. Auch wird insbesondere bei untergeordneten Bauteilen wie Garagen, Carports, Wegeüberdachungen oder Terrassenüberdachungen eine geringe Eingriffsempfindlichkeit gesehen. Somit wird eine solaraktive Nutzung dieser genannten Flächen im Freiraum als sinnvoll erachtet.

Handlungsfelder bei punktförmiger Bebauung, mittlerer baulicher Dichte

Dächern einer punktförmigen Bebauung mittlerer baulicher Dichte wird in der Regel eine geringe Eingriffsempfindlichkeit zugeschrieben. Gleichzeitig weisen diese Teilhüllflächen ein mittleres Potenzial zur Eigenversorgung auf. Zwar sind Dachflächen stark exponiert, aufgrund ihres geringen Anteils an den gesamten Hüllflächen fällt der Anteil Eigenversorgung entsprechend geringer aus. Trotzdem wird eine solaraktive Nutzung aufgrund der geringeren gestalterischen Auswirkungen grundsätzlich als sinnvoll erachtet.

Fassadenflächen diesen Typus werden in den aller meisten Fällen nur mit geringer bis mittlerer Eingriffsempfindlichkeit erachtet. Insbesondere bei den vielen Stadtvillen oder Bürohäusern können solaraktive Systeme vergleichsweise einfach in Fassaden gestalterisch integriert werden. Zudem weisen Fassadenflächen bei mittlerer Dichte ein hohes Potenzial zur Eigenversorgung auf. Zusammenfassend wird somit eine solaraktive Nutzung dieser Teilhüllflächen als energetisch sinnvoll erachtet.

Freiräume punktförmiger Bebauung mittlerer baulicher Dichte liegen nicht mehr in derselben ‚Großzügigkeit‘ vor, wie dies bei geringer baulicher Dichte der Fall ist. Auch sind sie durch die geringeren Gebäudeabstände stärker einsehbar. Dadurch erhöht sich einerseits die visuelle Präsenz, andererseits reduziert sich das Flächenangebot, welches für solaraktive Systeme

		Eingriffs- empfindlichkeit in die Gestalt			Potenzial zur Eigenversorgung über Solarsysteme			Handlungsfelder / Empfehlung
		gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch	
Punktförmige Bebauung								
Dachflächen	geringe Dichte	x	x	x			x	Integration nach gestalterischer Verträglichkeit zu prüfen. Sofern möglich, energetisch hoher Nutzen gegeben. Visuelle Präsenz zu beachten
	mittlere Dichte	x					x	Integration i.d.R. gestalterisch unproblematisch, energetisch sinnvoll
	hohe Dichte	x				x		Integration nur von geringem energetischen Nutzen. Trotzdem empfehlenswert, da gestalterisch unproblematisch
Fassadenflächen	geringe Dichte	x	x	x	x			Integration aufgrund gestalterischer Wirkung und pot. geringem energetischen (pot. starke Verschattung) nur in Ausnahmefällen sinnvoll
	mittlere Dichte	x	x				x	Wenn Gestalt es erlaubt, ist eine Integration von hohem energetischen Nutzen. Anwendung in opaken und transparenten Bauteilen, Brüstungen, etc. Visuelle Präsenz beachten
	hohe Dichte	x	x				x	Wenn Gestalt es erlaubt, ist eine Integration von hohem energetischen Nutzen. Anwendung in opaken und transparenten Bauteilen, Brüstungen, etc. Visuelle Präsenz beachten
Flächen im Freiraum	geringe Dichte	x					x	Eine Integration ist aufgrund ist i.d.R. gestalterisch unproblematisch und von hohem energetischen Nutzen. Integration z.B. in Garagen, Carports, Pergolen, etc. möglich
	mittlere Dichte		x				x	Integration ist aufgrund des reduzierten Platzes nur bedingt möglich. Integration z.B. in Wegeüberdachungen, Garagen, etc. energetisch sinnvoll
	hohe Dichte		x				x	Integration ist aufgrund des reduzierten Platzes nur bedingt möglich. Integration z.B. in Wegeüberdachungen, Garagen, etc. energetisch sinnvoll

Tab. 7:
Punktförmige Bebauung: Wirkungs- und Handlungsmatrix solaraktiver Systeme;
Quelle: Eigene Darstellung

genutzt werden kann. Trotzdem weisen die Untersuchungen noch ein mittleres Potenzial zur Eigenversorgung aus. Insgesamt wird die solaraktive Nutzung von Freiräumen diesen Typus als sinnvoll erachtet, sofern eine spezifische Exposition und gestalterische Integration gegeben ist. Vorstellbar hierbei ist eine Integration von Systemen in Wegeüberdachungen, Garagen und weitere untergeordnete bauliche Strukturen im Freiraum.

Handlungsfelder bei punktförmiger Bebauung, hoher baulicher Dichte

Dachflächen diesen Bebauungstypus weisen bei hoher baulicher Dichte in der Regel nur eine geringe Eingriffsempfindlichkeit auf. Dächer von Hochhäusern sind in der Regel nicht einsehbar. Gleichzeitig sind diese Flächen zwar solarexponiert, aufgrund des vergleichsweise geringen Anteils an den gesamten Hüllflächen ist das Potenzial zur Eigenversorgung bei dieser Teilhüllfläche jedoch sehr gering. Trotzdem wird eine Nutzung aufgrund der einfachen gestalterischen Einbindung grundsätzlich empfohlen.

Fassadenflächen stellen den größten Anteil an den gesamten Hüllflächen von Hochhäusern dar. Da in Deutschland viele Hochhäuser erst nach 1950 errichtet wurden, weisen viele Bestandsgebäude gute gestalterische Möglichkeiten der Integration solaraktiver Systeme auf. Insbesondere bei elementierten und gerasterten Glasfassaden ist eine Anwendung von Solarsystemen denkbar.

Die mittleren und oberen Bereiche der Fassaden werden in der Regel selten fremdverschattet. Die Untersuchungen haben in diesem Zusammenhang gezeigt, dass diese Teilhüllflächen ein hohes Potenzial zur Eigenversorgung aufweisen. Im Gegensatz zu Dachsystemen verbessern bei diesen Strukturen Fassadensysteme den Ertrag deutlich. Somit kann gerade für Hochhäuser die Erwartung formuliert werden, Fassaden solaraktiv zu aktivieren. Zukünftig könnte mit dieser Erkenntnis die Regel begründet werden, dass die Fassaden umso systematischer solaraktiv genutzt werden müssen, je höher ein Gebäude gebaut wird.

Je nach Stadtstruktur können die Abstände zwischen Hochhäusern sehr groß werden und entsprechend große Freiflächen ausbilden. Gerade die Großwohnsiedlungen der 1960er und 1970er Jahre weisen große und oftmals nur mäßig genutzte Freiflächen auf. Hier könnten Freiraumelemente wie Wegeüberdachungen, Garagen, kleinere punktuelle neue bauliche Strukturen als Träger integrierter solaraktiver Systeme genutzt werden. Diese weisen gemäß den vorliegenden Ergebnissen ein hohes Potenzial zur Eigenversorgung auf. Somit wird die solaraktive Nutzung von Flächen im Freiraum als energetisch sinnvoll erachtet.

2.2. Spezifische Handlungsfelder bei zeilenartiger Bebauung

Dieser Bebauungstypus deckt ebenfalls die gesamte Bandbreite baulicher Dichten gängiger Typologien ab. Es finden sich in unteren Dichtebereichen kleine Reihenhauszeilen und kleine Gewerbezeilen. In den oberen Bereichen finden sich vielfach Hochhausscheiben sowohl für reine Wohn- als auch reine Gewerbenutzung wieder. Bei allen Subtypen dieses Bebauungstyps handelt es sich um gerichtete Strukturen, die mit steigender Dichte große Anteile Fassadenflächen an den gesamten Hüllflächen bekommen. Parallel zur steigenden baulichen Dichte vergrößern sich auch die Freiflächen. Entsprechende Handlungsfelder nach Bauteilen und Dichtegruppen sind in Tab. 8 beschrieben.

Handlungsfelder bei zeilenartiger Bebauung, geringer baulicher Dichte

Dieser Bebauungstyp mit niedriger baulicher Dichte wird im Wesentlichen durch die typische Reihenhauszeile oder durch kleine zeilenartige Geschosswohnungsbauten besetzt. Im Gewerbebereich finden sich hier kleine Bürozeilen wieder. Die Reihenhauszeile und kleine Gewerbebauten finden sich in allen Baualterklassen wieder.

Die Dachflächen sind in der Regel als Flachdächer oder traufseitige Satteldächer konzipiert. Hierdurch ergibt sich eine geringe bis mittlere visuelle Präsenz. Das Potenzial zur Eigenversorgung ist bei diesem Dichtetypus sehr hoch. Aus der qualitativen Einschätzung zur Eingriffsempfindlichkeit und dem vorliegenden Potenzial wird eine solaraktive Nutzung als energetisch sinnvoll erachtet, sofern keine gestalterischen Aspekte hier entgegen stehen.

Die Fassaden dieses Subtyps weisen je nach Gestalt unterschiedliche Eingriffsempfindlichkeiten auf. Zudem sind alle Fassaden gerade auf der Ebene von Fußgängern visuell sehr präsent. Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, dass Fassaden eher ein mittleres Potenzial zur Eigenversorgung besitzen. Folglich ist eine Integration solaraktiver Systeme in Fassaden nur in Einzelfällen zu empfehlen, sofern diese gestalterisch integriert werden können und ein entsprechendes Potenzial vorliegt.

Bei den Freiflächen kleiner zeilenartiger Bebauungstypen handelt es sich überwiegend um private Freiflächen. Der Anteil öffentlicher Freiflächen beschränkt sich hierbei auf die Erschließungswege. In vielen Gebieten dieses Typus sind im Laufe der Zeit verschiedene untergeordnete Bauten wie Carports, Garagen, Geräteschuppen, Terrassenüberdachungen, etc. entstanden. Diese werden für eine solaraktive Nutzung als sehr geeignet erachtet. Durch die geringen Gebäudehöhen weist der Freiraum ein hohes Potenzial zur Eigenversorgung auf. Zusammenfassend wird eine solaraktive Nutzung von Elementen des Freiraums als sinnvoll erachtet.

