



Bergische Universität Wuppertal

Fachbereich D - Architektur

Lehrgebiet Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung b+tga

Vereinfachungen für die energetische Bewertung von Gebäuden

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades Dr.-Ing.

1. Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. Karsten Voss (Bergische Universität Wuppertal)
2. Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. Anton Maas (Universität Kassel)
vorgelegt von:	Markus Lichtmeß
Tag der Einreichung:	12. März 2010
Tag der Verteidigung:	13. September 2010

Danksagung

Eine Dissertation, die zusätzlich zu einem Beruf durchgeführt wird, bietet den großen Luxus, in zwei Welten gleichzeitig leben und sich mit sehr unterschiedlichen Themen auseinandersetzen zu dürfen. Es fordert aber auch ein großes Maß an Disziplin, beidem gerecht zu werden. Diese Dissertation würde heute nicht vorliegen, wenn mir dazu in den letzten Jahren nicht die Unterstützung von vielen Menschen zu Teil geworden wäre – dafür möchte ich allen danken.

Mein Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr. Karsten Voss, der sich mit Interesse meinem Forschungsvorhaben angenommen hat und stets mit wertvollen Ratschlägen zum Gelingen der Arbeit beigetragen hat. Ganz herzlich gedankt sei Herrn Prof. Dr. Anton Maas für seine fachliche Unterstützung und die Übernahme des Zweitgutachtens. Herrn Dr. Jens Knissel danke ich für die zahlreichen Diskussionen während Tag- und Nachtstunden. Danke für die Mühe, sich immer wieder in meine Fragestellungen einzudenken, Teile dieser Arbeit zu lesen und zu kommentieren. Ich möchte mich bei meinen Kollegen im Unternehmen Goblet Lavandier Associés bedanken, deren Verständnis für die Herausforderungen der gleichzeitigen Bewältigung von Beruf und Promotion und deren Engagement mir bei diesem Spagat sehr geholfen haben. Schließlich danke ich auch zahlreichen Kollegen und Freunden außerhalb des Forschungsfeldes, die mich durch ihre Ermutigungen bei dieser Arbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meiner lieben Frau Melanie. Ohne Ihre Unterstützung, die oft auch im Verborgenen stattfand, wäre die Dissertation nicht zustande gekommen.

Diese Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20101104-093839-1

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn:nbn:de:hbz:468-20101104-093839-1>]

Zusammenfassung/Abstract/Résumé

Die energetische Bilanzierung von Nichtwohngebäuden macht in der Regel eine umfangreiche Zonierung der Gebäude und damit verbunden eine zeitaufwändige Ermittlung der Hüllflächen erforderlich. Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung und Validierung von Vereinfachungsansätzen, sodass eine konsequente Energieplanung vom Planungsbeginn bis zur Gebäudezertifizierung auch bei komplexen Gebäuden mit vertretbarem Aufwand durchführbar wird.

Dazu wird ein vereinfachtes Verfahren vorgestellt, mit dem die Erfassung der Gebäudehülle in Anlehnung an ein 1-Zonen-Modell erfolgen kann, während die energetische Bilanzierung im Mehr-Zonen-Modell stattfindet. Die beiden grundlegenden Arbeitshypothesen dabei sind, dass eine ausreichend gute Korrelation zwischen der thermischen Hüllfläche und der Energiebezugs- bzw. Zonenfläche vorliegt und dass eine automatisierte Verteilung der Hüllflächen auf die Zonen nur einen vernachlässigbaren Fehler im berechneten Energiebedarf bewirkt. Zwei Methoden werden dazu diskutiert. Beim *einfachen Verfahren* wird die Gebäudehüllfläche automatisch über einen vorgegebenen Algorithmus auf die Zonen aufgeteilt. Das *erweiterte Verfahren* erlaubt von der Zonenebene aus Präzisierungen bei der Verteilung mit unterschiedlichem Detailierungsgrad.

Oftmals liegen zum Zeitpunkt der Baugenehmigung nicht alle Informationen vor, um eine detaillierte Energieberechnung durchführen zu können. Das vereinfachte Verfahren ist so konzipiert, dass das Gebäudedatenmodell im Rahmen der fortschreitenden Projektbearbeitung weiter präzisiert und detailliert werden kann, ohne dass die zuvor hinterlegten Daten verloren gehen.

Im Rahmen von Parameteruntersuchungen wurden die wesentlichen Faktoren identifiziert, die bei der Verteilung der Gebäudehüllflächen auf die Zonen einen Einfluss auf die Energiebilanzen nehmen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse wurden in die Schärfung des Verfahrens integriert. Bezogen auf die Vereinfachungen betrifft dies insbesondere eine möglichst geringe Beeinflussung der solaren Wärmequellen, wenn die Hülldaten von der Gebäude- auf die Zonenebene transferiert werden.

Um den Fehler beim Gesamtenergiebedarf eines Gebäudes zu analysieren, wurde das Verfahren auf mehrere Gebäude mit unterschiedlichem Klimatisierungsgrad angewendet. Es wird gezeigt, dass die Fehler im Energiebedarf gering und die Ergebnisse für die frühe energetische Bewertung von Gebäuden, im Rahmen der Nachweiserstellung, ausreichend präzise sind. Verglichen mit einer detaillierten Berechnung ergeben sich bei der Anwendung des *einfachen Verfahrens* durchschnittliche Abweichungen im Primärenergiebedarf von etwa 6 %. Nutzt man das *erweiterte Verfahren* in seiner einfachsten Anwendung, so reduzieren sich, verglichen mit einer detaillierten Zonierung, die mittleren Fehler auf 1 %.

Die Nutzung von spezifischen gebäudebezogenen Energiekennwerten hat bei der energetischen Bewertung eine lange Tradition. Einheitliche Anforderungswerte für einen Gebäudetypus (z. B. Bürogebäude) können für Gebäude mit einer von der durchschnittlichen Nutzung abweichenden Struktur (Bürogebäude mit Verkaufsstätten und Wohnbereichen) jedoch zu Fehleinschätzungen führen – im positiven als auch im negativen Sinne. Seit der EnEV 2007 werden Nichtwohngebäude unter anderem auch deshalb nach dem sogenannten Referenzgebäudeverfahren bewertet. Dieses Verfahren hat hinsichtlich einer Bewertung von Gebäuden mit unterschiedlichen Nutzungsstrukturen deutliche Vorteile. Geht es aber um die energetische Bewertung eines Gebäudeentwurfs, so liefert die Referenzgebäudemethode nur unzureichende Informationen, da der Entwurf gewissermaßen als

durchlaufender Posten in den Bilanzen behandelt wird. Er wird im zu bewertenden als auch im Referenzgebäude gleich hinterlegt. Um die energetische Qualität eines Gebäudeentwurfs in die Bewertung einzubeziehen, eignen sich spezifische, zonenbezogene Kennwerte auf der Ebene der Nutzenergie.

Mit der in dieser Arbeit vorgestellten Methode wurden Vergleichskennwerte für Gebäude generiert, die sich aus der Nutzungsstruktur ableiten. Dieses Verfahren und dessen Anwendbarkeit bauen auf grundlegenden Erkenntnissen auf, die bei der Entwicklung des vereinfachten Verfahrens eruiert wurden. Um zonenbezogene Kennwerte bestimmen zu können, sind Informationen zur typischen Verteilung der Gebäudehüllfläche erforderlich. Diese wurden aus statistischen Analysen anhand einer Stichprobe von über 150 Gebäuden abgeleitet und in einer Datenbank hinterlegt, die zukünftig fortgeführt werden kann, um die Berechnungsrandbedingungen weiter zu schärfen. Für alle 33 Nutzungen der DIN V 18599 werden Teilkennwerte bestimmt, die sich aus einem typischen Gebäudeentwurf sowie einer festgelegten baulichen und technischen Ausstattung ableiten. Der Gebäudevergleichskennwert setzt sich somit aus Kennwerten verschiedener Nutzungen zusammen und wird zur energetischen Bewertung herangezogen. Dieser Vergleichswert basiert auf der eingeforderten Nutzung und verändert sich nicht mit der gewählten architektonischen Lösung. Die Anwendung des Verfahrens auf reale Gebäude zeigt, dass sich aus der Bewertung klare Aussagen zur energetischen Qualität des Gebäudeentwurfs ableiten lassen.

Abstract

The energy performance assessment of non residential buildings generally requires a detailed zoning procedure. This procedure leads to a time consuming calculation and allocation of the building envelope fractions to the individual zones. This study aims to develop and validate simplifications, which should enable a coherent energy planning, also for complex buildings, from the beginning until the energy performance certificate is being issued, and this in a reasonable amount of time.

For this purpose, a simplified methodology, which analyses the building envelope according to a single-zone-model, is being introduced. The energy demand on the other hand is calculated according to a detailed multi-zone-model. This simplified allocation of the building envelope is based on the following two main assumptions:

- a sufficiently good correlation exists between the building envelope and the energy surface areas (or the surface areas of the individual zones).
- the error induced by the automatic allocation of the building envelope to the zones is negligible for the calculated energy consumption.

Two methods are being discussed. The *simplified method* is using an algorithm in order to allocate the building envelope fractions automatically to the zones depending on their size. The *advanced method* allows, at the level of the individual zones, to modify the allocation by using weighting factors. Using the advanced method increases the precision of the model. In most cases, some of the required information for the detailed calculation is not available when the application for the building permit is being prepared. The methodology enables building components to be edited by zones and hereby gives the opportunity to easily modify the design during the course of the planning. During the development of a project, the calculations can be more detailed thereby increasing the precision of the calculation without losing the underlying data.

Within the framework of parameters study, the main factors which have an influence on the energy balance have been identified. The results of the analysis have been integrated in the *simplified method* in order to increase the precision of the methodology. In relation to the simplifications it shows the importance of minimising the influence of solar heat sources, when allocation the building envelope to the individual zones.

In order to analyse the error on the total energy demand, the methodology has been applied to multiple buildings, air-conditioned to various extends. The results show that the error on the total energy demand is small and sufficiently precise for early energy assessments of buildings. Weighting factors remain however necessary. The primary energy consumption, calculated with the detailed calculation methodology and the *simplified methodology*, differ by more or less 6 %. When using the *advanced methodology* the average error is reduced to 1 % in comparison with a detailed zoning method.

The use of specific, building-related energy consumption values has a long tradition in energy assessments. Using fixed requirement values for one building type (e.g. office buildings) when assessing buildings that differ from the average type of use (e.g. office building with sales area and residential apartments) can lead to false estimations, in a positive as well as in a negative way. For this reason, amongst others, non residential buildings are being assessed since the introduction of

the ENEC 2007 by using a reference building. This methodology has, with respect to the assessments of buildings with different utilisation types considerable advantages. If however, the energetic quality of a building design has to be assessed, the reference building methodology does not provide sufficient information. The building to be assessed as well as the reference building have both the same underlying building design. In order to include the energetic quality of the building design in the assessment, specific net energy consumption values at a zone level are quite useful.

The methodology presented in this study has allowed to generate building comparison values by combining certain types of zone use. This methodology and its applicability are based on elementary findings that have been brought out by the development of the *simplified methodology*. In order to determine zone specific energy performance values, information about the typical distribution of the building envelope is needed. This has been derived from the statistical analysis of a control sample of more than 150 buildings, which have been put into a database. This database can be expanded in the future in order to increase the precision of the underlying calculation boundary conditions. For all 33 zone types of the DIN V 18599, specific energy performance values, based on a typical building design and defined technical equipment, have been elaborated. The resulting building comparison value is derived from the different energy performance values from various zones and can be used to assess most buildings. The comparison value is based on the required type of use and does not change with the chosen architectural solution. The implementation of the methodology on real buildings shows that the assessment provides clear statements as to the energy performance of the building design.

Résumé

L'établissement du bilan énergétique de bâtiments non-résidentiels nécessite en général un travail intensif puisque il requiert un zonage conséquent, nécessitant une répartition de l'enveloppe thermique sur les différentes zones. L'objet du présent travail est le développement et la validation d'une approche simplifiée, permettant de réaliser une planification énergétique conséquente, du début de planification jusqu'à la certification, avec un effort de travail acceptable, et cela aussi pour le cas de bâtiments complexes.

Dans ce but une méthode simplifiée est présentée, qui permet la saisie de l'enveloppe thermique en référence à un modèle monozone (à zone unique), alors que le bilan énergétique est dressé sur base d'un modèle multi-zones. L'étude est basée sur deux hypothèses de travail fondamentales :

- il existe une bonne corrélation entre l'enveloppe thermique et la surface énergétique, resp. surface des zones
- une répartition automatique de l'enveloppe thermique sur les zones n'a pour conséquence qu'une erreur négligeable sur la consommation d'énergie calculée.

A cette fin deux méthodes sont discutées. Avec la *méthode simplifiée* l'enveloppe thermique est automatiquement répartie sur les zones à l'aide d'un algorithme. La *méthode approfondie* quant à elle permet des précisions au niveau des zones avec des degrés de détail variables. Très souvent, au moment de l'introduction de la demande d'autorisation de bâtir bon nombre d'informations ne sont pas encore disponibles pour réaliser un calcul énergétique détaillé. La *méthode simplifiée* a été conçue en sorte à ce que le modèle du bâtiment puisse au cours du développement du projet être affiné, sans que les données consignées ne soient perdues. Dans le cadre de l'analyse de paramètres, les principaux facteurs influençant le bilan énergétique lors de la répartition des éléments de l'enveloppe thermique sur les zones, ont été identifiés. Les connaissances acquises lors de cette analyse ont été intégrées dans la précision du modèle. En relation avec les simplifications, il est à noter que l'impact des gains solaires est réduit lors du transfert des données de l'enveloppe thermique sur les zones.

Afin d'analyser l'erreur sur la consommation énergétique totale d'un immeuble, la méthodologie a été appliquée à plusieurs bâtiments avec des degrés de climatisation différents. Les résultats montrent que l'erreur concernant consommation en énergie est petite et le résultat suffisamment précis dans le cadre de l'évaluation énergétique d'un bâtiment, requise au moment d'une demande d'un permis de bâtir. En comparant la *méthode simplifiée* à une méthode de calcul détaillée, des écarts de l'ordre de 6 % du besoin en énergie primaire ont pu être constatés. En utilisant la *méthode approfondie*, l'erreur moyenne se réduit à 1 % par rapport à un calcul basé sur un zonage détaillé.

L'utilisation d'indices de dépense d'énergie spécifiques au type de bâtiment a une longue tradition dans l'évaluation énergétique de bâtiments. Des valeurs limites uniformes peuvent, pour un même type de bâtiment (p.ex. immeuble de bureaux) lors d'une exploitation différente de celle du type d'utilisation standard (p.ex. bureaux avec espaces de vente et surfaces d'habitations), mener à des estimations erronées – aussi bien dans un sens positif que négatif. Depuis l'entrée en vigueur de l'EnEV 2007 des bâtiments non-résidentiels sont, entre autres pour cette raison, évalués à l'aide d'une méthode dite à bâtiment de référence. Cette méthode possède pour des bâtiments avec des

types d'utilisation mixtes de grands avantages. Si par contre il s'agit d'évaluer l'architecture du bâtiment d'un point de vue énergétique, la méthode utilisant un bâtiment de référence ne fournit pas assez d'informations, étant donné que l'architecture du bâtiment est en quelque sorte reprise comme position courante dans les bilans. Elle est en effet identique, aussi bien pour le bâtiment à évaluer que pour le bâtiment de référence. Afin d'inclure la qualité énergétique de l'architecture du bâtiment dans l'analyse, la comparaison d'indices de dépense d'énergie utile relatifs aux différentes zones s'avère utile.

Avec la méthode présentée dans ce travail, des indices énergétiques de comparaison ont pu être générés pour des bâtiments, sur base de structures d'utilisation. Cette méthode, ainsi que son applicabilité, sont basés sur des connaissances fondamentales, découvertes lors du développement de la *méthode simplifiée*. Afin de déterminer des indices de dépense d'énergie spécifique aux zones, des informations sur la répartition typique de l'enveloppe thermique du bâtiment sont requises. Ces dernières ont été élaborées à l'aide d'une analyse statistique d'un échantillon de plus de 150 bâtiments, qui par la suite ont été consignées dans une base de données. Cette base de données pourra dorénavant, être complétée afin d'améliorer la précision des conditions aux limites de calcul. Pour tous les 33 types d'utilisation de la DIN V 18599 des indices de dépense d'énergie spécifiques ont été définies à partir d'architectures typiques et d'installations techniques bien déterminées. L'indice de dépense d'énergie du bâtiment est ainsi composé de plusieurs indices relatifs à différentes utilisations et est utilisé pour l'évaluation énergétique globale. Cet indice d'énergie du bâtiment est basée sur le type d'utilisation exigé et ne change pas pour une solution architectonique choisie. L'application de la méthodologie à des bâtiments réels montre que l'évaluation énergétique permettra des assertions précises quant à la qualité énergétique d'un projet architectural.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	II
Zusammenfassung/Abstract/Résumé.....	III
Inhaltsverzeichnis	IX
Struktur der Arbeit.....	XI
1 Einführung.....	12
1.1 Aufgabenstellung	13
1.2 Stand der Diskussion	14
1.3 Methodisches Vorgehen.....	19
2 Konzipierung einer einfachen Methode	21
2.1 Arbeitsgänge bei der Bilanzierung und Zeitbedarf	22
2.2 Vereinfachte Hüllflächenzuweisung.....	26
2.3 Beschreibung des neuen Verteilungsverfahrens	28
2.4 Einfaches Verfahren	30
2.5 Anwendung an Beispielgebäuden.....	32
2.6 Analyisierte Gebäude	34
2.7 Ergebnis einfaches Verfahren.....	48
2.8 Erweitertes Verfahren	51
2.9 Ergebnis erweitertes Verfahren.....	59
2.10 Diskussion der Ergebnisse	67
3 Parameteruntersuchung.....	70
3.1 Raummodell.....	70
3.2 Verwendete Rechenprogramme.....	73
3.3 Vorgehen bei der Analyse.....	74
3.4 Heizwärmebedarf.....	80
3.5 Kühlenergiebedarf.....	109
3.6 Beleuchtungsstrombedarf	128
3.7 Auswirkungen vereinfachter Flächenzuweisung auf die Energiebilanz	147
3.8 Ableitung wesentlicher Einflussgrößen für das vereinfachte Verfahren.....	151
4 Anwendung an Beispielgebäuden	159
4.1 Variantenbeschreibung	159
4.2 Primärenergetische Kurzbewertung	163
4.3 Zonenbezogene Auswertung	164
4.4 Gebäudebezogene Auswertung.....	172
4.5 Flächenfehler und Fehler im Energiebedarf	182
4.6 Diskussion der Ergebnisse	187

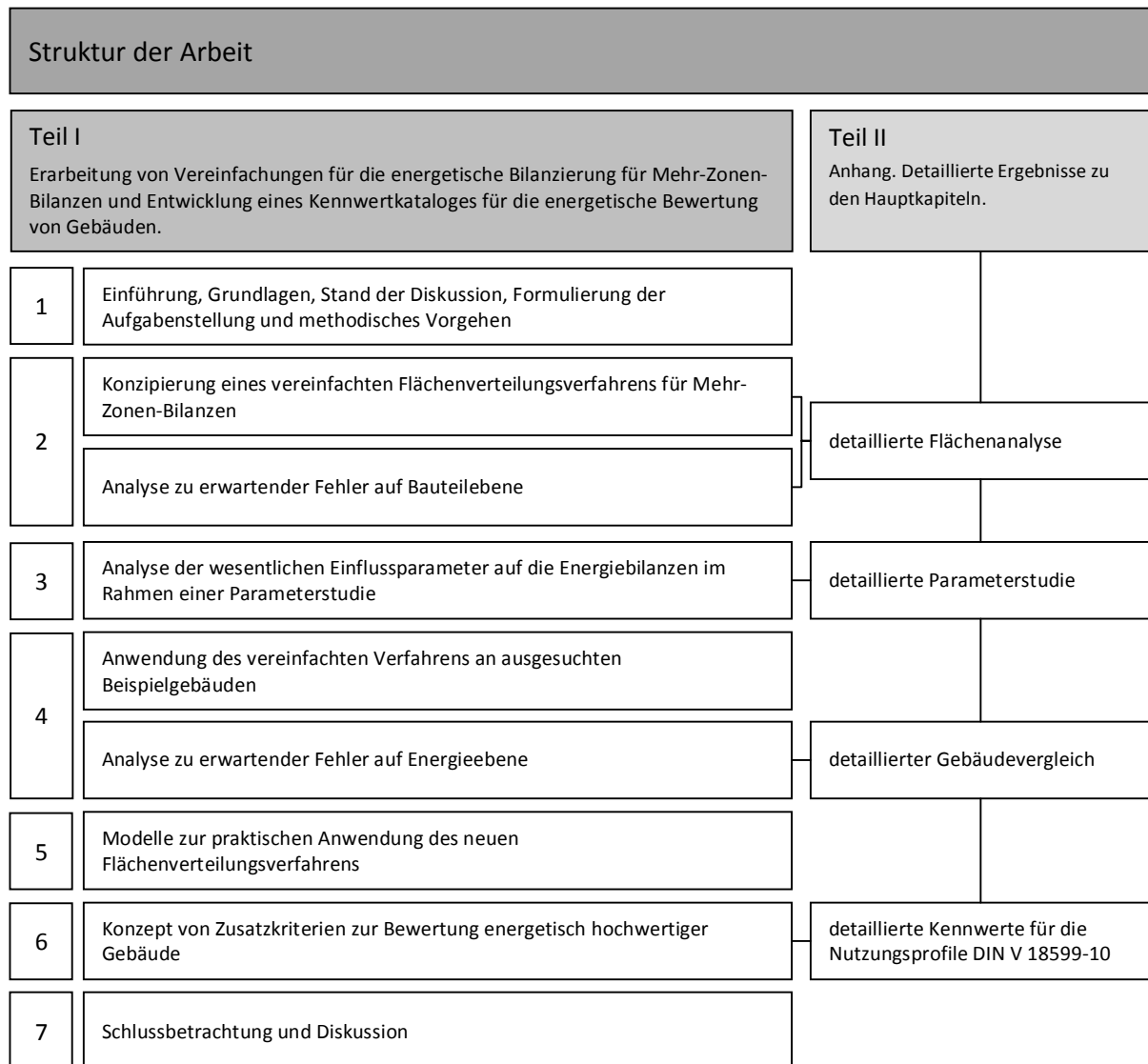
5	Praktische Anwendung	190
5.1	Anwendbare Flächenverteilung	190
5.2	Fehler auf Nutzenergieebene	199
5.3	Fehler im Primärenergiebedarf.....	202
5.4	Fehler im Gesamt-Primärenergiebedarf.....	203
5.5	Diskussion der Ergebnisse	204
6	Teilenergiekennwerte.....	206
6.1	Gebäudekennwerte.....	208
6.2	Hüllflächenanteile der Gebäude	216
6.3	Ermittlung der Teilenergiekennwerte	244
6.4	Anwendung der Methode an Gebäuden	278
6.5	Diskussion der Ergebnisse	284
7	Zusammenfassung und Ausblick	286
7.1	Vereinfachungen für Mehr-Zonen-Bilanzen	286
7.2	Zusatzkriterien für die energetische Bewertung von Gebäuden	291
	Literatur- und Quellenverzeichnis	296
	Nomenklatur.....	306
	Eidesstattliche Erklärung	311
	Anhang	312
A.1	Zu Abschnitt 2.1: Zeitbedarf für die Rechnung nach DIN V 18599.....	312
A.2	Zu Abschnitt 2.7: Bauteilbezogene Fehlerauswertung.....	313
A.3	Zu Abschnitt 2.9: Übersicht alle Bauteile.....	323
A.4	Zu Abschnitt 3.4: Monatlicher Ausnutzungsgrad für 33 Nutzungsprofile	326
A.5	Zu Abschnitt 3.6.9: Einfluss der Beleuchtung auf thermische Bilanzen	330
A.6	Zu Abschnitt 3.7: Auswirkungen auf die Energiebilanz	345
A.7	Zu Abschnitt 4.1: Vereinfachte Ermittlung der Tageslichtversorgung	350
A.8	Zu Abschnitt 4.3: Zonenbezogene Auswertung	358
A.9	Zu Abschnitt 4.4: Gebäudebezogene Auswertung.....	367
A.10	Zu Abschnitt 5.2: Fehler im Nutzenergiebedarf, detaillierte Auswertung	381
A.11	Zu Abschnitt 5.4: Primärenergiebedarf, detaillierte Auswertung.....	386
A.12	Zu Abschnitt 6.2: Hüllflächenanteile der Gebäude	388
A.13	Zu Abschnitt 6.3.4: Berechnete Kennwerte.....	395

Struktur der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in zwei Teile. Teil I beschreibt den Hauptteil der Arbeit, in welchem das *vereinfachte Verfahren* hergeleitet und beschrieben wird sowie Ergebnisse hierzu präsentiert werden. Ebenso wird in diesem Teil die Methode zur energetischen Bewertung von Gebäuden beschrieben. Dieses Verfahren baut auf grundlegenden Erkenntnissen auf, die bei der Entwicklung des *vereinfachten Verfahrens* eruiert wurden.

Um die Lesbarkeit der Arbeit zu erleichtern, wurden Teile der erforderlichen Nebenrechnungen, Darstellungen, Auswertungen, Parameteruntersuchungen sowie Detailbeschreibungen in den Teil II verlagert, welcher gleichzeitig den Anhang dieser Arbeit bildet. An entsprechender Stelle im Hauptdokument wird auf die Abschnitte im Anhang verwiesen.

Folgendes Schema zeigt den Aufbau und die Struktur der Arbeit.



1 Einführung

Mit der Europäischen Richtlinie 2002/91/EG wurde unter anderem die Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden vorgeschrieben [1]. Die Umsetzung dieser Richtlinie in nationales Recht hat die EU-Mitgliedstaaten vor eine große Herausforderung gestellt, denn neben der Ausarbeitung von entsprechenden Berechnungs- und Bewertungsverfahren muss auch eine Einbettung in das rechtliche Umfeld erfolgen. Dieser Vorgang sollte bis Anfang 2006 abgeschlossen sein, jedoch haben bis zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht alle EU-Länder die Richtlinie voll in nationales Recht umgesetzt und die Novellierung dieser Richtlinie steht vor der Tür [2][3][4][5][6].

Die Europäische Kommission hat sich im Januar 2004 entschlossen, ein Mandat (Mandat 343) an den CEN zu geben, um begleitende Normen zur Anwendung der europäischen Richtlinie zu erarbeiten, auf dessen Basis die Berechnungen und Grundzüge der Bewertung von Gebäuden erfolgen sollen [7]. Diese Normen dienen als inhaltliche Richtlinie. Die einzelnen Mitgliedsländer sind gefordert, ein Berechnungsverfahren zur ganzheitlichen Berechnung zu verwenden, welches auf der einen Seite die Bewertung der Gesamtenergieeffizienz erlaubt und auf der anderen Seite möglichst den CEN-Normen entsprechen soll. Die Mitgliedstaaten begegnen diesen Anforderungen mit unterschiedlichen Konzepten. Die Ansätze in den EU-Ländern reichen von Jahres- über Monatsbilanzverfahren bis hin zur dynamischen Simulation. In Deutschland wurde die Vornormenreihe DIN V 18599 vom Gemeinschaftsausschuss „Energetische Bewertung von Gebäuden“ der Normenausschüsse „Bauwesen“ (NABau) und „Heiz- und Raumluftechnik“ (NHRS) unter Mitwirkung des Normenausschusses „Lichttechnik“ (FNL) im DIN erarbeitet, mit welcher die Berechnung der Gesamtenergieeffizienz ermöglicht wird [8][9]. Die Norm umfasst 10 Teile und erlaubt die Berücksichtigung von Anlagentechnik und Gebäudehülle gleichermaßen. Die dort entwickelten Ansätze wurden in die europäische Normung transferiert und in die relevanten CEN Normen eingearbeitet [10].

Die mit dieser Normenreihe durchgeführte Energiebilanz folgt einem integralen Ansatz. Das heißt, es erfolgt eine übergreifende Bewertung des Baukörpers, der Nutzung und der Anlagentechnik unter Berücksichtigung der gegenseitigen Wechselwirkungen [11]. Luxemburg und Österreich nutzen ebenfalls dieses Normenwerk als Grundlage für die Berechnungen [12][13]. In Deutschland wurde die Verwendung dieses Berechnungsverfahrens mit Einführung der EnEV im Oktober 2007 verbindlich vorgeschrieben. Mit der EnEV 2009 wurde das Verfahren auch auf Wohngebäude ausgeweitet [14][15].

Aufgrund des integralen und umfassenden Bewertungsansatzes steigt auch die Komplexität bei Anwendung der neuen Normenreihe und die Erstellung von Nachweisen wird, verglichen mit bisherigen Verfahren, deutlich umfangreicher. Deshalb wurden in der EnEV Vereinfachungen eingeführt, die den Aufwand reduzieren sollen. Diese Vereinfachungen sind kompromissbeladen und gelten nur für einen kleinen Teil der Nichtwohngebäude. Im Folgenden werden, basierend auf vorhandenen Erkenntnissen, neue Möglichkeiten aufgezeigt, Vereinfachungen universeller zu gestalten.

1.1 Aufgabenstellung

Die Berechnungsmethodik des Europäischen CEN Normwerks, ebenfalls die nationale Umsetzung der DIN V 18599, sieht eine Zonierung von Gebäuden vor. Diese Zonierung dient dazu, unterschiedliche Nutzungen in Nichtwohngebäuden abbilden zu können. Dies ist grundsätzlich eine sinnvolle Vorgehensweise, da stark abweichende Nutzungsbedingungen (*Beleuchtung, Luftvolumenströme, etc.*) vorliegen und zum Teil unterschiedliche Anlagentechniken für die Konditionierung Einsatz finden.

Die Aufteilung des Gebäudes in verschiedene Zonen betrifft nicht nur eine Aufteilung der Gebäudenutzflächen, sondern ebenfalls eine detaillierte Aufteilung der gesamten Gebäudehüllfläche auf Zonenebene. Hinzu kommt, dass ggf. auch einzelne Nutzzonen (aufgrund des Einsatzes unterschiedlicher Techniken) weiter in Bereiche untergliedert werden können oder müssen. Die Gebäudehüllfläche wird hierbei auch den einzelnen Unterzonen zugeordnet. Der erforderliche Bearbeitungsaufwand zur rechnerischen Abbildung des Gebäudes besteht zu einem überwiegenden Teil aus der Flächeneingabe bzw. -aufnahme und der Zonierung [16][17][18]. Darüber hinaus kann z. B. eine Umgestaltung von Räumen und/oder ganzen Zonen in einem Gebäude eine Neuermittlung dieser Flächen erforderlich machen. Praktische Erfahrungen zeigen, dass der Bearbeitungsaufwand und die damit verbundenen Kosten zur Erstellung einer Energiebilanz mit am Markt befindlichen Softwarelösungen höher ist als erwartet.

Der Bearbeitungsaufwand sollte, insbesondere in einer frühen Planungsphase, immer in Relation zum erhaltenen Nutzen stehen. Wenn ein Nachweis über die Gesamtenergieeffizienz in der Baugenehmigungsphase eingereicht werden muss, sind naturgemäß oftmals eine Reihe von Daten unbekannt. Zudem ändern sich in der Praxis oft auch Randbedingungen, wie Raumanordnung und Details am architektonischen Gebäudeentwurf, welche einen nicht unwesentlichen Einfluss auf die zuvor prognostizierten Ergebnisse haben können. Durch die Komplexität des Berechnungsverfahrens und insbesondere auch durch die „Zerstückelung“ der Gebäudehülle für jede Zone, geht ein Großteil einer möglichen Plausibilitätsüberprüfung schon durch die diversifizierten Gebäudedaten verloren. Zudem geben die meisten Softwareprogramme derzeit keine spezifischen und überprüfbaren Planungsdaten aus, was eine Plausibilitätskontrolle nicht vereinfacht [19].

Um den zeitlichen Aufwand zur Berechnung von Nichtwohngebäuden in einem überschaubaren Rahmen zu halten, bei einer gleichzeitig ausreichenden Genauigkeit, soll ein Modell der vereinfachten Dateneingabe für eine Mehr-Zonen-Bilanz entwickelt werden.

Ein Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein neues vereinfachtes Verfahren, mit welchem der Eingabeaufwand verringert werden kann und gleichermaßen die Möglichkeit einer Optimierung im Detail erhalten bleibt, zu entwickeln.

Die energetische Bewertung von Nichtwohngebäuden erfolgt seit der EnEV 2007 mit der Referenzgebäudemethode. Das Referenzgebäude ist ein virtuelles Gebäude, das architektonisch (unter anderem Orientierung, Größe, Kubatur) und in der Nutzung identisch zum nachzuweisenden bzw. zu bewertenden Gebäude ist [14]. Die Unterteilung hinsichtlich der Nutzung und Zonierung beim Referenzgebäude stimmt mit dem zu bewertenden Gebäude überein. So wird das energetische Verhalten des zu bewertenden Gebäudes mit seinen geometrischen und nutzungsbedingten Eigenschaften, jedoch unter Verwendung einer vom Gesetzgeber definierten Referenzbauweise und

-ausstattung, berechnet (baulicher Wärmeschutz, Energieversorgung, Lüftung, Kühlung, Steuerung und Regelung) [18][20]. Der mit diesen Anforderungen berechnete Referenzwert für Primärenergie markiert die Anforderungsgrenze. Durch Anwendung dieses Verfahrens wird erreicht, dass auch Gebäude bewertet werden können, die sich hinsichtlich ihrer Nutzung stark von einem Durchschnittsgebäude der gleichen Gebäudekategorie – also einem Bürogebäude, einer Schule usw. – unterscheiden, z. B. einem Bürogebäude mit einem untypisch hohen Anteil an Serverräumen.

Wesentliche Qualitäten bzw. Defizite aus dem grundlegenden Gebäudeentwurf (A/V-Verhältnis, Orientierung, Raumtiefen, Fensterflächen und -verteilung ...) werden immer für das Referenzgebäude übernommen, sodass bei der Wahl der architektonischen Lösung zwar große Freiheitsgrade vorhanden sind, jedoch die energetische Optimierung des Gebäudeentwurfs planerisch nicht forciert wird.

Für ein Nachweisverfahren ist diese Vorgehensweise aus vielen Gründen akzeptabel. Will man jedoch energetisch ambitionierte Gebäude mit dieser Methode bewerten, zeigt die Referenzgebäudemethode genannte Schwächen. Hier kann eine unterstützende Bewertung mithilfe von tabellierten Energiekennwerten je Nutzungsprofil hilfreich sein. Vorberechnete Teilkenwerte für unterschiedliche Nutzungen müssen unter bestimmten Annahmen zur Hüllflächenverteilung generiert werden, und die Anwendung dieser Kennwerte setzt voraus, dass sich der Gesamtenergiebedarf eines Gebäudes durch Aggregation der Zonenkennwerte hinreichend genau beschreiben lässt. Im Rahmen der Entwicklung eines *vereinfachten Verfahrens* liegt es demnach nahe zu überprüfen, ob sich dieses Verfahren auch als Basis für die Erarbeitung eines Benchmarking in der frühen Planungsphase eignet, um Energie, Energiekosten und Umweltwirkung eines geplanten Gebäudeentwurfs vergleichend zu beurteilen.

Ein zweites Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines Energiekennwertkatalogs, mit dem Gebäude, die nach EnEV berechnet wurden, ergänzend bewertet werden können. Dies betrifft insbesondere innovative Gebäudekonzepte.

1.2 Stand der Diskussion

In diesem Abschnitt werden aktuelle Publikationen zur Fragestellung „*Vereinfachungen bei der energetischen Bilanzierung für Mehr-Zonen-Bilanzen*“ vorgestellt, die eine umfassende Bewertung und Diskussion des Themas vornehmen. Die Erstellung von Nachweisen über die Energieeffizienz von Wohn- und Nichtwohngebäuden wird in Deutschland durch die Energieeinsparverordnung (EnEV) geregelt. Für Neubauten werden Anforderungen an den mittleren U-Wert von Bauteiltypen und an den Primärenergiebedarf eines Gebäudes gestellt. Der Jahres-Primärenergiebedarf für Nichtwohngebäude ist nach DIN V 18599 (Ausgabe 2007) zu ermitteln [14].

Monitoring zur EnEV 2007

Im Rahmen eines Monitoring der Verfahren für die Bewertung von Nichtwohngebäuden nach der EnEV 2007 untersuchten *Markfort, Prior, Maas* [21] verschiedene Ansätze zur Vereinfachung bei der Berechnung nach DIN V 18599. In diesem Forschungsvorhaben wurden die bis zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Vereinfachungen hinsichtlich der Zonierung innerhalb des Nachweisverfahrens evaluiert und weitere Möglichkeiten zur Vereinfachung der Zonierung ermittelt. Ein Ziel war dabei die Reduzierung des Zeitaufwandes bei gleichzeitiger Einhaltung der Anforderungen der Verordnung.

Betrachtet wurden unter anderem auch die Verwendung von Zwei- oder Drei-Zonen-Modellen. Erkenntnisse aus diesem Forschungsvorhaben bilden die Grundlage für Vereinfachungen der EnEV 2009. Die für die vorliegende Arbeit relevanten Erkenntnisse aus diesem Forschungsprojekt werden nachfolgend skizziert:

- Zusammenlegung der Nutzungsprofile Nr. 18, 19 und 20 zu Nr. 19, bei Mittelung der spezifischen Volumenströme und Nutzung der Randbedingungen für Beleuchtung nach der Nutzung Nr. 19.
- Zonen bis 3 % der Nettogrundfläche können anderen Zonen sinnvoll zugeschlagen werden. Dies gilt jedoch nicht für Serverräume.
- Abschätzung von Rohrleitungslängen anhand charakteristischer Gebäudemaße. Die Berechnungsvorschrift der DIN V 18599 überschätzt bei komplexen Gebäudegeometrien die Leitungsverluste und den Hilfsenergiebedarf für Pumpen.¹
- Das 1-Zonen-Modell liefert auch außerhalb des Anwendungsbereichs plausible Ergebnisse. Für den öffentlich rechtlichen Nachweis sollte die Anforderung an die Beleuchtung von der Referenzgebäudeausführung entkoppelt werden.
- Aufnahme der Gebäudetypen „Sporthalle“ und „Bibliothek“ für das 1-Zonen-Modell.
- Bildung eines mittleren U-Wertes für die an Außenluft grenzenden opaken Bauteile, welcher den opaken Hüllflächen der Zonen zugewiesen werden kann. Die Beeinflussung im Ergebnis wurde mit weniger als 1 % angegeben.
- Im Rahmen des Projekts wird die Schlussfolgerung getroffen, dass ein 2- oder 3-Zonen-Modell als nicht praxistauglich erscheint. Es wird darauf hingewiesen, dass Vereinfachungen eines Mehr-Zonen-Modells – formuliert im Rahmen eines Leitfadens – einen sinnvolleren Lösungsansatz darstellen.

Lösungsansatz „1-Zonen-Modell“

Maas zeigte [18] das 1-Zonen-Modell als möglichen Lösungsansatz und bewertete unter welchen Voraussetzungen die Bestimmung des Jahres-Primärenergiebedarfs für den Nachweis gemäß EnEV 2007 über ein 1-Zonen-Modell umsetzbar ist. Ein wesentlicher Grund für das 1-Zonen-Modell ist nach *Maas* die damit verbundene Reduktion des Zeitbedarfs bei der zonenweisen Erfassung der Flächendaten und eine höhere Übersichtlichkeit bei der Eingabe der Daten in eine Software. Zur Umsetzung des 1-Zonen-Modells wurden 5 verschiedene Ansätze untersucht:

- 1) flächengewichtete Randbedingungen,
- 2) pauschale Randbedingungen aus Nutzflächen-/Funktionsflächen-/Verkehrsflächen-Wichtung,
- 3) Randbedingungen aus Nutzung „sonstige Aufenthaltsräume“,
- 4) Randbedingungen aus der Hauptnutzung des Gebäudes unter Berücksichtigung zonen- oder bereichsspezifischer Konditionierungstechniken,

¹ Mit dem Teil 100 der DIN V 18599 wurden die Formeln zur pauschalen Ermittlung der Leitungslängen überarbeitet. Dieser Teil darf jedoch in der aktuellen Version der EnEV 2009 nicht angewendet werden, da hier ein statischer Normverweis auf die Ausgabe 2007 erfolgt.

- 5) Randbedingungen aus der Hauptnutzung des Gebäudes unter Berücksichtigung der Konditionierung der Hauptnutzung (Hauptnutzung „rein“).

Die Verfahren wurden an mehreren unterschiedlichen Gebäuden angewandt und die Resultate nach folgenden Kriterien ausgewertet:

- Zeitaufwand für die Berechnung,
- einfache Definition der Nutzungsrandbedingungen,
- plausible Identifikation der Nutzungsrandbedingungen,
- Genauigkeit des Verfahrens hinsichtlich der primärenergetischen Bewertung,
- einfache Behandlung von Gebäudetechniken und Berechnungsbereiche.

Die wesentliche Schlussfolgerung war die Anwendung des 1-Zonen-Modells unter Nutzung der Randbedingungen der Hauptnutzung „rein“ (Verfahren 5) für neu zu errichtende Gebäude und die Anwendung des 1-Zonen-Modells mit flächengewichteten Randbedingungen (Verfahren 1) für bestehende Gebäude. Die Anwendung von flächengewichteten Randbedingungen (Verfahren 1) führt zu den geringsten Fehlern im Primärenergiebedarf. Für Neubauten empfiehlt *Maas* dieses Verfahren jedoch nicht, weil das immer voraussetzen würde, dass die Nutzungsanteile für ein Gebäude bekannt sind, und weil aufgrund häufiger Nutzungsänderungen dies im Planungsprozess oft nicht vorausgesetzt werden kann. Beim Verfahren Randbedingungen der Hauptnutzung „rein“ treten große Abweichungen auf, wenn die Nutzungsrandbedingungen der Zonen real deutlich voneinander abweichen (Warmwasserbedarf, Beleuchtungsniveau, Mindestaußenluftvolumenströme etc.). Verknüpft man die Randbedingungen für das 1-Zonen-Modell mit statistischen Durchschnittswerten zur Flächenaufteilung (Verfahren 2), wird der Primärenergiebedarf in Bezug auf eine detaillierte Zonierung durch die Bank unterschätzt.

Hauser untersuchte [22] unterschiedliche Vereinfachungsansätze bei der Bilanzierung für die Rechenmethode DIN V 18599. Für das dort vorgestellte 1-Zonen-Modell, mit welchem ein geringerer Zeit- und Arbeitsaufwand einhergeht, wurden verschiedene Ansätze zur Berücksichtigung der Nutzungsrandbedingungen analysiert und bewertet. Alle gefundenen Ansätze beschäftigen sich mit der Aufteilung der Nutzungsrandbedingungen bzw. mit deren Umgang im 1-Zonen-Modell, wie sie auch in [18] gezeigt werden. Die geringsten Unterschiede zum Mehr-Zonen-Modell ergaben sich bei Anwendung einer flächengewichteten Aufteilung der Randbedingungen (–3 % bis –10 % vom realen Gebäudewert). Eine pauschale Kategorisierung nach nur einem Nutzungsprofil führte im Detail zu deutlichen Fehlern.

Vereinfachungen

In einem Forschungsprojekt des *BMVBS* und des *BBR* [9] wurde die Weiterentwicklung der EnEV zur Umsetzung der EU-Richtlinie bewertet. Die dort gefundenen Ansätze zu Vereinfachungen beziehen sich ebenfalls auf die Zusammenfassung von Nutzungsrandbedingungen sowie auf die Anwendung von allgemeinen pauschalen Berechnungsrandbedingungen, wie sie in der derzeitigen EnEV enthalten sind. Zudem wird zur Vereinfachung empfohlen, Zonenflächen bis zu einem Anteil von 3 % von der Gesamtfläche eines Gebäudes zu anderen Zonen hinzuzuschlagen. Diese Vereinfachung ist nach DIN V 18599 zulässig [8].

Anlagentechnik und Plausibilität

Hirschberg zeigt in [23] ein Kennwertverfahren zur vereinfachten Bewertung von Wohn- und Nichtwohngebäuden. Hierbei konzentrieren sich die Vereinfachungen gegenüber der DIN V 18599 auf die Anlagentechnik und hier insbesondere auf eine mögliche Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse. Die dort gefundenen Vereinfachungen zeigen, dass mithilfe von vorberechneten Tabellen in einigen Bereichen der DIN V 18599 schnelle Abschätzungen möglich sind (z. B. Wärmeabgabe von Rohrleitungen). Vereinfachungen hinsichtlich der zeitaufwendigen Datenaufnahme der Gebäudehülle sind nur für Wohngebäude (1-Zonen-Modell) aufgeführt.

In [24] werden für die Bereiche Heizleistung, Kälteleistung und Beleuchtung typische spezifische Leistungsdaten angegeben, an denen man sich im Rahmen einer Plausibilitätskontrolle orientieren kann. *Reuter* empfiehlt neben Benchmarkwerten immer auch die Überprüfung unter Zuhilfenahme einfacher Handkontrollrechnungen.

Österreich und die DIN V 18599

In Österreich wird die DIN V 18599 als Rechenmethode zur Bewertung der Energieeffizienz von neuen Gebäuden eingesetzt. Aus den 33 in DIN V 18599 angesetzten Nutzungsprofilen wurden 12 Profile abgeleitet und 9 Gebäudekategorien zugeordnet [25][26]. Die Zonierungskriterien sind denen in DIN V 18599 ähnlich. Die Hauptkriterien sind Bauweise, Nutzung, Orientierung und Versorgungssystem. Die Anwendung des 3 %-Flächenkriteriums wird auf 5 % ausgeweitet. Hinsichtlich der Bewertung eines Vereinfachungspotentials ergeben sich durch die Anwendung von nur 12 anstelle von 33 Nutzungsprofilen weniger mögliche Zonen in einem Gebäude. Hierdurch ist mit einem geringeren Zeitbedarf bei der Aufteilung der Hüllflächen zu rechnen.

Energy Certification of Berlaymont

Beim Projekt „*Energy Certification of Berlaymont*“ [27] bewerteten die Staaten Österreich, Frankreich, Deutschland, Niederlande, Polen und Portugal das rund 242 000 m² große Berlaymont-Gebäude mit den zu diesem Zeitpunkt (2005) vorliegenden Methoden. Alle teilnehmenden Mitgliedstaaten machten die Erfahrung, dass die Qualität der Datenerfassung einen wesentlichen Einfluss auf die Gesamtleistung des Verfahrens zur Zertifizierung hat. Die Erhebung der Gebäudedaten wurde als der „*teuerste Arbeitsschritt*“ bei der Energieberechnung angegeben.

Öffentliche Reaktionen

Die *Bundesarchitektenkammer* fordert im Rahmen von Stellungnahmen zur Deutschen Energieeinsparverordnung Vereinfachungen bezüglich DIN V 18599, insbesondere beim Berechnungsverfahren für Nichtwohngebäude. Dies hat zum Großteil praktische Hintergründe [28][29]. In [30] wird von der Bundesarchitektenkammer als Zielsetzung die Verwendung des 1-Zonen-Verfahrens für alle Nachweisfälle verlangt.

Vereinfachungen in der EnEV 2009

Im Folgenden werden die in der EnEV 2009 beschriebenen Vereinfachungen kurz skizziert. Für die Anwendung gelten allgemeine Vereinfachungen, die unabhängig vom Gebäudetyp genutzt werden können, sowie Vereinfachungen, welche die Nutzung bzw. den Gebäudetyp berücksichtigen.

Allgemeine Vereinfachungen

Für an Außenluft grenzende opake Bauteile darf ein flächengewichteter Wärmedurchgangskoeffizient (mittlerer U-Wert) gebildet werden. Es darf für die thermischen Bilanzen mit einem pauschalen Verschattungsfaktor F_s sowie zur Ermittlung des Beleuchtungsstrombedarfs mit einem pauschalen Verbauungsindex I_v von 0,9 gerechnet werden.

Die Nutzungen „Einzel- und Gruppenbüro“ (Nr. 1 und 2) der DIN V 18599-10 dürfen zusammengefasst werden.

Vereinfachtes Verfahren

Der Nachweis für ein Nichtwohngebäude kann unter bestimmten Bedingungen unter Anwendung eines 1-Zonen-Modells gerechnet werden. Genutzt werden darf diese Regelung für *„Bürogebäude, ggf. mit Verkaufseinrichtung, Gewerbebetriebe (< 1 000 m²), Gaststätten, für Schulen, Turnhallen, Kindergärten und -tagesstätten und ähnliche Einrichtungen sowie für Beherbergungsstätten ohne Schwimmhalle, Sauna oder Wellnessbereich und Bibliotheken“*.

Als Voraussetzung gilt, dass die Summe der Flächen aus Hauptnutzung und Erschließung zusammen mehr als 2/3 der gesamten Nettogrundfläche ausmacht, das Gebäude nicht gekühlt wird, jeweils nur eine Anlage für Heizung und Warmwasser vorhanden ist, höchstens 10 % der Nettogrundfläche mit Halogenlampen, Glühlampen oder durch die Beleuchtungsart „indirekt“ beleuchtet wird und außerhalb der Hauptnutzung keine RLT-Anlagen eingesetzt werden, deren spezifische elektrische Leistungsaufnahme der Ventilatoren die Referenzanforderungen überschreitet. Für die eventuelle Kühlung werden anschließend noch zwei Ausnahmen beschrieben [14].

Der Jahres-Primärenergiebedarf für Beleuchtung darf vereinfacht für den Bereich der Hauptnutzung berechnet werden, der die geringste Tageslichtversorgung aufweist.

Bewertung

Die Zusammenstellung zeigt, dass das Thema *„Vereinfachungen bei der Bilanzierung von Gebäuden nach DIN V 18599“* immer stärker diskutiert wird. Wesentliche Impulse sind die Reduzierung des Arbeitszeitaufwands, die Nachvollziehbarkeit der Berechnung und die Sicherstellung der Einhaltung der energetischen Anforderungen an Gebäude. Die gezeigten Ansätze führen zu Vereinfachungen bei der Berechnung. Die in der Literatur gefundenen Ansätze beschäftigen sich im Wesentlichen mit der Anwendung des 1-Zonen-Modells sowie mit Vereinfachungen bei der Zonierung eines Gebäudes. Dies betrifft insbesondere die mögliche Zusammenfassung von Nutzungsrandbedingungen und/oder Zonen, um die Anzahl der Zonen in einem Gebäude zu verringern. Die Anwendung des 1-Zonen-Modells hat jedoch den großen Nachteil, dass präzisere Berechnungen in einer Mehr-Zonen-Bilanz eine komplette Neuaufnahme und -eingabe aller Daten erfordern, da die im 1-Zonen-Modell hinterlegten Informationen nicht kompatibel sind. Die Zusammenlegung von Zonen zu einer Zone führt zu einer Vermischung der Zonen- bzw. der Anlageneigenschaften, was ebenfalls die Vorteile der Mehr-Zonen-Bilanz schmälert. Ergänzend zu den Forschungsvorhaben fehlen derzeit noch systematische Untersuchungen und angepasste Modelle, mit denen der Arbeitszeitaufwand reduziert und die Vorteile der Mehr-Zonen-Bilanz voll genutzt werden können. Hierzu will diese Arbeit einen Beitrag leisten.

1.3 Methodisches Vorgehen

Im Folgenden werden die wesentlichen Grundzüge beim Vorgehen zur Konzipierung der neuen Methode aufgezeigt.

Analyse des Einsparpotentials

In der ersten Phase sind Informationen über den Zeitbedarf der Bearbeitung bei der Berechnung von Nichtwohngebäuden erforderlich. Hierbei dienen Ergebnisse von bereits durchgeführten Untersuchungen als auch eigene Erhebungen als Grundlage weiterer Analysen. Auf der Basis solcher Untersuchungen lässt sich ein mögliches Einsparpotential abschätzen.

Konzipierung eines angepassten Verfahrens

Da die Anwendung von DIN V 18599 und hierbei insbesondere die Flächenermittlung auf Zonenebene einen hohen Anteil der Bearbeitungszeit ausmacht, sind Vereinfachungen hinsichtlich der Optimierung der Bearbeitungszeit bei ausreichender Genauigkeit und Detailoptimierbarkeit gefordert. Aufgrund der Komplexität der Berechnungsverfahren müssen solche Vereinfachungen aus wissenschaftlicher Sicht untersucht werden, sodass die geforderte hohe Ergebnisgenauigkeit erhalten bleibt. Ein wesentlicher Teil des Eingabeaufwands bei der Abbildung eines mehrzonigen Gebäudes entsteht durch die Zuordnung der Teilflächen der Gebäudehülle auf die einzelnen Zonen. Aus diesem Grund wird für die vereinfachte Berechnung eine Methode entwickelt, wobei folgende Ziele verfolgt werden:

- 1) Reduzierung des Zeitaufwandes bei der Bewertung der Energieeffizienz von neuen Nichtwohngebäuden im Rahmen der Erstellung von Energieausweisen,
- 2) einfaches „Handling“ der Gebäudehülldaten und Verbesserung der Transparenz,
- 3) Erhebung der thermischen Gebäudehülldaten wie beim 1-Zonen-Modell,
- 4) vollständige Nutzung der Möglichkeiten des Mehr-Zonen-Modells,
- 5) Kompatibilität zu bestehendem Normwerk nach DIN V 18599,
- 6) dynamische Gestaltung der Methode, sodass bereits eingegebene Gebäude im Laufe des Planungsprozesses weiter differenziert werden können – ohne Datenverlust,
- 7) Sicherstellung der Einhaltung der energetischen Anforderungen an Gebäude bei Anwendung der Methode.

Parameteruntersuchungen

Durch die Anwendung von Vereinfachungen entstehen unweigerlich Fehler. Um die Auswirkungen dieser Vereinfachungen auf die Energiebilanz eines Gebäudes zu untersuchen, müssen weiterführende Untersuchungen und Parameteruntersuchungen auf Zonen- und Gebäudeebene durchgeführt werden. Dabei sind in erster Linie die Eingabeparameter zu bestimmen, welche einen wesentlichen Einfluss auf Berechnungsergebnisse und/oder Teilergebnisse haben, wenn das vereinfachte Verfahren angewandt wird.

Anwendung der Methode an Beispielgebäuden

Neben der Identifikation der Einflussfaktoren muss das Verfahren in der praktischen Anwendung getestet werden, um einerseits die Auswirkungen der Vereinfachungen im kumulierten Energiebedarf transparent zu machen und um andererseits verfahrensbedingte Unschärfen bei der Verteilung der Hüllflächen auf Gebäudeebene zu ermitteln.

Sicherstellung der Einhaltung des Anforderungsniveaus

Im Rahmen der Bearbeitung muss der Frage, ob Gebäude durch Verwendung des vereinfachten Verfahrens eher günstiger oder ungünstiger bewertet werden, eine besondere Beachtung geschenkt werden. Wenn ein vereinfachtes Verfahren tendenziell zu niedrigeren oder höheren Berechnungsergebnissen führt, müssen entsprechende Korrekturen für einzelne Bereiche eingeführt werden, um diese Abweichungen im gewissen Maße abzufangen. Das Ziel ist eine Untersuchung und Bewertung, ob dies durch Anwendung von Vereinfachungen der Fall ist.

Praktische Umsetzung

Verfahren, die auf der Basis theoretischer Überlegungen entwickelt werden, benötigen in der Regel angepasste Konzepte und Randbedingungen, um in der Praxis erfolgreich angewendet zu werden. Dabei stehen der Zeitaufwand für die Berechnung und die Genauigkeit des Ergebnisses meist in Konkurrenz zueinander. Hier gilt es unter Anwendung verschiedener Konzepte einen Mittelweg zu finden, der mit vertretbarem Zeitaufwand zu einer akzeptablen Genauigkeit des Ergebnisses führt.

2 Konzipierung einer einfachen Methode

Traditionell werden bei der energetischen Bilanzierung von Wohngebäuden, insbesondere im Rahmen der Berechnungen von Wohngebäuden nach EnEV, für die Energiebilanz thermisch relevante Bauteile, wie Wände, Fenster, Dächer und Fußböden, bisher für das gesamte Gebäude als sogenanntes 1-Zonen-Modell erfasst [31][32][33][14]. Diese Vorgehensweise ist bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs üblich und in der Regel auch ausreichend genau [34][22]. Die Berechnungsmethodik der DIN V 18599 für Nichtwohngebäude sieht eine detaillierte Zonierung von Gebäuden nach unterschiedlichen Nutzungen vor [8][35]. Diese Zonierung dient dazu, unterschiedliche Energieanwendungen und Konditionierungsbedingungen in Nichtwohngebäuden abbilden zu können. Die Erweiterung der Betrachtung auf die Bereiche Lüftung, Kühlung und Beleuchtung macht dies erforderlich und grundsätzlich sinnvoll, da in der Regel voneinander abweichende Nutzungsbedingungen vorliegen und zum Teil auch unterschiedliche Anlagentechniken für die Konditionierung Einsatz finden. Es werden so neben Anforderungen an die Raumtemperatur, auch Nutzungszeiten, erforderliche Beleuchtungsstärke, Ausstattung etc. individuell berücksichtigt.

Diese Vorgehensweise führt dazu, dass die Gebäudehülldaten für jede Zone eines Gebäudes differenziert aufzuteilen sind. Eine Zone bedeutet in diesem Zusammenhang eine bestimmte Art der Nutzung und/oder Konditionierung eines Gebäudebereiches [8][36][20][37]. Die Aufteilung des Gebäudes in verschiedene Zonen betrifft demnach nicht nur eine Aufteilung der Gebäudenutzflächen (Zonenflächen), sondern insbesondere auch eine detaillierte Aufteilung der gesamten äußeren und ggf. auch inneren Hüllfläche auf die jeweiligen Zonen. Hinzu kommt, dass ggf. auch einzelne Nutzungsbereiche aufgrund des Einsatzes unterschiedlicher Techniken weiter in Zonen untergliedert werden können oder müssen. Die Gebäudehüllfläche wird hierbei ebenfalls auch wieder diesen einzelnen Unterzonen zugeordnet. Je mehr einzelne zonenbasierte Teilflächen generiert werden, desto größer werden auch die Fehlerquellen, wenn diese Daten z. B. in eine Software übertragen werden. Darüber hinaus führt die Aufteilung der Gebäudehülldaten in ein differenzierteres Teilflächenmodell zu einer Abstraktion des Gebäudemodells und erschwert dem Anwender die Nachvollziehbarkeit und die Plausibilitätsprüfungen.

Der erforderliche Bearbeitungsaufwand zur rechnerischen Abbildung des Gebäudes liegt zu einem überwiegenden Teil bei der Flächeneingabe bzw. -aufnahme und bei der Zonierung (vgl. Abschnitt 2.1). Darüber hinaus kann z. B. eine nachträgliche Umordnung von Räumen und/oder ganzen Zonen in einem Gebäude umfangreiche Neuermittlungen mit sich bringen. Wenn ein Nachweis über die Gesamtenergieeffizienz in der Baugenehmigungsphase eingereicht werden muss, sind naturgemäß oftmals eine Reihe von Daten unbekannt, zudem ändern sich oft auch Randbedingungen, wie Raumanordnung und Details im architektonischen Gebäudeentwurf, welche einen nicht unwesentlichen Einfluss auf die zuvor prognostizierten Ergebnisse haben können. Durch die Komplexität des Berechnungsverfahrens und insbesondere auch durch die „Zerstückelung“ der Gebäudehülle für jede Zone geht ein Großteil einer möglichen Plausibilitätsüberprüfung schon durch die diversifizierten Gebäudedaten verloren. Zudem geben die meisten Softwareprogramme derzeit keine spezifischen und überprüfbaren Planungsdaten aus, was eine Plausibilitätskontrolle nicht vereinfacht [19].

Um den Zeitaufwand zur energetischen Bewertung von Gebäuden zu reduzieren, bei einer gleichzeitig ausreichenden Genauigkeit, soll ein Modell der vereinfachten Datenaufbereitung und -eingabe entwickelt werden. Der typische Zeitbedarf für die energetische Bilanzierung wird anhand von Beispielobjekten bestimmt. Darauf aufbauend werden die Arbeitsbereiche identifiziert, in denen Vereinfachungen dienlich sind, um den Aufwand bei der Bilanzierung zu verringern. Die Datenaufnahme der wesentlichen Gebäudehülldaten soll dabei himmelsrichtungs- und bauteilorientiert erfolgen, ähnlich wie es beim 1-Zonen-Modell der Fall ist. Dies ist im Vergleich zur zonenbasierten Differenzierung der Hüllflächen mit wesentlich weniger Zeitaufwand bei der Bilanzierung eines Gebäudes verbunden, nachträgliche Änderungen an der Gebäudegeometrie können leichter auf zentraler Gebäudeebene durchgeführt werden und die Anwendung dieser Vorgehensweise hat sich seit Einführung der EnEV 2002 in der Praxis bewährt. Die Optimierungsmöglichkeiten durch das Mehr-Zonen-Modell sollen prinzipiell erhalten bleiben. Die vorgestellte Methode zeigt auf, wie die Übergabe der relevanten Gebäudedaten von Gebäude- auf Zonenebene erfolgen muss, um anschließend die Bilanzierung als Mehr-Zonen-Bilanz mit ausreichender Genauigkeit zu ermöglichen.

Die folgenden Abschnitte beschäftigen sich mit der Entwicklung und Beschreibung der Methode sowie mit der Bestimmung charakteristischer Fehlerausprägungen bei einer vereinfachten Flächenzuweisung von Bauteilen. Darüber hinaus wird ein Verfahren gezeigt, mit dem die unscharfe Verteilung der Hüllflächen auf die entsprechenden Zonen verringert werden kann.

2.1 Arbeitsgänge bei der Bilanzierung und Zeitbedarf

Zur Identifikation der wesentlichen Zeitanteile bei der Bearbeitung eines Projektes erfolgt eine Zeiterfassung in Abhängigkeit von den erforderlichen Arbeitsschritten, welche in Tabelle 1 ablauforientiert aufgeführt sind. Analysiert werden teilklimatisierte Bürogebäude mit verschiedenen konditionierten Zonen sowie unterschiedlichen Lüftungs- und Anlagenkonzepten, welche nach EnEV nicht als 1-Zonen-Modell berechnet werden dürfen [14].

Als Software zur Bilanzierung nach DIN V 18599 werden die kommerziellen Programme „Energiepass Helena“ [38] und „B.54“ [39] verwendet. Vor der Eingabe der Gebäudehülle in die jeweilige Software werden die Flächen und alle dazugehörigen Bauteilinformationen (Fläche, U-Wert, g-Wert, Verschattung etc.) durch Nebenrechnungen ermittelt. Moderne Programme können dem Anwender diese rechnerische Ermittlung durch eine grafische Eingabe des Gebäudes über eine CAD-Schnittstelle erleichtern. Speziell für die Anwendung der DIN V 18599 ist dieses Eingabeverfahren jedoch eher die Ausnahme [19].

Die beiden ersten Arbeitsbereiche „Zonierung“ und „Datenaufnahme, Gebäudehülle“ sind nicht scharf voneinander trennbar, da sich zum Teil überlagernde Effekte bei der Bearbeitung einstellen. Die beiden Punkte werden deshalb folgend zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 1: Arbeitsschritte bei der energetischen Bewertung eines Nichtwohngebäudes nach DIN V 18599

Zonierung	<ul style="list-style-type: none"> • Zonenanalyse nach energetischen und nutzungsspezifischen Kriterien und Markierung in Plänen • Festlegung von Beleuchtungsbereichen, Lüftungskonzepten sowie von beheizten und gekühlten Bereichen
Datenaufnahme, Gebäudehülle	<ul style="list-style-type: none"> • Definition von Bauteilen die Gebäudehülle betreffend (Wände, Dächer, Fenster etc.) • Aufteilung der äußeren und inneren Gebäudehüllfläche (horizontale und vertikale Bauteile, Fensterverschattung etc.) gemäß den festgelegten Zonen • Zuweisung und Aufteilung der Einzelbauteilflächen auf Zonenebene • Erstellung einer Bauteil- und Zonenliste mit den entsprechenden Bauteildaten
Eingabe der Bauteildaten in eine Software	<ul style="list-style-type: none"> • Eingabe allgemeiner Daten für das Gebäude (Wärmebrückenberücksichtigung, Luftdichtheit etc.) auf Gebäudeebene • Eingabe der Zonen und Verbindung mit Nutzungsprofilen • Eingabe sämtlicher Bauteildaten der Gebäudehülle in der jeweiligen Zonenebene • Zuweisung von U-Werten, Absorptionsgraden und sonstigen relevanten Eingabedaten
Konfiguration und Eingabe der Anlagentechnik	<ul style="list-style-type: none"> • Aufnahme von Anlagendaten zur Energieversorgung und -verteilung • Anlegen von Wärme- und Kälteerzeugern sowie RLT-Anlagen • Definition der Verteilsysteme und Verknüpfung der Übergabesysteme mit den Zonen • Konfiguration der Beleuchtungsberechnung, d. h. Zuweisung von Fensterflächen sowie Ermittlung der elektrischen Bewertungsleistung durch Wahl der Beleuchtungstechnik
Plausibilitätsprüfung	<ul style="list-style-type: none"> • Ergebnisauswertung und Überprüfung der Ergebnisse auf Plausibilität, insbesondere spezifische Kennwerte, Bemessungsleistungen und Größenordnungen
Berichterstellung	<ul style="list-style-type: none"> • Erstellung eines Berichtes zur Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes

Die in Tabelle 2 aufgeführten Bauteiltypen entsprechen den jeweiligen vorhandenen Wandaufbauten, Fenster- und Dachtypen sowie dem unteren Gebäudeabschluss; diese Bauteiltypen sind für die thermische Bilanzierung relevant. Die Daten sind mindestens für die 1-Zonen-Bilanz zu erfassen und nach Himmelsrichtung und Bauteiltyp zu unterteilen. Schlüsselt man die Bauteildaten weiter entsprechend den Zonen auf, so ergibt sich die Anzahl zonenspezifischer Bauteile. Die so differenzierten Bauteile müssen in den Zonenbilanzen berücksichtigt werden. Je umfangreicher die Zonenzahl eines Gebäudes ist, desto mehr differenzierte zonenspezifische Bauteile ergeben sich.

Tabelle 2: Kurzprofile der betrachteten Gebäude

		BoB	LuxRef	CLI-Büro Luxemburg	HochTief Luxemburg	Fonds de Kirchberg	Baumeister Luxemburg
Nettogrundfläche (NGF)	m ²	2 151	764	3 605	6 720	5 101	13 951
Gebäudevolumen	m ³	6 883	2.675	12 034	24 229	19 829	44 643
Gebäudehüllfläche (A)	m ²	2 642	1 274	4 901	8 334	5 345	9 917
Anzahl der Bauteiltypen	-	6	4	6	11	4	14
Anzahl zonenspez. Bauteile	-	195	41	103	188	65	231
Anzahl der Zonen	-	8	5	6	3	6	8
Gebäudetyp	-	Büro	Büro	Büro	Büro	Büro	Büro
Berechnet mit	Software	Helena, B.54	Helena, B.54	Helena	EneC	Helena	B.54
Primärenergiebedarf	kWh/(m ² a)	142,2	263,8	198,7	189,9	195,2	213,3
Heizwärmebedarf	kWh/(m ² a)	31,5	60,3	31,6	28,7	32,3	27,9
Kälteenergiebedarf	kWh/(m ² a)	22,7	15,7	20,35	30,7	34,3	79,3
Beleuchtungsstrombedarf	kWh/(m ² a)	14,2	20,4	27,9	13,9	14,6	25,3

In Abbildung 1 sind die Ergebnisse für die betrachteten Gebäude zusammengefasst. Der Zeitbedarf für die beiden Bereiche (inkl. der erforderlichen Nebenarbeiten) ist mit etwa 40 h relativ hoch, da unter anderem alle Gebäude- und Zonenhüllflächen (äußere und innere) ermittelt und den Zonen zugeordnet werden müssen. Die Eingabe dieser Daten in die jeweilige Software nahm im Schnitt 12 h in Anspruch. Die Abbildung der Anlagentechnik ist sehr stark von der Bedienerfreundlichkeit der verwendeten Software abhängig. Die Verwaltung von komplexen Anlagensystemen nach DIN V 18599 ist in dieser Form ein Novum. Die Konfiguration der Anlagentechnik nahm im Mittel 13 h in Anspruch. Der Zeitbedarf zur Plausibilitätskontrolle sowie zur Erstellung eines Gebäudeberichtes lag bei 9 h. Summiert man die Zeitbedarfe, so waren zur energetischen Bilanzierung der analysierten Gebäude im Schnitt etwa 80 h erforderlich (vgl. Abbildung 1).

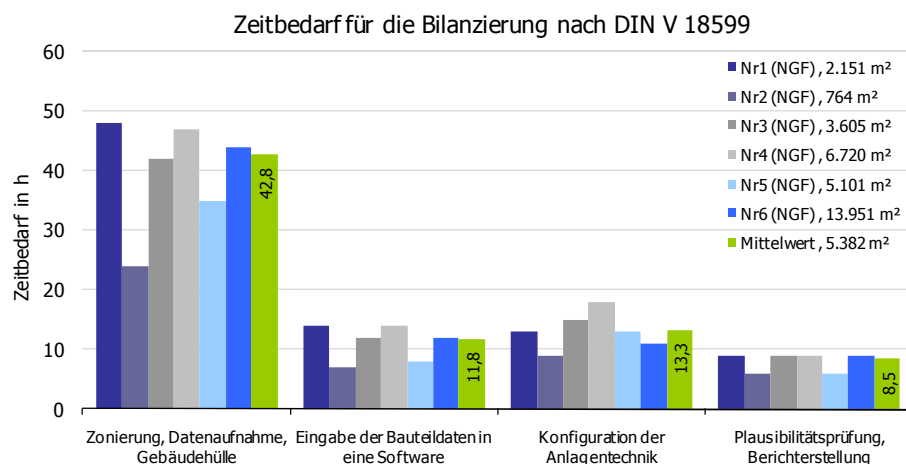


Abbildung 1: Zeitbedarf für die Bedarfsberechnung nach DIN V 18599 der analysierten Gebäude. Die rechten Balken einer Säulengruppe entsprechen dem nettogrundflächengewichteten Mittelwert über alle betrachteten Gebäude. Der ausgewiesene Zeitaufwand zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz nach den detaillierten Randbedingungen der DIN V 18599 wird anhand von sechs Bürogebäuden unterschiedlicher Größe und Zonenkomplexität ermittelt. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist von einer routinierten Anwendung des Berechnungsverfahrens und der Software auszugehen.

Weitere Ergebnisse finden sich in Anhang unter Abschnitt A.1.

In Abbildung 2 ist der prozentuale Zeitaufwand für die Berechnung der Gesamtenergieeffizienz nach den detaillierten Randbedingungen der DIN V 18599 aufgezeigt. Etwas mehr als die Hälfte der Zeit wird für die Zonierung und die Ermittlung der zonenbasierten thermischen Gebäudehüllfläche benötigt. Der Aufwand für die Aufteilung der Gebäudehüllfläche und die Zuordnung dieser Teilflächen zu Zonen korreliert mit der Gebäudegröße und der Zonenanzahl. Mit steigender Zonenanzahl nimmt die Differenzierung einzelner Bauteilflächen zu und dementsprechend auch der Zeitbedarf zur Ermittlung der Teilflächen. Bei einfach strukturierten oder sich wiederholenden Grundrissen ist der Zeitaufwand geringer zu bewerten. In diesem Arbeitsbereich ist ein großes Einsparpotential vorhanden. Demgegenüber sind die Arbeitsschritte „Konfiguration der Anlagentechnik“ und „Plausibilitätsprüfung und Berichterstellung“ nicht im gleichen Umfang von der Größe des Gebäudes abhängig. Der letzte Arbeitsbereich ist bei geeigneten Vorlagen beständig.

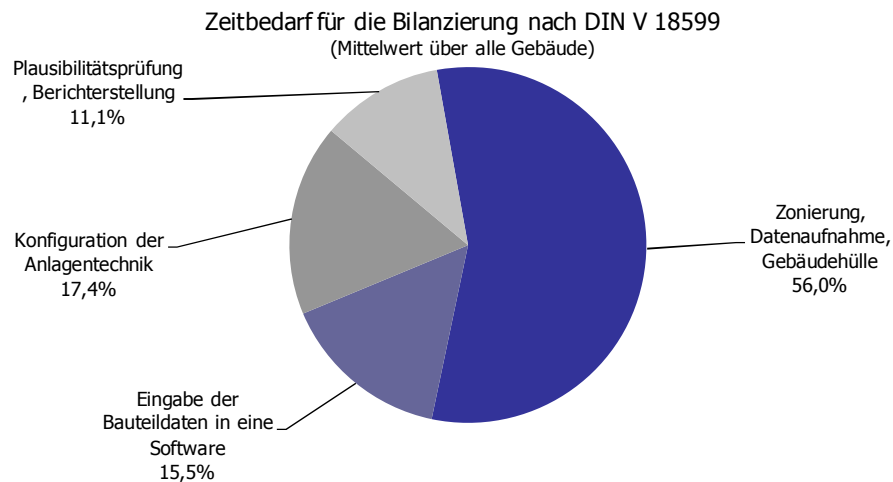


Abbildung 2: Zeitanteil für die Bedarfsberechnung nach DIN V 18599, gewichteter Mittelwert der analysierten Gebäude

In der Evaluierung des „dena Feldversuchs Energieausweis für Nichtwohngebäude“ wurde eine mittlere Bearbeitungszeit für die Bereiche „Datenaufnahme Bedarf“, „Berechnung Bedarf“ und „Übergabe/Erläuterungen“ von 113 h über Befragungen analysiert. Das mögliche Einsparpotential über diese drei Bereiche wurde mit 32 % abgeschätzt [16]. Die durchschnittliche Bearbeitungszeit für ein Gebäude, unter Berücksichtigung der möglichen Einsparungen durch Lerneffekte, beträgt etwa 77 h. Der in [16] ermittelte Zeitbedarf, unter Berücksichtigung der möglichen Einsparpotentiale, deckt sich sehr gut mit dem aus eigenen Ermittlungen.

Römmling untersuchte den Zeitaufwand, der zur Erstellung von Energiebedarfsausweisen nach DIN V 18599 erforderlich ist. In seinen Folgerungen hierzu deutete *Römmling* an, dass eine Anhängigkeit von der Gebäudegröße besteht, und ermittelte einen durchschnittlichen Zeitaufwand von 100 h für Gebäude $< 10\,000\text{ m}^2_{\text{NGF}}$ und einen von 240 h für Gebäude mit einer Nettogrundfläche zwischen $15\,000$ und $30\,000\text{ m}^2_{\text{NGF}}$ [40]. Aus [21] (*Maas, Markfort, Prior*) und [22] (*Hauser*) geht hervor, dass es insbesondere für teilklimatisierte Gebäude sinnvoll ist, das Grundprinzip der Zonierung bei der energetischen Bilanzierung zu verwenden.

Je nach genutzter Software sind die Gebäudedaten in jeder Zone tabellarisch erfasst und jedes Bauteil muss dementsprechend einzeln geändert werden, wenn man z. B. die Auswirkungen einer U-Wertänderung untersuchen will. Mit der EnEV 2009 wurden Vereinfachungen für den Rechengang eingeführt. Dabei ist die Bildung eines flächengewichteten Mittelwertes der U-Werte der opaken Außenbauteile über das gesamte Gebäude und die anschließende Zuordnung zu den Zonen eines mittleren U-Wert für das gesamte Gebäude als Berechnungsgrundlage vorgesehen [41]. Durch diese Vereinfachungen werden auch nachträgliche Änderungen von Dämmstoffdicken vereinfacht [21]. Der Aufwand der Datenaufnahme der Gebäudehüllfläche je Zone bleibt jedoch in gleichem Umfang erhalten.

Bei der Evaluierung des dena Feldversuchs für Nichtwohngebäude wünschten sich befragte Anwender unter anderem eine vereinfachte Hüllflächenzuweisung. Dies bezog sich auf die zum damaligen Zeitpunkt vorliegende, auf Excel-basierte Umsetzung der DIN V 18599. Die Hüllflächenerfassung musste bei diesem Rechenwerkzeug jedoch auch separat erfolgen und in das Programm manuell übertragen werden [16]. Das im folgenden Abschnitt beschriebene Konzept zeigt eine Möglichkeit auf, den Zeitaufwand für die Aufbereitung der Gebäudehüllfläche weiter zu verringern, bei gleichzeitiger Beibehaltung der Bilanzierungsmöglichkeit im Mehr-Zonen-Modell.

2.2 Vereinfachte Hüllflächenzuweisung

Grundhypothese

Eine grundlegende Arbeitshypothese ist, dass eine ausreichend gute Korrelation zwischen der thermischen Hüllfläche und der Energiebezugs- bzw. Zonenfläche vorliegt und dass eine unscharfe Verteilung der Hüllflächen auf die Zonen einen überschaubaren Fehler im Energiebedarf bewirkt. Dies begründet sich darin, dass die Energiebezugsfläche eines beheizten Geschosses – unter Voraussetzung einer typischen und festen Gebäudetiefe – proportional zur Länge des Gebäudes ist. *Loga* hatte diesen Zusammenhang in [42] an über 4 000 Wohngebäuden untersucht und entwickelte ein Modell, mit welchem die Hüllflächen eines Gebäudes von der Wohnfläche abgeleitet werden können. Die Ergebnisse zeigen jedoch nicht, inwieweit dies auch für unterschiedliche Zonen in einem Gebäude der Fall ist.

Neues Verfahren

Für eine vereinfachte Berechnung wird ein Konzept beschrieben, bei dem die Eingabe auf zwei Ebenen erfolgt. Ebene 1 bildet die Gebäudeebene (1-Zonen-Modell), Ebene 2 bildet die Zonenebene (Mehr-Zonen-Modell); vgl. Abbildung 3. Die Gebäudeebene stellt hierbei das Gebäude als Ganzes dar und wird durch seine thermische Hüllfläche definiert. Die Zonenebene entspricht den nach gleichen Nutzungs- und Konditionierungsbedingungen zusammengefassten Teilbereichen des Gebäudes.

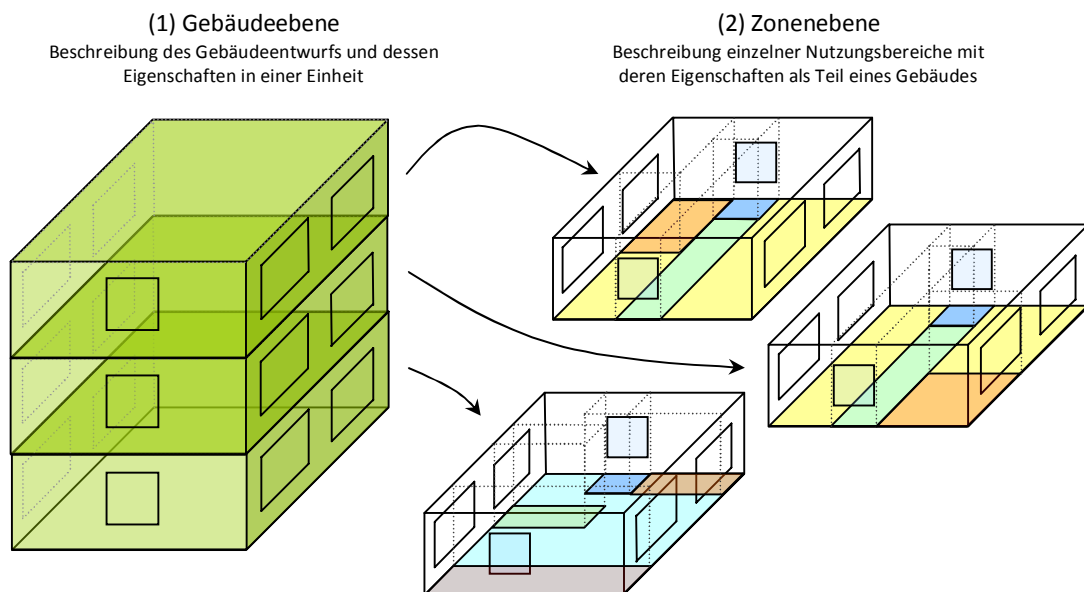


Abbildung 3: Darstellung der Gebäude- und Zonenebene

Erfolgt die Ermittlung und Dateneingabe der Hüllfläche auf der Gebäudeebene, so müssen für die weitere Bilanzierung entweder die Hülldaten oder die Zonendaten aufbereitet werden. Die bisherige Herangehensweise zur Vereinfachung lag bei der Zusammenfassung der Zonendaten [22][21][26][14][18]. In dem Fall erfolgt die Berechnung auf Gebäudeebene als 1-Zonen-Modell und die Nutzungseigenschaften der Zonen werden zusammengelegt.

Die Verwendung eines 1-Zonen-Modells für die Gesamtenergiebilanzierung führt dazu, dass Mischnutzungen abgebildet werden müssten, um alle Eingaben in diesem Modell zu hinterlegen. In der Energiebilanz kann dies unter anderem dazu führen, dass sich Heiz- und Kühlenergiebedarfe von

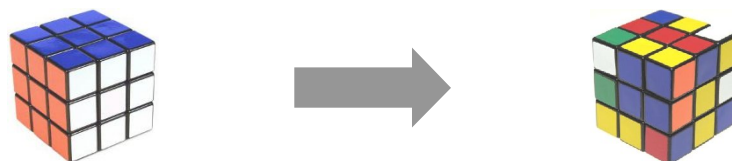
verschieden konditionierten Zonen in einem Gebäude durch Zusammenlegung teilweise aufheben, obwohl sie an unterschiedlichen Orten in einem Gebäude als voneinander unabhängiger Bedarf auftreten. Die Zusammenführung der Daten einzelner Zonen zu einer gemeinsamen „Mischzone“ führt zu einem Informationsverlust und erschwert darüber hinaus eine nachgeschaltete Optimierung und Auslegung einzelner Anlagenkomponenten, insbesondere wenn Zonen mit stark voneinander abweichenden Konditionierungen vorhanden sind. Im fortgeschrittenen Planungsstadium ist es jedoch wünschenswert auch eine Optimierung im Detail zu erhalten. Wenn umfangreichere und insbesondere detaillierte Informationen, beispielsweise zur Anlagentechnik, vorliegen, ist es wichtig, diese im Rahmen der Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz zu berücksichtigen und die Bilanzierungsmöglichkeiten der DIN V 18599 auszuschöpfen.

Aus diesem Grund wird das *vereinfachte Verfahren* so konzipiert, dass diese Optimierung erhalten bleibt. Um den Eingabeaufwand der Gebäudehüllflächen zu verringern, ist eine vereinfachte Verteilung der Gebäudehüllflächen auf die Zonen hilfreich. Hierbei wird die Gebäudehüllfläche zentral auf Gebäudeebene definiert und dann in Abhängigkeit der vorhandenen Zonen und Zonengrößen auf die Zonen verteilt. Das bedeutet, dass die eigentliche Berechnung selbst auf Zonenebene erfolgen kann, wobei die Berechnungsergebnisse ggf. natürlich wieder auf Gebäudeebene aggregiert werden.

Ein weiterer Punkt bei der Konzipierung des Verfahrens ist die Möglichkeit einer detaillierten Eingabe der Flächen im Laufe der Projektbearbeitung ohne den Verlust der zuvor eingegebenen Daten. Da Nachweise über die Energieeffizienz von Gebäuden erstmals in der Baugenehmigungsphase durchgeführt werden [14][13], in welcher oftmals eine Reihe von Informationen nicht bekannt sind, oder auch Änderungen der Raumanordnung oder des Grundrisses die Regel sind, ist es erforderlich, dass solche Modifikationen mit einem *vereinfachten Verfahren* leicht durchgeführt werden können.

Abbildung 4 zeigt die Aufteilung der Gebäudehüllfläche illustriert. Das linke Bild in Abbildung 4 entspricht der traditionellen Aufnahme der Gebäudehüllfläche als 1-Zonen-Modell. Die Gebäudehülle wird unter Annahme einer 1-Zonen-Bilanz erfasst. Eine farbige Fläche entspricht einer Fassadenseite eines Gebäudes. Es erfolgt keine differenziertere Aufteilung dieser Flächen nach Zonenzugehörigkeit.

Der rechte Teil der Abbildung zeigt ebenfalls die gesamte gleiche Gebäudehülle. Im Mehr-Zonen-Modell muss jeder Zone bzw. jedem Nutzungsbereich die thermisch relevante Gebäudehüllfläche exakt zugewiesen werden. Dies bedeutet, dass beispielsweise eine Außenwand einer Fassade wiederum in so viele Teilflächen aufgeteilt werden muss, wie unterschiedliche Zonen mit Angrenzung an diesen Bauteiltyp vorhanden sind. Die Aufteilung der jeweiligen Hüllfläche zu der entsprechenden Zone wird durch unterschiedliche Farbgebung einer Würfeloberfläche visualisiert. Jede Farbe einer Hüllfläche symbolisiert eine Zuordnung eines Fassadenabschnittes zu einer Zone bzw. einem Nutzungsbereich.



Vorgehensweise beim 1-Zonen-Modell: Jede Fassade eines Gebäudes wird nach den Kriterien Himmelsrichtung und Konstruktionsart erfasst und in der Energiebilanz als eine Einheit berücksichtigt.

Vorgehensweise bei einem Mehr-Zonen-Modell: Jede Fassade eines Gebäudes wird nach den Kriterien Himmelsrichtung, Konstruktionsart und Zonenzugehörigkeit in entsprechende Teilflächen unterteilt und dann der Zone zugewiesen.

Abbildung 4: Aufteilung der Gebäudehülle zur Berechnung nach dem Mehr-Zonen-Modell nach DIN V 18599

2.3 Beschreibung des neuen Verteilungsverfahrens

Bei Anwendung der vereinfachten Hüllflächenverteilung werden Bauteilflächen von der Gebäudeebene auf die Zonenebene transformiert. Das bedeutet, dass die energetische Bilanzierung selbst auf Zonenebene erfolgt und die Berechnungsergebnisse der Zonen natürlich wieder auf Gebäudeebene aggregiert werden können. Die Vereinfachungen umfassen die Fläche der thermischen Gebäudehülle sowie die zugehörigen Stoffwerte der Bauteile.

Transmissionswärmeströme zwischen Zonen werden vereinfacht vernachlässigt. Das bedeutet, dass Zonentrennwände bei der Erfassung für den Kühl- und Heizfall als adiabat behandelt werden, es sei denn, die Temperaturdifferenz der Zonenmitteltemperaturen beträgt mehr als 4 K. Dies ist bei thermisch konditionierten (in dem Fall beheizten) zu unkonditionierten (in dem Fall unbeheizten) Zonen der Fall; diese Ebene stellt in der Regel auch die Wärmedämmebene dar.

Transmissionswärmeströme von gekühlten zu ungekühlten aber beheizten Bereichen werden nicht berücksichtigt.

Für den Kühlfall liegt die Temperaturdifferenz zwischen gekühlten und nicht gekühlten, aber beheizten Räumen in der Regel unterhalb von 4 K, da für ungekühlte Zonen (idealerweise für beide) in der Regel auch der sommerliche Wärmeschutz einzuhalten ist (*Maas* in [20]). Dieser soll Temperaturüberschreitungen über 26 °C von weniger als 10 % innerhalb der Nutzzeit sicherstellen [43]. Man kann also von einer überwiegenden Einhaltung des 4 K-Kriteriums nach [35] ausgehen und die Transmissionswärmeströme zwischen unterschiedlich gekühlten Zonen vernachlässigen. In der Energieeinsparverordnung 2009 wird die Einhaltung der Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz verbindlich vorgeschrieben, sodass diese These eine praktische Relevanz erhält.

Es werden zwei Verfahren beschrieben, die im Folgenden kurz vorgestellt und in den weiteren Abschnitten detailliert beschrieben werden.

Einfaches Verfahren

Im ersten Ansatz erfolgt die Transformation der Gebäudedaten auf Zonenebene in Abhängigkeit der Zonengröße. Bei diesem Verfahren wird die thermische Gebäudehülle auf Gebäudeebene erfasst und den Zonen über einen Verteilschlüssel zugewiesen (vgl. Abschnitt 2.4). Auf Gebäudeebene sind alle Größen zu definieren, die vereinfacht den Bauteilen bzw. den Zonen als Mittelwerte zugewiesen werden können. Die Zuweisung der Flächen der thermischen Gebäudehülle auf die Zonen erfolgt dann differenziert nach Bauteilkategorien. Die den Zonen zugewiesenen Bauteilflächen erhalten die Stoffwerte, die sich als flächengewichtetes Mittel für die jeweilige Bauteilkategorie ergeben.

Erweitertes Verfahren

Zur schärferen Verteilung der Gebäudehüllflächen kann eine Korrektur erforderlich sein. Diese erfolgt beim *erweiterten Verfahren* durch Modifikation der Zonenfläche in Abhängigkeit vom tatsächlichen Vorkommen eines opaken oder transparenten Bauteils in einer Zone (vgl. Abschnitt 2.8.1). Dabei handelt es sich um ein Verfahren, welches von der Zonenebene aus erfolgt. Die Beeinflussung der Verteilung wird durch eine einfache Einschätzung, in welchem Umfang ein Bauteil in einer Zone vorhanden ist, erreicht.

Konzept der Eingabe der Gebäudehülle

Abbildung 5 zeigt den Ablauf der Dateneingabe beim Konzept der vereinfachten Hüllflächenzuweisung. Auf Gebäudeebene werden alle relevanten Bauteile erfasst und über ein Verteilungsmodell auf die Zonen verteilt. Mit dem *erweiterten Verfahren* ist es in den Zonen selbst möglich, eine einfache Beeinflussung zur Verteilung der Gebäudehülldaten zu bewirken. Das vorliegende Konzept zeigt eine Möglichkeit auf, den Zeitaufwand für die Aufbereitung der Gebäudehüllfläche deutlich zu verringern, bei gleichzeitiger Beibehaltung der Bilanzierungsmöglichkeit im Mehr-Zonen-Modell.

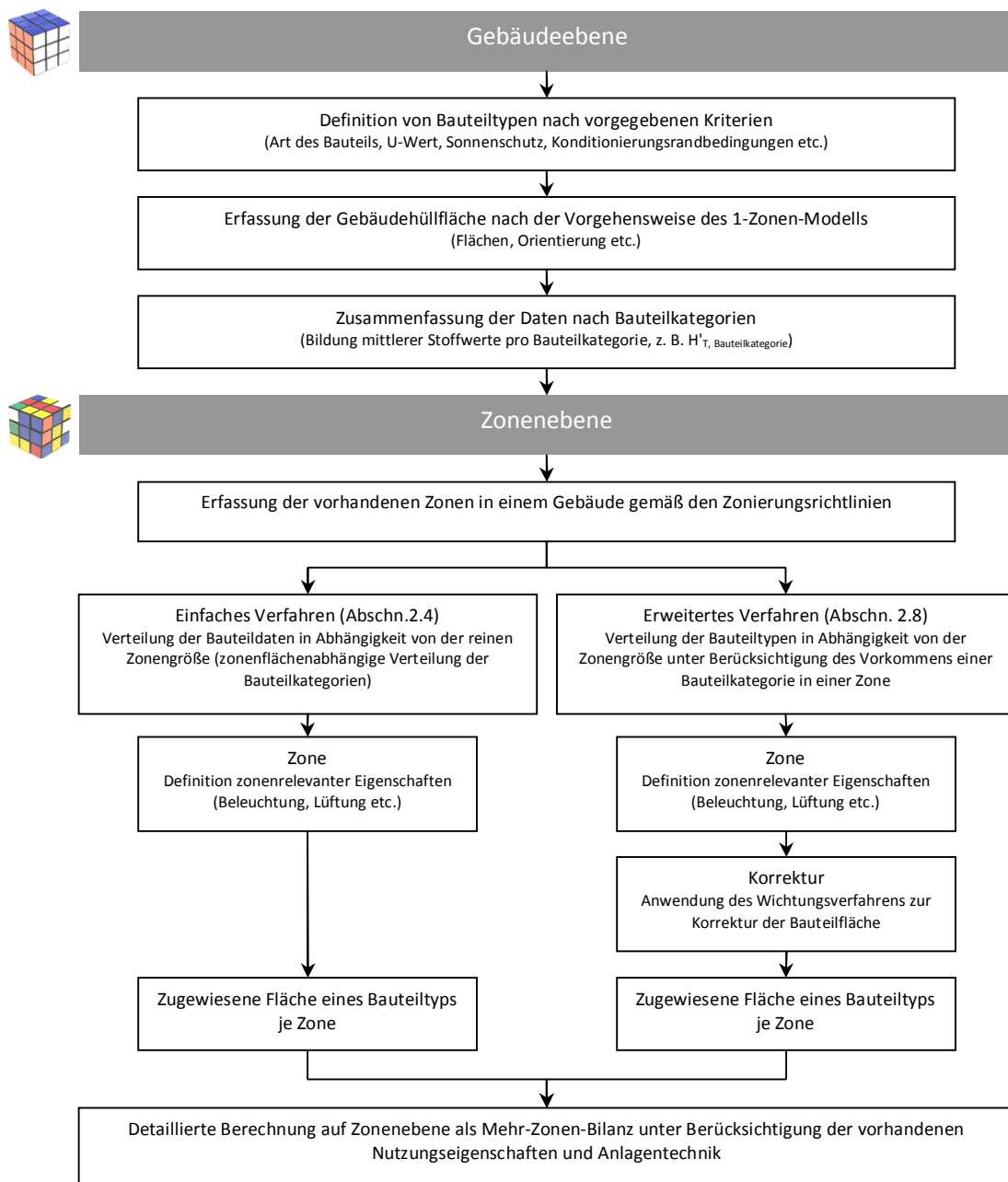


Abbildung 5: Ablaufschema der Datentransformation der Gebäudehülldaten von Gebäude- auf Zonenebene

Dabei wird es in den Zonen selbst möglich sein, eine einfache Rückkopplung zur Verteilung der Gebäudehülllindaten zu bewirken (vgl. Abschnitt 2.8). In Abbildung 6 wird das Schema für die Korrektur aus der Zonenebene heraus beispielhaft für die wesentlichen Gebäudehülllindaten aufgezeigt.

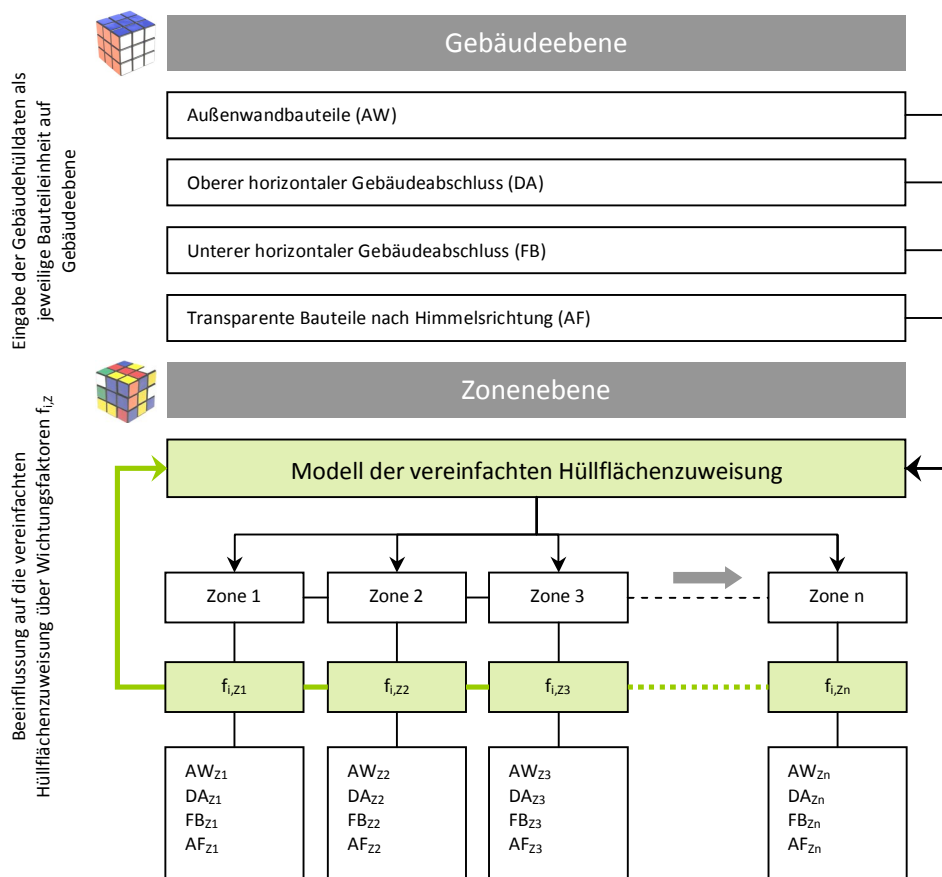


Abbildung 6: Schema der Datentransformation der Gebäudehülllindaten von Gebäude- auf Zonenebene

2.4 Einfaches Verfahren

Die Transformation der Gebäudedaten auf Zonenebene erfolgt in Abhängigkeit von der Zonenfläche. Die thermische Gebäudehülle wird auf Gebäudeebene erfasst und den Zonen mithilfe eines Verteilalgorithmus zugewiesen, der nachfolgend beschrieben wird. Bei der vereinfachten Zuweisung ist nach den in Tabelle 3 aufgeführten Bauteilkategorien zu unterscheiden. Die den Zonen zugewiesenen Bauteilflächen erhalten Stoffwerte, die sich als flächengewichtetes Mittel für die jeweilige Bauteilkategorie ergeben.

Tabelle 3: Bauteilkategorien für die vereinfachte Hüllflächenverteilung

A_w - Außenwand (gegen Außenluft oder unbeheizte Räume)
$F_{e,x}$ - Fenster je Orientierung x
D_a - Dach (gegen Außenluft oder unbeheizte Dachräume)
F_b - Fußboden (gegen Erdreich, unbeheizten Keller oder Außenluft)

Die einer Zone zugewiesene Fläche einer Bauteilkategorie $A_{i,z}$ berechnet sich nach Gleichung (1). Im Falle des *einfachen Verfahrens* entspricht $A_{N,i,z}$ der Zonenfläche $A_{B,z}$ und $A_{N,i,ges}$ der gesamten Gebäudezonenfläche $A_{B,ges}$.

$$A_{i,Z} = A_{i,ges} \cdot \frac{A_{N,i,Z}}{A_{N,i,ges}} \quad (1)$$

mit

$A_{i,Z}$	m^2	die der Zone Z zugewiesene Fläche der Bauteilkategorie i
$A_{i,ges}$	m^2	Gesamtfläche der Bauteilkategorie i
$A_{N,i,Z}$	m^2	gewichtete Zonenfläche der Zone Z für die Bauteilkategorie i
$A_{N,i,ges}$	m^2	Summe der gewichteten Zonenflächen für die Bauteilkategorie i

Im Laufe eines Planungsprozesses kann es sinnvoll sein, das Gebäudedatenmodell weiter zu detaillieren. Je nach gewünschtem Untersuchungs- oder Bewertungshintergrund kann dies entweder für das gesamte Gebäude oder auch nur für bestimmte Zonen geschehen. Für die Anwendung bedeutet das, dass eine detaillierte Eingabe von Bauteildaten auf Zonenebene erfolgt. Zur Aufrechterhaltung des Gebäudedatenmodells müssen etwaig auf Zonenebene gesondert definierte Bauteilflächen bei der Verteilung der Gebäudehülle auf die übrigen Zonen berücksichtigt werden. Die Berücksichtigung dieser Teilflächen bei der Verteilung der Gesamtflächen erfolgt nach dem folgenden Verfahren, das eine planungsbegleitende Präzisierung des Gebäudedatenmodells ohne dessen Neuerstellung ermöglicht.

$$A_{i,ges} = \sum_j A_{i,j} - A_{i,j,Z} \quad (2)$$

mit

$A_{i,j}$	m^2	die Fläche des Bauteils j, die der Bauteilkategorie i zugeordnet ist
$A_{i,j,Z}$	m^2	in einer Zone Z gesondert definierte Teilfläche j einer Bauteilkategorie i

Auf Gebäudeebene müssen alle Flächen der thermischen Gebäudehülle ermittelt werden, auch wenn Teilflächen oder die Gesamtfläche auf Zonenebene gesondert definiert worden sind. Zur anschließenden Verteilung müssen die Gebäudehüllflächen jeweils einer Bauteilkategorie zugeordnet werden. Die den Zonen zugewiesenen Bauteilteilflächen $A_{i,Z}$ einer Bauteilkategorie i erhalten die Stoffwerte, die sich als flächengewichtetes Mittel für die Bauteilkategorie i ergeben. Für das Beispiel des spezifischen Transmissionswärmetransferkoeffizienten $H'_{T,i,Z}$, der dem Hüllflächenteil $A_{i,Z}$ zugewiesen wird, bedeutet das:

$$H'_{T,i,Z} = H'_{T,i} \quad (3)$$

mit

$H'_{T,i,Z}$	$W/(m^2K)$	der Fläche $A_{i,Z}$ zugewiesene spezifische Transmissionswärmetransferkoeffizient
$H'_{T,i}$	$W/(m^2K)$	für die Bauteilkategorie i ermittelter mittlerer spezifischer Transmissionswärmetransferkoeffizient

Für die vereinfachte Berechnung betrifft dies die Größen nach Tabelle 4.

Tabelle 4: Kategorien bei der Bestimmung mittlerer Stoffwerte

Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung bei senkrechtem Strahlungseinfall g_{\perp} sowie g_{tot} von Verglasung und Sonnenschutzvorrichtung (zu erfassen pro Bauteilkategorie)
Lichttransmissionsgrad der Verglasung $\tau_{D65,SNA}$
Minderungsfaktoren für Rahmen und Versprossung k_1
spezifischer Transmissionswärmetransferkoeffizient H'_{τ}
Absorptionskoeffizient α

Beispielhaft ist die Mittelwertbildung für den spezifischen Transmissionswärmetransferkoeffizienten in Gleichung (4) dargestellt.

$$H'_{T,i} = \frac{\sum_j (A_{i,j} - A_{i,j,Z}) \cdot H'_{T,i,j}}{A_{i,ges}} \quad (4)$$

mit

$H'_{T,i,j}$ W/(m²K) spezifischer Transmissionswärmetransferkoeffizient der zur Bauteilkategorie i zugeordneten Teilflächen j

Die gesamte gewichtete Zonenfläche $A_{N,i,ges}$ für eine Bauteilkategorie i ergibt sich gemäß Gleichung (5) als Summe der Zonenflächen, für die eine vereinfachte Zuweisung erfolgt.

$$A_{N,i,ges} = \sum_Z A_{N,i,Z} \quad (5)$$

Auf Gebäudeebene werden folgende weitere Größen definiert, die sinnvollerweise vereinfacht den Bauteilen bzw. den Zonen als Mittelwerte zugewiesen werden können.

Tabelle 5: Weitere auf Gebäudeebene zu ermittelnde Größen für die Energiebilanzierung

Verbauungsindex l_v je Orientierung. Dieser ist allen Fenstern der jeweiligen Orientierung zuzuordnen.
Abminderungsfaktor F_5 für bauliche Verschattung je Orientierung. Dieser ist allen Fenstern der jeweiligen Orientierung zuzuordnen.
Minderungsfaktoren für Verschmutzung k_2 und nicht senkrechten Strahlungseinfall k_3 . Diese sind allen Fenstern eines Gebäudes zuzuordnen.
Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz n_{50} sowie Windschutzkoeffizient e_{wind} . Diese sind jeder Zone eines Gebäudes zuzuordnen.
Parameter zur Aktivierung beweglicher Sonnenschutzvorrichtungen a

2.5 Anwendung an Beispielgebäuden

Die Zuordnung der Bauteile erfolgt in Abhängigkeit von der Größe der Zonnennutzfläche und unabhängig von dem tatsächlichen Anteil der Zone an der Gebäudehüllfläche. Hieraus folgt in der Regel, dass zwischen den exakt ermittelten und vereinfacht zugewiesenen Gebäudehüllflächen eine Abweichung vorliegen wird. Ziel ist es im Weiteren, anhand theoretischer und praktischer Beispiele, diesen Fehler zu bestimmen, zu bewerten und durch geeignete Maßnahmen sinnvoll zu reduzieren.

Um den Fehler durch eine flächengewichtete Hüllflächenverteilung schätzen zu können, werden mehrere Gebäude analysiert. Sämtliche Bauteildaten werden nach den Vorgaben der DIN V 18599 zonenbasiert ermittelt und mit den Berechnungsalgorithmen nach Abschnitt 2.3 in das vereinfachte Verfahren überführt. Diese Vorgehensweise gewährleistet eine exakte Übereinstimmung beider Datensätze. Die Abweichungen zwischen den beiden Datensätzen werden auf Zonen- und Gebäudeebene ermittelt und die absoluten und relativen Fehler der unscharf zugeordneten opaken und transparenten Bauteile ermittelt. Abbildung 7 zeigt die Vorgehensweise bei der Fehlerermittlung.

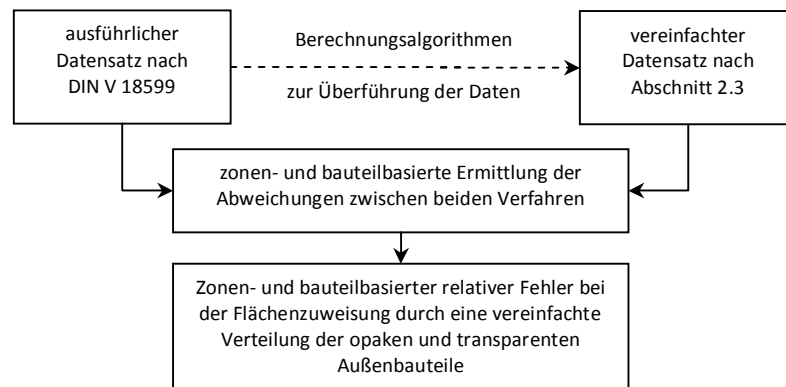


Abbildung 7: Schema der Berechnung zur Fehlerbestimmung bei vereinfachter Flächenzuweisung

Vorgehensweise bei der Berechnung des Fehlers

Der erste Berechnungsschritt befasst sich mit der Ermittlung der absoluten Abweichungen zwischen dem vereinfachten und dem ausführlichen Verfahren. Es wird die Differenz bei der Flächenzuweisung bestimmt, die sich durch die Anwendung der beiden Verfahren ergibt. Dabei erfolgt eine Differenzierung nach den in Tabelle 3 aufgeführten Bauteilkategorien; für Fenster auch in Abhängigkeit der Orientierung. Die absolute Abweichung $\Delta A_{i,Z}$ bei der Hüllflächenzuweisung wird für jede Zone eines Gebäudes und für jede Bauteilkategorie gemäß Gleichung (6) berechnet.

$$\Delta A_{i,Z} = A_{i,Z} - A'_{i,Z} \quad (6)$$

mit

$\Delta A_{i,Z}$	m ²	Abweichung in der zugewiesenen Bauteilfläche für die Bauteilkategorie i zwischen dem vereinfachten und dem ausführlichen Verfahren in der Zone Z
$A_{i,Z}$	m ²	Fläche der Bauteilkategorie i in einer Zone Z bei Anwendung des ausführlichen Verfahrens
$A'_{i,Z}$	m ²	Fläche der Bauteilkategorie i in einer Zone Z bei Anwendung des vereinfachten Verfahrens

Bezieht man die Differenz der zugewiesenen Bauteilfläche in einer Zone, die durch Anwendung der automatisierten Flächenverteilung entsteht, auf die gesamt zu verteilende Bauteilfläche, erhält man den relativen Fehler $F_{i,Z}$. Der Bezug erfolgt auf die gesamte Fläche einer Bauteilkategorie $A_{i,ges}$, um der Größe unterschiedlicher Zonen bei der Fehlerrelevanz Rechnung zu tragen.

$$F_{i,Z} = \frac{|\Delta A_{i,Z}|}{A_{i,ges}} \cdot 100 \% \quad (7)$$

mit

$A_{i,ges}$	m ²	Gesamtfläche der Bauteilkategorie i
$F_{i,Z}$	%	Zonen- und bauteilbezogener relativer Fehler bei der Flächenzuweisung bei Anwendung des vereinfachten Verfahrens

Darauf folgend wird der bauteilbezogene relative Fehler bei der Flächenzuweisung nach dem vereinfachten Verfahren über alle Zonen ermittelt. Der hierbei bestimmte Wert ergibt sich aus den summierten Beträgen der relativen Fehler $F_{i,Z}$ und berücksichtigt positive und negative Abweichungen in einer Gesamtsumme.

$$F_i = \sum_Z F_{i,Z} \quad (8)$$

mit

F_i	%	bauteilbezogener relativer Fehler bei der Flächenzuweisung bei Anwendung des vereinfachten Verfahrens über alle Zonen Z
-------	---	---

Betrachtet man die fehlerhafte Flächenzuweisung bezogen auf das gesamte Gebäude, so ändert sich die Größe der Gebäudehüllfläche in der Summe nicht. Erfolgt eine fehlerhafte Flächenzuweisung in einer Zone, so muss die in dieser Zone unscharf zugewiesene Fläche in einer anderen Zone bzw. in anderen Zonen um den gleichen Betrag unscharf zugewiesen werden und es gilt:

$$\sum_Z A_{i,Z} = \sum_Z A'_{i,Z} \quad (9)$$

Der summierte Fehler F_i entspricht der Betragssumme der Abweichungen. Da sich die Summe der verteilten Flächen, bezogen auf das gesamte Gebäude, nicht ändert, wird für die Ergebnisdarstellung der Fehler in einer Zone nach folgender Gleichung angegeben. Dabei entspricht der Zonenfehlerbereich $F_{i,\pm}$ der Hälfte des Betragssummenfehlers F_i in einer Positiv-negativ-Abweichung.

$$F_{i,\pm} = \frac{\sum_Z F_{i,Z}}{2} \quad (10)$$

mit

Z	-	Zone Z
$F_{i,\pm}$	%	bauteilbezogener relativer Fehlerbereich in der Flächenzuweisung bei Anwendung des vereinfachten Verfahrens über alle Zonen Z

2.6 Analyisierte Gebäude

Bei den untersuchten Gebäuden handelt es sich um 10 reale Gebäudeentwürfe, die sich entweder in der Planungsphase befinden oder bereits realisiert worden sind. Das erste Gebäude (Büro LuxRef) in der Tabelle 6 ist ein synthetisch erzeugtes Bürogebäude. Es werden insgesamt sieben Bürogebäude, ein Verwaltungsgebäude, eine Schule, eine Kindertagesstätte und ein Schwimmbad/Sporthalle untersucht.

Ein hoher Anteil an teilklimatisierten Gebäuden ermöglicht es, die Auswirkungen einer unscharfen Flächenzuweisung auf den Kühlenergiebedarf umfangreicher zu untersuchen. Für die 11 Gebäude werden verschiedene Kombinationen der Flächenzuweisung analysiert.

Tabelle 6 zeigt die wesentlichen Eckdaten der Gebäude. Der ausgewiesene Fensterflächenanteil entspricht dem durchschnittlichen Fensterflächenanteil über alle Fassaden und Orientierungen. Bis auf zwei Gebäude sind alle Gebäude teilklimatisiert. Der mittlere Flächenanteil gekühlter Zonen beträgt über alle Gebäude etwa 57 %. Zwei Besonderheiten stellen die Gebäude 4, mit einem gekühlten Flächenanteil von 94 % und Gebäude 10, mit einem Anteil von nur 7 %, dar.

Tabelle 6: Eckdaten der untersuchten Gebäude

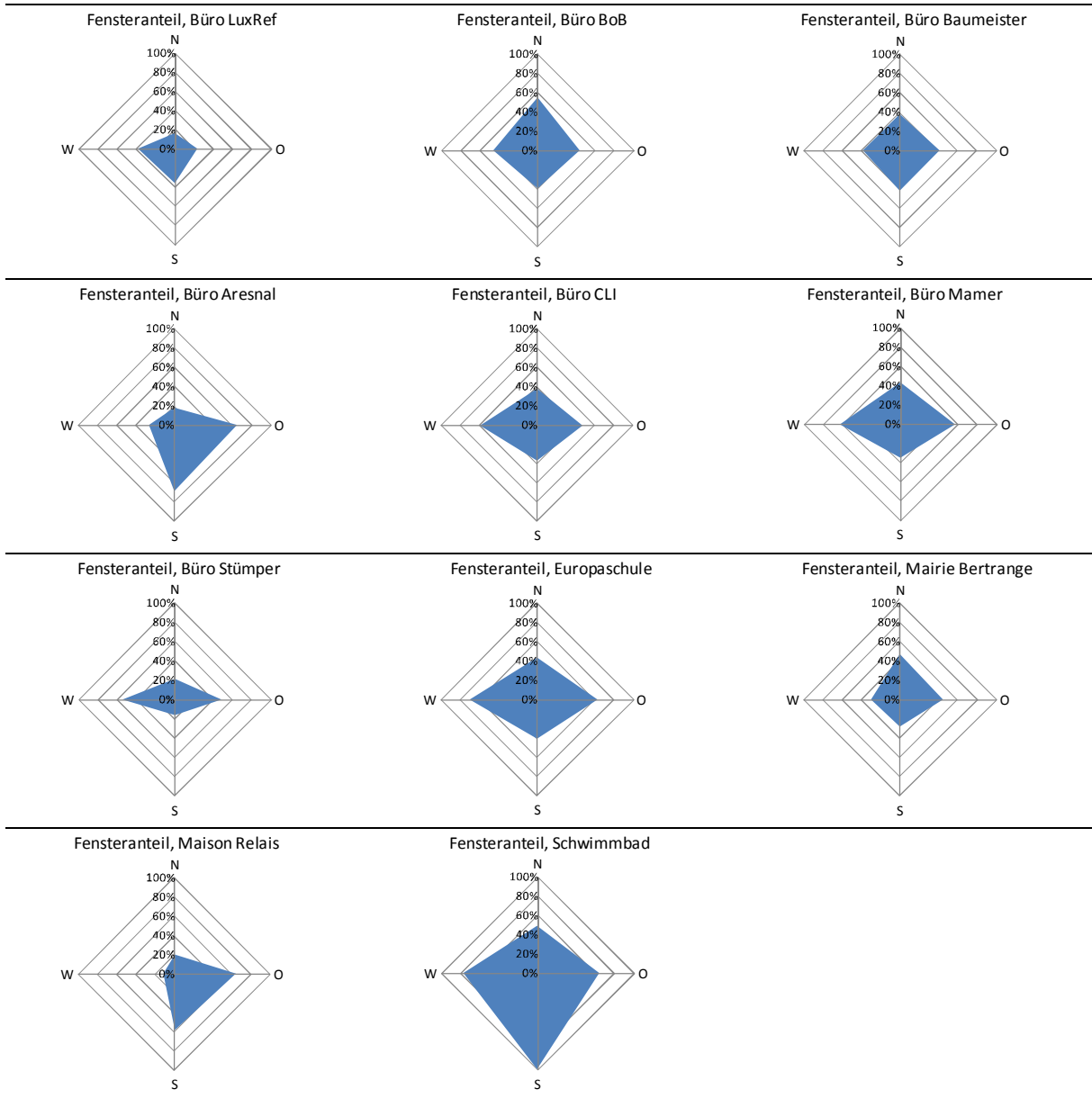
Bezeichnung	Gebäudekategorie	Zonen-	Zonen-	davon	thermische	Fensterflä-
		anzahl	fläche	gekühlt	Hüllfläche	chenanteil
		St.	[m ²]	[%]	[m ²]	[%]
Geb.1, Büro LuxRef	Büro	5	764	51	1 274	28
Geb.2, Büro BoB	Büro	8	2 151	66	2 642	46
Geb.3, Büro Baumeister	Büro	8	13 951	55	9 917	40
Geb.4, Büro Arsenal	Büro	6	5 978	94	5 315	45
Geb.5, Büro CLI	Büro	6	3 605	57	4 901	45
Geb.6, Büro Mamer	Büro	8	5 437	57	7 306	50
Geb.7, Büro Stümper	Büro	5	2 891	67	3 644	44
Geb.8, Europaschule	Schule	7	11 952	0	15 892	58
Geb.9, Mairie Bertrange	Verwaltung	7	2 371	48	2 526	38
Geb.10, Maison Relais	Kindertagesstätte	8	1 256	7	2 406	37
Geb.11, Schwimmbad	Sporthalle	7	2 292	0	5 224	71

Die in Tabelle 7 dargestellten Orientierungsprofile zeigen die Fensterflächenanteile je Orientierung eines Gebäudes. Für alle untersuchten Gebäude werden eventuell vorkommende Zwischenorientierungen einer Haupthimmelsrichtung zugewiesen, ggf. anteilig auf zwei Haupthimmelsrichtungen verteilt. Somit lassen sich die Rechenwerte² zur Ermittlung des End- und Nutzenergiebedarfs für Beleuchtung nach DIN V 18599 je Hauptorientierung eindeutig ermitteln. Die dargestellten Charakteristiken zeigen, wie ausgeprägt unterschiedliche Fensterflächenanteile je Orientierung auftreten.

Mit Ausnahme von Gebäude 11 wird deutlich, dass sich Fensterflächen relativ homogen über alle Orientierungen verteilen, was bei Nichtwohngebäuden auch zu erwarten war.

² Beispielsweise sind das tabellierte Rechenwerte nach DIN V 18599, Teil 4 zur Ermittlung des Tageslichtversorgungsfaktors $C_{TL, Vers, SNA, j}$ oder relative Zeiten $t_{rel, TN, SNA, j}$ und $t_{rel, TL, SNA, j}$ bei nicht aktiviertem und aktiviertem Sonnen- und/oder Blendschutz.

Tabelle 7: Orientierungsprofile für den Fensterflächenanteil aller Gebäude



Kurzcharakteristik der Gebäude

Im Folgenden werden die Gebäude im Kurzprofil vorgestellt.

2.6.1 Gebäude 1 – Büro LuxRef

Bei dem Gebäude 1 handelt es sich um ein synthetisches Gebäudemodell eines Bürogebäudes. Das Gebäude wurde zweckmäßig modular und in einfacher Geometrie gehalten. Die Anordnung der Räume erfolgte homogen und alle drei Geschosse sind gleich strukturiert. Abbildung 8 zeigt ein Regelgeschoss des untersuchten Gebäudes.

Tabelle 8: Übersicht mit den wesentlichen Gebäudedaten, Geb.1

Gebäude 1			
Fensterflächenanteil	N	16 %	
Fensterflächenanteil	O	23 %	
Fensterflächenanteil	S	36 %	
Fensterflächenanteil	W	39 %	
thermische Gebäudehüllfläche		1 274	m ²
Gebäudevolumen		2 675	m ³
A/V-Verhältnis		0,48	m ⁻¹
Zonierung und Nutzungsprofile			
Einzelraumbüro	51,4 %	393,1	m ²
Verkehrsflächen	20,7 %	158,3	m ²
Lager, Technik, Archiv	12,9 %	98,3	m ²
Küche in Nichtwohnbauten	8,6 %	65,5	m ²
WC und Sanitärräume	6,4 %	49,1	m ²
Summe Zonenfläche		764	m ²

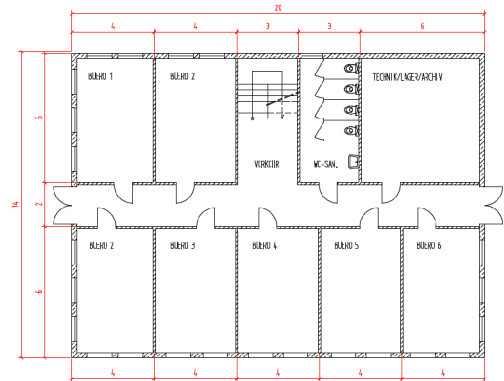


Abbildung 8: Regelgeschoss, Geb.1

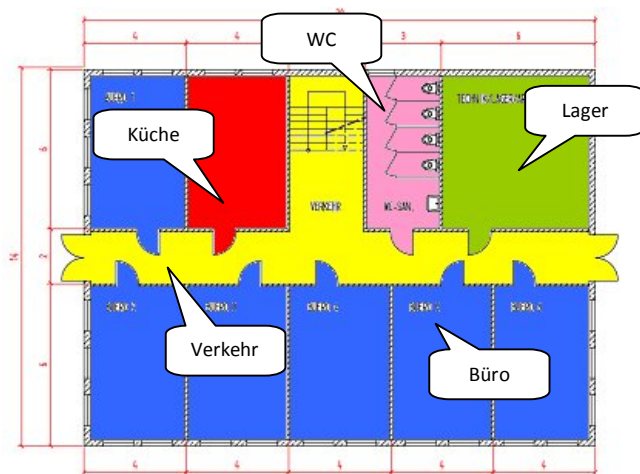


Abbildung 9: Grundriss Regelgeschoss mit Zonierung, Geb.1

Der Gebäudegrundriss ist fiktiv. Die gewählte Zonierung entspricht einem Büro mit typischen Nutzungen. Energieintensive Nutzungsprofile, wie Serverräume etc., sind nicht in dem Gebäudeprofil enthalten.

Das Bürogebäude hat drei identisch aufgebaute Geschosse. Lediglich die Bürozonien sind gekühlt. Alle anderen Bereiche werden als nur beheizte Bereiche bilanziert.

2.6.2 Gebäude 2 – Büro BoB

Beim Gebäude 2 (BoB = balanced office building) handelt es sich um ein im Jahre 2001-2002 realisiertes energieoptimiertes Bürogebäude in Aachen. Die Aufteilung der Zonen ist im Vergleich zu Gebäude 1 eher inhomogen. Abbildung 11 zeigt eine Ebene des untersuchten Gebäudes.

Tabelle 9: Übersicht mit den wesentlichen Gebäudedaten, Geb.2

Gebäude 2			
Fensterflächenanteil	N	55 %	
Fensterflächenanteil	O	44 %	
Fensterflächenanteil	S	39 %	
Fensterflächenanteil	W	47 %	
thermische Gebäudehüllfläche		2 642	m ²
Gebäudevolumen		7 675	m ³
A/V-Verhältnis		0,35	m ⁻¹
Zonierung und Nutzungsprofile			
Gruppenbüro	53,7 %	1 154,8	m ²
Besprechung	9,6 %	205,5	m ²
Küche, Vorbereitung ,Lager	2,1 %	45,9	m ²
WC und Sanitärräume	1,8 %	37,8	m ²
Verkehrsflächen	23,6 %	507,6	m ²
Lager, Technik, Archiv	6,8 %	146,3	m ²
Serverraum	0,7 %	14,7	m ²
Bibliothek	1,8 %	38,3	m ²
Summe Zonenfläche		2 151	m ²

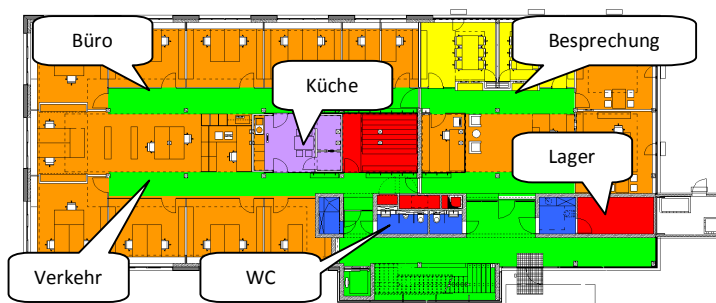


Abbildung 11: Grundriss Regelgeschoss mit Zonierung, Geb.2



Abbildung 10: Nordansicht des BoB-Gebäudes

Für die Architektur zeichnete das Büro *Hahn Helten und Assoziierte Architekten GmbH* verantwortlich. Im Rahmen des EnOB-Projektes wird dieses Gebäude einem umfangreichen Monitoring unterzogen und ist aufgrund der sehr detaillierten Messergebnisse besonders interessant für die Untersuchung von energetischen Berechnungsmethoden.

Abbildung 11 zeigt den Grundriss eines Regelgeschosses mit der entsprechenden Markierung der Zonierung, wie sie für die Berechnung nach DIN V 18599 angelegt ist.

Das Gebäude 2 hat vier Geschosse mit ähnlichem Aufbau, wobei das oberste Geschoss nicht die gesamte Grundfläche des Gebäudes einnimmt.

2.6.3 Gebäude 3 – Büro Baumeister

Dieses Gebäude ist ein sich derzeit in Luxemburg in der Ausführungsplanung befindliches Bürogebäude. Das Gebäude soll einen energetisch hochwertigen Standard aufweisen. Markant an diesem Gebäude ist die sehr hohe technische Ausstattung mit Serverräumen. Knapp 7 % der gesamten Gebäudefläche (inkl. Parkhaus) wird zur Aufstellung eines Rechenzentrums genutzt.

Tabelle 10: Übersicht mit den wesentlichen Gebäudedaten, Geb.3

Gebäude 3			
Fensterflächenanteil	N	38 %	
Fensterflächenanteil	O	41 %	
Fensterflächenanteil	S	42 %	
Fensterflächenanteil	W	38 %	
thermische Gebäudehüllfläche		9 917	m ²
Gebäudevolumen, inkl. Parkhaus		42 643	m ³
A/V-Verhältnis, inkl. Parkhaus		0,22	m ⁻¹
Zonierung und Nutzungsprofile			
WC und Sanitärräume	2,7 %	381,5	m ²
Verkehrsflächen	8,8 %	1 234,5	m ²
Lager	9,4 %	1 312,0	m ²
Serverraum	6,5 %	906,6	m ²
Schalterhalle	0,9 %	121,3	m ²
Großraumbüro	48,2 %	6 718,6	m ²
Archiv	3,7 %	516,8	m ²
Parkhäuser (Büronutzung)	19,8 %	2 759,9	m ²
Summe Zonenfläche		13 951	m ²

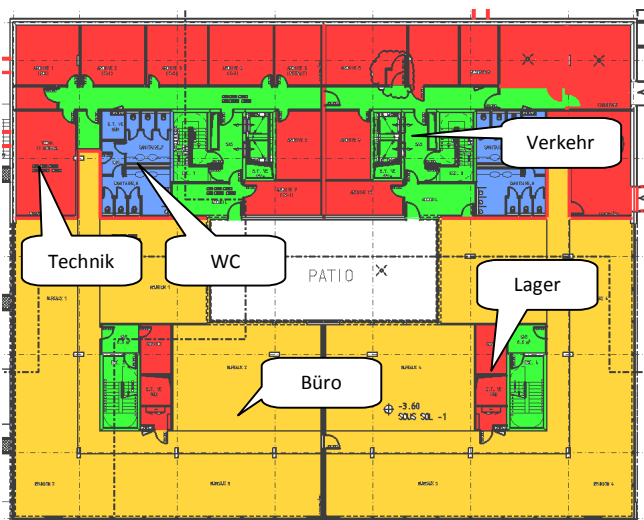


Abbildung 13: Grundriss Regelgeschoss mit Zonierung, Geb.3

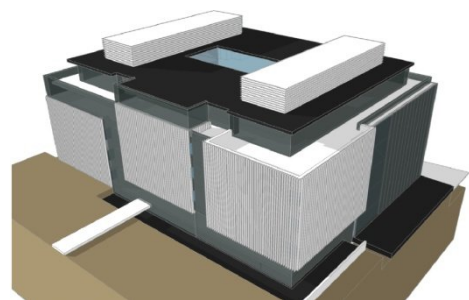
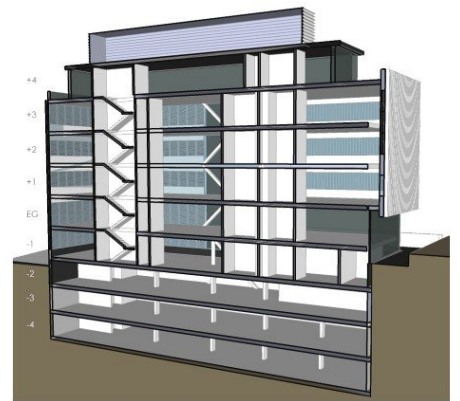


Abbildung 12: Gebäudemodell (unten), Gebäudeschnitt (oben), Architekt Marc Werner

Das Gebäude erstreckt sich insgesamt über neun Ebenen, darunter zwei Geschosse für Tiefgarage, ein Geschoss als Untergeschoss für Serverräume, ein Erdgeschoss sowie vier Obergeschosse für Büroräume und ein Dachgeschoss für Technikräume.

Für den Gebäudeentwurf zeichnete das Architekturbüro *Marc Werner* aus Luxemburg verantwortlich.

2.6.4 Gebäude 4 – Büro Arsenal

Bei diesem Gebäude handelt es sich um den Neubau eines Büros in Luxemburg Stadt. Die Fassade wird als Doppelglasfassade mit innen liegender Dreifachverglasung ausgeführt. Das Raumkonzept sieht über 7 Etagen eine offene Büronutzung vor. Im Erdgeschoss sind Einkaufsmöglichkeiten in Form von Boutiquen vorgesehen. Im Erdreich liegen 4 Etagen, die als Parkmöglichkeiten genutzt werden sollen. Das Parkgeschoss wird thermisch nicht konditioniert und aus der thermischen Zonierung entkoppelt. Gemäß dem zugrunde liegenden Planstand ist nur ein kleiner Serverraum mit knapp 5 m² ausgewiesen, was für ein Gebäude dieser Dimension sicherlich wenig erscheint.

Tabelle 11: Übersicht mit den wesentlichen Gebäudedaten, Geb.4

Gebäude 4			
Fensterflächenanteil	N	17 %	
Fensterflächenanteil	O	64 %	
Fensterflächenanteil	S	69 %	
Fensterflächenanteil	W	26 %	
thermische Gebäudehüllfläche		5 315	m ²
Gebäudevolumen		20 128	m ³
A/V-Verhältnis		0,26	m ⁻¹
Zonierung und Nutzungsprofile			
Gruppenbüro	81,0 %	4 840,9	m ²
Serverraum, Rechenzentrum	0,1 %	4,6	m ²
Küche ,Vorbereitung ,Lager	1,1 %	66,8	m ²
Einzelhandel, Kaufhaus	4,5 %	269,9	m ²
WC und Sanitärräume	4,4 %	263,0	m ²
Verkehrsflächen	8,9 %	532,7	m ²
Summe Zonenfläche		5 978	m ²



Abbildung 14: Visualisierung des Gebäudes, Architekt Paczowski & Fritsch, Luxemburg

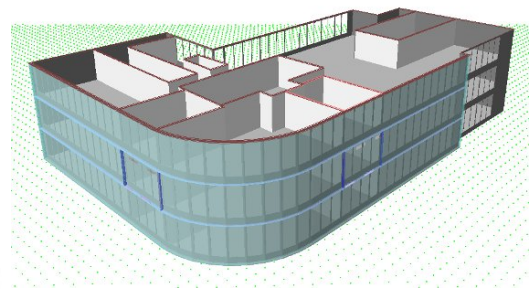


Abbildung 15: Ansicht des Gebäudes aus dem Gebäudemodell TAS (dynamische Simulation)

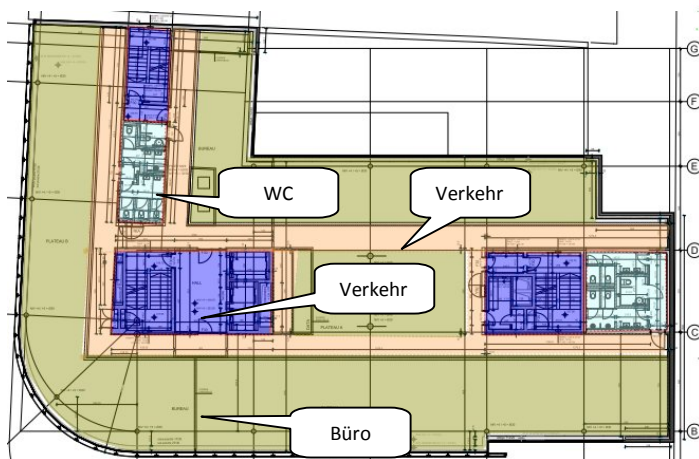


Abbildung 16: Grundriss Regelgeschoss mit Zonierung, Geb.4³

Das Gebäude soll einen hohen ökologischen Standard aufweisen und nach BREEAM-Verfahren zertifiziert werden³.

Für den Gebäudeentwurf zeichnet das Architekturbüro *Paczowski & Fritsch* verantwortlich.

³ BREEAM (BRE Environmental Assessment Method, Englische Methode); BREEAM vergibt ein ökologisches Gütesiegel nach der Prüfung der Gebäudeperformance hinsichtlich einer Reihe ökologischer Kategorien. Diese bewerten die Auswirkungen des Gebäudes auf seine Umwelt auf globaler, regionaler, lokaler und innenräumlicher Ebene. Für bestimmte Leistungskriterien werden vordefinierte Punktzahlen vergeben.

2.6.5 Gebäude 5 – Büro CLI

Das Gesamtprojekt teilt sich in vier gleiche Gebäudeblöcke auf, welche über Passerellen miteinander kommunizieren. Ein Block erstreckt sich über bis zu acht Etagen. Vier Stockwerke dienen der Büronutzung, vier weitere Etagen werden für Parkmöglichkeiten und untergeordnete Nutzungen verwendet. Die Untergeschosse erstrecken sich über die gesamte Grundfläche des Bauprojektes. Die Bürobereiche sind fassadenumlaufend angeordnet. Sonstige Nebenräume, wie WC, Flure, Archive etc., sind in der Regel im Gebäudekernen angeordnet. Betrachtet wird ein projektierte Nutzungsbereich, der sich aus einem Gebäudeblock und dem Erdgeschoss eines weiteren zusammensetzt.

Tabelle 12: Übersicht mit den wesentlichen Gebäudedaten, Geb.5

Gebäude 5			
Fensterflächenanteil	N	38 %	
Fensterflächenanteil	O	47 %	
Fensterflächenanteil	S	37 %	
Fensterflächenanteil	W	59 %	
thermische Gebäudehüllfläche		4 901	m ²
Gebäudevolumen		12 034	m ³
A/V-Verhältnis		0,41	m ⁻¹
Zonierung und Nutzungsprofile			
Gruppenbüro	57,1 %	2 057,3	m ²
Küche, Vorbereitung, Lager	1,7 %	62,7	m ²
WC und Sanitärräume	3,9 %	142,2	m ²
Verkehrsflächen	27,3 %	982,9	m ²
Lager, Technik, Archiv	7,8 %	280,1	m ²
Archiv	2,2 %	79,9	m ²
Summe Zonenfläche		3 605	m ²

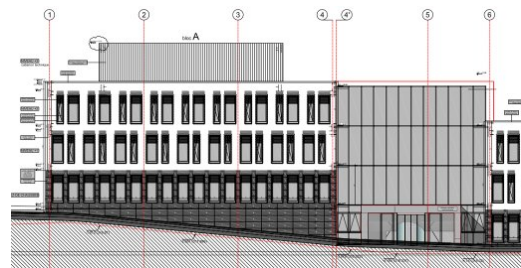


Abbildung 17: Fassadenansicht eines Gebäudeblocks A

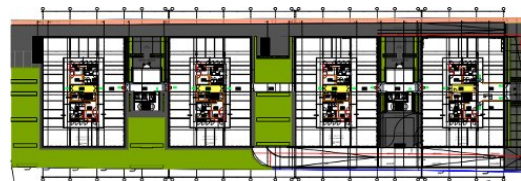


Abbildung 18: Grundriss, Etage 1 über alle vier Gebäudeblöcke

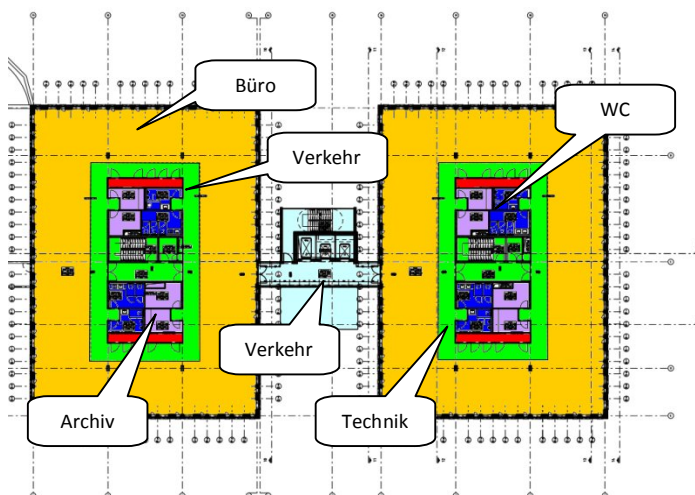


Abbildung 19: Grundriss Regelgeschoss mit Zonierung, Geb.5⁴

Das Gebäude soll ebenso einen hohen energetischen und ökologischen Standard aufweisen und nach dem HQE-Verfahren zertifiziert sowie nach energetischen und ökologischen Standards bewertet werden [131].⁴

Für den Gebäudeentwurf zeichnet das Architekturbüro *Fabeck Tatiana* aus Luxemburg verantwortlich.

⁴ Das französische HQE (Haute Qualité Environnementale) hat das Ziel, die Auftraggeber (Bauherren, Bauträger) zu einem ökologischen Umdenken und Optimieren zu führen. Es ist eine vollkommen freiwillige Vorgehensweise, um die Ökologie in die Logik der Beteiligten einzubeziehen. Das Gebäude wird nach energetischen und ökologischen Standards bewertet.

2.6.6 Gebäude 6 – Büro Mamer

Das Bürogebäude zeichnet sich durch einen kammförmigen Grundriss aus. Es umfasst fünf Etagen, von denen zwei im Erdreich zu Parkzwecken genutzt werden. Die oberirdischen Geschosse dienen der Büronutzung. Der Gebäudeentwurf sieht vor, die nach Westen orientierte Fassade in hochverglaster Transparenz auszubilden. Hierbei steht die visuelle Verbindung zum Außenraum im Vordergrund, wobei sich der verglaste Baukörper als Schnittstelle zur Umwelt gestaltet. Für die Flächenanalyse wurde das Parkgeschoss aus der thermischen Hülle genommen, da keine thermisch konditionierten Räume in diesem Bereich angeordnet sind.

Tabelle 13: Übersicht mit den wesentlichen Gebäudedaten, Geb.6

Gebäude 6			
Fensterflächenanteil	N	43 %	
Fensterflächenanteil	O	57 %	
Fensterflächenanteil	S	35 %	
Fensterflächenanteil	W	64 %	
thermische Gebäudehüllfläche		7 306	m ²
Gebäudevolumen		17 687	m ³
A/V-Verhältnis		0,41	m ⁻¹
Zonierung und Nutzungsprofile			
Büros	45,4 %	2 469,0	m ²
Verkehrswege	22,7 %	1 235,0	m ²
Sanitär	3,7 %	200,1	m ²
Küchen	1,3 %	71,8	m ²
Lager, Archiv	5,7 %	309,7	m ²
Server	0,3 %	15,1	m ²
Technik	9,5 %	516,8	m ²
Besprechung	11,4 %	619,3	m ²
Summe Zonenfläche		5 437	m ²

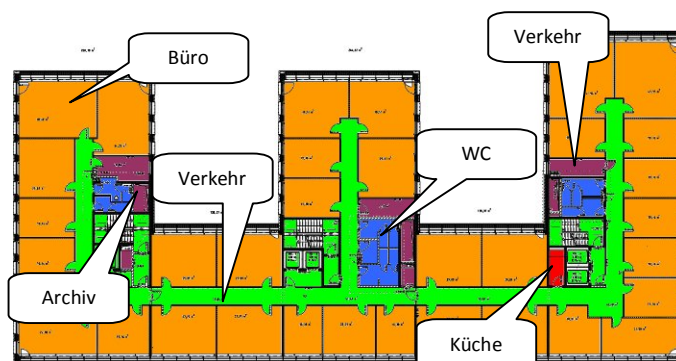


Abbildung 23: Grundriss Regelgeschoss mit Zonierung, Geb.6



Abbildung 20: Rohbauaufnahme des linken Gebäudeflügels



Abbildung 21: Visualisierung der Westfassade

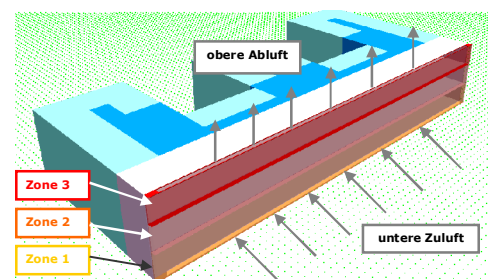


Abbildung 22: Ansicht des Gebäudes aus dem Gebäudemodell TAS (dynamische Simulation)

Die Doppelfassade wurde hinsichtlich ihrer energetischen Eigenschaften mithilfe dynamischer Simulationsrechnungen optimiert.

Das Architekturbüro *Tetra Paul Kayser et Associés* aus Luxemburg zeichnet verantwortlich für den Gebäudeentwurf.

2.6.7 Gebäude 7 – Büro Stümper

Der Gebäudeentwurf zeichnet sich durch eine einfach gehaltene, rechteckige Kubatur aus. Diese beinhaltet fünf Geschosse. Das untere Geschoss beherbergt Technik, Lager und Parkmöglichkeiten; die oberen Geschosse dienen der Büronutzung.

Tabelle 14: Übersicht mit den wesentlichen Gebäudedaten, Geb.7

Gebäude 7			
Fensterflächenanteil	N	22 %	
Fensterflächenanteil	O	49 %	
Fensterflächenanteil	S	17 %	
Fensterflächenanteil	W	55 %	
thermische Gebäudehüllfläche		3 644	m ²
Gebäudevolumen		9 226	m ³
A/V-Verhältnis		0,39	m ⁻¹
Zonierung und Nutzungsprofile			
Büros	67,1 %	1 939,9	m ²
Verkehrswege	11,4 %	330,7	m ²
Sanitär	3,6 %	103,2	m ²
Lager	11,4 %	330,6	m ²
Technik	6,4 %	186,4	m ²
Summe Zonenfläche		2 891	m ²

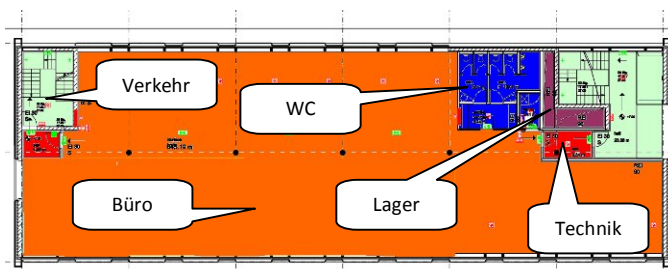


Abbildung 26: Grundriss Regelgeschoss mit Zonierung, Geb.7



Abbildung 24: Fassadenansicht

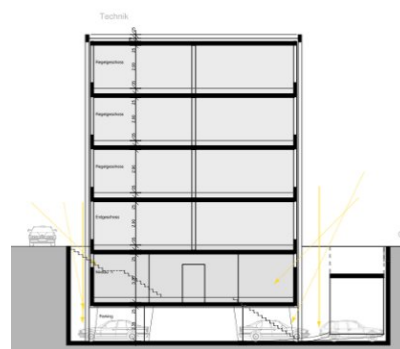


Abbildung 25: Geschoss-Schnitt

Das Architekturbüro *Christian Bauer & Associés Architectes S. A.* aus Luxemburg zeichnet verantwortlich für den Gebäudeentwurf.

2.6.8 Gebäude 8 – Europaschule

Bei der Europaschule handelt es sich um ein Gebäude eines großen Schulkomplexes in Luxemburg, der sich zurzeit in der Planung befindet. Die energetischen Anforderungen an das gesamte Projekt entsprechen dem Leitfaden für Lyzeen⁵ der Administration Bâtiment Public in Luxemburg. Die Wärmeversorgung aller Gebäude wird über eine zentrale Holz hackschnitzelanlage realisiert.

Tabelle 15: Übersicht mit den wesentlichen Gebäudedaten, Geb.8

Gebäude 8			
Fensterflächenanteil	N	44 %	
Fensterflächenanteil	O	63 %	
Fensterflächenanteil	S	41 %	
Fensterflächenanteil	W	70 %	
thermische Gebäudehüllfläche		15 892	m ²
Gebäudevolumen		38 838	m ³
A/V-Verhältnis		0,41	m ⁻¹
Zonierung und Nutzungsprofile			
Klassenräume	53,2 %	6 356,8	m ²
Büros	3,1 %	375,9	m ²
Verkehrswege	32,6 %	3 899,7	m ²
Lager	2,9 %	350,8	m ²
Bibliothek	3,3 %	394,8	m ²
WC und Sanitär	3,2 %	379,7	m ²
Besprechung	1,6 %	194,1	m ²
Summe Zonenfläche		11 952	m ²



Abbildung 27: Lageplan; das rot eingefärbte Gebäude entspricht dem analysierten



Abbildung 28: Ansichten

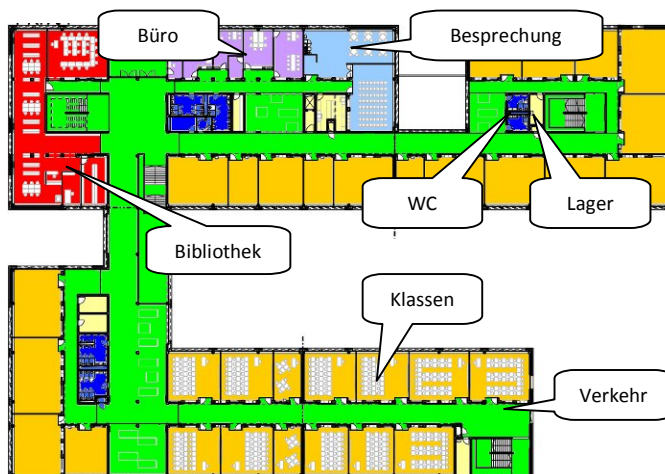


Abbildung 30: Grundriss Regelgeschoss mit Zonierung, Geb.8

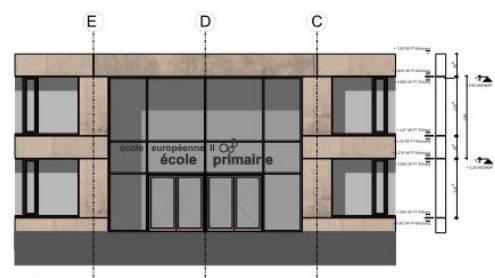


Abbildung 29: Fassadendetail

Das Architekturbüro *Bureau d'Architecte Petit Michel* aus Luxemburg zeichnet verantwortlich für den Gebäudeentwurf.

⁵ Leitfaden für „Energieeffiziente Lycées“; Planungsgrundlage seitens Bâtiment Public in Luxemburg. Es wird unter anderem eine stringente Energieeinsparung durch verbesserten Wärmedämmstandard und eine „mechanisch-kontrollierte“ Fensterlüftung in den Hauptnutzräumen berücksichtigt.

2.6.9 Gebäude 9 – Mairie Bertrange

Bei Gebäude 9 handelt es sich um einen Anbau an ein bestehendes Gemeindehaus (Mairie), das im Zuge dieser Erweiterung auch energetisch modernisiert werden soll. Die Analyse der Gebäudehüllflächen bezieht sich lediglich auf den Neubauteil, der sich zum Teil auch in den Bestandsbau integriert.

Tabelle 16: Übersicht mit den wesentlichen Gebäudedaten, Geb.9

Gebäude 9			
Fensterflächenanteil	N	47 %	
Fensterflächenanteil	O	44 %	
Fensterflächenanteil	S	27 %	
Fensterflächenanteil	W	30 %	
thermische Gebäudehüllfläche		2 526	m ²
Gebäudevolumen		7 197	m ³
A/V-Verhältnis		0,35	m ⁻¹
Zonierung und Nutzungsprofile			
Einzelbüros	31,8 %	754,7	m ²
Besprechung	11,0 %	260,4	m ²
Küche, Vorbereitung, Lager	2,2 %	52,3	m ²
Ausstellungsraum	5,1 %	120,3	m ²
WC und Sanitärräume	4,2 %	99,6	m ²
Verkehrsflächen	23,6 %	559,1	m ²
Lager, Technik, Archiv	22,1 %	524,3	m ²
Summe Zonenfläche		2 371	m ²

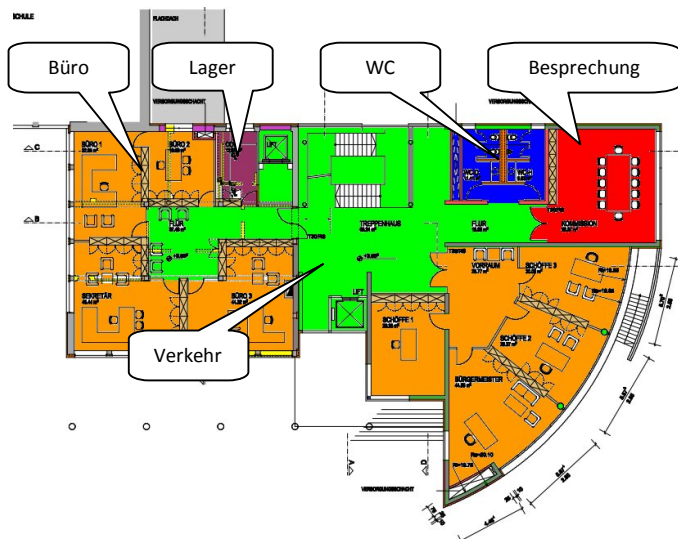


Abbildung 32: Grundriss Regelgeschoss mit Zonierung, Geb.9



Abbildung 31: Ostansicht des Gebäudes



Abbildung 32: Südansicht des Gebäudes



Abbildung 31: Schnitt

Das Architekturbüro *Otmar Adames* aus Luxemburg zeichnet verantwortlich für den Gebäudeentwurf.

2.6.10 Gebäude 10 – Maison Relais

Die Maison Relais entspricht von der Nutzung her am ehesten einer Kindertagesstätte. Das Gebäude soll in Niedrigenergiebauweise nach den in Luxemburg geltenden Kriterien⁶ realisiert werden. Es handelt sich um einen zweigeschossigen Bau mit ähnlich angeordneten Nutzstrukturen auf jeder Etage. Die Wärmeversorgung erfolgt über eine zentrale Holz hackschnitzelanlage. Der Gebäudeentwurf sieht eine Erweiterungsmöglichkeit an der seitlichen Südfassade vor.

Tabelle 17: Übersicht mit den wesentlichen Gebäudedaten, Geb.10

Gebäude 10			
Fensterflächenanteil	N	20 %	
Fensterflächenanteil	O	64 %	
Fensterflächenanteil	S	59 %	
Fensterflächenanteil	W	12 %	
thermische Gebäudehüllfläche		2 406	m ²
Gebäudevolumen		4 693	m ³
A/V-Verhältnis		0,51	m ⁻¹
Zonierung und Nutzungsprofile			
Klassenräume	44,4 %	558,1	m ²
Verkehrswege	20,9 %	262,7	m ²
Küche/Kantine	7,6 %	96,0	m ²
Lager, Technik, Archiv	6,0 %	75,7	m ²
WC-Sanitär	7,8 %	97,6	m ²
Technik	6,1 %	76,3	m ²
Büro	4,5 %	57,1	m ²
Besprechung	2,6 %	32,4	m ²
Summe Zonenfläche		1 256	m ²

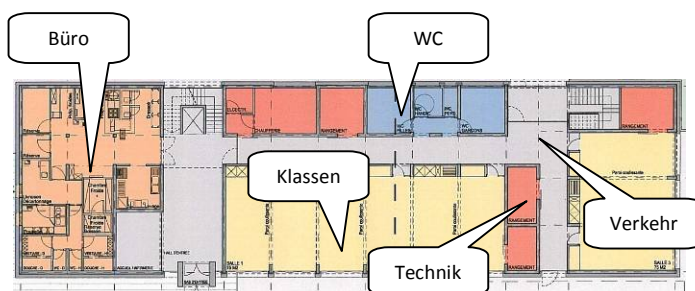


Abbildung 35: Grundriss Regelgeschoss mit Zonierung, Geb.10



Abbildung 33: Ansichten des Gebäudes

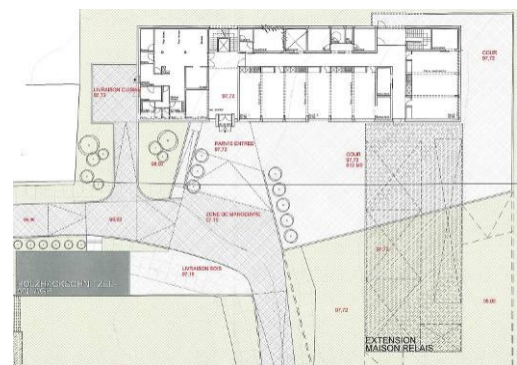


Abbildung 34: Lageplan

Das Architekturbüro *Atelier d'Architecture Beng S. A.* aus Luxemburg zeichnet verantwortlich für den Gebäudeentwurf.

⁶ Der Niedrigenergiestandard nach Luxemburger Kriterien wird durch einen maximalen Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser von 50 kWh/ (m²a) und einem maximalen Strombedarf für Beleuchtung, Lüfterstrom und Hilfsenergie zur Wärmeversorgung von maximal 15 kWh/(m²a) definiert.

2.6.11 Gebäude 11 – Schwimmbad Belair

Beim Projekt Schwimmbad Belair handelt es sich um einen im Bau befindlichen Sportkomplex mit einer Sporthalle und einem Schwimmbad. Zur Flächenanalyse wird das Schwimmbad herangezogen, da dieser Baukörper in den Hauptnutzungsbereichen sehr hohe Glasanteile aufweist. Vor allen verglasten Fassaden ist aus ästhetischen Beweggründen ein starres Lamellensystem anzunehmen. Zusätzlich soll dieses System auch als statische Verschattung dienen.

Tabelle 18: Übersicht mit den wesentlichen Gebäudedaten, Geb.11

Gebäude 11			
Fensterflächenanteil	N	49 %	
Fensterflächenanteil	O	64 %	
Fensterflächenanteil	S	100 %	
Fensterflächenanteil	W	77 %	
thermische Gebäudehüllfläche		5 224	m ²
Gebäudevolumen		12 532	m ³
A/V-Verhältnis		0,42	m ⁻¹

Zonierung und Nutzungsprofile			
Becken	41,4 %	949,9	m ²
Büros	1,6 %	37,8	m ²
Sanitär, Umkleide	12,1 %	277,1	m ²
Verkehrswege	31,1 %	711,8	m ²
Lager	4,5 %	104,0	m ²
Besprechung	2,6 %	59,0	m ²
sonstige Aufenthaltsräume	6,6 %	152,4	m ²
Summe Zonenfläche		2 292	m ²

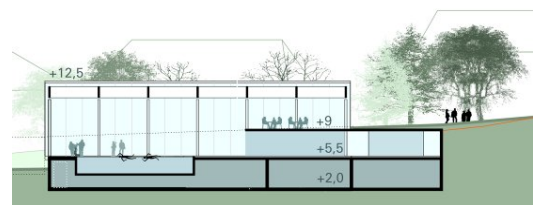


Abbildung 38: Schnitt des Schwimmbades



Abbildung 39: Fassade des Schwimmbades

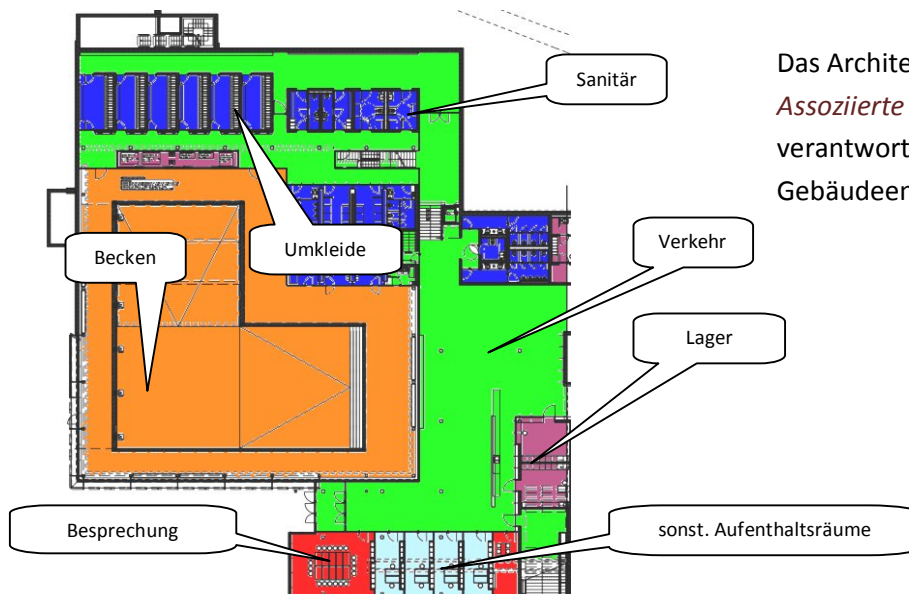


Abbildung 36: Grundriss Regelgeschoss mit Zonierung, Geb.11

Das Architekturbüro *Auer-Weber + Assoziierte* aus Stuttgart zeichnet verantwortlich für den Gebäudeentwurf.

2.7 Ergebnis einfaches Verfahren

Für die in Abschnitt 2.6 beschriebenen Gebäude wird der Fehler durch eine vereinfachte nettogrundflächengewichtete Verteilung der Gebäudehüllfläche ermittelt. Die Auswertung erfolgt nach der in Abschnitt 2.5 beschriebenen Methode. Für die beschriebenen Gebäude wird jeweils der relative Fehler bei der Flächenzuweisung berechnet. Betrachtet werden die wesentlichen Bauteiltypen Außenwände, der obere und untere Gebäudeabschluss sowie alle Fenster. Bei den transparenten Bauteilen erfolgt eine zusätzliche Aufteilung je Himmelsrichtung, da Fehler bei der orientierten Fensterflächenzuweisung hohe Auswirkungen auf den Energiebedarf (Heizen, Kühlen und Beleuchtungsstrom) haben. Der summierte relative Fehler über ein Bauteil und ebenso über alle Zonen muss null sein, da sich die Summe der Gebäudehüllflächen nicht ändert.

Im Folgenden wird die Fehleranalyse beispielhaft für Gebäude 1 „Büro LuxRef“ gezeigt und anschließend die Ergebnisse der Analyse aller Gebäude zusammengefasst und diskutiert. Die Einzelanalysen der übrigen zehn Gebäude befinden sich im Anhang unter Abschnitt A.2.

2.7.1 Fehleranalyse, Gebäude 1 – Büro LuxRef

Tabelle 19 und Abbildung 37 zeigen die Berechnungsergebnisse für das Gebäude 1. Positive Zahlenwerte sind als „zu wenig zugewiesene“ Flächen zu interpretieren. Für die Zone „Einzelraumbüro“ ist der Fehler der Zuweisung transparenter Flächen mit 48,6 % im Süden hoch. Im Gebäudeentwurf ist die gesamte Südfassade der Bürofläche zugeordnet. Durch die vereinfachte Flächenzuweisung erhalten alle anderen Zonen, in Abhängigkeit von ihrer Größe, ebenfalls eine Südfensterfläche. Dieser Flächenanteil wird der Bürozone entsprechend weniger zugewiesen. Da die opaken Wandflächen nicht nach der Orientierung differenziert sind und der Fensterflächenanteil in der Bürozone am größten ist, ergibt sich für die Zone „Einzelraumbüro“ ein geringer Fehler für die Wände von 3,8 %.

Tabelle 19: Fehlerauswertung bei der vereinfachten Flächenzuweisung, Geb.1

	Einzelraumbüro	Verkehrsflächen	Lager, Technik, Archiv	Küche	WC und Sanitärräume
Wände	3,8 %	-11,1 %	11,7 %	-3,3 %	-1,0 %
Dach	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Boden	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Fenster, Nord	-7,0 %	-20,7 %	-12,9 %	35,9 %	4,7 %
Fenster, Ost	13,8 %	14,1 %	-12,9 %	-8,6 %	-6,4 %
Fenster, Süd	48,6 %	-20,7 %	-12,9 %	-8,6 %	-6,4 %
Fenster, West	27,5 %	0,3 %	-12,9 %	-8,6 %	-6,4 %

In folgender Abbildung wird der bauteilbezogene Fehler $F_{i,\pm}$ nach Abschnitt 2.5 dargestellt. Das Bürogebäude weist einen geringen Fehler bei den Außenwänden auf, was vor allem auf der homogenen Anordnung der Zonen, bezogen auf die Lage der Außenwandflächen, beruht. Der Fehler bei der Zuweisung der Dach- und Fußbodenfläche beträgt 0 %, weil die 3 Geschosse des Modellgebäudes genau gleich aufgebaut sind und somit auch jede Zone einen gleichmäßigen Anteil der Dach-/Fußbodenfläche zur jeweiligen Zonenfläche erhält. Da das vereinfachte Verfahren die Bauteilflächen in Abhängigkeit der Größe der Zonnennutzfläche verteilt, stimmt in diesem Fall die vereinfacht zugewiesene Bauteilfläche mit der der Zone zugehörigen Bauteilfläche exakt überein,

womit der relative Fehler 0 % ist. Der relative Fehler für die transparenten Bauteile beträgt bis zu 50 %.

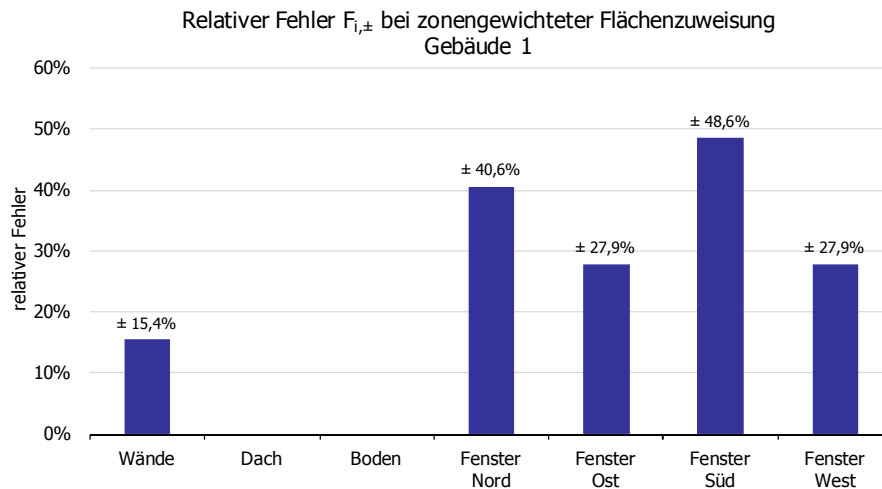


Abbildung 37: Relativer Fehler bei der Flächenzuweisung nach dem vereinfachten Verfahren, Geb.1

2.7.2 Zusammenfassung

Folgende Abbildungen zeigen die Fehlerausprägung aller analysierten Gebäude zusammengefasst. In Abbildung 38 werden die relativen Fehler je Bauteiltyp gegenübergestellt und ein Mittelwert über die analysierten Gebäude gebildet (jeweils der rechte Balken einer Säulengruppe). Die Bandbreite der Fehlerausprägung lässt sich für alle Gebäude gemittelt von ± 17 bis ±42 % angeben.

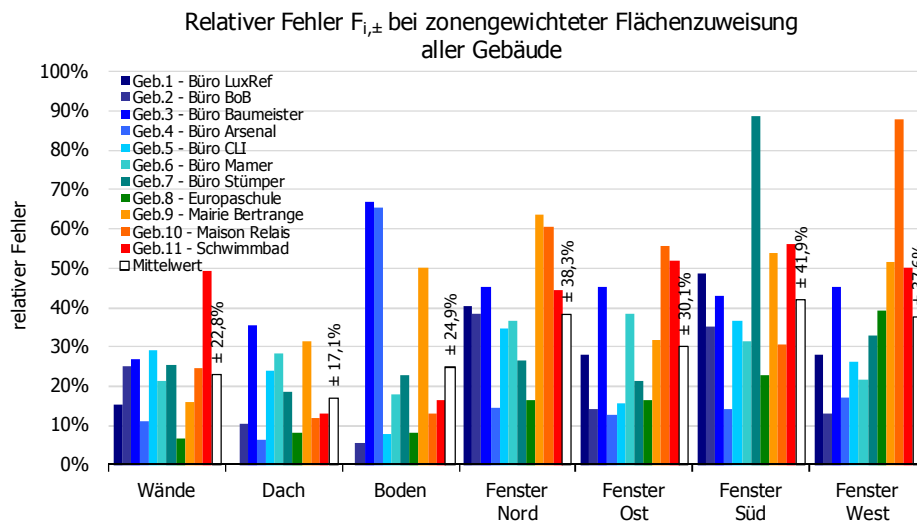


Abbildung 38: Mittelwert des relativen Fehlers bei zonengewichteter Flächenzuweisung, alle Gebäude

Abbildung 39 zeigt den Mittelwert der berechneten relativen Abweichungen der Gebäude für das jeweilige Bauteil als Positiv-/Negativ-Abweichung. Bei den Fensterflächen ergeben sich tendenziell höhere Fehler, weil bei der Verteilung der Fensterflächen auf die Zonen nach dem *einfachen Verfahren* die Orientierung unberücksichtigt bleibt.

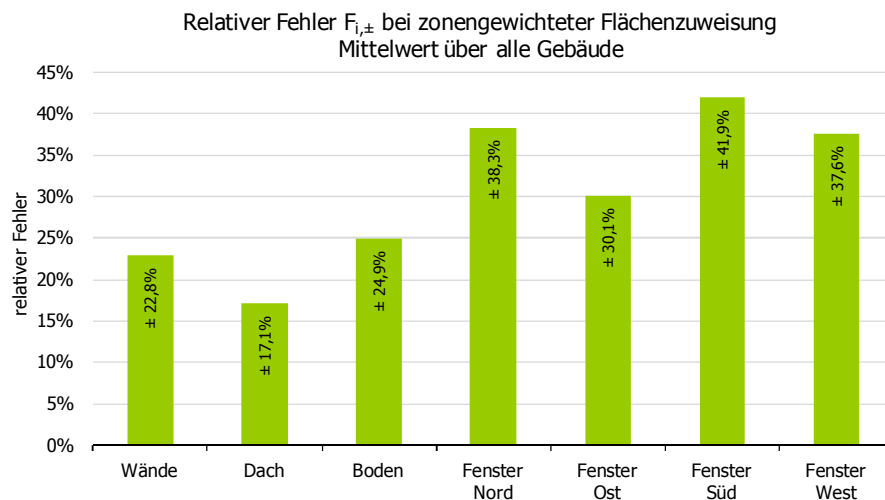


Abbildung 39: Mittelwert des relativen Fehlers bei zonengewichteter Flächenzuweisung, Mittelwert aller Gebäude

Die durchgeführten Analysen zeigen, dass eine Verteilung der Gebäudehüllflächen in Abhängigkeit von der Zonengröße zu Fehlern unterschiedlicher Ausprägung führt. Die mittleren relativen Fehler sind vor allem bei der Zuweisung der Fensterflächen deutlich. Diese Tatsache ist vor allem für den Kühlenergiebedarf und auch für den Strombedarf für Beleuchtung von Bedeutung. Bei der Analyse der transparenten Bauteile lässt sich allgemein feststellen, dass insbesondere die Hauptnutzzonen eines Gebäudes oftmals zu wenig Fensterfläche erhalten. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Anordnung von Fensterflächen in einem Gebäude in der Regel auch mit der Nutzung einhergeht. So werden z. B. Büroräume nutzungsbedingt mit mehr Fensterfläche ausgestattet als beispielsweise ein Sanitärbereich oder ein Serverraum. Ebenso gibt es je nach Gebäudeentwurf typische innen liegende Nutzungsbereiche, wie Flure (Verkehrsbereiche), mit oftmals weniger Fensterfläche. Die Anordnung von Räumen oder Zonen in gewissen Bereichen von Gebäuden führt ebenfalls dazu, dass größere Fehler bei der orientierten Flächenverteilung gemacht werden. Darüber hinaus werden beim *einfachen Verfahren* auch für thermisch nicht konditionierte oder ganz innen liegende Zonen Bauteilflächen generiert, was zu einer starken Verringerung der zugewiesenen Flächen in den übrigen Zonen führen kann. Bei der Auswertung aller Gebäude konnten die in Tabelle 20 aufgeführten wesentlichen Einflussfaktoren ausgemacht werden, die zu großen Unschärfen bei der Flächenverteilung geführt haben.