Handlungsfelder bei zeilenartiger Bebauung, mittlerer baulicher Dichte

Die Gruppe zeilenartiger Bebauung mittlerer baulicher Dichte wird in Deutschland von den Zeilenbauten der 1950er Jahre dominiert. Diese wurden aufgrund der damaligen Wohnungsnot oftmals in mäßiger baulicher und konstruktiver Qualität mit einfacher Putzfassade errichtet. Bei späteren Bauten der 1960er und 1970er Jahre wurden hingegen qualitativ höherwertigere Materialien in sorgsamerer Detailplanung eingesetzt. Deren Fassaden sind differenzierter mit Vor- und Rücksprüngen ausgestaltet und zudem oftmals mit Sichtbetonelementen versehen. Im Gewerbebereich finden sich in dieser Dichtegruppe vor allem Bürobauten ab den 1950er Jahren bis zur Gegenwart wieder. Diese sind in der Regel mit elementierten und gerasterten Fassaden errichtet.

Dachflächen dieses Subtyps weisen in der Regel nur eine geringe bis mittlere Eingriffsempfindlichkeit auf. Das Potenzial zur Eigenversorgung hierbei fällt aufgrund des geringeren Anteils Dachflächen an den gesamten Hüllflächen etwas niedriger aus. Dennoch ist eine Nutzung dieser Flächen in der Regel energetisch sinnvoll und einfach zu erschließen.

Fassaden dieses Subtyps weisen nur in geringem bis mittleren Maße eine Eingriffsempfindlichkeit auf. Ein Potenzial zur Eigenversorgung liegt vor. Zusammenfassend wird eine solaraktive Nutzung

Zeilenartige Bebauung	Eingriffs-empfindlichkeit in die Gestalt			Potenzial zur Eigenversorgung über Solarsysteme			Handlungsfelder / Empfehlung
	gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch	
Dachflächen	geringe Dichte	x	x			x	Wenn Gestalt es erlaubt, ist eine Integration von hohem energetischen Nutzen
	mittlere Dichte	x				x	Integration i.d.R. unproblematisch und energetisch sinnvoll
	hohe Dichte	x				x	Integration i.d.R. unproblematisch und energetisch sinnvoll
Fassadenflächen	geringe Dichte	x	x			x	Nur in Einzelfällen empfehlenswert, da visuell präsent und energetischer Nutzen nicht immer gegeben
	mittlere Dichte	x	x			x	Sofern Gestalt es erlaubt, ist eine Integration energetisch sinnvoll. Visuelle Präsenz beachten
	hohe Dichte	x	x			x	Sofern Gestalt es erlaubt, ist eine Integration energetisch sinnvoll. Visuelle Präsenz beachten
Flächen im Freiraum	geringe Dichte	x				x	Eine Integration ist i.d.R. gestalterisch unproblematisch und von hohem energetischen Nutzen. Integration z.B. in Garagen, Carports, Pergolen, etc. möglich
	mittlere Dichte	x	x			x	Sofern gestalterisch verträglich, Integration mit hohem energetischen Nutzen. Integration in Wegeüberdachungen, Garagen, etc. möglich
	hohe Dichte	x	x			x	Sofern gestalterisch verträglich, Integration u.U. energetisch sinnvoll (Verschattungssituation beachten). Integration in Wegeüberdachungen, Garagen, etc. möglich

Tab. 8:
 Zeilenartige Bebauung; Wirkungs- und Handlungsmatrix solaraktiver Systeme;
 Quelle: Eigene Darstellung

dieser Oberflächen als sinnvoll erachtet, sofern gestalterische Gründe dies begünstigen.

Der Freiraum fällt bei mittlerer baulicher Dichte bereits ‚üppig‘ aus, mit der Folge, dass die Freiflächen einen signifikanten Anteil an den bebaubaren Flächen ausmachen. Bei zeilenartigen Strukturen finden sich oftmals untergeordnete Elemente wie Gemeinschaftsgaragen, Pergolen, etc. Diese könnten als Träger aktiver Systeme herangezogen werden. Infolge der größeren Gebäudeabstände bei steigender Dichte finden sich auch im Freiraum Bereiche mit hoher solarer Einstrahlung. Hier besteht ein hohes Potenzial zur Eigenversorgung, so dass die Nutzung von Elementen im Freiraum als energetisch sinnvoll erachtet wird.

Handlungsfelder bei zeilenartiger Bebauung, hoher baulicher Dichte

Bebauungsstrukturen dieses Typs konzentrieren sich im Wohnungsbau in Deutschland im Wesentlichen auf Großwohnsiedlungen (in Ost- und Westdeutschland) der 1960er und 1970er Jahre. Bürobauten in Zeilenstruktur gehen auf die gleiche Baualterklasse zurück. Somit beschränkt sich die Situation im Bestand hierbei auf ein enges bauhistorisches Zeitfenster mit entsprechend geringerer gestalterischer und konstruktiver Varianz. Bestehende Bauten aus dieser Zeit weisen heutzutage oftmals altersbedingte größere Mängel auf. Somit besteht gerade bei diesem Subtyp ein großer Druck einer Bestandsentwicklung.

Dächer sind in der Regel bei diesem Subtyp als Flachdächer errichtet. Somit weisen diese Flächen keine Eingriffsempfindlichkeit auf. Bei sehr großen Volumen reduziert sich der Anteil Dachflächen an den gesamten Hüllflächen auf ein Maß, das bei solaraktiver Nutzung nur noch einen geringen Beitrag zur Eigenversorgung leisten kann. Trotzdem wird die Nutzung dieser Flächen aufgrund der unproblematischen gestalterischen Integrationsfähigkeit als sinnvoll erachtet.

Fassaden dieser Strukturen sind oftmals elementiert errichtet. Vielfach finden sich als äußere Fassadenschicht Stahlbetonelemente (vgl. Ostdeutscher Plattenbau), umlaufende Stahlbetonbrüstungen (vgl. z.B. Olympisches Dorf, München) oder Metallbleche. Statisch-konstruktiv sind Außenwände sowohl tragend (z.B. Betonelemente) als auch nichttragend (Pfosten-Riegel-Fassaden) errichtet. Die Eingriffsempfindlichkeit wird daher je nach Situation als gering bis mittel erachtet. Die ermittelten Potenziale zur Eigenversorgung sind bei Fassaden sehr hoch. Vorteilhaft ist hierbei, dass zeilenartige Bebauungen mit hoher baulicher Dichte in den meisten Fällen über große Gebäudeabstände verfügen. Dies ermöglicht einen höheren Strahlungsertrag auf Fassadenflächen, als dies bei anderen Bebauungstypen oftmals der Fall ist. Somit wird eine Integration solaraktiver Nutzungen in Fassaden als sinnvoll erachtet, sofern die gestalterische Präsenz hierbei berücksichtigt wird.

Durch die beschriebenen großen Gebäudeabstände weisen Strukturen diesen Typus einen großen Anteil Freiflächen an den Bruttobaulandflächen auf. Diese sind oftmals mit kleineren baulichen Strukturen wie Garagen, Nahversorger, Wegeüberdachungen, etc. versehen. Sofern die Strahlungssituation dies zulässt, können die genannten Elemente als Träger aktiver Systeme fungieren. Das Potenzial zur Eigenversorgung fällt gemäß den vorliegenden Untersuchungen hoch aus.

2.3. Spezifische Handlungsfelder bei block- und teppichartiger Bebauung

Der dritte untersuchte Bebauungstyp, die block- und teppichartige Bebauung, weist die größte und heterogenste Varianz aller untersuchten Formen auf. Auch bei dieser Struktur finden sich Subtypen mit geringer bis hoher baulicher Dichte wieder. In den unteren Dichtebereichen existiert eine Reihe von teppichartigen Strukturen. Das obere Ende baulicher Dichten hingegen wird durch stark verdichtete Blockstrukturen besetzt. Beispiel einer hohen Verdichtung dieser Art ist der Berliner Block mit seinen typischen Erschließungshöfen im Blockinneren. Typischerweise verdichten sich Blockstrukturen primär in der ‚Horizontalen‘. Das bedeutet es wird mehr Volumen zulasten des öffentlichen und privaten Freiraums errichtet. Aus diesem Grund weisen Blockstrukturen deutlich höhere Grundflächenzahlen (GRZ) als andere Bebauungstypen auf.

Der Bebauungstyp der block- und teppichartigen Bebauung ist in gewissen mittleren bis hohen Dichtebereichen Abbild der historisch gewachsenen Europäischen Stadt. Diese hat sich im Laufe der Jahrhunderte als kompakte Stadt etabliert. Merkmal hierbei sind mittlere, gleichmäßige Bebauungshöhen von circa drei bis acht Geschossen sowie enge Straßen- und Hofräume. Tendenziell weisen alle Typen dieser Art einen hohen Anteil an Dachflächen auf, welcher gemäß den vorliegenden Untersuchungen das größte Potenzial zur Eigenversorgung liefert. Mögliche Handlungsfelder bei diesen Strukturen sind in Tab. 9 beschrieben.

Handlungsfelder bei block- und teppichartige Bebauung geringer baulicher Dichte

Im Bereich geringer baulicher Dichte finden sich im Bereich der Wohnnutzung vor allem Hof- und Patiohäuser, bei gewerblicher Nutzung kleinere Gewerbehallen wieder. Gebäude aus dem Wohnbereich entstammen primär der Baualtersklasse ab den 1970er Jahren bis in die Gegenwart. Gewerbebauten sind allen Baualtersklassen zuzuordnen.