Tabelle 20: wesentliche Geometrieinflussfaktoren bei der nettogrundflächenabhängigen Hüllflächenverteilung

1	Zonen, in denen ein Bauteiltyp nicht vorkommt
2	überwiegend oder ganz innen liegende Zonen
3	Zonen mit einem großen Anteil am Gebäudevolumen, aber geringem Anteil an der Gesamtzonenfläche; dies betrifft insbesondere Zonen mit stark von der mittleren Raumhöhe abweichenden Raumhöhen
4	Einbeziehung von thermisch nichtkonditionierten Zonenflächen in die Verteilung (z. B. Parkhäuser), wenn diese Zonen nicht ausdrücklich bei der Verteilung unberücksichtigt bleiben
5	Anbau an Bestandsgebäude oder anderweitige Verringerung thermischer Gebäudehüllflächen
6	Zonen, die bedingt durch den Gebäudeentwurf oder infolge der Nutzungsanforderungen wesentlich in einer bestimmten Orientierung oder in einem Bereich eines Gebäudes vorkommen
7	Zonen mit besonders großen oder kleinen Fensterflächenanteilen und exponierter Anordnung

2.8 Erweitertes Verfahren

Im vorigen Abschnitt wurde gezeigt, inwieweit eine Korrektur der vereinfachten Flächenzuweisung notwendig sein kann, da zum Teil deutliche Abweichungen bei Zuteilung der Hüllflächen entstehen können. Diese erfolgt beim *erweiterten Verfahren* durch Modifikation der Zonenfläche in Abhängigkeit vom tatsächlichen Vorkommen eines opaken oder transparenten Bauteils in einer Zone. Wie in Abschnitt 2.3 eingeführt, handelt es sich um ein Verfahren, welches von der Zonebene aus erfolgt. Die Beeinflussung der Verteilung wird durch eine einfache Einschätzung, in welchem Umfang ein Bauteil in einer Zone vorhanden ist, erreicht. Das Verfahren wird so gestaltet, dass die in Tabelle 20 aufgeführten wesentlichen Geometrieinflussfaktoren berücksichtigt werden können.

2.8.1 Beschreibung des Korrekturverfahrens

Auf Zonebene werden unterschiedlich hohe Anteile einer Bauteilkategorie über Wichtungsfaktoren $f_{i,Z}$ berücksichtigt. Die für die Flächenverteilung herangezogene gewichtete Zonenfläche $A_{N,i,Z}$ wird nach Gleichung (11) bestimmt. Die Zonenflächen $A_{B,Z}$ werden mit den Wichtungsfaktoren $f_{i,Z}$ multipliziert und so die Anteile bei der automatischen Flächenverteilung beeinflusst. Sofern Teilflächen einer Bauteilkategorie in einzelnen Zonen gesondert definiert werden, sind für die jeweiligen Zonen immer alle Flächen der entsprechenden Bauteilkategorie anzugeben, und es gilt Gleichung (2). Der Wichtungsfaktor $f_{i,Z}$ der Bauteilkategorie i wird in dem Fall $f_{i,Z} = 0$ gesetzt.

$$A_{N,i,Z} = A_{B,Z} \cdot f_{i,Z} \quad (11)$$

mit

$A_{B,Z}$	m ²	Nettogrundfläche der Zone Z
$A_{N,i,Z}$	m ²	gewichtete Zonenfläche der Zone Z für die Bauteilkategorie i
$f_{i,Z}$	-	Wichtungsfaktor für die Bauteilkategorie i der Zone Z

Durch die Gewichtung einzelner Zonenflächen ändert sich auch die Summe der gewichteten Zonenflächen $A_{N,i,ges}$. Diese wird bei der Aufschlüsselung und Zuteilung der Bauteilfläche über eine Verhältnisbildung nach Gleichung (1) berücksichtigt. Das bedeutet, dass sich durch eine synthetisch vergrößerte oder verkleinerte Zonenfläche über Wichtungsfaktoren die gesamt zu verteilende Bauteilfläche $A_{i,ges}$ nicht ändert. Es wird lediglich die Verteilung der Bauteilflächen zu den gewichteten Zonen variiert. Die Auswahl der Wichtungsfaktoren soll hierbei so einfach wie möglich ausfallen, um zum einen die Effizienz des vereinfachten Verfahrens zu erhöhen und zum anderen die Fehler durch ungünstig ausgewählte Faktoren zu minimieren.

Prinzipiell kann die Einschätzung nach dem in Abschnitt 2.3 gezeigten Modell erfolgen. Die Einschätzung einer Flächenwichtung bzw. -zugehörigkeit kann in verschiedenen Detaillierungsgraden erfolgen. Dieser Detaillierungsgrad reicht von der Frage „Bauteil ist in einer Zone Z vorhanden: ja oder nein“ bis zu einem beliebig feinstufigen Anteil an Bauteilfläche, bezogen auf die Zonnennutzfläche. Es ist offensichtlich, dass eine Einschätzung nur bis zu einem bestimmten Detaillierungsgrad objektiv durch einen Nutzer möglich ist. Dies soll auf der Grundlage von Gebäudeplänen bis zur Ebene C der in Abbildung 40 dargestellten Einstufungspyramide (gering, mittel, hoch) erfolgen. Alle weiteren Einstufungen erfordern zumindest eine überschlägige Berechnung.

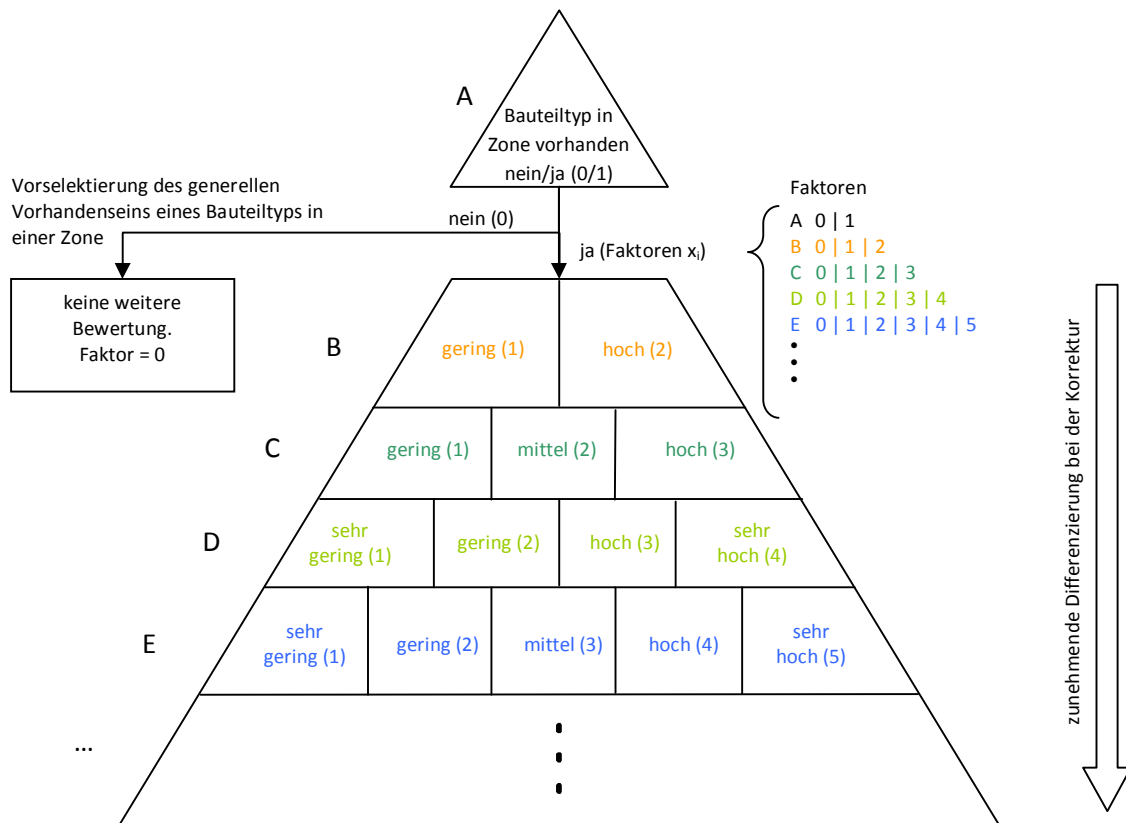


Abbildung 40: Einschätzung des Anteils einer Bauteilfläche in einer Zone

Im nächsten Abschnitt wird überprüft, inwieweit sich der Fehler mit einem Detaillierungsgrad der Korrekturfaktoren bis zur Ebene C reduzieren lässt und ob dieser Detaillierungsgrad ausreichend ist, um eine signifikante Fehlerreduktion zu erreichen.

2.8.2 Vorgehensweise bei der Berechnung

Um die bestmögliche Kombination der Wichtungsfaktoren in Abhängigkeit von deren Detaillierungsgrad zu erhalten, müssen zuerst alle möglichen Variationen V_k^n und deren relative Fehler, wie in Abschnitt 2.5 beschrieben, ermittelt werden. Für n mögliche Wichtungsfaktoren und k Zonen ergibt sich folgende Anzahl an Variationen V_k^n .

$$V_k^n = n^k \quad (n = 0,1,2,\dots,i), (k = 0,1,2,\dots,z) \quad (12)$$

mit V_k^n n^k mögliche Variationen bei n Faktoren und k Zonen

Beispiel: bei $k = 2$ Zonen und $n = 2$ Faktoren (0 und 1) folgt:

$$V_k^n = n^k = 2^2 = 4 \text{ mögliche Variationen}$$

$$V_k^n = \begin{pmatrix} V_{j=1} \\ V_{j=2} \\ V_{j=3} \\ V_{j=4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Um alle n^k möglichen Variationen zu berechnen, wird ein Rechenmodell verwendet, mit welchem alle n^k -Kombinationen mit dem dazugehörigen Fehler ermittelt werden können. Alle Kombinationen, welche sich $n = 0, 1, \dots, i$ Faktoren bedienen, werden nach ihrem maximalen Wichtungsfaktor x in Mengen G_x zusammengefasst und anschließend der minimale relative Fehler $^{min}F_{n,k,x}$ einer Menge G_x an Variationen ermittelt. Der minimale Fehler $^{min}F_{n,k,x}$ jeder Menge G_x beschreibt den geringsten Fehler, den man mit einer bestimmten Anzahl an Wichtungsfaktoren erreichen kann.

$$G_x = \{V_k^n \mid \max(n) \leq x\} \quad (x = 0, 1, 2, \dots, i)$$

mit

$$\forall V_k^n \exists F_{n,k} \rightarrow \forall G_x \exists F_x = \{F_{n,k}\}$$

und

$$\forall G_x \exists ^{min}F_{n,k,x} \mid ^{min}F_{n,k,x} \leq F_{n,k} \forall F_{n,k} \in F_x$$

mit

- G_x Menge an Variationen V_k^n , die maximal den Faktor x aufweisen
- $F_{n,k}$ relativer Fehler $F_{i,z}$ der jeweiligen Variation V_k^n
- F_x Menge an Fehler $F_{n,k}$, die genau der Menge G_x an Variationen zugeordnet werden kann
- $^{min}F_{n,k,x}$ kleinster Fehler, der einer Menge G_x an Variationen zugeordnet werden kann

Umrechnung ganzzahliger Faktoren x_i in Wichtungsfaktoren $f_{i,z}$

Im Rechenmodell werden die Faktoren zur Modifikation der Zonenfläche in Ganzzahlen variiert. Je höher die Anzahl an Faktoren ist, desto feiner kann eine Abstufung erfolgen. Die effektive Vergrößerung der Zonenflächen über Wichtungsfaktoren, in Abhängigkeit dieser ganzzahligen Faktoren, kann nach folgender Gleichung ermittelt werden und ist in Tabelle 21 für unterschiedliche Kombinationen von Wichtungsfaktoren aufgezeigt.

$$f_{i,z} = x_i \cdot \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \right)^{-1} \quad (13)$$

mit

- n Anzahl der möglichen ganzzahligen Faktoren in einer Ebene, für $n > 0$
- x_i Höhe des jeweiligen ganzzahligen Faktors n in einer Ebene, mit Index i für unterschiedliche Faktoren

Tabelle 21: Umrechnung ganzzahliger Faktoren x_i des Rechenmodells in effektive Wichtungsfaktoren $f_{i,z}$ ⁷

Ebene A, x_i bei $n = 1$	1						
$f_{i,z}$	1,00						
Ebene B, x_i bei $n = 2$	1	2					
$f_{i,z}$	0,67	1,33					
Ebene C, x_i bei $n = 3$	1	2	3				
$f_{i,z}$	0,50	1,00	1,50				
Ebene D, x_i bei $n = 4$	1	2	3	4			
$f_{i,z}$	0,40	0,80	1,20	1,60			
Ebene E, x_i bei $n = 5$	1	2	3	4	5		
$f_{i,z}$	0,33	0,67	1,00	1,33	1,67		
Ebene F, x_i bei $n = 6$	1	2	3	4	5	6	
$f_{i,z}$	0,29	0,57	0,86	1,14	1,43	1,71	
Ebene G, x_i bei $n = 7$	1	2	3	4	5	6	7
$f_{i,z}$	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75

⁷ Die Angabe von 3 Wichtungsfaktoren ist ohne die Berücksichtigung eines generellen Nichtvorhandenseins eines Bauteils. Der effektive Wichtungsfaktor $f_{i,z}$ wird dann zu 0 gesetzt und nicht in die Berechnung der effektiven Wichtungsfaktoren einbezogen.

Nach Gleichung (11) und (1) erfolgt die Verteilung der Bauteilflächen in Abhängigkeit der Zonengröße, in Relation zur gesamt vorhandenen Zonenfläche eines Gebäudes. Vergrößert oder verkleinert man eine Zonenfläche über Wichtungsfaktoren, so hat dies unweigerlich Auswirkungen auf die Gesamtverteilung der Bauteilflächen bei unterschiedlichen Zonengrößen. Je größer der Anteil einer Zone an der gesamten Zonenfläche des Gebäudes ist, desto größer wird, bei gleichbleibendem Wichtungsfaktor, der Anteil der gewichteten Zonenfläche $A_{N,i,Z}$ an der gesamt gewichteten Zonenfläche $A_{N,i,ges}$.

Überträgt man diesen Zusammenhang auf die Verteilung der Fläche eines Bauteils auf eine Zone, so spielt dabei auch die Wichtung anderer Zonen in einem Gebäude eine zentrale Rolle. Bei der ungewichteten Bauteilflächenverteilung entspricht der Anteil des zugewiesenen Bauteils immer dem Anteil der Zonenfläche zur Gebäudezonenfläche. Es besteht ein linearer Zusammenhang zwischen Zonengröße und Verteilung der Bauteilflächen. Bei einer Wichtung der Zonenfläche ist diese Linearität nicht mehr gegeben, und die Verteilung wird auch abhängig von der relativen Zonengröße, bezogen auf die gesamte Zonenfläche.

Vergrößert man durch Wichtung eine Zone, so sollten andere Zonen eine geringere Gewichtung erfahren, da sich die zu verteilende Gebäudehüllfläche nicht ändert. Dies spielt bei der Einschätzung über die Höhe des Vorhandenseins eines Bauteils in einer Zone eine entscheidende Rolle. Für das Beispiel $n = 3$ Wichtungsfaktoren ($f_{i,Z} = 0,5/1,0/1,5$) wird die Abhängigkeit der Modifizierung einer Zonenfläche in Bezug auf die Gebäudegröße aufgezeigt (vgl. Abbildung 41, Abbildung 43, Abbildung 45 und Abbildung 47).

Abbildung 41 zeigt den Einfluss einer einseitigen Wichtung. Gewichtet man beispielsweise eine Bürozone mit einem Flächenanteil von 50 % an $A_{N,i,ges}$, mit den Faktoren 0,5 (wenig Bauteilfläche vorhanden) oder 1,5 (viel Bauteilfläche vorhanden) und lässt alle anderen Zonen im Gebäude ungewichtet ($f_{i,Z} = 1,0$, reine nettogrundflächenabhängige Verteilung der Hüllflächen), so erhält diese Zone bei einem Faktor von 1,5 etwa 10 % mehr und bei einem Faktor von 0,5 etwa 17 % weniger Bauteilfläche. Dies würde allerdings bedeuten, dass die Wichtung aller anderen Zonen in Summe nicht korrekt erfolgte, da der Mehrzuweisung keine Minderzuweisung von Flächen in anderen Zonen gegenübersteht.

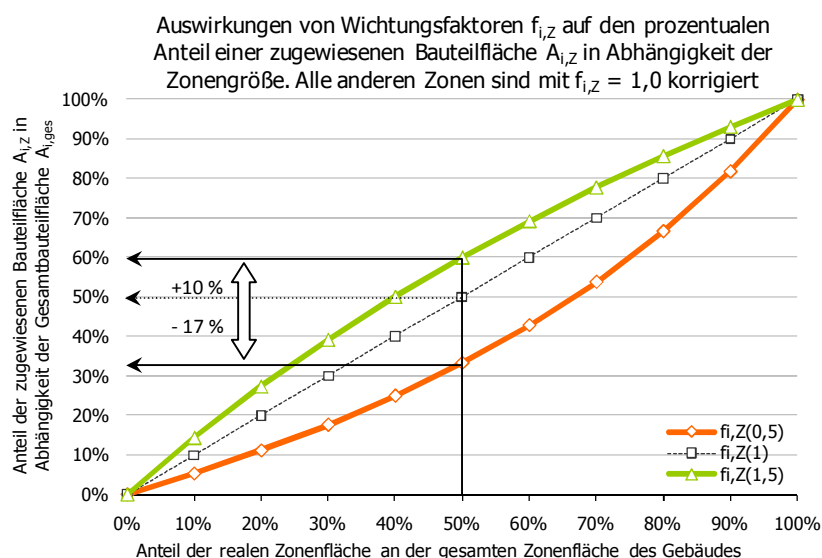


Abbildung 41: Einfluss der Höhe einer Zonenfläche auf die Zuweisung von Bauteilflächen in Abhängigkeit von Wichtungsfaktoren. Alle anderen Zonen sind mit $f_{i,Z} = 1,0$ korrigiert.

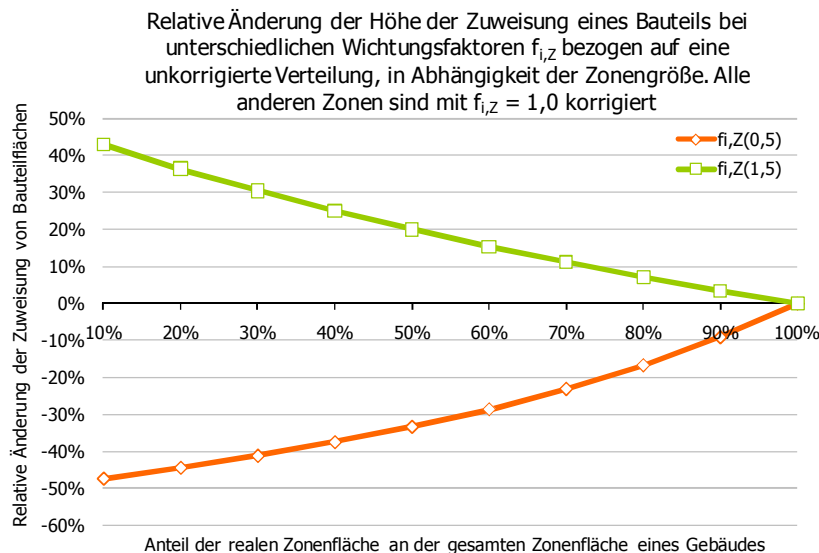


Abbildung 42: Einfluss der Höhe einer Zonenfläche auf die relative Änderung der Zuweisung von Bauteilflächen in Abhängigkeit von Wichtungsfaktoren. Alle anderen Zonen sind mit $f_{i,z} = 1,0$ korrigiert.

In folgender Abbildung wird der Fall gezeigt, in dem ebenfalls eine Bürozone mit einem Flächenanteil von 50 % an der Gebäudezonenfläche einen Wichtungsfaktor von 1,5 für die Zuweisung eines beliebigen Bauteils erhält. Alle anderen Zonen werden mit dem Faktor 0,5 gewichtet. Dies trägt dem erhöhten Flächenaufkommen der Bürozone Rechnung. In dem Fall reduziert sich die Gesamtsumme der gewichteten Zonenflächen und der Anteil der höher gewichteten Bürozone an der Gesamtfläche steigt – dementsprechend auch der Anteil eines zugewiesenen Bauteils auf +25 %. Ohne Gewichtung der anderen Zonen läge der vergrößerte Flächenanteil nach Abbildung 41 bei etwa +10 %.

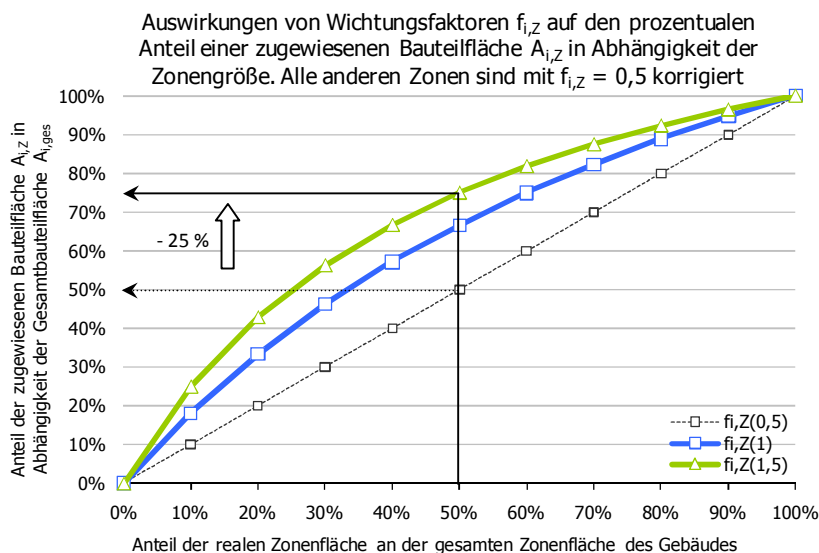


Abbildung 43: Einfluss der Höhe einer Zonenfläche auf die Zuweisung von Bauteilflächen in Abhängigkeit von Wichtungsfaktoren. Alle anderen Zonen sind mit $f_{i,z} = 0,5$ unterkorrigiert.

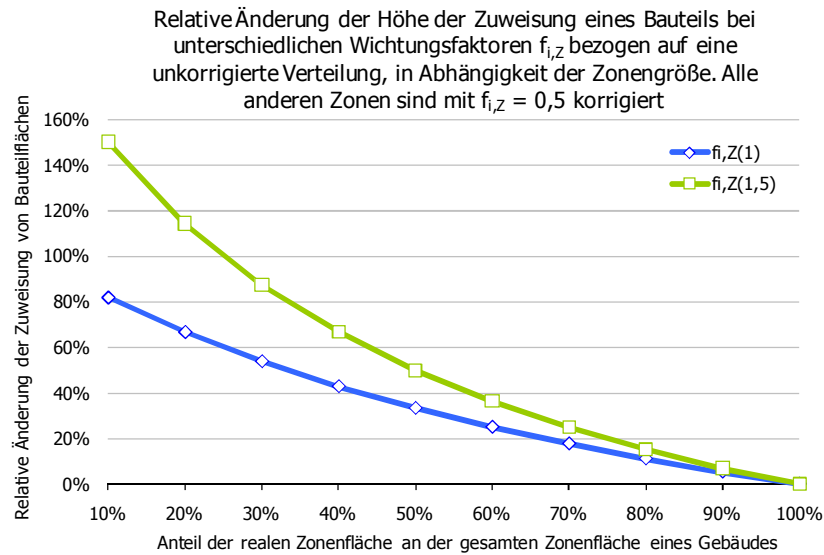


Abbildung 44: Einfluss der Höhe einer Zonenfläche auf die relative Änderung der Zuweisung von Bauteilflächen in Abhängigkeit von Wichtungsfaktoren. Alle anderen Zonen sind mit $f_{i,Z} = 0,5$ unterkorrigiert.

Der Fall, dass die betrachtete Bürozone einen sehr geringen Anteil eines Bauteils aufweist, wird in Abbildung 45 dargestellt. Wird die gleiche Bürozone (50 % von $A_{N,i,ges}$) mit einem Korrekturfaktor von 0,5 gewichtet und alle anderen Zonen mit einem Faktor von 1,5, so erhält die Bürozone etwa 25 % weniger Flächenanteil als bei einer rein nettogrundflächenabhängigen Verteilung der Flächen. Ohne Gewichtung der anderen Zonen läge der reduzierte Flächenanteil nach Abbildung 41 bei etwa -17 %.

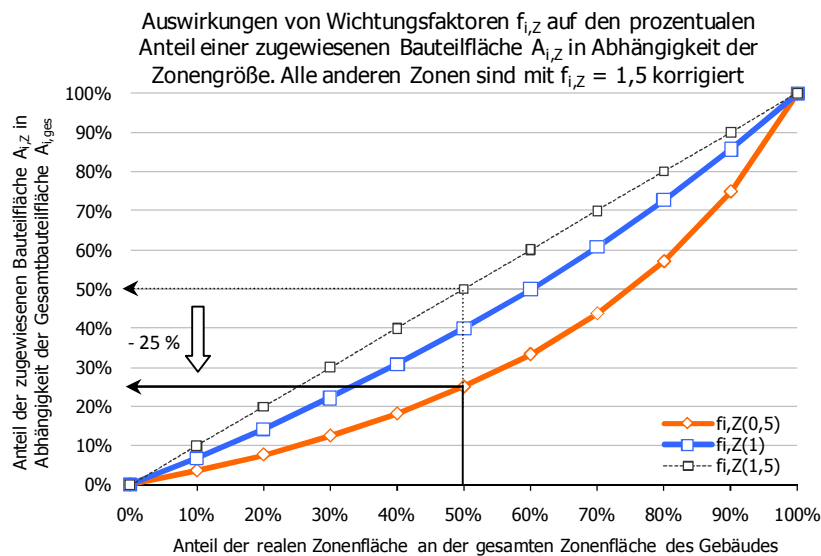


Abbildung 45: Einfluss der Höhe einer Zonenfläche auf die Zuweisung von Bauteilflächen in Abhängigkeit von Wichtungsfaktoren. Alle anderen Zonen sind mit $f_{i,Z} = 1,5$ überkorrigiert.

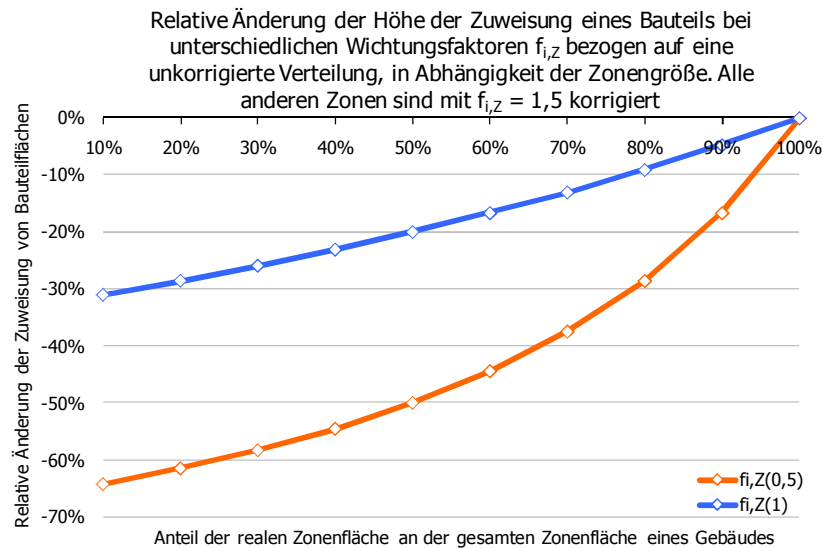


Abbildung 46: Einfluss der Höhe einer Zonenfläche auf die relative Änderung der Zuweisung von Bauteilflächen in Abhängigkeit von Wichtungsfaktoren. Alle anderen Zonen sind mit $f_{i,Z} = 1,5$ überkorrigiert.

Es wird deutlich, dass die Verwendung von Korrekturfaktoren über alle Zonen gleichermaßen erfolgen muss. Es ist in der Regel nicht ausreichend, eine Zone mit einer Gewichtung und damit mit einem höheren Anteil einer Bauteilzuweisung zu versehen, ohne dieser Gewichtung in anderen Zonen Rechnung zu tragen. Ebenso spielt bei der Verteilung der Gebäudehüllflächen der Anteil der Zonengröße von der gesamten Zonengröße eine entscheidende Rolle. Je größer die Zone ist, desto geringer sind die relativen Auswirkungen von Korrekturfaktoren.

Bei der Analyse von Abbildung 41, Abbildung 43 und Abbildung 45 muss berücksichtigt werden, dass diese Darstellung immer von einem Vorhandensein einer Fläche in jeder Zone ausgeht. Einer höheren Gewichtung steht in einer anderen Zone immer auch eine geringere Gewichtung gegenüber. Die Auswirkung des Wichtungsprinzips wird sich in der Praxis weiter erhöhen, wenn Zonenflächen mit null gewichtet werden, weil in diesen Zonen keine Flächenanteile eines Bauteiltyps vorhanden sind. Dementsprechend verringert sich die Summe der Zonenflächen $A_{N,i,ges}$, die zur Verteilung einbezogen werden. Dies führt wiederum zu einem größeren relativen Zonenflächenanteil in einzelnen Zonen, in denen das Bauteil vorkommt, und es erfolgt eine dynamische, indirekte Korrektur einer Bauteilfläche. Abbildung 47 zeigt die Beeinflussung durch das Wichtungsverfahren unter Voraussetzung, dass alle Zonen entsprechend unter- oder überkorrigiert werden.

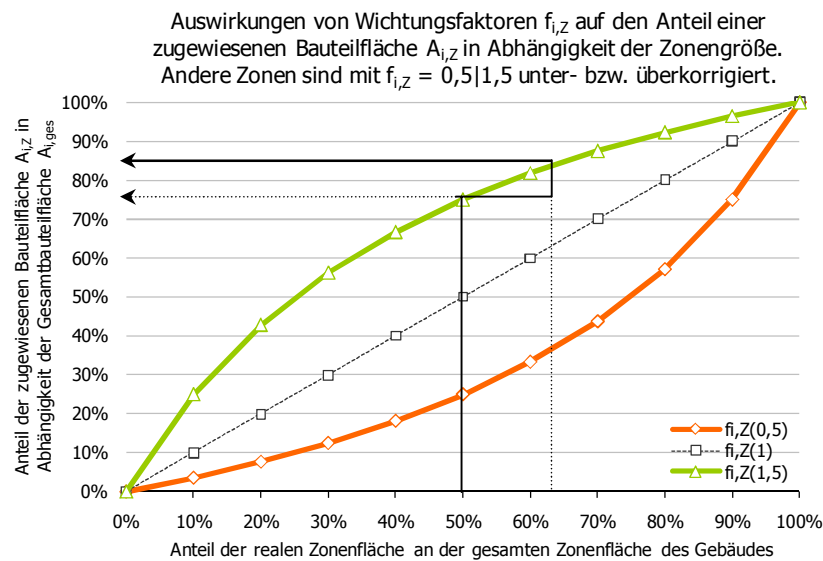


Abbildung 47: Einfluss der Höhe einer Zonenfläche auf die Zuweisung von Bauteilflächen in Abhängigkeit von Wichtungsfaktoren. Alle anderen Zonen sind mit $f_{i,Z} = 0,5$ oder $1,5$ entsprechend unter- oder überkorrigiert. Beispiel: In 20 % der gesamten Zonenfläche kommt ein Bauteiltyp nicht vor. Dadurch erfolgt eine Verschiebung des Zonenflächenanteils von 50 % auf 63 %.

Bauteilflächen und Zonengröße

Auf der Grundlage der 11 Gebäude werden die Zonen mit ihren entsprechenden Flächen analysiert. Abbildung 48 und Abbildung 49 zeigen die realen Bauteilflächenanteile in Bezug zum Anteil der Zonengröße an der Gesamtzonengröße des jeweiligen Gebäudes. Eine einfache lineare Regression zeigt, dass die Zonenfläche durchaus eine Aussagekraft über das Vorkommen eines Bauteils in einer Zone hat, jedoch große Streuungen im Detail vorhanden sind, da Zonen an unterschiedlichen Stellen im Gebäude angeordnet sein können (überwiegend innen oder außen). Vom Standpunkt einer präzisen Flächenzuweisung zeigt dies, dass es erforderlich ist, eine Schärfung bei der Verteilung der Flächen zu ermöglichen. Die Achsen werden in doppellogarithmischer Auflösung gezeigt, um den Verlauf bei kleinen Zonenflächenanteilen besser zu verdeutlichen.

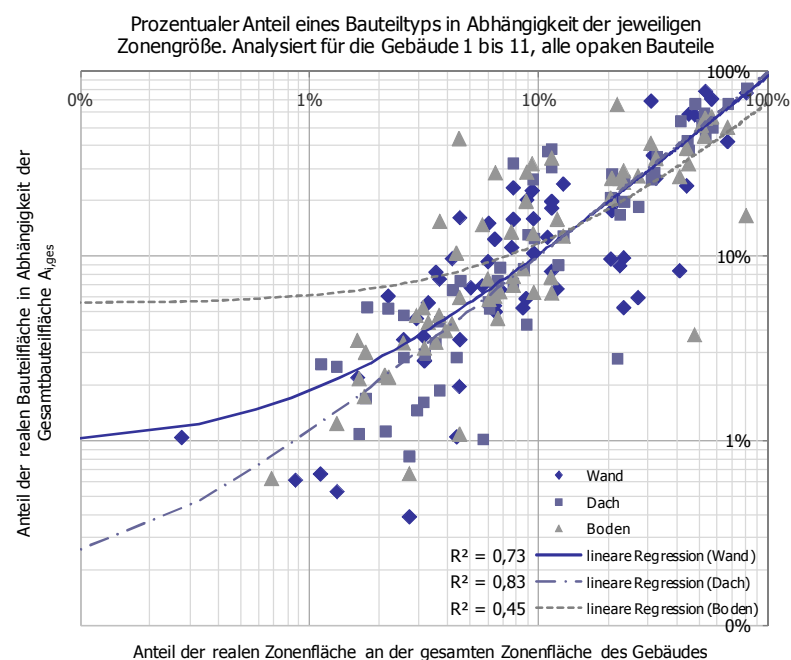


Abbildung 48: Prozentualer Anteil eines Bauteiltyps in Abhängigkeit der Zonengröße; alle opaken Bauteile

Bei den transparenten Bauteilen ergeben sich in Zonen ohne Fensterflächen in einer bestimmten Orientierung oft „Nullwerte“ für Bauteilflächen (nicht im Diagramm dargestellt). Die lineare Regression zeigt hier eine prinzipielle Abhängigkeit von der Zonengröße, jedoch mit einer deutlich größeren Streuung. Wie bei der Untersuchung nach dem *einfachen Verfahren* bereits festgestellt, sind die bauteilbezogenen Fehler bei den transparenten Flächen am größten, was auf diesen Zusammenhang zurückzuführen ist.

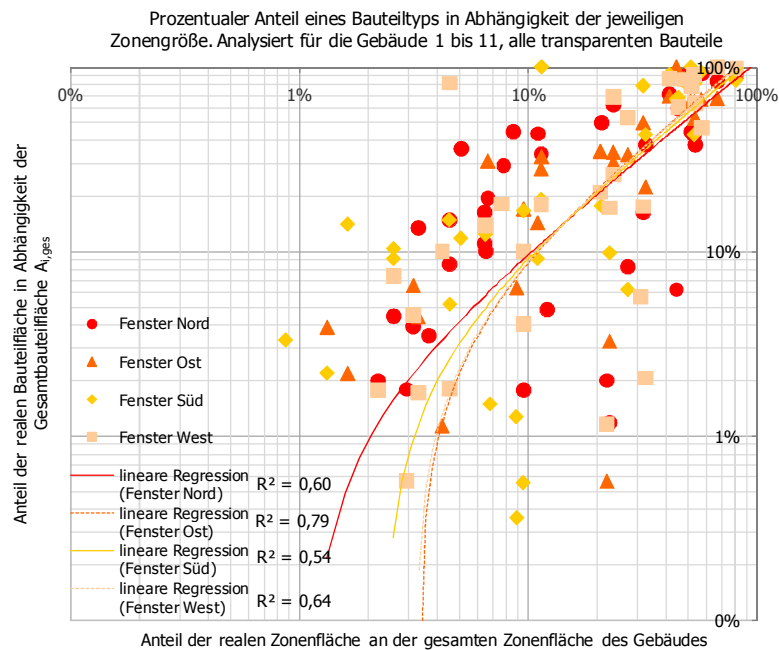


Abbildung 49: Prozentualer Anteil eines Bauteiltyps in Abhängigkeit der Zonengröße; alle transparenten Bauteile

Das erweiterte Verfahren erlaubt eine Beeinflussung bei der Verteilung der Bauteilfläche in Zonen. Die folgenden Untersuchungen zeigen, wie hoch diese Beeinflussung in der Praxis ist und ob dadurch ausreichend präzise Zuweisungen ermöglicht werden.

Weitere detaillierte Zonenauswertungen befinden sich im Anhang A.12.

2.9 Ergebnis erweitertes Verfahren

Mit der in Abschnitt 2.8.2 beschriebenen Methode werden alle n^k möglichen Kombinationen mit einer Berechnungstiefe von bis maximal sieben Wichtungsfaktoren analysiert. Für jede mögliche Variation wird der dazugehörige Fehler $F_{n,k}$ berechnet. Im nächsten Schritt werden die Fehler nach dem Kriterium $\max(n) \leq x$ zusammengefasst, wobei x für den eingesetzten Wichtungsfaktor steht und der jeweils kleinste Fehler $\min F_{n,k,x}$ einer jeden Menge G_x an Variationen bestimmt. Der ermittelte Fehler entspricht dem geringsten Fehler, den man mit einer bestimmten Anzahl an Wichtungsfaktoren erreichen kann.

In den folgenden Abschnitten werden die Berechnungsergebnisse für maximal $n = 0$ bis 3 Faktoren gezeigt. Ergebnisse mit mehr als $n = 0$ bis 3 Faktoren können Abbildung 250 bis Abbildung 256 (Anhang, Abschnitt A.3) entnommen werden.⁸ Dargestellt wird der minimale mittlere relative Fehler für alle analysierten Gebäude. Hinsichtlich der praktischen Umsetzbarkeit setzt die Betrachtung des

⁸ Die Beschriftung aller folgenden Diagramme bezüglich der Faktoren beinhaltet immer auch den generellen Ausschluss des Vorhandenseins eines Bauteils bei Angabe der Faktoren. Es entsprechen: „2 Faktoren“ der Ebene A, „3 Faktoren“ der Ebene B und „4 Faktoren“ der Ebene C.

minimalen Fehlers stets eine korrekte Einschätzung der Wichtungsfaktoren voraus. In Abschnitt A.3 sind alle berechneten Varianten zusammengefasst dargestellt. Tabelle 22 skizziert die untersuchten Varianten.

Tabelle 22: Übersicht der untersuchten Varianten zur Hüllflächenverteilung

Variante	Kürzel	Beschreibung
exakte Flächenzuweisung (Referenzvariante)	<i>reale Flächen</i>	Detaillierte Flächenzuweisung aller Einzelbauteile nach DIN V 18599. Sämtliche Gebäudehüllflächen sind detailliert auf die Zonen aufgeteilt.
Flächenverteilung ohne Wichtungsfaktoren	<i>ohne Faktoren</i>	<i>Einfaches Verfahren:</i> Die Flächen werden in Abhängigkeit von der Größe der Zonenfläche verteilt. Jede Zone erhält entsprechend ihrer Größe eine Bauteilfläche jeder Kategorie.
Flächenverteilung mit 2 Wichtungsfaktoren	<i>2 Faktoren</i>	<i>Erweitertes Verfahren:</i> Die Gebäudehüllflächen werden in Abhängigkeit von zwei Wichtungsfaktoren (vorhanden/nicht vorhanden) und der Zonengröße der jeweiligen Zone zugewiesen.
Flächenverteilung mit 3 Wichtungsfaktoren	<i>3 Faktoren</i>	<i>Erweitertes Verfahren:</i> Die Gebäudehüllflächen werden in Abhängigkeit von drei Wichtungsfaktoren (nicht vorhanden, wenig, viel) und der Zonengröße der jeweiligen Zone zugewiesen.
Flächenverteilung mit 4 Wichtungsfaktoren	<i>4 Faktoren</i>	<i>Erweitertes Verfahren:</i> Die Gebäudehüllflächen werden in Abhängigkeit von vier Wichtungsfaktoren (nicht vorhanden, wenig, mittel, viel) und der Zonengröße der jeweiligen Zone zugewiesen.

2.9.1 Bauteil Außenwand

Abbildung 50 zeigt den minimalen relativen Fehler bei der Flächenzuweisung für unterschiedlich angesetzte Korrekturfaktoren für das Bauteil Außenwand. Es wird pro Variante (die Varianten entsprechen den unterschiedlichen Faktoren) der jeweilige minimale relative Fehler für das Bauteil aufgezeigt. Die Fehler bei den unterschiedlichen Gebäuden werden hierbei nebeneinander aufgetragen. Der durch einen Zahlenwert ausgewiesene Fehler (rechte Säule einer Säulengruppe) entspricht dem mittleren Fehler über alle Gebäude. Die linke Säulengruppe (ohne Faktoren) entspricht dem jeweiligen Fehler ohne Verwendung von Korrekturfaktoren und damit den Ergebnissen aus Abschnitt 2.7. Im Mittel über alle Gebäude kann der relative Fehler für das Bauteil Außenwand durch Anwendung von 4 Faktoren von 22,8 % auf rund 5,6 % reduziert werden. Bei den 4 Faktoren handelt es sich um die Entscheidungskriterien „nicht vorhanden“, „geringes Vorkommen“, „normales Vorkommen“ und „hohes Vorkommen“. Ausgehend vom jeweiligen Fehler bei unkorrigierter Zuweisung kann bei allen Varianten eine deutliche Reduzierung des minimalen relativen Fehlers verzeichnet werden, wenn die Einschätzung der Zugehörigkeit von Bauteilflächen zu einer Zone bestmöglich gewählt wird.

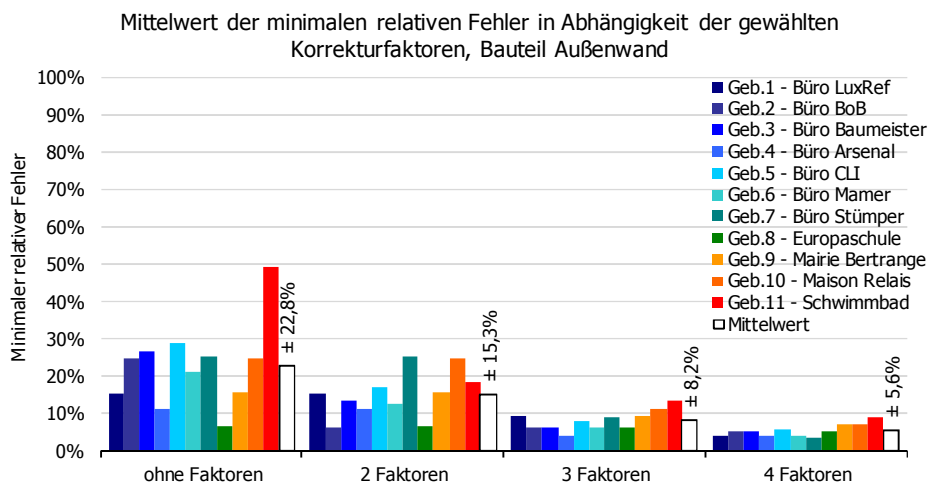


Abbildung 50: Auswertung des minimalen Fehlers für das Bauteil Außenwand

2.9.2 Bauteil Dach

Abbildung 51 zeigt den minimalen relativen Fehler bei der Flächenzuweisung für die angesetzten Korrekturfaktoren für das Bauteil Dach. Der Mittelwert des relativen Fehlers bei Anwendung von 4 Korrekturfaktoren liegt bei 4,6 %. Durch die Überprüfung „vorhanden“ oder „nicht vorhanden“ kann der Fehler bei einigen Gebäuden deutlich reduziert werden. In diesem Fall wird die Verteilung um Zonen ohne Vorkommen des Bauteiltyps bereinigt. Der mittlere relative Fehler bei der Flächenzuweisung lässt sich durch die Anwendung weiterer Korrekturfaktoren deutlich reduzieren.

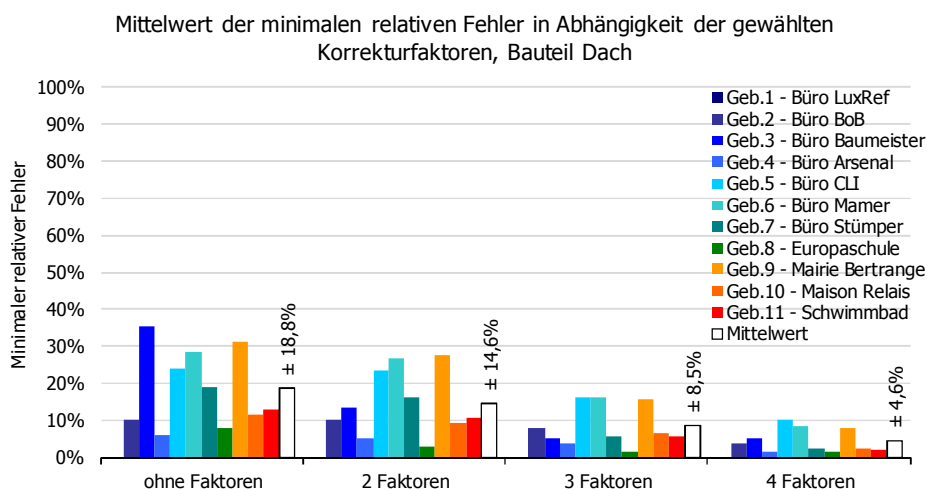


Abbildung 51: Auswertung des minimalen Fehlers für das Bauteil Dach

2.9.3 Bauteil Fußboden

Abbildung 52 zeigt den minimalen relativen Fehler bei der Flächenzuweisung bei Variation der Korrekturfaktoren für den Bauteiltyp Fußboden. Hier ergibt sich ein ähnliches Bild wie beim Bauteiltyp Dach. Bereits durch Anwendung des Kriteriums „vorhanden“ oder „nicht vorhanden“ (2 Faktoren) kann der Fehler, insbesondere bei starken Ausreißern, wie bei Gebäude 3, 4 und 9, deutlich minimiert werden. Der Mittelwert für den relativen Fehler liegt bei Verwendung von 4 möglichen Korrekturfaktoren bei etwa 5,3 %.

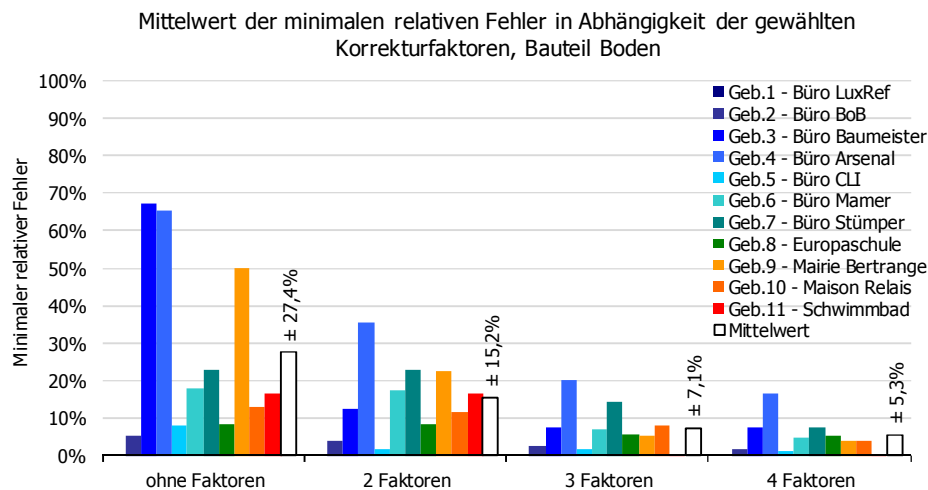


Abbildung 52: Auswertung des minimalen Fehlers für das Bauteil Fußboden

2.9.4 Bauteil Fenster Nord

Abbildung 53 zeigt den minimalen relativen Fehler bei der Flächenzuweisung für das Bauteil Fenster Nord. Ohne Korrekturfaktoren liegt der Fehler im Mittel bei 38,3 %. Unter Berücksichtigung von 4 Korrekturfaktoren reduziert sich dieser auf 6,7 %. Bereits die Anwendung von 2 Faktoren reduziert den gebäudebezogenen Flächenfehler um die Hälfte. Für die Gebäude 1 und 2 sind die Kriterien „vorhanden“ oder „nicht vorhanden“ nicht ausreichend, um eine nennenswerte Reduktion des Fehlers zu erzielen. Es zeigt sich, dass die Anwendung mehrerer Wichtungsfaktoren erforderlich ist, um die Flächenzuweisung zu schärfen.

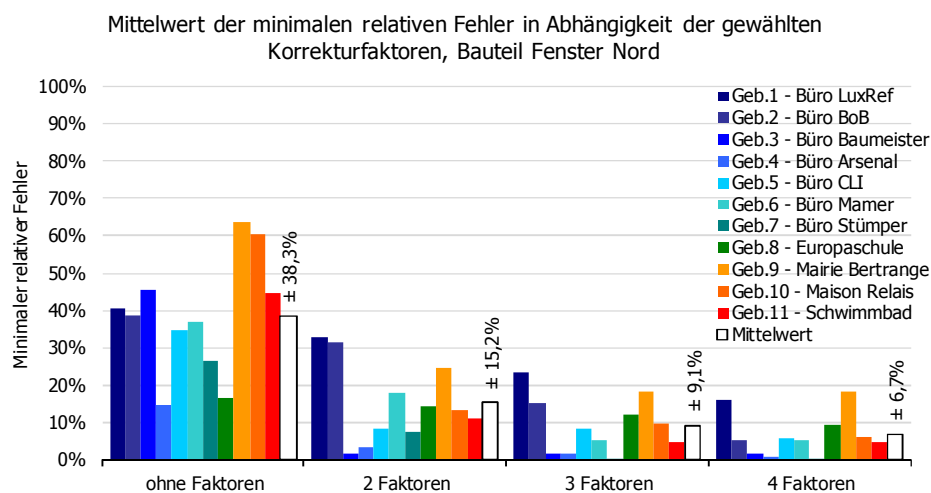


Abbildung 53: Auswertung des minimalen Fehlers für das Bauteil Fenster Nord

2.9.5 Bauteil Fenster Ost

Abbildung 54 zeigt den minimalen relativen Fehler bei der Flächenzuweisung in Funktion der gewählten Korrekturfaktoren für das Bauteil Fenster Ost. Ebenso kann bei den Ostfenstern durch Verwendung von Korrekturfaktoren eine signifikante Reduzierung einer unscharfen Flächenzuweisung erfolgen, die sich je nach Gebäude und Zonenanordnung unterschiedlich stark ausprägt. Mit 4 Korrekturfaktoren lässt sich die fehlerhafte Flächenzuweisung im Mittel auf etwa 2,1 % reduzieren. Die Anwendung von 2 Faktoren reduziert den Fehler auf etwa 1/3.

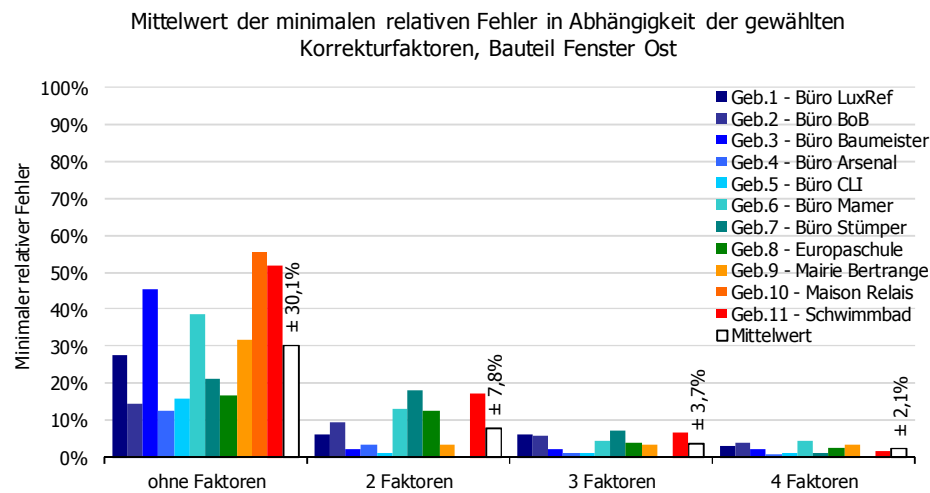


Abbildung 54: Auswertung des minimalen Fehlers für das Bauteil Fenster Ost

2.9.6 Bauteil Fenster Süd

Abbildung 55 zeigt den minimalen relativen Fehler bei der Flächenzuweisung in Funktion der gewählten Korrekturfaktoren für das Bauteil Fenster Süd. Bei Anwendung des *einfachen Verfahrens* liegt der Flächenfehler bei 41,9 %. Durch Verwendung des Kriteriums „vorhanden“ oder „nicht vorhanden“ im *erweiterten Verfahren* lässt sich eine wesentlich schärfere Zuweisung der transparenten Flächen erzielen. Der mittlere relative Fehler reduziert sich hierbei auf 6,9 %. Steigert man die Anzahl der Faktoren auf 4, so reduziert sich der Fehler auf 2,8 %.

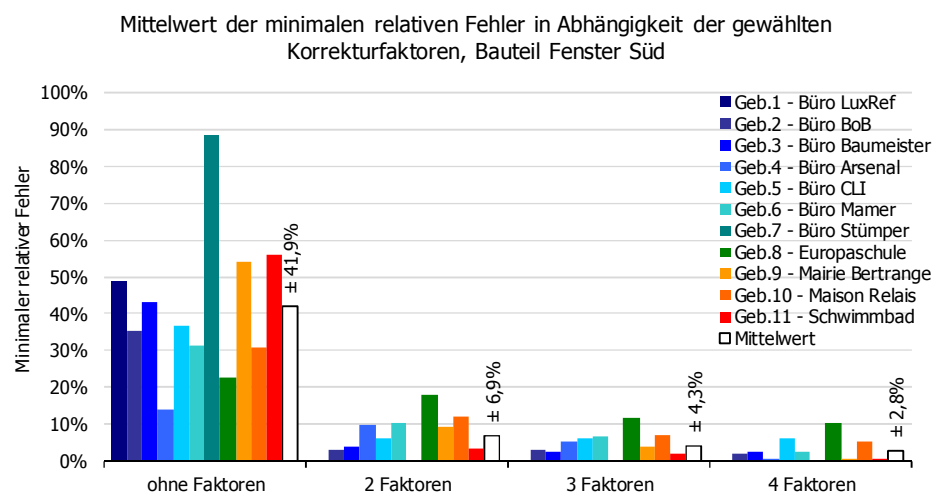


Abbildung 55: Auswertung des minimalen Fehlers für das Bauteil Fenster Süd

2.9.7 Bauteil Fenster West

Die Analyse der transparenten Flächen für eine Westorientierung ergibt ein ähnliches Bild wie bei den anderen Orientierungen. Der Flächenfehler im *einfachen Verfahren* liegt bei 37,6 % und reduziert sich durch Verwendung von 2 Korrekturfaktoren im Mittel auf 8,6 %. Bei 4 Faktoren liegt die relative unscharfe Flächenzuweisung bei 4,3 %. Abbildung 56 zeigt den minimalen relativen Fehler bei der Flächenzuweisung in Funktion der gewählten Korrekturfaktoren für das Bauteil Fenster West.

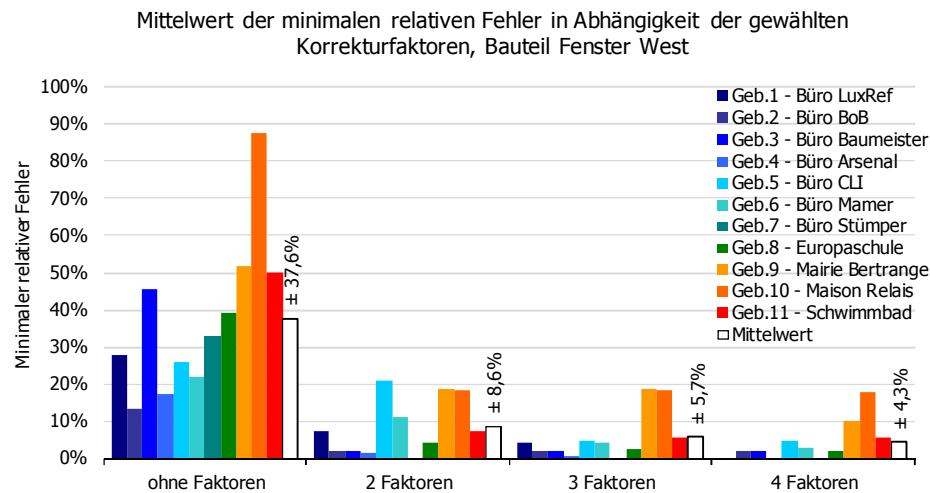


Abbildung 56: Auswertung des minimalen Fehlers für das Bauteil Fenster West

2.9.8 Betrachtung des Fensterflächenanteils

Die bisherigen Überlegungen gingen davon aus, dass Fehler nur bei der Aufteilung von Außenwand- und Fensterfläche zwischen den Zonen auftreten. Der Absolutwert der Außenwand- oder Fensterfläche für die Summe der Zonen ist dabei konstant. Dies ist jedoch bei einer vereinfachten Flächenzuweisung in teilweise gekühlten Gebäuden nicht unbedingt gewährleistet. Im Gegenteil ist es wahrscheinlich, dass in dem Fall der Absolutwert der Flächen für die gekühlten Zonen gegenüber dem tatsächlichen Wert verändert wird. Der Kühlbedarf entspricht dem nicht nutzbaren Anteil der Quellen und wird in der Regel maßgeblich von den solaren Einträgen und dementsprechend von der Fensterfläche beeinflusst. Die Nutzenergiebilanz für die Kühlkälte ergibt sich nach DIN V 18599 zu:

$$Q_{c,b,nutz} = (1 - \eta) \cdot (Q_s + Q_{I,source}) \quad (14)$$

mit

$Q_{c,b,nutz}$	kWh	Kühlbedarf in der Zone b (Nutzkältebedarf)
η	-	Ausnutzungsgrad der Wärmequellen
Q_s	kWh	solare Einträge
$Q_{I,source}$	kWh	interne Wärmequellen

Um die Auswirkungen auf die Energiebilanz abschätzen zu können, wird die Änderung des Fensterflächenanteils in einer Zone durch die vereinfachte Zuweisung der Gebäudehüllflächen berechnet. Basiswert ist immer der reale in der Zone vorkommende Fensterflächenanteil. Die Auswertung erfolgt für jede transparente Fläche einer Zone und für jede Orientierung der Beispielgebäude nach Abschnitt 2.6 (Geb. 1 bis 11). Die Untersuchung erfolgte für alle 75 Zonen. Die transparenten Flächen werden in die vier Haupthimmelsrichtungen aufgeteilt. Beim *einfachen Verfahren* erhält jede Zone eine orientierte Fensterfläche. Aus dem Datensatz ergeben sich insgesamt 300 Zuweisungen. Die Änderung des Fensterflächenanteils durch Anwendung des *einfachen* und *erweiterten Verfahrens* ist in Abbildung 58 dargestellt. Fehler > 200 % werden in den folgenden Abbildungen nicht dargestellt. Diese hohen Fehler werden nur beim *einfachen Verfahren* erreicht.

Bei der Analyse der Daten konnte eine signifikante Abhängigkeit der Änderung des Fensterflächenanteils von der Größe der transparenten Fläche festgestellt werden. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass in Zonen mit kleinen Fensterflächen die absolute Änderung der

Fensterfläche zwar gering ist, sich in Relation zur gering vorhandenen realen Fensterfläche jedoch ein großer relativer Fehler beim Fensterflächenanteil einstellt. Die Auswirkung der Wichtung in großen Zonen, wie sie in Abschnitt 2.8 theoretisch beschrieben werden, bestätigen sich in der praktischen Anwendung.

Es zeigt sich, dass beim *einfachen Verfahren* die Fensterfläche in kleinen Zonen systematisch überschätzt und in großen Zonen unterschätzt wird. Die Anwendung des *erweiterten Verfahrens* (hier mit 4 Faktoren) zeigt, dass die Fensterflächen deutlich exakter zugewiesen werden und insbesondere in großen Zonen sehr gute Übereinstimmungen erzielt werden. In kleinen Zonen nimmt der Fehler im Fensterflächenanteil ab, wobei auch hier noch die größten Unterschiede zur realen Fensterfläche auftreten (vgl. Abbildung 57).

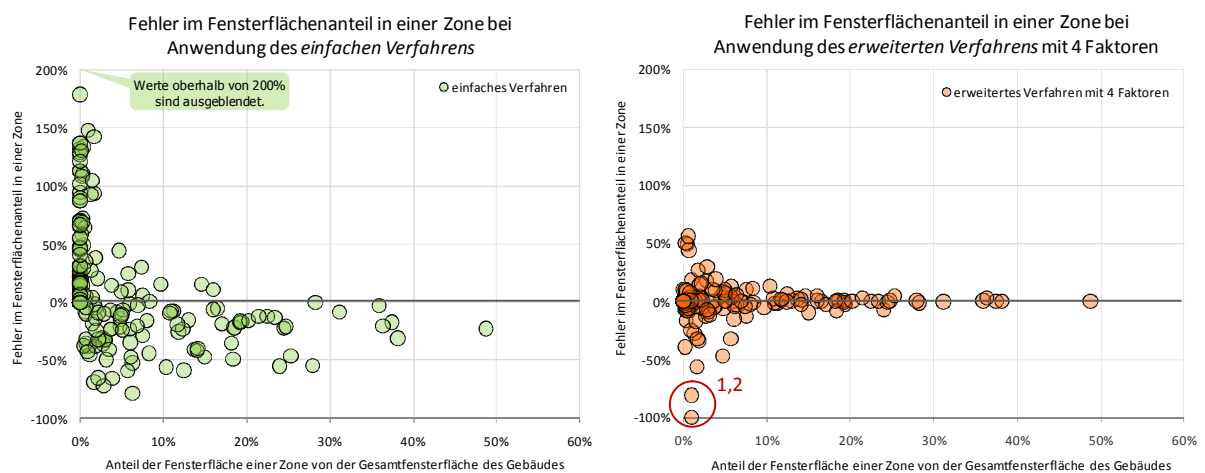


Abbildung 57: Fehler im Fensterflächenanteil einer Zone bei Anwendung des einfachen und erweiterten Verfahrens

Da, wie einleitend beschrieben, für den Kühlfall einem Unterschätzen in einer Zone nicht immer ein Überschätzen in einer anderen Zone gegenübersteht, werden in Abbildung 58 die Fehler als Betragswerte aufgetragen. Ohne Zuweisungskorrektur wird auf Zonenebene der Fensterflächenanteil im *einfachen Verfahren* im Durchschnitt um $\pm 51,8\%$ fehlerhaft ermittelt. Die Standardabweichung beträgt hohe $92,3\%$. Durch Anwendung des *erweiterten Verfahrens* mit 4 Faktoren werden die Fensterflächen deutlich genauer zugeteilt. Im Mittel ergeben sich Abweichungen von $\pm 4,3\%$, bei einer geringen Standardabweichung von $11,5\%$.

Beim *erweiterten Verfahren* ist ein Fall mit 100% Fehler beim Fensterflächenanteil vorhanden (mit (1) in den Diagrammen markiert). Dies betrifft Gebäude 11 – Schwimmbad Belair. Zone 3 „Umkleide, Sanitär“ mit einer Fläche von 277 m^2 (12% von der Gesamtzonenfläche) hat keine nordorientierte Außenwandfläche und nur eine geringe Fensterfläche von $9,6\text{ m}^2$ – und somit rechnerisch für diese Orientierung einen Fensterflächenanteil von 100% . Da der Analyse die Ermittlung des jeweils kleinsten möglichen Fehlers zugrunde liegt, aufgrund der großen Zonenfläche und der geringen absoluten Fensterfläche, das Kriterium „Bauteil ist nicht in der Zone vorhanden“ sinnvoll anzuwenden. Dadurch erhält diese Zone keine Fensterfläche und der berechnete Fehler wird mit 100% angegeben. Die absolute Fehlzuweisung in dieser Zone beträgt nur $9,6\text{ m}^2$ bei $197,1\text{ m}^2$ zu verteiler Fensterfläche. Aufgrund der sehr geringen spezifischen Fensterfläche ($0,034\text{ m}^2$ Fensterfläche je m^2 Zonenfläche), ist hier von einer sehr geringen Auswirkung auf Energiebilanzen auszugehen.

Im Fall des Fehlers von 80,7 % liegt ein ähnlicher Zusammenhang zugrunde (in den Abbildungen mit (2) markiert). Es betrifft das Gebäude 6 – Büro Mamer. Die Zone „Verkehrsfläche“ mit einer Zonenfläche von 1 235 m² (22,7 %) beinhaltet eine reale Fensterfläche von 19,3 m² und eine Wandfläche von 4,6 m². Dies entspricht einem Fensterflächenanteil von 80,7 %. Aufgrund der sehr geringen Fensterfläche in Bezug auf die vorhandene Zonenfläche, von 0,015 m²/m², ist ebenfalls das Kriterium „Bauteil nicht in der Zone vorhanden“ sinnvoll anzuwenden. Dadurch wird dieser Zone keine Fensterfläche zugewiesen und der Fehler im Fensterflächenanteil liegt bei 80,7 %.

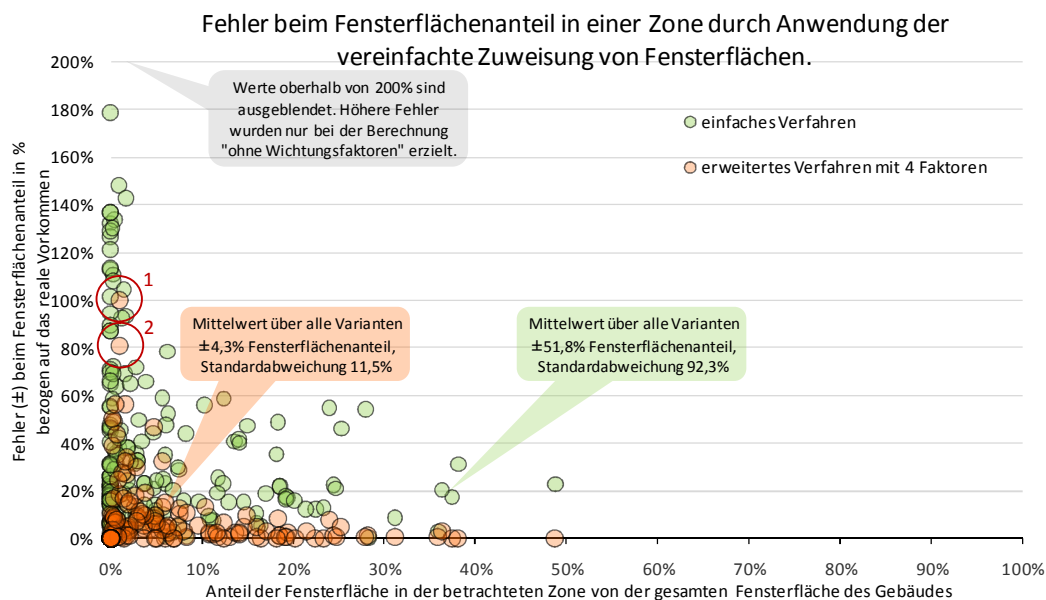


Abbildung 58: Fehler beim Fensterflächenanteil in einer Zone bei vereinfachter Zuweisung der transparenten Flächen

Auf der Basis des Betragsfehlers kann die Häufigkeit ermittelt werden, wie oft ein Fehler im Fensterflächenanteil über alle Zonen gemacht wird. Bei der Verteilung ohne Wichtungsfaktoren werden allen Zonen Fensterflächen zugewiesen, auch wenn real keine vorhanden sind. Im analysierten Datensatz ist dies zu etwa 36 % der Fall (108 von 300 Datenpunkten). Ebenso erfolgt bei der reinen nettogrundflächenabhängigen Verteilung der transparenten Flächen (*einfaches Verfahren*) nie eine korrekte Einschätzung der Fensterfläche bzw. des Fensterflächenanteils. Bei Verwendung von 4 Wichtungsfaktoren ($f_{i,Z} = 0 \mid 0,5 \mid 1,0 \mid 1,5$) im *erweiterten Verfahren* kann eine deutlich verbesserte Abschätzung der Fensterflächen bzw. des Fensterflächenanteils ermittelt werden. In 167 der betrachteten 300 Datenpunkte wird die Fensterfläche korrekt mit einem Fehler von 0 % ermittelt, das entspricht etwa 58 % aller Varianten. Fehler im Fensterflächenanteil > 10 % werden für 33 Datensätze, das entspricht 11 %, ermittelt. Abbildung 59 zeigt die Analyse der berechneten Häufigkeiten.

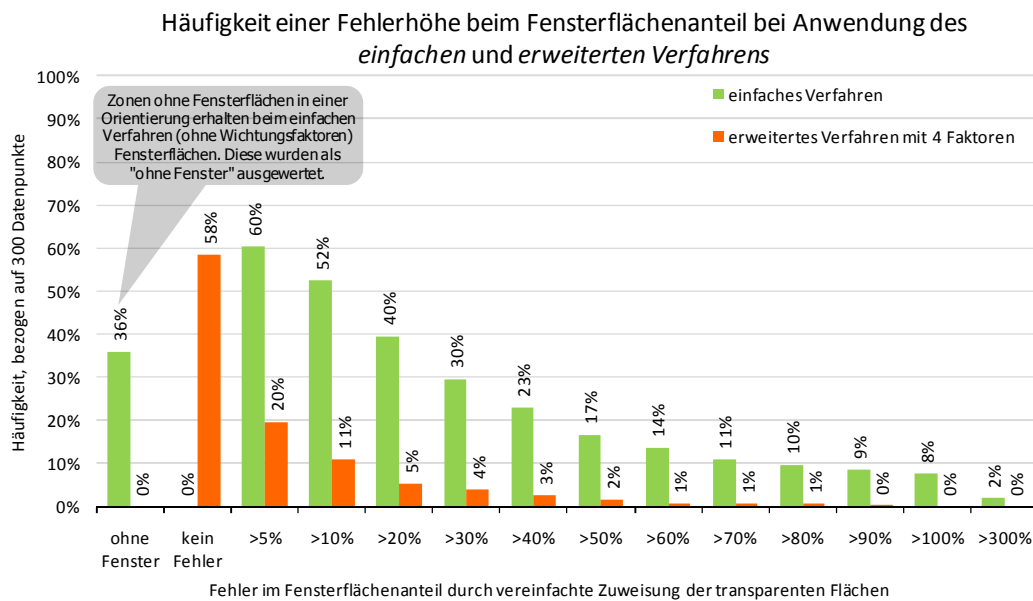


Abbildung 59: Häufigkeit einer Fehlerhöhe beim Fensterflächenanteil durch vereinfachte Zuweisung der transparenten Flächen, mit und ohne Wichtung der Zonenflächen

Durch die Anwendung des *erweiterten Verfahrens*, bei welchem die Bauteilflächen in Abhängigkeit des Vorkommens eines Bauteiltyps zugewiesen werden, kann die Häufigkeit von Fehleinschätzungen stark reduziert werden. Änderungen im Fensterflächenanteil oberhalb von 30 % werden in nur knapp 4 % aller Fälle ermittelt. Eine 100 %ig korrekte Einschätzung aller transparenten Flächen wird durch das *erweiterte Verfahren* nicht möglich sein, die Unschärfen können jedoch sehr stark reduziert werden. Inwieweit diese Zuweisungsschärfe bei der Berechnung des Energiebedarfs erforderlich ist, muss durch Parameteruntersuchungen und durch praktische Anwendung an Beispielgebäuden eruiert werden.

2.10 Diskussion der Ergebnisse

Durch die Anwendung des vereinfachten Verfahrens kann bei der Bilanzierung von Nichtwohngebäuden eine Zeiteinsparung von etwa 30 % erreicht werden. Die effektive Reduktion hängt im Wesentlichen von der Zonenanzahl in einem Gebäude und letztendlich von der Qualität der Umsetzung mithilfe einer Software ab. Bei komplexeren vielzonigen Gebäuden ist die Einsparung tendenziell höher einzuschätzen. Erste Nachweise über die Energieeffizienz von Gebäuden werden in der Baugenehmigungsphase erbracht. In dieser Projektphase sind oftmals eine Reihe von Informationen nicht bekannt und spätere Änderungen in der Raumanordnung die Regel. Kommt es zu solchen Änderungen, so kann dies sehr umfangreiche Neuermittlungen der Hüllflächen nach sich ziehen. Bei Anwendung des vereinfachten Verfahrens entfällt diese detaillierte Neuermittlung auf Zonenebene. Bei gleicher Gebäudekubatur erfolgt die Anpassung entweder nur über die neu ermittelten Zonenflächen oder ggf. auch durch Anpassung der Wichtungsfaktoren in den Zonen. Sich ändernde Hüllflächen oder Bauteildaten können zentral auf Gebäudeebene modifiziert werden. Das Verfahren lässt zudem die Kombination von vereinfachter Hüllflächenzuweisung und einer detaillierten Eingabe aller Bauteildaten auf Zonenebene zu. Stabilisiert sich im weiteren Planungsverlauf der Gebäudeentwurf, so können sämtliche Bauteildaten für eine jede Zone nacheditiert und das Gebäudemodell präzisiert werden, wodurch die Genauigkeit und die Optimierungsmöglichkeiten gesteigert werden.

Die Verteilung nach dem *einfachen Verfahren* führt zum Teil zu unscharfen Flächenzuweisungen. Die Zuweisung von Fensterflächen führt in der Regel zu etwas höheren Fehlern als beispielsweise von Außenwandflächen. Dies konnte insbesondere in Zonen festgestellt werden, welche die Hauptnutzung eines Gebäudes charakterisieren, oder in Zonen, die nutzungsbedingt wenig transparente Flächen aufweisen oder hauptsächlich in einer Orientierung im Gebäude angeordnet sind. Fensterflächen werden beim Gebäudeentwurf, neben gestalterischen und ästhetischen Gesichtspunkten, auch entsprechend den jeweiligen Nutzungsanforderungen geplant. Bei einer „nicht intelligenten“ Verteilung erhalten auch Zonen mit keinem oder geringem Fensterflächenanteil (z. B. Sanitärräume, Serverräume, Parkhäuser etc.) dennoch einen der Zonengröße entsprechenden Anteil. Dies führt zur zentralen Erkenntnis, dass bei einer zonenflächenabhängigen Verteilung die Zuweisung gewichtet erfolgen muss.

Das im Abschnitt 2.8 entwickelte *erweiterte Verfahren* trägt dieser Erkenntnis Rechnung. Nach Eingabe der thermisch relevanten Hülle auf Gebäudeebene erfolgt die Beeinflussung der Verteilung nachträglich auf Zonebene. Dabei können eine unterschiedliche Anzahl von Wichtungs- oder Korrekturfaktoren für diese Bewertung genutzt werden. Eine für den Anwender leicht und überschaubar handhabbare Einschätzung des Vorhandenseins eines bestimmten Bauteiltyps in einer Zone sind die Stufen „kein“, „gering“, „normal“ und „viel“. Praktisch kann man sich dies in Form einer übersichtlichen Auswahlmatrix vorstellen, mit welcher man das Vorkommen eines Bauteils in dieser Zone abfragen und festlegen kann.

Abbildung 60 zeigt die Fehlerreduktion bei bis zu vier Korrekturfaktoren in Form des minimalen mittleren Fehlers der analysierten Gebäude. Eine Unterscheidung erfolgte je Bauteiltyp und Bauteilgruppe. Die opaken Bauteile werden in Außenwand, oberer und unterer Gebäudeabschluss und die transparenten Flächen nach Himmelsrichtung unterteilt. Die beiden rechten Säulengruppen der Abbildung beschreiben jeweils den Mittelwert der Fehler für opake und transparente Bauteilgruppen zusammengefasst.

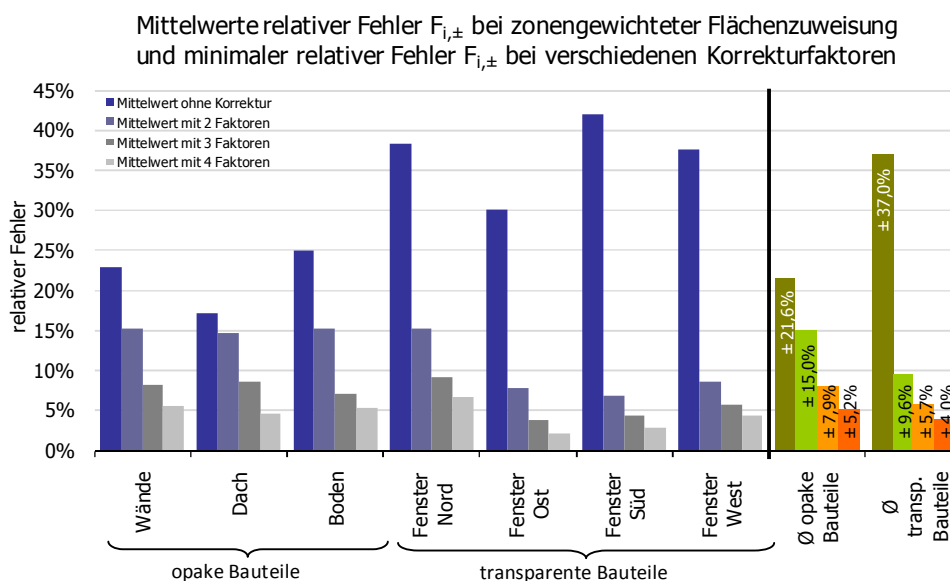


Abbildung 60: Fehlerreduktion bei unterschiedlichen Wichtungsfaktoren Faktoren für opake und transparente Bauteile

Im Vergleich zur unkorrigierten Flächenzuweisung wird eine signifikante Fehlerreduktion erreicht. Durch Nutzung von drei Wichtungsfaktoren (gering, normal und hoch) und einem generellen

„vorhanden“- oder „nicht vorhanden“-Kriterium kann eine schärfere Verteilung der Gebäudehüllflächen auf Zonenebene erfolgen und der Fehler durch unscharfe Zuweisung von Bauteilflächen reduziert sich deutlich. Diese Reduktion ist bei transparenten Bauteilen etwas höher als bei opaken, da hier noch zusätzlich eine orientierungsabhängige Korrektur erfolgt. Durch eine „intelligente“ Hüllflächenverteilung lässt sich der relative Fehler im Durchschnitt auf deutlich unter 10 % reduzieren. Eine weitere Verfeinerung der Flächenzuweisung durch eine höhere Anzahl von Faktoren führt zu keiner bedeutsam schärferen Zuweisung. Zudem wird es mit steigender Anzahl der Faktoren für den Nutzer schwieriger, diese einzuschätzen, was sich im Endeffekt negativ auswirken kann.

Die gewichtete Verteilung der Gebäudehüllflächen kann in bestimmten Grenzfällen nicht immer sinnvoll angewendet werden. Für Atrien mit extrem hohen Glasanteilen und gleichzeitig sehr niedrigen Nettogrundflächen reicht eine Gewichtung über Faktoren unter Umständen nicht aus. Um solche Fälle dennoch abbilden zu können, muss die Möglichkeit einer direkten Eingabe dieser Sonderbereiche auf Zonenebene gegeben sein. Die Verteilung der übrigen Gebäudehüllflächen kann anschließend weiter nach dem vereinfachten Verfahren erfolgen. Das Verfahren bietet hier die Möglichkeit, einzelne Zonen bzw. Bauteilkategorien einer Zone aus der vereinfachten Hüllflächenverteilung herauszunehmen. Für diese Fälle müssen die Hüllflächen auf Zonenebene definiert werden. Für die anderen Zonen kann die vereinfachte Hüllflächenzuweisung wie gehabt durchgeführt werden. Damit können in einer Energieeinsparverordnung Fälle ausgeschlossen werden, in denen die vereinfachte Bauteilzuweisung nicht zu einem befriedigenden Ergebnis führt.

Die Möglichkeit, ganze Zonen oder Bauteilkategorien einzelner Zonen aus der vereinfachten Hüllflächenverteilung herauszunehmen und diese direkt auf Zonenebene zu definieren, bietet zudem den Vorteil, dass in der Planung zunächst das Gebäude vereinfacht eingegeben und dann Stück für Stück die interessierenden Bereiche auf Zonenebene genauer betrachtet werden können. Die Berechnung mit dem vereinfachten Modell im Rahmen des Bauantrags stellt somit keinen verlorenen zusätzlichen Arbeitsaufwand dar, sondern kann als Grundlage für detaillierte Berechnungen dienen.

Da die Auswertung am Beispiel von 11 Gebäuden erfolgte, kann noch keine statistisch abgesicherte Aussage über die Genauigkeit des Verfahrens getroffen werden. Jedoch kann eine Tendenz und ein guter Eindruck vermittelt werden, welche typischen Fehler durch die vereinfachte Flächenzuweisung zu erwarten sind. Die analysierten Daten haben gezeigt, dass für die meisten Anwendungsfälle eine gute Genauigkeit bei der Flächenzuweisung erreicht werden kann.

Bei der vereinfachten Verteilung der Gebäudehüllflächen von der Gebäude- auf die Zonenebene entstehen in der Regel Fehler. Um die Auswirkungen der Vereinfachungen auf die Energiebilanz zu untersuchen, müssen Parameteruntersuchungen durchgeführt werden. In erster Linie sind dabei die Eingabeparameter zu bestimmen, welche einen wesentlichen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse haben. Darüber hinaus müssen praktische Vergleiche zwischen detailliertem und vereinfachtem Verfahren an realen Gebäudeentwürfen durchgeführt werden. Dies ist Inhalt von Abschnitt 3 und 4.

3 Parameteruntersuchung

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Identifikation und Einordnung der wesentlichen Parameter, die einen Einfluss auf die vereinfachte Hüllflächenverteilung haben. Im ersten Schritt werden Parameteruntersuchungen durchgeführt, um die wesentlichen Einflussgrößen bei einer unscharfen Verteilung der Gebäudedaten zu detektieren und zu bewerten. Dies ist erforderlich, um einerseits die Ergebnisse auf Zonen- und Gebäudeebene zu interpretieren und andererseits, um allgemeine Aussagen zum Verfahren abzuleiten.

Im Folgenden werden die Randbedingungen einer sogenannten Basisvariante beschrieben, die Ausgangsbasis der Parametervariation ist. Die Basisvariante bildet nur einen möglichen Fall der Realisierungsvarianten ab. Um einen Eindruck vom Einfluss verschiedener Größen unter anderen Randbedingungen zu bekommen, werden im Folgenden mehrere wichtige Gebäudeparameter variiert, die in die Rechengänge nach DIN V 18599 einfließen.