Die Dächer sind bei Wohnbauten oftmals als begrünte oder sogar begehbare Flächen ausgebaut. Bei Gewerbenutzung hingegen finden sich einfache Flachdächer oder flachgeneigte Schrägdecker wieder. Somit wird die Eingriffsempfindlichkeit als gering bis hoch eingestuft. Das Potenzial zur Eigenversorgung ist sehr hoch. Somit lässt sich zusammenfassend festhalten, dass die Nutzung von Dachflächen dieses Typus als energetisch sinnvoll erachtet wird, sofern keine gestalterischen oder nutzungsspezifischen Belange dem entgegenstehen.

Fassaden von Hofhäusern sind tendenziell eher in Massivbauweise errichtet. Zu den Höfen und Patios weisen diese Gebäude in der Regel einen hohen Verglasungsanteil auf. Gewerbebauten dieser Kategorie sind in ganz unterschiedlichen Materialien, in der Regel jedoch elementiert und in einem speziellen Raster errichtet. Insgesamt variiert die Eingriffsempfindlichkeit von gering bis hoch. Die Untersuchungen zur Eigenversorgung haben bei diesem Typus ein nur geringes Potenzial im Bereich der Fassaden identifiziert. Somit wird eine solaraktive Nutzung von Fassadenflächen als energetisch nicht sinnvoll erachtet.

Durch die horizontale Bauweise fallen die Freiflächen bei diesem Typus vergleichsweise gering aus. Zudem kann es aufgrund der engen Gebäudeabstände zu stärkeren Verschattungen kommen. Die vorliegenden Studien haben ein mittleres Potenzial zur Eigenversorgung im Freiraum identifiziert. Denkbar ist es, dass solaraktive Systeme auf untergeordneten Strukturen wie Garagen, Carports, Pergolen, etc. angebracht werden.

	Eingriffs- empfindlichkeit in die Gestalt			Potenzial zur Eigenversorgung über Solarsysteme			Handlungsfelder / Empfehlung	
	gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch		
Block- und teppichartige Bebauung								
Dachflächen	geringe Dichte	x	x	x			x	Wenn Gestalt und Nutzung es erlauben, ist eine Integration von hohem energetischen Nutzen
	mittlere Dichte	x	x				x	Integration i.d.R. unproblematisch und von hohem energetischen Nutzen
	hohe Dichte	x					x	Integration i.d.R. unproblematisch und energetisch sinnvoll
Fassadenflächen	geringe Dichte	x	x	x	x			Eine Integration ist aufgrund des i.d.R. vorliegenden geringen energetischen Nutzen bei gleichzeitiger visueller Präsenz nicht sinnvoll
	mittlere Dichte	x	x	x	x			
	hohe Dichte	x	x	x	x			
Flächen im Freiraum	geringe Dichte	x	x				x	Eine Integration ist aufgrund ist i.d.R. gestalterisch unproblematisch, energetisch jedoch nur bedingt sinnvoll. Integration z.B. in Garagen, Carports, Pergolen, etc. möglich
	mittlere Dichte	x	x	x	x			Eine Integration wird aufgrund der reduzierten Platzes und des geringen energetischen Nutzens nicht sinnvoll
	hohe Dichte	x	x	x	x			Eine Integration wird aufgrund der reduzierten Platzes und des geringen energetischen Nutzens nicht sinnvoll

Tab. 9:
Block- und teppichartige Bebauung:
Wirkungs- und Handlungsmatrix
solaraktiver Systeme; Quelle: Eigene
Darstellung

Handlungsfelder bei block- und teppichartige Bebauung mittlerer und hoher baulicher Dichte

Im Bereich mittlerer bis hoher baulicher Dichten finden sich Strukturen des typischen städtischen Blocks wieder. In Deutschland gibt es hierzu eine Fülle von unterschiedlichen Formungen und Ausgestaltungen. Diese reichen von Blockstrukturen mit vergleichsweise kurzen Kantenlängen (vgl. Mannheimer Block) bis hin zu extrem langen und tiefen Blöcken (vgl. Berliner Block). Die Anzahl der Geschosse beträgt in der Regel circa drei bis sechs, seltener auch maximal acht. Vom Baualter her finden sich Gebäude dieses Bebauungstypus bereits vor 1920 wieder. Insbesondere mit den ersten großen Stadterweiterungen von circa 1820 bis 1920 sind in Deutschland viele Viertel der sogenannten „Gründerzeit“ entstanden. Diese erfreuen sich gegenwärtig aufgrund der hohen urbanen Qualitäten einer großen Beliebtheit. Neben historischen Gebäuden finden sich regelmäßig Ersatzneubauten der 1950er Jahre sowie seit den 1980er Jahren auch wieder komplette Neubauquartiere in Blockstruktur.

Die Dächer blockartiger Bebauungen mittlerer bis hoher Dichte sind oftmals als traufseitig orientierte Satteldächer oder als Flachdächer ausgebildet. Diese weisen eine geringe bis mittlere Eingriffsempfindlichkeit auf. Das Potenzial zur Eigenversorgung fällt hierbei sehr hoch aus. Aus diesem Grund wird die solaraktive Nutzung von Dachflächen als energetisch sinnvoll erachtet.

Wie bereits erläutert, finden sich bei diesem Typus viele sehr alte Gebäude wieder. Viele von diesen weisen eine reich verzierte Ornamentik in den Straßenfassaden auf. Die Hoffassaden hingegen sind oftmals deutlich schmuckloser gestaltet. Das Potenzial zur Eigenversorgung fällt aufgrund der engen Gebäudeabstände auf Fassaden gering aus. Aus diesem Grund wird die solaraktive Nutzung von Fassadenfläche als nicht sinnvoll erachtet.

Vergleichbares wie bei den Fassaden gilt auch für die Freiflächen. Diese sind in ihrer Fläche sehr begrenzt und zudem bereits intensiv genutzt. Eine Überlagerung vorhandener Nutzung mit solaraktiven Systemen erscheint in vielen Bereichen schwierig. Potenzielle Anwendungsfälle hierbei können in Ausnahmefällen Vordächer, Garagen oder ähnliche untergeordnete Elemente im Freiraum sein. Die Untersuchungen bescheinigen jedoch dem Freiraum ein nur geringes Potenzial zur Eigenversorgung. Demzufolge wird eine solaraktive Nutzung als nicht sinnvoll erachtet.

3. Weitere identifizierte Forschungsfragen

Nach Fertigstellung dieser Arbeit ist man geneigt kritisch zu hinterfragen, wo die gewonnenen Erkenntnisse überhaupt Anwendung finden könnten. Darüber hinaus haben sich zudem eine ganze Reihe weiterer Fragen beim Erforschen der vorliegenden Materie ergeben. Manche davon stellen sich als ‚Seitenarm‘ des untersuchten Themenfeldes, andere als direkte Fortführung fokussierter Fragestellungen dar. Die letzten Abschnitte werden daher dazu genutzt, die wichtigsten, an das vorliegende Thema angrenzenden, weiterführenden Forschungsfragen zu benennen. Im Anschluss daran erfolgt ein ‚subjektiver‘ Ausblick zur Einordnung der gewonnenen Erkenntnisse.

3.1. Fortschreibung benannter Handlungsfelder nach Bestandsanalysen realer Einbausituationen

Identifizierte Potenziale der Eigenversorgung wurden im vorangegangenen Abschnitt (vgl. Kapitel VII.2) in Kombination mit jeweiligen Eingriffsempfindlichkeiten zu Handlungsfeldern ausformuliert. Diese konnten im Rahmen dieser Arbeit nur angerissen werden und dienen lediglich als grobe erste Skizze. Weiterer Forschungsbedarf besteht im Bereich detaillierter Analysen und Bewertungen von möglichen Einbausituationen. Hierbei bedarf es einer dezidierten Analyse realer Bestandssituationen und einer Fortschreibung der Definition der Eingriffsempfindlichkeit. Eine methodische Grundlage hierfür liefert bereits Everding (2007) mit ihren Untersuchungen zu Eingriffsempfindlichkeiten. In Fortführung dieser Untersuchungen wäre es wünschenswert, einen Katalog zu entwickeln, welcher den Gebäudebestand in die wichtigsten Gebäudetypen einteilt und deren Bauteile (getrennt nach Dach, Fassade und Freifläche) auf Integrationsmöglichkeiten hin untersucht. Dieser müsste neben gestalterischen Merkmalen repräsentativer Bauten auch konstruktive und anlagentechnische Merkmale berücksichtigen.

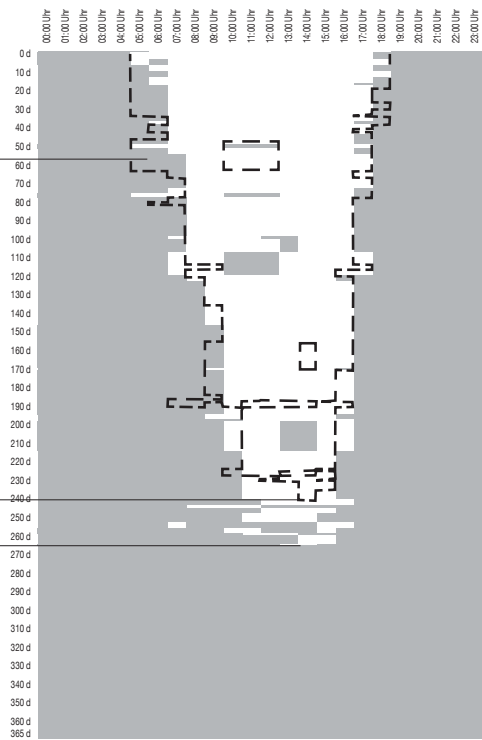
3.2. Fortschreibung der ‚Leistungseffizienz‘ als neue Bewertungsgröße solaraktiver Potenziale

Zu Beginn dieser Arbeit wurde erstmals der Begriff der ‚Leistungseffizienz‘ im Zusammenhang mit der Synchronisation des zeitlich variablen solaren Strompotenzials und des ebenfalls zeitlich variablen Strombedarfs definiert und als Bewertungsgröße für das jeweilige solaraktive Potential von baulichen Strukturen eingesetzt. Eine Anwendung dieser Bewertungsgröße auf alle Aspekte eines Gebäudes oder Quartiers wird in diesem Zusammenhang als wichtige noch zu entwickelnde Wertungsebene zukünftigen Bauens erachtet. Vorstellbar hierbei ist die Entwicklung einer neuen leistungsbezogenen Bilanzierungsmethode, die neben der Frage des Energieverbrauchs auch volatile Effekte berücksichtigt. Mittelfristig sollte eine derartige Bewertungsmethode auch zu einem standardisierten Regelwerk im Rahmen einer zukünftigen „Energieeinsparverordnung“ (EnEV) fortgeschrieben werden.