3.1 Raummodell

Betrachtet wird ein exemplarischer Raum bzw. eine exemplarische Zone (Fassadenraster 1,4 m). Der synthetische Raum soll im obersten Geschoss eines Gebäudes liegen. Die wärmeübertragenden Hüllflächen sind dementsprechend der obere Gebäudeabschluss und eine lange Seite der Fassade. Alle anderen Bauteile grenzen an gleich konditionierte Räume/Zonen und werden dementsprechend nicht mitbilanziert (außer zur Ermittlung der Speichermasse der Zone). Die Ausrichtung der Fassade ist im Standardfall Süd.

Die Nutzung eines festen Raummodells ist erforderlich, um alle verschiedenen Aspekte der Energiebilanzen in einem vergleichbaren Umfeld zu untersuchen. Abbildung 61 zeigt das in der Parameterstudie verwendete Raummodell.

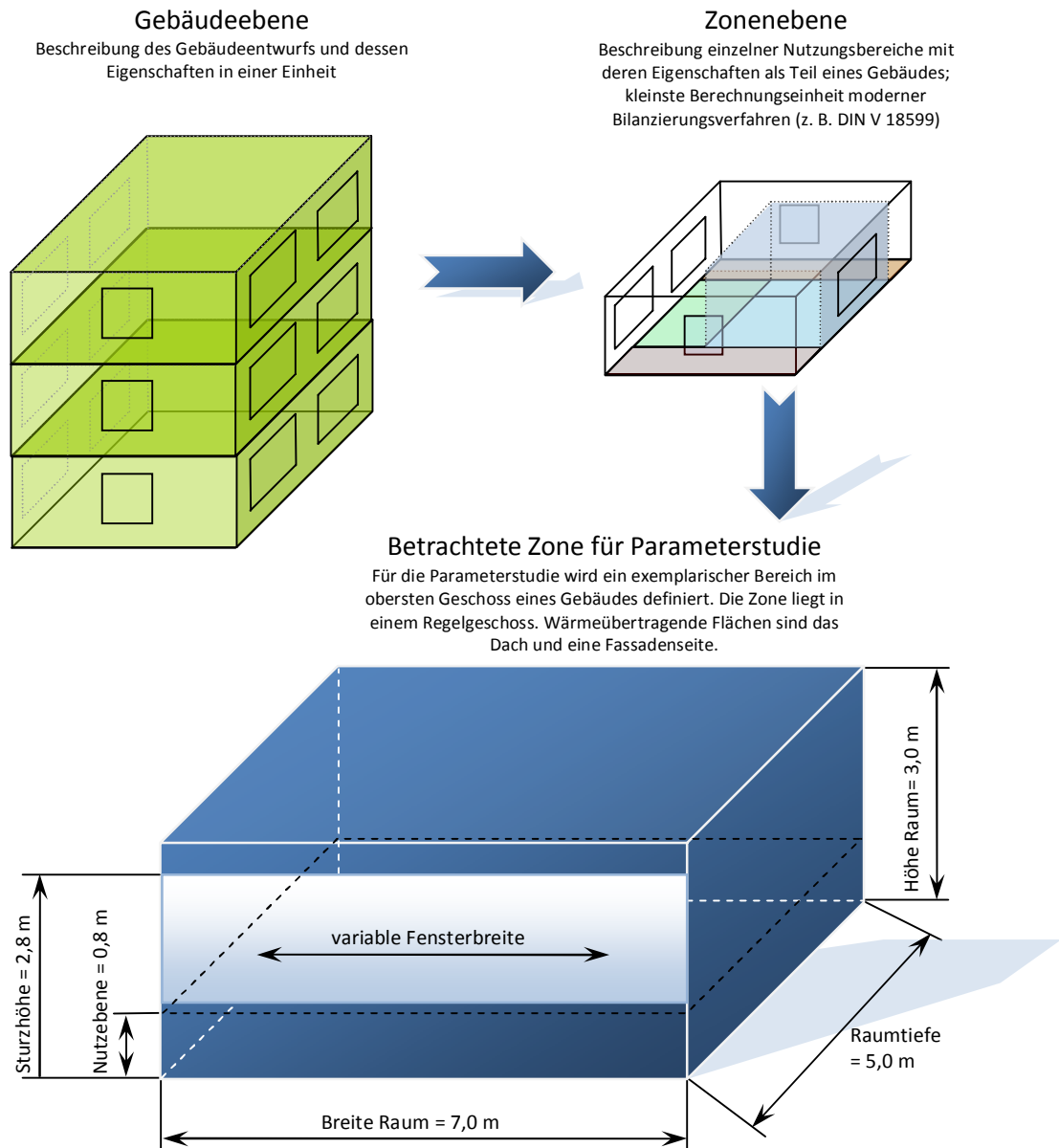


Abbildung 61: In der Berechnung verwendetes Raummodell

Für die Energieanwendungen (Heizwärme, Kälte und Beleuchtungsstrom) werden Standardparameter definiert, mit welchen die Energiebilanzen durchgeführt werden. Hierbei werden jeweils ungünstige Parameter ausgewählt, um die Fehlerrausprägung bestmöglich bewerten zu können. Die Randbedingungen der Zonenbilanz sind in Tabelle 23 dargestellt. Abweichungen zu den Standardparametern bzw. variierte Parameter, sind in den Grafiken entsprechend markiert. Die Standardparameter sind so gewählt, dass die Auswirkungen auf den Energiebedarf einerseits praktische Ergebnisse liefern und andererseits die Auswirkungen durch die Untersuchungsparameter deutlich werden.

Tabelle 23: Übersicht der verwendeten Standardparameter im Raummodell

Zonengröße	
Nettovolumen	105 m ³ (7 m x 5 m x 3 m)
Nettogrundfläche	35 m ² (7 m x 5 m)
Raum-/Gebäudegeometrie	
Orientierung der Hauptfassade	Süd
Länge der Hauptfassade	7,0 m
Tiefe der Seitenfassade	5,0 m (keine wärmeübertragende Fläche)
Fassadenhöhe	3,0 m
Dachfläche	35 m ²
Bodenfläche	35 m ² (keine wärmeübertragende Fläche)
Innenwände	unberücksichtigt, da gleich konditioniert
Randbedingungen	
Bauweise:	leicht (50 Wh/(m ² K)*A _n)
Wärmebrücken-Korrektur	0,0 W/(m ² K)
Nutzungs- und Nichtnutzungstage	Absenkung
Außenwand	
Fläche	10,5 m ² (bei 50 % Fensterfläche)
U-Wert	0,32 W/m ² K
Absorptionsgrad	0,40 (heller Anstrich)
Orientierung	Süd
Dach	
Fläche	35 m ²
U-Wert	0,25 W/m ² K
Absorptionsgrad	0,60 (ziegelrot)
Orientierung	horizontal
Fenster- und Sonnenschutz	
Verglasung	U _g = 1,2 W/(m ² K)
U _w	1,5 W/m ² K
Energiedurchlassgrad	0,65
Lichttransmissionsgrad	0,75
Abminderung Rahmen	0,7
Verschattung	1,00, keine Verschattung
Sonnenschutz g _{tot}	0,06 (Außenjalousie, 45°, grau)
Konditionierung	
thermische Konditionierung	beheizt und gekühlt
RLT-Anlage	keine Luftaufbereitung (Fensterlüftung)
Beleuchtung	voll beleuchtet
Belüftung	
Verbindung zur Außenluft	über Fenster und Durchlässe
Abschirmung	mittel (e _{wind} = 0,07, f _{wind} = 15)
Gebäudedichtheit	n ₅₀ = 2,0
Beleuchtung/Tageslicht	
Sturz Fenster (gemessen von UK Decke)	0,20 m (relevant für Teil 4 Beleuchtung)
Brüstungshöhe	0,80 m (relevant für Teil 4 Beleuchtung)
Beleuchtungsbereich	entspricht der gesamte Nutzfläche A _n 35 m ²
Berechnung der Leistung	Tabellenverfahren
Beleuchtungsart	indirekt/direkt
Lampenart	Leuchtstofflampe, stabförmig mit EVG
Präsenzerfassung	manuell
tageslichtabhängiges Kontrollsystem	manuell

3.2 Verwendete Rechenprogramme

Um die Einflussfaktoren zu bewerten sowie die Auswirkungen modifizierter Zonierungs- und Datenaufbereitungsvarianten auf die Ergebnisgenauigkeit zu überprüfen, wurde im Rahmen dieser Arbeit das Excel-Werkzeug „EnerCalC“ entwickelt, mit welchem Energiebilanzen gemäß DIN V 18599 auf Nutzenergieebene und vereinfacht auch auf Primärenergieebene durchgeführt werden können. EnerCalC wurde im Rahmen einer Studie mit anderen Softwareprodukten verglichen und erfolgreich im Rahmen dieser Arbeit validiert [44]. Für diese Parameterstudie lag die Programmversion 3.60 zugrunde. Das Excel-Tool ist frei konfigurierbar und alle Teilergebnisse können eingesehen werden. Abbildung 62 zeigt wesentliche Ergebnisse der Vergleichsrechnungen.

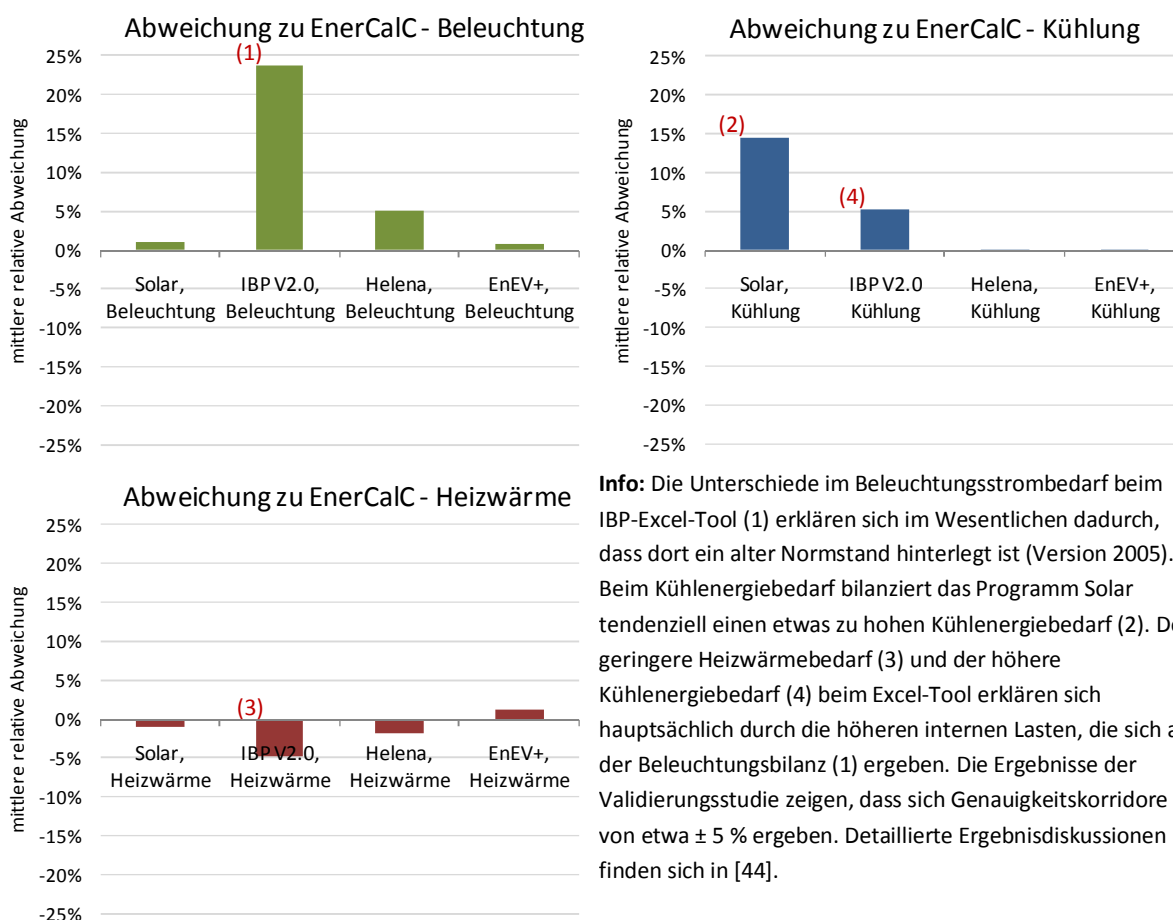


Abbildung 62: Ergebnisse der Validierungsstudie des Rechenwerkzeug

Auf die alleinige Verwendung einer kommerziellen Software wird in diesem Zusammenhang verzichtet, da in der Regel nicht alle Detailparameter einsehbar sind, variiert und überprüft werden können und somit eine wissenschaftliche Auswertung weitestgehend ausgeschlossen ist. Ebenso lassen Standardsoftwareprodukte oft keine Modifikation von bestimmten Berechnungsparametern zu, welche z. B. im IBP-Rechenkern integriert sind.⁹

Für die Parameterstudie und den Gebäudevergleich erfolgt die Berechnung der Nutzenergiebedarfe in der ersten Bilanz, um die Auswirkungen der vereinfachten Hüllflächenverteilung isoliert und ohne Einfluss der Anlagentechnik zu betrachten. Die Kopplung der umgesetzten Normteile erfolgt

⁹ Das IBP entwickelte einen Rechenkern, in dem die Rechengänge der DIN V 18599 hinterlegt sind. Softwarehersteller können die Rechengänge entweder selbst in ihrer Software abbilden oder aber die Gebäudedaten aufbereiten und den Rechenkern nutzen.

dynamisch. Dies gilt insbesondere für die Kopplung von Teil 4 (Beleuchtung) mit den thermischen Bilanzen (Teil 2: Wärme und Kälte) [45].

Inhalte der Normteile 3 (Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung) [46] und 7 (Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau) [47] wurden bei Bedarf in „EnerCalc“ integriert. Dies betrifft im Allgemeinen die monatlichen Zulufttemperaturen von RLT-Anlagen und die Berücksichtigung von Wärmerückgewinnungssystemen. Ebenso steht eine vollständige Umsetzung des Teils 3 zur Verfügung.

„EnerCalc“ wurde in Excel/VBA mit größter Sorgfalt entwickelt und beinhaltet die wesentlichen Berechnungen der Teile 2 (Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen), 3 (Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung), 4 (Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung) und 10 (Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten) [48] auf der Nutzenergieebene. Alle Berechnungsparameter sind einsehbar, änderbar und modifizierbar. Das Excel-Werkzeug wurde im Rahmen der Arbeit bei Bedarf, ggf. um weitere Funktionalitäten bzw. Normteile, erweitert.

Zum Vergleich wurden einige Rechnungen parallel mit den Programmen „Energiepass Helena“ [38] und „B.54“ [39] durchgeführt.

3.3 Vorgehen bei der Analyse

In Abschnitt 2 wurden die Auswirkungen einer vereinfachten Zuweisung auf die Flächenverteilung, d. h. auf die Bauteile selbst, untersucht. Weiterführend erfolgt die Fehleranalyse auf Energieebene. Um eine Vergleichbarkeit mit den dort getroffenen Aussagen herstellen zu können, werden der Jahreswert des spezifischen Energiebedarfs und der Fehler im Energiebedarf bei Variation unterschiedlicher Parameter (Bauteilfläche, U-Wert etc.) bestimmt.

Die Energiebilanzen werden unter Variation von jeweils zwei Parametern durchgeführt. *Hauptparameter* sind entweder die Fensterfläche oder der U-Wert opaker Bauteile. Da U-Wert und Fläche die Energiebilanzen in gleicher Weise beeinflussen (multiplikativer Einfluss), kann die Variation des U-Wertes auch als Variation der Flächen opaker Bauteile interpretiert werden.

Nebenparameter sind entweder Einflussfaktoren, wie beispielsweise die Bauschwere, der Sonnenschutz etc., oder ein Nutzungsprofil. Somit lässt sich der Einfluss eines Nebenparameters in Abhängigkeit eines Hauptparameters aufzeigen.

Für die Fensterfläche werden Berechnungsbereiche von 0 bis 100 % variiert und so die maximal möglichen Grenzen bestimmt. Gleiches gilt für die Änderungen der U-Werte opaker Bauteile. Die Variation erfolgt von 0 bis 1 W/(m²K). Da das einfache Verfahren für die energetische Bewertung von Neubauten im frühen Planungsstadium ausgelegt ist, sind aufgrund gesetzlicher Mindestanforderungen U-Werte jenseits von 0,5 W/(m²K) nicht zu erwarten [14][13].

Zur besseren Interpretation der Ergebnisse, werden für jede Variante immer eine relative und eine absolute Größe ermittelt. Bei sehr kleinen berechneten Energiebedarfswerten können schon geringe Änderungen im Energiebedarf große relative Änderungen verursachen. Die beiden Fehlerdarstellungen „absoluter Fehler“ und „relativer Fehler“ müssen immer in Relation zueinander bewertet werden.

3.3.1 Jahreswert des spezifischen Energiebedarfs

Es wird gezeigt, wie sich der spezifische Jahresenergiebedarf abhängig von der vereinfacht zugewiesenen Größe in einer Zone verändert. Hierüber kann das Niveau und der Verlauf des Energiebedarfs bewertet werden. Dabei werden zwei Zustände betrachtet:

Ausgangszustand	Beim Ausgangszustand wird davon ausgegangen, dass die Hüllfläche korrekt zugewiesen ist. Dieser Wert entspricht immer dem 50 %-Wert.
Vereinfachte Hüllflächenzuweisung	Die vereinfacht zugewiesene Größe wird von 0 bis 100 % zum Ausgangszustand verändert. Dies verdeutlicht, welchen Einfluss die vereinfachte Zuweisung auf den Energiebedarf der betrachteten Zone hat. Es werden Unter- und Überschätzungen bei der vereinfachten Zuweisung betrachtet.

3.3.2 Fehler im Energiebedarf

Die zweite Darstellung zeigt den Fehler $\Delta q_{j,b}$, der sich bei der Bilanzierung mit vereinfacht zugewiesenen mittleren Hüllflächeneigenschaften (Flächen und Stoffwerten) ergibt. Betrachtet werden immer zwei Zonen mit gleicher Grundfläche.

Wird in Zone A z. B. die Fensterfläche unterschätzt, führt dies dazu, dass in der Zone B die Fensterfläche entsprechend überschätzt wird. Die Überschätzung der Fensterfläche in der zweiten Zone ist zwingend, da die Fensterfläche für das gesamte Gebäude auch bei der vereinfachten Zuweisung unverändert bleibt.

Da einer Unterschätzung immer auch eine Überschätzung gegenübersteht, wird der Fehler durch die vereinfachte Flächenzuweisung in Bezug auf das Gesamtergebnis reduziert, ausgenommen beim Kühlenergiebedarf, wenn die beiden Zonen unterschiedlich konditioniert sind.

Fall A – gleiche Nutzungsprofile

Betrachtet werden zwei Zonen mit gleicher Grundfläche. Die beiden Zonen haben die Gleiche Nutzung (Gruppenbüro). Zone A wird mit einem Fensterflächenanteil von 100 % berechnet, Zone B mit 0 %. Abbildung 64 zeigt grafisch den bewerteten Fehler für dieses Beispiel.

Der Mittelwert von 45,4 kWh/(m²a) des spezifischen Jahresenergiebedarfs dieser beiden Zonen entspricht dem realen Kühlbedarf über beide Zonen (in Abbildung 64 mit (1) markiert).

Wird nun die Fensterfläche in Abhängigkeit der Größe der Nutzfläche verteilt, die bei beiden Zonen in gleicher Größe angenommen wird, so werden beide Zonen mit einem Fensterflächenanteil von jeweils 50 % berechnet. Der Mittelwert aus diesen beiden Werten, mit jeweils 50 % Fensterfläche berechnet, liegt in diesem Fall unterhalb der real berechneten Werte (in Abbildung 64 mit (2) markiert). Der Fehler $\Delta q_{j,b}$ entspricht der Differenz der beiden Kennwerte; hier 6,6 kWh/(m²a) bzw. 17 %.

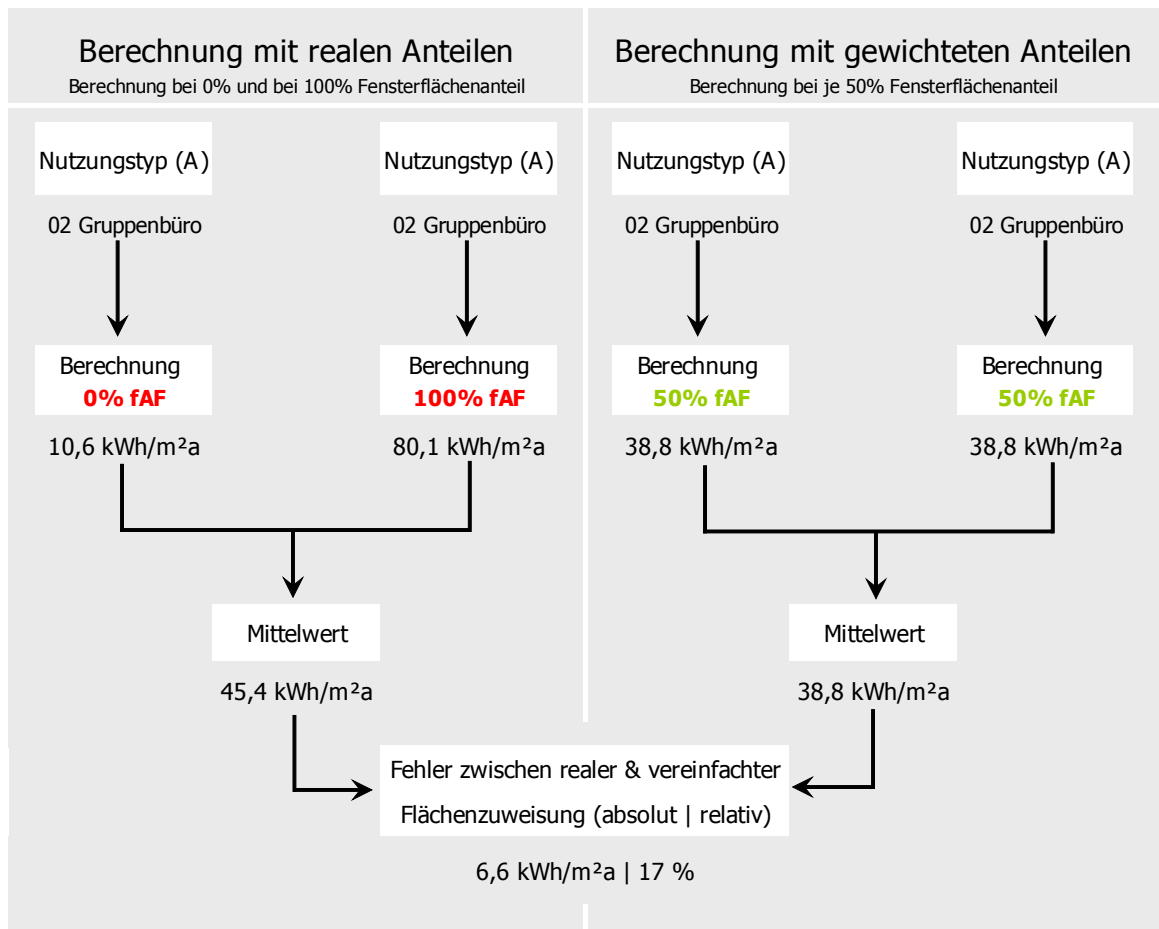


Abbildung 63: Schema der Fehleranalyse für vereinfachte Flächenzuweisungen zwischen Zonen mit gleichen Nutzungsprofilen. Bei der detaillierten Berechnung werden hier im Beispiel zwei Zonen mit gleichen Nutzungsprofilen betrachtet. Zone A wird mit 0 % Fensterflächenanteil (f_{AF}) und Zone B mit 100 % Fensterflächenanteil (f_{AF}) bilanziert. Der Mittelwert des spezifischen Jahresenergiebedarfs beider Zonen entspricht dem realen Kennwert. Bei einer vereinfachten Zuweisung der Bauteilflächen berechnet sich ein geringerer Mittelwert. Der Fehler liegt in diesem Beispiel bei 17 %.

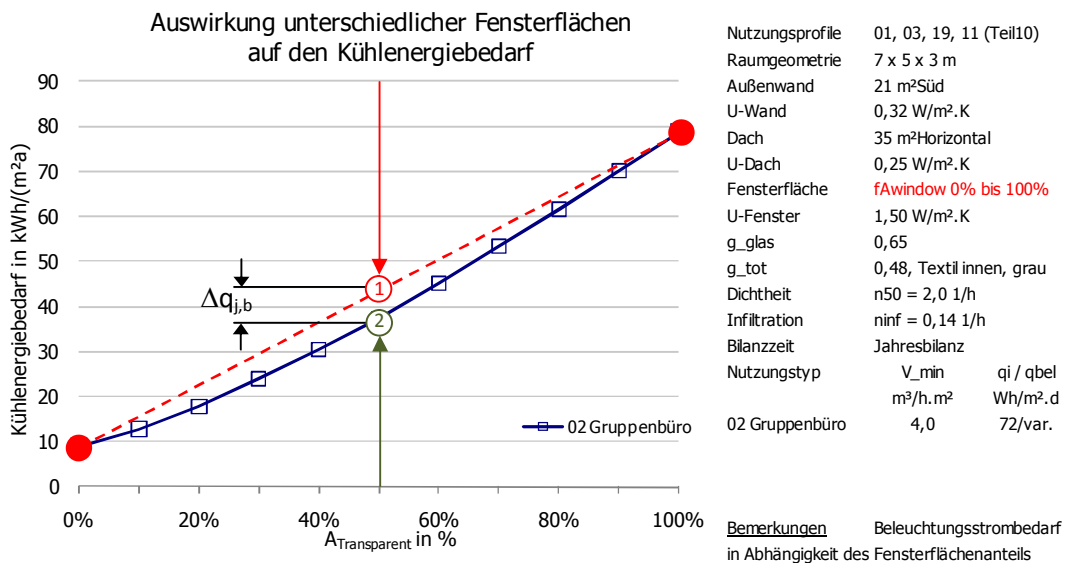


Abbildung 64: Darstellung des Fehlers für vereinfachte Flächenzuweisungen zwischen Zonen mit gleichem Nutzungsprofil

Bei einem linearen Verlauf der Kurve für den Energiebedarf ist, bei sonst gleichen Randbedingungen, wie Nutzung etc., der Fehler gleich null. Je weiter die Kurve für den Jahresenergiebedarf von der linearen Funktion abweicht, desto größer wird der Fehler durch eine einfache Mittelung.

Fall B – unterschiedliche Nutzungsprofile

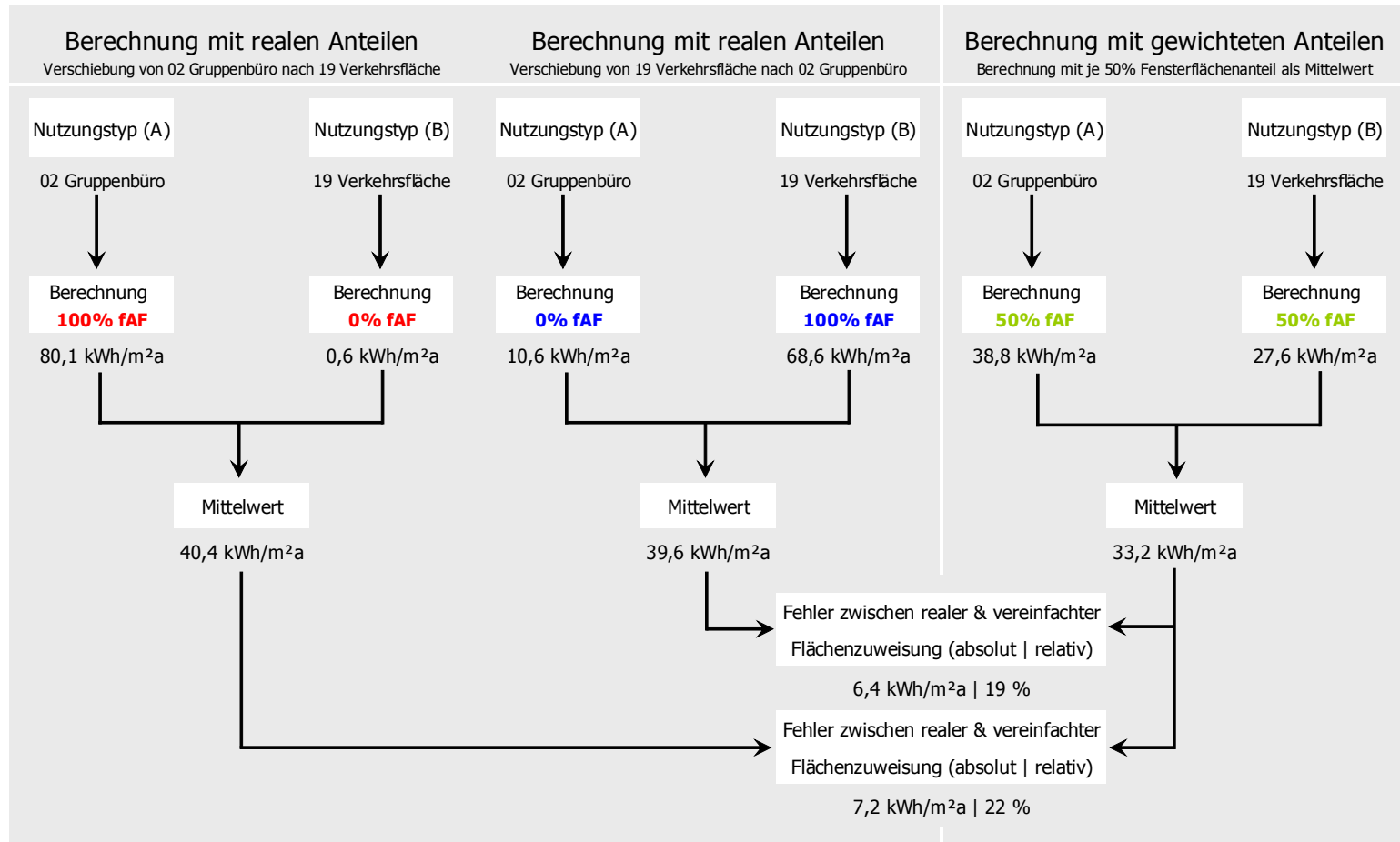


Abbildung 65: Schema der Fehleranalyse für vereinfachte Flächenzuweisungen zwischen Zonen mit unterschiedlichen Nutzungsprofilen. Bei der detaillierten Berechnung werden hier im Beispiel zwei Zonen mit unterschiedlichen Nutzungsprofilen betrachtet. Zone A wird mit 0 % Fensterflächenanteil (f_{AF}) und Zone B mit 100 % Fensterflächenanteil (f_{AF}) bilanziert. Der Mittelwert des spezifischen Jahresenergiebedarfs beider Zonen entspricht dem realen Kennwert. Bei einer vereinfachten Zuweisung der Bauteilflächen berechnet sich ein geringerer Mittelwert. Der Fehler liegt hier im Beispiel bei 19 % und 22 % - je nach verwendeter Kombination aus Fensterflächenanteil (0 % oder 100 %) und Nutzungsprofil (A oder B).

Abbildung 66 zeigt grafisch den bewerteten Fehler für das Beispiel eines variablen Fensterflächenanteils auf den Kühlenergiebedarf. Betrachtet werden zwei Zonen mit gleicher Grundfläche. Die beiden Zonen haben unterschiedliche Nutzungen (Gruppenbüro und Verkehrsfläche). Zone A (Gruppenbüro) wird mit einem Fensterflächenanteil von 100 % berechnet, Zone B (Verkehrsfläche) mit 0 %.

Der Mittelwert (im Diagramm mit (1) markiert) beider Energiekennwerte entspricht dem realen Kühlenergiebedarf über beide Zonen. Wird nun die Fensterfläche in Abhängigkeit der Größe der Nutzfläche verteilt, die bei beiden Zonen gleich angenommen wird, so werden beide Zonen mit einem Fensterflächenanteil von jeweils 50 % berechnet. Der Mittelwert aus diesen beiden Werten, mit jeweils 50 % Fensterfläche berechnet, liegt unterhalb der real berechneten Werte (im Diagramm mit (2) markiert). Der Fehler $\Delta q_{j,b}$ entspricht der Differenz der beiden Kennwerte.

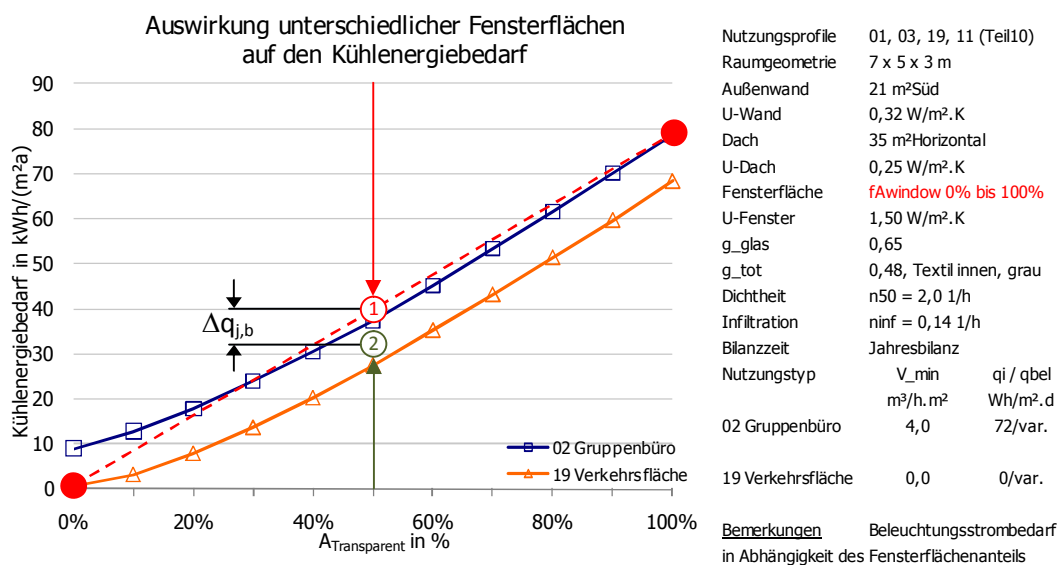


Abbildung 66: Darstellung des Fehlers für vereinfachte Flächenzuweisungen zwischen Zonen mit verschiedenen Nutzungsprofilen (Nutzungstyp A 100 % f_{AF} , Nutzungstyp B 0 % f_{AF})

Abbildung 67 zeigt die gleiche Situation, mit dem Unterschied, dass die „Verkehrsfläche“ mit 100 % Fensterflächenanteil berechnet wird und die Zone „Gruppenbüro“ mit 0 % Fensterfläche. Auch in diesem Beispiel liegt der berechnete Mittelwert (2) des Kälteenergiebedarfs bei vereinfachter Zuweisung (beide Zonen mit 50 % Fensterfläche) unterhalb der real berechneten Kennwerte (1).

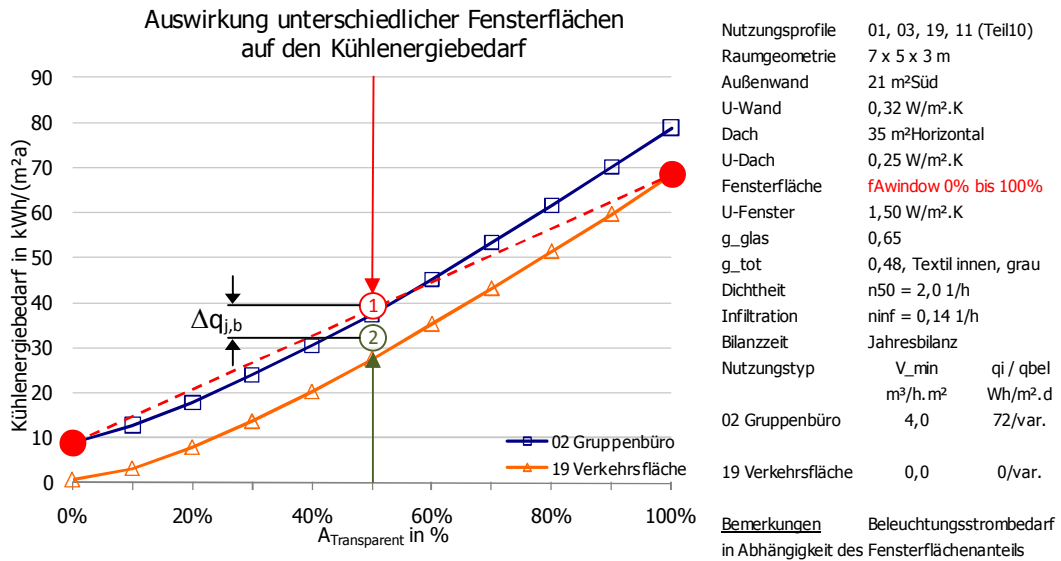


Abbildung 67: Darstellung des Fehlers für vereinfachte Flächenzuweisungen zwischen Zonen mit verschiedenen Nutzungsprofilen (Nutzungstyp A 0 % f_{AF}, Nutzungstyp B 100 % f_{AF})

Die Darstellung des berechneten Fehlers $\Delta q_{j,b}$ erfolgt jeweils als Abweichung vom Ausgangszustand (50 %-Referenzwert). Da die Variation des Nebenparameters für Fensterflächen von 0 bis 100 % untersucht wird, können sich maximale Abweichungen von $\pm 100\%$ ergeben. Abbildung 68 zeigt beispielhaft eine Fehlerauswertung für die Berechnung des Kühlenergiebedarfs bei Variation des Fensterflächenanteils. Die ersten beiden einfarbigen Säulen der Diagramme gehen von gleichen Nutzungen in den beiden betrachteten Zonen aus (Fall A). Zwei Zonen gleicher Grundfläche und gleicher Nutzung werden je mit 0 % und mit 100 % Fensterfläche berechnet. Angegeben wird der Fehler bei der Berechnung des Energiebedarfs in kWh/(m²a) in Bezug zum 50 %-Referenzwert. Bei der Parameterstudie werden neben einem Hauptkriterium auch weitere Nebenkriterien, wie verschiedene Nutzungsprofile, Bauschwere, Art des Sonnenschutzes, Beleuchtungsart, Beleuchtungssteuerung, U-Wert etc., betrachtet, um deren Einfluss auf die Energiebilanz zu bestimmen.

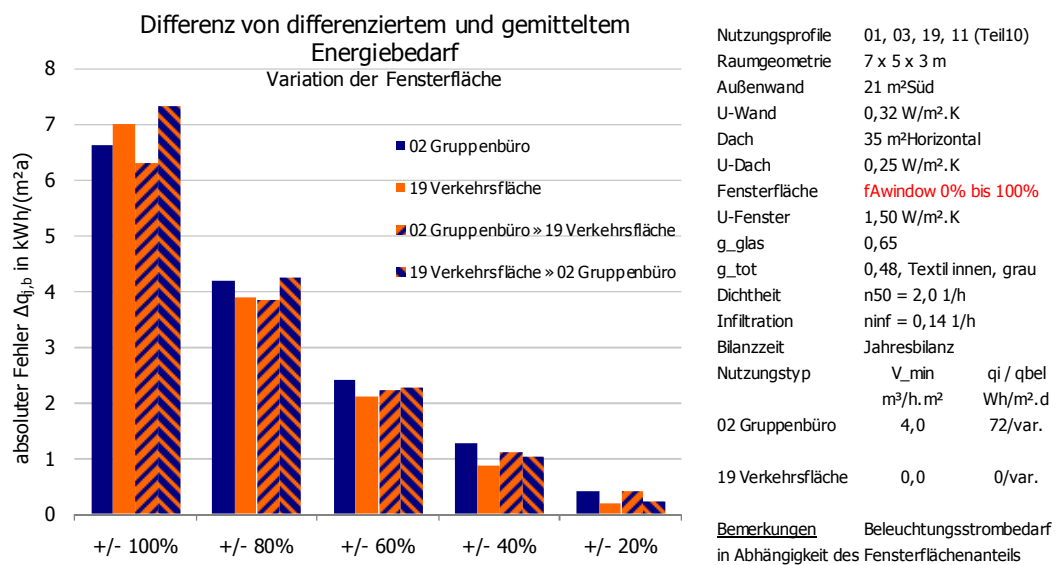


Abbildung 68: Darstellung des Fehlers bei Unter- oder Überschätzung der Fensterfläche für Nutzungsprofile

Natürlich kann eine Unter- und Überschätzung auch in Zonen mit unterschiedlicher Nutzung auftreten. Dies ist in den schraffiert farbigen Säulen dargestellt (beispielhaft in Abbildung 68) und entspricht Fall B. Sie geben den Fehler an, wenn eine Zone (Nutzungsprofil A) mit z. B. 0 % Fensterflächenanteil und eine Zone (Nutzungsprofil B) mit 100 % Fensterflächen vereinfacht je mit 50 % Fensterflächenanteil berechnet werden.

Ein positiver Wert von $\Delta q_{j,b}$ bedeutet, dass der Energiebedarf bei differenzierter Fensterfläche (0 % und 100 %) größer ist als der mit gemittelter Fensterfläche (jeweils mit 50 %). Durch die vereinfachte Zuweisung eines mittleren Fensterflächenanteils wird also bei positivem Zahlenwert der Energiebedarf als Summe unterschätzt.

Der Fehler im Energiebedarf $\Delta q_{j,b}$ berechnet sich nach Gleichung (15).

$$\Delta q_{j,b} = \frac{q_{j,b, \%1, X1} + q_{j,b, \%2, X2}}{2} - \frac{q_{j,b, \%m, X1} + q_{j,b, \%m, X2}}{2} \quad (15)$$

mit

$\Delta q_{j,b}$	kWh/(m ² a)	Fehler beim Energiebedarf als Summe über beide Zonen, mit j für den jeweiligen Betrachtungsfall
$q_{j,b}$	kWh/(m ² a)	spezifischer Energiebedarf der Zone, mit j für den jeweiligen Betrachtungsfall
% 1	-	Ausprägung der vereinfacht zugewiesenen Größe (z. B. Fensterflächenanteil) in der Zone 1
% 2	-	Ausprägung der vereinfacht zugewiesenen Größe (z. B. Fensterflächenanteil) in der Zone 2
% m	-	mittlere Ausprägung der vereinfacht zugewiesenen Größe (z. B. Fensterflächenanteil)
X1	-	erste Ausprägung eines möglichen zweiten Parameters (z. B. Nutzung: Verkehrsfläche)
X2	-	zweite Ausprägung eines möglichen zweiten Parameters (z. B. Nutzung: „Gruppenbüro“)

Auswertung

Eine integrale Energiebilanz berücksichtigt für eine gegebene Nutzung den Baukörper und die Anlagentechnik eines Gebäudes unter Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens und gegenseitiger Wechselwirkungen [21][49][37]. Die DIN V 18599 wird für den öffentlich-rechtlichen Nachweis eingesetzt. Darüber hinaus ist auch die Anwendung in der Energieberatung möglich [40]. Das Berechnungsverfahren ist auf die bedarfsorientierte Bewertung der Gesamtenergieeffizienz für neue und bestehende Wohn- und Nichtwohngebäude anwendbar. Die folgenden Berechnungen stützen sich auf das Normverfahren der DIN V 18599, da dieses Verfahren ein gutes Zusammenspiel baulicher und technischer Komponenten ermöglicht und Wechselwirkungen unterschiedlicher Systeme mitberücksichtigt werden können.

Die Auswirkungen vereinfachter Flächen- und U-Wertzuweisung nach Abschnitt 2 wird für die drei wesentlichen Zonenenergiebilanzen Nutzwärme, Kälte und Beleuchtungsstrom durchgeführt. In den Parameteranalysen werden unterschiedliche Einflussfaktoren berücksichtigt. Die beiden Aspekte „Jahreswert des spezifischen Energiebedarfs“ und „Fehler im Energiebedarf“ werden bei der Diskussion jeweils beleuchtet, wobei der Fehler im Energiebedarf den Schwerpunkt bildet.

3.4 Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf eines Gebäudes setzt sich aus Transmissions- und Lüftungsverlusten und den in der Heizperiode nutzbaren internen und solaren Gewinnen zusammen [35]. Im Falle der Variation der transparenten Bauteile ist ein innen liegender Sonnenschutz zur Begrenzung der solaren Lasten vorgesehen. Ein innen liegender Sonnenschutz stellt hierbei eine Minimalanforderung an den sommerlichen Wärmeschutz dar und dient der praxisnahen Einschätzung. Im Falle der Variation der transparenten Bauteile wird die Energiebilanz aber ebenfalls auch ohne Sonnenschutzsystem

berechnet, um zusätzlich den Einfluss der solaren Lasten ungedämpft abzubilden. Die Nutzenergiebilanz für die Heizwärme ergibt sich nach [35] für den durchgehenden Heizbetrieb zu:

$$Q_{h,b,nutz} = Q_{sink} - \eta \cdot Q_{source} = Q_T + Q_V - \eta \cdot (Q_S + Q_{I,source}) \quad (16)$$

mit

$Q_{h,b}$	kWh	Heizwärmebedarf der Zone b (Nutzwärmebedarf)
Q_{sink}	kWh	Summe der Wärmesenken in der Zone
Q_{source}	kWh	Summe der Wärmequellen in der Zone
η	-	Ausnutzungsgrad der Wärmequellen
Q_T	kWh	Transmissionswärmesenken
Q_V	kWh	Lüftungswärmesenken
Q_S	kWh	solare Einträge
$Q_{I,source}$	kWh	interne Wärmequellen

Die Lüftungsverluste Q_V sowie die internen Wärmequellen $Q_{I,source}$ sind von den Vereinfachungen direkt nicht betroffen, da diese auf Zonenebene separat definiert werden. Bei der Bilanzierung von Zonen mit unterschiedlichen Nutzungsprofilen können diese jedoch indirekt die Ergebnisse beeinflussen. Bei der Berechnung der Ausnutzungsgrade der solaren und internen Gewinne fließen auch die Lüftungsverluste Q_V ein. Eine vereinfachte Zuweisung von U-Werten und Außenflächen hat in Bezug auf den Nutzwärmebedarf einen wesentlichen Einfluss auf die folgenden Größen:

- Höhe der Transmissionsverluste Q_T (U-Wert, opake und transparente Außenflächen)
- Höhe der solaren Einträge transparenter Bauteile $Q_{S,tr}$
- Höhe der solaren Einträge über opake Bauteile $Q_{S,op}$
- Ausnutzungsgrad der verfügbaren Wärmequellen (interne und solare Lasten) η

3.4.1 Auswirkungen von Transmissionsverlusten

Die Transmissionsverluste des Gebäudes $Q_{T,ges}$ ergeben sich als Summe der Verluste der Zonen $Q_{T,j}$. Die Transmissionsverluste berechnen sich als Produkt aus der Außenfläche A , dem mittleren Transmissionsleitwert H'_T und der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen ($\vartheta_i - \vartheta_a$). Unter der Annahme einer einheitlichen Raumtemperatur in allen Zonen ergibt sich:

$$Q_{T,ges} = \sum_j Q_{T,j} \quad (17)$$

$$A_{ges} \cdot H'_{T,ges} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) = \sum_j A_j \cdot H'_{T,j} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) = (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot \sum_j A_j \cdot H'_{T,j} \quad (18)$$

$$A_{ges} \cdot H'_{T,ges} = \sum_j A_j \cdot H'_{T,j} \quad (19)$$

mit

$$H'_{T,ges} = \frac{\sum_j A_j \cdot H'_{T,j}}{A_{ges}} \quad (20)$$

folgt

$$\sum_j A_j \cdot H'_{T,j} = \sum_j A_j \cdot H'_{T,j} \quad (21)$$

mit		
A	m ²	Außenbauteilfläche
H' _T	W/(m ² K)	spezifischer Transmissionswärmeflusskoeffizient
θ _i	°C	Innentemperatur
θ _e	°C	Außentemperatur
ges		Gesamtheit über alle Zonen
j		Zonenindex

Die Transmissionsverluste werden also durch die vereinfachte Zuweisung von U-Wert und Flächen in der Summe nicht verändert. Tritt ein Transmissionswärmestrom zu unbeheizten Gebäudezonen oder Vorbauten oder zum Erdreich auf (Transmission zwischen beheizten Zonen wird vernachlässigt) und wird dies nach [35] für die Heizwärmebilanz über F_x-Faktoren oder Nachbarraumtemperaturen (für die Kühlenergiebilanz nur über die Nachbarraumtemperaturen) in der Berechnung berücksichtigt, so gilt die Aussage auch, da die Ableitung mit H'_T geführt wurde.

3.4.2 Solare Einträge und Ausnutzungsgrad der Quellen

Wird die Fensterfläche vereinfacht auf die Zonen aufgeteilt, ergeben sich Veränderungen in den solaren Einträgen einer Zone. Da die Summe über alle Zonen konstant bleibt, ist die unscharfe Zonenzuordnung dann nicht relevant, sofern die Ausnutzungsgrade η_j der betroffenen Zonen sich nicht wesentlich von dem mittleren Ausnutzungsgrad des Gebäudes η_{ges} unterscheiden. Die Gesamtenergiebilanz erfolgt nach [35] gemäß folgender Gleichung.

$$Q_{T,ges} + Q_{V,ges} - \eta_{ges} \cdot (Q_{S,ges} + Q_{I,source,ges}) = \sum_j Q_{T,j} + \sum_j Q_{V,j} - \sum_j \eta_j \cdot (Q_{S,j} + Q_{I,source,j}) \quad (22)$$

Die Summe der Transmissionsverluste und der Lüftungsverluste sind für das gesamte Gebäude konstant. Das entspricht:

$$\eta_{ges} \cdot (Q_{S,ges} + Q_{I,source,ges}) = \sum_j \eta_j \cdot (Q_{S,j} + Q_{I,source,j}) \quad (23)$$

wenn

$$\eta_{ges} \approx \eta_j \quad (24)$$

ergibt sich

$$\eta_{ges} \cdot (Q_{S,ges} + Q_{I,source,ges}) \approx \sum_j \eta_j \cdot (Q_{S,j} + Q_{I,source,j}) \quad (25)$$

Übersteigen die Wärmegewinne die Wärmeverluste, dann lassen sich die Wärmegewinne nicht mehr vollständig nutzen. Der Ausnutzungsgrad η berücksichtigt das zeitlich unterschiedliche Auftreten von Wärmesenken und Wärmequellen in einer Bilanzzone. Er hängt vom Verhältnis γ der Wärmegewinne zu den Wärmeverlusten und von der Zeitkonstante τ in einer Berechnungszone ab [32][35][37][49][50]. Nach [35] berechnet sich das Gewinn-zu-Verlust-Verhältnis gemäß folgender Beziehung:

$$\gamma = \frac{Q_{source}}{Q_{sink}} = \frac{Q_i + Q_s}{Q_T + Q_V} \quad (26)$$

mit		
Q_{source}	kWh	Summe der monatlichen Wärmequellen in einer Gebäudezone
Q_{sink}	kWh	Summe der monatlichen Wärmesenken in einer Gebäudezone
Q_i	kWh	interne monatliche Gewinne durch Personen und Arbeitshilfen
Q_s	kWh	monatliche Gewinne durch solare Einstrahlung
Q_T	kWh	monatliche Transmissionswärmesenken einer Gebäudezone
Q_V	kWh	monatliche Lüftungswärmesenken einer Gebäudezone

Die raumklimatisch wirksame Wärmespeicherkapazität c_{wirk} einer Gebäudezone beeinflusst die Höhe des Ausnutzungsgrades durch Berücksichtigung von Speichereffekten. Dabei kann die Schichtdicke d_j einer raumseitigen Wärmespeicherschicht j nur bis zu einer Wärmedämmschicht oder bis maximal 10 cm berücksichtigt werden, da die dahinterliegenden Bauteilschichten, in der Zeitspanne der Wärmeein- und -auspeicherung, von der Wärmewelle nicht erreicht werden [37]. Die Berechnung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit erfolgt durch Summation der Wärmespeicherfähigkeiten aller zur Speicherung geeigneten Oberflächenschichten der thermisch konditionierten Zone.

$$c_{wirk} = \sum_j (c_j \cdot \rho_j \cdot d_j \cdot A_j) \quad (27)$$

In der Nachweispraxis, so auch nach [35], wird diese wirksame Speicherkapazität mit einem flächen- und bauausführungsabhängigen Schätzwert belegt. C_{wirk} berechnet sich nach folgender Abhängigkeit:

- leichte Bauweise $C_{wirk} = 50 \text{ Wh}(m^2 \cdot K) \cdot A_B$
- mittelschwere Bauweise $C_{wirk} = 90 \text{ Wh}(m^2 \cdot K) \cdot A_B$
- schwere Bauweise $C_{wirk} = 130 \text{ Wh}(m^2 \cdot K) \cdot A_B$

Die Gebäudezeitkonstante τ beschreibt den Zeitverlauf, mit dem ein Gebäude auskühlt oder sich aufheizt. τ hängt zum einen von der Höhe der Wärmespeicherfähigkeit der beheizten Zone ab, zum anderen bestimmen die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste das Zeitverhalten. Zonen mit großer Zeitkonstante haben in der Regel eine hohe Wärmespeicherfähigkeit und vergleichsweise geringe Wärmeverluste. Die Gebäudezeitkonstante τ berechnet sich nach [35] gemäß folgender Gleichung:

$$\tau = \frac{C_{wirk}}{\sum_j H_{T,j} + \sum_j H_{V,j} + H_{V,mech,\vartheta}} \quad (28)$$

mit		
C_{wirk}	Wh/K	wirksame Wärmespeicherkapazität
H_T	W/K	Wärmetransferkoeffizient für Transmission
H_V	W/K	Wärmetransferkoeffizient für Lüftung
$H_{V,mech,\vartheta}$	W/K	temperaturgewichteter Wärmetransferkoeffizient für mechanische Lüftung

Der Ausnutzungsgrad wird nach folgenden Beziehungen näherungsweise berechnet [32]. Dabei sind bei der Berechnung zwei Fallunterscheidungen in Abhängigkeit des Gewinn-zu-Verlust-Verhältnisses zu machen.

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a-1}} \quad \text{für } \gamma \neq 1 \quad (29)$$

$$\eta = \frac{a}{a + 1} \quad \text{für } \gamma = 1 \quad (30)$$

Es erfolgt eine Bewertung über einen numerischen Parameter a , welcher die aus Simulationsverfahren gewonnenen Parameter a_0 (1 bei der monatlichen Bilanzierung) und τ_0 (16 h) mit der Gebäudezeitkonstante τ verknüpft [37].

$$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0} \quad (31)$$

Die solaren und internen Gewinne sind mit dem Ausnutzungsgrad η abzustimmen, um die nutzbaren solaren und internen Wärmegewinne zu erhalten. Der Ausnutzungsgrad kann als Funktion des Wärmeverlust-zu-Gewinn-Verhältnisses γ und der Gebäudezeitkonstante τ beschrieben werden.

$$\eta = f\left(\frac{Q_{source}}{Q_{sink}}, \tau\right) \quad (32)$$

Folgend wird der Ausnutzungsgrad in Abhängigkeit des Gewinn-zu-Verlust-Verhältnisses und der Bauschwere aufgetragen. Der Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne stellt sich demnach als Funktion der Wärmegewinne, der Wärmeverluste und der Auskühlzeitkonstante des Gebäudes dar.

Monatsbilanz

Da das in DIN V 18599, Teil 2 enthaltene Verfahren ein Monatsbilanzverfahren ist, werden alle Berechnungen in monatlicher Zeitaufösung durchgeführt [35]. Die Bilanz erfolgt für einen durchschnittlichen Tag eines jeden Monats und wird dann mit der Anzahl der Tage im Monat multipliziert. Die Randbedingungen werden als durchschnittliche Tagesmittelwerte eingesetzt und die Wärmequellen und -senken als Tageswerte berechnet. Sofern unterschiedliche Randbedingungen für einen Tag gelten, sind diese Zeiträume in entsprechenden Tagesanteilen für jeden Monat getrennt, mit den dann geltenden Randbedingungen zu bilanzieren (Wochenende oder Feiertage und Nutztage). Wie Abbildung 69 zeigt, hängt der Ausnutzungsgrad sehr stark vom Gewinn-zu-Verlust-Verhältnis γ ab. Ab einem γ von etwa 2,5 ergeben sich keine großen Unterschiede mehr zwischen den verschiedenen Bauweisen.

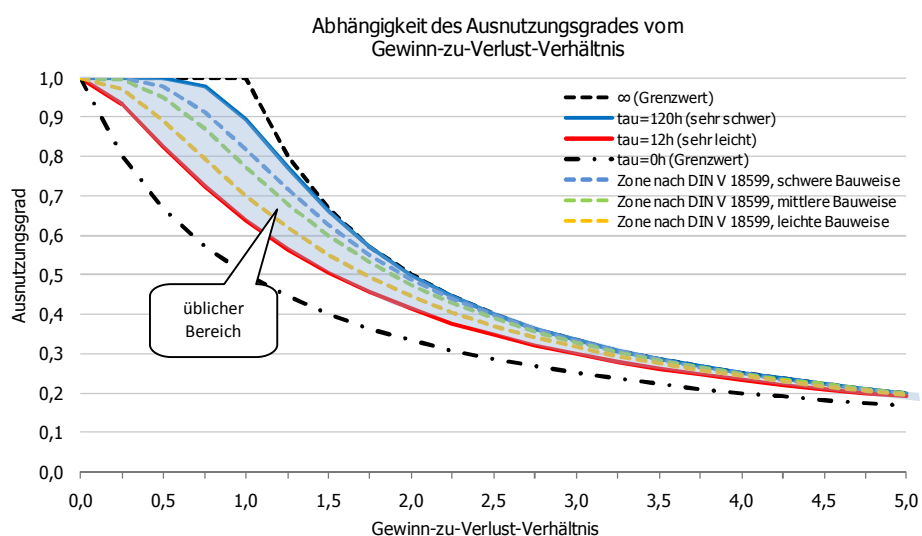


Abbildung 69: Darstellung der Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades von der Bauschwere und des Gewinn-zu-Verlust-Verhältnisses. Berechnet für eine Standardzone mit den Randbedingungen nach Tabelle 23.

Ausnutzungsgrad und Wärmedurchgangskoeffizient

Für eine typische Nutzung (hier Gruppenbüro) wird der Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne für jeden Monat eines Jahres berechnet. Dabei wird der U-Wert aller opaken Bauteile von 0 bis 1 W/(m²K) in 0,1-Schritten variiert, um die Änderung des Ausnutzungsgrades in Abhängigkeit des U-Wertes aufzuzeigen. In Abbildung 70 werden die berechneten monatlichen Ausnutzungsgrade in Abhängigkeit der verwendeten U-Werte aufgetragen. Die Variation im horizontalen Verlauf der Kurven zeigt den Einfluss des U-Wertes auf den jeweiligen monatlichen Ausnutzungsgrad. In der Heizperiode verläuft die obere Linienschar nahezu waagrecht, in den Sommermonaten und in der Übergangszeit, bei höheren solaren Lasten und demnach steigendem Gewinn-zu-Verlust-Verhältnis, berechnen sich größere U-Wert-Abhängigkeiten.

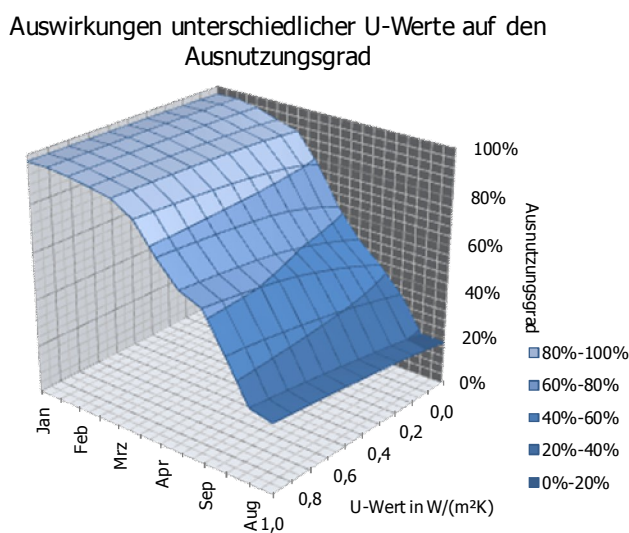
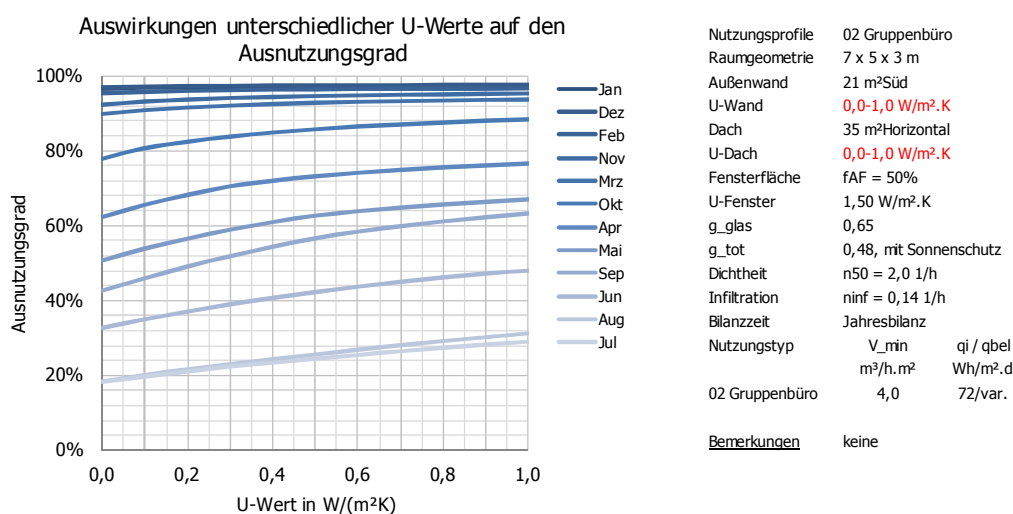


Abbildung 70: Veränderung des Ausnutzungsgrads bei Unter- oder Überschätzung der U-Werte opaker Außenbauteile (Außenwand und Dach) innerhalb der Heizperiode – opake Flächen und transparente Flächen sind richtig zugewiesen.

Der Ausnutzungsgrad der internen und solaren Wärmegewinne für das Nutzungsprofil „Gruppenbüro“ wird durch den U-Wert der opaken Bauteile in den Monaten November bis Februar nicht wesentlich beeinflusst. Eine Ursache ist der relativ niedrige Anteil der solaren Gewinne an den Gesamtgewinnen und der hohe Verlustanteil aufgrund niedriger Außentemperaturen. Die größte Abweichung tritt an den Grenzen der Heizperiode auf, da in dieser Zeit mehr solare Gewinne zur

Verfügung stehen und die Verluste aufgrund geringerer Temperaturdifferenzen geringer sind. Die Beispielzone wird mit einem Fensterflächenanteil von 50 % bilanziert. Bei größeren Fensterflächenanteilen verschiebt sich die Abhängigkeit jedoch weiter in die Heizperiode.

Auswertung über alle Nutzungsprofile

Für weitere Untersuchungen wird der Betrachtungsmonat Februar als Vergleichsmonat herangezogen. Dieser repräsentiert den Monat in der Heizperiode in welchem die mittlere Monatstemperatur gleich der mittleren Monatstemperatur der gesamten Heizperiode ist ($\sim 4^{\circ}\text{C}$). Tabelle 24 zeigt den Einfluss der Variation des U-Wertes opaker Bauteile auf den Ausnutzungsgrad η für alle Nutzungsprofile nach DIN V 18599-10 [48] jeweils für den Berechnungsmonat Februar. Im Monat Februar sind in der Regel hohe Ausnutzungsgrade zu erwarten. Ziel der Untersuchung ist eine Identifizierung von Nutzungsprofilen mit davon stark abweichenden Ausnutzungsgraden. Es gelten die Berechnungsrandparameter nach Tabelle 23. Für jedes Nutzungsprofil werden der mittlere η_{mean} , der minimale η_{min} und der maximale Ausnutzungsgrad η_{max} für U-Werte zwischen 0 bis $1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ermittelt und die größte absolute F und relative Abweichung f zum mittleren Ausnutzungsgrad η_{mean} bestimmt.

Tabelle 24: Maximal- und Minimalwert des Ausnutzungsgrades, absolute und relative Abweichung für alle Nutzungsprofile im Berechnungsmonat Februar bei Variation der U-Werte von 0 bis $1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Nutzungstyp	Minimalwert η_{min}	Maximalwert η_{max}	50 %- Referenzwert η_{mean}	größte absolute Abweichung F zu η_{mean}	größte relative Abweichung f zu η_{mean}
01 Einzelbüro	0,944	0,962	0,958	0,014	1,5 %
02 Gruppenbüro	0,953	0,967	0,964	0,011	1,1 %
03 Großraumbüro	0,937	0,953	0,949	0,012	1,3 %
04 Sitzungsraum	0,952	0,957	0,955	0,003	0,3 %
05 Schalterhalle	0,966	0,977	0,976	0,010	1,0 %
06 Einzelhandel	0,943	0,961	0,957	0,014	1,5 %
07 Handel und Kühlung	0,994	0,997	0,995	0,001	0,1 %
08 Klassenzimmer	0,963	0,968	0,966	0,004	0,4 %
09 Hörsaal	0,906	0,917	0,912	0,006	0,6 %
10 Bettzimmer	0,938	0,952	0,947	0,009	1,0 %
11 Hotelzimmer	0,962	0,974	0,972	0,010	1,1 %
12 Kantine	0,951	0,957	0,955	0,004	0,4 %
13 Restaurant	0,939	0,945	0,942	0,003	0,4 %
14 Küche	0,832	0,841	0,836	0,004	0,5 %
15 Küche, Lager, Vorbereit.	0,936	0,943	0,940	0,004	0,4 %
16 WC, Sanitär	0,986	0,987	0,986	0,001	0,1 %
17 sonstige Aufenthaltsräume	0,959	0,965	0,963	0,005	0,5 %
18 Nebenflächen	0,994	0,996	0,995	0,001	0,1 %
19 Verkehrsfläche	0,992	0,993	0,993	0,001	0,1 %
20 Lager, Technik	0,994	0,996	0,996	0,001	0,1 %
21 Serverraum	0,233	0,475	0,372	0,139	37,3 %
22 Werkstatt	0,916	0,929	0,923	0,007	0,8 %
23 Zuschauerraum	0,954	0,958	0,956	0,003	0,3 %
24 Theaterfoyer	0,974	0,975	0,974	0,001	0,1 %
25 Theaterbühne	0,899	0,965	0,958	0,059	6,2 %
26 Messe-, Kongressräume	0,945	0,962	0,958	0,013	1,4 %
27 Ausstellungsräume	0,987	0,989	0,989	0,002	0,2 %
28 Bibliothek, Lesesaal	0,906	0,930	0,922	0,016	1,7 %
29 Bibliothek, Freihand	0,966	0,977	0,976	0,010	1,0 %
30 Bibliothek, Magazin	0,993	0,996	0,994	0,001	0,1 %
31 Sporthalle	0,951	0,966	0,963	0,012	1,2 %

Im Monat Februar liegt die relative Abweichung bei allen Nutzungsprofilen, außer beim „Serverraum“ und der Theaterbühne, unter 1,5 %. Die relativ hohe Abweichung vom Mittelwert mit 37,3 % beim „Serverraum“ lässt sich durch die sehr hohen internen Lasten von $1\,815\text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$ erklären. In einem „Serverraum“ sind die internen Gewinne (Abwärme von Geräten) so hoch, dass diese fast ausschließlich zur Beheizung einer solchen Zone ausreichen. Diese Räume werden in der Regel auch ganzjährig gekühlt.

Übliche Nutzungen mit moderaten internen Wärmequellen zeigen geringer werdende Ausnutzungsgrade mit steigenden solaren Gewinnen. Nur in Zonen mit sehr hohen internen Wärmequellen (Serverraum) können gegenteilige Beobachtungen gemacht werden. Stark ansteigende Transmissionsverluste, z. B. durch höhere Glasanteile, können das Gewinn-zu-Verlust-Verhältnis derart beeinflussen, dass der Ausnutzungsgrad ansteigt.

Während der Monate mit geringen mittleren Außenlufttemperaturen (November bis Februar) ist die Abhängigkeit der Ausnutzungsgrade vom U-Wert opaker Bauteile gering. Für die Fehlerberechnung ist dies insofern wichtig, da für die Bilanzierung des Jahresheizwärmebedarfs auch die Übergangsmo­nate März, April, Mai und September interessant sind. In diesen Monaten sind die Auswirkungen unterschiedlicher U-Werte aufgrund der höheren solaren Einstrahlung und der geringeren Lüftungs- und Transmissionsverluste durch höhere mittlere Außentemperaturen (Gewinn-zu-Verlust-Verhältnis) deutlicher. Bei Anwendung einer vereinfachten Hüllflächenzuweisung sind Unterschiede im Heizenergiebedarf demnach insbesondere in den Übergangsmo­naten zu erwarten.

Die monatliche Veränderung des Ausnutzungsgrades bei unterschiedlichen U-Werten ist im Anhang, Abschnitt A.4, für alle Nutzungsprofile nach DIN V 18599 dargestellt.

Randparameter

Die Untersuchung der Auswirkungen variierender Außenwandflächen und/oder U-Werte opaker Bauteile auf den Heizwärmebedarf erfolgt in einer Zonenbilanz. Da U-Wert und Fläche eines Bauteils als Produkt in Gleichung (18) auftreten, kann eine U-Wert-Änderung ebenfalls auch als Flächenänderung interpretiert werden. Es werden die Randbedingungen nach Tabelle 25 berücksichtigt.

Tabelle 25: Randbedingungen bei der Bilanzierung des Heizwärmebedarfs

kein Transmissionswärmestrom zwischen Zonen (Annahme: alle Zonen sind gleich konditioniert oder Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes)
Berücksichtigung einer Nacht- und Wochenendabsenkung
Berücksichtigung von solaren Einträgen auf opake Bauteile
keine Wärmeabgabe von Verteilleitungen (Betrachtung der ersten Nutzenergiebilanz)
mittlere interne Lastprofile nach DIN V 18599-10 [48]
interne Lasten durch Beleuchtung nach dem Monatsverfahren, zonenspezifisch nach [45]

Die Berechnungen werden mit vier unterschiedlichen Nutzungsprofilen nach Tabelle 26 durchgeführt. Diese werden aufgrund verschiedener internen Lasten, der

Mindestaußenluftvolumenströme und der Auswirkungen auf den Ausnutzungsgrad gewählt. Die Mindestaußenluftmengen für ein Nutzungsprofil richten sich in der Regel nach der Personenbelegung und der für eine Person erforderlichen Mindestluftmenge [33]. Interne Lasten durch Arbeitshilfen und Geräte gehen bei vielen Nutzungsprofilen mit der Personenbelegung einher (Beispiel: PC-Arbeitsplätze).

Die Zone „Serverraum“ repräsentiert hier einen markanten Sonderfall. Die Mindestluftmenge in dieser Zone ist mit $1,3 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ im Vergleich zur Büronutzung mit 4 bis $6 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ gering. Dies führt je nach gewähltem Lüftungskonzept zu wesentlich niedrigeren Lüftungswärmeverlusten für diese Nutzung. Die internen Lasten für das Nutzungsprofil „Serverraum“ mit $1\,815 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$ liegen im Gegensatz zum Nutzungsprofil „Büro“ etwa 35-mal so hoch. Für diese unterschiedlichen Nutzungsprofile können sich durch unscharf verteilte Hüllflächen größere Differenzen bei der energetischen Bilanzierung ergeben.

Tabelle 26 zeigt die ausgewählten Nutzungsprofile für die Variantenuntersuchungen.

Tabelle 26: Ausgewählte Nutzungsprofile bei der Variantenuntersuchung zur Bestimmung der Auswirkungen von vereinfachter Flächenzuweisung auf den Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne und den Heizwärmebedarf

02 Gruppenbüro	mittlere interne Lasten
03 Großraumbüro	hohe interne Lasten
19 Verkehrsfläche	keine internen Lasten
21 Serverraum	extrem hohe interne Lasten, funktionsbestimmte Nutzung

Für die vier Nutzungen wird die Veränderung des Heizwärmebedarfs untersucht. Die folgenden Parameter werden dabei variiert.

- Nutzungstyp
- U-Wert bzw. Flächenanteil opaker Bauteile
- Orientierung
- Absorptionsgrade opaker Bauteile
- Flächenanteil transparenter Bauteile
- Qualität des Sonnenschutzes
- Verbauungssituation
- Bauschwere

3.4.3 Gebäudehüllfläche oder U-Werte opaker Bauteile

Zur Analyse des Einflusses auf die Heizenergiebilanz ist die Heizperiode von Interesse. Die heizfreie Zeit reicht in der Regel von Mitte April bis Mitte September [51]. Übliche Werte für mittlere U-Werte opaker Bauteile für Neubauten liegen zwischen 0,1 und $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ [13][14][15][52][53][54] und sind für die praktische Auswertung interessant.

Abbildung 71 zeigt den Verlauf des Heizwärmebedarfs bei unterschiedlichen U-Werten opaker Bauteile (oder deren Flächenanteilen). Der bei U-Werten von $0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ berechnete Heizwärmebedarf wird lediglich durch den Mindestaußenluftwechsel, die Transmissionsverluste durch transparente Bauteile, die Infiltrationsverluste sowie den solaren und internen Gewinnen einer Zone bestimmt. Hier unterscheiden sich die 3 Varianten entsprechend den in den Nutzungsprofilen [48] vorgegebenen Werten. Der Zuwachs des Heizwärmebedarfs mit steigendem U-Wert opaker Bauteile ist für die ersten drei Nutzungsprofile in etwa gleich. Beim „Serverraum“ können die internen Lasten einen sehr hohen Beitrag zur Deckung der Verluste verbuchen. Bis zu einem mittleren U-Wert von etwa $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ reichen diese Gewinne aus, um den Heizwärmebedarf vollständig zu decken.

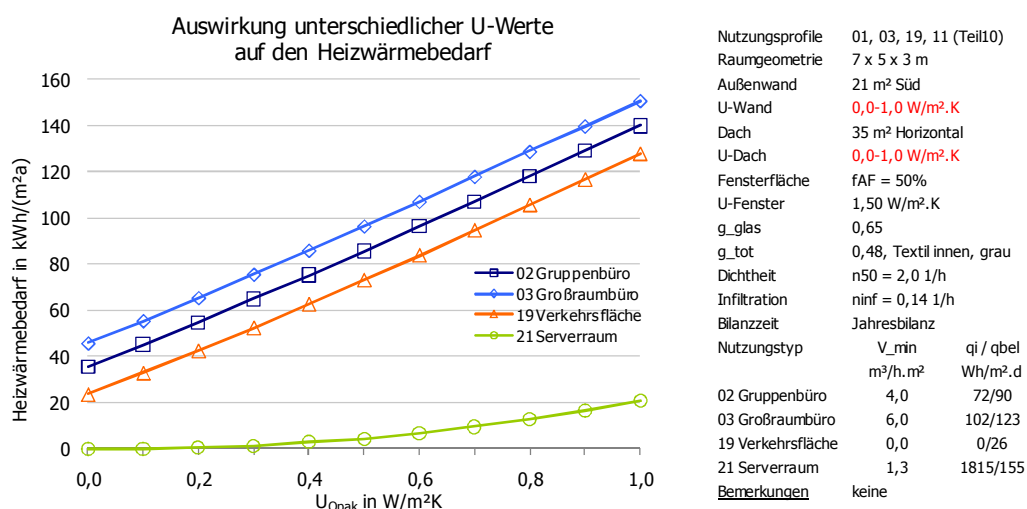


Abbildung 71: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Unter- oder Überschätzung der U-Werte opaker Außenbauteile

Eine fehlerhafte Zuweisung der U-Werte opaker Bauteile (oder deren Flächen) von $\pm 100 \%$ verursacht für die ersten drei Nutzungsprofile einen Fehler von etwa $3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ im Heizwärmebedarf. Der geringe Fehler ist durch den quasi-linearen Kurvenverlauf des Heizwärmebedarfs zu erklären. Beim „Serverraum“ liegt der Fehler mit etwa $6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ etwas höher. Betrachtet man unscharfe Flächenzuweisungen zu verschiedenen Nutzungsprofilen, so ergeben sich größere Abweichungen. In der Berechnung wird eine Flächenverschiebung vom Nutzungsprofil „Gruppenbüro“ zu den anderen Nutzungsprofilen (Großraumbüro, Verkehrsfläche und Serverraum) durchgeführt. Bei der Kombination mit einem „Serverraum“ können Abweichungen von -17 bis $+25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ berechnet werden. Die Verschiebung von Flächen in die anderen beiden Nutzungsprofile ergeben Fehler in gleicher Höhe wie bei den Nutzungsprofilen selbst.

Da für den „Serverraum“ der berechnete 50 %-Referenzwert mit $5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ einen sehr niedrigen Zahlenwert annimmt, ergeben sich bei geringen absoluten Abweichungen hohe relative Abweichungen. Für den „Serverraum“ ist die Darstellung des relativen Fehlers dadurch nicht aussagekräftig und muss immer zur absoluten Abweichung in Relation gesetzt werden. Weist man die U-Werte/Flächen opaker Bauteile unterschiedlichen Nutzungen/Zonen zu, so kann mit Ausnahme des Vorhandenseins eines Serverraums ein maximaler Fehler von 3% berechnet werden.

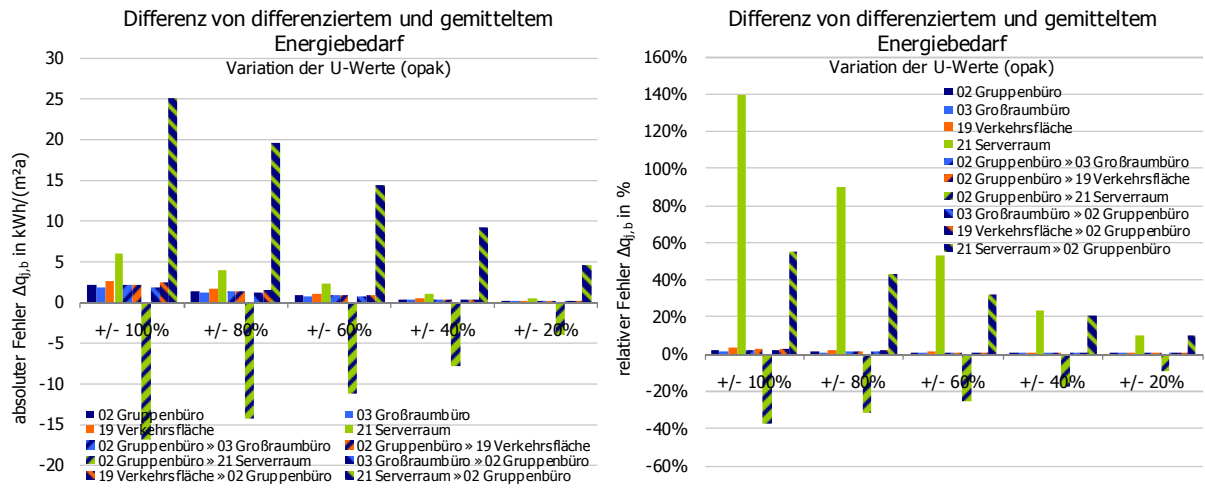


Abbildung 72: Fehler $\Delta q_{j,b}$ beim Heizwärmebedarf, Variation der U-Werte aller opaken Bauteile

3.4.4 Variation der Orientierung

Die Orientierung hat einerseits Auswirkungen auf die solaren Gewinne über Fenster und opake Bauteile. Der Einfluss der Orientierung wird für eine Zone mit dem Nutzungsprofil „Gruppenbüro“ und einem Fensterflächenanteil von 50 % ermittelt. Als Hauptparameter wird der U-Wert bzw. die Fläche opaker Bauteile variiert. Die Untersuchung erfolgt für die vier Hauptorientierungen als Nebenparameter. Die Kurven der berechneten Heizwärmebedarfe verlaufen relativ linear und in gleichbleibendem Abstand zueinander. Für die Südorientierung bilanzieren sich aufgrund der höheren solaren Einstrahlung geringere Energiekennwerte, während für die Nordorientierung die höchsten Werte berechnet werden.

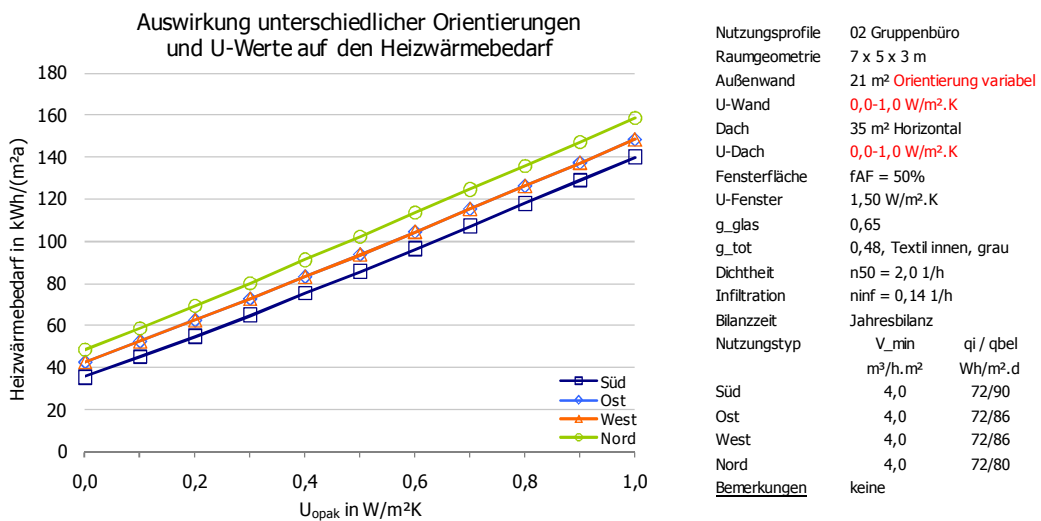


Abbildung 73: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Unter- oder Überschätzung der U-Werte opaker Außenbauteile für unterschiedliche Orientierungen (Fensterflächenanteil 50 %)

Der absolute Fehler bei einer $\pm 100\%$ fehlerhaften Zuweisung liegt, bezogen auf den 50 %-Referenzwert, zwischen 1,2 und 2,1 kWh/(m²a). Verschiebt man Bauteilflächen in Zonen mit unterschiedlichen Orientierungen, so berechnen sich von der Orientierung abhängige unterschiedliche solare Gewinne über Fenster und über opake Bauteile. Zwischen den Varianten „Süd“ und „Nord“ können Fehler bis zu 3,1 kWh/(m²a) ermittelt werden. Die relativen Abweichungen liegen bei etwa 1,2 bis 2,4 %. Lediglich bei einem Mix aus „Süd“ und „Nord“ steigt der Fehler bei der Bilanzierung des Heizwärmebedarfs auf 3,3 % an.