Neben einer erweiterten Definition und einer erweiterten Anwendung des Bewertungsmaßstabes der ‚Leistungseffizienz‘ ist auch ein tiefergehendes Verständnis für die zeitliche Verfügbarkeit weiterer Energieträger, der Synergiebildung mit anderen ‚Energieknoten‘ (z.B. andere Verbraucher, andere Erzeuger, Speicher, etc.) erforderlich. Wie in Kapitel II bereits umrissen, könnte ein Konzept einer Leistungseffizienz in unterschiedlicher Weise organisiert sein. Es wäre insbesondere notwendig, dass ergänzend zu dem in dieser Arbeit verwendeten Kriterium der Eigenversorgung auch die Netzdienlichkeit als zusätzliches Bewertungskriterium einer umfassenderen Leistungseffizienz berücksichtigt wird.

Stunden, an welchen die Strombereitstellung aktiver Systeme des horizontalen Testkörpers zur Eigenversorgung ausreicht, die Strombereitstellung des rein Süd-orientierten Testkörpers jedoch nicht mehr zur Eigenversorgung ausreicht

Tage, an welchen der rein Süd-orientierte Testkörper zeitweise Überschüsse produziert, welche ggf. gespeichert werden können.



Überlagerung eines rein Süd-orientierten Testkörpers (TK-07-0°, weiße Fläche) mit einem horizontal-orientierten Testkörper (TK09-0°, gestrichelte Linie)

Abb. 121: Vergleich der beiden ‚Karten zur Eigenversorgung‘ zweier Testkörper; Quelle: Eigene Darstellung

3.3. Änderung der Ergebnisse unter Einbezug von Stromspeichern

Vergleicht man die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten ‚Karten zur Eigenversorgung‘ der beiden Testkörper mit reiner Süd-Orientierung und mit horizontaler Orientierung, so lassen sich zwei unterschiedliche leistungsspezifische Eigenschaften identifizieren. Der horizontale Testkörper kann in der Regel mehr Stunden mit Eigenversorgung als der Testkörper mit reiner Süd-Orientierung vorweisen. Dies erkennt man an den breiteren Bereichen in x-Richtung der Karte. Insgesamt weist dieser jedoch weniger Tage mit zumindest kurzzeitiger Eigenversorgung als der rein Süd-orientierte Testkörper auf. Die ‚Karte zur Eigenversorgung‘ ist somit ‚schlanker‘, dafür aber ‚länger‘.

Bei der Berücksichtigung von Kurzzeitspeichern (z.B. Batterien) müsste auf Grund der hohen Einstrahlungswerte auf die Süd-orientierte Dachfläche sowie wegen der größeren Anzahl an Tagen mit kurzzeitigen Überschüssen die reine Süd-Orientierung wieder im Vorteil gegenüber anderen Orientierungen sein. Sofern es im Zuge der weiteren Forschung gelingt, leistungsfähige Speicher mit der erforderlichen Kapazität zu entwickeln, ist es deshalb notwendig, die in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse zu überprüfen und ggf. der neuen Situation anzupassen.

3.4. Entwicklung von Bilanzierungsmethoden von mobilitätsbezogenen Energien in Abhängigkeit zur baulichen Struktur

Diese Arbeit hat eine eigene Typisierungsmethode urbaner Bebauungstypen entwickelt und diesen energetische und leistungsspezifische Eigenschaften auf der Ebene des Stroms zugeschrieben. Weitere vorliegende Untersuchungen (vgl. hierzu Hegger; Dettmar; Martin et al. 2012c; Roth 1980; Rullán Lemke 2010; Vallentin 2011) haben sich bereits der Thematik wärmebezogener Energieströme in Abhängigkeit zu baulichen Strukturen beschäftigt. Ein weiterer bedeutender Aspekt im Hinblick auf Stadtstrukturen liegt neben den gebäudebezogenen Energieströmen auch im Bereich der Mobilität. Je nach Struktur eignen sich bestimmte Mobilitätsformen besser oder schlechter. Somit bestimmt die Art der Struktur auch die Möglichkeit der Implementierung nachhaltiger Verkehrsmittel. Monofunktionale Gebiete verursachen lange gerichtete, Mischstrukturen hingegen eher mehrdimensionale ungerichtete Mobilitätsströme. Hohe bauliche Dichten verkürzen die Entfernungen untereinander und ermöglichen andere Transport- und Infrastruktursysteme.. Somit lassen sich eine Reihe stadtmorphologischer Gegebenheiten identifizieren, die das Mobilitätsverhalten maßgeblich beeinflussen. Städtische Strukturen wirken sich direkt auf die notwendigen Energieströme im Bereich des Verkehrs aus und bedürfen daher im Rahmen einer umfassenden Städteplanung ebenfalls einer Bilanzierung, wie dies bereits beim Wärmebedarf von Gebäuden oder beim Strombedarf städtischer Bebauungstypen möglich ist.

Bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt gibt es keine Rechenmodelle und Bilanzierungskonzepte für Energieströme im Bereich der Mobilität. Da in Deutschland jedoch circa 1/3 aller Energieverbräuche im Verkehr anzusiedeln sind, sollte dieser Bereich zukünftig stärker in den Fokus gerückt werden.

4. Ausblick: Die horizontal verdichtete „Europäische Stadt“ als Modell der Zukunft?

Die vorliegende Arbeit hat aufgezeigt, dass sich unter der Berücksichtigung volatiler Eigenschaften solarenergetisch erzeugten Stroms andere Formen und Orientierungen als effizient erweisen, als dies unter der derzeit vorliegenden Prämisse „maximaler Ertrag“ der Fall ist.

Dies steht im deutlichen Gegensatz zu bisherigen Entwicklungen, welche auf bisher gültige Verordnungen zum „Erneuerbare Energien Gesetz - EEG“ und die darin geregelte Einspeisevergütung solaraktiv erzeugten Stroms zurückzuführen sind. Dies hat mit der gesetzlich garantierten Abnahme von Solarstrom zu einem auf zwanzig Jahre festgelegten Betrag bis vor wenigen Jahren zu einem einseitigen Ausbau nach „maximalem Ertrag“ (hier Paradigma ‚Energie‘ titulierte) geführt. Architektonisch bedeutet dies eine Bevorzugung von Süd-orientierten 30° geneigten Dachflächen. Andere Oberflächen wie zum Beispiel Fassadenflächen, Ost-, West-, oder Nord-orientierte Dächer waren vor diesem rechtlichen Hintergrund hingegen für eine aktive Solarenergieerzeugung wirtschaftlich uninteressant. Für eine Integration solaraktiver Systeme in ein einfaches Satteldach hat dies z. B. zur Folge, dass zwar die Süd-orientierte Teilfläche wirtschaftlich betrieben werden konnte, die Nordseite hingegen nicht. Dies hat in der Vergangenheit einen einseitigen Ausbau von Systemen auf ausgewählten exponierten Teilflächen befördert. Die Entwicklung eines einheitlichen architektonischen Ausdrucks in integrierter Form hat hingegen nur ansatzweise stattgefunden.

Neben dem beschriebenen einseitigen Ausbau von Teiloberflächen von Gebäuden mit überwiegend additiven und aufgesetzten Systemen haben vereinfachte Konzepte wie das „Plusenergie-Gebäude“ (vgl. BMVI 2011) zudem auch zu einer Bevorzugung „solaroptimierter“ gerichteter Stadtstrukturen geführt (vgl. Kapitel I.2). Das Beispiel der Plusenergiesiedlung Vauban in Freiburg zeigt eindrücklich, wie ein städtisches Gefüge primär nach bilanztechnischen Kriterien entwickelt wurde. Weitere wesentliche Aspekte eines vitalen urbanen Raumes blieben hierbei zugunsten einer energiebasierten Gewinnmaximierung unberücksichtigt.

Seit 2012 liegt die garantierte Einspeisevergütung unter den ortsüblichen Strompreisen. Dadurch entfällt der Anreiz, möglichst viel Strom zum „Verkauf“ zu produzieren. Die Möglichkeit der Deckung der Eigenversorgung rückt damit zunehmend in den Vordergrund. Es bleibt zu hoffen, dass sich diese neuen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zukünftig positiv sowohl auf die wachsende Bereitschaft zur Integration aktiver Systeme als selbstverständlicher Teil der Gebäudehülle, als auch auf das Formverständnis und auf die Bewertung von Stadtstrukturen auswirken.

Aktive Systeme sollten sich dabei gestalterisch in die Hüllflächen von Gebäuden einfügen und dabei ihren bisher eher technischen Charakter zugunsten eines homogenen und zurückhaltenden Erscheinungsbildes verändern. Hierfür ist es erforderlich, je nach Bebauungstyp unterschiedliche Prioritäten bei der gestalterischen Implementierung zu setzen. Treibende Kraft zur Entwicklung gestalterischer Lösungen kommt vor allem den Architekten und Planern zu. Deren Fähigkeit, ganzheitlich zu konzipieren, wird der Schlüssel zur erfolgreichen Weiterentwicklung des solaren Bauens sein. Weitere gesetzliche Anreizsysteme für ein verstärktes an Leistungseffizienz orientiertes Bauen sind ebenfalls von großer Bedeutung.