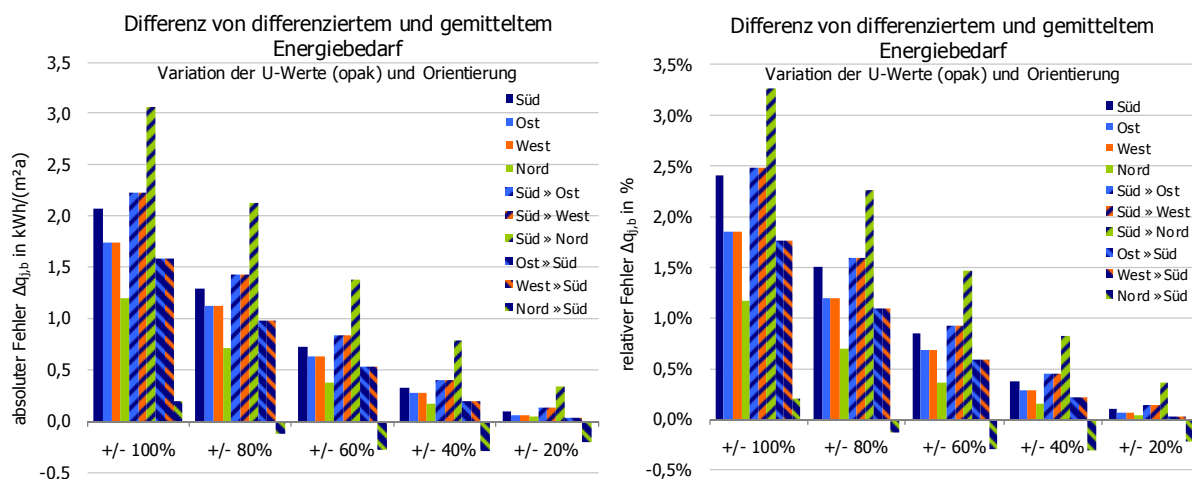


Abbildung 74: Fehler $\Delta q_{j,b}$ beim Heizwärmebedarf, Variation der U-Werte und der Orientierung

3.4.5 Solare Erträge über opake Bauteile

Solare Gewinne oder Abstrahlungsverluste über opake Bauteile ergeben sich infolge kurzweiliger Einstrahlung auf ein Bauteil als Gewinn und durch langwellige Abstrahlung als Verlust. Wenn im Berechnungsabschnitt t die nutzbare solare Einstrahlungsmenge gegenüber dem langwelligen Abstrahlungsanteil überwiegt, liegt eine Wärmequelle für eine Zone vor. In Wintermonaten mit kurzen Tageslängen überwiegt in der Regel die nächtliche Abstrahlung (insbesondere bei klarem Himmel), und es ergibt sich im Monatsmittel ein Wärmeverlust durch diese Strahlungsvorgänge [37]. Nach [35] berechnen sich die solaren Wärmeerträge nach Gleichung (33), wobei die Gewinne mit den Verlusten zu saldieren sind.

$$Q_{s,op} = R_{se} \cdot U \cdot A \cdot (\alpha \cdot I_s - F_f \cdot h_r \cdot \Delta\vartheta_{er}) \cdot t \tag{33}$$

wenn $\alpha \cdot I_s > F_f \cdot h_r \cdot \Delta\vartheta_{er}$ liegt eine Wärmequelle vor,

wenn $\alpha \cdot I_s < F_f \cdot h_r \cdot \Delta\vartheta_{er}$ liegt eine Wärmesenke vor.

mit		
$Q_{s,op}$	kWh	solare Wärmeerträge über opake Bauteile
R_{se}	(m²K)/W	äußerer Wärmeübergangswiderstand
U	W/(m²K)	Wärmeübergangsdurchgangskoeffizient eines Bauteils
A	m²	Gesamtfläche des Bauteils in einer Orientierung
α	-	Absorptionskoeffizient des Bauteils für Solarstrahlung
I_s	W/m²	globale Sonneneinstrahlung für die Orientierung der Bauteilfläche
F_f	-	Formfaktor zwischen dem Bauteil und dem Himmel
h_r	W/(m²K)	äußerer Abstrahlkoeffizient
$\Delta\vartheta_{er}$	K	mittlere Differenz zwischen der Temperatur der Umgebungsluft und der scheinbaren Temperatur des Himmels (vereinfacht 10K)
t	h	Dauer des Berechnungszeitraums (t = 24h)

In der folgenden Parameteranalyse wird die Gebäudezone erst **ohne Fensterflächen** berechnet, um den Einfluss der Erträge über opake Bauteile erkennbar zu machen. Dann wird die Gebäudezone mit einem **Fensterflächenanteil** von **50 %** berechnet. Für die Vergleichsrechnungen werden U-Wert und Absorptionsgrade variiert. Die Analysen erfolgen für unterschiedliche Randbedingungen nach Tabelle 27. Für den ersten Fall wird ganz ohne den Einfluss von solaren Gewinnen über opake Bauteile gerechnet. Bei allen anderen Varianten werden solare Gewinne über opake Bauteile in den Bilanzen

berücksichtigt und die Ausprägungen unterschiedlicher Absorptionsgrade untersucht. Es werden drei Absorptionsklassen definiert. Es werden immer die Wände und das Dach gleichzeitig variiert.

Tabelle 27: Verwendete Absorptionsgrade für die Variantenuntersuchung des Einflusses von Erträgen über opake Bauteile

Randbedingungen	Absorptionsgrad Wände	Absorptionsgrad Dach	Variantenname
keine Berücksichtigung von Erträgen	keine	keine	ohne Gewinne
geringe Absorption, höhere Reflektion	$\alpha = 0,4$ (hell)	$\alpha = 0,2$ (Metall)	a_AW 0,4, a_DA 0,2
mittlere Absorption, mittlere Reflektion	$\alpha = 0,6$ (gedeckt)	$\alpha = 0,6$ (ziegelrot)	a_AW 0,6, a_DA 0,6
hohe Absorption, geringe Reflektion	$\alpha = 0,8$ (dunkel)	$\alpha = 0,8$ (dunkel, Bitumen)	a_AW 0,8, a_DA 0,8

Ohne Fenster

Vergleicht man die Verläufe der berechneten Heizwärmebedarfe, so lässt sich feststellen, dass mit steigendem U-Wert der Einfluss solarer Gewinne über opake Bauteile ansteigt. Werden sehr geringe Absorptionsgrade angesetzt, so können höhere Heizwärmebedarfe bilanziert werden, da die absorbierte kurzweilige Einstrahlung mit fallendem Absorptionskoeffizient abnimmt und die Verluste dann deutlicher überwiegen. Innerhalb neubaupraktischer U-Wertspannen von 0,1 bis 0,4 W/(m²K) sind die Unterschiede jedoch marginal.

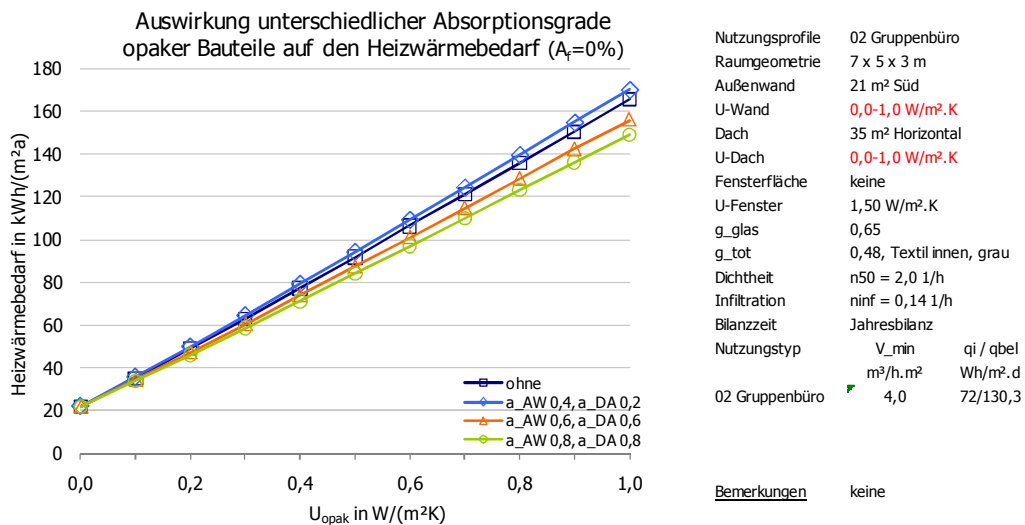


Abbildung 75: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Unter- oder Überschätzung der U-Werte opaker Außenbauteile in Kombination mit unterschiedlichen Absorptionsgraden opaker Bauteile (ohne Fenster)

Die unscharfe Verteilung von Bauteilen mit verschiedenen Absorptionskoeffizienten führt zu geringen Fehlern in der Energiebilanz. Der absolute Fehler bei einer ±100 % fehlerhaften Zuweisung liegt, bezogen auf den 50 %-Referenzwert, zwischen 1,5 und 2,0 kWh/(m²a). Die Variante „ohne Gewinne“ entspricht dem Fehler bei alleiniger U-Wert- bzw. Flächenvariation. Der hier sehr gering bilanzierte Fehler entsteht aufgrund der leichten Nichtlinearität des Verlaufs des bilanzierten Heizwärmebedarfs. Diese Nichtlinearität berechnet sich durch den Einfluss interner Wärmequellen¹⁰ auf den Ausnutzungsgrad bei variablen Transmissionsverlusten - dies ist insbesondere in den

¹⁰ Hier in der Berechnung nur durch Beleuchtung, Personen und Arbeitshilfen; keine direkten solaren Gewinne über Fenster.

Übergangszeiten relevant. Mit größeren Absorptionskoeffizienten verringern sich tendenziell die berechneten Fehler. Verschiebt man Bauteilflächen mit unterschiedlichen Absorptionskoeffizienten, so ergeben sich höhere Fehler. Zwischen der Variante „ohne Gewinne“ und der mit „höchsten Absorptionsgraden“ liegt auch die maximale Differenz von knapp 6 kWh/(m²a). Die relativen Abweichungen innerhalb einer Absorptionsklasse liegen bei etwa 2,0 %. Lediglich bei einem Mix aus „ohne Berücksichtigung opaker Gewinne“ und „mit sehr hohen Absorptionsgraden“ ($\alpha = 0,8$) steigt der Fehler bei der Bilanzierung des Heizwärmebedarfs auf 7 % an.

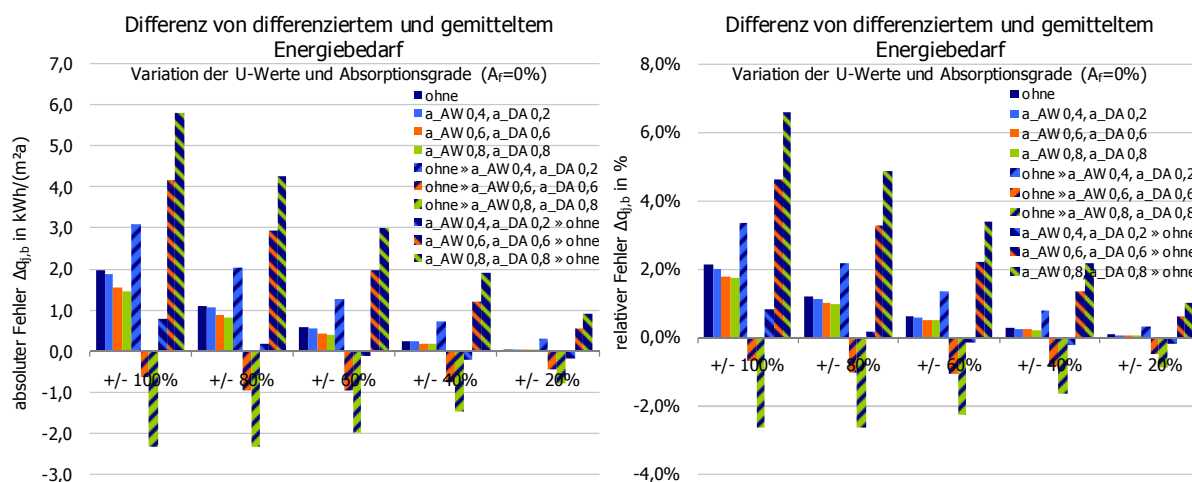


Abbildung 76: Fehler $\Delta q_{i,b}$ beim Heizwärmebedarf, Variation der U-Werte und der Absorptionsgrade aller opaken Bauteile

Mit Fenster

Im Folgenden wird der Einfluss solarer Gewinne über opake Bauteile unter Berücksichtigung einer Fensterfläche von 50 % (gemäß Tabelle 23) in einer Zone ermittelt. Es wird ein innen liegender Sonnenschutz mit $g_{tot} = 0,48$ angesetzt. Dieser Fall entspricht praxisnahen Randbedingungen, da solare Gewinne über opake Bauteile nutzungsbedingt in der Regel auch mit einem Vorkommen von Fensterflächen in Außenwänden einhergehen.

Der Anstieg der Differenz zwischen den berechneten Kurven fällt aufgrund der Einwirkung solarer Gewinne über Fenster geringer aus als bei der Betrachtung ohne Fenster. Das liegt einerseits an der geringen Bauteilfläche und andererseits am höheren Anteil der solarer Gewinne über die Fenster. Für neubautypische U-Werte (0,1 bis 0,4 W/(m²K)) sind die Unterschiede auch hier sehr gering. Erst bei höheren U-Werten zeichnen sich Differenzen ab, die Auswirkungen auf den Energiebedarf haben können. Für die Berechnung bestehender Gebäude mit höheren U-Werten ist der Einfluss demnach stärker zu bewerten.

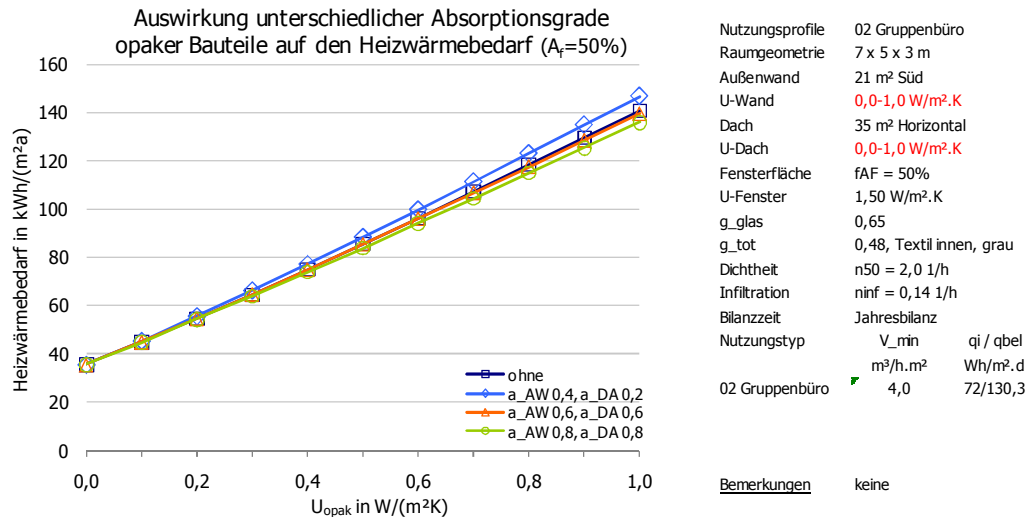


Abbildung 77: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Unter- oder Überschätzung der U-Werte opaker Außenbauteile in Kombination mit unterschiedlichen Absorptionsgraden opaker Bauteile (mit 50 % Fensterflächenanteil)

Direkte solare Gewinne über Fensterflächen beeinflussen die Auswirkungen der solaren Gewinne über opake Bauteile auf zwei Arten. Zum einen werden in einer Zone insgesamt höhere Gesamtgewinne berechnet, was dazu führt, dass der Einfluss der vergleichsweise geringen Gewinne über opake Bauteile schwindet. Zum anderen werden die Ausnutzungsgrade durch die höheren Gesamtgewinne niedriger berechnet, was dann zu einer geringeren Ausnutzbarkeit der Gewinne führt. Bei einer Fehlzuweisung von $\pm 100\%$ werden innerhalb einer Absorptionsklasse Fehler zwischen 1,7 und 2,7 kWh/(m²a) berechnet.

Verteilt man die Bauteile (oder U-Werte) fehlerhaft auf Zonen mit verschiedenen Absorptionsgraden, so werden hier Abweichungen von 0,9 bis 4,3 kWh/(m²a) ermittelt. Im direkten Vergleich mit der Berechnung ohne Fensterflächen sind die Fehler deutlich geringer, was auf den Einfluss der direkten solaren Einstrahlung zurückzuführen ist. Ausgehend vom 50 %-Referenzwert liegen die relativen Abweichungen innerhalb einer „Absorptionsklasse“ zwischen 2 und 3 %. Die Verteilung in Zonen mit unterschiedlichen Nebenbedingungen verursacht relative Fehler von 1 bis 5 %. Die größten Fehler treten dann auf, wenn Flächen oder mittlere U-Werte von Zonen „ohne Berücksichtigung von solaren Gewinnen über opake Bauteile“ in Zonen mit sehr geringen Absorptionsgraden verschoben werden.

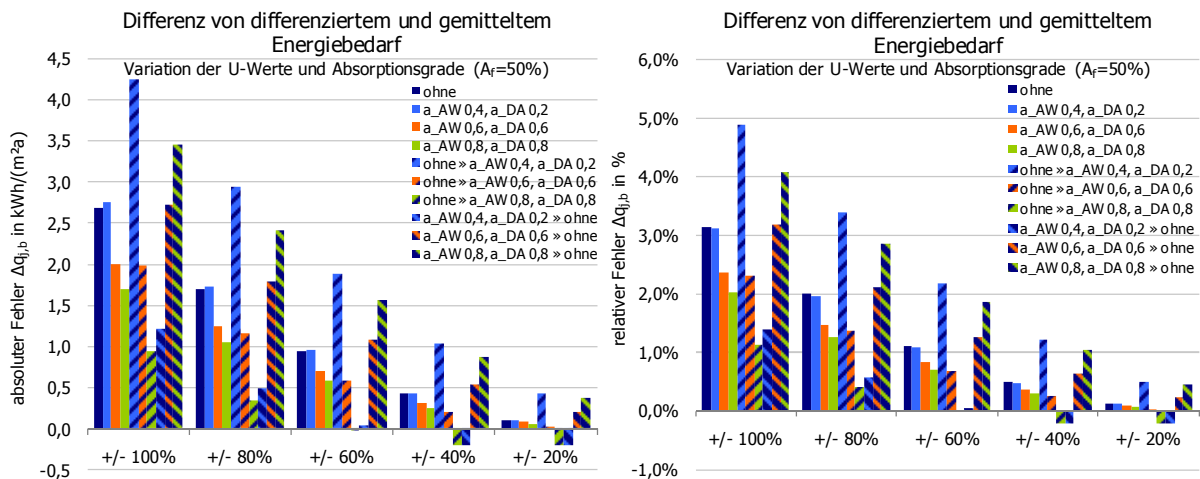


Abbildung 78: Fehler $\Delta q_{i,b}$ beim Heizwärmebedarf, Variation der U-Werte und der Absorptionsgrade aller opaken Bauteile

Die Fehlerbetrachtung geht von einem 50 %-Referenzwert aus, der in diesem Fall einem U-Wert von $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ entspricht. Wie zuvor gezeigt, steigt der Einfluss solarer Gewinne über opake Bauteile mit größer werdendem U-Wert oder größerer Bauteilfläche. Da sich die Vereinfachungen bei der Hüllflächenverteilung auf Neubauten konzentrieren, müssen die hier berechneten Fehler vor diesem Hintergrund bewertet werden. Bei niedrigen U-Werten sind die Unterschiede im Heizwärmebedarf marginal.

Variation der Orientierung bei gleichen Absorptionsgraden (ohne Fenster)

Neben verschiedenen Farben und Materialien von Fassaden und Dächern können unterschiedliche Orientierungen die Erträge über opake Bauteile beeinflussen. Bei der vereinfachten Verteilung der Hüllflächen treten auch Verschiebungen von Wandflächen zwischen verschiedenen Orientierungen auf. Um den Einfluss der opaken Bauteile und der Himmelsrichtung zu isolieren, wird die Analyse zunächst ohne Fensterflächen durchgeführt.

Variiert werden wiederum der U-Wert bzw. die Fläche eines Bauteils und als Nebenbedingung die bilanzierte Himmelsrichtung. Als Basisabsorptionsgrade werden für Wände $\alpha = 0,4$ (hell) und für das Dach $\alpha = 0,6$ (ziegelrot) gewählt. Die Kurvenverläufe der bilanzierten Heizwärmebedarfe sind für alle vier Varianten gleich. Die Höhe der jeweils berechneten Energiekennwerte unterscheidet sich nicht wesentlich durch Variation der Orientierung (ohne transparente Flächen).

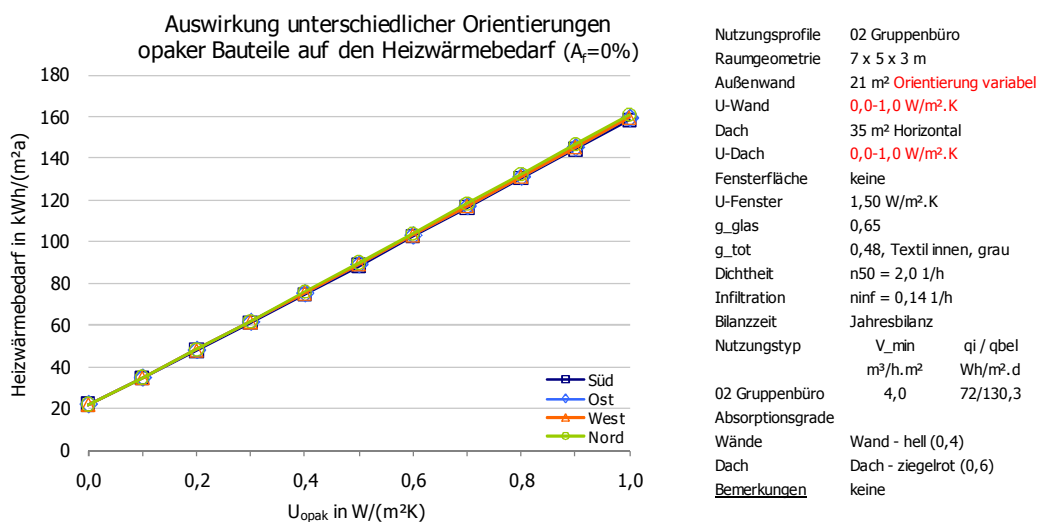


Abbildung 79: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Unter- oder Überschätzung der U-Werte opaker Außenbauteile für unterschiedliche Himmelsrichtungen

Eine Fehlzueweisung von $\pm 100\%$ führt zu sehr geringen Fehlern von etwa $1,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ in der Heizwärmebilanz. Die Fehlerbetrachtung für einen Nebenparameter geht immer einher mit dem Fehler durch Variation des Hauptparameters (U-Werte bzw. Transmissionsverluste). Wie bereits erwähnt, sind die Auswirkungen der Orientierung um den Basisfehler durch alleinige Änderung der Transmissionsverluste zu bereinigen. Die Unterschiede zwischen den ersten vier Säulen in Abbildung 80 sind marginal. Vergleicht man die Ergebnisse mit denen aus vorigem Abschnitt, werden Fehler in gleicher Größenordnung bilanziert. Das bedeutet, dass die Fehler infolge unterschiedlicher U-Werte so dominant sind, dass die Variation der Himmelsrichtung nur einen sehr geringen Einfluss auf die Energiebilanz hat. Die Differenz der absoluten Abweichungen kann zur Interpretation des Einflusses herangezogen werden. Fehler von weniger $0,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ innerhalb einer Orientierung (erste vier Säulen einer Säulengruppe) zeigen einen geringen Einfluss auf die Energiebilanz. Bei Verschiebung zu

unterschiedlichen Orientierungen können etwas höhere oder niedrigere Fehler berechnet werden. Mit 0,8 und 2,2 kWh/(m²a) sind die Fehler auch hier sehr gering.

Für die Betrachtung der relativen Fehler gilt der gleiche Zusammenhang. Bezogen auf den Basisfehler von 1,5 kWh/(m²a) bzw. 1,7 % wird der berechnete Heizwärmebedarf bei ±100 % Fehlzuweisung um etwa 0,1 % differenziert berechnet.

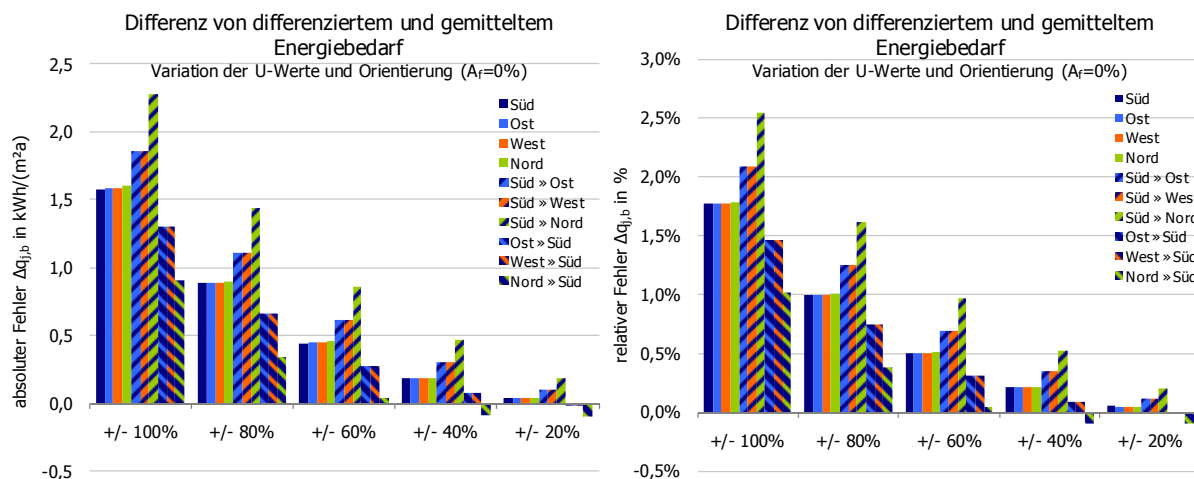


Abbildung 80: Fehler $\Delta q_{j,b}$ beim Heizwärmebedarf, Variation der U-Werte und Orientierung aller opaken Bauteile

Für die Gewinn- und Verlustbilanz einer Zone infolge solarer Erträge über opake Bauteile sind die solare Einstrahlung, die Fläche bzw. der U-Wert sowie der Strahlungsabsorptionsgrad eines Bauteils maßgebende Parameter für die Energiebilanz. Eine vereinfachte Verteilung der Gebäudehüllflächen hat demnach mehrfache Auswirkungen auf die Energiebilanz. Eine unscharfe Flächenzuweisung beeinflusst die Höhe der solaren Gewinne oder die Abstrahlungsverluste. Weiter wird dies durch unterschiedliche Himmelsrichtungen (Strahlungsintensitäten) beeinflusst. Bilanziert über die Heizperiode sind in aller Regel die solaren Wärmegewinne opaker Bauteile ohne transparente Wärmedämmung vernachlässigbar gering [37]. Dieser Zusammenhang konnte durch die Parameteruntersuchungen bestätigt werden. Der relativ geringe Einfluss ist darauf zurückzuführen, dass die durch Absorption aufgenommene Sonnenenergie hauptsächlich durch Konvektion und Wärmeabstrahlung an die Außenluft abgegeben wird und dass sie nicht durch Wärmeleitung einer Zone als Gewinn zugeführt wird.

Bei der Berechnung des Kühlenergiebedarfs ist der zu erwartende Einfluss aufgrund höherer Einstrahlung und niedriger langwelliger Abstrahlung in den kürzeren Nachtperioden tendenziell größer. Eine ausführlichere Bewertung hierzu erfolgt in Abschnitt 3.5.3.

3.4.6 Fensterflächenanteile

Die Größe der Fensterfläche beeinflusst nicht nur das Erscheinungsbild, sondern hat auch Auswirkungen auf das energetische Verhalten eines Gebäudes. Nachfolgend wird untersucht, wie der Einfluss des Fensterflächenanteils auf den Ausnutzungsgrad und den spezifischen Heizwärmebedarf berechnet wird. Transparente Flächen beeinflussen neben den Transmissionsverlusten insbesondere auch die direkten solaren Gewinne. Die Parameteruntersuchung erfolgt einmal unter realistischen Bedingungen mit Berücksichtigung eines Sonnenschutzes. Zur Bestimmung der maximalen Unschärfe wird die Analyse auch ohne Berücksichtigung eines Sonnenschutzsystems durchgeführt. Als Fenster wird eine Zweifachwärmeschutzverglasung mit $U_g = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und $g_{\perp} = 0,65$ angesetzt.

Mit Sonnenschutz

Die Auswirkungen der vereinfachten Zuweisung transparenter Bauteile sind oftmals auch mit unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen und dementsprechend mit variierenden Energiedurchlassgraden verknüpft. In folgender Parameteruntersuchung wird der Einfluss der Variation der Fläche transparenter Bauteile auf den Heizwärmebedarf analysiert. Solare Gewinne werden im Berechnungsverfahren nach [35] auch für die Heizwärmebilanz durch Sonnenschutzvorrichtungen beeinflusst, da für Sonnenschutzvorrichtungen auch eine Aktivierung in der Winterperiode berücksichtigt wird [35] [49] [55]. Je besser der Sonnenschutz gewählt wird, das heißt, je kleiner g_{tot} wird, desto weniger stark wirken sich die solaren Gewinne über transparente Bauteile in der Energiebilanz aus. Die Beeinflussung des Ausnutzungsgrades erfolgt dann mehr über die sich mit der Fensterfläche ändernden Transmissionswärmeverluste der Zone. Um die Fehler in einem praxisnahen Umfeld zu bewerten, werden die Berechnungen unter Anwendung eines relativ ungünstigen innen liegenden Sonnenschutzes (Gesamtdurchlassgrad von $g_{tot} = 0,48$) durchgeführt.

Abbildung 81 zeigt den Verlauf des Heizwärmebedarfs bei unterschiedlichen Flächenanteilen transparenter Bauteile. Im Vergleich zur Variation der U-Werte opaker Bauteile steigt der Heizwärmebedarf bei größer werdender Fensterfläche weniger stark an. Den steigenden Transmissionsverlusten durch größere Fensterflächen wirken in der Bilanz höhere solare Gewinne entgegen. Der Heizwärmebedarf für das Nutzungsprofil „Serverraum“ reicht von 0 kWh/(m²a), ohne transparente Flächen, bis 5 kWh/(m²a) bei 100 % Fensterflächenanteil. Die solaren Gewinne beeinflussen den berechneten Heizwärmebedarf für das Nutzungsprofil „Verkehrsfläche“ stärker, da aufgrund der geringen internen Lasten und Lüftungswärmeverluste die solaren Gewinne einen größeren Anteil an der Deckung der Transmissions- und Lüftungsverluste ausmachen können.

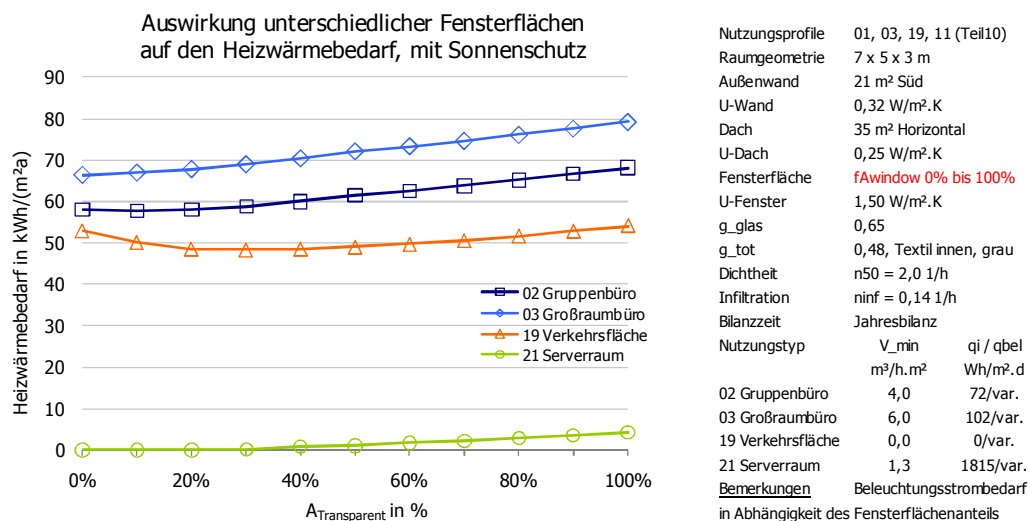


Abbildung 81: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Flächen transparenter Bauteile (mit Sonnenschutz)

Der absolute Fehler bei ±100 % falscher Zuweisung transparenter Flächen liegt bei allen Nutzungsprofilen, ausgenommen die „Verkehrsfläche“, unter 2 kWh/(m²a). Für das Nutzungsprofil „Verkehrsfläche“ kann aufgrund der deutlichen Nichtlinearität des Verlaufs des Heizwärmebedarfs zum 50 %-Referenzwert der größte Fehler von 4,5 kWh/(m²a) ausgemacht werden. Zudem liegt der

niedrigste berechnete Heizwärmebedarf nahe beim 50 %-Referenzwert, weshalb Abweichungen von diesem stärker zum Tragen kommen.

Verschiebt man transparente Flächen in unterschiedliche Nutzungsprofile, so können die größten Fehler bei der Kombination „Verkehrsfläche“ und „Gruppenbüro“ von bis zu 5,2 kWh/(m²a) ausgemacht werden. Die relativen Fehler, bezogen auf den 50 %-Referenzwert, liegen bei allen Nutzungstypen unter 10 %. Lediglich für das Nutzungsprofil „Serverraum“ kann eine sehr hohe relative Abweichung ermittelt werden, was sich durch den für diese Zone sehr niedrig berechneten Zahlenwert für den Heizwärmebedarf erklärt.

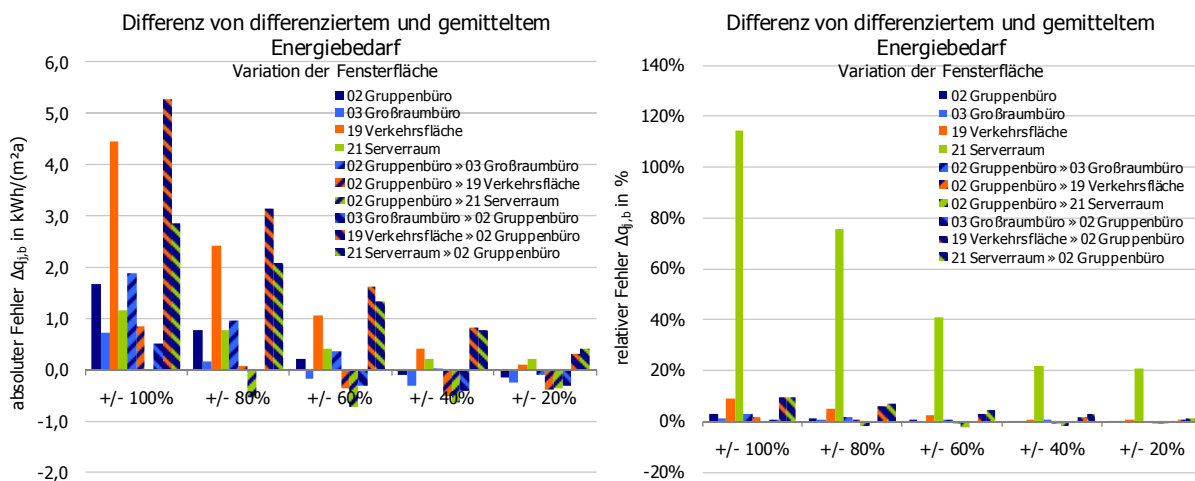


Abbildung 82: Fehler $\Delta q_{j,b}$ beim Heizwärmebedarf, Variation der Fläche transparenter Bauteile (mit Sonnenschutz)

Ohne Sonnenschutz

Wird in der Energiebilanz kein Sonnenschutz berücksichtigt, so ergeben sich höhere solare Gewinne in einer Zone. Dies verursacht eine weitere Reduzierung des Ausnutzungsgrades. Die Auswirkungen auf den berechneten Heizwärmebedarf sind in folgender Abbildung dargestellt. Die Kurvenverläufe ähneln der aus Abbildung 81 mit Berücksichtigung eines Sonnenschutzes. Durch die höheren möglichen solaren Gewinne verlaufen die Kurven mit steigendem Fensterflächenanteil hier jedoch etwas flacher. Für das Nutzungsprofil „Verkehrsfläche“ reduziert sich der Heizwärmebedarf mit steigendem Fensterflächenanteil bis zu einem Fensterflächenanteil von etwa 60 %. Danach können die dann höheren solaren Gewinne nicht weiter ausgenutzt werden und der Heizwärmebedarf steigt an.

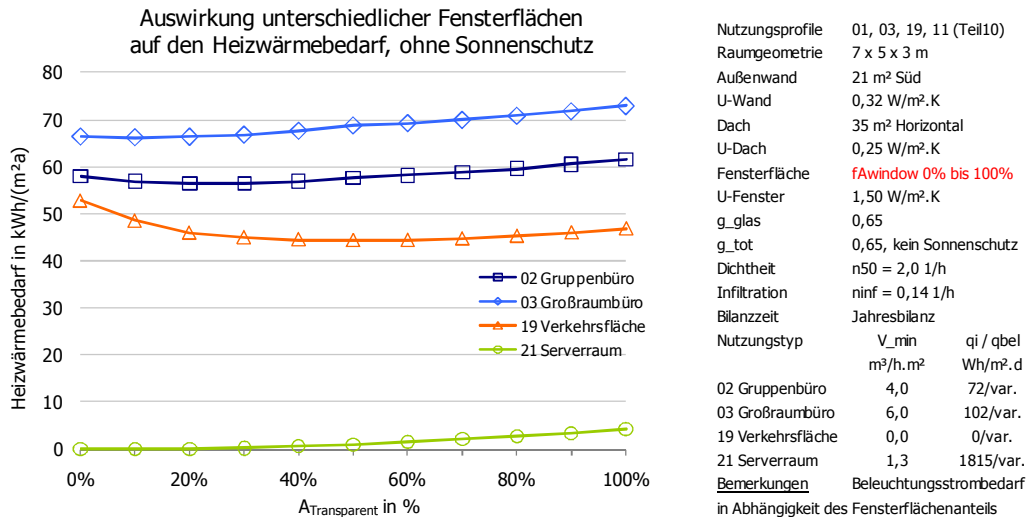


Abbildung 83: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Flächen transparenter Bauteile (ohne Sonnenschutz)

Die Fehler bei unscharfer Zuweisung transparenter Flächen von ±100 %, innerhalb eines Nutzungsprofils, liegen im Bereich von 1 bis 5,5 kWh/(m²a). Verteilt man transparente Flächen auf Zonen mit unterschiedlichen Nutzungsprofilen, so können aufgrund der unterschiedlichen Kurvenverläufe beim Heizwärmebedarf größere Fehler von bis zu 6,5 kWh/(m²a) auftreten. Für die Bilanzierung des Nutzungsprofils „Büro“ ist der Fehler im Heizwärmebedarf mit unter 2 kWh/(m²a) bei ±100 % fehlerhafter Zuweisung sehr gering. Ebenso kann dies bei Zonen mit extremen internen Lasten, wie dem „Serverraum“, festgestellt werden. Ausgeprägtere Fehler können bei einer Verschiebung von transparenten Flächen zwischen unterschiedlichen Profilen auftreten. Dabei zeigt sich die Tendenz, dass die größten Fehler bei Verschiebungen zwischen Nutzungsprofilen mit sehr geringen und hohen internen Lasten und/oder Lüftungsverlusten vorkommen. Sie betragen bis zu 6,5 kWh/(m²a).

Die relativen Abweichungen betragen bei Fehlzuweisung innerhalb gleicher Nutzungsprofile von ±100 % bis zu 12 %. In Zonen mit sehr hohen internen Lasten ist der relative Fehler wiederum sehr hoch, was durch den geringen Zahlenwert des 50 %-Referenzwertes für dieses Nutzungsprofil verursacht wird. Die berechneten Fehleranalysen müssen deshalb im absoluten und relativen Maßstab gleichermaßen interpretiert werden.

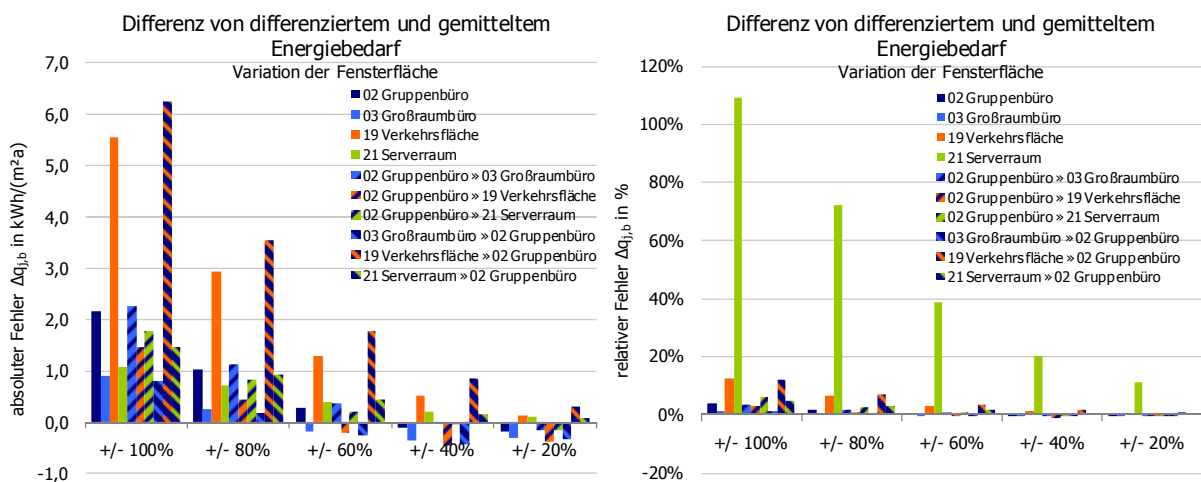


Abbildung 84: Fehler $\Delta q_{j,b}$ beim Heizwärmebedarf, Variation der Fläche transparenter Bauteile (ohne Sonnenschutz)

3.4.7 Sonnenschutzsysteme

Werden Sonnenschutzsysteme auch als Blendschutz eingesetzt, was häufig bei außenliegenden Jalousiesystemen der Fall ist, so verringern sich in der Heizperiode auch die solaren Gewinne [55][56][57]. In dieser Zeit kann, je nach Raum- und Fenstergeometrie als auch in Abhängigkeit der Entfernung zum Fenster, das Blendkriterium überschritten werden, weshalb Blendschutzsysteme auch innerhalb der Heizperiode aktiviert werden [58]. In neueren Energiebilanzierungsverfahren, wie nach DIN V 18599, wird diesem Umstand Rechnung getragen [49][59]. Die solaren Gewinne für die Energiebilanzen für Heizwärme und Nutzkälte berechnen sich gemäß folgender Gleichung [35].

$$Q_{S,tr} = F_F \cdot A \cdot g_{eff} \cdot I_s \cdot t \quad (34)$$

mit

$Q_{S,tr}$	kWh/d	solare Wärmeeinträge durch Fenster oder transparente Bauteile
F_F	-	Abminderungsfaktor für den Rahmenanteil, wenn nicht genauer bekannt (= 0,7)
A	m ²	Fläche des Bauteils (i. d. R. das lichte Rohbaumaß)
g_{eff}	-	wirksamer Gesamtenergiedurchlassgrad
t	h	Dauer des Berechnungsschrittes (t = 24h)
I_s	W/m ²	mittlere solare Einstrahlung im Bilanzmonat

Der wirksame Energiedurchlassgrad g_{eff} berücksichtigt ein Aktivierungsverhalten von Sonnenschutz- und Blendschutzsystemen gleichermaßen. Variable Sonnenschutzsysteme werden, anders als in den Berechnungsansätzen in DIN V 4108-6 und DIN EN 832, über einen wirksamen Energiedurchlassgrad bewertet, welcher nach [35] gemäß folgender Beziehung ermittelt wird.

$$g_{eff} = F_W \cdot F_V \cdot \min \left(a \cdot g_{tot} + (1 - a) \cdot g_{\perp}, F_S \cdot g_{\perp} \right) \quad (35)$$

mit

F_W	-	Abminderungsfaktor für nichtsenkrechten Strahlungseinfall (= 0,9)
F_V	-	Abminderungsfaktor für Verschmutzung, (i. d. R. 0,9, für Wohnnutzung 1,0)
F_S	-	Abminderungsfaktor für Verschattung, bei üblichen Anwendungsfällen (= 0,9)
a	-	Parameter zur Bewertung der Aktivierung von beweglichen Sonnenschutzvorrichtungen
g_{tot}	-	Gesamtenergiedurchlassgrad einschließlich Sonnenschutzvorrichtung nach EN 13363-1/2
g_{\perp}	-	Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung ohne Sonnenschutzvorrichtung nach DIN EN 410

Mit einem Aktivierungsanteil (a) wird für den Bilanzzeitraum, entweder Sommer oder Winter, ein aktivierter Sonnenschutz berücksichtigt. Dieser Anteil berücksichtigt neben der zeitlichen Gewichtung des Sonnenschutzes auch die Intensität der Solarstrahlung während der Aktivierung [49]. Für den übrigen Anteil ($1 - a$) im jeweiligen Jahres-Bilanzzeitraum wird der Sonnenschutz als nicht aktiviert berücksichtigt, und es wirkt lediglich der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung g_{\perp} . Wird die Summe beider Teile größer als der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung ohne Sonnenschutzvorrichtung, jedoch unter Berücksichtigung der Verschattungssituation, so ist dieser Wert zu verwenden. Der Faktor a entspricht also direkt dem Aktivierungsanteil zur Berücksichtigung eines geschlossenen Sonnenschutzes. Der Einfluss der Verschattung wird bei einem aktivierten beweglichen Sonnenschutzsystem nicht mitberücksichtigt.

Die a -Faktoren sind für die Jahreszeitabschnitte Winter (Oktober bis März) und Sommer (April bis September) differenziert anzuwenden. Nach DIN V 18599 sind für die beiden Jahresabschnitte unterschiedliche Werte tabelliert [35]. Um das Vorhandensein unterschiedlicher Sonnenschutzsysteme in einem Gebäude bei der vereinfachten Aufteilung der transparenten Hüllflächen zu beurteilen, werden für das Nutzungsprofil „Gruppenbüro“ Variationen von

Fensterflächenanteilen unter Berücksichtigung verschiedener Sonnenschutzsysteme analysiert. Es werden Sonnenschutzsysteme nach Tabelle 28 berücksichtigt.

Tabelle 28: In der Parameteranalyse verwendete Sonnenschutzsysteme, nach DIN V 18599-2

Sonnenschutzsystem	g_{tot} Gesamtenergiedurchlassgrad, Verglasung und Sonnenschutz
kein Sonnenschutz	0,65
Innen-Textilrollo	0,48
Außenjalousie 45 - weiß	0,10
Außenjalousie 10 - weiß	0,04

Für eine Südorientierung können die bilanzierten g_{eff} -Werte für Sonnenschutzsysteme (beweglicher Sonnenschutz, manuell oder zeitgesteuert) im Winterzeitraum unterhalb der Abminderung für den Sommerfall liegen. Für den Winterfall und eine Südorientierung wird dann eine höhere Abminderung der solaren Gewinne berechnet. Dies erklärt sich durch die in [35] (Tabelle A.4 und A.4 der DIN V 18599) festgelegten hohen Aktivierungsparameter für bewegliche Sonnenschutzsysteme.

Hieraus wird deutlich, dass dem Sonnenschutz in der Energiebilanz nach der Rechenmethode der DIN V 18599 eine besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden muss, da dieser gleichfalls in allen Energieebenen (Beleuchtung, Kälte und Heizwärme) wirkt. Die Verläufe der berechneten Heizwärmebedarfe in Abbildung 85 unterstreichen, dass gute Sonnenschutzsysteme (= Systeme mit einem geringen Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot}) auch in der Heizperiode nennenswerte Auswirkungen auf den bilanzierten Heizwärmebedarf haben und zu einer Steigerung des Heizwärmebedarfs führen.

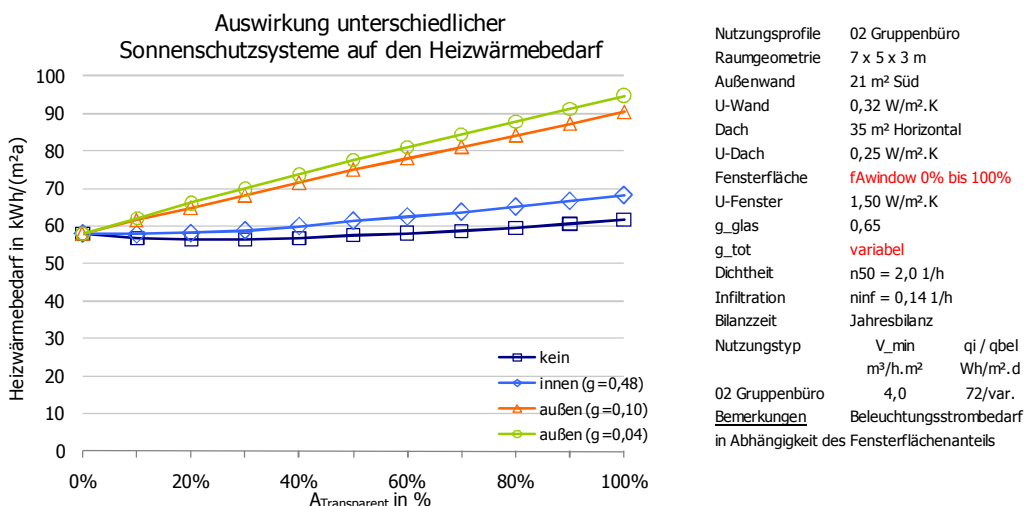


Abbildung 85: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Flächen transparenter Bauteile und des Sonnenschutzes

Wenn Fensterflächen in Zonen mit gleichem Sonnenschutzsystem verteilt werden, ergeben sich bei einer Zuweisungsunschärfe von ±100 % geringe Fehler im Heizwärmebedarf zwischen -1 und 2 kWh/(m²a). Verschiebt man dagegen Fensterflächen zu Zonen mit unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen, berechnen sich größere Fehler im Heizwärmebedarf von -8 bis 9 kWh/(m²a). Dabei zeigt sich, dass der Fehler im Heizwärmebedarf mit größer werdendem Effizienzunterschied

der Sonnenschutzsysteme steigt. Eine Flächenzuweisung transparenter Bauteile von $\pm 100\%$ innerhalb eines Sonnenschutzsystems führt zu einem relativen Fehler von etwa $-2\%/+3\%$, bezogen auf den 50 %-Referenzwert. Erfolgt die Verschiebung zu Zonen mit verschiedenen Sonnenschutzsystemen, so erhöht sich der berechnete Fehler auf bis zu 12 %.

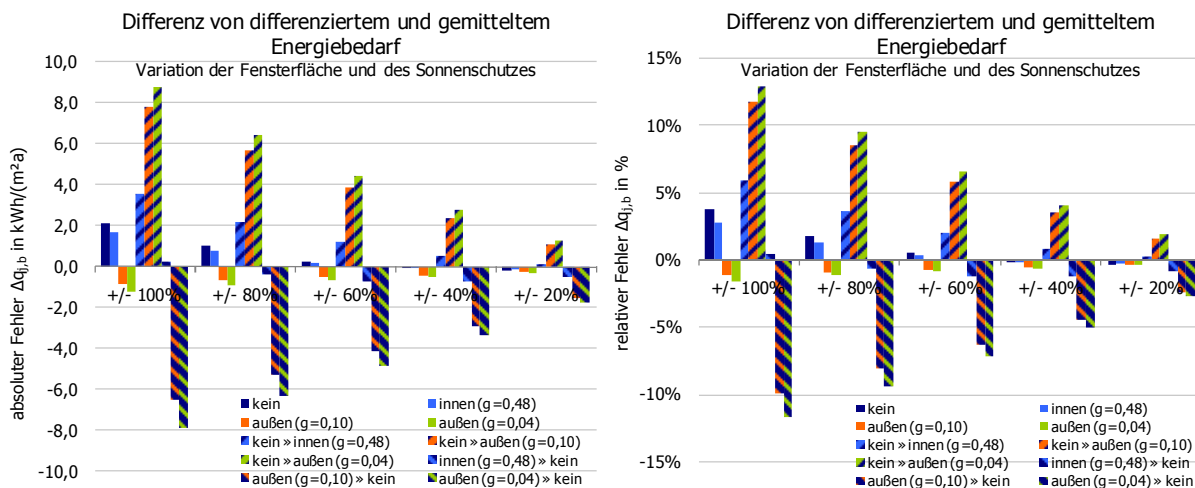


Abbildung 86: Fehler $\Delta q_{j,b}$ beim Heizwärmebedarf, Variation der Fläche transparenter Bauteile und des Sonnenschutzes

Die in DIN V 18599 verwendete Methode zur Berücksichtigung von Sonnenschutzsystemen beeinflusst sehr stark die Heizwärmebilanz [35]. Bei einer vereinfachten Verteilung der Flächen ist zu überlegen, ob das verwendete Sonnenschutzsystem mit in eine Flächenverteilung einzubeziehen ist, um den Fehler in der Energiebilanz zu reduzieren.

3.4.8 Verbauungssituation

Die Ausbildung baulicher Konstruktionen ist in der Architektur ein bewährtes Mittel zur Verringerung der solaren Energieeinträge im Sommer [60]. Der Einfluss der Abschattungswirkung wird in den meisten internationalen Methoden zur Berechnung des Heizwärme- und Kältebedarfs berücksichtigt [61]. Die bauliche Verschattung wird nach DIN V 18599 in den thermischen Energiebilanzen als auch bei der Beleuchtungsberechnung für drei¹¹ mögliche Verschattungssituationen definiert, die auch in Kombination auftreten können [35] [45]. In den Bilanzgleichungen wird die Verschattung mithilfe der Verschattungswinkel berücksichtigt. Der Einfluss der Abminderung für unterschiedliche Verschattungswinkel wurde auf der Basis umfangreicher Simulationsrechnungen ermittelt [49][59]. Dabei wird allgemein nach den folgenden Arten unterschieden:

Tabelle 29: Darstellung und Definition der Berücksichtigung von Verschattung nach DIN V 18599

	Verschattung durch Bauteilüberstände, beispielsweise Balkone, werden durch einen Überhangswinkel F_o berücksichtigt.
	Der Seitenwinkel F_s berücksichtigt analog die Verschattung durch seitliche Abschattungsflächen, wie Loggien, Hausecken, bauliche Einrichtungen, die die Einstrahlung der Sonne von der Seite her beeinträchtigen.
	Der Horizontwinkel α_n , der Verbauung beschreibt die Verschattung eines Gebäudes bzw. einer Fensterfläche durch angrenzende Gebäude, bauliche Einrichtungen oder auch durch die Topografie. Daraus ergibt sich der Teilbestrahlungsfaktor F_n .

¹¹ Bei der Bestimmung des Verbauungsindex, der für die Bewertung der Tageslichtquotienten benötigt wird, kann zusätzlich noch der Einfluss eines Innenhofes und/oder eines Atriums bewertet werden.

Die bauliche Verschattung ist nicht nur abhängig vom Verschattungswinkel, sondern auch von der Himmelsrichtung, der Neigung der Fläche und der Jahreszeit [62] [63]. Die vereinfachte Zuweisung von Bauteilen und hier insbesondere von transparenten Bauteilen, kann dazu führen, dass Zonen, die stark verschattet sind, mehr oder weniger Fensterfläche erhalten, als Zonen, die nicht verschattet sind. Dementsprechend ändern sich die bilanzierten solaren Gewinne in den Zonen. Um die Auswirkungen unterschiedlicher Verschattungssituationen zu überprüfen, wird folgend die Energiebilanz für unterschiedliche Situationen einer linearen Verbauung berechnet. In den Bilanzen wird die Rückkopplung durch geänderte Tageslichtversorgung nach [45] berücksichtigt. Abbildung 87 zeigt die schematische Darstellung der untersuchten Varianten.

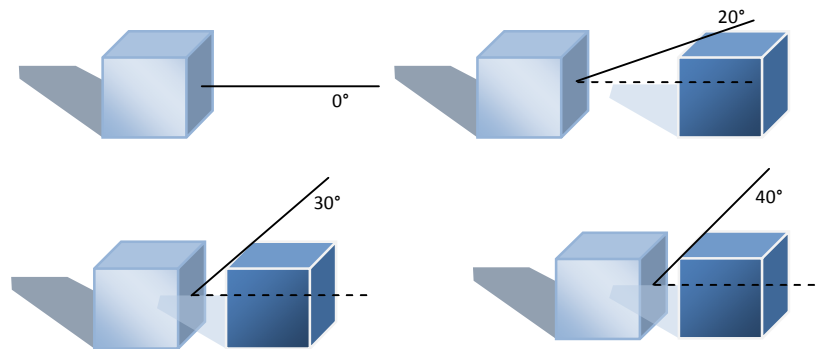


Abbildung 87: Darstellung der untersuchten Varianten, verschiedene Verbauungssituationen (lineare Verbauung)

Bei der Berechnung des Jahresenergiebedarfs ist zu beachten, dass die Abschattung durch Horizontverschattung stark vom Sonnenstand abhängt. Im Bilanzierungsverfahren nach DIN V 18599 werden die Verschattungsfaktoren deshalb jeweils für den Winter- und Sommerzeitraum angegeben [35]. Durch Auswertung umfangreicher Simulationsrechnungen zeigte sich, dass die Monate Oktober bis März sinnvoll zu einem Winterhalbjahr zusammengefasst werden können [49].

Mit steigendem Horizontwinkel reduzieren sich die solaren Gewinne in der Zone. Bei gleichbleibenden Lüftungs- und Transmissionsverlusten steigt dadurch der Heizwärmebedarf. Die Unterschiede im Heizwärmebedarf durch verschiedene Verbauungssituationen erhöhen sich mit steigendem Fensterflächenanteil.

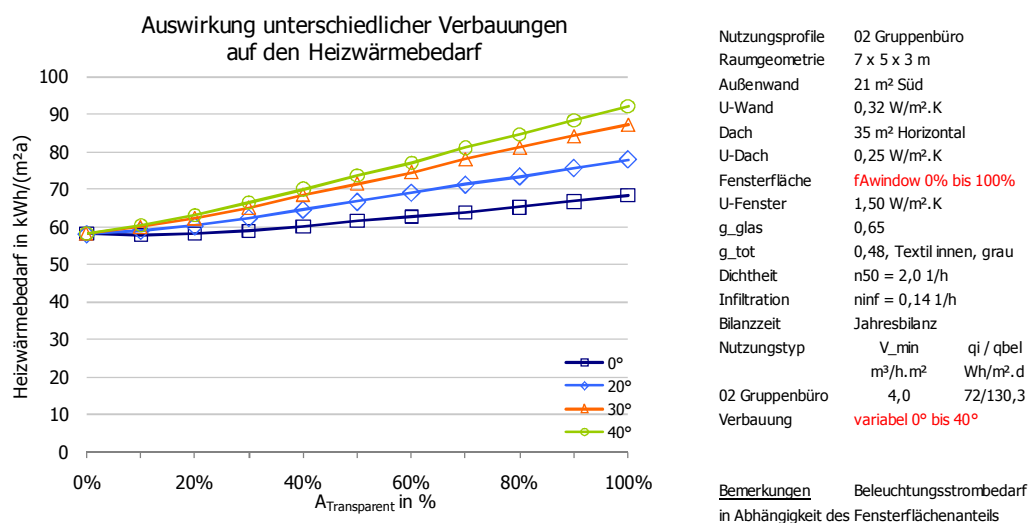


Abbildung 88: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Fensterflächen und der linearen Verbauung

Werden $\pm 100\%$ der transparenten Flächen innerhalb einer Verschattungssituation verschoben, berechnen sich nur geringe Fehler im Heizwärmebedarf von etwa $1,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Sehr deutlich werden die Unterschiede, wenn Fensterflächen zwischen Zonen mit unterschiedlicher Verschattungssituation zugewiesen werden. Je größer die Differenz der Verbauungswinkel zwischen den Zonen ist, desto größer werden auch die Fehler im bilanzierten Heizwärmebedarf, mit bis zu $8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Analog zur vorigen Abbildung verlaufen auch die relativen Fehler beim Heizwärmebedarf. Bei maximal unscharfer Zuteilung der Fensterflächen ($\pm 100\%$) innerhalb einer Verschattungssituation werden Fehler von etwa 2% berechnet. Durch Verteilung der transparenten Flächen zu Zonen mit unterschiedlicher Verschattungssituation steigt der relative Fehler bei der Bilanzierung des Heizwärmebedarfs auf etwa 11% an.

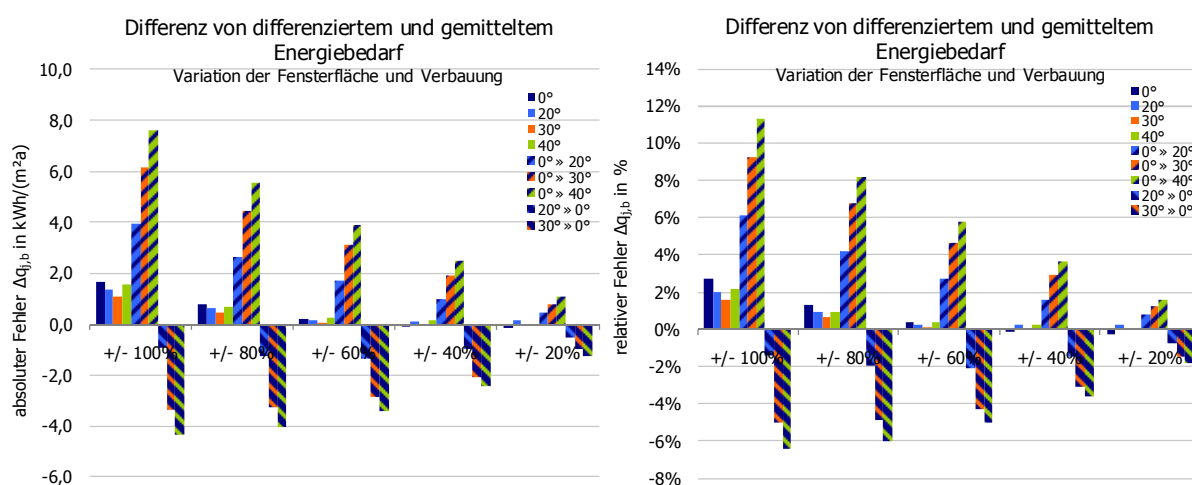


Abbildung 89: Fehler $\Delta q_{j,b}$ beim Heizwärmebedarf, Variation der Fensterflächen und der linearen Verbauung

3.4.9 Orientierung

Moderne Gebäudeentwürfe nutzen Fensterflächen nicht nur zur ästhetischen Gestaltung, sondern auch zur Optimierung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. Es ist bekannt, dass solare Einstrahlungen über Glasflächen einen nennenswerten Anteil zur Deckung der Transmissions- und Lüftungsverluste beisteuern können. Insbesondere südorientierte transparente Flächen können aufgrund des vorhandenen Strahlungsangebotes davon profitieren.

Eine vereinfachte Flächenzuweisung kann dazu führen, dass den Zonen transparente Bauteile unterschiedlicher Orientierungen zugewiesen werden. Für das Nutzungsprofil „Gruppenbüro“ werden die Ausprägungen unterschiedlicher Orientierungen auf den Heizwärmebedarf analysiert. Abbildung 90 zeigt die berechneten Heizwärmebedarfe der gleichen Zone bei unterschiedlichen Orientierungen.

Im Berechnungsmodell werden neben den direkten solaren Einstrahlungen auch die solaren Gewinne über opake Bauteile bilanziert. Bei größeren Fensterflächenanteilen und hohen Dämmstandards sind diese Gewinne jedoch verschwindend klein. Die unterschiedlichen Kurvenverläufe werden demnach ausschließlich durch die solare Einstrahlung bestimmt. Erwartungsgemäß steigt der Heizwärmebedarf, dargestellt in Abbildung 90, für nordorientierte Fassaden mit steigendem Fensterflächenanteil am stärksten an. Den Transmissionsverlusten stehen weniger solare Gewinne zum thermischen Ausgleich zur Verfügung.

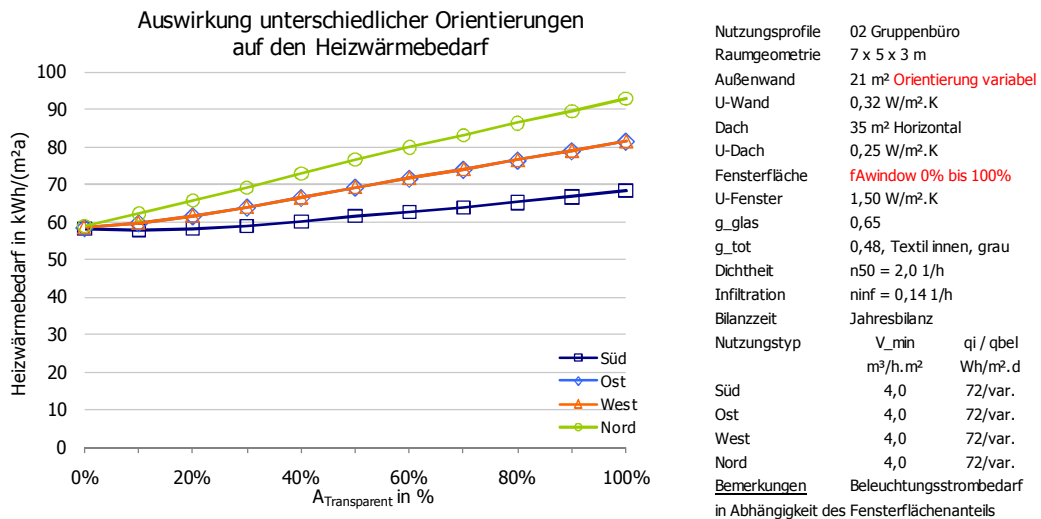


Abbildung 90: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Fensterflächen und der Orientierung

In Abbildung 91 werden die absoluten Fehler bei unscharfer Zuweisung der transparenten Flächen aufgezeigt. Die größte Abweichung innerhalb einer Orientierung weist, bei einem Zuweisungsfehler von ±100 %, die Südorientierung mit 1,8 kWh/(m²a) auf. Die Verteilung der Glasflächen auf Zonen mit unterschiedlichen Orientierungen verursacht größere Fehler. Bei einer Süd-Nord-Zuweisung beträgt der absolute Fehler etwa 6 kWh/(m²a). Bei umgedrehter Zuweisung Nord-Süd wird der Heizwärmebedarf um -5,5 kWh/(m²a) unterschätzt.

Die maximale relative Abweichung, bei ±100 % Zuweisungsfehler innerhalb einer Orientierung, liegt bei etwa 3 %. Werden die Flächen zu ±100 % auf unterschiedliche Orientierungen verteilt, so ergeben sich relative Fehler von -8 %/+9 %.

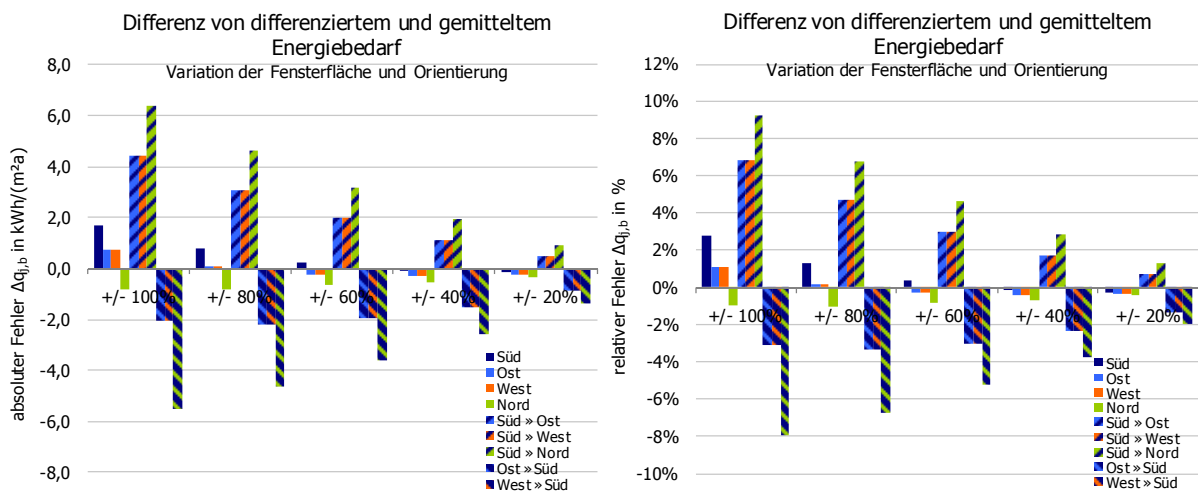


Abbildung 91: Fehler $\Delta q_{j,b}$ beim Heizwärmebedarf, Variation der Fensterflächen und der Orientierung

3.4.10 Bauschwere

Die Bauschwere beeinflusst die thermische Trägheit einer Gebäudezone (vgl. Abschnitt 3.4.2). Die Holzbauart ist im Vergleich zur Massivbauart durch eine geringere Speicherfähigkeit gekennzeichnet. Gerade im Hinblick auf die Nutzung der Sonnenenergie wird mit der Speicherfähigkeit als besonders wirksame Komponente argumentiert. Der Vergleich der Heizwärmebedarfswerte für unterschiedliche Bauschweren ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Bei der betrachteten Zone ist der Jahres-Heizwärmebedarf der Ausführung „schwere Bauweise“ am geringsten. Mit steigendem Fensterflächenanteil können mehr solare Gewinne in den Bauteilen gespeichert werden. Die gespeicherte Energie wird zeitversetzt an den Raum abgegeben. Dies führt zu einer Reduzierung des Heizwärmebedarfs. Nach *Hauser* ist dabei zu berücksichtigen, dass bei geringer Wärmespeicherfähigkeit die empfundene Raumtemperatur, die für die Behaglichkeit maßgebend ist, höher liegt, weshalb in der Praxis kleinere Unterschiede bzw. sogar Tendenzumkehrungen auftreten können [64].

Die Bauweise beeinflusst die thermische Trägheit einer Zone und mit steigender Speichermasse werden höhere Ausnutzungsgrade für solare und interne Gewinne berechnet. Bei leichter Bauweise werden die Möglichkeiten Wärme einzuspeichern und zeitverzögert wieder an den Raum abzugeben eingeschränkt. Dies drückt sich durch einen steileren Kurvenverlauf bei leichter Bauweise bzw. durch einen flacheren bei schwerer Bauweise aus. Die unterschiedlichen Steigungen der Kurven beschreiben die Dämpfung des zugeführten Wärmestroms durch die Speichermassen.

Die direkten Auswirkungen auf die Heizwärmebilanz sind bei maximalem Fensterflächenanteil mit $6,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ – zwischen leichter und schwerer Bauweise – als gering einzustufen. Letztendlich spielt die Bauschwere lediglich bei der Höhe des Ausnutzungsgrades der solaren und internen Gewinne eine Rolle.

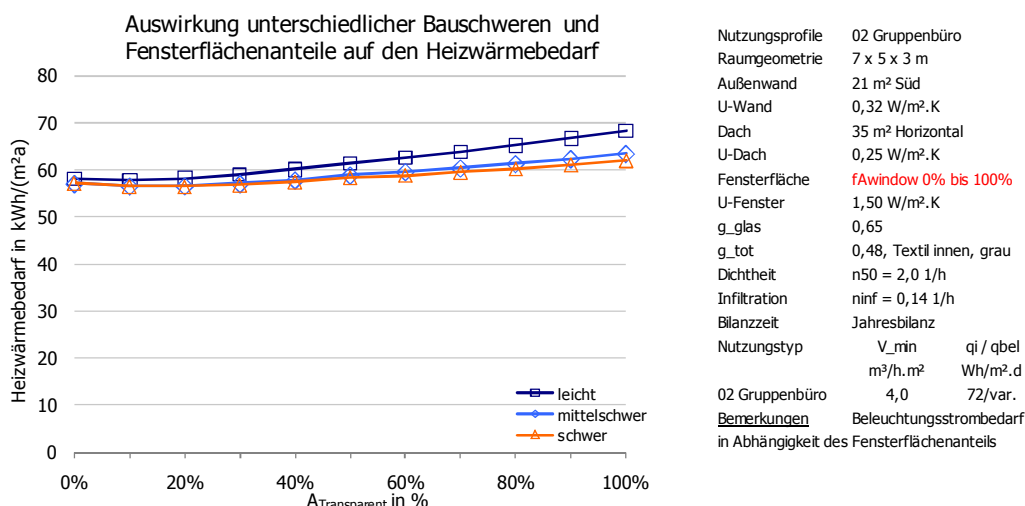


Abbildung 92: Veränderung des Heizwärmebedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Fensterflächen und der Bauschwere

Werden $\pm 100\%$ der transparenten Flächen verschieden zugewiesen, beträgt der Fehler, bezogen auf den 50%-Referenzwert, innerhalb einer Bauschwereklasse maximal $1,7 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$. Mit größer werdender Bauschwere verringert sich der Fehler. Werden transparente Flächen fehlerhaft zu Zonen mit unterschiedlicher Bauschwere zugeordnet, steigt der Fehler bei einer Zuweisungsunschärfe von $\pm 100\%$ auf bis zu $2,8 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$. Die Auswirkungen unterschiedlicher Bauschweren auf den Heizwärmebedarf können als gering eingestuft werden.

Der maximale relative Fehler liegt, bezogen auf den 50%-Referenzwert, bei $2,7\%$, sofern die Zuordnung innerhalb einer Bauschwereklasse bleibt, und steigt auf $4,6\%$ bei einer Verteilung auf Zonen mit unterschiedlichen Bauschweren.

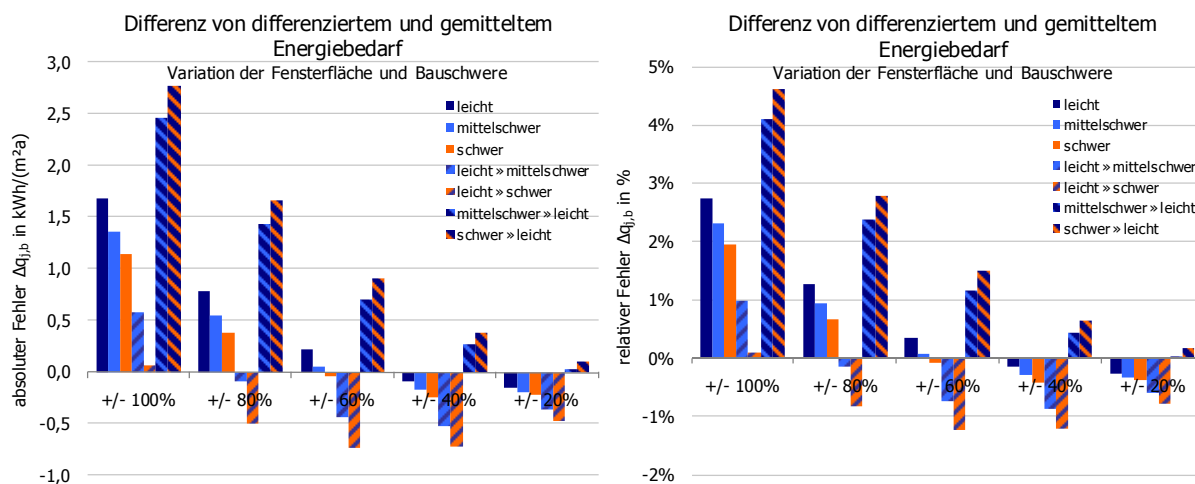


Abbildung 93: Fehler $\Delta q_{j,b}$ beim Heizwärmebedarf, Variation der Fensterflächen und der Bauschwere

Auch hier kann eine Abhängigkeit der Bauschwere vom verwendeten Sonnenschutzsystem gezeigt werden. Je effizienter der Sonnenschutz (= geringere Werte für g_{tot}) ist, desto weniger solare Gewinne stehen dieser Gebäudezone in der Heizperiode zur Deckung der Verluste zur Verfügung. Der Einfluss der Speichermasse auf die Heizwärmebilanz wird geringer.

3.4.11 Fazit und Bewertung

Die Analysen zur Auswirkung einer vereinfachten Flächenzuweisung auf den Ausnutzungsgrad werden für den Monat Februar durchgeführt. Dieser repräsentiert den Monat mit der mittleren Außenlufttemperatur der gesamten Heizperiode. Für die drei Nutzungen „Gruppenbüro“, „Großraumbüro“ und „Verkehrsfläche“ ergeben sich kaum Veränderungen im Ausnutzungsgrad für diesen Berechnungsmonat und die Gewinne können weitgehend zu Heizzwecken genutzt werden. In Gleichung (25) wird von einem ähnlichen Ausnutzungsgrad bei vereinfachter Zuweisung der Gebäudehüllflächen ausgegangen. Die Untersuchungen zeigten, dass dies nicht für alle Nutzungsprofile der Fall ist. Der Ausnutzungsgrad wird stark durch das Gewinn-zu-Verlust-Verhältnis beeinflusst. Werden Bauteilflächen zu verschiedenen Zonen zugewiesen, so können diese Flächen bzw. die daraus resultierenden Transmissionsverluste die Ausnutzungsgrade in den Zonen unterschiedlich stark beeinflussen. Deutlich wird dies bei Auswertung von Zonen mit sehr stark voneinander abweichenden Nutzungen; z. B. „Büro“ und „Verkehrsfläche“. Wie in Abschnitt 3.4.2 gezeigt, variiert der Ausnutzungsgrad für die betrachteten Nutzungsprofile in der Heizperiode unterschiedlich stark. Der Einfluss der Transmissionsverluste auf den monatlichen Ausnutzungsgrad ist für den Nutzungstyp „Verkehrsfläche“ bei niedrigen U-Werten ausgeprägter. In Zonen mit sehr hohen Luftwechsell (z. B. „Besprechung, Sitzung, Seminar“, „Hörsaal“, „Restaurant“, „Küche“, „WC und Sanitärräume“ etc.) wirkt sich die Änderung der Transmissionswärmeverluste nicht so stark auf den berechneten Ausnutzungsgrad aus, wie beispielweise in Zonen mit sehr geringen Lüftungsverlusten.

Die Unterschiede der Ausnutzungsgrade sind besonders während der Grenzmonate zu den Heizperioden ausgeprägt. Während im Februar geringe Fehler im Ausnutzungsgrad berechnet werden, steigen die Unterschiede in wärmeren Monaten der Heizperiode deutlich an. Die maximalen Änderungen des Ausnutzungsgrades treten bei Veränderung der Fensterfläche (ohne Sonnenschutz) auf. Es wird ebenfalls das Gewinn-zu-Verlust-Verhältnis in jeder Zone beeinflusst, sodass sich auch

hier nutzungsabhängige Abweichungen ergeben. Die über alle Zonen aggregierte Summe der Transmissions- und Lüftungsverluste ist zwar gleich, die zu Heizzwecken nutzbaren solaren und internen Gewinne variierten jedoch durch unterschiedliche Ausnutzungsgrade. Es berechnen sich insbesondere in den Übergangsmonaten der Heizperiode unterschiedliche Jahresheizwärmebedarfe.

Die aufgezeigte Variation im Ausnutzungsgrad muss noch vor dem Hintergrund des Anteils betrachtet werden, den die Gewinne an der gesamten Bilanz haben. Die Unterschiede zwischen den Nutzungen sind gering, da üblicherweise bei Nutzungen mit hohen Gewinnen eine große Anzahl von Personen anwesend ist. Dies erfordert einen hohen hygienischen Luftvolumenstrom. Hohe Gewinne und hohe Verluste treten also in der Regel gemeinsam auf. Das Gewinn-zu-Verlust-Verhältnis γ liegt für die personenbestimmte Nutzung entsprechend in einem ähnlichen Bereich. Dieses Verhältnis ist aber wesentlich für die Höhe des Ausnutzungsgrades verantwortlich. Eine Ausnahme stellt der „Serverraum“ dar. Hier ist der hygienische Außenluftvolumenstrom gering, die internen Lasten aber sehr hoch. Eine solche Nutzung kann auch als funktionsbestimmte Nutzung bezeichnet werden. In dem Fall beeinflussen Änderungen in den Transmissionsverlusten und den solaren Einträgen den Ausnutzungsgrad sehr deutlich. Da diese Nutzungen in der Regel einen kleinen Anteil an der Gesamtfläche haben, kann ein Fehler hier in der Regel in Kauf genommen werden.

Bei der Analyse der Heizwärmebedarfe wird deutlich, dass solare Gewinne einen deutlichen Einfluss auf den bilanzierten Fehler haben. Werden Fensterflächen zu Zonen mit unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen zugewiesen, so reduzieren sich die solaren Gewinne proportional zum Anteil der unscharf zugewiesenen Fensterfläche. Fehlen diese solaren Gewinne in Zonen, steigt der Fehler im Heizwärmebedarf. Wird der U-Wert oder die Fläche opaker Bauteile unscharf zugewiesen, so ergeben sich sehr geringe Fehler innerhalb und zwischen verschiedenen Nutzungsprofilen. Die Fehler liegen zwischen $2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und $5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Eine Ausnahme bildet der „Serverraum“. Hier können die Fehler bei einem Zuweisungsfehler von $\pm 100\%$ von -17 bis zu $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ betragen, da die ausnutzbaren Gewinne sehr stark beeinflusst werden.

Die transparenten Flächen an sich haben einen verhältnismäßig geringen Einfluss auf die Höhe des Heizwärmebedarfs. Für die untersuchte Südorientierung (ohne Sonnenschutz) liegt der Fehler, bei $\pm 100\%$ fehlerhafter Zuweisung der transparenten Flächen innerhalb eines Nutzungsprofils, bei maximal $5,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Bei Verschiebung zwischen den betrachteten Zonen bei $6,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Die relativen Unterschiede liegen unterhalb 10% . Eine Ausnahme bildet der Serverraum mit 110% . Da Serverräume in der Regel nicht beheizt werden, wirken sich geringe Absolutbeträge relativ stark aus. Setzt man einen innen liegenden Sonnenschutz mit einem $g_{tot} = 0,48$ an, so reduzieren sich, bei sonst gleichen Randbedingungen, die Fehler um jeweils etwa $1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Betrachtet man die Auswirkungen unterschiedlicher Sonnenschutzsysteme, so verringern sich die Fehler mit steigender Effizienz des Sonnenschutzsystems und liegen zwischen $-1,5$ bis $2,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für das Nutzungsprofil „Gruppenbüro“. Werden die Fensterflächen auf Zonen mit unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen verteilt, so werden die höchsten Fehler von $-8,0$ bis zu $9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ respektive relative Abweichungen von -12 bis $+14\%$ ermittelt.

Die Verbauung reduziert ebenfalls die solaren Gewinne. Bei der Analyse des Energiebedarfs wird auch der Einfluss des Strombedarfs für Beleuchtung berücksichtigt. Die Untersuchung wird exemplarisch für die lineare Verbauung durchgeführt. Die Fehler innerhalb eines Nutzungsprofils

liegen bei bis zu 1,8 kWh/(m²a). Bei Verschiebung zwischen Zonen mit unterschiedlichen Randbedingungen steigt der Fehler im Heizwärmebedarf bis auf 7,6 kWh/(m²a) an.

Die Bauschwere hat einen sehr geringen Einfluss auf den berechneten Heizwärmebedarf. Die Fehler liegen innerhalb und zwischen verschiedenen Nutzungsprofilen zwischen 0,2 und 2,6 kWh/(m²a) bzw. weichen bis zu 3 % vom Referenzwert ab. Der Einfluss solarer Gewinne über opake Bauteile wird in Abschnitt 3.4.5 untersucht. Der Einfluss einer fehlerhaften Zuweisung ist mit etwa 2 kWh/(m²a)/3 %, bei maximal untersuchter Fehlzuweisung opaker Flächen von ±100 %, sehr gering.

Die Höhe der solaren Einstrahlung variiert ja nach Himmelsrichtung. Während im Süden in der Heizperiode hohe Jahreswerte für die Gesamteinstrahlung vorliegen, beschränken sich die solaren Gewinne im Norden fast ausschließlich auf diffuse Strahlung, was geringere Erträge zur Folge hat. Wenn Fensterflächen zu unterschiedlichen Orientierungen verteilt werden, hat dies Auswirkungen auf die solaren Gewinne. Der Fehler im Heizwärmebedarf liegt innerhalb eines Nutzungsprofils zwischen -0,6 und 1,8 kWh/(m²a) bzw. -1 bis 2,5 %. Zwischen unterschiedlichen Nutzungen steigt der Fehler deutlich auf von -5,5 kWh/(m²a)/-8 % bis zu 6,2 kWh/(m²a)/9,5 % an.

Dieser Fehler ist für die praktischen Auswirkungen des vereinfachten Verfahrens nicht relevant, da alle Bauteildaten auf Gebäudeebene je Himmelsrichtung erfasst werden. Für die Fenster ist es jedoch wichtig, die Flächenverteilung in Abhängigkeit der Himmelsrichtung durchzuführen, um eine möglichst geringe Beeinflussung der Orientierung auf den Fehler im Energiebedarf zu erhalten. Bei der vereinfachten Zuweisung der Gebäudehüllflächen scheint es unerlässlich, dass die Summe der solaren Gewinne beim Transfer von Gebäude- auf Zonenebene nicht verändert wird. Dies bedeutet, dass der Sonnenschutz bereits auf Gebäudeebene, für das jeweilige Fenster, definiert werden muss. Neben einem additiven Sonnenschutz betrifft dies auch alle Sonnenschutzverglasungen.

3.5 Kühlenergiebedarf

Die Berechnung des Nutzkältebedarfs erfolgt in Anlehnung an die Berechnung des Heizwärmebedarfs nach dem Monatsbilanzverfahren [35]. Das Prinzip des Monatsbilanzverfahrens zur Berechnung des Nutzkältebedarfs wurde von *Elsberger* in [65] entwickelt und beruht auf dem Bilanzierungsansatz der EN 832 [32]. Die wesentliche Größe in diesem Verfahren sind die nicht zu Heizzwecken nutzbaren Wärmequellen. Die Nutzenergiebilanz für die Kühlkälte ergibt sich nach DIN V 18599 zu:

$$Q_{c,b,nutz} = (1 - \eta) \cdot (Q_S + Q_{I,source}) \quad \text{kWh/a} \quad (36)$$

mit

$Q_{c,b,nutz}$	kWh	Kühlbedarf in der Zone b (Nutzkältebedarf)
η	-	Ausnutzungsgrad der Wärmequellen
Q_S	kWh	solare Einträge
$Q_{I,source}$	kWh	interne Wärmequellen

Der Kühlbedarf entspricht dem nicht nutzbaren Anteil der Quellen. Neben den solaren Erträgen spielen auch die internen Wärmequellen aus Beleuchtung, Personen, Arbeitshilfen, Stofftransport und Geräten eine Rolle. Die Rechenmethodik nach DIN V 18599 koppelt den berechneten Strombedarf für Kunstlicht an die thermische Energiebilanz. So haben Änderungen transparenter Bauteile einen Einfluss auf die Tageslichtnutzung in einer Zone und somit auch auf den berechneten elektrischen Strombedarf für diese Zone. Gleichermaßen ändern sich solare Gewinne und Transmissionsverluste durch Änderung von Glasflächen. Die durchgeführten Parameterstudien

werden mit diesem integralen Ansatz durchgeführt und die Berechnungen nach DIN V 18599 miteinander gekoppelt [35] [45].

Über den U-Wert der Außenfassade wird die Höhe des Transmissionswärmestroms zwischen Raum und Umgebung beeinflusst. Wesentlich sind dabei die äußere und innere Oberflächentemperatur. Liegt die Oberflächentemperatur auf der Außenseite unter der auf der Innenseite, wird ein Transmissionswärmestrom aus dem Raum an die Umgebung abgeführt. Dieser wird durch einen erhöhten Wärmeschutz reduziert und kann zu einem Anstieg des Kältebedarfs führen. Liegt die Oberflächentemperatur auf der Außenseite jedoch über der Oberflächentemperatur der Innenseite, z. B. aufgrund einer höheren Außenlufttemperatur oder infolge solarer Einstrahlung, verbessert ein hoher Wärmeschutz die sommerlichen Bedingungen. Diese Effekte werden zudem noch durch das dynamische Verhalten der Speichermasse der Außenwand überlagert [66]. Dieser Zusammenhang wird in der Berechnungsmethode nach [35] wiedergegeben.

Der U-Wert der Außenfassade setzt sich dabei aus dem U-Wert der opaken Außenwand und dem U-Wert der Fenster zusammen. Eine Änderung des Außenwand-U-Wertes wird in der Regel durch Veränderung der Dämmstoffdicken erreicht. Beim Fenster kann dies nur durch Variation des Glases, des Rahmens und des Rahmenverbundwertes realisiert werden [67]. Mit dem U-Wert eines Fensters geht auch eine Änderung des g-Wertes einher [68]. Der g-Wert beschreibt, welcher Anteil der auf das Fenster auftreffenden Solarstrahlung im Raum thermisch wirksam wird (vgl. Abschnitt 3.4.2). Damit werden durch den Fensteraustausch nicht nur die Verluste, sondern auch die Gewinne des Raumes beeinflusst. Die untersuchten Varianten sind so gewählt, dass ein möglichst großer Bereich für den U-Wert der Fassade abgedeckt wird. Dabei wird ein Fenster vorgegeben und die U-Werte in sinnvollen Grenzen und Schrittweiten variiert. Eine vereinfachte Zuweisung von U-Werten sowie opaken und transparenten Außenflächen hat Einfluss auf:

- die Höhe der Transmissionsverluste Q_T (U-Wert, opake und transparente Außenflächen),
- die Höhe der opaken Einträge $Q_{S,opak}$,
- die Höhe der solaren Einträge (Fensterfläche) Q_S ,
- den Ausnutzungsgrad der verfügbaren Wärmequellen (interne und solare Lasten) η .

Um Auswirkungen einer vereinfachten Flächenzuweisung abzuschätzen, wird die Zonenbilanz nach [35] und Berücksichtigung des Kunstlichtstrombedarfs nach [45] berechnet und der Jahreswert des Nutzkältebedarfs ermittelt. Es werden hierbei folgende Vereinfachungen zugrunde gelegt.

Tabelle 30: Randbedingungen bei der Bilanzierung des Kühlenergiebedarfs

kein Transmissionswärmestrom zwischen Zonen (Annahme alle Zonen gleich konditioniert oder Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes)
Berücksichtigung von solaren Einträgen auf opake Bauteile
keine Wärmeabgabe von Verteilleitungen (Betrachtung der ersten Nutzenergiebilanz)
mittlere interne Lastprofile nach DIN V 18599-10 [48]
interne Lasten durch Beleuchtung nach dem Monatsverfahren, zonenspezifisch nach [45]

Es wird zwischen vier Nutzungen unterschieden. Die verwendeten Nutzungsprofile werden analog zur Heizwärmebilanz nach den in Tabelle 31 aufgeführten Kriterien ausgewählt.

Tabelle 31: Verwendete Nutzungstypen für die Parameteranalyse Kältebedarf

02 Gruppenbüro	mittlere interne Lasten
03 Großraumbüro	hohe interne Lasten
19 Verkehrsfläche	keine internen Lasten
11 Hotelzimmer	365 Tage pro Jahr

Im Rahmen der Parameteruntersuchung wird für die vier Nutzungen die Veränderung des Kühlbedarfs untersucht. Die folgenden Parameter werden dabei variiert:

- Nutzungstyp
- U-Wert bzw. Flächenanteil opaker Bauteile
- Orientierung
- Absorptionsgrade opaker Bauteile
- Flächenanteil transparenter Bauteile
- Qualität des Sonnenschutzes
- Verbauungssituation
- Bauschwere

Der elektrische Energiebedarf der Beleuchtung wird je nach DIN V 18599 berechnet und als zusätzliche interne Wärmequelle in der Zonenbilanz berücksichtigt. Die Parameterausprägungen der Basisvariante sind in Tabelle 23 dargestellt und die Variation einzelner Parameter jeweils in den Abbildungen vermerkt. Sie stellen für den Kühlbedarf in der Regel einen ungünstigen Fall dar.

3.5.1 Außenwandfläche oder U-Werte opaker Bauteile

Verändert wird in den folgenden Abbildungen nur der Anteil opaker Bauteile bzw. deren U-Wert. Der Fenster-U-Wert und die Fensterfläche bleiben konstant auf dem Ausgangswert von $U_W = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ respektive $f_{AF} = 50 \%$. Somit werden die solaren Gewinne für diese typische Situation nicht verändert. Da Fläche und U-Wert opaker Bauteile in gleicher Weise die Transmissionsverluste bestimmen, können die gezeigten Ergebnisse auch als prozentuale Veränderung der Außenfläche bei gleichem U-Wert interpretiert werden. Bei sehr niedrigen U-Werten liegt, aufgrund der zuvor in Abschnitt 3.4.2 beschriebenen Zusammenhänge, der größte Kälteenergiebedarf vor. Mit steigenden Verlustanteilen steigt auch der Ausnutzungsgrad der solaren Gewinne und es bilanzieren sich geringere nicht nutzbare Gewinne. Diese müssen in der Kühlenergiebilanz abgeführt werden, um die Raumsolltemperatur aufrechtzuerhalten. Mit schlechter werdendem U-Wert einer Zone reduziert sich der Kälteenergiebedarf im statischen Berechnungsmodell – jedoch vergleichsweise gering.

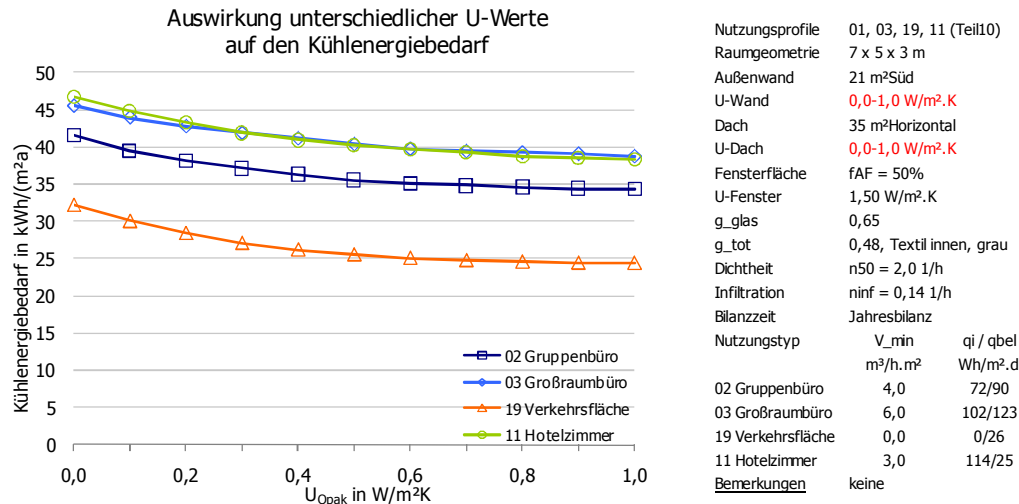


Abbildung 94: Änderung des Kühlbedarfs bei Unter- oder Überschätzung der U-Werte opaker Bauteile für unterschiedliche Nutzungstypen (Fensterfläche und Außenwandfläche sind konstant)

Verschiedene Zuweisungen von U-Werten und/oder opaken Flächen von ±100 % innerhalb eines Nutzungsprofils führen bei der Berechnung des Kühlenergiebedarfs zu einem Fehler von maximal 2,7 kWh/(m²a). Der Fehler liegt, wegen ähnlicher Kurvenverläufe, auch bei unscharfen Zuweisungen zu Zonen mit verschiedener Nutzung auf ähnlichem Niveau.

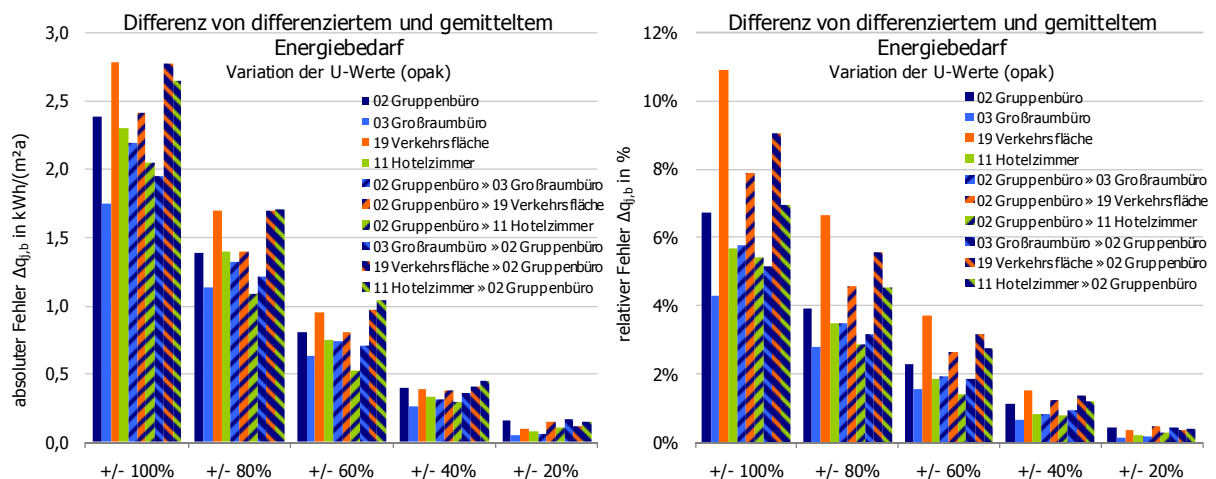


Abbildung 95: Fehler beim Kühlbedarf $\Delta q_{j,b}$ durch Zusammenfassen von Zonen mit unterschiedlichen U-Werten (Außenwand- und Fensterfläche sind konstant)

Je nach Nutzungsprofil kann ein relativer Fehler von etwa 11 % berechnet werden. Bei niedrigen internen Lasten ergibt sich tendenziell ein geringerer Kühlenergiebedarf, was zu höheren relativen Abweichungen führt. Das relative Ergebnis ist immer im Zusammenhang mit der absoluten Abweichung zu interpretieren.

Fehler bei der vereinfachten Zuweisung von Außenwandfläche bzw. U-Wert führen nicht zu nennenswerten Änderungen im Kühlbedarf der einzelnen Zonen. Wird die Außenwandfläche zwischen 0 und 100 % zum Ausgangswert (50 %-Referenzwert) variiert (entspricht 0 bis 100 % der Fassadenfläche), liegen die Änderungen beim Kühlbedarf bei etwa 3 kWh/(m²a). Für die Bewertung des Fehlers ist die Änderung des Kühlbedarfs durch die Berechnung mit einer über mehrere Zonen gemittelten Außenwandfläche entscheidend. Einer zu großen Außenwandfläche in einer Zone steht dabei eine zu kleine Außenwandfläche in einer anderen gekühlten Zone gegenüber. Der Fehler im

Kühlbedarf wird umso größer sein, je nichtlinearer die Kurven der Kühlbedarfe verlaufen. Die vereinfachte Zuweisung der Außenwandfläche bzw. des U-Werts führt nur zu einem geringen Fehler im Kühlbedarf. Selbst bei der Zusammenfassung von Zonen mit $\pm 100\%$ unterschiedlichen Außenwandflächen (bezogen auf den Ausgangswert) liegt der Fehler beim Kühlbedarf bei maximal $3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

3.5.2 Gebäudehüllfläche oder U-Werte opaker Bauteile und Orientierung

Es wird je Orientierung eine Zone mit einer festen Fensterfläche und einem Sonnenschutzsystem berechnet. Betrachtet werden die Auswirkungen unterschiedlicher Orientierung auf die Fehlerausprägung unter Berücksichtigung der Variation von opaken Flächenanteilen oder deren U-Werte. Unterschiedliche Orientierungen wirken sich in zwei Arten auf den Kühlenergiebedarf aus. Es unterscheiden sich die solaren Gewinne über transparente Flächen ebenso wie die solaren Gewinne und Verluste durch Absorption und Abstrahlung an opaken Bauteilen. Die Gewinne/Verluste über opake Bauteile sind im Verhältnis jedoch wesentlich geringer als die über transparente Bauteile. Verglichen mit der Heizwärmebilanz haben die Gewinne über opake Bauteile in der Berechnung einen größeren Einfluss. Folgende Analysen zeigen, wie hoch der Fehler einzuschätzen ist, wenn Flächen opaker Bauteile oder deren U-Werte fehlerhaft unterschiedlichen Himmelsrichtungen zugeordnet werden. Jede orientierte Zone wird mit gleichem Fensterflächenanteil von 50% berechnet, um realistische Bedingungen zu simulieren.

Der Kühlenergiebedarf wird im Wesentlichen durch die internen Gewinne und die solaren Erträge beeinflusst. Bei Nordorientierung ist die solare Einstrahlung am geringsten. Der größte Kühlenergiebedarf liegt bei West- und Ostorientierung vor. Dies liegt zum Teil an den etwas größeren Einstrahlungswerten und an den in der Bilanz kürzeren Aktivierungszeiten von beweglichen Sonnenschutzsystemen für West- und Ostorientierungen.

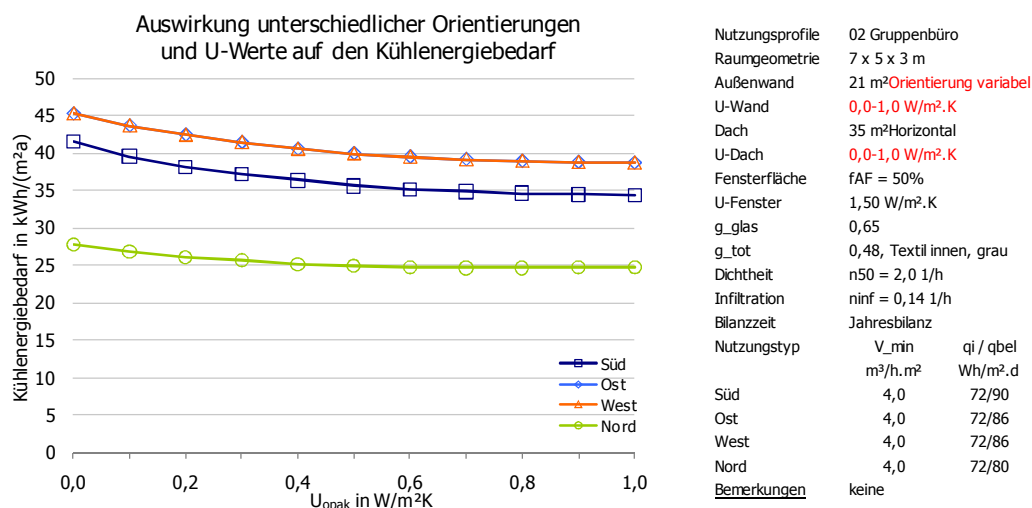


Abbildung 96: Änderung des Kühlbedarfs bei Unter- oder Überschätzung der U-Werte opaker Bauteile für verschiedene Orientierungen (Fensterfläche und Außenwandfläche sind konstant)

Die Auswirkungen einer fehlerhaften Flächenverteilung sind in Abbildung 97 dargestellt. Innerhalb der jeweiligen Orientierung ergeben sich bei einer Abweichung von $\pm 100\%$ vom 50% -Referenzwert absolute Fehler von etwa $1,4$ bis $2,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Werden Flächen zu unterschiedlichen Orientierungen zugeordnet, ergeben sich die größten Fehler bei Fehlzusweisungen von

strahlungsreichen zu strahlungsarmen Orientierungen. Der absolute Fehler bei $\pm 100\%$ beträgt $2,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

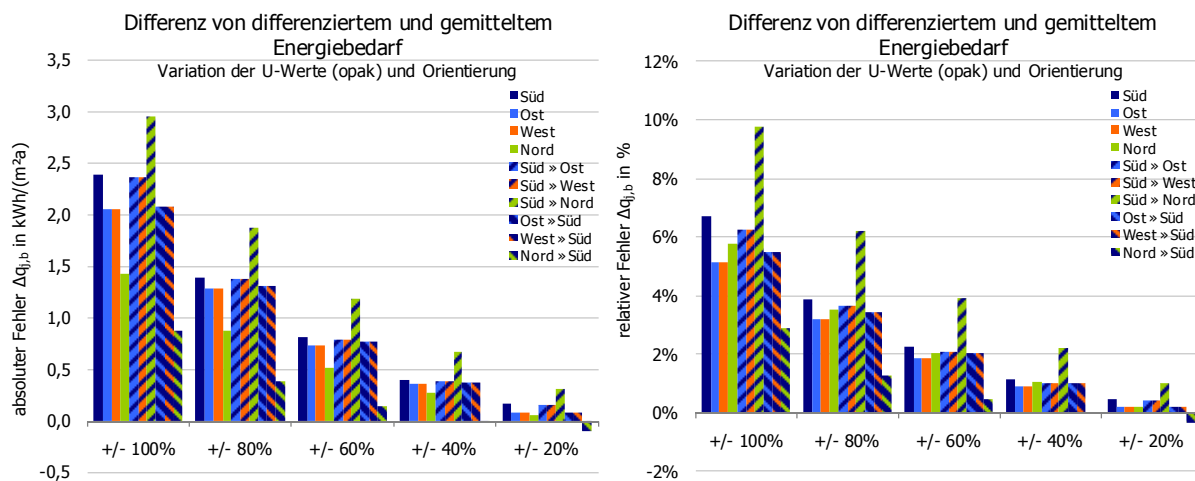


Abbildung 97: Fehler beim Kühlbedarf $\Delta q_{j,b}$ durch Zusammenfassen von Zonen mit unterschiedlichen U-Werten für verschiedene Orientierungen (Außenwand- und Fensterfläche sind konstant)

Die absoluten Abweichungen bei unscharfer Zuweisung von $\pm 100\%$ innerhalb einer Orientierung liegen bei etwa 5 bis 6 %. Der Fehler steigt auf etwa 9 %, wenn opake Flächen unterschiedlichen Orientierungen zugeteilt werden. Eine vereinfachte Flächenzuweisung bei unterschiedlichen Orientierungen führt nur zu geringen Fehlern im Kältebedarf. Auf diesen Zusammenhang wiesen auch *Rouvel* und *Kolmetz* in [69] hin. Selbst wenn $\pm 100\%$ der Fläche opaker Bauteile zu Zonen mit unterschiedlichen Orientierungen zugeordnet werden, liegen die berechneten Abweichungen beim Kälteenergiebedarf im Bereich von etwa $3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Die Randbedingungen, insbesondere der Fensterflächenanteil und die Qualität des Sonnenschutzes, spielen hierbei eine entscheidende Rolle. Im folgenden Abschnitt werden die Auswirkungen verschiedener Fensterflächenanteile untersucht.

3.5.3 Erträge über opake Bauteile

Solare Gewinne über opake Bauteile beeinflussen die Heizwärme- und Kältebilanz gleichermaßen. Folgend werden für jeweils einen Quadratmeter eines Bauteils (Wand und Dach), unter Annahme von festen Randbedingungen für Absorptionsgrad und U-Wert des Bauteils, mögliche Gewinne nach Gleichung (33) bilanziert und monatsweise dargestellt. In der Heiz- und Kühlbilanz sind die Auswirkungen der solaren Gewinne über opake Bauteile abhängig von der Jahreszeit. Um allgemeine Aussagen über den Einfluss auf die Heiz- und Kühlbilanz zu treffen, ist es erforderlich, das Bilanzjahr vereinfacht in eine Heizperiode (15. September bis 15. April) und eine heizfreie Zeit (Kühlperiode, 15. April bis 15. September) zu unterteilen. Es ergeben sich somit für die Heiz- und Kühlperiode unterschiedlich relevante Bereiche für mögliche Gewinne über opake Bauteile.

Wie in Abschnitt 3.4.5 gezeigt, liegt die größte Beeinflussung bei sehr großen U-Werten vor. Die Analyse wird für einen U-Wert von $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ durchgeführt. Dies stellt für Neubauten einen oberen Grenzwert dar. In Abbildung 98 wird der Einfluss solarer Gewinne über opake Bauteile für eine Beispielzone dargestellt. Die dargestellten Gewinne entsprechen immer den saldierten Beträgen aus Gewinnen und Verlusten über Abstrahlung. In der Heizperiode liegen positive und negative Werte für saldierte solare Gewinne vor, in der heizfreien Zeit sind hingegen nur Gewinne zu verzeichnen. Wie die rechte Abbildung zeigt, unterscheiden sich der Heiz- und Kühlfall voneinander. Summiert man die

Energiemengen für die jeweilige Zeitperiode auf, so ist die Summe in der Heizperiode annähernd null. Für die Kältebilanz zeigt sich ein anderes Bild. Für horizontale Bauteile berechnet sich unter den Vorgaben ein etwa 10-facher Wert; für die anderen Orientierungen auch ein deutlich höherer Wert.

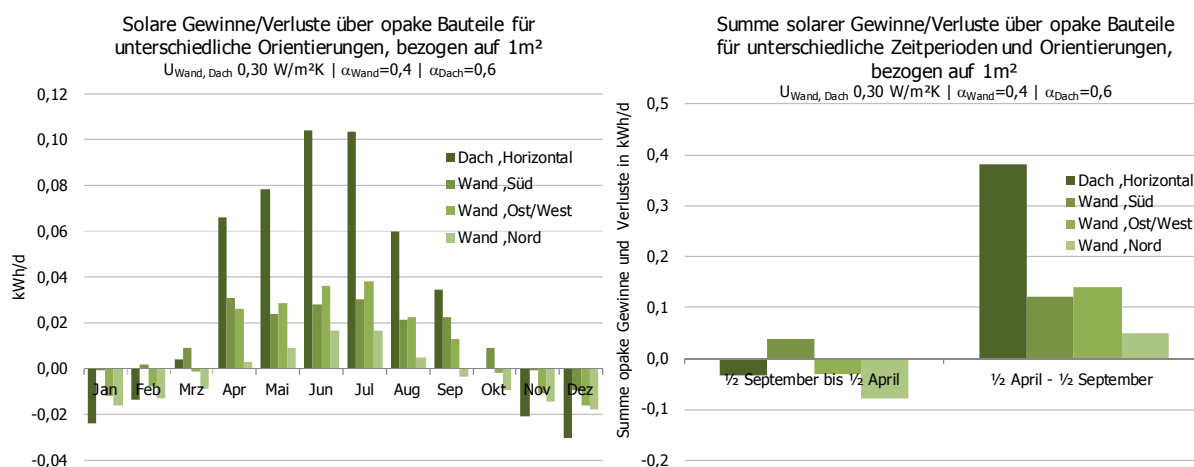


Abbildung 98: Links: Verlauf der Gewinne/Verluste über opake Bauteile für unterschiedliche Orientierungen.¹² Rechts: Summe der solaren Gewinne und Verluste über opake Bauteile für die Zeitperioden Winter (Mitte September bis Mitte Mai) und Sommer (Mitte Mai bis Mitte September).

Da sich in der Sommerperiode das Verhältnis der langwelligigen Abstrahlungsverluste zur solaren Einstrahlung stark zugunsten der solaren Einstrahlung ändert, lässt sich ableiten, dass im Vergleich zur Heizwärmebilanz die Beeinflussung durch solare Gewinne über opake Bauteile in der Kühlenergiebilanz durch das vorgegebene Rechenverfahren größer ist. Die Höhe dieser Auswirkungen auf die Energiebilanzen selbst wird in den folgenden Abschnitten untersucht. Hierbei ist zu beachten, dass der Einfluss solarer Gewinne über opake Bauteile in der Kühlenergiebilanz stark von den solaren Gewinnen über Fensterflächen abhängt. Werden für eine Zone, z. B. aufgrund hoher Fensterflächenanteile in Kombination mit einem ineffizienten Sonnenschutz, sehr hohe solare Gewinne bilanziert, so relativieren sich die Auswirkungen solarer Gewinne über opake Bauteile.

Analog zur Analyse der Heizwärmebilanz wird die Beispielzone zuerst ohne Fensterflächen berechnet, um den Einfluss der solaren Gewinne über opake Bauteile zu isolieren. Anschließend erfolgt die Untersuchung unter realeren Bedingungen mit dem Standardfensterflächenanteil von 50 %.

Absorptionsgrade, ohne Fenster

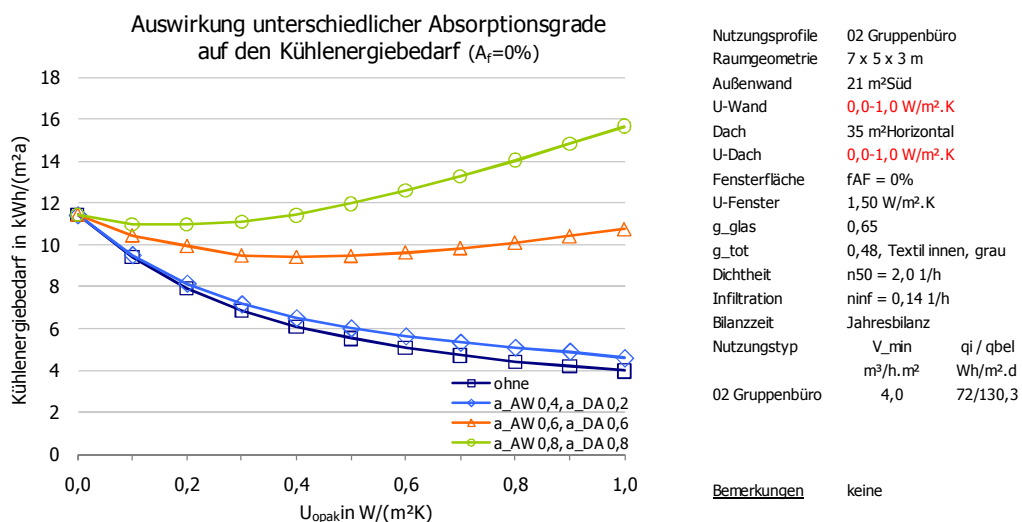
Analog zu Abschnitt 3.4.2 werden unterschiedliche Varianten nach Tabelle 32 definiert. Die Bestimmung der Parameter erfolgt anhand möglicher Standardparameter der DIN V 18599 [35].

¹² Die berechneten Energiemengen beziehen sich auf den Berechnungsschritt eines Tages für jeweils einen Quadratmeter eines Bauteils. Alle Bauteile wurden mit einem U-Wert von $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ berechnet. Der Verlauf ist vom äußeren Absorptionskoeffizient, dem Formfaktor, der Temperaturdifferenz, der Umgebung zum scheinbaren Himmel, der solaren Einstrahlung sowie dem Absorptionskoeffizienten abhängig.

Tabelle 32: Verwendete Absorptionsgrade für die Variantenuntersuchung des Einflusses von Erträgen über opake Bauteile

Randbedingungen	Absorptionsgrad Wände	Absorptionsgrad Dach	Variantenname
keine Berücksichtigung von Erträgen	keine	keine	ohne Gewinne
geringe Absorption, höhere Reflektion	$\alpha = 0,4$ (hell)	$\alpha = 0,2$ (Metall)	a_AW 0,4, a_DA 0,2
mittlere Absorption, mittlere Reflektion	$\alpha = 0,6$ (gedeckt)	$\alpha = 0,6$ (ziegelrot)	a_AW 0,6, a_DA 0,6
hohe Absorption, geringe Reflektion	$\alpha = 0,8$ (dunkel)	$\alpha = 0,8$ (dunkel)	a_AW 0,8, a_DA 0,8

Wird die Zone ohne Fenster berechnet, so wird der Kühlbedarf lediglich durch die nicht nutzbaren internen Gewinne und die solaren Gewinne über opake Bauteile bestimmt. Der Einfluss unterschiedlicher Absorptionsgrade auf den Kühlenergiebedarf ist in Abbildung 99 dargestellt. Verglichen mit einer Bilanzierung „ohne solare Gewinne“ über opake Bauteile wird für alle Fensterflächenanteile ein höherer Kälteenergiebedarf berechnet. Dies bestätigt die aus den vorigen Abschnitten getroffene Folgerung. Mit steigendem Absorptionsgrad steigt auch der Kälteenergiebedarf. Die Ausprägung verstärkt sich mit größer werdendem U-Wert, da die absorbierte Wärme besser zur Zone geleitet werden kann.



Nutzungsprofile 02 Gruppenbüro
 Raume geometrie 7 x 5 x 3 m
 Außenwand 21 m²Süd
 U-Wand 0,0-1,0 W/m².K
 Dach 35 m²Horizontal
 U-Dach 0,0-1,0 W/m².K
 Fensterfläche fAF = 0%
 U-Fenster 1,50 W/m².K
 g_glas 0,65
 g_tot 0,48, Textil innen, grau
 Dichtheit n50 = 2,0 1/h
 Infiltration ninf = 0,14 1/h
 Bilanzzeit Jahresbilanz
 Nutzungstyp V_min qi / qbel
 m³/h.m² Wh/m².d
 02 Gruppenbüro 4,0 72/130,3

Bemerkungen keine

Abbildung 99: Änderung des Kühlbedarfs bei Unter- oder Überschätzung der U-Werte opaker Bauteile für verschiedene Absorptionsgrade (Fensterfläche 0 % konstant)

Werden nun opake Flächen oder U-Werte $\pm 100\%$ fehlerhaft den Zonen zugeordnet, so ergeben sich absolute Fehler von etwa 2,5 kWh/(m²a). Der Fehler sinkt mit höher werdendem Absorptionsgrad. Erfolgt die Verteilung auf Zonen mit verschiedenen Absorptionsgraden respektive auf Zonen ohne Berücksichtigung solarer Gewinne über opake Bauteile, resultieren daraus etwas höhere Fehler. Der größte relative Fehler mit 5,1 kWh/(m²a) tritt bei der Kombination „ohne Gewinne“ und „mit höchsten Absorptionsgraden“ auf. Vertauscht man hingegen die Zuweisung, so wird eine geringe negative Abweichung von -0,9 kWh/(m²a) berechnet. Verschiebungen innerhalb üblicher Absorptionsgrade für Außenbauteile sind sehr gering. Darüber hinaus haben horizontale Bauteile einen größeren Einfluss auf die Kältebilanz als vertikale.

Der relative Einfluss unterschiedlicher Absorptionsgrade bei einer vereinfachten Flächenverteilung ist in der rechten Abbildung dargestellt. Die relativen Fehler sind aufgrund niedriger berechneter

Bedarfwerte für den Kühlenergiebedarf relativ hoch ausgeprägt. Dieses Ergebnis muss man vor dem Hintergrund bewerten, dass in gekühlten Zonen in der Regel auch transparente Flächen vorkommen, was zu höheren Bedarfwerten führt.

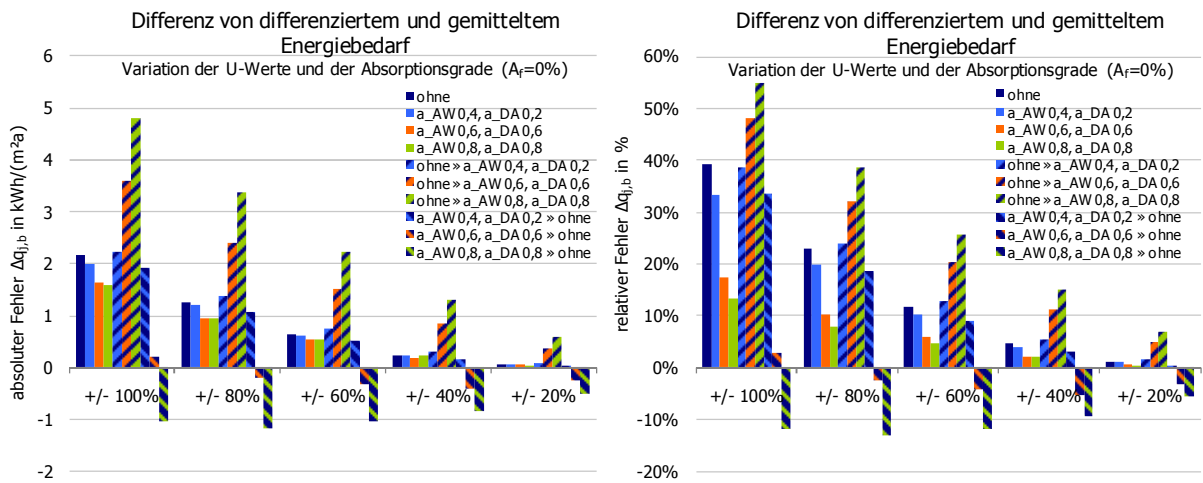


Abbildung 100: Fehler beim Kühlbedarf $\Delta q_{i,b}$ durch Zusammenfassen von Zonen mit unterschiedlichen U-Werten für verschiedene Absorptionsgrade (Fensterfläche 0 % konstant)

Absorptionsgrade, mit Fenster

Für die Analyse mit Fensterflächen in der betrachteten Zone wird als Mindestanforderung ein innen liegender Sonnenschutz berücksichtigt. Durch die hier bilanzierten solaren Erträge berechnet sich ein deutlich höherer Grundbedarf von etwa 42 kWh/(m²a). Die Änderung der U-Werte bzw. der opaken Flächen ändert auf der einen Seite das Gewinn-zu-Verlust-Verhältnis und auf der anderen Seite auch die möglichen Gewinne über die opaken Bauteile. Auch diese Analyse zeigt, dass der Kühlenergiebedarf von der Berücksichtigung solarer Gewinne opaker Bauteile abhängt. Mit höherem Dämmstandard werden die Differenzen jedoch geringer, da ein besserer Wärmeschutz auch die Transmissionswärmeerträge über opake Bauteile im Sommer beeinflusst.

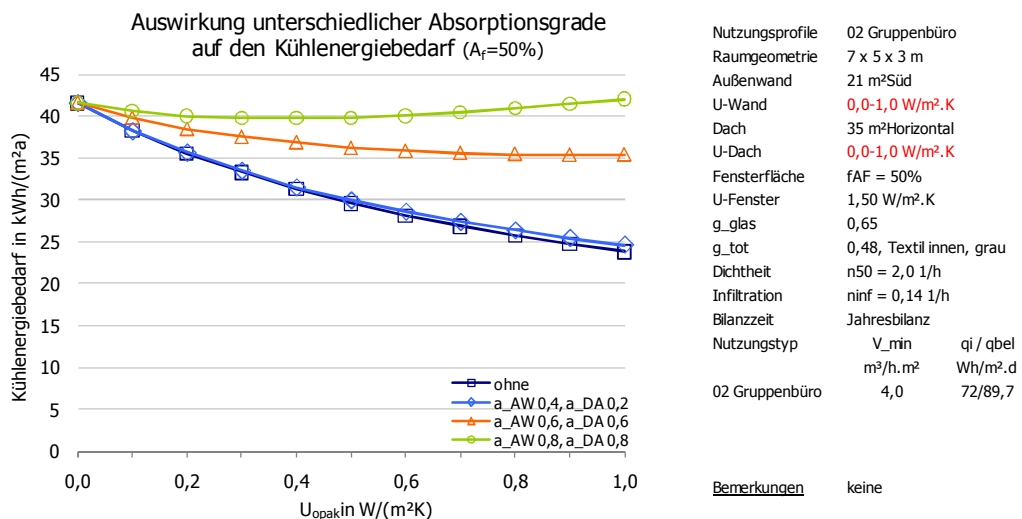


Abbildung 101: Änderung des Kühlbedarfs bei Unter- oder Überschätzung der U-Werte opaker Bauteile für verschiedene Absorptionsgrade (Fensterfläche 50 % konstant)

Eine ungenaue Zuteilung opaker Bauteile zu Zonen mit gleichen Absorptionsgraden, führt bei Abweichungen von ±100 % vom 50 %-Referenzwert zu Fehlern bis zu 3,5 kWh/(m²a). Je größer die

Absorptionsgrade der Zonen sind, desto kleiner wird der Fehler, da die Kurvenverläufe flacher sind und höheren Transmissionsverlusten geringere Gewinne gegenüberstehen. Erfolgt die Zuteilung zu Zonen mit unterschiedlichen Absorptionsgraden, steigen die Fehler auf bis zu 7 kWh/(m²a) an. Die relativen Abweichungen innerhalb einer Absorptionsklasse liegen zwischen 5 und 10 %. Verschiebt man die Flächen/U-Werte zu Zonen mit unterschiedlichen Absorptionsklassen, so ändert sich je nach Variation der Zuteilung der relative Fehler zwischen –5 und 20 %.

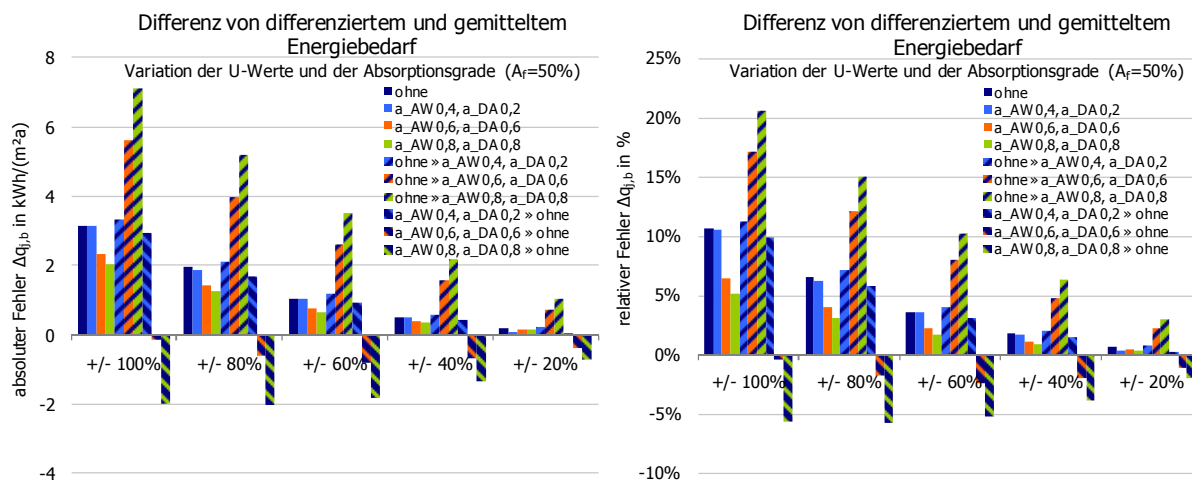


Abbildung 102: Fehler beim Kühlbedarf $\Delta q_{i,b}$ durch Zusammenfassen von Zonen mit unterschiedlichen U-Werten für verschiedene Absorptionsgrade (Fensterfläche 0 % konstant)

3.5.4 Fensterflächenanteile

Variiert wird in den folgenden Abbildungen die Fensterfläche. U-Wert und Fläche der Außenwand bleiben auf dem Ausgangswert. Da der Ausgangswert einem Fensterflächenanteil von 50 % der Fassadenfläche entspricht, kann ein Zahlenwert von +100 % des Ausgangswertes als 100 % Fensteranteil interpretiert werden. Die Außenwandfläche wird in Abhängigkeit des Fensterflächenanteils reduziert und somit auch der Einfluss von Transmissionsverlusten, Gewinne/Verluste über opake Bauteile der Außenwandflächen real mitberücksichtigt. Nach Gleichung (36) berechnet sich der Kühlenergiebedarf aus der Summe der nicht nutzbaren internen und solaren Gewinne. Bei einem Fensterflächenanteil von 0 % fallen keine direkten solaren Gewinne an. Der Kälteenergiebedarf berechnet sich nur aus den nicht nutzbaren Gewinnen über opake Einstrahlung, Abwärme der Beleuchtung nach [45] und Gewinnen über Personen und Arbeitshilfen. Für das Nutzungsprofil „Verkehrsfläche“ wird ein Kühlenergiebedarf von 0,6 kWh/(m²a) bilanziert.

Interne Lasten durch Personen sind innerhalb der Nutzzeit nur in geringem Umfang zu erwarten, ebenfalls durch das erforderliche Beleuchtungsniveau und den daraus resultierenden Energiebedarf. Mit steigendem Fensterflächenanteil steigt der Kühlenergiebedarf an. Der Kurvenverlauf folgt anfangs einer Exponentialfunktion. Dies ist durch Speicherwirkung in der Zone und dem moderaten Gewinn-zu-Verlust-Verhältnis zu erklären (vgl. Abbildung 69). Ab einem gewissen Maß an solaren Gewinnen nimmt der Ausnutzungsgrad soweit ab, dass eine Kompensation durch weitere Einspeicherung von Wärme nicht mehr wirksam ist. Während anfangs, bei sehr geringen Fensterflächenanteilen, der Unterschied zwischen den unterschiedlichen Nutzungsprofilen durch den Außenluftvolumenstrom und die internen Lasten bestimmt wird, überlagern die solaren Gewinne diese Parameter ab einem Fensterflächenanteil von etwa 30 %.

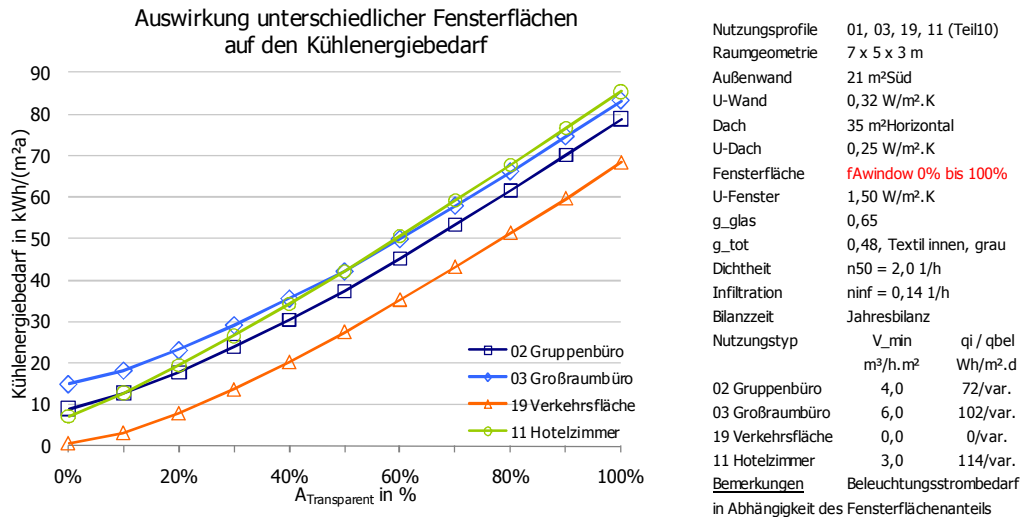


Abbildung 103: Änderung des Kühlbedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Fensterfläche für unterschiedliche Nutzungstypen (U-Werte und Flächen opaker Bauteile sind konstant)

Werden in der Energiebilanz $\pm 100\%$ der Fensterflächen unscharf zugewiesen, so ergeben sich innerhalb eines Nutzungsprofils Fehler von etwa $7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Beim Nutzungsprofil „Hotelzimmer“ ist der Unterschied aufgrund des lineareren Verlaufs des Kühlenergiebedarfs bei variablem Fensterflächenanteil mit $4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ geringer. Verschiebt man Fensterflächen zu unterschiedlichen Nutzungsprofilen, so sind die Auswirkungen ähnlich wie bei einer Verschiebung innerhalb der Profile, mit Ausnahme des Hotelzimmers. Hier werden je nach Kombination (0 % im Hotelzimmer und 100 % im Gruppenbüro oder umgekehrt) Fehler von 3,2 bis $7,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ berechnet. Mit besserer Zuweisung der Flächenanteile verringern sich die berechneten Fehler deutlich.

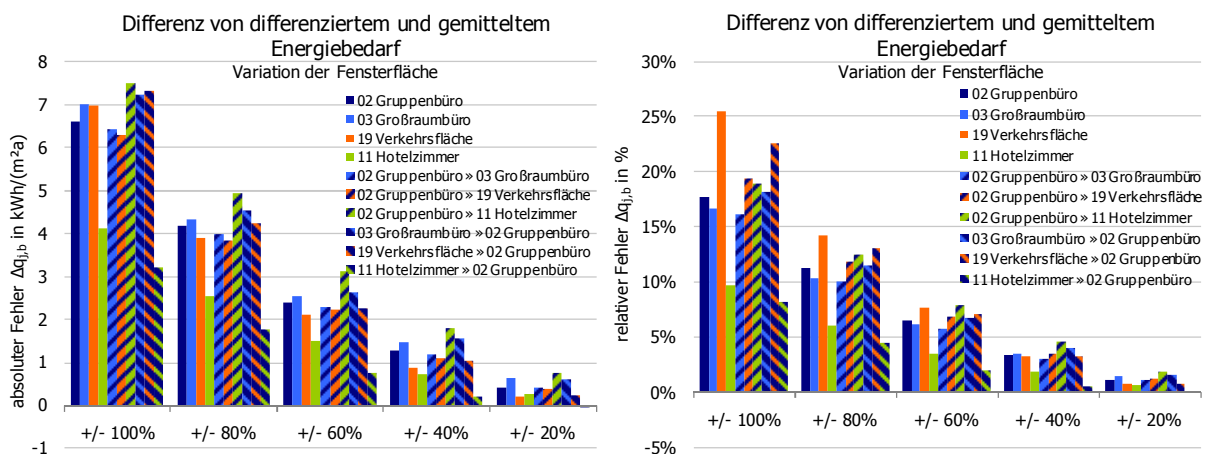


Abbildung 104: Fehler $\Delta q_{j,b}$ beim Kühlbedarf durch Zusammenfassen von Zonen bei Variation der Fensterflächen für unterschiedliche Nutzungsprofile (U-Werte und Flächen opaker Bauteile sind konstant)

Die Fensterfläche hat einen wesentlich stärkeren Einfluss auf den Kühlbedarf als opake Wandflächen oder deren U-Werte. Eine Variation der Fensterflächen zwischen 0 und 100 % führt zu Änderungen im Kühlbedarf von etwa $70 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ (vgl. Abbildung 103). Für einige Nutzungen ergeben sich deutliche Nichtlinearitäten. Diese machen sich auch im Fehler beim Kältebedarf bemerkbar. So liegt der Fehler für die Nutzungen „Hotelzimmer“ etwa halb so hoch wie bei den Nutzungen „Gruppen-“, „Großraumbüro“ und „Verkehrsfläche“. Dies wird auch deutlich, wenn Fenster über zwei Zonen mit unterschiedlicher Nutzung gemittelt werden. Ausgehend von einer $\pm 100\%$ unscharfen Zuweisung ergeben sich Fehler zwischen 3 und $8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

3.5.5 Sonnenschutzsysteme

Die Variation des Sonnenschutzes erlaubt die Einschätzung, wie sich der Fehler aus der vereinfachten Fensterflächenzuweisung bei unterschiedlich effizienten Sonnenschutzsystemen darstellt. Die Berechnungen erfolgen mit unterschiedlichen Systemen, um auch Verschiebungen zwischen gekühlten Zonen mit unterschiedlichen Systemen bewerten zu können. Betrachtet werden folgende Systeme:

Sonnenschutzsystem	g_{tot} Gesamtenergiedurchlassgrad, Verglasung und Sonnenschutz
kein Sonnenschutz	0,65
Innen-Textilrollo	0,48
Außenjalousie 45 ° - weiß	0,10
Außenjalousie 10 ° - weiß	0,04

In der Referenzvariante wird kein Sonnenschutz berücksichtigt. Da der Kühlenergiebedarf von den nicht nutzbaren Gewinnen abhängt, haben Sonnenschutzsysteme einen großen Einfluss auf den Kühlenergiebedarf. Dies zeigt sich in Abbildung 105 durch deutlich unterschiedliche Kühlenergiebedarfe. Mit besser werdendem Sonnenschutz wird ein geringerer Kühlenergiebedarf bilanziert.

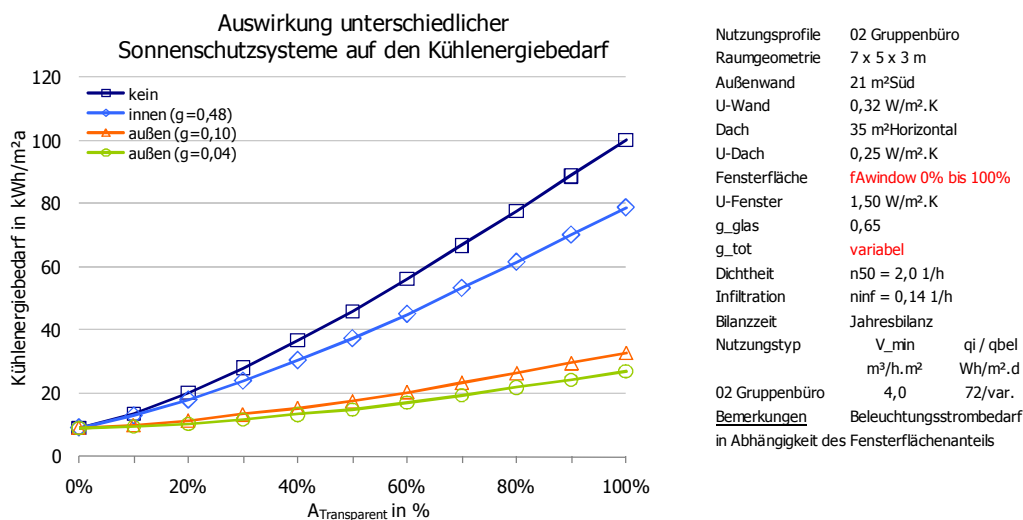


Abbildung 105: Änderung des Kühlbedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Fensterfläche für unterschiedliche Sonnenschutzsysteme (U-Wert und Fläche der Außenwand sind konstant)

Wenn Fensterflächen mit unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen innerhalb eines Nutzungsprofils (mit gleicher Orientierung) verschoben werden, so können Fehler von bis zu 8 kWh/(m²a) entstehen. Der absolute Fehler nimmt mit effektiverem Sonnenschutzsystem ab. Betrifft die Verschiebung transparenter Flächen jedoch Zonen mit unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen, werden deutliche Fehler beim Kühlenergiebedarf bis zu 25 kWh/(m²a) berechnet. Je größer der Unterschied der Sonnenschutzsysteme ist, desto größere Fehler können, bezogen auf den 50 %-Referenzwert, bilanziert werden. Betrachtet man den Verlauf der relativen Abweichung zum 50 %-Referenzwert, können bei Verschiebung innerhalb eines Nutzungsprofils Abweichungen von etwa 20 % für alle Sonnenschutzsysteme berechnet werden. Zwischen verschiedenen Systemen liegen die relativen Fehler bei Werten von -40 bis zu 80 %.

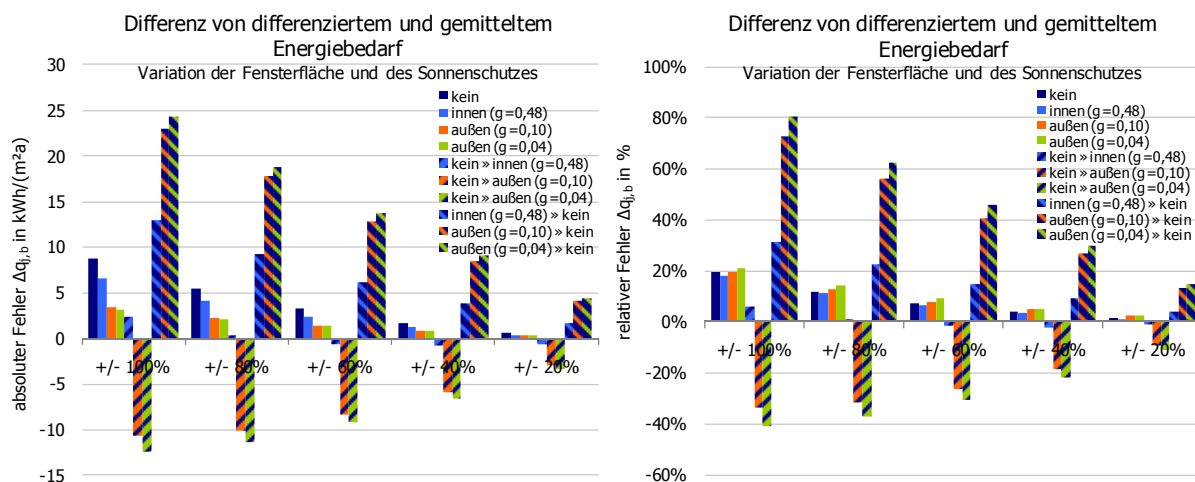


Abbildung 106: Fehler $\Delta q_{j,b}$ beim Kühlbedarf durch Zusammenfassen von Zonen bei Variation der Fensterflächen für unterschiedliche Sonnenschutzsysteme (U -Wert und Fläche der Außenwand sind konstant; Nutzung: Gruppenbüro)

Je besser der Sonnenschutz, d. h., je niedriger der Energiedurchlassgrad g_{tot} ist, desto geringer ist der Einfluss von Mittelungen der Fensterfläche auf den Kühlbedarf bzw. den Fehler, der sich aus unzutreffenden Zuweisungen der Fensterfläche ergibt. Für außen liegende Sonnenschutzsysteme beträgt der Fehler innerhalb eines Sonnenschutzsystems etwa 3 bis 4 kWh/(m²a). Wird die transparente Fläche jedoch Zonen mit unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen zugeordnet, so ergeben sich deutliche Fehler in der Energiebilanz. Je größer die Differenz der Effektivität des Sonnenschutzsystems ist, desto größer ist auch die Fehlerausprägung bei unscharfer Zuweisung. In der Praxis werden oft unterschiedliche Sonnenschutzsysteme in Gebäuden eingesetzt, um Gestaltung, Funktionalität und Raumanordnung effektiv auszuführen. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist diesem Zusammenhang Rechnung zu tragen. Gekühlte Räume haben in der Regel ein Sonnenschutzsystem zur Begrenzung der solaren Lasten bzw. zur Reduzierung des Energieaufwandes. Bei Mittelung der g_{tot} -Werte ist unbedingt darauf zu achten, dass diese in Abhängigkeit der Orientierung erfasst werden, um den unterschiedlichen Anforderungen gerecht zu werden.

3.5.6 Fensterflächenanteile und Orientierung

Die bisherigen Untersuchungen wurden für eine Südorientierung durchgeführt. Im Folgenden werden die Berechnungen für das „Gruppenbüro“ bei Ost-, West- bzw. Nord-Orientierung dargestellt. Hierdurch kann der Fehler auch für andere Orientierungen eingeschätzt werden. Auf der Basis der in DIN V 18599 hinterlegten Einstrahlungsdaten und den im Teil 2 definierten Aktivierungsparametern variabler Sonnenschutzvorrichtungen ergeben sich für die betrachtete Zone bei einer West- und Ostorientierung die höchsten Bedarfswerte. Für die Nordorientierung, in welcher die geringsten Einstrahlungswerte¹³ vorliegen, wird der geringste Anstieg des Kühlenergiebedarfs ermittelt.

¹³ Die für die Nordorientierung bilanzierten Einstrahlungswerte ergeben sich im Wesentlichen durch diffuse Einstrahlung.

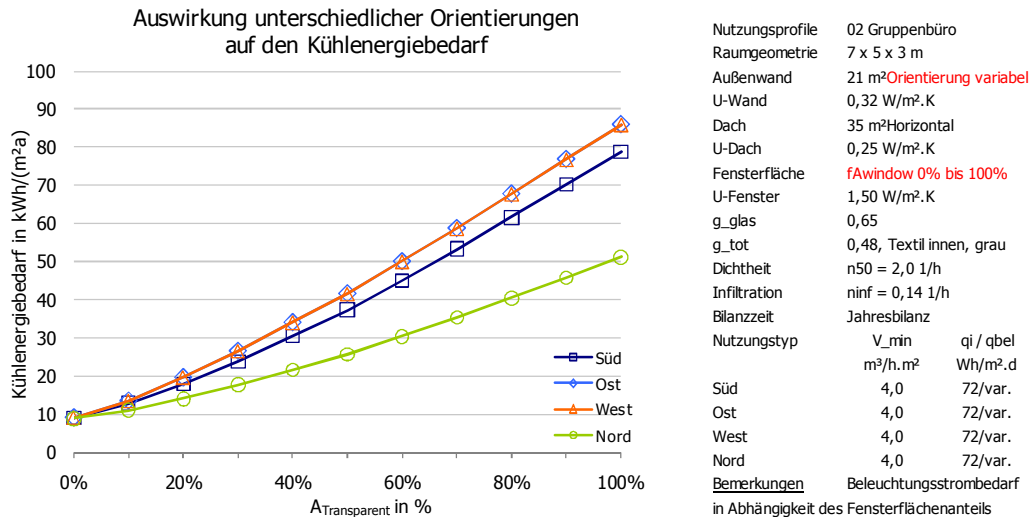


Abbildung 107: Änderung des Kühlbedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Fensterfläche für unterschiedliche Orientierungen (U-Wert und Fläche der Außenwand sind konstant)

Werden nun transparente Flächen vereinfacht innerhalb einer Orientierung zugewiesen, so berechnen sich Fehler von 4 bis 7 kWh/(m²a) im Kühlenergiebedarf. Aufgrund des etwas stärkeren exponentiellen Verlaufs bei der Südorientierung, ist der Fehler dort etwas höher als im Westen oder Osten, obwohl dort höhere Bedarfswerte berechnet wurden. Werden die Fensterflächen zu unterschiedlichen Orientierungen verteilt, so können bei einer Fehlzuweisung von ±100 % größere Fehler und vor allem größere Spannweiten berechnet werden. Es lässt sich feststellen, dass die Fehler am größten werden, wenn Zonen mit hohen solaren Lasten (Süd, West und Ost) zu viel Fensterfläche und Zonen mit vergleichsweise geringen solaren Lasten, wie die Nordorientierung, wenig Fensterfläche erhalten (Variante: Nord » Süd).

Die Analyse des relativen Fehlers zeigt, dass bei einer unscharfen Zuweisung von ±100 % der transparenten Flächen innerhalb einer Orientierung Fehler von 15 bis 18 % auftreten. Werden die Fensterflächen jedoch ungleich zu Zonen mit Orientierungen mit großen Einstrahlungsunterschieden zugeteilt, können die Fehler auf bis zu 40 % ansteigen. Zuweisungen zu Zonen mit ähnlichen Einstrahlungswerten (Süd, Ost, West) verursachen um etwa 13 % geringere Fehler.

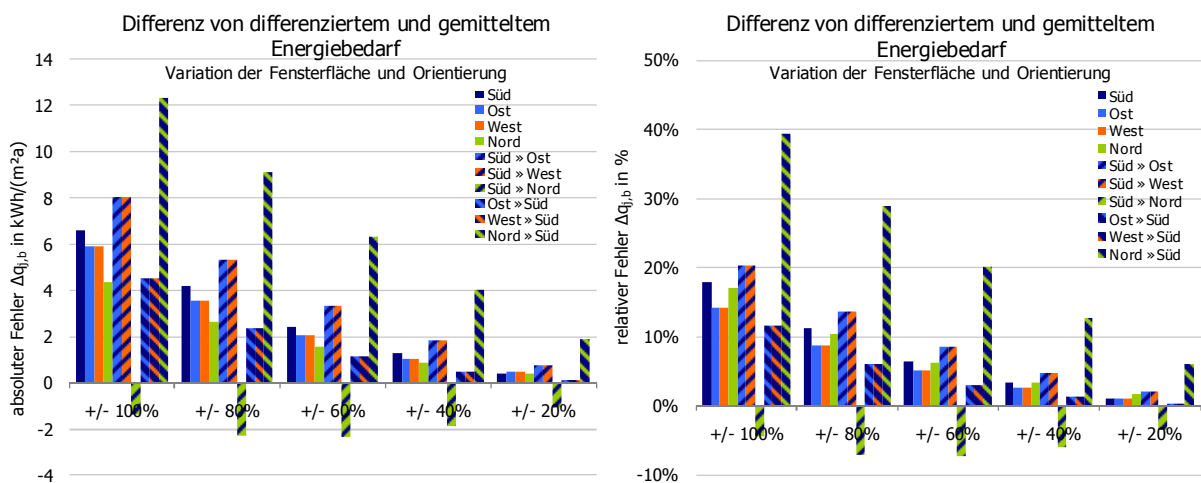


Abbildung 108: Fehler $\Delta q_{i,b}$ beim Kühlbedarf durch Zusammenfassen von Zonen bei Variation der Fensterflächen für unterschiedliche Orientierungen (U-Wert und Fläche der Außenwand sind konstant; Nutzung: Gruppenbüro)

Die in der Basisvariante verwendete Südorientierung stellt den kritischsten Fall dar. Sowohl der Einfluss der Fensterfläche auf den Kühlbedarf als auch auf den Fehler bei unzutreffender Flächenzuweisung ist für die anderen Orientierungen geringer. Der Fehler bei Orientierungen mit stark voneinander abweichenden Einstrahlungswerten (Nord, Süd) ist nennenswert hoch. Insbesondere werden hohe Fehler berechnet, wenn Fensterflächen aus Zonen mit geringer solarer Einstrahlung in Zonen mit höherer solarer Einstrahlung verschoben werden.

3.5.7 Verbauungssituation

Analog zur Analyse der Verbauungssituation in der Heizwärmebilanz werden die Auswirkungen unterschiedlicher Verbauungssituationen auf die Kältebilanz untersucht. Wie in Abschnitt 3.4.8 aufgezeigt, ist der Einfluss der baulichen Horizontverschattung in der Sommerperiode etwas geringer zu bewerten. In Abbildung 109 wird der Einfluss unterschiedlicher baulicher Verschattungen auf die Kältebilanz dargestellt. Es zeigt sich, dass die Unterschiede im Kühlbedarf deutlich geringer ausfallen als für die Heizwärmebilanz. Bis zum Referenzfensterflächenanteil von 50 % liegen die berechneten Kühlbedarfe annähernd gleich auf. Eine sichtbare Spreizung zwischen den unterschiedlichen Verbauungssituationen kann erst folgend beobachtet werden.

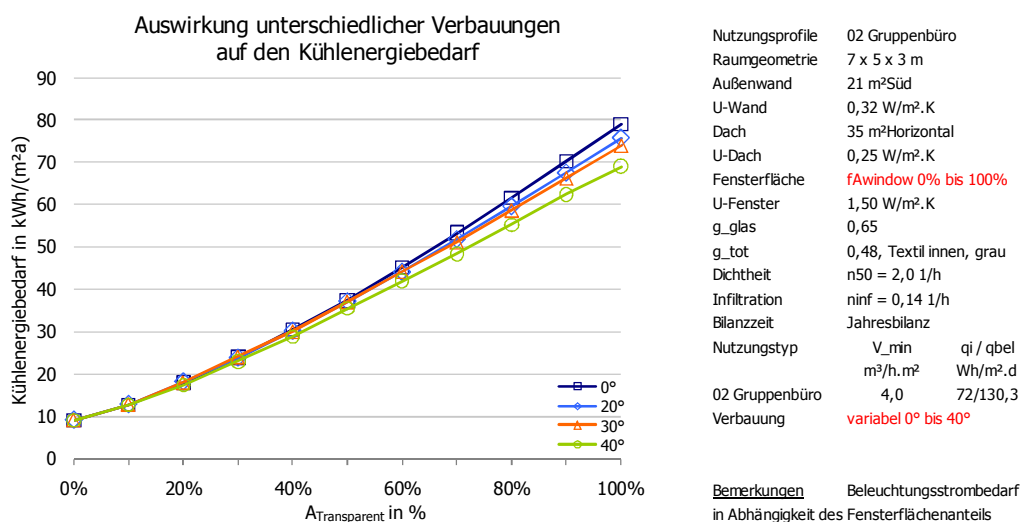


Abbildung 109: Änderung des Kühlbedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Fensterfläche für unterschiedliche lineare Verbauungen (U-Wert und Fläche der Außenwand sind konstant)

Werden nun $\pm 100\%$ der transparenten Flächen zu Zonen mit gleicher baulicher Verschattung zugeteilt, ergeben sich aufgrund unterschiedlich starker Linearitäten im berechneten Kühlbedarf Fehler von 3,6 bis 6,5 kWh/(m²a). Je größer die Verschattungswirkung ist, desto geringer ist der Fehler bei unscharfer Zuweisung. Werden bei gleicher Fehlerbetrachtung transparente Flächen in Zonen mit unterschiedlicher Verschattungssituation aufgeteilt, so ergeben sich nur leicht größere Fehler im Kühlbedarf mit bis zu 7,5 kWh/(m²a).

Relativ betrachtet liegen die Fehler innerhalb einer Verschattungsklasse zwischen 10 und 18 %. Bei Aufteilung der transparenten Flächen zu unterschiedlichen Verschattungsklassen steigt der Fehler etwas, auf knapp 21 %, an.

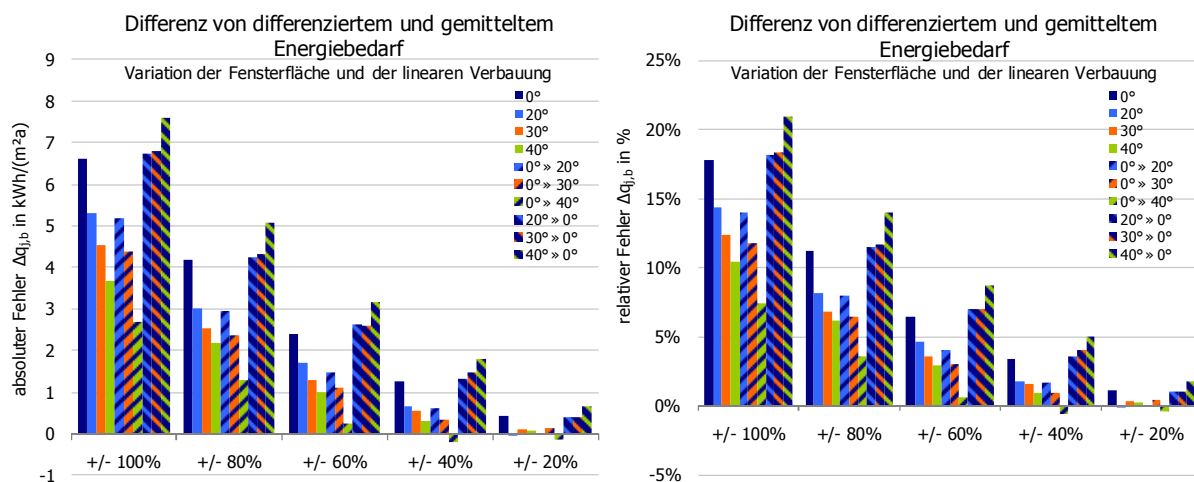


Abbildung 110: Fehler $\Delta q_{j,b}$ beim Kühlbedarf durch Zusammenfassen von Zonen bei Variation der Fensterflächen für unterschiedliche linearer Verbauung (U-Wert und Fläche der Außenwand sind konstant; Nutzung: Gruppenbüro)

Der Fehler im Kältebedarf durch unscharfe Aufteilung transparenter Flächen auf verschiedene Verschattungssituationen liegt zwischen 3,5 und 6,5 kWh/(m²a). Die Auswirkungen einer baulichen Verschattung können prinzipiell mit denen eines variierenden Sonnenschutzes gleichgesetzt werden, da beide die solaren Gewinne beeinflussen.

Im Berechnungsbeispiel wird ein ineffizienter Sonnenschutz mit $g_{tot} = 0,48$ angesetzt, wodurch die Höhe der Abweichungen zu relativieren ist. Für das vereinfachte Verfahren kann es sinnvoll sein, die bauliche Verschattung in Abhängigkeit der Himmelsrichtung für das Gebäude zu erfassen und dann für alle transparenten Bauteile, die dieser Himmelsrichtung angehören, zu verwenden. Dies kann nur sinnvoll für die Verschattungssituation angewandt werden, die das gesamte Gebäude betrifft. Einzelne, nur lokal vorkommende Verschattungen können damit nicht erfasst werden.

3.5.8 Bauschwere

In diesem Abschnitt wird der Einfluss unterschiedlicher Bauschweren auf die Kühlenergiebilanz untersucht. Je nach Art und Ausführung des Gebäudes können Zonen mit unterschiedlicher Bauschwere vorhanden sein (z. B. eine gekühlte Zone mit und eine ohne Abhangdecke). Dadurch ergeben sich unterschiedliche Speichermassen und thermische Trägheiten, welche einen Einfluss auf den Kühlenergiebedarf haben. Nach DIN V 18599 [35] sind vereinfacht folgende Bauschwereklassen angegeben, welche in den Berechnungen variiert werden.

leichte Bauweise	50 Wh/(m²K), bezogen auf die Zonenfläche $A_{B,Z}$
mittelschwere Bauweise	90 Wh/(m²K), bezogen auf die Zonenfläche $A_{B,Z}$
schwere Bauweise	130 Wh/(m²K), bezogen auf die Zonenfläche $A_{B,Z}$

Variable U-Werte

Werden Flächen opaker Bauteile unterschiedlichen Zonen zugeordnet, so wird folgend der Einfluss unterschiedlicher U-Werte bzw. Flächenanteile bei der Zuweisung untersucht. Der Fensterflächenanteil bleibt hierbei konstant. Als Sonnenschutz wird ein innen liegendes Rolll als Mindestanforderung angesetzt. Der Fensterflächenanteil entspricht 50 %. Diese Betrachtung beschreibt den Einfluss der Bauschwere bei Zonen mit annähernd gleichen solaren Gewinnen, jedoch

unterschiedlichen Transmissionsverlustanteilen. Mit steigendem U-Wert opaker Bauteile verringert sich für alle Bauschwereklassen der Kühlenergiebedarf, da den berechneten monatlichen Gewinnen mehr Transmissionsverluste entgegenwirken und dadurch das Gewinn-zu-Verlust-Verhältnis beeinflusst wird. Der Ausnutzungsgrad steigt und der Anteil der nicht nutzbaren Gewinne verringert sich.

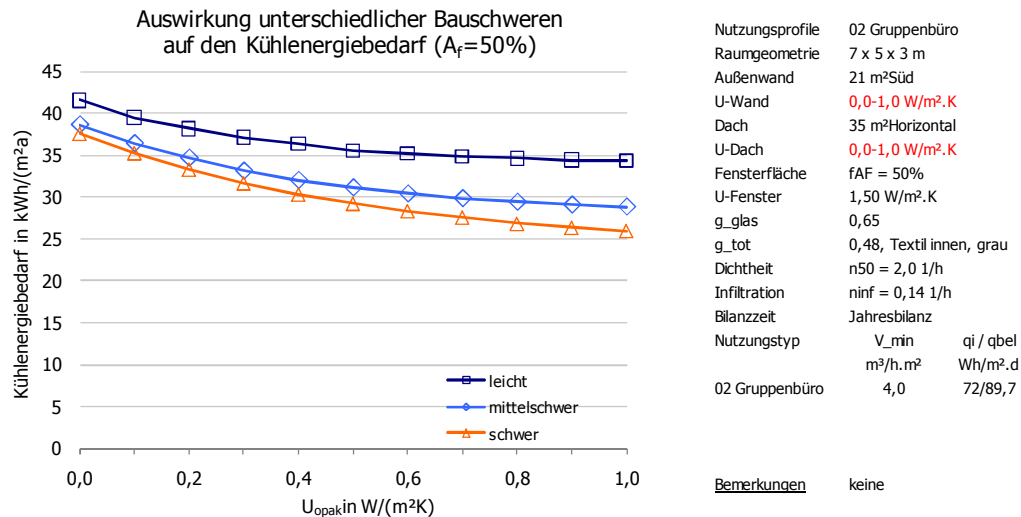


Abbildung 111: Änderung des Kühlbedarfs bei Unter- oder Überschätzung der U-Werte opaker Bauteile für unterschiedliche Bauschweren (U-Wert und Fläche der Fenster sind konstant)

In Abbildung 112 wird der Fehler bei Unter- und Überschätzung der U-Werte bzw. Flächen opaker Bauteile für die jeweilige Bauschwere aufgezeigt. Eine fehlerhafte Zuteilung von $\pm 100\%$ verursacht einen maximalen Fehler in der Kühlenergiebilanz von etwa 2,6 kWh/(m²a). Werden die Flächen Zonen mit verschiedenen Bauschwereklassen zugewiesen, so steigt der Fehler minimal auf etwa 3,6 kWh/(m²a) an.

Die Fehleinschätzung des Kühlenergiebedarfs beträgt bei $\pm 100\%$ Variation der transparenten Fläche bis 8,5 % innerhalb einer Bauschwereklasse und steigt bis auf 11 % bei Verteilung auf unterschiedliche Zonen.

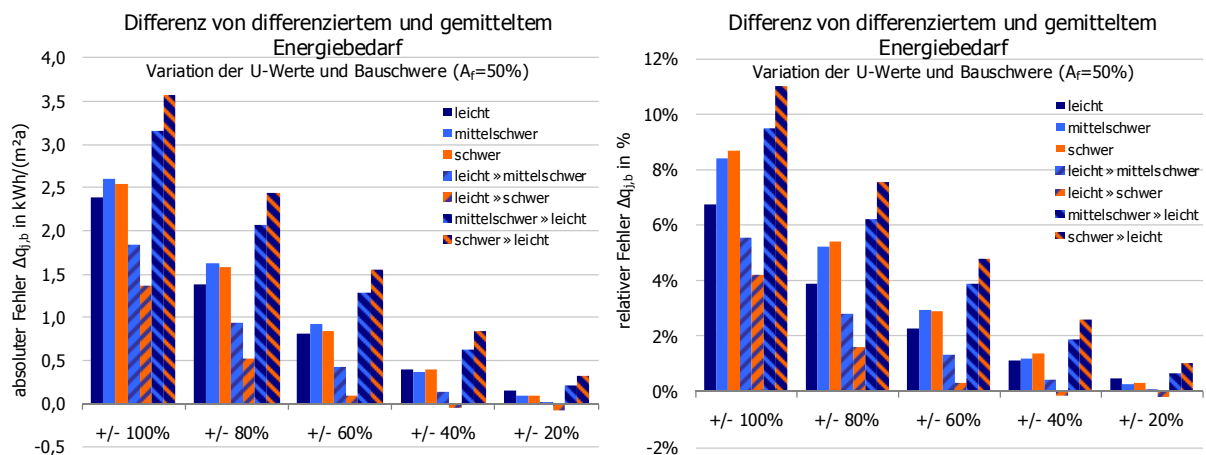


Abbildung 112: Fehler $\Delta q_{i,b}$ des Kühlbedarfs bei Unter- oder Überschätzung der U-Werte opaker Bauteile für unterschiedliche Bauschweren (U-Wert und Fläche der Fenster sind konstant)

Die Auswirkungen unterschiedlicher Bauschwereklassen auf den berechneten Kühlenergiebedarf sind, bei maximal $\pm 100\%$ unscharfer Verteilung der opaken Flächen, mit etwa $2,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ sehr gering. Der Fehler im elektrischen Energiebedarf für Kühlung kann vereinfacht mit $0,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ geschätzt¹⁴ werden. Bezogen auf die vereinfachte Hüllflächenverteilung sind die zu erwartenden Fehler als nicht relevant einzuschätzen.

Variabler Fensterflächenanteil

Mit steigendem Fensterflächenanteil steigt der Einfluss der Bauschwere auf die Kühlenergiebilanz und dementsprechend auch die Abweichung, wenn Zonen unterschiedlicher Bauschweren zusammengefasst werden. Für die Standardzone werden die Kühlenergiebedarfe für variable Fensterflächenanteile von 0 bis 100 % unter Berücksichtigung verschiedener Bauschweren berechnet. Bei leichter Bauweise kann weniger Energie in den Bauteilen gelagert und zeitversetzt wieder abgegeben werden. Dadurch können überschüssige Gewinne in einer Zone nicht mehr so gut temporär eingelagert werden, was entweder zu einer Temperaturerhöhung im Raum oder zum Anstieg des Kühlenergiebedarfs führt. Je größer die Speichermassen in einer Zone sind, desto geringer bilanziert sich der Kühlenergiebedarf. Die größten Differenzen treten zwischen den Klassen „leichte Bauweise“ und „schwere Bauweise“ auf. Zwischen den Bauschwereklassen „mittelschwer“ und „schwer“ sind die Unterschiede deutlich geringer.

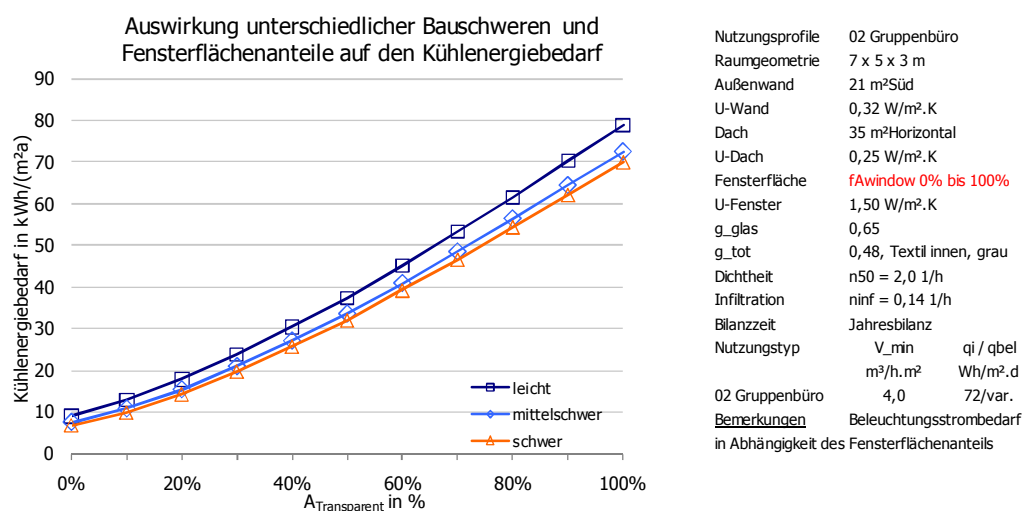


Abbildung 113: Änderung des Kühlbedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Fensterfläche für unterschiedliche Bauschweren (U-Wert und Fläche der Außenwand sind konstant)

In Abbildung 114 wird der Fehler bei Unter- und Überschätzung der Fensterfläche für die jeweilige Bauschwereklasse aufgezeigt. Unscharfe Zuordnungen von $\pm 100\%$ bewirken einen maximalen Fehler in der Kühlenergiebilanz von etwa $6,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Werden transparente Flächen zu Zonen mit unterschiedlichen Bauschwereklassen zugewiesen, so steigt der Fehler auf etwa $8,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ an.

Die Fehleinschätzung im Kühlenergiebedarf, bei $\pm 100\%$ Fehlzuzuweisung der transparenten Flächen, beträgt bis $\pm 20\%$ innerhalb einer Bauschwereklasse und steigt bis zu 24% an bei Verteilung der Fensterflächen auf unterschiedliche Zonen.

¹⁴ Bei vereinfachter Berücksichtigung eines Jahresnutzungsgrades für die Kälteerzeugung von COP = 3,0.