Bei künftigen Quartiersentwicklungen könnte wieder mehr die ungerichtete und horizontal verdichtete Struktur im Sinne der Europäischen Stadt im Hinblick auf die dargestellten mit diesem Stadttypus verbundenen energetischen und leistungsspezifischen Vorteilen zum Vorbild werden. Nichtenergetische Aspekte wie die Fähigkeit, Urbanität und ein vitales gesellschaftliches Sozialgefüge zu befördern, sind seit Georg Simmel (1995) und spätestens mit den soziologischen Dichtebetrachtungen von Spiegel (2000), Häussermann (2007) und anderen ausführlich beschrieben. Somit besteht die Hoffnung, dass das Modell der Europäischen Stadt als ein über Jahrhunderte gewachsenes Erfolgsmodell nun einen essentiellen Beitrag zur Umsetzung der beschlossenen Energiewende leisten wird.



Abb. 122:
Die Europäische Stadt als Idealtypus nachhaltiger Stadtentwicklung und Schlüssel zur Energiewende? Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von Marcel Lods: Illustrationen zu den Zielen des CIAM 1930 in: (Hegger; Fuchs; Stark et al. 2007 S.63)

Literaturverzeichnis

(Autodesk 2011)

Autodesk: Solar Radiation Metrics; abgerufen von: <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/solar-radiation-metrics>; Zugriff am: 14.10.2015

(BauNVO)

Baunutzungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Januar 1990 (BGBl. I S. 132), die durch Artikel 3 des Gesetzes vom 22. April 1993 (BGBl. I S. 466) geändert worden ist

(BBSR 2009)

BBSR: Nutzung städtischer Freiflächen für erneuerbare Energien; 2009; abgerufen Zugriff am: 25.04.2014

(BBSR 2010)

BBSR: Genügend Raum für den Ausbau erneuerbarer Energien? ; 2010; abgerufen von: http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BerichteKompakt/2010/DL_13_2010.pdf?__blob=publicationFile&v=2; Zugriff am: 25.04.2014

(Behling; Behling 1996)

Behling, Sophia; Behling, Stefan: Sol power the evolution of solar architecture; München 1996

(Berghauser Pont; Haupt 2010)

Berghauser Pont, Meta; Haupt, Per: Spacematrix Space, Density and Urban Form; Rotterdam 2010

(BMVBS 2011)

Fraunhofer IBP: Wege zum Effizienzhaus-Plus 2011

(BMVI 2011)

Wohnhäuser mit Plus-Energie Niveau – Definition und Berechnungsmethode (2011).

(Bossel 2004)

Bossel, Hartmut: Systeme, Dynamik, Simulation : Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme; Norderstedt 2004

(Deilmann; Bickenbach; Pfeiffer 1977)

Deilmann, Harald; Bickenbach, Gerhard; Pfeiffer, Herbert: Wohnbereiche Wohnquartiere Housing Groups Zones d'habitat; Stuttgart 1977

(DIN V 4108-6 2003)

Deutsches Institut für Normung.; DIN V 4108-6

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs 2003

(DIN V 18599 2013)

Deutsches Institut für Normung: DIN V 18599 Energetische Bewertung von Gebäuden 2013

(EON Mitte AG 2012)

EON Mitte AG: Netz - Veröffentlichungen - Strom - Standardlastprofile - Verfahren - Standardlastprofile 2012; 2012; abgerufen von: <http://www.eon-mitte.com/index.php?parent=9215>; Zugriff am: 02.08.2012

(Everding 2007)

Everding, Dagmar: Projekte, Lösungsmodelle und Anforderungsprofile eines solaren Städtebaus; In: Everding, Dagmar (HG.): Solarer Städtebau Stuttgart 2007

(FG ee 2011)

Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen: 10 Jahre Entwerfen und Energieeffizientes Bauen; Darmstadt 2011)

(Ferriss 1929)

Ferriss, Hugh: The metropolis of tomorrow (Nachdruck 1986 ed.); New York 1929

(Goretzki 2007)

Goretzki, Peter: Energieeffiziente Bauleitplanung Grundlagen, Anforderungen, Umsetzung, Wettbewerbsfähigkeit, Beispiele; 2007; abgerufen von: [http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/57423/Peter Goretzki.pdf?command=downloadContent&filename=Peter Goretzki.pdf](http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/57423/Peter_Goretzki.pdf?command=downloadContent&filename=Peter_Goretzki.pdf); Zugriff am: 18.06.2013

(Gropius 1931)

Gropius, Walter: flach-, mittel- oder hochbau? ; In: Giedion, Sigfried (HG.): Rationelle Bebauungsweisen Ergebnisse des 3. Internationalen Kongresses f. Neues Bauen (Brüssel, Nov. 1930) Frankfurt a. M. 1931

(Häussermann 2007)

Häussermann, Hartmut: Phänomenologie und Struktur städtischer Dichte; In: Lampugnani, Vittorio Magnago; Keller, Thomas K.; Buser, Benjamin; (HG.): Städtische Dichte: Urbanisierungsstrategien für die Schweiz Zürich 2007

(Hegger; Greiner; Hassemer et al. 2014)

Hegger, Manfred ; Greiner, Mirka ; Hassemer, Friedericke ; Jenner, Nathalie ; Keller, Michael ; Schoch, Christiane ; Kauder, Clemens ; Hausladen, Gerhard ; Jacobsen, Cornelia ; Hanusch, Christoph ; Hutter, Christina; Schmidt, Matthias ; Walliss, Steven ; Alireza, Afshar: PlusEnergieQuartier Oberursel; Darmstadt 2014

(Hegger; Dettmar; Martin et al. 2012a)

Hegger, Manfred; Dettmar, Jörg; Martin, Alexander; Meinberg, Thomas; Boczek, Barbar; Drebes, Christoph; Greiner, Mirka; Hesse, Ulrike; Kern, Tobias; Mahlke, Debora; Najjar, Anton Al; Schoch, Christiane; Schulze, Joachim; Sieber, Sandra; Stute, Volker; Sylla, Ousmane; Wurzbacher, Steffen ; Zelmer, Andrea: Eneff:Stadt | Forschungsprojekt „UrbanReNet“ Vernetzte regenerative Energiekonzepte im Siedlungs- und Landschaftsraum - Anlage I (Anlage I); Darmstadt 2012a

(Hegger; Dettmar; Martin et al. 2012b)

Hegger, Manfred; Dettmar, Jörg; Martin, Alexander; Meinberg, Thomas; Boczek, Barbar; Drebes, Christoph; Greiner, Mirka; Hesse, Ulrike; Kern, Tobias; Mahlke, Debora; Najjar, Anton Al; Schoch, Christiane; Schulze, Joachim; Sieber, Sandra; Stute, Volker; Sylla, Ousmane; Wurzbacher, Steffen ; Zelmer, Andrea: Eneff:Stadt | Forschungsprojekt „UrbanReNet“ Vernetzte regenerative Energiekonzepte im Siedlungs- und Landschaftsraum - Anlage II (Anlage II); Darmstadt 2012b

(Hegger; Dettmar; Martin et al. 2012c)

Hegger, Manfred; Dettmar, Jörg; Martin, Alexander; Meinberg, Thomas; Boczek, Barbar; Drebes, Christoph; Greiner, Mirka; Hesse, Ulrike; Kern, Tobias; Mahlke, Debora; Najjar, Anton Al; Schoch, Christiane; Schulze, Joachim; Sieber, Sandra; Stute, Volker; Sylla, Ousmane; Wurzbacher, Steffen ; Zelmer, Andrea: Eneff:Stadt | Forschungsprojekt „UrbanReNet“ Vernetzte regenerative Energiekonzepte im Siedlungs- und Landschaftsraum - Schlussbericht (Schlussbericht); Darmstadt 2012c

(Hegger; Fuchs; Stark et al. 2007)

Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Stark, Thomas; Zeumer, Martin: Energie-Atlas: nachhaltige Architektur (1. Aufl. ed.); München 2007

(Heliatek 2014)

Heliatek: Fact sheet organic pv; 2014; abgerufen von: <http://www.heliatek.com>; Zugriff am: 03.03.2015

(Hoepfner; Schwandner 1994)

Hoepfner, Wolfram; Schwandner, Ernst-Ludwig: Haus und Stadt im klassischen Griechenland (Neubearb. ed.); München 1994

(ISE 2014)

ISE, Fraunhofer: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland; 2014; abgerufen von: <http://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-konzeptpapiere/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>; Zugriff am: 08.05.2014

(Kalab 2006)

Kalab, Otto: Standardisierte Lastprofile; 2006; abgerufen von: http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDIQFjAA&url=http%3A%2F%2Fportal.wko.at%2Fwk%2Fdok_detail_file.wk%3FANGID%3D1%26DocID%3D603304%26...&ei=g4ozUOmVCMrT4QsJhYHABg&usq=AFQjCNEVQEKq8NT2mR7grP_CkxjJA_UreA&cad=rja; Zugriff am: 24.08.2012

(Kennedy 1984)

Kennedy, Margrit: Öko-Stadt Materialien zur Internationalen Bauausstellung Berlin (IBA) [1987]; Frankfurt a.M. 1984

(Koolhaas 1999)

Koolhaas, Rem: Delirious New York ein retroaktives Manifest für Manhattan; Aachen 1999

(Marsh; Autodesk Inc 2015)

Marsh, Andrew ; ; Autodesk Inc: (2015). Autodesk Ecotect Analysis. abgerufen von: <http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/>; Zugriff am: 14.10.2015

(Meadows 1972)

Meadows, Dennis: Die Grenzen des Wachstums Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit; Stuttgart 1972

(Nagel 1927)

Nagel, Ernst: Grundlegende Wertzahlen über Wohndichte und Besiedlungsdichte im Städtebau : ein organischer, zeichnerisch-rechnerischer Aufbau der Wohndichte in den Baublöcken und der Besiedlungsdichte für größere Gebiete ; mit 35 Tabellen; München 1927