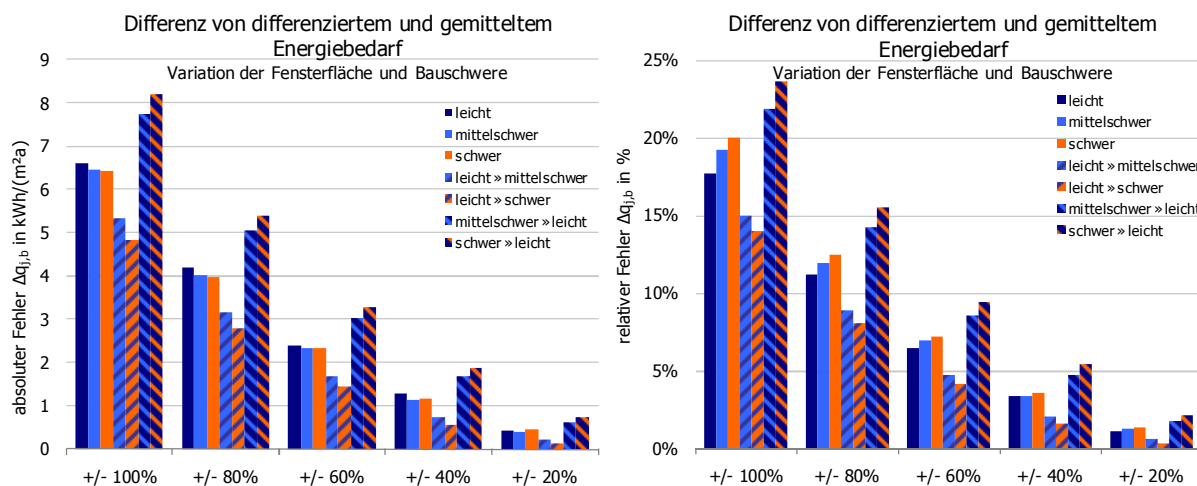


Abbildung 114: Fehler $\Delta q_{j,b}$ des Kühlbedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Fensterfläche für unterschiedliche Bauschweren (U-Wert und Fläche der Außenwand sind konstant; Nutzung: Gruppenbüro)

Die Auswirkungen unterschiedlicher Bauschweren auf den berechneten Kühlenergiebedarf sind bei maximal $\pm 100\%$ unscharfer Verteilung der Fensterflächen, mit maximal 6 bis 7 kWh/(m²a), etwa dreimal so hoch wie bei der Variation opaker Flächen. Die Interpretation muss vor dem Hintergrund geführt werden, dass dieser Fehler den Einfluss einer variierenden Fensterfläche mit beinhaltet. Die Isolierung des Einflusses der Bauschwere kann aus der Änderung des Fehlers abgeleitet werden. Betrachtet man nur die Änderung des Fehlers bei der Variation der Bauschweren (Differenz der ersten drei einfarbigen Säulen einer Säulentruppe), so liegen die absoluten Differenzen unterhalb 1 kWh/(m²a). Die Änderung steigt auf 3 kWh/(m²a) an, wenn die transparenten Flächen Zonen mit unterschiedlicher Bauschwere zugeteilt werden (Differenz der letzten vier schraffierten Säulen einer Säulengruppe).

3.5.9 Fazit und Bewertung

Die bisherigen Untersuchungen gingen davon aus, dass Fehler nur bei der Aufteilung von Außenwand- und Fensterfläche zwischen den gekühlten Zonen auftreten. Der Absolutwert der Außenwand- oder Fensterfläche für die Summe der gekühlten Zonen war dabei als konstant angenommen. Dies ist jedoch bei einer vereinfachten Flächenzuweisung in teilweise gekühlten Gebäuden nicht gewährleistet. Im Gegenteil ist es wahrscheinlich, dass in dem Fall der Absolutwert der Flächen für die gekühlten Zonen gegenüber dem tatsächlichen Wert verändert wird. Der hierdurch entstehende Fehler kann durch die Kurvenverläufe in den Grafiken zum Kühlenergiebedarf eingeschätzt werden (Abbildung 94, Abbildung 103, Abbildung 105, Abbildung 107). Abbildung 115 zeigt den mittleren Fehler in Bezug auf den Kühlbedarf, der sich aus einem Fehler bei der Flächenzuweisung ergibt. Es wird dabei weiterhin die Zone mit nur einer Fassadenfläche betrachtet. Ein Fehler von 30 % bei der Flächenzuweisung bedeutet, dass z. B. die tatsächliche Außenwandfläche an der Fassadenfläche 40 % beträgt, in der Berechnung jedoch mit 70 % oder mit 10 % gerechnet wird. Als Nutzungsprofil der Vergleichszone wird das „Gruppenbüro“ angesetzt.

Es sind zwei Gruppen von Linienscharen zu erkennen. Die untere Gruppe ist durch einen sehr effizienten außen liegenden Sonnenschutz bei variabler Fensterfläche, verschiedenen U-Werten und Absorptionsgraden opaker Bauteile sowie variierende Bauschweren gekennzeichnet. Hier liegt auch die Kurve für den Fehler bei der Außenwandflächenzuweisung opaker Bauteile. Wird bei der Zuweisung der Fenster- oder der Außenwandfläche ein Fehler von beispielsweise 50 % gemacht, liegt

der mittlere Fehler beim Kühlbedarf zwischen -8 und $12 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Die obere Gruppe ist gekennzeichnet durch variable Fensterflächen in Verbindung mit ineffizienten Sonnenschutzsystemen für die Orientierung Süd, Ost oder West und dem Einfluss einer baulichen Verschattung. Aus einem Fehler bei der Fensterflächenzuweisung von 50 % resultiert hier ein mittlerer Fehler im Kühlbedarf zwischen 36 und $47 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

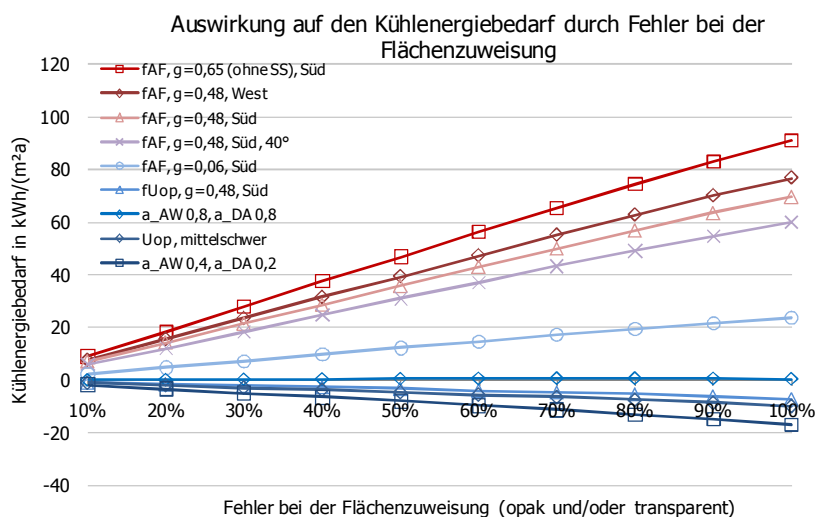


Abbildung 115: Fehler bei der Ermittlung des Kühlbedarfs durch Fehler bei der Zuordnung der Absolutwerte von Flächen opaker und transparenter Bauteile für unterschiedliche Systeme (Nutzung: Gruppenbüro)

Bei einem vollklimatisierten Gebäude spielen Fehler bei der Flächenzuweisung eine weniger bedeutende Rolle, da sich Kompensationseffekte bei Verschiebung von Fensterflächen zwischen gekühlten Zonen einstellen. Eine andere Situation ergibt sich für teilklimatisierte Gebäude, wenn sich keine oder nur abgeschwächte Kompensationseffekte einstellen. Für die obere Linienschar in Abbildung 115 ist aufgrund des Berechnungsfehlers eine Flächenzuweisung von Fensterflächen nach dem *einfachen Verfahren* für Neubauten nicht zu empfehlen, insbesondere dann, wenn man Aussagen zum Kühlenergiebedarf auf Zonenebene treffen will. In dem Fall muss die Flächenzuweisung für gekühlte Bereiche präziser erfolgen. Für die untere Kurvenschar könnte eine vereinfachte Zuweisung für transparente Bauteile toleriert werden. Bei einer Kumulierung des Fehlers von Außenwand- und Fensterfläche mit gutem Sonnenschutz kann ein Fehler im Kühlenergiebedarf von $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ entstehen.

3.6 Beleuchtungsstrombedarf

Die Innenraumbeleuchtung durch natürliches Tageslicht und die Sichtverbindung nach außen sind eine Grundvoraussetzung für den Aufenthalt von Menschen in Gebäuden. Der Trend transparente Fassaden in der Architektur einzusetzen und das Zusammentreffen physiologischer Vorteile einer guten Tageslichtversorgung mit der einhergehenden Energieeinsparung sorgen für ein gesteigertes Interesse an einer aktiven Tageslichtnutzung [68]. Setzt man den visuellen Komfort als Maßstab an, kann Kunstlicht das Tageslicht nicht ersetzen. Auch wenn eine blendfreie Belichtung von Arbeitsplätzen mit Kunstlicht einfacher zu realisieren ist als mit Tageslicht, so sind die dynamische Natur des Tageslichts sowie der Außenbezug wesentliche Faktoren für den visuellen Komfort. Dieser ist ein wichtiger Parameter für die Produktivität an Bildschirmarbeitsplätzen, er erfordert bereits beim Gebäudeentwurf eine Tageslichtnutzung vorzusehen und eine sorgfältige Wahl des Kunstlichtsystems [56] [70][71].

Die Parameter des Gebäudeentwurfs mit Baukörperform und Orientierung, Geschosshöhe und Geschosstiefe sowie Fensteranordnung und -größe sind von ausschlaggebender Bedeutung für die Tageslichtversorgung. Dachfenster sind wesentlich effizienter für die Beleuchtung als Wandfenster, da sie einen größeren Ausschnitt der Himmelshalbkugel sehen. Bei bedecktem Himmel wirkt sich zusätzlich günstig die Abnahme der Helligkeit vom Zenit zum Horizont für Dachfenster aus [72] [73]. Bei mehrgeschossigen Gebäuden ist der überwiegende Einsatz von Fassadenfenstern erforderlich. Je höher das Fenster in der Fassade sitzt, desto tiefer kann Tageslicht in den Raum eindringen. Sehr günstig sind sturzffreie Fassaden, transparent bis unter die Decke. Es zeigt sich auch, dass die Höhe der Fensterbrüstung von untergeordnetem Einfluss auf die Tiefenausleuchtung eines Raumes ist.

Auch bei der energetischen Bilanzierung nach DIN V 18599 wird der Tageslichtversorgung eines Raumes bzw. einer Zone Rechnung getragen. Der von *De Boer* in [74] entwickelte grundlegende Verfahrensansatz wurde in [45] aufgenommen und berücksichtigt den Einfluss von Tageslicht und der Steuerung der Beleuchtungsanlage durch eine effektive Betriebszeit t_{eff} . Nach [45] berechnet sich der Strombedarf für Beleuchtung in Abhängigkeit von der möglichen Nutzung von Tageslicht in einer Zone bzw. in einem Beleuchtungsbereich. Der Verfahrensansatz geht von der real in einem Zeitintervall umgesetzten elektrischen Energie durch das Kunstlichtsystem, bei zeitlich veränderlicher Leistungsaufnahme $p(t)$ in einer betrachteten Zone aus.

$$Q_{l,b,n} = \int_{t_1}^{t_2} p(t) \cdot A \cdot dt \quad (37)$$

mit

$Q_{l,b,n}$	kWh/a	Nutzenergiebedarf für Beleuchtung in einer Zone n
A	m ²	Fläche des Berechnungsbereichs
$p(t)$	W/m ²	flächenbezogene, zeitlich veränderliche Leistungsaufnahme des Beleuchtungssystems

Durch das Schaltverhalten eines Nutzers oder durch den Eingriff elektronischer Kontrolleinrichtungen variiert beispielsweise die Leistungsaufnahme des Beleuchtungssystems über den Tag. Die Kenntnis des genauen Verlaufs von $p(t)$ für eine zeitliche, monatliche oder jährliche Auflösung des Berechnungsverfahrens ist nicht erforderlich [49]. Demnach kann der elektrische Energiebedarf der Beleuchtung $Q_{l,b,n}$ vereinfacht auch als Produkt der spezifischen elektrischen Anschlussleistung p_0 , der Fläche des Berechnungsbereichs A und einer effektiven Betriebszeit der Beleuchtungsanlage t_{eff} berechnet werden [75].

$$Q_{l,b,n} = p_0 \cdot A \cdot t_{eff} \quad (38)$$

mit

p_0	W/m ²	flächenbezogene, elektrische Anschlussleistung des Berechnungsbereichs
t_{eff}	h	effektive Betriebszeit des Beleuchtungssystems

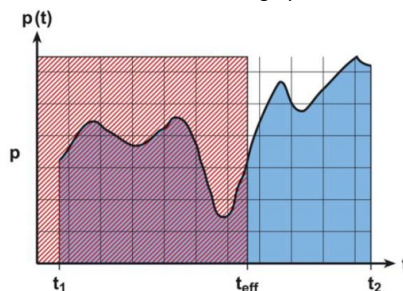


Abbildung 116: Übergang zu einer vereinfachten Beschreibung des Energiebedarfs durch Gewichtung der elektrischen Anschlussleistung p_0 mit einer effektiven Betriebszeit der Beleuchtungsanlage t_{eff} (Grafik aus [76])

Abbildung 116 zeigt beispielhaft den Schritt von der Integration der aktuellen zeitlich veränderlichen Beleuchtungsleistung $p(t)$ über eine Zeitperiode t_1 bis t_2 (blaue Fläche) nach Gleichung (37), zu der vereinfachten Gewichtung der flächenbezogenen Anschlussleistung p_0 mit der effektiven Betriebszeit t_{eff} gemäß Gleichung (38), entsprechend der rot schraffierten Fläche. Der für einen Berechnungsbereich erforderliche Energieaufwand zur Beleuchtung ist gemäß [45] nach Gleichung (39) definiert.

$$Q_{l,b,n,j} = p_j \cdot \left(A_{TL,j} \cdot (t_{eff,Tag,TL,j} + t_{eff,Nacht,j}) + A_{KTL,j} \cdot (t_{eff,Tag,KTL,j} + t_{eff,Nacht,j}) \right) \quad (39)$$

Für den tageslichtversorgten Bereich ist folgender Term relevant. Hierbei berechnet sich die mit Tageslicht versorgte Fläche $A_{TL,j}$ aus der Raum- und Fenstergeometrie, unter Berücksichtigung von Verschattung und Fenstereigenschaften.

$$A_{TL,j} \cdot (t_{eff,Tag,TL,j} + t_{eff,Nacht,j}) \quad (40)$$

Die effektive Betriebszeit während der Nachtstunden wird unter Berücksichtigung der Präsenz in der Zone und der Nachtstunden in der Betriebszeit ermittelt. Der Zeitanteil der Nachtstunden innerhalb der Betriebszeit ist nach [48] für unterschiedliche Nutzungen im jeweiligen Nutzungsprofil hinterlegt.

$$t_{eff,Nacht,j} = t_{Nacht,n} \cdot F_{Prä,j} \quad (41)$$

Die effektive Betriebszeit im tageslichtversorgten Bereich j zur Tageszeit ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$t_{eff,Tag,TL,j} = t_{Tag,n} \cdot F_{TL,j} \cdot F_{Prä,j} \quad (42)$$

Dabei entspricht $t_{Tag,n}$ der Tagesbetriebszeit der Zone und $F_{Prä,j}$ der Berücksichtigung der Präsenz im Berechnungsbereich. Der Teilbetriebsfaktor $F_{TL,j}$ ist eine wesentliche Größe zur Bewertung lichttechnischer Eigenschaften von Fassaden, in welchem sich indirekt unter anderem auch Aktivierungszeiten von Blendschutzsystemen widerspiegeln. $F_{TL,j}$ ist nach folgender Beziehung zu ermitteln:

$$F_{TL,j} = 1 - C_{TJ,Vers,j} \cdot C_{TL,kon,j} \quad (43)$$

Die zeitlich diskrete Berücksichtigung von aktivierten Sonnen- und Blendschutzsystemen wird, neben der Berechnung der solaren Gewinne, auch für die Tageslichtversorgung genutzt. In DIN V 18599 ist dies im Teil 4 zur Berechnung des Beleuchtungsstrombedarfs umgesetzt. Dabei wird das tageslichtabhängige Beleuchtungskontrollsystem über den Faktor $C_{TL,kon,j}$ berücksichtigt. Der Tageslichtversorgungsfaktor $C_{TL,Vers,j}$ bewertet die zeitliche Gewichtung des orientierungsabhängigen Auftretens der zwei unterschiedlichen Fassadenzustände, das heißt Sonnen- und/oder Blendschutz aktiv und nicht aktiv. Er wird nach folgender Gleichung ermittelt:

$$C_{TL,Vers,j} = t_{rel,TL,SNA,j} \cdot C_{TL,Vers,SNA,j} + t_{rel,TL,SA,j} \cdot C_{TL,Vers,SA,j} \quad (44)$$

Die Tageslichtversorgungsfaktoren sind von den lichttechnischen Eigenschaften, wie Transmissionsgrad der Fassade, Klassifizierung der Tageslichtversorgung, Beleuchtungsstärke und

Orientierung der Fassade abhängig und jeweils mit und ohne Berücksichtigung von Sonnen- und/oder Blendschutz zu ermitteln. Für Sonnen- und Blendschutzsysteme sind vier Systemlösungen vorgesehen:

mit		
$Q_{l,b,n,j}$	kWh/a	Nutzenergiebedarf für Beleuchtung in einer Zone n
p	W/m ²	spezifische elektrische Bewertungsleistung
A_{TL}	m ²	Teilfläche des Bereichs, der mit Tageslicht versorgt ist
A_{KL}	m ²	Teilfläche des Bereichs, der nicht mit Tageslicht versorgt ist
$t_{eff,Tag,TL}$	h/a	effektive Betriebszeit des Beleuchtungssystems im tageslichtversorgten Bereich
$t_{eff,Nacht}$	h/a	effektive Betriebszeit des Beleuchtungssystem zur Nachtzeit
$t_{eff,Tag,KTL}$	h/a	effektive Betriebszeit des Beleuchtungssystems im nicht tageslichtversorgten Bereich
$t_{Nacht,n}$	h/a	Betriebszeit einer Zone zur Nachtzeit
$F_{Prä}$	-	Teilbetriebsfaktor zur Berücksichtigung der Präsenz
$t_{tag,n}$	h/a	Betriebszeit einer Zone zur Tagzeit
F_{TL}	-	Teilbetriebsfaktor zur Berücksichtigung der Tageslichtversorgung
$C_{TL,Vers}$	-	Tageslichtversorgungsfaktor
$C_{TL,kon}$	-	Faktor zur Berücksichtigung des tageslichtabhängigen Beleuchtungskontrollsystems
$C_{TL,Vers,SNA}$	-	Tageslichtversorgungsfaktor zu Zeiten nicht aktivierten Sonnen- und/oder Blendschutzes
$C_{TL,Vers,SN}$	-	Tageslichtversorgungsfaktor zu Zeiten aktivierten Sonnen- und/oder Blendschutzes
$t_{rel,TL,SNA,j}$	-	Zeitanteil eines nicht aktivierten Blend- und/oder Sonnenschutzes
$t_{rel,TL,SA,j}$	-	Zeitanteil eines aktivierten Blend- und/oder Sonnenschutzes
j	-	Laufindex für einen Berechnungsbereich

Die vereinfachte Zuweisung der Fensterfläche zu den Zonen hat Auswirkungen auf den elektrischen Energiebedarf für die Beleuchtung. Die Fensterfläche beeinflusst den Umfang, in dem die künstliche Beleuchtung durch Tageslicht ersetzt werden kann. Um den Fehler bei der Ermittlung des elektrischen Energiebedarfs der Beleuchtung nach den Ansätzen der DIN V 18599 einschätzen zu können, wird die Fensterfläche für unterschiedliche Parameterausprägungen variiert. Untersucht wird der Einfluss von folgenden Größen:

-
- Beleuchtungsstärke
-
- Orientierung
-
- Raumtiefe
-
- Verbauung
-
- Art der Blendschutzsteuerung
-
- Art der Beleuchtungssteuerung
-
- Art der Präsenzerfassung
-
- Sturzhöhe der Fenster
-

Die elektrische Bewertungsleistung wird nach dem Tabellenverfahren ermittelt. Die sonstigen Parameterausprägungen der Basisvariante sind in Tabelle 23 dargestellt. Änderungen zur Basisvariante sind jeweils in den Abbildungen vermerkt.

3.6.1 Beleuchtungsstärke

Für die Berechnung der Bewertungsleistung wird das Tabellenverfahren verwendet. Nach DIN V 18599 stehen zwei Berechnungsverfahren zur Leistungsermittlung zur Auswahl. Darüber hinaus kann auch die Leistung einer Fachplanung angesetzt werden. Mit dem Tabellenverfahren kann die

Beleuchtungsleistung sehr schnell ermittelt werden. Dieses Verfahren ist jedoch auch das ungenaueste, da im Nachweisverfahren mit Näherungen und teilweise gemittelten Werten gearbeitet wird [76]. Dadurch können Anschlussleistungen gegenüber denen im Verfahren nach DIN V 18599-4 ermittelten Anschlussleistungen sowohl nach oben als auch nach unten abweichen. Um eine indirekte planerische Festlegung auf bestimmte Anschlussleistungen zu vermeiden, ist diese als „elektrische Bewertungsleistung“ im Sinne des Nachweisverfahrens aufzufassen und ist nicht als Auslegungsverfahren zur Ermittlung der Elektroinstallation geeignet [40] [77].

Da der Nachweis über die Gesamtenergieeffizienz von Nichtwohngebäuden beim Einreichen des Bauantrags erstellt wird, ist die Nutzung des schnelleren und ungünstigeren Tabellenverfahrens sinnvoll. In Abbildung 117 wird der Strombedarf für Beleuchtung bei unterschiedlichen erforderlichen Mindestbeleuchtungsstärken analysiert. Je größer der Fensterflächenanteil ist, desto höher ist die Tageslichtversorgung zu bewerten und dementsprechend verringern sich die erforderlichen Betriebsstunden der Beleuchtung. Als Nutzungsprofil wird das „Gruppenbüro“ gewählt.

Als Raumindizes werden die in [48] vorgegebenen nutzungsprofilabhängigen Werte verwendet. Je höher die Anforderung an die Beleuchtungsstärke in einem Raum ist, desto größer ist auch die erforderliche elektrische Bewertungsleistung bzw. der zu erwartende Strombedarf für die Beleuchtung. Sind keine Fensterflächen vorhanden, so muss während der gesamten effektiven Betriebszeit des Gebäudes die Beleuchtung eingeschaltet bleiben. Mit steigendem Fensterflächenanteil nimmt die natürliche Beleuchtung eines Raumes zu und die Kunstlichtschaltzeiten reduzieren sich. Ab Fensterflächenanteilen von etwa 50 bis 60 % verringern sich die Auswirkungen der Tageslichtversorgung für diese Beispielzone und es tritt ein Sättigungsverhalten auf. Mehr Tageslicht durch größere Fenster bewirkt dann nicht im gleichen Maße eine Reduktion des Strombedarfs. Die Kurven verlaufen flacher.

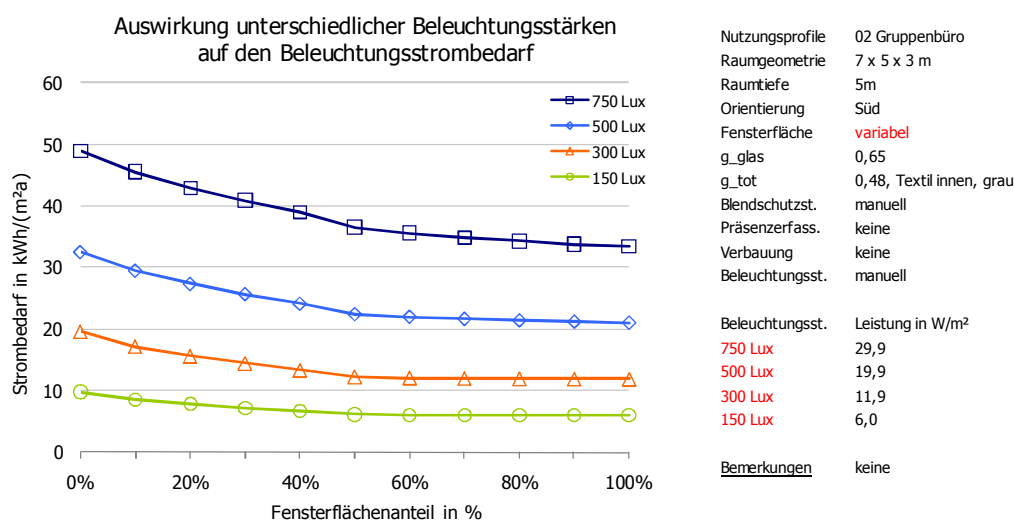


Abbildung 117: Änderung des Beleuchtungsstrombedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Fensterflächen für unterschiedliche Beleuchtungsstärken

Weist man transparente Flächen unterschiedlichen Zonen zu, so werden innerhalb eines Nutzungsprofils bei einem Fehler von $\pm 100\%$ maximal $4,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bilanziert. Dabei muss beachtet werden, dass die Fehlerbestimmung von einem 50 %igen Fensterflächenanteil ausgeht. Die Höhe der Differenz wird also maßgeblich durch den steilen Anstieg bei geringen

Fensterflächenanteilen bestimmt. Praktisch werden die Hauptzonen eines Gebäudes in der Regel Fensterflächen haben, weshalb für die Ergebnisinterpretation der $\pm 100\%$ -Fehler als Grenzfall eine untergeordnete Rolle spielen wird.

Bei Verschiebung der Fensterflächen zwischen Zonen mit sehr geringer und sehr hoher Beleuchtungsstärke (100 % Fensterfläche bei 750 Lux und 0 % Fensterfläche bei 150 Lux) erhöht sich der Fehler auf bis zu 6 kWh/(m²a). Vertauscht man die Zuweisung der Flächen (0 % Fensterfläche bei 750 Lux und 100 % Fensterfläche bei 150 Lux), so berechnet sich im Gegenzug der kleinste Fehler. Es zeigt sich, dass die Fehler bei Verschiebung innerhalb eines Nutzungsprofils und zwischen unterschiedlichen Nutzungsprofilen gleichermaßen Fehler verursachen. Dies ist auf die unterschiedliche Ausprägung der Kurvenverläufe und der darauffolgenden Mittelwertbildung bei 50 % zurückzuführen.

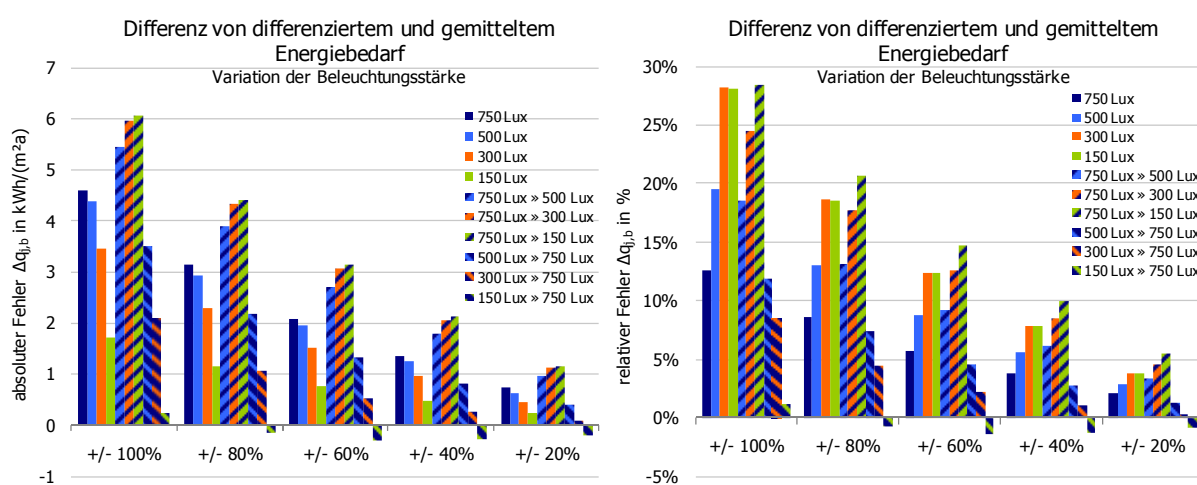


Abbildung 118: Fehler $\Delta q_{j,b}$ beim Beleuchtungsstrombedarf durch Zusammenfassen von Zonen bei Variation der Fensterflächen für unterschiedliche Beleuchtungsstärken

3.6.2 Orientierung

Eine vereinfachte Zuweisung transparenter Flächen kann dazu führen, dass Zonen Fensterflächen aus unterschiedlichen Orientierungen erhalten, obwohl in dieser Orientierung keine Fenster vorkommen. Der Einfluss der Orientierung wird nicht nur bei der thermischen Bilanzierung berücksichtigt, sondern auch bei der Berechnung des Beleuchtungsstrombedarfs wird diesem Parameter Rechnung getragen. Dabei wirkt sich die Orientierung auf den Aktivierungszeitraum von Blend- und Sonnenschutzsystemen und auf den Tageslichtversorgungsfaktor¹⁵ aus. Darüber hinaus wird die Orientierung indirekt bei der Verschattungsberechnung (Verbauung etc.) berücksichtigt. Die Ausprägung des Einflusses unterschiedlicher Orientierungen wird in Abbildung 119 dargestellt. Der Strombedarf für Beleuchtung wird für die Beispielzone mit variablem Fensterflächenanteil für die drei Hauptorientierungen berechnet. In der Rechenmethodik der DIN V 18599 werden die Himmelsrichtungen Ost und West zusammengefasst [45].

Der Einfluss der Orientierung vergrößert sich mit steigendem Fensterflächenanteil. Erfolgt eine Unterschätzung des Fensterflächenanteils, kann ein steiler Anstieg der Kurvenverläufe verzeichnet

¹⁵ Der Tageslichtversorgungsfaktor bei nicht aktiviertem Sonnenschutz hängt von der Tageslichtversorgung einer Zone (entspricht dem Tageslichtquotienten), dem Wertungswert der Beleuchtung, dem effektiven Lichtdurchlassgrad der Fassade bei nicht aktiviertem Sonnenschutz und der Fassadenorientierung ab.

werden. Bei einer Überschätzung der Fensterfläche über 50 % verlaufen die Kurven der Strombedarfe flacher.

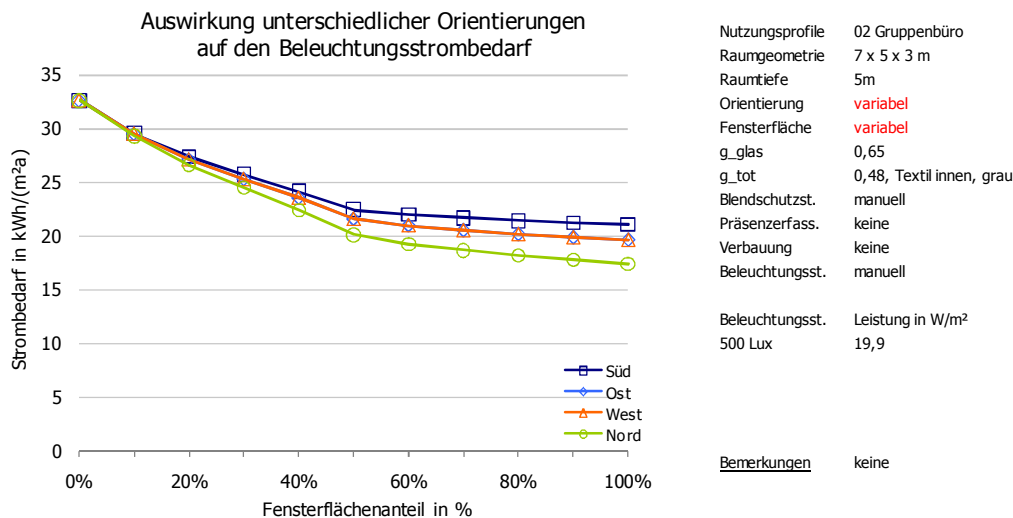


Abbildung 119: Änderung des Beleuchtungsstrombedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Fensterfläche für unterschiedliche Orientierungen

Die Maximalwerte für den Beleuchtungsstrombedarf berechnen sich bei einem Fensterflächenanteil von 0 % für alle Varianten gleich. Je nach Orientierung werden mit steigendem Fensterflächenanteil geringere Strombedarfe für Beleuchtung berechnet. Bei der Nordorientierung ist der Einfluss des Tageslichtes am deutlichsten. Der Grund dafür ist der in der Referenzzone angesetzte Blendschutz. Bei Nordorientierung ist der relative Zeitanteil für die Aktivierung des Sonnenschutzes null. Dies wirkt sich deutlich auf die mögliche Tageslichtversorgung einer Zone aus. Wird kein Sonnen- oder Blendschutz angesetzt, liegen die Werte für alle Orientierungen auf annähernd gleichem Niveau.

Wird bei der Verteilung der Fensterflächen ein Fehler von $\pm 100\%$ gemacht, so berechnet sich ein absoluter Fehler beim Beleuchtungsstrombedarf von etwa $4,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für alle Orientierungen. Der Fehler steigt bei Nordorientierung leicht auf $5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ an, da der Einfluss der Fensterfläche auf den berechneten Strombedarf etwas höher ist. Werden nun Zuweisungen zu Zonen mit unterschiedlichen Orientierungen vorgenommen, so berechnen sich, ebenfalls bei einer fehlerhaften Zuweisung von $\pm 100\%$, Fehler zwischen $3,8$ und $5,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Die Abweichungen ergeben sich im Wesentlichen durch die beiden unterschiedlichen Steigungsbereiche der Kurven aus Abbildung 119. Mit geringerer Fehlerrate bei der Flächenzuteilung verringern sich auch die Fehler zum 50 %-Referenzwert. Die relativen Fehler bei unscharfer Flächenzuteilung liegen innerhalb einer Orientierung zwischen 19 und 25 % auf vergleichbarem Niveau. Bei Verteilung der Fensterflächen auf Zonen mit unterschiedlichen Orientierungen variiert der Fehler zwischen 17 und 26 %.

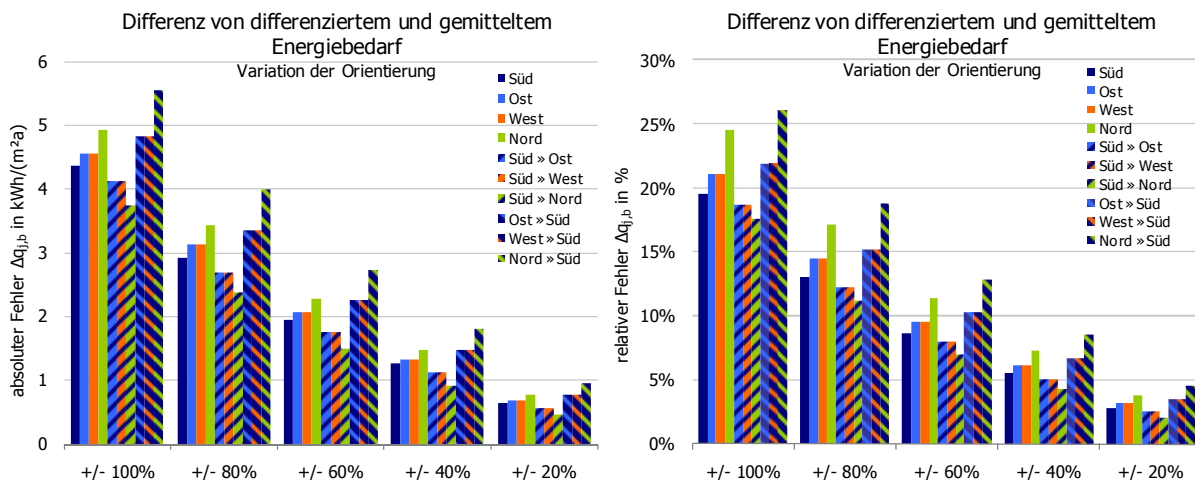


Abbildung 120: Fehler Δq_{j,b} beim Beleuchtungsstrombedarf durch Zusammenfassen von Zonen bei Variation der Fensterflächen für unterschiedliche Orientierungen

Mit sinkendem Zuweisungsfehler bei der Flächenverteilung verringern sich auch die Fehler beim Beleuchtungsstrombedarf innerhalb einer Orientierung und zwischen verschiedenen Orientierungen. Die Fehlerbetrachtung basiert auf einem Referenzfensterflächenanteil von 50 %. Bei diesem Fensterflächenanteil liegt der „Umschalt­punkt“ zwischen steilem und flachem Kurvenverlauf. Deshalb werden die Fehlerausprägungen selbst bei kleinen Differenzen deutlich erkennbar sein.

3.6.3 Raumtiefe

Tageslicht kann nur bis zu einer gewissen Tiefe in den Raum eindringen. Diese maximale Tiefe hängt im Wesentlichen von der Größe der Fenster und deren Anordnung in der Fassade ab [56] [78]. Nach der Rechenmethode der DIN V 18599 berechnet sich die maximale Tiefe zur Nutzung von Tageslicht nach folgender Gleichung [45]. Begrenzt wird die maximale Tiefe des Tageslichtbereichs durch die real vorhandene Tiefe einer Zone.

$$a_{TL,max} = 2,5 \cdot (h_{St} - h_{Ne}) \tag{45}$$

mit

a _{TL,max}	m	maximale Tiefe des Tageslichtbereichs
h _{St}	m	Sturzhöhe über dem Fußboden
h _{Ne}	m	Höhe der Nutzebene über dem Fußboden

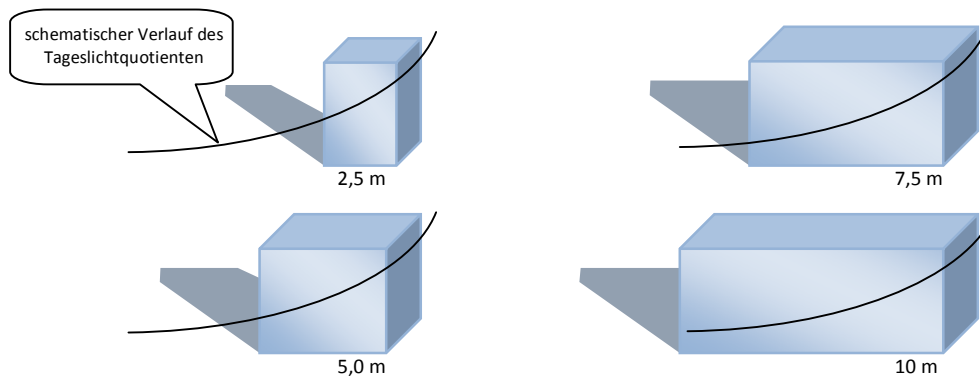


Abbildung 121: Darstellung der Varianten verschiedener Raumtiefen

Eine vereinfachte Verteilung kann dazu führen, dass Fensterflächen auch unscharf auf Zonen mit unterschiedlichen Raumtiefen verteilt werden. Dies kann in der jeweiligen Zonenbilanz dazu führen,

dass die Tageslichtversorgung entweder über- oder unterschätzt wird. Um den Einfluss unterschiedlicher Raumtiefen auf den Beleuchtungsstrombedarf zu untersuchen, wird in folgender Parameteruntersuchung die Referenzzone mit verschiedenen Raumtiefen berechnet. Die Modifizierung der Raumgeometrie beeinflusst neben der Tageslichtversorgung ebenfalls auch die Transmissions- und Lüftungsverluste der Zone, so dass auch die Zonengrundfläche, die Wand-, Boden- und Dachflächen variiert werden. Je tiefer eine Zone ist, desto geringer wird der Einfluss des Fensterflächenanteils auf den Beleuchtungsstrombedarf.

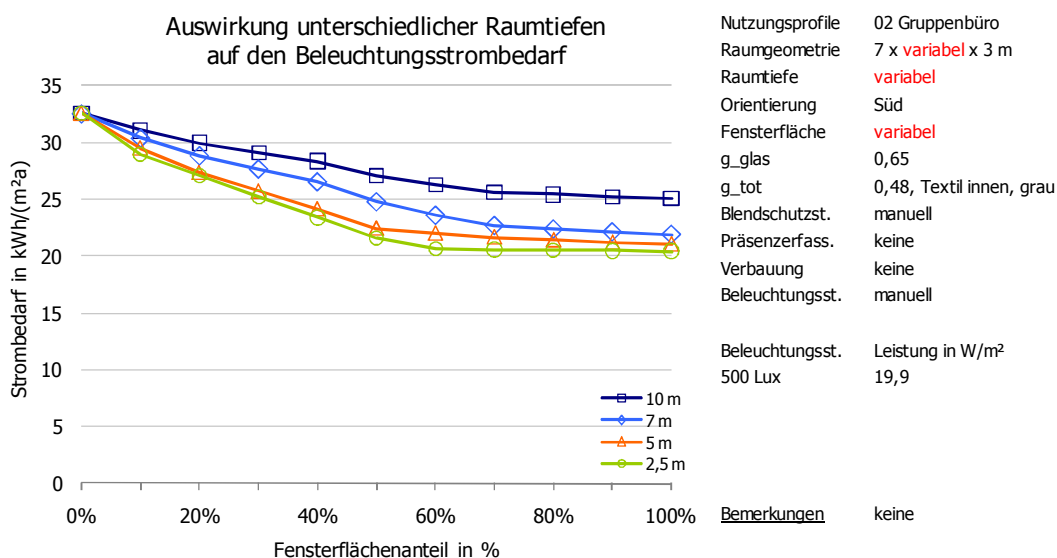


Abbildung 122: Änderung des Beleuchtungsstrombedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Fensterfläche für unterschiedliche Werte der Raumtiefe

Werden $\pm 100\%$ der Fensterflächen unscharf zugewiesen, so können Fehler von 1,7 bis 5 kWh/(m²a) berechnet werden. Die größten Fehler ergeben sich bei geringen Raumtiefen, da die Abhängigkeit der Fensterflächen hier größer ist. Werden nun Fehler bei der Zuweisung zu Zonen mit unterschiedlichen Raumtiefen gemacht, so berechnen sich nicht wesentlich höhere Fehler als innerhalb eines Tiefenprofils.

Bei der Betrachtung des relativen Fehlers ergibt sich ein ähnliches Bild. Die Fehler beim Beleuchtungsstrombedarf liegen bei $\pm 100\%$ fehlerhafter Zuteilung der Fensterflächen innerhalb eines Raumtiefenprofils zwischen 7 und 23%. Je geringer die Raumtiefe einer Zone ist, desto größer werden der relative und der absolute Fehler. Bei der Kombination unterschiedlicher Raumtiefenprofile verhalten sich die relativen Fehlerausprägungen zueinander wie innerhalb einer Raumtiefenklasse.

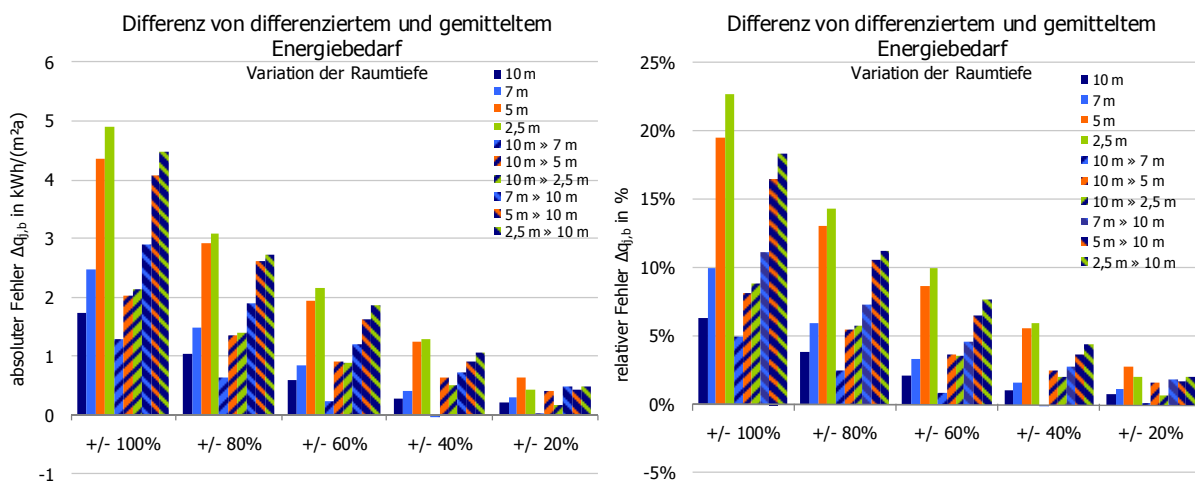


Abbildung 123: Absoluter Fehler $\Delta q_{i,b}$ beim Beleuchtungsstrombedarf durch Zusammenfassen von Zonen bei Variation der Fensterflächen für unterschiedliche Werte der Raumtiefe

3.6.4 Verbauungssituation

Natürliche Lichtverhältnisse in Räumen werden durch bauliche Einflussgrößen beeinflusst. Dazu zählen Fassadenverbauung, Eigenverschattung und Umgebungsbebauung. Diese Parameter beeinflussen den Lichtstrom, der einer Fassade zur Verfügung steht. Lösungen, die für unverbaute Situationen gelten, können unter Umständen für verbaute Situationen nicht angewendet werden. Dies betrifft insbesondere die erforderlichen transparenten Flächen zur Tageslichtversorgung oder aber die Anordnung von Fensterflächen oder die Herstellung des visuellen Kontaktes nach außen. Im Gegensatz zu einer vorgegebenen städtebaulichen Verbauung haben Architekten einen aktiven Einfluss auf die Grundrissgestaltung und die Eigenverschattung eines Gebäudes. Beispiele hierfür sind Atrien und Lichthöfe, die von modernen Architekturen verstärkt eingesetzt werden [79].

Eine starke Verbauung mindert die solaren Erträge über transparente Flächen und die Nutzung von Tageslicht. In den Energiebilanzen nach DIN V 18599 wird der Verbauung in der thermischen als auch bei der Berechnung des Beleuchtungsstrombedarfs Rechnung getragen. Eine vereinfachte Zuteilung der transparenten Flächen und der dabei gemittelten Stoffwerte kann unter Umständen dazu führen, dass Zonen mit einer eigentlich geringen Verbauung einen Mischwert auch von Zonen mit einer hohen Verbauung erhalten. Um die Ausprägungen der Verbauung auf den Beleuchtungsstrombedarf zu untersuchen, werden für die Referenzzone unterschiedliche Situationen einer linearen Verbauung (meist nicht beeinflussbare Verbauung) erzeugt und der Strombedarf für Beleuchtung für variable Fensterflächenanteile berechnet. Abbildung 124 zeigt die untersuchten Varianten.

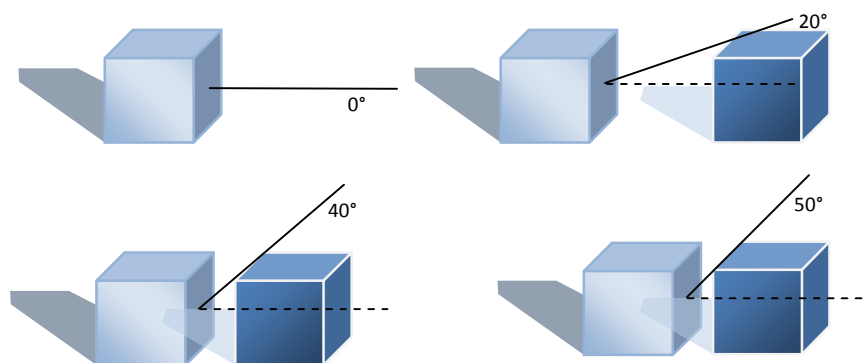


Abbildung 124: Darstellung der untersuchten Varianten, verschiedene Verbauungssituationen (lineare Verbauung)

Der Einfluss einer linearen Verbauung ist je nach Fensterflächenanteil unterschiedlich hoch. Bei geringen Fensterflächenanteilen lässt sich eine deutliche Abnahme des Beleuchtungsstrombedarfs bei unverbaute Situation feststellen. Je stärker die Verbauungssituation ist, desto geringer ist der Einfluss der Fensterfläche auf die effektive Betriebszeit der Kunstlichtanlage; die Tageslichtnutzung nimmt ab.

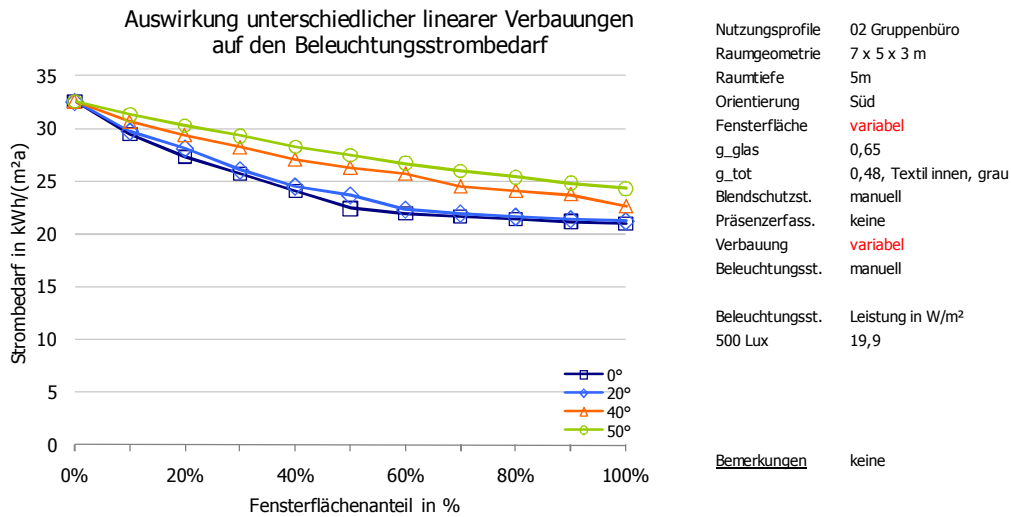


Abbildung 125: Änderung des Beleuchtungsstrombedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Fensterfläche für unterschiedliche Werte des linearen Verbauungswinkels

Betrachtet man eine unverbaute Zone, so können bei $\pm 100\%$ unscharfer Zuweisung der transparenten Flächen innerhalb einer Verbauungsklasse Fehler von $4,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ berechnet werden. Bei hohen Verbauungsgraden sinkt der Fehler beim Beleuchtungsstrombedarf auf etwa $1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Verteilt man die Fensterflächen zu unterschiedlichen Nutzungsprofilen, so ergeben sich bei $\pm 100\%$ differenzierter Zuweisung transparenter Flächen Fehler zwischen den Grenzen 2 und $4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Die relativen Fehler werden bei $\pm 100\%$ differenzierter Zuweisung transparenter Flächen innerhalb einer Verbauungsklasse mit 3 bis 20 % berechnet. Durch die Mittelung der Flächen wird der Beleuchtungsstrombedarf zu niedrig berechnet. Bei einer Verschiebung zwischen Zonen mit unterschiedlichen Verbauungssituationen liegt der relative Fehler zwischen 7 und 17 %.

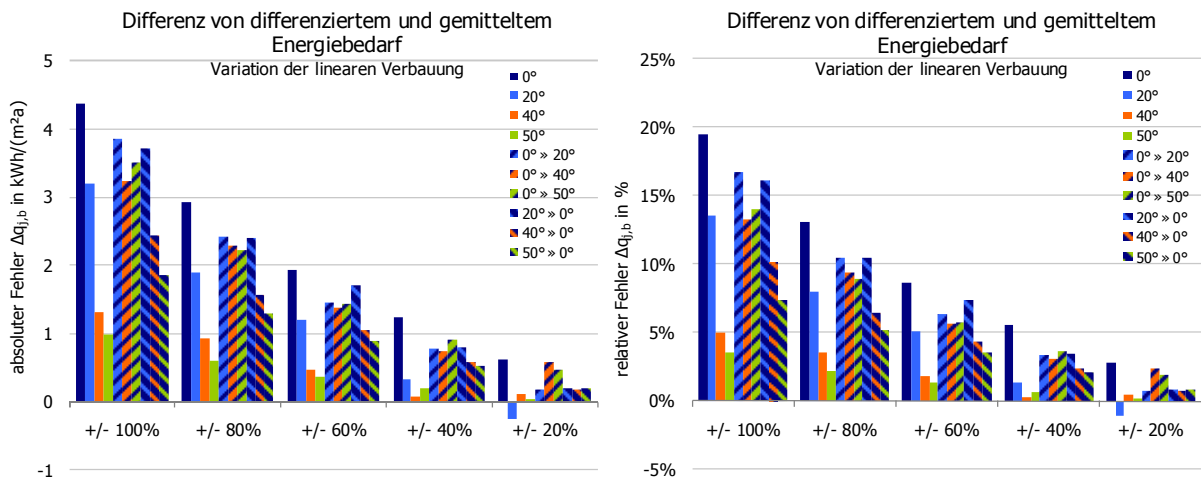


Abbildung 126: Fehler $\Delta q_{j,b}$ beim Beleuchtungsstrombedarf durch Zusammenfassen von Zonen bei Variation der Fensterflächen für unterschiedliche Werte des linearen Verbauungswinkels

3.6.5 Blendschutzsysteme

Blend- und Sonnenschutzsysteme spielen in der Energiebilanz eine sehr wesentliche Rolle (vgl. Abschnitt 3.4.7 und 3.5.5). Auch bei der Berechnung der Tageslichtversorgung wird dem Blend- und Sonnenschutzsystem Rechnung getragen. Je nach System führt ein aktiviertes Sonnenschutzsystem zu einer Minderung der Tageslichtversorgung. Für die Südorientierung ist dies ausgeprägt, da hier der Sonnen- und Blendschutz häufiger aktiviert ist als in anderen Orientierungen. Die präsentierten Ergebnisse beziehen sich auf eine Südorientierung, um die maximalen Ausprägungen darzustellen. Nach [45] können vereinfacht vier unterschiedliche Zustände berücksichtigt werden.

Tabelle 33: Systemlösungen für die vereinfachte Berechnung des Einflusses unterschiedlicher Blend- und/oder Sonnenschutzsteuerungen nach [45]

nur Blendschutz, manuelle Steuerung	Blendschutzsysteme, welche die Anforderungen z. B. nach Bildschirmarbeitsplatzverordnung erfüllen und manuell betriebene Lamellenbehänge
automatische Steuerung	tageslichtabhängige rückziehbare Sonnen- und/oder Blendschutzsysteme, Lamellenbehänge, die nach dem Schließen die Lamellen leicht öffnen
lichtlenkende Systeme	Verwendung von Lichtlenkgläsern, Lamellenbehänge im Cut-Off-Betrieb, tageslichtlenkende Lamellenbehänge, tageslichtlenkende, innen liegende Lamellenbehänge
kein Sonnen- und/oder Blendschutz	anzuwenden nur in Bereichen für die keine Anforderungen anderer Verordnungen gelten (z. B. Bildschirmarbeitsplatzverordnung).

Eine vereinfachte Verteilung der transparenten Flächen mit entsprechend gemittelten Stoffdaten führt unter Umständen auch zu einer Mittelung unterschiedlicher Blend- und Sonnenschutzsysteme, da diese in den vorhandenen Zonen unterschiedlich sein können. Abbildung 127 zeigt die Verläufe des Beleuchtungsstrombedarfs für unterschiedliche Blendschutzsteuerungssysteme in Abhängigkeit des Fensterflächenanteils einer südorientierten Fassade. Der geringste Beleuchtungsstrombedarf wird ohne Berücksichtigung einer Blendschutzsteuerung berechnet, da hier keine Reduzierung der Tageslichtversorgung durch ein aktiviertes System vorliegt. Ein manuell betriebenes System führt zu einer schlechteren Tageslichtversorgung und daraus resultierend zu einem höheren Strombedarf für die Beleuchtung.

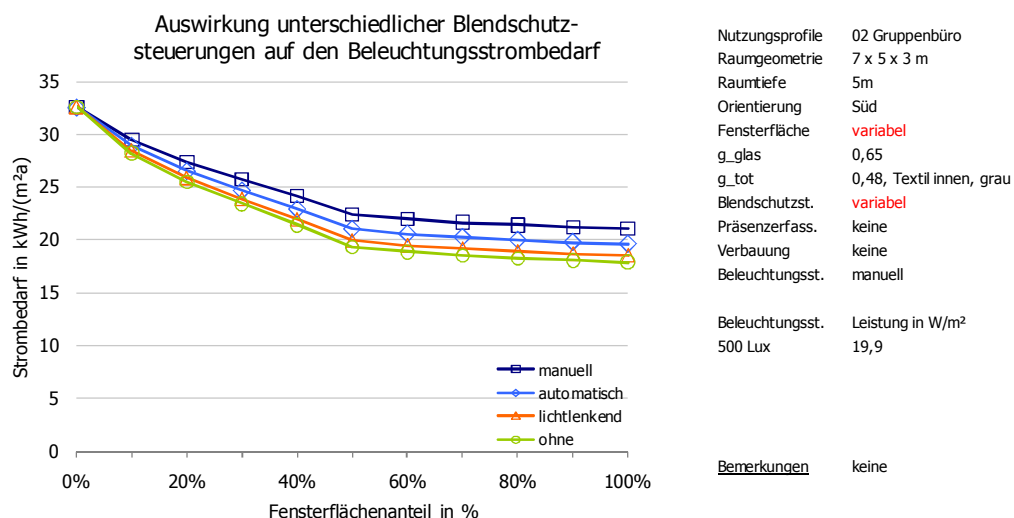


Abbildung 127: Änderung des Beleuchtungsstrombedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Fensterfläche für unterschiedliche Arten der Blendschutzsteuerung

Der Fehler bei einfacher Mittelung transparenter Flächen sowie unterschiedlichen Blend- und Sonnenschutzsteuerungen ist in Abbildung 128 aufgetragen. Je weniger die Tageslichtnutzung mindernd beeinflusst wird, desto größer sind die Fehler bei fehlerhafter Zuweisung von transparenten Flächen. Die absoluten Fehler liegen zwischen 4,5 und 6 kWh/(m²a), bei jeweils ±100 % differenzierter Zuweisung. Verteilt man die Fensterflächen auf Zonen mit unterschiedlichen Systemen zur Blendschutzsteuerung, werden gleiche Fehlerausprägungen zwischen 4,5 und 6 kWh/(m²a) berechnet.

Die relativen Fehler bei ±100 % differenzierter Zuweisung liegen innerhalb eines Blendschutzsystems zwischen maximal 20 und 30 %. Bei dieser Betrachtung geht man davon aus, dass eine Zone mit 50 % Zonenflächenanteil an der Gesamtzonenfläche und ohne reale Fenster 50 % Fensterfläche zugewiesen bekommt.

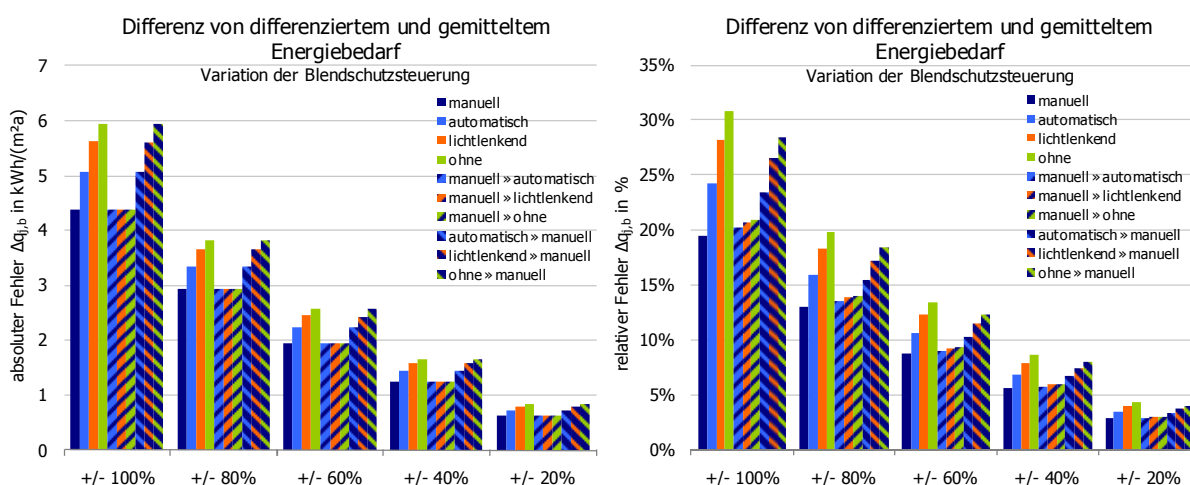


Abbildung 128: Absoluter Fehler $\Delta q_{j,b}$ beim Beleuchtungsstrombedarf durch Zusammenfassen von Zonen bei Variation der Fensterflächen für unterschiedliche Blendschutzsysteme

3.6.6 Systeme zur Beleuchtungssteuerung

In der Berechnungsmethodik nach DIN V 18599 können unterschiedliche Systeme zur Beleuchtungssteuerung in den Bilanzen berücksichtigt werden. Die Effektivität dieser Systeme, damit ist das energetische Einsparpotential durch Tageslicht gemeint, hängt unter anderem auch von der möglichen Tageslichtversorgung selbst ab. Grundsätzlich ist zwischen manueller und automatischer Steuerung zu unterscheiden. Die manuelle Steuerung entspricht im Wesentlichen einem statistischen Nutzerverhalten [49]. Bei manueller Steuerung spielen spezifische Nutzereinflüsse, wie Alter des Nutzers, Blendungs- und Kontrastempfinden, Gestaltung des Arbeitsplatzes, Gewohnheiten etc., eine wesentliche Rolle. Die Einsparpotentiale manuell betriebener Systeme durch eine gute Tageslichtversorgung werden in der Regel deutlich konservativer eingeschätzt.

Bei einer automatischen Steuerung können die theoretischen Einsparpotentiale (Systempotentiale) über elektronische Schaltungen berücksichtigt werden. Das Systempotential beschreibt die Ergänzung der natürlichen Beleuchtungsverhältnisse durch das künstliche Beleuchtungssystem zum geforderten Wert der Beleuchtungsstärke. Anders ausgedrückt kann eine tageslichtabhängige Konstantlichtregelung dafür sorgen, dass während der Betriebszeit nur so viel Kunstlicht beigemischt wird, wie zur Erreichung der Beleuchtungsstärke in einem Raum erforderlich ist. Je besser die Tageslichtversorgung in einem Bereich ist, desto weniger Kunstlicht muss der Zone zugeführt werden. Bei der automatischen Steuerung ist nach der Rechenvorschrift der DIN V 18599

weiter in Subsysteme zu unterscheiden, welche nach zwei Kriterien „gedimmt - nicht ausschaltend“ und „gedimmt - ausschaltend“ zusammengefasst werden können [45]. Für die Parameteranalyse werden drei unterschiedliche Steuerungen variiert. Die Systeme unterscheiden sich hinsichtlich ihres Ein- und Ausschaltverhaltens und ihres Stand-by-Verhaltens.

Tabelle 34: Varianten für die Berechnung des Einflusses unterschiedlicher Beleuchtungssteuerungen

manuell	manuelle Kontrolle durch den Nutzer im Raum
Dimmen	automatische Kontrolle, welche die künstliche Beleuchtung in Abhängigkeit des zur Verfügung stehenden Tageslichts anpasst; Systeme: stufenweise ein-/ausschaltend, tageslichtabhängig stufenweise ein-/ausschaltend, tageslichtabhängig ausschaltend, tageslichtabhängig dimmen aber nicht abschaltend
Dimmen, ausschaltend	automatische Kontrolle, welche die künstliche Beleuchtung in Abhängigkeit des zur Verfügung stehenden Tageslichts anpasst; Systeme: tageslichtabhängig dimmen sowie abschaltend und wiedereinschaltend

Abbildung 129 zeigt den Einfluss von Systemen unterschiedlicher Beleuchtungssteuerungen auf den Beleuchtungsstrombedarf in der Beispielzone. Der Anteil des nutzbaren Tageslichtpotentials steigt mit der Effektivität des Steuerungssystems. Während sich bei manueller Steuerung die höchsten Energiebedarfe ergeben, verringert sich der Energiebedarf für Beleuchtung mit der Effizienz der Beleuchtungssteuerung. Bis zu Fensterflächenanteilen von etwa 40 % sind die beiden Systeme „Dimmen“ und „Dimmen, ausschaltend“ auf gleichem Niveau. Danach können mit dem System „Dimmen, ausschaltend“ etwas höhere Einsparungen berechnet werden. Die Kurven verlaufen ebenfalls anfangs steiler und ab 50 bis 60 % flacher, da bereits eine sehr gute Tageslichtversorgung in der Zone vorliegt.

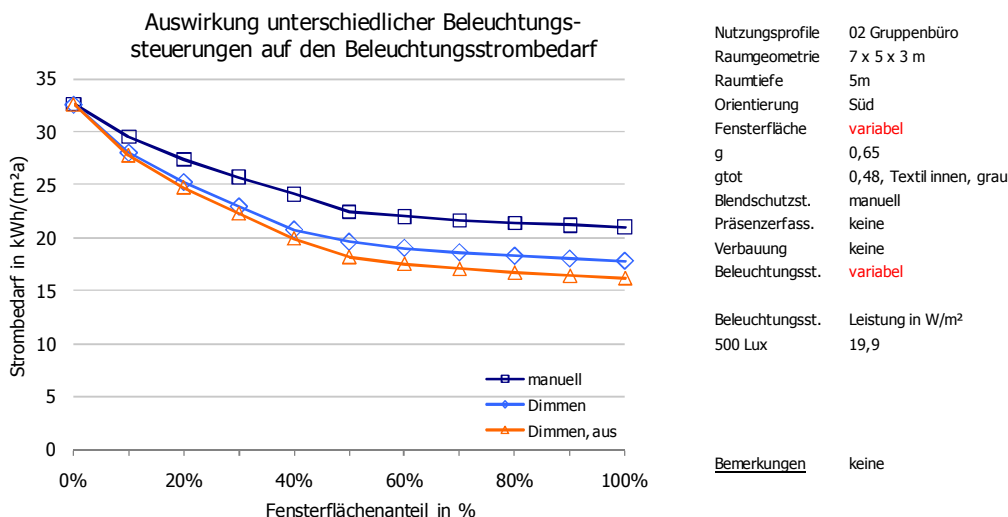


Abbildung 129: Änderung des Beleuchtungsstrombedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Fensterfläche für unterschiedliche Arten der Beleuchtungssteuerung

Werden nun ±100 % der transparenten Flächen unscharf zugewiesen, so ergeben sich Fehler im mittleren Energiebedarf für Beleuchtung von zwischen 4,7 und 6,8 kWh/(m²a). Die Fehler sind größer mit energetisch besserer automatischer Steuerung. Weist man beispielsweise transparente Flächen ebenfalls fehlerhaft zu ±100 %-Zonen mit unterschiedlichen Systemen zu, so ergeben sich Fehler in gleicher Größenordnung. Die relative Änderung durch gemittelte Zuweisung der Fensterflächen liegt

bei gleicher Fehlzuweisung von $\pm 100\%$ zwischen 20 und 35 %. Diese Werte sind gleich für Zuweisungen innerhalb gleicher und verschiedener Nutzungsprofile.

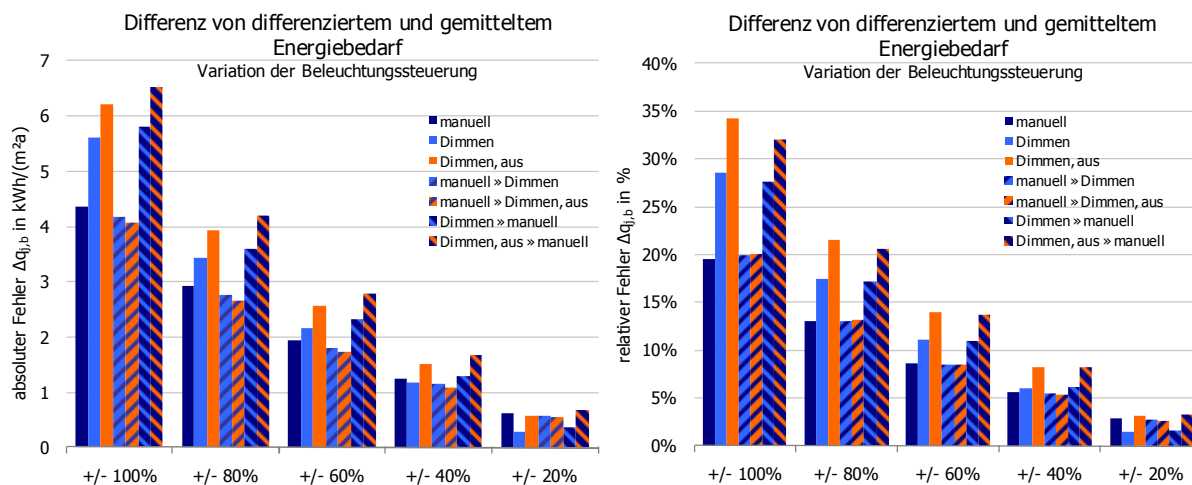


Abbildung 130: Fehler $\Delta q_{j,b}$ beim Beleuchtungsstrombedarf durch Zusammenfassen von Zonen bei Variation der Fensterflächen für unterschiedliche Arten der Beleuchtungssteuerung

3.6.7 Systeme zur Präsenzerfassung

Werden Systeme zur Präsenzerfassung in Gebäuden oder Zonen eingesetzt, so können diese, insbesondere in Bereichen mit hohen Abwesenheitszeiten, Einsparungen durch eine automatische Abschaltung der Beleuchtung erzielen. Die Berechnungsmethode der DIN V 18599 erlaubt die Berücksichtigung der Präsenzerfassung für jedes Nutzungsprofil [45][48]. Die Belegung einer Zone wird über den Teilbetriebsfaktor $F_{prä,j}$ berücksichtigt. Der Faktor berechnet sich nach Gleichung (46) und fließt multiplikativ in die Gleichungen (41) und (42) für den Tag- und Nachtbereich ein. Darüber hinaus wirkt dieser Faktor auch bei der Berechnung des Kunstlichtstrombedarfs für den nicht tageslichtversorgten Kunstlichtbereich eines Berechnungsbereiches.

$$F_{prä,j} = 1 - C_{A,j} \cdot C_{prä,kon,j} \quad (46)$$

mit

$C_{A,j}$	-	relative Abwesenheit in dem Berechnungsbereich j nach [48]
$C_{prä,j}$	-	Faktor zur Beschreibung der Effizienz der Präsenzerfassung, die Abwesenheit im Berechnungsbereich j zu erkennen

Der Einfluss der Präsenzerfassung wirkt auf den tageslichtversorgten und nicht tageslichtversorgten Bereich einer Zone. Durch die Reduzierung der effektiven Betriebsstunden erfolgt eine Verschiebung des Beleuchtungsstrombedarfs über alle Fensterflächenanteile gleichermaßen. Der Teilbetriebsfaktor für Beleuchtung ist für die Tageslicht- und Kunstlichtberechnungen gleich hoch. Der Teilbetriebsfaktor berechnet sich für das Nutzungsprofil „Gruppenbüro“ ohne Präsenzerfassung auf 0,85 und mit Präsenzerfassung auf 0,715. Der Faktor ist für alle Fensterflächenanteile gleich. Da es sich um einen multiplikativen Einfluss handelt, ergeben sich bei gleichbleibenden Teilbetriebsfaktoren unterschiedliche absolute Änderungen. Für den berechneten Fall liegen die Differenzen zwischen den beiden Varianten über alle Fensterflächen zwischen 5,2 kWh/(m²a) bei 0 % Fensterfläche und 3,3 kWh/(m²a) bei 100 % Fensterfläche.

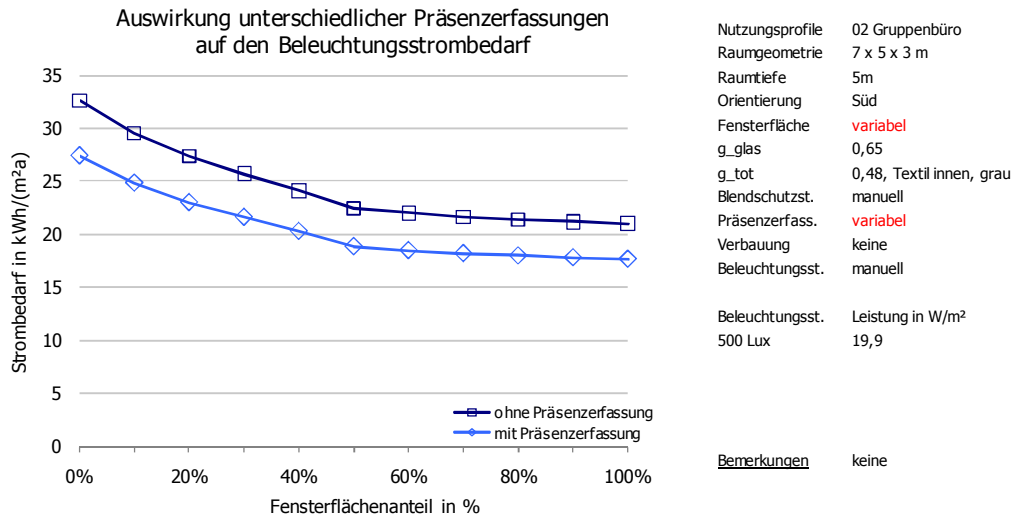


Abbildung 131: Änderung des Beleuchtungsstrombedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Fensterfläche für unterschiedliche Arten der Präsenzerfassung

Weichen die transparenten Flächen zu $\pm 100\%$ vom Mittelwert ab, so berechnet sich ein absoluter Fehler von $4,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ohne Berücksichtigung einer Präsenzerfassung. Mit Berücksichtigung reduziert sich der Fehler auf $3,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Die Zuweisung von Fensterflächen zu Zonen mit unterschiedlichen Systemen der Präsenzerfassung führt zu gleichen Fehlerausprägungen zwischen $3,6$ und $4,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Betrachtet man die relativen Abweichungen bei $\pm 100\%$ fehlerhafter Zuweisung, werden maximale Fehler zwischen 17 und 22% gemacht. Die beiden Systeme der Präsenzerfassung bewirken einen Unterschied im berechneten Energiebedarf. Werden Fensterflächen unscharf auf Zonen mit verschiedenen Systemen verteilt, so werden keine nennenswert größeren oder kleineren Fehler berechnet als durch die Fensterfehlzuweisung selbst.

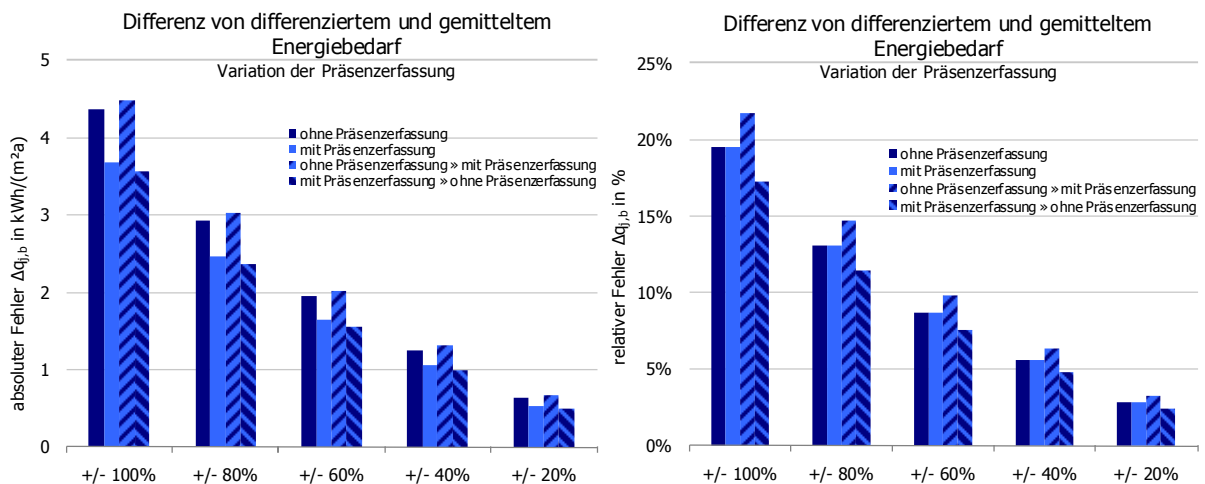


Abbildung 132: Fehler $\Delta q_{j,b}$ beim Beleuchtungsstrombedarf durch Zusammenfassen von Zonen bei Variation der Fensterflächen für unterschiedliche Systeme der Präsenzerfassung

3.6.8 Höhe des Fenstersturzes

Die Höhe des Fenstersturzes beeinflusst die Tiefe der Tageslichtnutzung und somit indirekt auch die effektive Einschaltzeit der Kunstlichtanlage. Auf der Basis des Rechenverfahrens nach [45] werden unterschiedliche Varianten untersucht. Die maximale Tiefe des Tageslichtbereichs berechnet sich

nach Gleichung (45) in Abhängigkeit der Höhe der Nutzebene über dem Fußboden h_{Ne} und der Höhe des Fenstersturzes h_{St} (gemessen vom Fußboden). Das Fenster wird unterschiedlich in der Fassade positioniert, um den Einfluss auf den Energiebedarf für Beleuchtung zu untersuchen. Variiert wird die Höhe des Fenstersturzes, in den Analysen angegeben als Abstand Unterkante Decke zu Oberkante Fenster; Abbildung 133.

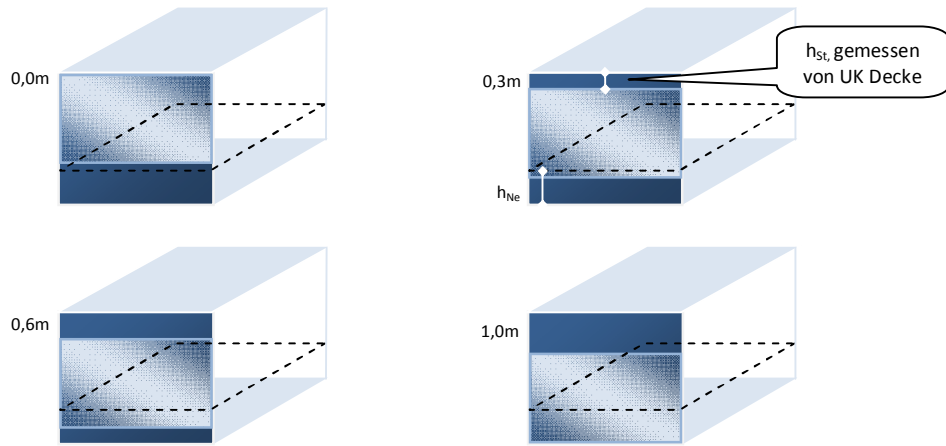


Abbildung 133: Varianten verschiedener Fensterpositionierungen in der Fassade, Fassadenansicht

Berechnet wird jeweils der spezifische Energiebedarf für Beleuchtung in Abhängigkeit des Fensterflächenanteils der Fassade. Für die Beispielzone schlagen sich die Anordnung des Fenstersturzes und die damit erreichte Tiefe der Tageslichtversorgung deutlich im Beleuchtungsstrombedarf nieder. Die Auswirkungen unterschiedlicher Sturzhöhen sind insbesondere bei Fensterflächenanteilen ab 10 % relevant. Mit zunehmendem Fensterflächenanteil und zunehmender Ausleuchtung des Raumes spielt die Höhe des Fenstersturzes eine geringere Rolle, da für diese Raumtiefe bereits eine Sättigung erreicht ist. Lediglich bei einer Sturzhöhe von 1,0 m ab Unterkante Decke kann auch oberhalb eines Fensterflächenanteils von 80 % ein höherer Beleuchtungsstrombedarf berechnet werden. Diese Ergebnisse müssen immer für die Randbedingungen des Standardraumes betrachtet werden.

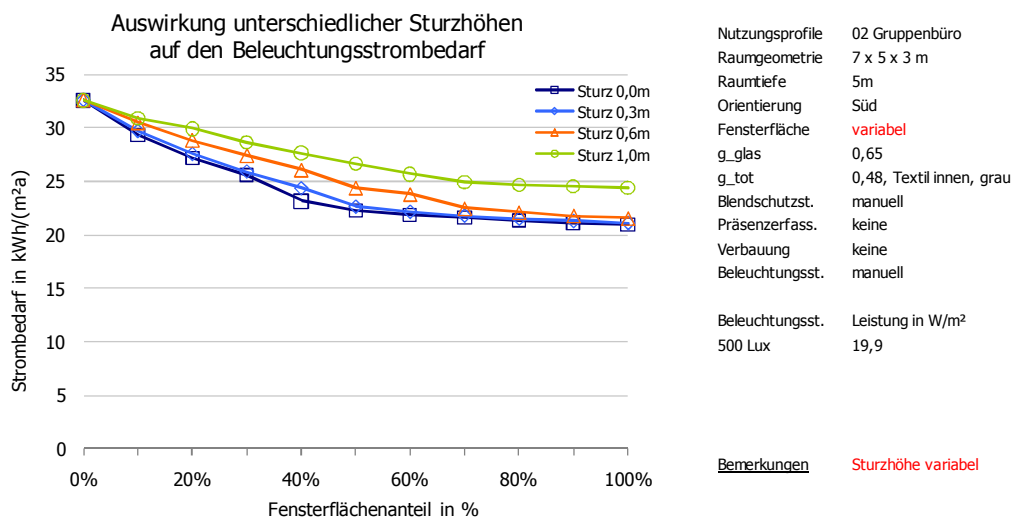


Abbildung 134: Änderung des Beleuchtungsstrombedarfs bei Unter- oder Überschätzung der Fensterfläche für unterschiedliche Werte des Fenstersturzes

Bei Flächenverschiebungen von $\pm 100\%$ ergeben sich Fehler zwischen 1,8 und 4,5 kWh/(m²a) im elektrischen Energiekennwert. Die größten Fehler sind bei geringen Fensterstürzen auszumachen.

Werden hingegen $\pm 100\%$ der Fensterflächen zu Zonen mit unterschiedlichen Sturzhöhen zugewiesen, ergeben sich Fehler in gleicher Größenordnung zwischen 2,3 und 4,4 kWh/(m²a).

Relativ betrachtet liegen die Fehler bei $\pm 100\%$ unscharfer Zuteilung zwischen 7 und 20 %, je nach eingesetzter Sturzhöhe. Kombiniert man die Zuweisung in Zonen mit verschiedenen Sturzhöhen, so variieren die Fehler zwischen 10 und 19 %. Die geringsten Fehler werden bei den Kombinationen aus maximalen und minimalen Sturzhöhen berechnet.

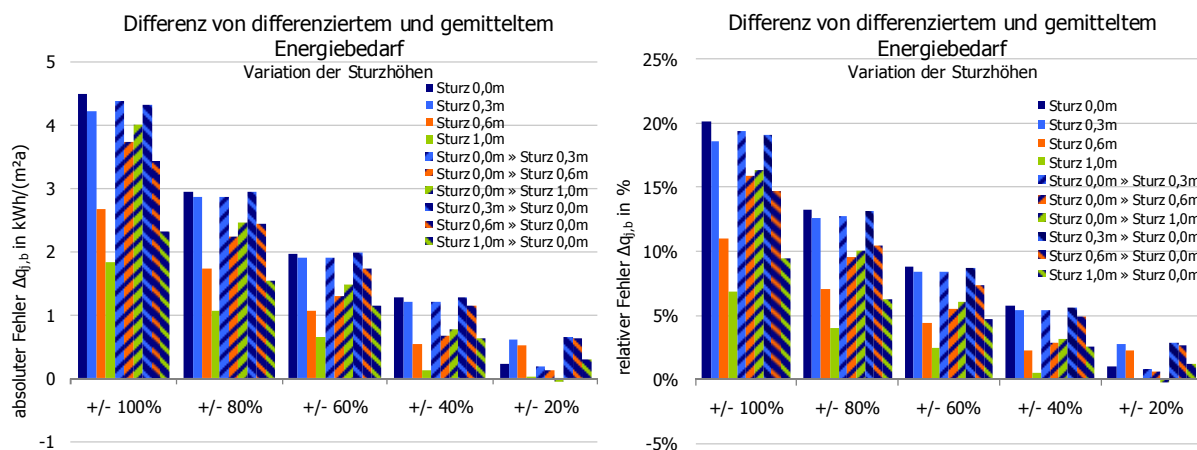


Abbildung 135: Fehler $\Delta q_{i,b}$ beim Beleuchtungsstrombedarf durch Zusammenfassen von Zonen bei Variation der Fensterflächen für unterschiedliche Werte des Fenstersturzes

3.6.9 Beeinflussung der thermischen Energiebilanz durch Beleuchtung

Beim integralen Verfahrensansatz nach DIN V 18599 werden die Energiebereiche Beleuchtung, Kühlung und Heizen miteinander gekoppelt [35] [37][45][49]. Während Heizwärme und Kühlung sich nicht gegenseitig beeinflussen, wirkt der bilanzierte Strombedarf direkt in den thermischen Energiebilanzen als Wärmequelle. Als interne Wärmequellen werden nach DIN V 18599 „*sich in der Gebäudezone aufhaltende Personen oder Tiere oder in Gebäudezonen betriebene (elektrische) Geräte, insbesondere künstliche Beleuchtung*“ verstanden[35]. Des Weiteren werden auch Wärmesenken oder Wärmequellen berücksichtigt, die sich infolge unregelmäßiger Energieeinträge von in Zonen verlaufenden Verteilungen ergeben. Da diese von der Dimensionierung der Anlage abhängen, erfolgt die erste thermische Energiebilanz ohne Berücksichtigung dieser internen Wärmequellen. Die Beleuchtung wird vorab bewertet und in der „ersten“ Energiebilanz vollständig als interne Wärmequelle angesetzt. Mit dieser Nutzenergiebilanz wird die Anlagentechnik ausgelegt [80][81][82]. Die Verluste der Anlagentechnik (Wärme/Kälte) werden berechnet, welche dann in einem zweiten Schritt in die Bilanzgleichungen der betroffenen Gebäudezone einfließen. Es erfolgt eine Iteration zwischen Auslegung der Anlagentechnik und Größe der internen Gewinne in einer Zone. Mit steigender Anzahl der Iterationsschritte steigt die Genauigkeit der Berechnung. Abbruchkriterium ist entweder ein Unterschied im Energiebedarf kleiner als 0,1 % oder 10 Iterationsschritte [8]. Für die Variantenanalyse ist der Einfluss der Beleuchtung auf die thermischen Energiebilanzen also essentiell.