(Passivhaus Institut 2013)

Passivhaus Projektierungs-Paket (PHPP) 2013

(Reinhardt; Trudel 1979)

Reinhardt, Walter; Trudel, Helmut: Wohndichte und Bebauungsformen : praktische Entscheidungshilfen für die kommunale Planung; Stuttgart 1979

(Riley; Bergdoll 2001)

Riley, Terence; Bergdoll, Barry: Mies in Berlin; New York 2001

(Roth 1980)

Roth, Ueli: Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen : Forschungsprojekt BMBau RS II 4-704102-77.10 (1980); Bonn 1980

(Rullán Lemke 2010)

Rullán Lemke, Christina: ArchitekturForm & SolarEnergie
Eine globale Formstudie zur Untersuchung des Einflusses der Gebäudegeometrie auf Potenziale solarer Energieversorgung über die Gebäudehülle; Göttingen 2010

(Rutten; McNeel & Associates 2015)

Rutten, David ; ; McNeel & Associates, Robert (2015). Grasshopper®. abgerufen von: <http://www.grasshopper3d.com>; Zugriff am: 14.10.2015

(Sächsische Energie Agentur GmbH 2012)

Sächsische Energie Agentur GmbH: Passivhaus Die Wanderausstellung im Freistaat Sachsen; 2012; abgerufen von: http://www.saena.de/download/Broschueren/BB_Passivhaus_die_Wanderausstellung.pdf; Zugriff am: 12.05.2014

(Siems 2002)

Siems, Tanja: Die städtebauliche und verkehrliche Entwicklung in Ost- und Westdeutschland von 1945 bis 2000 vergleichende Untersuchung des dem Wandel unterworfenen Planungsprozesses am Beispiel der Städtepaare Leipzig und Hannover sowie Magdeburg und Münster; Hannover 2002

(Siems; Klußmann; Simon et al. 2012)

Siems, Tanja; Klußmann, Ragnhild; Simon, Katharina; Wurzbacher, Steffen: urban transitions, Strategien und Thesen zur nachhaltigen Stadt; Wuppertal 2012

(Sieverts 2012)

Sieverts, Thomas: Resilienz, Energie und Stadtform (3 ed.); In: Siems, Tanja, Klußmann, Ragnhild, Simon, Katharina & Wurzbacher, Steffen (HG.): urban transitions, Strategien und Thesen zur nachhaltigen Stadt Wuppertal 2012

(Simmel 1995)

Simmel, Georg: Die Großstädte und das Geistesleben; In: Ottenheim, Rammstedt; (HG.): Georg Simmel Gesamtausgabe, Bd. 7: Aufsätze und Abhandlungen 1901 - 1908 Frankfurt 1995

(Sivardière 2007)

Sivardière, John; In: Bovet, Philippe; Rekacewicz, Philippe; Sinai, Agnès; Vidal, Dominique (HG.): Le Monde diplomatique: Atlas der Globalisierung - Klima 2007 2007

(Spiegel 2000)

Spiegel, Erika: Dichte; In: Häussermann, Hartmut (HG.): Großstadt: Soziologische Stichworte Opladen 2000

(Stadtklima Stuttgart)

Stadtklima Stuttgart: Sonnenstand; abgerufen von: <http://cgi.stadtklima-stuttgart.de/mirror/sonne.exe.>; Zugriff am: 30.11.2014

(Statista 2014)

Statista: Installierte Leistung (kumuliert) der Photovoltaikanlagen in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2013 (in Megawattpeak); 2014; abgerufen von: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/13547/umfrage/leistung-durch-solarstrom-in-deutschland-seit-1990/>; Zugriff am: 01.09.2014

(uto tools group 2015)

uto tools group: (2015). GECCO. abgerufen von: <http://www.food4rhino.com/project/gecco?etx>; Zugriff am: 14.10.2015

(Vallentin 2011)

Vallentin, Rainer: Energieeffizienter Städtebau mit Passivhäusern, Begründung belastbarer Klimaschutzstandards im Wohnungsbau (1. Aufl.); München 2011

(Werkbund Rheinland-Pfalz 2009)

Werkbund Rheinland-Pfalz: 17. Juni: Zur Entwicklung der Mainzer Neustadt; abgerufen von: <http://www.dwbrlp.de/veranstaltungen/entwicklung-der-mainzer-neustadt>; Zugriff am: 01.07.2014

(Wurzbacher 2013)

Wurzbacher, Steffen: Solarer Städtebau 2.0 in: Deutsches Architektenblatt, DAB Nordrhein-Westfalen, Heft 9 2013, S. 26 - 27

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:

Flächenbedarf in Hektar nach Energieträger (Erneuerbare Energien) zur Bereitstellung einer Gigawattstunde Strom. Wind, solaraktive Systeme und Umgebungswärme sind die flächeneffizientesten Energiequellen. Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage von (BBSR 2009 S.35) und (BBSR 2010 S.9);

hier abgebildet: S.19

Tab. 2:

Definition von Abkürzungen und Indizes in eigener Setzung;

hier abgebildet: S.40

Tab. 3:

Bereiche der Bestimmtheit in eigener Setzung;

hier abgebildet: S.43

Tab. 4:

Gliederung von Perioden des Sonnenjahresverlaufes mit Mittelwerten und Grenzen; Quelle:

Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.61

Tab. 5:

Übersicht dem Energiemodell zugrunde gelegter Flächennutzungsanteile nach Bauteil; Quelle:

Eigene Setzung auf Datengrundlage von Hegger; Dettmar; Martin et al. (2012c);

hier abgebildet: S.71

Tab. 6:

Übersicht untersuchter Morphologien mit Angabe wesentlicher städtebaulicher Kennwerte; Quelle:

Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.110

Tab. 7:

Punktförmige Bebauung: Wirkungs- und Handlungsmatrix solaraktiver Systeme; Quelle: Eigene

Darstellung;

hier abgebildet: S.212

Tab. 8:

Zeilenartige Bebauung: Wirkungs- und Handlungsmatrix solaraktiver Systeme; Quelle: Eigene

Darstellung;

hier abgebildet: S.216

Tab. 9:

Block- und teppichartige Bebauung:

Wirkungs- und Handlungsmatrix solaraktiver Systeme; Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.220

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:

„Makrostruktur“ einer Gesamtstadt:

oben: Struktur der mittelalterlichen Handwerkerstadt: kompakte verdichtete Stadt mit maximaler Ausbreitung, welche eine fußläufige Erreichbarkeit ermöglicht;

mitte: Industrielle Bahnstadt: „Perlenkettenartige Organisation von Siedlungsgebieten entlang von Bahntrassen; unten: Moderne Autostadt: Großflächige Besiedelung der Peripherie von Ballungszentren; Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von Sivardière (2007), erstmals veröffentlicht in (Siems et al. 2012);

hier abgebildet: S.14

Abb. 2:

Struktur und Funktionsweise des Megarons; Quelle: J. Wendel in: Hoepfner; Schwandner (1994) entnommen aus: Behling et al. (1996 S.92);

hier abgebildet: S.16

Abb. 3:

Struktur und Funktionsweise des Megarons; Quelle: J. Wendel in: Hoepfner; Schwandner (1994 S.319) entnommen aus: Behling et al. (1996 S.92);

hier abgebildet: S.16

Abb. 4:

Priene als Urtypus einer „solar City“ mit konsequenter Nutzung der Nord-Süd-Ausrichtung; Quelle: J. Wendel in: Hoepfner; Schwandner (1994 S.194) entnommen aus: Behling et al. (1996 S.86);

hier abgebildet: S.16

Abb. 5:

Vergleich alter und neuer Blockaufteilungsmethoden; Quelle: Gropius (1931 S.29) aus: Vallentin (2011 S.III-13); (c): VG Bild-Kunst, Bonn 2016;

hier abgebildet: S.18

Abb. 6:

Untersuchungen von Walter Gropius von 1931 zu Verschattungssituationen in Abhängigkeit zur Gebäudehöhe und Abständen zwischen Baukörpern; Quelle: Gropius (1931 S.32) aus: Vallentin (2011 S.III-13); (c): VG Bild-Kunst, Bonn 2016;

hier abgebildet: S.18

Abb. 7:

Ludwig Hilberseimer's Entwicklungsprojekt Friedrichstadt, Berlin von 1928. Radikaler Stadtumbau mit Ost-West-Zeilen als Gegenvorschlag zum hochverdichteten Berliner Block; Quelle: Hilberseimer, Ludwig aus: Riley et al. (2001 S.51);

hier abgebildet: S.18

Abb. 8:

Wiederaufbauplan von Marcel Lods für die Wallstraße Mainz (1947); Quelle: Werkbund Rheinland-Pfalz (2009) ;

hier abgebildet: S.18

Abb. 9:

„Scheibe contra Wohnhof“, die Rückbesinnung auf städtische Strukturen; Quelle: Kennedy (1984 S.31) aus: Siems (2002 S.58);

hier abgebildet: S.20

Abb. 10:

Gerichtete Zeilenstrukturen als Basis für Plusenergiegebäude am Beispiel Vauban, Freiburg;

Quelle: Steffen Wurzbacher;

hier abgebildet: S.20

Abb. 11:

Strukturelle Unterschiede zwischen den Systemen des Passiv- und Plusenergiehauses; Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an: FG ee (2011 S. 29); hier abgebildet: S.22

Abb. 12:

Eigenschaft der Leistung: ‚ein Wert pro Augenblick‘; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.24

Abb. 13:

Eigenschaft der Energie: ‚ein Wert pro betrachteten Zeitraum‘; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.24

Abb. 14:

Veränderung des Eigennutzungsgrades einer 30° Nord orientierten Photovoltaikanlage in Abhängigkeit zur Betrachtungsschärfe (Monat, Stunde) oder der Berücksichtigung von Speichern bei Plusenergiehäusern; Quelle: eigene Darstellung und eigene Berechnung in Anlehnung an: Ina Planungsgesellschaft mhH: Untersuchungen zu Eigenversorgungsgraden von Plusenergiehäusern, 2015; hier abgebildet: S.24

Abb. 15:

Gleiches Maß baulicher Dichte (GFZ=1,0), verschiedene Morphologien; Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von: Fernandez Per & Mozas 2004 aus: Berghauser Pont & Haupt, 2010, S.13; hier abgebildet: S.26

Abb. 16:

Methodik zur Überlagerung von Bedarf und Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.30

Abb. 17:

Übersicht des entwickelten Energiemodells; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.32

Abb. 18:

Struktureller Aufbau der Arbeit; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.34

Abb. 19:

Möglichkeit der Benennung von Abhängigkeiten zweier Betrachtungsgrößen mit dem Bestimmtheitsmaß. Je größer die Streuung, desto kleiner wird das Bestimmtheitsmaß. Es liegt dann keine Abhängigkeit vor. Je enger Werte sich entlang einer Funktion angliedern, desto größer wird dieser Wert. In diesem Fall liegt eine Abhängigkeit vor. Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.42

Abb. 20:

Baualtersklassen und prozentuale Anteile des Deutschen Gebäudebestandes an definierten Klassen; Quelle: Everding (2007 S.72); hier abgebildet: S.42

Abb. 21:

Energiedeckung (Integral der Deckungsleistung); Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.44

Abb. 22:

Summe negativer Deckungsleistung; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.44

Abb. 23:
Summe positiver Deckungsleistung; Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.44

Abb. 24:
Anteil Eigenversorgung; Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.44

Abb. 25:
Maß der Gerichtetheit gängiger Grundformen; Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.48

Abb. 26:
Im Modell wird insgesamt in zehn Ausrichtungen von Oberflächen, Norden, Nordosten, Osten, Südosten, Süden, Südwesten, Westen, Nordwesten, Oben und Unten unterschieden; Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.50

Abb. 27:
Problematik des Informationsverlustes im Bereich von Leistungsspitzen bei der Mittelung von Strahlungswerten über einen längeren Zeitraum (Hier Periode vom 05.06. bis 05.07.); Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von Strahlungswerten aus MeteoNorm;
hier abgebildet: S.54

Abb. 28:
Stündliche Direkt- und Diffusstrahlung am Standort Potsdam im Jahresverlauf;
Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage von MeteoNorm;
hier abgebildet: S.56

Abb. 29:
Schemabilder zum Sonnenverlauf vom 21.12. / 21.03. / 21.06. am Standort Potsdam; Quelle: Stadtklima Stuttgart (2014);
hier abgebildet: S.58

Abb. 30:
Häufigkeitsverteilung mit nach Größe sortierten täglichen Direktstrahlungswerten und deren zugehörige Diffusstrahlungswerte innerhalb der definierten Perioden I. bis VII.; Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage von Meteonorm, Standort: Potsdam;
hier abgebildet: S.60

Abb. 31:
Vereinfachte Häufigkeitsverteilung täglicher Direktstrahlungswerte mit zugehöriger Diffusstrahlung innerhalb der definierten Perioden als Typisierungsstufen für das Strahlungsmodell. Innerhalb einer Stufe werden stündliche Mittelwerte aus allen Stundenwerte einer Stufe gebildet; Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage von Meteonorm, Standort: Potsdam;
hier abgebildet: S.60

Abb. 32:
Standardlastprofil Haushalte (H0) an den Typtagen Werktag, Samstag und Sonntag in den Perioden I, IV und VII; Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage von EON Mitte AG (2012);
hier abgebildet: S.62

Abb. 33:
Standardlastprofil Gewerbe (G0) an den Typtagen Werktag, Samstag und Sonntag in den Perioden I, IV und VII; Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage von EON Mitte AG (2012);
hier abgebildet: S.62

Abb. 34:
Stufenlose Verschneidung der Lastprofile Haushalt (H0) und Gewerbe (G0) zu Mischnutzungen;
Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage von EON Mitte AG (2012);
hier abgebildet: S.63

Abb. 35:

Veränderung von Modul-Wirkungsgraden bei Schwach- und Starklicht
 Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage von Heliatek (2014);
 hier abgebildet: S.64

Abb. 36:

Vergleich des Stromertrags unterschiedlicher Photovoltaik Systeme an einem sonnigen Tag im Sommer. >> etablierte Systeme (z.B. Monokristalline Zellen) bringen den höchsten Ertrag; Quelle: Eigene Darstellung;
 hier abgebildet: S.66

Abb. 37:

Vergleich des Stromertrags unterschiedlicher Photovoltaik Systeme an einem bewölkten Tag im Winter. >> etablierte Systeme (z.B. Monokristalline Zellen) bringen den niedrigsten Ertrag; Quelle: Eigene Darstellung;
 hier abgebildet: S.66

Abb. 38:

Flächennutzungsverteilung nach Bauteilen des Szenarios ‚maximales Potenzial‘; Quelle: Eigene Setzung auf Datengrundlage von Hegger; Dettmar; Martin et al. (2012c);
 hier abgebildet: S.70

Abb. 39:

Flächennutzungsverteilung nach Bauteilen des Szenarios ‚maximales Potenzial‘; Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von: Fernandez Per & Mozas 2004 aus: Berghauser Pont & Haupt, 2010, S.13; Daten in eigener Setzung auf Grundlage von Hegger; Dettmar; Martin et al. (2012c);
 hier abgebildet: S.70

Abb. 40:

Flächennutzungsverteilung nach Bauteilen des Szenarios ‚reduziertes Potenzial‘; Quelle: Eigene Setzung auf Datengrundlage von Hegger; Dettmar; Martin et al. (2012c);
 hier abgebildet: S.71

Abb. 41:

Flächennutzungsverteilung nach Bauteilen des Szenarios ‚reduziertes Potenzial‘; Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von: Fernandez Per & Mozas 2004 aus: Berghauser Pont; Haupt (2010 S.13); Daten in eigener Setzung auf Grundlage von Hegger; Dettmar; Martin et al. (2012c);
 hier abgebildet: S.71

Abb. 42:

Nach „Münchener Staffelbauordnung“ von 1904 zulässige Bebauungsformen in einem von 35 Musterblöcken zur Ermittlung von Wertezahlen; Quelle: Nagel (1927 S.20, 22f, 39, 47);
 hier abgebildet: S.74

Abb. 43:

Wohnbereichstypen nach geometrischen Grundformen: „Hof, Linear und Molekular“; Quelle: Deilmann; Bickenbach; Pfeiffer (1977 S.24);
 hier abgebildet: S.74

Abb. 44:

Dichtekatalog von städtischen Strukturen auf Grundlage typischer Gebäudeformen; Quelle: Reinhardt; Trudel (1979 S.68ff);
 hier abgebildet: S.76

Abb. 45:

Siedlungsstrukturtypen (ST) als Grundlage zur Berechnung von Wärmeenergiebedarfen von Quartieren; Quelle: Roth (1980 S.15) ;
 hier abgebildet: S.76

Abb. 46:
Stadtraumtypen mit geometrischen und energetischen Kennwerten zur Annäherung an zu erwartende Energiebedarfe und Potenziale;
Quelle: Everding (2007 S.238);
hier abgebildet: S.78

Abb. 47:
„Rechteckige, regelmäßige und unregelmäßige polygone Grundrissformen, gebaute Solararchitektur“; Quelle: Rullán Lemke (2010);
hier abgebildet: S.79

Abb. 48:
Idealtypen: Punktbebauungen, Zeilenbebauungen, Hof- und Blockbebauungen; Quelle: Vallentin (2011 S.VI-15);
hier abgebildet: S.80

Abb. 49:
Energetische Stadtraumtypen (EST); Quelle: Hegger; Dettmar; Martin et al. (2012a S.30);
hier abgebildet: S.80

Abb. 50:
Drei Grundtypen urbaner Bebauungstypen: Punktförmige Bebauung, Zeilenartige Bebauung und Block- und teppichartige Bebauung; Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.82

Abb. 51:
Unterscheidung von Körnigkeiten von Betrachtungsräumen in „lot“, „island“, „fabric“ und „district“; Quelle: Berghauser Pont; Haupt (2010 S.32ff);
hier abgebildet: S.84

Abb. 52:
Ebenen von Stadtstrukturen im Softwaretool „UrbanReNet“ von „Sektion“, „Baublock“ und „Gebiet“; Quelle: Hegger; Dettmar; Martin et al. (2012c S.43);
hier abgebildet: S.86

Abb. 53:
Aufbau der Steckbriefe untersuchter Morphologien (links: erste Seite mit formspezifischen und städtebaulichen Kennwerten; rechts: zweite Seite mit energetischen Kennwerten; Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.90

Abb. 54:
Aufbau 2 der Steckbriefe untersuchter Morphologien (links: dritte Seite mit ‚Karten zur Eigenversorgung‘ bei maximalem Potenzial; rechts: vierte Seite mit ‚Karten zur Eigenversorgung‘ bei reduziertem Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.92

Abb. 55:
Übersicht verwendeter Testkörper; Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.94

Abb. 56:
Varianten punktförmiger Bauungen; Fotos: Steffen Wurzbacher;
hier abgebildet: S.96

Abb. 57:
maximale Dichte punktförmiger Bebauung; Fotos: Steffen Wurzbacher ;
hier abgebildet: S.97

Abb. 58:

Übersicht untersuchter Morphologien des Typus – punktförmige Bebauung;

Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.98

Abb. 59:

Varianten zeilenartiger

Bebauungen; Fotos: Steffen Wurzbacher;

hier abgebildet: S.100

Abb. 60:

maximale Dichte zeilenartiger Bebauung; Fotos: Steffen Wurzbacher;

hier abgebildet: S.101

Abb. 61:

Übersicht untersuchter Morphologien des Typus – zeilenartige Bebauung (Auswahl); Quelle:

Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.102

Abb. 62:

Varianten block- und teppich-artiger Bebauungen; Fotos: Steffen Wurzbacher;

hier abgebildet: S.104

Abb. 63:

maximale Dichte block- und teppichartiger Bebauung; Fotos: Steffen Wurzbacher;

hier abgebildet: S.105

Abb. 64:

Übersicht untersuchter Morphologien des Typus – block- und teppichartige Bebauung (Auswahl);

Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.106

Abb. 65:

Schematischer Aufbau und Funktionsweise des Energiemodells mit den drei Teilmodellen - Simulationsmodell, Bilanzmodell, Auswertungsoberfläche;

Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.112

Abb. 66:

Screenshot des Grasshopper Modells (nur zur Veranschaulichung des methodischen Vorgehens

bei der Entwicklung des Simulationsmodells); Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.114

Abb. 67:

„Shading“ Masken von Seitenflächen eines Testwürfels aus dem Programm Ecotect

Quelle: Screenshot eines Versuchsaufbaus aus dem Programm Ecotect;

hier abgebildet: S.120

Abb. 68:

Reduktionsfaktoren pro Rasterfeld in Abhängigkeit zum Verhältnis Abstand (A) zu Höhe des Testwürfels (H)

Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.121

Abb. 69:

Beispiel „Karte zur Eigenversorgung“: Darstellung aller leistungsspezifischen Typtage mit Anzahl Stunden mit Eigenversorgung (Weiß bedeutet 100% Eigenversorgung, Grau bedeutet Stunde mit Unterdeckung). Stunden mit Eigenversorgung werden auf der x-Achse abgetragen. Auf der y-Achse werden Typtage der Größe nach sortiert und mit der Typtag spezifischen Häufigkeit gewichtet; Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.126

Abb. 70:

Gruppe kleiner Testkörper (V0): Energiedeckung nach Größe sortiert; Einstellung: Reine Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.128

Abb. 71:

Gruppe kleiner Testkörper (V0): Energiedeckung nach Größe sortiert; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.128

Abb. 72:

Gruppe kleiner Testkörper (V0): Anteil Eigenversorgung nach Größe sortiert; Einstellung: Reine Wohnnutzung; Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.130

Abb. 73:

Eigenversorgung der Serie kleiner Testkörper (V0): mit Anzahl Stunden mit Eigenversorgung in Abhängigkeit zur Orientierung bei reiner Wohnnutzung; Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.133

Abb. 74:

Gruppe kleiner Testkörper (V0): Anteil Eigenversorgung nach Größe sortiert; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.134

Abb. 75:

Eigenversorgung der Serie kleiner Testkörper (V0): mit Anzahl Stunden mit Eigenversorgung in Abhängigkeit zur Orientierung bei reiner Gewerbenutzung; Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.137

Abb. 76:

Gruppe großer Testkörper (V1): Energiedeckung nach Größe sortiert; Einstellung: Reine Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.140

Abb. 77:

Gruppe großer Testkörper (V1): Energiedeckung nach Größe sortiert; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.140

Abb. 78:

Gruppe großer Testkörper (V1): Anteil Eigenversorgung nach Größe sortiert; Einstellung: Reine Wohnnutzung; Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.142

Abb. 79:

Eigenversorgung der Serie großer Testkörper (V1) mit Anzahl Stunden mit Eigenversorgung in Abhängigkeit zur Orientierung bei reiner Wohnnutzung; Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.145

Abb. 80:

Gruppe großer Testkörper (V1): Anteil Eigenversorgung nach Größe sortiert; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.146

Abb. 81:

Eigenversorgung der Serie großer Testkörper (V1) mit Anzahl Stunden mit Eigenversorgung in Abhängigkeit zur Orientierung bei reiner Gewerbenutzung; Quelle: Eigene Darstellung;
hier abgebildet: S.149

Abb. 82:

Höhe der stündlichen Strahlungsleistung von Direkt- und Diffusstrahlung über das Jahr betrachtet; Referenzklima Potsdam

Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage von Meteonorm;

hier abgebildet: S.152

Abb. 83:

Intensität von Direkt- und Diffusstrahlung nach Intensität Direktstrahlung sortiert; Berechnung mit 10% Wirkungsgrad PV; Referenzklima Potsdam

Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage von Meteonorm und EON (2011);

hier abgebildet: S.152

Abb. 84:

Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zu Maß der Kompaktheit (M-A/V); Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.154

Abb. 85:

Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zu Maß solarer Kompaktheit (M-Asol/V); Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.154

Abb. 86:

Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zu Maß der solarer Exposition (M-Hab/H); Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.156

Abb. 87:

Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zum Maß der Gerichtetheit (M-G);

Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.156

Abb. 88:

Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zum Orientierungsanteil ‚horizontal‘; Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.158

Abb. 89:

Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.162

Abb. 90:

Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.162

Abb. 91:

Verhältnis Maß der Kompaktheit (M-A/V) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.164

Abb. 92:

Verhältnis Maß der Kompaktheit (M-A/V) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.164

Abb. 93:

Verhältnis Maß der Gerichtetheit (M-G) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.166

Abb. 94:

Verhältnis Maß der Gerichtetheit (M-G) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.166

Abb. 95:

Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.168

Abb. 96:

Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.168

Abb. 97:

Verhältnis Maß der Kompaktheit (M-A/V) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.170

Abb. 98:

Verhältnis Maß der Kompaktheit (M-A/V) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.170

Abb. 99:

Verhältnis Maß der Gerichtetheit (M-G) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.172

Abb. 100:

Verhältnis Maß der Gerichtetheit (M-G) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.172

Abb. 101:

Verhältnis Orientierungsanteil horizontal zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.174

Abb. 102:

Verhältnis Orientierungsanteil horizontal zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; maximales Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.174

Abb. 103:

Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.178

Abb. 104:

Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.178

Abb. 105:

Verhältnis Maß der Kompaktheit (M-A/V) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.180

Abb. 106:

Verhältnis Maß der Kompaktheit (M-A/V) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.180

Abb. 107:

Verhältnis Maß der Gerichtetheit (M-G) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.182

Abb. 108:

Verhältnis Maß der Gerichtetheit (M-G) zur Energiedeckung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.182

Abb. 109:

Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.184

Abb. 110:

Verhältnis Maß baulicher Dichte (M-GFZ) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.184

Abb. 111:

Verhältnis Maß der Kompaktheit (M-A/V) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.186

Abb. 112:

Verhältnis Maß der Kompaktheit (M-A/V) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.186

Abb. 113:

Verhältnis Maß der Gerichtetheit (M-G) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.188

Abb. 114:

Verhältnis Maß der Gerichtetheit (M-G) zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.188

Abb. 115:

Verhältnis Orientierungsanteil horizontal zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Wohnnutzung; reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.190

Abb. 116:

Verhältnis Orientierungsanteil horizontal zum Anteil Eigenversorgung; Einstellung: Reine Gewerbenutzung; reduziertes Potenzial; Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.190

Abb. 117:

Punktförmige Bebauung:

Gegenüberstellung maximales und reduziertes Potenzial; Einstellung: reine Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); Quelle: Eigene Darstellung; hier abgebildet: S.194

Abb. 118:

Zeilenartige Bebauung:

Gegenüberstellung maximales und reduziertes Potenzial; Einstellung: reine Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.194

Abb. 119:

Block- und teppichartige Bebauung: Gegenüberstellung maximales und reduziertes Potenzial; Einstellung: reine Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); Quelle: Eigene Darstellung;

lung;

hier abgebildet: S.196

Abb. 120:

Korridor zwischen maximalem und reduziertem Potenzial nach Bebauungstypen; Einstellung:

reine Wohnnutzung; Spezifische Betrachtung (pro m² GF); Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.196

Abb. 121:

Vergleich der beiden ‚Karten zur Eigenversorgung‘ zweier Testkörper; Quelle: Eigene Darstellung;

hier abgebildet: S.222

Abb. 122:

Die Europäische Stadt als Idealtypus nachhaltiger Stadtentwicklung und Schlüssel zur Energiewende? Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von Marcel Lods: Illustrationen zu den Zielen des CIAM 1930 in: (Hegger; Fuchs; Stark et al. 2007 S.63);

hier abgebildet: S.225

Steffen Wurzbacher

performative architektur, Stuttgart

Lebenslauf

2011 bis 2016	Promotion am Lehrstuhl Städtebau – Urban Scape, Bergische Universität Wuppertal, Prof. Dr.-Ing Tanja Siems; Disputation am 13.10.2015; 1. Prüferin: Prof. Dr.-Ing Tanja Siems, 2. Prüfer: Prof. Manfred Hegger
2011 bis 2013	Promotionsstipendium der Stiftung Deutscher Architekten
Seit 2010	performative architektur eigenes Büro mit Schwerpunkt in der Entwicklung von Energie-, Entwässerungs- und Nachhaltigkeitsstrategien auf Quartiers- und Stadtebene sowie der Architektur- und Stadtplanung
Seit 2010	Wissenschaftlicher Mitarbeiter In Forschung und Lehre an den Fachgebieten Entwerfen und Energieeffizientes Bauen (FGee), Prof. Manfred Hegger (2010 bis 2015) und Entwerfen und Nachhaltiges Bauen, Prof. Christoph Kuhn (seit 2016), Technische Universität Darmstadt
2008-2010	Masterstudium (postgraduiert) KlimaDesign an der Technischen Universität München
2008 - 2010	Freiberufliche Tätigkeiten für ASTOC architects & planners – Köln
Seit 2008	Eingetragener Architekt (bis 2014 AKNW, seit 2014 AKBW)
2006 - 2008	Festanstellung bei KCAP / ASTOC architects & planners – Rotterdam / Köln
2004	Praktikum bei KCAP architects & planners – Rotterdam
2003-2004	Architekturstudium - Technical University Delft
2001 - 2003	Wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Tragkonstruktionen, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), ehem. Universität Karlsruhe (TH)
1999-2006	Architekturstudium (Diplom) - Karlsruher Institut für Technologie (KIT), ehem. Universität Karlsruhe (TH)
1977	geboren in München