Aus diesem Grund erfolgt für jede durchgeführte Parameteranalyse auch eine Überprüfung des Einflusses auf die thermischen Energiebilanzen. Im Folgenden werden die Resultate kurz erläutert. Die Detailergebnisse sind in Abschnitt A.5 im Anhang dargestellt.

Eine Beeinflussung des bilanzierten Strombedarfs für Beleuchtung hat auch Einfluss auf die Nutzenergiebilanzen für Heizen und Kühlen, wobei beide in unterschiedlicher Weise beeinflusst werden. Ein zu hoch bilanzierter Strombedarf vergrößert die internen Lasten, welche den Heizwärmebedarf reduzieren und gleichzeitig den Kältebedarf erhöhen. Bei geringen Fensterflächenanteilen sind die Auswirkungen in der Heizwärmebilanz größer. Durch die dann höheren Ausnutzungsgrade kann ein größerer Teil der internen Gewinne ausgenutzt und zur Deckung des Heizwärmebedarfs beitragen. Mit steigenden solaren Gewinnen verringert sich auch der Ausnutzungsgrad und somit der Einfluss der Abwärme der Beleuchtung auf den Heizwärmebedarf. Gegenteilig ist dies bei der Kältebilanz der Fall. Der Nutzkältebedarf bilanziert sich aus den nicht nutzbaren Gewinnen einer Zone. Mit steigenden solaren und internen Wärmequellen steigt auch der Anteil der nicht nutzbaren Gewinne, was sich in einem höheren Nutzkältebedarf niederschlägt. Für die Parameteruntersuchungen, in denen die thermischen Bilanzen nicht direkt durch Variation der Nebenparameter (Beleuchtungsstärke, Blendschutzsteuerung, Beleuchtungssteuerung, Präsenzerfassung und Sturzhöhe) geändert werden, kann der Einfluss der Beleuchtung auf die thermischen Bilanzen bestimmt werden. Bei Verringerung des Beleuchtungsstrombedarfs um $1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ kann, gemittelt über alle Parameteruntersuchungen, eine durchschnittliche Erhöhung des Heizwärmebedarfs um $0,41 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und eine durchschnittliche Verringerung des Kühlenergiebedarfs um $0,55 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ berechnet werden.

3.6.10 Fazit und Bewertung

Der Fehler durch die vereinfachte Zuweisung der Fensterfläche ist beim elektrischen Energiebedarf für die Beleuchtung gering. In der Regel wird der Energiebedarf durch die Verwendung einer gemittelten Fensterfläche überschätzt. Die Abweichung liegt bei einer Zusammenfassung von Zonen mit Fensterflächenanteilen zwischen 30 und 70 % (Fehlzuweisung $\pm 40\%$) bei unter $2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Nur die Zusammenfassung von Zonen mit sehr geringen (bis 20 %) und sehr hohen Fensteranteilen (über 80 %) kann zu nennenswerten Fehlern bis $4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ führen.

Generell wirkt sich eine vereinfachte Zuweisung von Bauteilflächen auf alle Bauteilinformationen aus, die auf Gebäudeebene festgelegt werden. Für die Beleuchtung ist nur die Verteilung der transparenten Flächen relevant. Nach dem vereinfachten Verfahren für die Flächenzuweisung liegen die Daten transparenter Flächen je Orientierung als Summenwert vor, und die Zuweisung zu den Zonen erfolgt über Mittelwerte. Mit dem *erweiterten Verfahren* (Nutzung von Wichtungsverfahren in der Zone) werden Flächen in Abhängigkeit der Größe der Zone verteilt und nach der Höhe ihres Vorkommens in der Zone gewichtet. Für Fensterflächen ist eine orientierungsabhängige Wichtung bzw. Abfrage in einer Zone sinnvoll, um eine bessere Zuweisung zu erreichen.

Einen deutlichen Einfluss auf die Tageslichtnutzung hat die lineare Horizontverbauung. Wird die Verschattung auf Gebäudeebene definiert, so erzeugt man gebäudebezogene Verschattungsdaten. Die Abfrage der Verschattung muss dann mindestens orientierungsabhängig für jede Haupt- und Zwischenorientierung erfolgen. Für jeden dieser Fassadenabschnitte ist ein entsprechender Verschattungswert zu ermitteln. Bei einer Horizontverschattung ist die Extrapolation der Werte einer Etage, insbesondere bei vielgeschossigen Gebäuden, nicht immer möglich. Um den Einfluss einer Horizontverschattung auf Gebäudeebene abzubilden, kann daher überlegt werden, den Fassadenmittelpunkt als Bewertungsgröße heranzuziehen und den dort ermittelten Wert auf alle transparenten Flächen je Orientierung zu übertragen. Eventuell kann die Höhe/Lage der Zone

angegeben und dann aus der Definition von Abstand und Höhe der Umgebungsbebauung der entsprechende Verbauungsindex zonenweise korrigiert werden.

Beim Einfluss der Raumtiefe spielt neben dem Tageslichtangebot auch der Raumindex eine Rolle. Wird nicht mit den aus den Nutzungsprofilen vorgegebenen Raumindizes gerechnet, so können die Ergebnisse stärker variieren. Ein Raum mit einer Tiefe von 2,5 m hat den höchsten Tageslichtquotienten. Aufgrund der Geometrie ist der Raumindex jedoch ungünstig und es resultiert daraus eine höhere erforderliche Beleuchtungsleistung. Dies kann zu wesentlich höheren Energiekennwerten führen, was den hier untersuchten Fehler mindern würde. Übersteigt die Raumtiefe den Wert von 5,0 m, entsteht ein zweiter Beleuchtungsbereich ohne Tageslicht. Dieser stellt einen konstanten Beitrag zum Energiebedarf dar, der nicht durch die Fensterfläche beeinflusst wird.

Sturzhöhe (3,0 m, 2,7 m, 2,4 m, 2,0 m), Steuerung Blendschutz (manuell, automatisch, ohne Blendschutz) und Präsenzerfassung führen zu einer etwas niedrigeren Beeinflussung des Energiekennwertes bei Fehlern in der Zuweisung der Fensterfläche. Die Nutzungsart wirkt sich im Wesentlichen auf die Betriebszeiten zu Tages- und Nachtzeit aus. Je größer der Anteil der Nachtstunden, desto geringer der Einfluss des Tageslichts und desto geringer der Fehler durch die vereinfachte Fensterflächenzuweisung. Die gewählte Nutzung „Gruppen- und Großraumbüro“ hat einen geringen Anteil an Nachtstunden von 8 %, so dass hier der Fehler deutlich zutage tritt. Lediglich bei den Nutzungen Klassenzimmer, Hörsaal, Werkstatt, Messe- und Ausstellungsräume liegt die Anzahl der Nutzungsstunden zur Nachtzeit noch niedriger.

Der Einfluss der vereinfachten Fensterzuweisung ist gering, sodass aus Sicht des elektrischen Beleuchtungsstrombedarfs die vereinfachte Fensterzuweisung möglich ist. Ob kein Tageslicht bzw. Vollglasfassaden und mehrseitige Belichtung vorhanden sind, sollte ggf. auf Zonenebene abgefragt werden.

3.7 Auswirkungen vereinfachter Flächenzuweisung auf die Energiebilanz

Die berechneten Fehler der Parameterstudie werden in Abhängigkeit des Fehlers bei der Bauteilzuweisung opaker und transparenter Flächen zusammengefasst gezeigt. Dargestellt werden jeweils der absolute und relative Fehler im Energiebedarf, der bei unscharfer Zuweisung in einer Zone entsteht (vgl. Abschnitt 3.3.2). Die Bandbreite der Fehler gilt für die Randbedingungen des Referenzzonentyps nach Tabelle 23. Weitere Auswertungen über die Häufigkeit auftretender Fehler in der Parameterstudie finden sich im Anhang in Abschnitt A.6.

3.7.1 Heizwärmebedarf

Für den Heizwärmebedarf lassen sich bei absoluter Betrachtung zwei Kennwertfelder aufzeigen (im ersten Diagramm rot und hellrot markierte Bereiche). Sehr große Abweichungen lassen sich bei fehlerhafter Zuweisung von Bauteilflächen zwischen Zonen mit sehr niedrigen internen Lasten (Verkehrsfläche) und sehr hohen internen Lasten (Server) feststellen (vgl. auch Abbildung 72). Für den Fall einer Fehlzuweisung von $\pm 100\%$ der opaken Fläche kann ein Fehler im Energiebedarf von $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ermittelt werden. Für die nach DIN V 18599 vorgegebenen Nutzungsprofile und die dort hinterlegten internen Lasten für Arbeitshilfen und Personen tritt dieses Extrem jedoch nur bei dem Zonentyp „21 Serverraum“ auf [48]. Vergleicht man übliche Flächenanteile von Serverräumen

an der Gesamtgebäudefläche, ist eine Fehlzuweisung von $\pm 100\%$ jedoch unwahrscheinlich. Dies würde bedeuten, dass die Zone „Serverraum“ alle Flächen eines Bauteiltyps erhalten würde, eine Zone mit sehr geringen Lasten würde hingegen keine Fläche erhalten – oder umgekehrt. Da dies selbst beim *einfachen Verfahren* der Hüllflächenverteilung (ohne Wichtung) nicht der Fall sein wird, werden zwei Kennwertfelder für den absoluten Fehler im Heizwärmebedarf angegeben. Lässt man den Serverraum außen Acht, so werden in der Zone Fehler bis zu $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ gemacht. Diese Fehler müssen immer vor dem Hintergrund interpretiert werden, dass nur jeweils ein Parameter variiert wird. In einem Gebäude können mehrere Parameter parallel beeinflusst werden, wodurch sich ein kumulativer Effekt einstellen kann, was zu höheren und geringeren Gesamtfehlern führen kann. Dies wird weiter in Abschnitt 4 untersucht. Bei der relativen Betrachtung sind diese Kennwert.

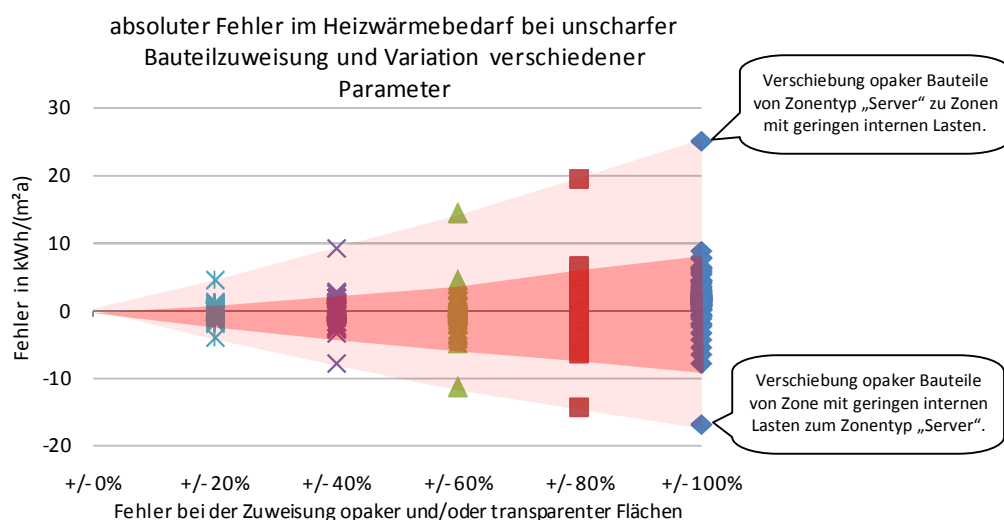


Abbildung 136: Übersicht der Fehlerberechnung aus der Parameterstudie für die Heizwärmebilanz; aufgetragen sind für alle untersuchten Varianten die absoluten Fehler im Energiebedarf, sowie der Fehler bei der Bauteilzuweisung

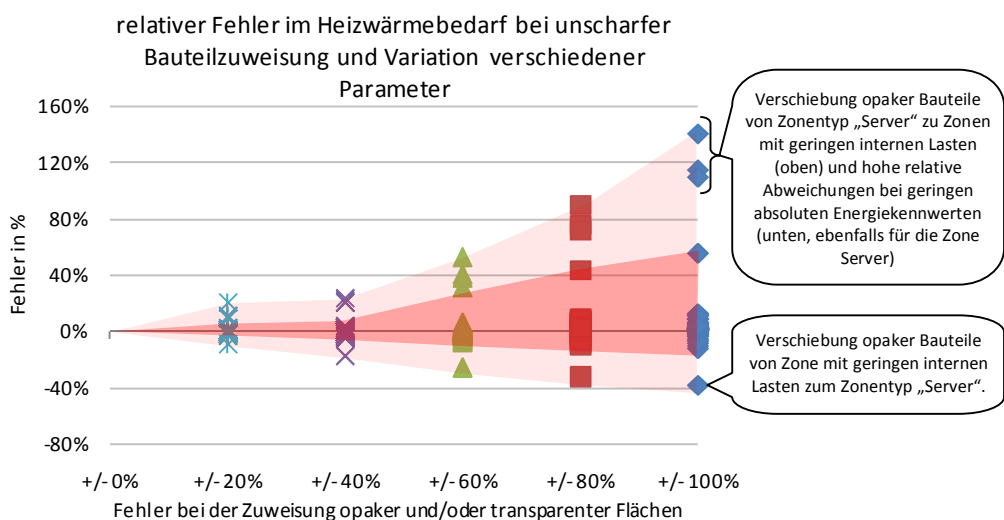


Abbildung 137: Übersicht der Fehlerberechnung aus der Parameterstudie für die Heizwärmebilanz; aufgetragen sind für alle untersuchten Varianten die relativen Fehler im Energiebedarf sowie der Fehler bei der Bauteilzuweisung.

Die relative Abweichung kann bis auf 140% ansteigen, wobei dieser Wert ebenfalls in Verbindung mit dem Zonentyp „Serverraum“ auftritt. Da diese Zonen einen sehr geringen bis keinen Heizwärmebedarf haben, kann schon ein kleiner absoluter Fehler im Energiebedarf eine große

relative Änderung verursachen. Deshalb sind absolute und relative Fehler immer in Kombination miteinander zu betrachten.

3.7.2 Kühlenergiebedarf

Für den Kältebedarf ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei der Heizwärmebilanz. Der Anstieg des Fehlerkennfeldes im Energiebedarf verläuft analog zum Fehler bei einer fehlerhaften Bauteilzuweisung. Eine fehlerhafte Zuweisung opaker und/oder transparenter Flächen von $\pm 100\%$ führt zu einem Fehler im Kältebedarf von bis zu $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Die relativen Fehler können bis zu 80% betragen. Diese Fehler treten dann auf, wenn Fensterflächen von einer Zone mit einem sehr effizienten Sonnenschutz ($g_{\text{tot}}=0,04$) auf Zonen ohne Sonnenschutz ($g_{\perp}=0,65$) verteilt werden. Die Summe der bilanzierten solaren Gewinne wird direkt verändert, wenn der Sonnenschutz fest auf Zonenebene definiert wird. Die praktischen Auswirkungen bei der Verteilung der Fensterflächen nach dem vereinfachten Verfahren sind für den Heizfall geringer einzuschätzen, da in der Regel keine vollständige Fehlzuweisung ($\pm 100\%$) vorkommt und eine Kompensation durch andere Zonen stattfindet. Für den Fall „Kühlung“ ist zumindest eine Kompensation nicht immer gegeben, da meist nicht alle Zonen eines Gebäudes klimatisiert sind. Wenn eine gekühlte Zone zu wenig oder zu viel Fensterfläche erhält, werden die fehlerhaften solaren Gewinne in dieser Zone unter Umständen nicht durch eine ungekühlte Zone kompensiert. Um den typischen Einfluss einer Kompensation zu bewerten, wird der Einfluss in Abschnitt 4 für 11 Gebäude untersucht. Da die möglichen Kompensationseffekte unter anderem auch von der Nutzungsstruktur des Gebäudes abhängen, müssen diese Auswirkungen auf Gebäudeebene bestimmt werden.

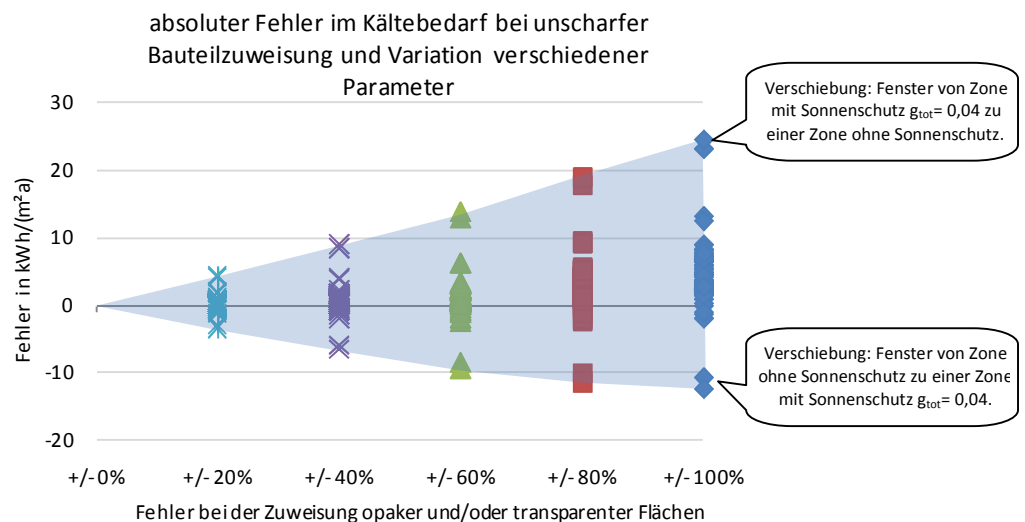


Abbildung 138: Übersicht der Fehlerberechnung aus der Parameterstudie für die Kühlenergiebilanz; aufgetragen sind für alle untersuchten Varianten die absoluten Fehler im Energiebedarf sowie der Fehler bei der Bauteilzuweisung.

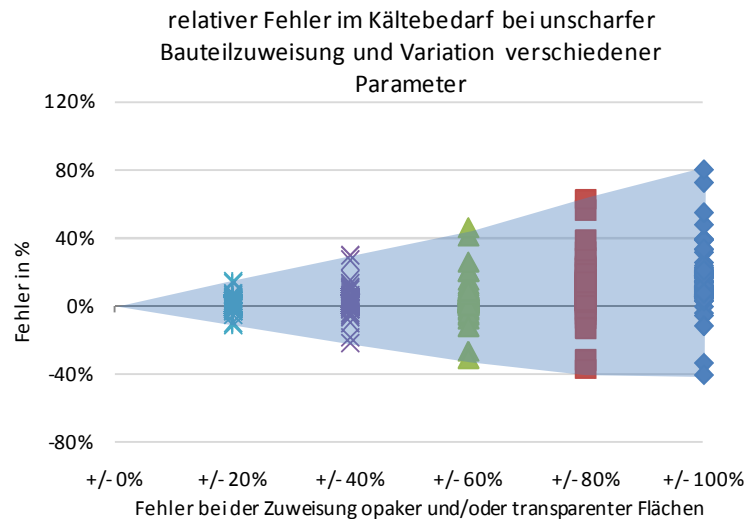


Abbildung 139: Übersicht der Fehlerberechnung aus der Parameterstudie für die Kühlenergiebilanz; aufgetragen sind für alle untersuchten Varianten die relativen Fehler im Energiebedarf sowie der Fehler bei der Bauteilzuweisung.

Da in die Berechnung keine Zonen mit sehr niedrigem Kühlenergiebedarf einfließen, sind – anders als beim Heizwärmebedarf - die Verläufe der relativen und absoluten Fehler ähnlich ausgeprägt. Betrachtet man nun die Verteilung der Fehler für den jeweiligen Fall der unscharfen Bauteilzuweisung, so fällt die starke Konzentration der Fehler im Energiebedarf auf, wenn hohe Fehler bei der Verteilung der Bauteile vorliegen. Es zeigt sich, dass durch Variation der Parameter insgesamt größere Fehler im Kühlenergiebedarf die Folge sind. Dies begründet sich zum Teil auch darauf, dass in der Parameteruntersuchung in der Regel auch immer die Fensterfläche mit variiert wird.

3.7.3 Beleuchtungsstrombedarf

Bei der Beleuchtung werden Fehler bis zu $8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ berechnet. Es zeigt sich deutlich, dass die Fehler fast ausschließlich als positive Werte auftreten. Das bedeutet, dass bei einer gemittelten Zuweisung der Strombedarf für Beleuchtung unterschätzt wird. Verursacht wird dies durch den in der Parameterstudie verwendeten Referenzpunkt für den Fensterflächenanteil (50 %), auf welchen sich die Fehleranalyse bezieht. Für alle berechneten Varianten ergibt sich ein ähnlicher Verlauf des Beleuchtungsstrombedarfs in Abhängigkeit des Fensterflächenanteils. Bei geringen Fensterflächenanteilen ist die Tageslichtnutzung gering und der Strombedarf für Kunstlicht höher. Mit steigendem Fensterflächenanteil, insbesondere in Bereichen mit geringen Fensterflächenanteilen bis 40 %, reduziert sich der berechnete Strombedarf durch den Einfluss des Tageslichts sehr stark. Ab einem Fensterflächenanteil von 50 bis 60 % wirkt sich im Allgemeinen die weitere Erhöhung der Fensterfläche nicht mehr wesentlich auf den Strombedarf für Beleuchtung aus. (Dieser Zusammenhang deckt sich mit den Angaben von Hörner [83].) Ab diesem Punkt verlaufen die Kurven mehr oder weniger flach. Verschiebt man nun Fensterflächen zu unterschiedlichen Zonen, so wird aufgrund dieser Nichtlinearität meist ein zu hoher Strombedarf berechnet, da bei der vereinfachten Verteilung ein quasi-linearer Verlauf vorausgesetzt wird.

Aus den folgenden Analysen lassen sich somit keine direkten Auswirkungen auf den Fehler für ein Gebäude ableiten. Sie zeigen jedoch, welche Fehlergrenzen eine unscharfe Bauteilzuweisung bewirkt.

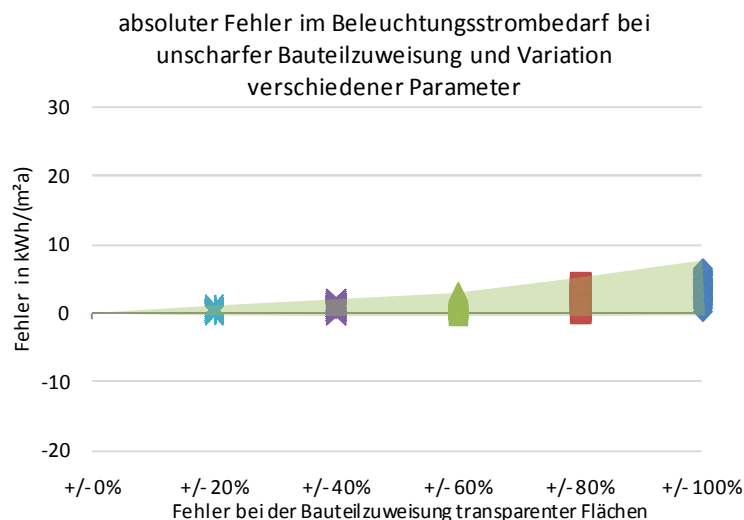


Abbildung 140: Übersicht der Fehlerberechnung aus der Parameterstudie für die Heizwärmebilanz; aufgetragen sind für alle untersuchten Varianten die absoluten Fehler im Energiebedarf sowie der Fehler bei der Bauteilzuweisung

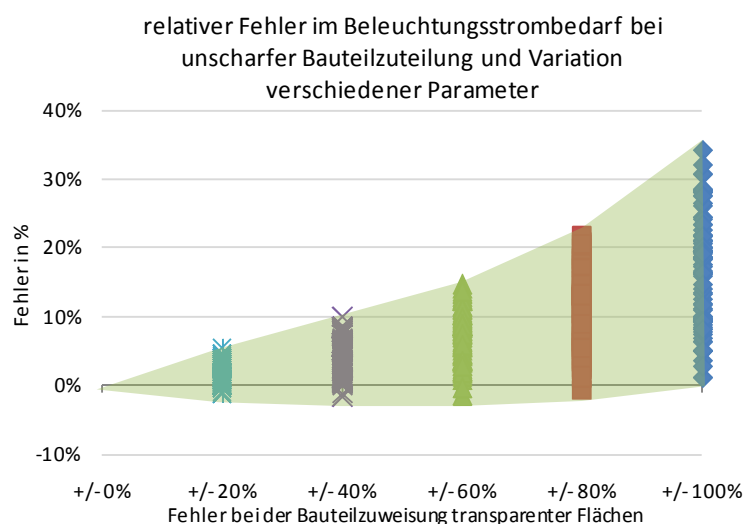


Abbildung 141: Übersicht der Fehlerberechnung aus der Parameterstudie für die Heizwärmebilanz; aufgetragen sind für alle untersuchten Varianten die relativen Fehler im Energiebedarf sowie der Fehler bei der Bauteilzuweisung.

3.8 Ableitung wesentlicher Einflussgrößen für das vereinfachte Verfahren

Zur Bestimmung der wesentlichen Einflussparameter werden die Ergebnisse der Parameterstudie zusammenfassend ausgewertet. Die Untersuchung erfolgte immer durch Variation eines Haupt- und Nebenparameters. Der Hauptparameter ist entweder der U-Wert opaker Bauteile oder die Fensterfläche. Die Nebenparameter entsprechen allen nach DIN V 18599 möglichen und relevanten veränderbaren Bilanzgrößen. Für eine ungenaue Zuteilung opaker und transparenter Bauteile wird je ein Fehler im Energiebedarf nach Abschnitt 3.3 berechnet. Um die Sensitivität einzelner Bilanzgrößen zu bewerten, werden die Fehler im Energiebedarf, die bei einem Zuweisungsfehler von $\pm 100\%$ gemacht werden, ausgewertet.

Der bei Variation der Haupt- und Nebenparameter gezeigte Fehler beinhaltet immer den Einfluss beider Größen. Um den Einfluss eines Nebenparameters erkennbar zu machen (U-Wert, Orientierung, Beleuchtungssteuerung, Sonnenschutz etc.) ist die maximale Differenz zwischen den berechneten Fehlern bei variierenden Nebenparametern interessant. Die maximale Differenz zeigt den Einfluss des Nebenparameters auf die Energiebilanz und gibt Aufschluss darüber, wie hoch der

Einfluss des Nebenparameters auf eine vereinfachte Flächenverteilung ist. Grafisch ist dieser Zusammenhang in Abbildung 142, hier für das Beispiel des Heizwärmebedarfs bei variierendem Sonnenschutz, dargestellt. Je weiter die Differenz zwischen den variierten Nebenparametern ist, desto größer ist der Einfluss einer fehlerhaften Zuweisung des Hauptparameters in der Energiebilanz zu bewerten.

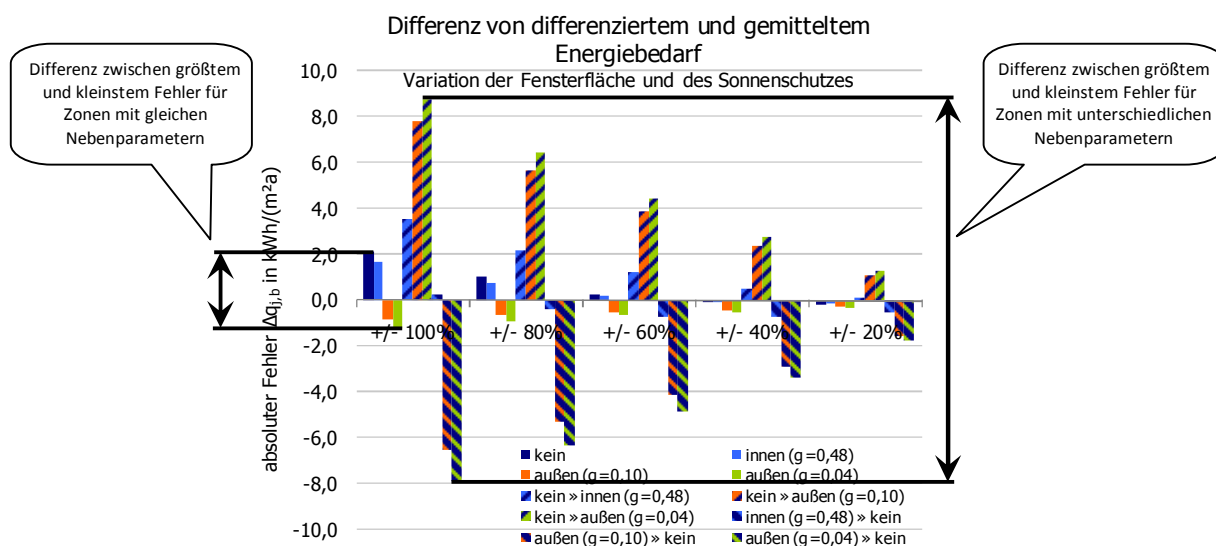


Abbildung 142: Darstellung der Bewertung von fehlerhafter Flächenzuweisung für unterschiedliche Nebenbedingungen

Werden Gebäudehüllflächen fehlerhaft auf Zonen mit gleichen Nebenbedingungen zugewiesen, so ließ sich feststellen, dass der Fehler im Energiebedarf tendenziell geringer ausfällt. Aus diesem Grund erfolgen die weiteren Bewertungen für diese zwei Fälle.

- **Fall 1** beschreibt den Einfluss einer Verschiebung zwischen Zonen mit *gleichen Nebenparametern* (gleiches Nutzungsprofil, Beleuchtungssystem, gleicher Sonnenschutz etc.).

$$\Delta q_{j,y} = \left| \max \sum_i \Delta q_{j,y,i} - \min \sum_i \Delta q_{j,y,i} \right| \quad (47)$$

- **Fall 2** gilt für eine Verschiebung zwischen Zonen mit *unterschiedlichen Nebenparametern* (unterschiedliche Nutzungsprofile, Beleuchtungssysteme, Sonnenschutzsysteme etc.).

$$\Delta q_{j,x} = \left| \max \sum_i \Delta q_{j,x,i} - \min \sum_i \Delta q_{j,x,i} \right| \quad (48)$$

mit

$\Delta q_{j,y}$ kWh/(m²a)

Änderung im Fehler beim Energiebedarf als maximale Differenz zwischen größtem und kleinstem Fehler bei Verschiebung innerhalb einer Zone mit gleichen Nebenbedingungen

$\Delta q_{j,x}$ kWh/(m²a)

Änderung im Fehler beim Energiebedarf als maximale Differenz zwischen größtem und kleinstem Fehler bei Verschiebung zwischen Zonen mit unterschiedlichen Nebenbedingungen

Einordnung

Um die Ergebnisse miteinander vergleichen zu können, werden die Änderungen des Fehlers im Energiebedarf in einen prozentualen Wertebereich von 0 bis 100 % transferiert. So ist es möglich, den Einfluss im Bereich der Heizwärme, Kälte und der Beleuchtung qualitativ zu bewerten. Die 100 %-Marke markiert jeweils den Parameter mit der größten Differenz, getrennt für die Energiebilanzen Heizen, Kühlen und Beleuchten. Es werden jeweils die Werte bei einem Zuweisungsfehler von ± 100 % verwendet.

$$\Delta q'_{j,b,xy} = \frac{\Delta q_{j,b,xy}}{\max(\Delta q_{i,b,xy})} \quad (49)$$

mit

$\Delta q'_{j,b,xy}$	%	prozentuale Einordnung der maximalen Änderung des Fehlers für den betrachteten Untersuchungsfall j in Relation zur größten Änderung der gesamten Untersuchungsreihe für eine Energieanwendung b, mit x für Fall 1 und y für Fall 2
$\Delta q_{j,b,xy}$	kWh/(m ² a)	maximale Änderung des Fehlers über mehrere Nebenparameter für den betrachteten Untersuchungsfall j und die Energieanwendung b, mit x für Fall 1 und y für Fall 2
$\max(\Delta q_{j,b,xy})$	kWh/(m ² a)	größte maximale Änderung des Fehlers über mehrere Nebenparameter einer Reihe i = 1 bis n Nebenparameter für eine Energieanwendung b, mit x für Fall 1 und y für Fall 2

Zur Klassifizierung der Sensitivität werden fünf Klassen gebildet, in welche die unterschiedlichen Einflussparameter über $\Delta q'_{j,b,xy}$ eingeordnet werden.

Tabelle 35: Klassifizierungsmatrix in Abhängigkeit der mittleren Fehlerdifferenz für die jeweilige Energieanwendung

Wertebereich für jede Energieanwendung	Einstufung/Klassifizierung
80 bis 100 %	sehr hoch
60 bis 80 %	hoch
40 bis 60 %	mittel
20 bis 40 %	gering
0 bis 20 %	sehr gering

3.8.1.1 Heizwärmebedarf

In Tabelle 36 sind die maximalen Differenzen für die bewerteten Parameter zusammengestellt, auf deren Grundlage die Einstufung bzw. die Klassifizierung ermittelt wird. Die praktische Bewertung des Einflusses der U-Werte auf eine vereinfachte Flächenverteilung erfolgt ohne das Nutzungsprofil „Serverraum“. Am deutlichsten sind die Unterschiede bei der Variation der Sonnenschutzsysteme. Tritt die Verschiebung der Fensterflächen in Zonen mit gleichem Sonnenschutzsystem auf, so kann ein geringer Einfluss festgestellt werden, da sich die Gesamtsumme der solaren Gewinne nicht ändert. Lediglich die Höhe der Ausnutzbarkeit der Gewinne zu Heizzwecken variiert. Daraus resultiert eine vergleichsweise geringe Anhängigkeit. Die maximalen Differenzen bei vereinfachter Flächenzuweisung zwischen Zonen mit gleichen Nebenbedingungen werden bei der Fensterfläche ohne Sonnenschutz mit $\Delta q_{j,y} = 4,7$ kWh/(m²a) ermittelt. Die Nutzung eines innen liegenden Sonnenschutzes ($g_{tot} = 0,48$) reduziert die solaren Gewinne und analog auch den Einfluss auf den Heizwärmebedarf (max. Differenz $\Delta q_{j,y} = 3,7$ kWh/(m²a)). Verteilt man die Fensterflächen unscharf auf Zonen mit unterschiedlichen Nutzungsprofilen, liegen die Differenzen um etwa 1 kWh/(m²a)

höher. Eine Verschiebung von Fensterflächen in Zonen mit unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen verursacht deutlich größere Differenzen, da sich die Summe der solaren Gewinne ändert. Die maximale Differenz beträgt $q_{j,y} = 16,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, bei größtmöglicher Differenz im Sonnenschutzsystem. Gleiche Abhängigkeiten können für die Parameter Verbauung und Orientierung festgestellt werden. Hier wird durch eine unscharfe Verteilung der Fensterflächen die Summe der solaren Gewinne beeinflusst.

Hinsichtlich der Überprüfung des Einflusses solarer Gewinne über opake Bauteile treten die größten Differenzen bei einer Verschiebung zwischen einer Zone ohne Berücksichtigung von solaren Gewinnen über opake Bauteile und einer Zone mit deren Berücksichtigung und gleichzeitig hohen Absorptionsgraden auf. Erfolgt die Zuweisung zwischen Zonen, in denen nur die Absorptionsgrade variieren, so liegt der Fehler deutlich geringer. In Nummer 10 wird der Einfluss solarer Gewinne über opake Bauteile bei verschiedenen Orientierungen aufgezeigt. Die Absorptionsgrade der opaken Bauteile sind für alle Varianten unverändert. Innerhalb einer Orientierung sind die Fehler annähernd null. Selbst bei Verschiebung zwischen Zonen mit unterschiedlichen Nebenbedingungen (Orientierungen) ergeben sich nur geringe Differenzen bis zu $1,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Der praktische Einfluss einer unscharfen Flächenzuteilung auf die Energiebilanz kann als sehr gering eingestuft werden.

Tabelle 36: Differenz zwischen größter und kleinster Abweichung im Heizwärmebedarf für unterschiedliche Parameter

Nr.	Variante	maximale Differenz innerhalb von Zonen mit gleichen Nebenbedingungen	maximale Differenz zwischen Zonen mit verschiedenen Nebenbedingungen
1	U-Werte, Nutzungsprofile (ohne Server), Abschn. 3.4.3	0,7 kWh/(m ² a)	0,6 kWh/(m ² a)
2	U-Werte, Orientierung (Af=50 %), Abschn. 3.4.4	0,9 kWh/(m ² a)	2,9 kWh/(m ² a)
3	Fensterflächen, Nutzungsprofile, g=0,48, Abschn. 3.4.6	3,7 kWh/(m ² a)	4,8 kWh/(m ² a)
4	Fensterflächen, Nutzungsprofile, g=0,67, Abschn. 3.4.6	4,7 kWh/(m ² a)	5,5 kWh/(m ² a)
5	Fensterflächen, Sonnenschutzsysteme, Abschn. 3.4.7	3,4 kWh/(m ² a)	16,6 kWh/(m ² a)
6	Fensterflächen, lineare Verbauung, Abschn. 3.4.8	0,6 kWh/(m ² a)	12,0 kWh/(m ² a)
7	Fensterflächen, Orientierung, Abschn. 3.4.9	2,5 kWh/(m ² a)	11,9 kWh/(m ² a)
8	Fensterflächen, Bauschwere, Abschn. 3.4.10	0,5 kWh/(m ² a)	2,7 kWh/(m ² a)
9	U-Werte, Absorptionsgrade, Af=50 % (Süd), Abschn. 3.4.5	1,1 kWh/(m ² a)	3,3 kWh/(m ² a)
10	U-Werte, Orientierung, (ohne Fenster), Abschn. 3.4.5	0,0 kWh/(m ² a)	1,4 kWh/(m ² a)

Die Einstufung der Nebenparameter wird in folgender Abbildung dargestellt. Betrachtet man die Kombinationen von Nutzungsprofilen, Orientierung, Bauschwere und Absorptionsgraden mit einer unscharfen Zuweisung opaker Bauteile bzw. deren U-Werte, so wird hier ein geringer Einfluss verzeichnet. Es zeigt sich die Tendenz, dass eine Verschiebung von Zonen mit unterschiedlichen Randbedingungen etwas größere Fehler verursacht. Dieser Fall wird von praktischer Relevanz sein.

Insgesamt kann man feststellen, dass Verschiebungen von Bauteilparametern zwischen Zonen mit gleichen Randbedingungen nur geringe Fehler im Energiebedarf verursachen. Große Abweichungen entstehen dann, wenn die Höhe der solaren Gewinne durch die Verteilung betroffen wird. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn Fensterflächen auf Zonen mit unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen aufgeteilt werden oder wenn sich große Abweichungen in der Orientierung oder der Verbauungssituation ergeben. Die Verteilung der opaken Bauteile führt für alle untersuchten Parameter nur zu geringen Fehlern in der Energiebilanz. Dies führt zum zentralen Erkenntnis, dass dem Sonnenschutz eine höhere Zuwendung im vereinfachten Verfahren zukommen

muss. Eine Möglichkeit besteht darin, bei der Eingabe der Fensterflächen im 1-Zonen-Modell die Eigenschaften des Sonnenschutzes mit an die Bauteildefinition des Fensters zu koppeln, umso die Summe der solaren Gewinne bei der Transformation von Gebäuden auf die Zonenebene nicht zu verändern.

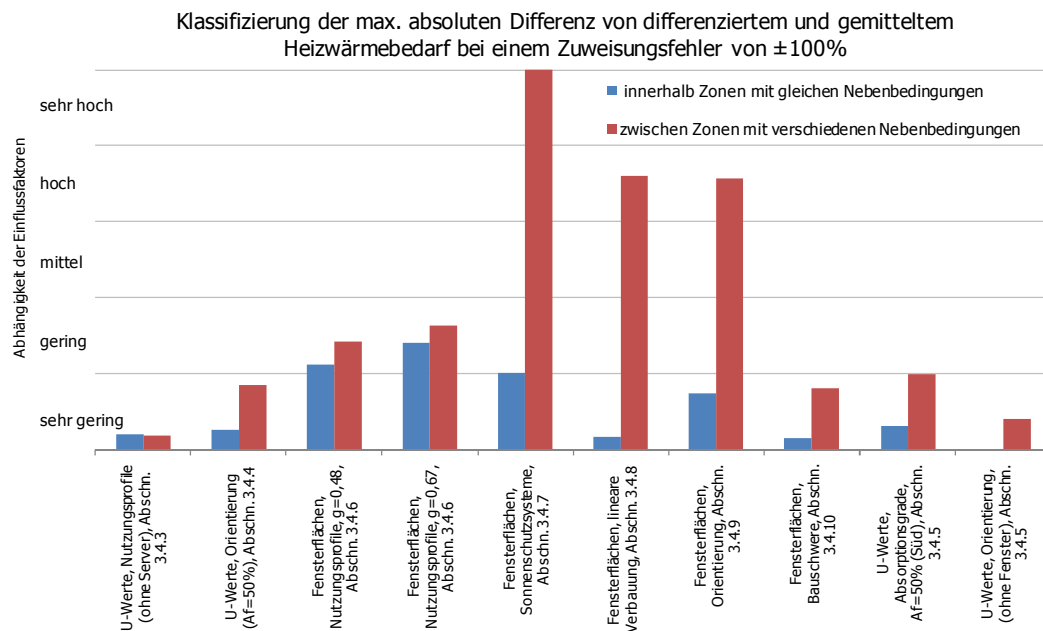


Abbildung 143: Klassifizierung der Abhängigkeit verschiedener Einflussfaktoren auf die Energiebilanz in Abhängigkeit der maximalen Differenz von differenziertem und gemitteltem Heizwärmebedarf bei einem Zuweisungsfehler von $\pm 100\%$. Die ausgewiesenen Differenzen beziehen sich auf eine fehlerhafte Flächenzuteilung zwischen Zonen mit gleichen (blaue Säulen) und unterschiedlichen Nebenbedingungen (rote Säulen).

3.8.1.2 Kühlenergiebedarf

Beim Kältebedarf werden zehn unterschiedliche Nebenparameter bei Variation eines Hauptparameters untersucht. Der Einfluss unterschiedlicher U-Werte auf den Kältebedarf ist bei fehlerhafter Verteilung innerhalb eines Nutzungsprofils und zwischen Zonen mit unterschiedlicher Nutzung (Nebenparameter) sehr gering. Es ergeben sich maximale Differenzen von etwa $1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Eine Verschiebung der opaken Bauteile in Zonen mit unterschiedlichen Absorptionsgraden führt ebenfalls zu einer Beeinflussung. Dabei muss man beachten, dass diese Fehler nur in dem Fall auftreten, in dem mit und ganz ohne Berücksichtigung der solaren Gewinne über opake Bauteile gerechnet wird. Dieser Fall wird für die praktische Anwendung keine Rolle spielen, da entweder mit oder ohne Berücksichtigung der solaren Gewinne über opake Bauteile gerechnet wird.

Die höchsten Differenzen ergeben sich bei Verteilung der Fensterflächen zu Zonen mit verschiedenen Sonnenschutzsystemen. Hier ergeben sich Abweichungen von $36,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, bei größtmöglichem Unterschied in der Systemeffizienz der Sonnenschutzsysteme. Werden Fensterflächen auf Zonen mit unterschiedlichen Orientierungen verteilt, so ergeben sich Differenzen von $13,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Dabei muss man berücksichtigen, dass diese Differenz auf der Basis eines ungünstigen innen liegenden Sonnenschutzes mit einem Energiedurchlassgrad von $g_{\text{tot}} = 0,48$ ermittelt wurde.

Tabelle 37: Differenz zwischen größter und kleinster Abweichung im Kühlenergiebedarf für unterschiedliche Parameter

Nr.	Variante	maximale Differenz innerhalb von Zonen mit gleichen Nebenbedingungen	maximale Differenz zwischen Zonen mit verschiedenen Nebenbedingungen
1	U-Werte, Nutzungsprofile, Abschn. 3.5.1	1,0 kWh/(m ² a)	0,8 kWh/(m ² a)
2	U-Werte, Orientierung (Af = 50 %), Abschn. 3.5.2	1,0 kWh/(m ² a)	2,1 kWh/(m ² a)
3	Fensterflächen, Nutzungsprofile, g = 0,48, Abschn. 3.5.4	2,9 kWh/(m ² a)	4,3 kWh/(m ² a)
4	Fensterflächen, Sonnenschutzsysteme, Abschn. 3.5.5	5,7 kWh/(m ² a)	36,6 kWh/(m ² a)
5	Fensterflächen, lineare Verbauung, Abschn. 3.5.7	2,9 kWh/(m ² a)	4,9 kWh/(m ² a)
6	Fensterflächen, Orientierung, Abschn. 3.5.6	2,3 kWh/(m ² a)	13,7 kWh/(m ² a)
7	Fensterflächen, Bauschwere, Abschn. 3.5.8	0,2 kWh/(m ² a)	3,4 kWh/(m ² a)
8	U-Werte, Bauschwere, Af = 50 % (Süd), Abschn. 3.5.8	0,2 kWh/(m ² a)	2,2 kWh/(m ² a)
9	U-Werte, Absorptionsgrade, Af = 50 % (Süd), Abschn. 3.5.3	1,1 kWh/(m ² a)	9,1 kWh/(m ² a)
10	U-Werte, Absorptionsgrade (ohne Fenster), Abschn. 3.5.3	0,6 kWh/(m ² a)	5,8 kWh/(m ² a)

Prinzipiell zeigt sich, dass eine unscharfe Zuweisung der opaken Flächen einen geringeren Einfluss auf die Kühlenergiebilanz hat als auf den Heizwärmebedarf. Da der Kühlenergiebedarf im Wesentlichen von den nicht zu Heizzwecken nutzbaren Gewinnen abhängt, ist der Einfluss der solaren Gewinne auch deutlich ausgeprägter. Werden Bauteile zwischen zwei Zonen mit gleichen Nebenbedingungen (z. B. gleichem Sonnenschutzsystem) verteilt, so ergeben sich sehr geringe Fehler im Energiebedarf. Verteilt man die Fensterflächen jedoch auf Zonen mit unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen, so kann dies, je nach Unterschied im Effizienzgrad des Sonnenschutzes, zu großen Fehlern im Kühlenergiebedarf führen. Ebenso wie auch bei der Heizwärmebilanz, ist bei der Transformation der Gebäudedaten von Gebäude- auf die Zonenebene diesem Umstand Rechnung zu tragen.

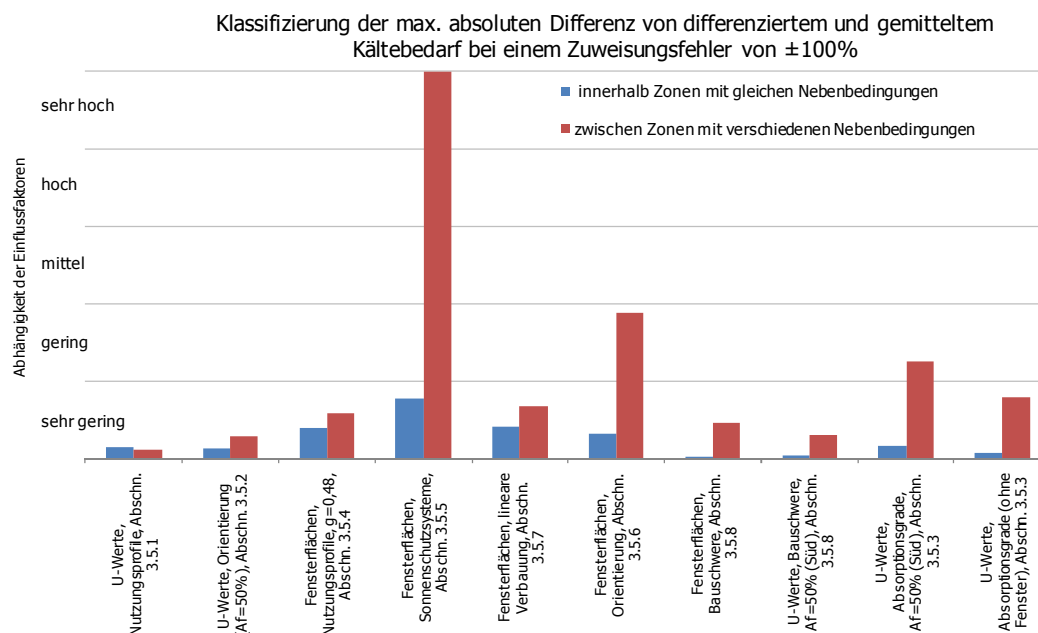


Abbildung 144: Klassifizierung der Abhängigkeit verschiedener Einflussfaktoren auf die Energiebilanz in Abhängigkeit der maximalen Differenz von differenziertem und gemitteltem Kühlenergiebedarf bei einem Zuweisungsfehler von ±100 %. Die ausgewiesenen Differenzen beziehen sich auf eine fehlerhafte Flächenzuteilung zwischen Zonen mit gleichen (blaue Säulen) und unterschiedlichen Nebenbedingungen (rote Säulen).

3.8.1.3 Beleuchtungsstrombedarf

Um die Auswirkungen einzelner Parameter auf den Beleuchtungsstrombedarf zu untersuchen, wurden neun unterschiedliche Parameter variiert, die einen Einfluss auf die Energiebilanz haben.

Anders als bei den thermischen Bilanzen haben hier nur die transparenten Flächen einen Einfluss auf die Tageslichtversorgung. Verglichen mit den Auswertungen der thermischen Bilanzen zeigt sich ein höherer Einfluss aller Parameter auf die Energiebilanz.

Tabelle 38: Differenz zwischen größter und kleinster Abweichung im Beleuchtungsstrombedarf für unterschiedliche Parameter

Nr.	Variante	maximale Differenz innerhalb von Zonen mit gleichen Nebenbedingungen	maximale Differenz zwischen Zonen mit verschiedenen Nebenbedingungen
1	Fensterflächen, Nutzungsprofile, Abschn. 3.6.1	2,9 kWh/(m ² a)	5,8 kWh/(m ² a)
2	Fensterflächen, Orientierung, Abschn. 3.6.2	0,5 kWh/(m ² a)	1,8 kWh/(m ² a)
3	Fensterflächen, Raumtiefe, Abschn. 3.6.3	3,2 kWh/(m ² a)	3,2 kWh/(m ² a)
4	Fensterflächen, lineare Verbauung, Abschn. 3.6.4	3,4 kWh/(m ² a)	2,0 kWh/(m ² a)
5	Fensterflächen, Blendschutzsteuerung, Abschn. 3.6.5	1,6 kWh/(m ² a)	1,6 kWh/(m ² a)
6	Fensterflächen, Beleuchtungssteuerung, Abschn. 3.6.6	1,8 kWh/(m ² a)	2,4 kWh/(m ² a)
7	Fensterflächen, Präsenzerfassung, Abschn. 3.6.7	0,7 kWh/(m ² a)	0,9 kWh/(m ² a)
8	Fensterflächen, Sturzhöhe, Abschn. 3.6.8	2,6 kWh/(m ² a)	2,1 kWh/(m ² a)

Der größte Einfluss kann bei einer Verschiebung von Fensterflächen in Zonen mit unterschiedlicher Beleuchtungsstärke festgestellt werden. Ebenfalls haben die Raumtiefe und die Verbauung einen mittleren Einfluss auf die Differenzen. Der geringste Einfluss auf eine Verteilung der Fensterflächen hat die Präsenzerfassung.

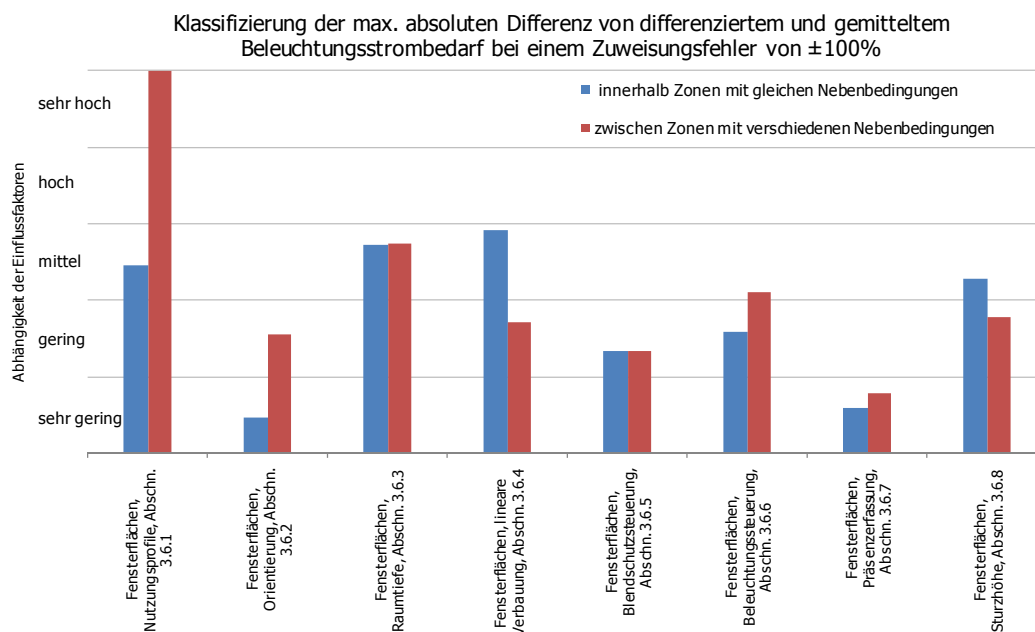


Abbildung 145: Klassifizierung der Abhängigkeit verschiedener Einflussfaktoren auf die Energiebilanz in Abhängigkeit der maximalen Differenz von differenziertem und gemitteltem Beleuchtungsbedarf bei einem Zuweisungsfehler von $\pm 100\%$. Die ausgewiesenen Differenzen beziehen sich auf eine fehlerhafte Flächenzuteilung zwischen Zonen mit gleichen (blaue Säulen) und unterschiedlichen Nebenbedingungen (rote Säulen).

Durch die Vielzahl der möglichen Unterschiede in einzelnen Zonen ist ein resultierender Gesamtfehler nicht ableitbar, denn es können starke Kompensationseffekte eintreten, die nur im Rahmen von Gebäudeanalysen identifiziert werden können.

Fazit für die Vereinfachungen

- Für opake Bauteile kann eine vereinfachte Verteilung als unkritisch angesehen werden, da der Einfluss einer fehlerhaften Zuweisung für alle thermischen Bilanzen gering ist.
- Bezogen auf den Heizwärmebedarf ergeben sich nennenswerte Unterschiede lediglich dann, wenn dem Nutzungsprofil „Serverraum“ (Nutzung mit sehr geringem Heizwärmebedarf) unscharf Flächen zugewiesen werden. Da diese Nutzungen in der Regel einen kleinen Anteil an der Gesamtfläche haben, kann ein Fehler hier in Kauf genommen werden.
- Generell gilt die Aussage: Je weniger die solaren Gewinne von Gebäudeebene auf Zoneebene verändert werden, desto geringer sind die zu erwartenden Fehler.
- Für die vereinfachte Verteilung ist es sinnvoll, den Sonnenschutz zusammen mit den Fensterflächen auf Gebäudeebene abzubilden, um die Gesamtsumme der möglichen solaren Gewinne nicht zu beeinflussen.
- Hinsichtlich der möglichen Fehler im Heizwärme- und Kühlenergiebedarf ist es für die vereinfachte Verteilung der Fensterflächen sinnvoll, die Orientierung mit aufzunehmen und diese, wenn möglich, bei der Verteilung auf die Zonen zu berücksichtigen.
- Der Einfluss solarer Gewinne über opake Bauteile ist gering. Für die Vereinfachungen bedeutet das, dass alle Zonen entweder mit oder ohne Einfluss der solaren Gewinne über opake Bauteile berechnet werden können.
- Die ermittelten Fehler für Beleuchtung sind aufgrund der Referenzfensterfläche von 50 % als Worst-case-Fehler einzuordnen.
- Die Zusammenfassung von Zonen mit sehr geringem (bis 20 %) mit Zonen mit sehr hohem Fensteranteil (über 80 %) kann zu nennenswerten Fehlern im Beleuchtungsstrombedarf führen.

Für die Randbedingungen der Parameterstudie ergibt sich bei einer Änderung im Beleuchtungsstrombedarf von $1,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ein Einfluss in den thermischen Bilanzen von etwa $0,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für Heizen und $0,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für Kühlen (detaillierte Auswertung in Abschnitt A.5 im Anhang). Es zeigt sich, dass dies zu deutlichen Kompensationseffekten im Primärenergiebedarf führen muss. Um auch diesen Kompensationseffekt zu bewerten, müssen die Fehler in einer Gesamtenergiebilanz betrachtet werden. Dies ist Bestandteil des folgenden Abschnitts.

4 Anwendung an Beispielgebäuden

In Abschnitt 2 wurde das vereinfachte Verfahren an elf Gebäuden angewandt und typische Flächenfehler ermittelt, die bei Anwendung des *einfachen* und *erweiterten Verfahrens* entstehen. Die wesentlichen Ergebnisse der Parameterstudie aus Abschnitt 3 wurden bei der Verteilung der Gebäudehüllfläche berücksichtigt. Dies betrifft insbesondere die Zusammenlegung der Informationen zu Sonnenschutz und Fläche eines transparenten Bauteils.

Um den Einfluss der Vereinfachungen bei der Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden zu beurteilen, wurde das Verfahren auf die in Abschnitt 2.6 vorgestellten Gebäudeentwürfe angewandt und zu erwartende Fehler im Energiebedarf auf Zonen- und Gebäudeebene ermittelt. Fehler im Nutzenergiebedarf, die auf Zonenebene gemacht werden, aggregieren sich auf Gebäudeebene und können sich entweder summieren oder kompensieren. Für die Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden im Rahmen eines Energienachweises oder -ausweises sind insbesondere typische Fehler auf Gebäudeebene von Interesse.

Das Ziel der Untersuchungen ist die Bewertung, ob für die Berechnung des Gebäudeenergiebedarfs im Rahmen der Erstellung eines Energieausweises die Flächen und Stoffwerte der Gebäudehülle auf Gebäudeebene definiert und dann nach einem vorgegebenen Schlüssel (*einfaches* und *erweitertes Verfahren*) auf die Zonen aufgeteilt werden können.

Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit den Auswirkungen auf den Energiebedarf und führt beide Analysen (zu Flächenfehlern und Energiefehlern) zusammen.

4.1 Variantenbeschreibung

Für die Referenzvariante (*exakte Flächenerfassung*) werden die Gebäudehüllflächen aller Gebäude detailliert nach den Vorgaben der DIN V 18599 ermittelt, aufgeteilt und den Zonen zugewiesen. Die Bauteildaten werden mit den Berechnungsalgorithmen nach Abschnitt 2 in das *vereinfachte Verfahren* überführt. Diese Vorgehensweise gewährleistet eine exakte Übereinstimmung beider Datensätze. Abbildung 146 zeigt die Vorgehensweise bei der Fehlerermittlung.

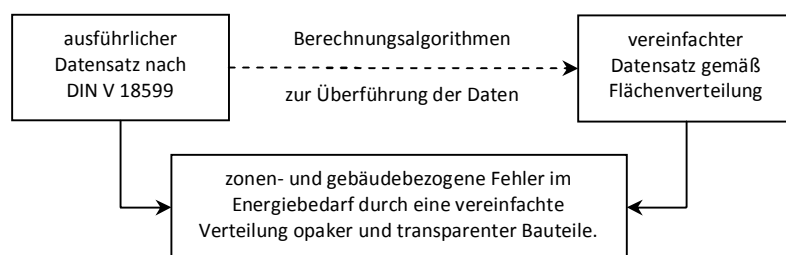


Abbildung 146: Schema der Berechnung zur Fehlerbestimmung bei vereinfachter Flächenzuweisung

Analog zu den Untersuchungen über bauteilbezogene Fehler, sind für die gleichen Kombinationen der Flächenzuweisungen die Auswirkungen auf den Energiebedarf zu bestimmen. Tabelle 39 skizziert die untersuchten Varianten.

Tabelle 39: Übersicht der untersuchten Varianten zur Hüllflächenverteilung

Variante	Kürzel	Beschreibung
Exakte Flächenzuweisung (Referenzvariante)	<i>reale Flächen</i>	Detaillierte Flächenzuweisung aller Einzelbauteile nach DIN V 18599. Sämtliche Gebäudehüllflächen sind detailliert auf die Zonen aufgeteilt.
Flächenverteilung ohne Wichtungsfaktoren	<i>ohne Faktoren</i>	<i>Einfaches Verfahren:</i> Die Flächen werden in Abhängigkeit der Größe der Zonenfläche verteilt. Jede Zone erhält entsprechend ihrer Größe eine Bauteilfläche jeder Kategorie.
Flächenverteilung mit 2 Wichtungsfaktoren	<i>2 Faktoren</i>	<i>Erweitertes Verfahren:</i> Die Gebäudehüllflächen werden in Abhängigkeit von zwei Wichtungsfaktoren (vorhanden/nicht vorhanden) und der Zonengröße der jeweiligen Zone zugewiesen.
Flächenverteilung mit 3 Wichtungsfaktoren	<i>3 Faktoren</i>	<i>Erweitertes Verfahren:</i> Die Gebäudehüllflächen werden in Abhängigkeit von drei Wichtungsfaktoren (nicht vorhanden, wenig, viel) und der Zonengröße der jeweiligen Zone zugewiesen.
Flächenverteilung mit 4 Wichtungsfaktoren	<i>4 Faktoren</i>	<i>Erweitertes Verfahren:</i> Die Gebäudehüllflächen werden in Abhängigkeit von vier Wichtungsfaktoren (nicht vorhanden, wenig, mittel, viel) und der Zonengröße der jeweiligen Zone zugewiesen.

Für jede Variante wird der Nutzenergiebedarf für Heizwärme, Kühlenergie und Beleuchtungsstrom ermittelt. Das dafür verwendete Datenaufbereitungs- und Rechenmodell ist schematisch in Abbildung 147 gezeigt.

Alle Gebäude werden nach den Richtlinien in DIN V 18599-1 zониert und mit Nutzungsprofilen aus Teil 10 belegt. Die Gebäudehüllflächen werden nach den Bauteiltypen Wand, Dach, Boden und Fenster gruppiert und entsprechende Summenwerte gebildet. Fenster werden zudem nach der Orientierung differenziert. Mittels den in Abschnitt 2 beschriebenen Algorithmen zum Flächenverteilungsverfahren werden den Zonen Bauteildaten und Flächen zugewiesen. Die Energiebilanz erfolgt für jede Zone, und die Ergebnisse werden auf Gebäudeebene aggregiert.

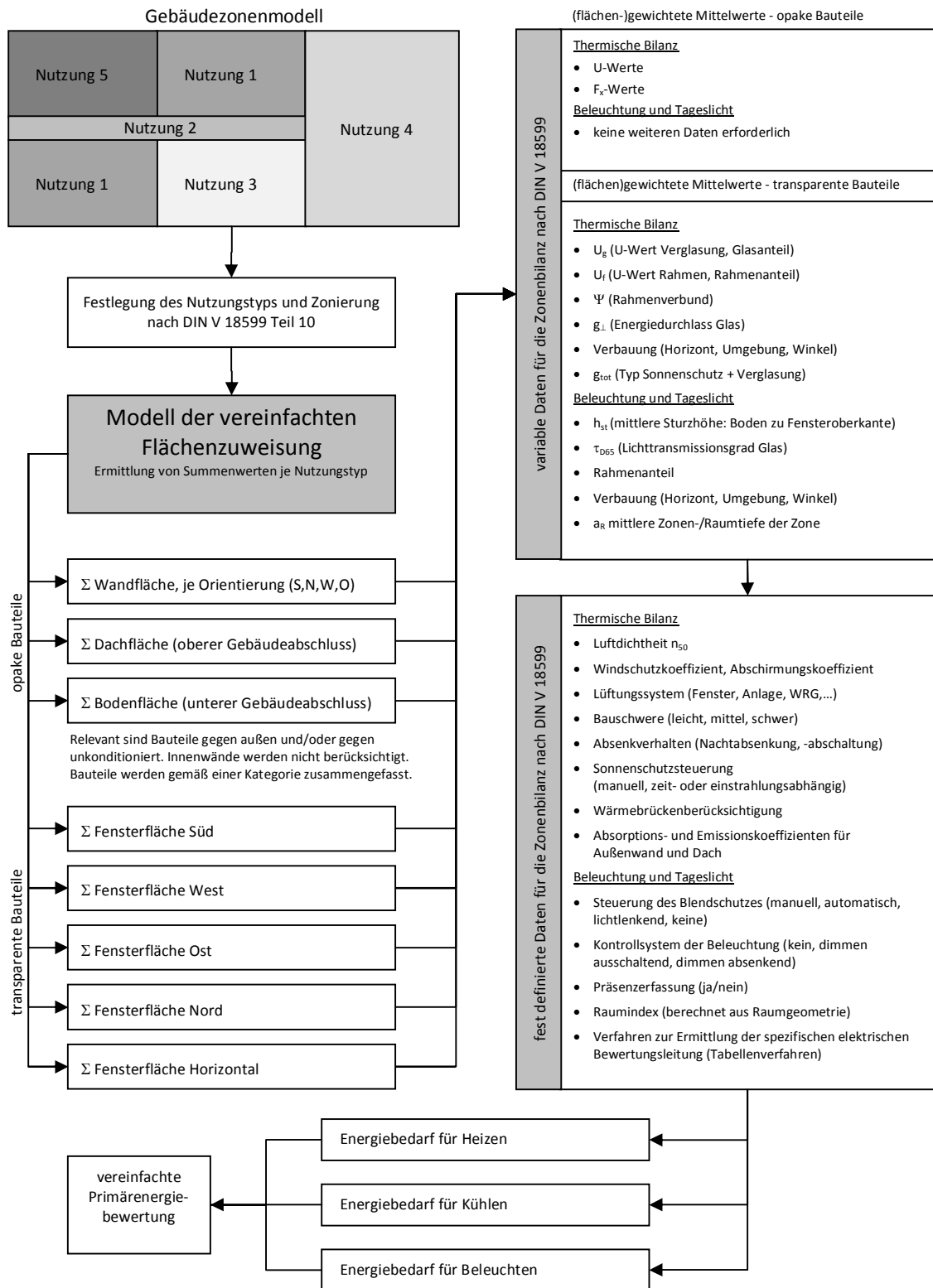


Abbildung 147: Schema des Modells zur Datenaufbereitung für die vergleichende Berechnung

Um die Vergleichbarkeit der Resultate auch zwischen den Gebäuden zu gewährleisten, müssen zum Teil feste Bilanzierungsparameter definiert werden, die für alle untersuchten Gebäude gleichermaßen gelten. Diese Randbedingungen werden so gewählt, dass die Analysen einerseits praxisnahe Ergebnisse liefern und die Fehler im Energiebedarf dennoch nicht unterschätzt werden. Da das Verfahren für die schnelle Bewertung von Neubauten im Nachweisverfahren konzipiert ist, orientieren sich die meisten Randbedingungen an den Mindestanforderungen, wie sie in der

deutschen und luxemburgischen Energieeinsparverordnung für neue Gebäude definiert sind [13][14]. Für die Analysen werden bewusst die höchst zulässigen Mindestwerte angesetzt, und nicht die im Referenzgebäude hinterlegten, um den maximalen Einfluss bei automatisierter Verteilung der Gebäudehüllflächen für Neubauten zu ermitteln. Wie die Parameterstudie zeigte, sinkt mit höherem Dämmstandard der Einfluss des Fehlers auf die Heizwärmebilanz.

Bilanzgrenze der thermischen Hülle ist das 4 K-Kriterium. Transmissionswärmeströme zwischen Zonen werden vernachlässigt. Für die Kühlenergiebilanz wird davon ausgegangen, dass der sommerliche Wärmeschutz in gekühlten und ungekühlten Zonen eingehalten wird. Diese Randbedingungen entsprechen den in DIN V 18599 formulierten [35].

Lüftungswärmeverluste haben einen hohen Einfluss auf thermische Energiekennwerte. Je höher die Lüftungsverluste sind, desto weniger wird der Einfluss einer unscharfen Flächenzuweisung in der Energiebilanz sichtbar. Um diesen Effekt möglichst gering zu bewerten, wird einerseits die Luftdichtheit der Gebäude mit einem geringen Luftdichtheitswert $n_{50} = 1,0 \text{ h}^{-1}$ angenommen und andererseits alle Zonen mit einem einfachen Lüftungssystem und maximal möglicher Wärmerückgewinnung von 75 % bilanziert. Nach DIN V 18599, Teil 3 und Teil 7, sind keine höheren Wärmerückgewinnungsgrade für Lüftungsanlagen im Nichtwohnungsbau anwendbar.¹⁶ Die Berücksichtigung eines einfachen Lüftungssystems führt in der Energiebilanz dazu, dass der Energieaufwand zur Luftkonditionierung in der Zone bilanziert wird.¹⁷ Die Lüftungsverluste reduzieren sich im Vergleich zu einer Fensterlüftung dann deutlich.

Wie vorgeschaltete Parameteruntersuchungen gezeigt haben, ist bei der vereinfachten Verteilung der Einfluss unterschiedlich effizienter Sonnenschutzsysteme besonders hoch auf den Heizwärme- und Nutzkältebedarf. Um den maximalen Einfluss der solaren Gewinne bei der unscharfen Zuweisung der Fensterflächen zu betrachten, werden alle Zonen ohne Anwendung eines Sonnenschutzes bilanziert. Der Fehler im Kühlenergiebedarf wird dadurch tendenziell höher bewertet. Für alle Zonen und Gebäude gelten die Randbedingungen gemäß Tabelle 40.

Tabelle 40: Übersicht der Berechnungsparameter für alle Gebäude

individuelle Berücksichtigung der vorhandenen Nutzungsprofile gemäß der Gebäudezonierung
Vereinfacht wird für alle Fassaden eine mittlere Fensterhöhe von 1,9 m und ein mittlerer Fenstersturz von 0,2 m (UK Decke bis OK Fensterrahmen) angesetzt. Die lichten Raumhöhen werden für jede Zone und jedes Gebäude individuell berücksichtigt. Das im Anhang in Abschnitt A.7 beschriebene Modell wird zur Ermittlung der Tageslichtversorgung genutzt.
Zweifachverglasung mit $U_g = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und einem Lichttransmissionsgrad von 0,78
Das Kontrollsystem der Beleuchtung wird für alle Varianten mit „manuell“ gesetzt, keine Präsenzerfassung.
Die elektrische Bewertungsleistung wird für alle Varianten nach dem Tabellenverfahren ermittelt; unter Berücksichtigung einer direkten/indirekten Beleuchtungsart und einer Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG.
Transmissionswärmeströme zwischen gekühlten und nicht gekühlten Zonen werden nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass die Kriterien des sommerlichen Wärmeschutzes in allen Zonen eingehalten werden.

¹⁶ Die Tabellenwerte der vorberechneten spezifischen Energiekennwerte für die thermische Luftaufbereitung sind für maximale Nutzungsgrade von 75 % berechnet und eine Extrapolation ist nicht vorgesehen.

¹⁷ Nach Gleichung (91) der DIN V 18599-2 kann die mittlere Temperatur der Zuluft wie folgt bilanziert werden:

$\vartheta_{V,mech} = \vartheta_e + \eta_{V,mech} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e)$. Dabei entspricht ϑ_e der mittleren monatlichen Außenlufttemperatur, ϑ_i der Bilanz-Innentemperatur der Gebäudezone und $\eta_{V,mech}$ dem Nutzungsfaktor des Wärmetauschers.

Auswirkungen möglicher interzonaler Luftwechsel werden nicht berücksichtigt, da dies auf Zonenebene definiert wird und auf die Verteilung der Gebäudehüllflächen keinen Einfluss hat.

Strahlungsabsorptionsgrad: Wände 0,4, Dach 0,6

U-Wert der transparenten Flächen für alle Varianten: $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ($U_g = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $U_f = 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $\Psi = 0,06 \text{ W}/(\text{mK})$), Rahmenanteil 30 %, Länge Rahmenverbund vereinfacht mit $L_R = 3 \times A_{\text{Fenster}}$

U-Wert Wände = $0,32 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Dächer = $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Boden und erdreichberührte Bauteile = $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Die Bauweise aller Zonen wird als „mittelschwer“ angenommen.

Um den Einfluss der Lüftungsverluste in der Energiebilanz zu reduzieren, wird für alle Zonen eine mechanische Lüftungsanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 75 % angesetzt.

Die Gebäudedichtheit wird für alle Zonen mit $n_{50} = 1,0 \text{ h}^{-1}$ angesetzt (Windschutzkoeffizient $e_{\text{Wind}} = 0,07$, $f_{\text{Wind}} = 15$).

Ein reduzierter Heizbetrieb wird in Form eines Absenkbetriebs berücksichtigt; keine Wochenendabschaltung.

Es werden die Gesamtenergiebedarfe für den Nutzungs- und Nebennutzzeitraum (Wochenend- und Ferientage) bilanziert.

Um den maximalen Einfluss der solaren Gewinne zu betrachten, wird für alle Varianten kein Sonnenschutzsystem berücksichtigt. Der Energiedurchlassgrad wird durch $g_{\perp} = 0,65$ begrenzt.

keine bauliche Verschattung

Im Rahmen dieser Vergleichsrechnung werden alle Gebäude mit diesen gleichen Eingangsdaten berechnet. Die ausgewiesenen Ergebnisse für die Energiebedarfe entsprechen dabei nicht denen der realen Gebäudeentwürfe mit differenzierten Bauteildaten etc. Die Gebäude unterscheiden sich hinsichtlich des Einsatzes opaker und transparenter Bauteile sowie auch durch unterschiedliche Lüftungs- und Anlagenkonzepte. Die Untersuchung zeigt mögliche Fehlerausprägungen im Energiebedarf am Beispiel 11 der realen Gebäudeentwürfe.

4.2 Primärenergetische Kurzbewertung

Ausgehend von primärenergetischen Überlegungen können Fehler auf der Basis der Nutzenergiebilanz nicht direkt miteinander verglichen werden, da sich diese unterschiedlich stark im Primärenergiebedarf auswirken. Die Rechenmethodik der DIN V 18599 bezieht für die thermischen Bilanzen die Bereiche Übergabe, Verteilung, Speicherung und Erzeugung mit ein. Die durch Verteilung verursachten unregelmäßigen Energieeinträge in Zonen können die Nutzenergiebilanzen dort stark beeinflussen. Um die Fehler auf Primärenergieebene zusammenzuführen, wird eine vereinfachte primärenergetische Bilanz durchgeführt. Auf iterativ zu ermittelnde Effekte wird verzichtet, sodass die Beeinflussung der Nutzenergiebilanzen durch eine unscharfe Flächenzuweisung transparent bleibt.

Die Berechnungsrandbedingungen sind in Abschnitt A.9.4 im Anhang beschrieben. Für die Kurzbewertung werden folgende Annahmen getroffen:

Tabelle 41: Parameter zur vereinfachten Berechnung des End- und Primärenergiebedarfs

Übergabe und Verteilverluste für Heizung	1,18 x Q _h (Annahme: zentrale Verteilung 70/55°C, Übergabe über Heizkörper mit Thermostatventilen)
Übergabe- und Verteilverluste für Kühlung	1,20 x Q _c (Annahme: Verteilung innerhalb des Gebäudes, Übergabe Raumkühlung, Kaltwasser 8/14°C)
Anlagenaufwandszahl für Heizwärmeerzeugung	1,04 (Annahme: Brennwertkessel)
Anlagenaufwandszahl für Kälteproduktion	0,32 (Annahme: luftgekühlte Kompressionskältemaschine)
Primärenergiefaktor für Strom	2,7 (nicht regenerativer Anteil, nach DIN V 18599)
Primärenergiefaktor für Erdgas	1,1 (nicht regenerativer Anteil, nach DIN V 18599)

Bezogen auf eine kWh Nutzenergie in der jeweiligen Energieanwendung (Heizen, Beleuchten und Kühlen) ergeben sich nach der Kurzmethode primärenergetische Bewertungsfaktoren. Darin sind die wesentlichen Einflüsse, Energieträger, Erzeugungsverluste und vereinfacht Übergabe- und Verteilverluste für diese Systemkonfiguration enthalten. Je nach gewähltem Anlagenkonzept oder Wahl des Energieträgers können diese Faktoren natürlich deutlich variieren. Die Faktoren werden in Anlehnung an die Referenzausstattung der kommenden luxemburgischen Energieeinsparverordnung und nach der deutschen EnEV bestimmt [13][14].

Tabelle 42: Primärenergetische Kurzbewertungsfaktoren für eine Standardanlagentechnik

Heizen (gerundet)	1,35 kWh _{Primärenergie} /kWh _{Nutzenergie}
Kühlen (gerundet)	1,04 kWh _{Primärenergie} /kWh _{Nutzenergie}
Beleuchten (gerundet)	2,70 kWh _{Primärenergie} /kWh _{Nutzenergie}

4.3 Zonenbezogene Auswertung

Die Energiebilanzen werden für jede Zone separat durchgeführt und anschließend zu einem gebäudebezogenen Wert aggregiert. In einem ersten Schritt werden bei Anwendung des *einfachen* und *erweiterten Verfahrens* die Fehler im Energiebedarf auf Zonenebene betrachtet. Hierdurch erhält man einen Eindruck, mit welchen zonenbezogenen Unschärfen zu rechnen ist. Dies ist im Detail weniger für eine Gebäudebewertung von Interesse, jedoch kann die Einordnung zu erwartender Zonenfehler beispielsweise für die Energieberatung hilfreich sein.

Für alle 11 Gebäude mit insgesamt 75 Zonen werden die absoluten Fehler im Energiebedarf für Heizwärme, Kälte und Beleuchtungsstrom berechnet. Die folgenden Grafiken zeigen die Verteilung der Fehler bei unterschiedlicher Zuteilung der Gebäudehüllfläche, bezogen auf die Energiebedarfe, die mit realen Hüllflächen berechnet wurden. Bei negativen Abweichungen wird der Energiebedarf in einer Zone überschätzt; positive Werte für den absoluten Fehler zeigen eine Unterschätzung.

Detaillierte Ergebnisse zu den Zonenauswertungen finden sich im Anhang in Abschnitt A.8.

4.3.1 Fehler im Heizwärmebedarf

Für die Heizwärmebilanz werden ohne Wichtungsfaktoren, bei Verteilung der Gebäudehüllfläche nur in Abhängigkeit der Zonenfläche (*einfaches Verfahren*), Fehler von $\pm 30 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ berechnet. Die zonenbasierten Fehler zeigen sich als positive und negative Abweichungen. Dies verdeutlicht, dass eine Kompensation von unscharf zugewiesenen Flächen in anderen Zonen erfolgt. Mit steigender Anzahl der Wichtungsfaktoren reduzieren sich die Abweichungen in ihrer Höhe. Die Anwendung von 2 Faktoren führt nicht unbedingt zu geringen maximalen Einzelfehlern, es werden jedoch tendenziell für alle Zonen geringere Abweichungen berechnet. Die Kennwerte liegen weniger stark verteilt um den Referenzwert (Null-Linie). Bei Anwendung von 4 Wichtungsfaktoren ergeben sich Abweichungen von $\pm 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

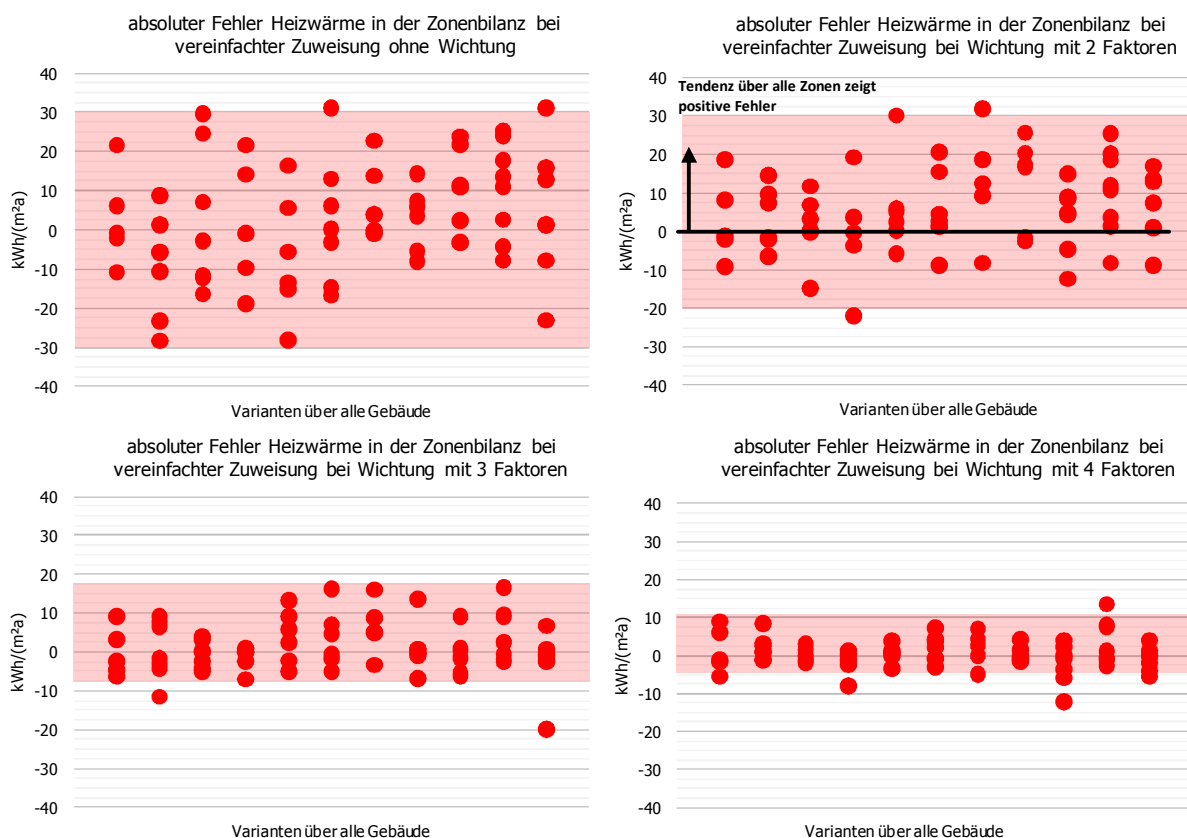


Abbildung 148: Abweichung der absoluten Heizwärme Kennwerte (in $\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{Zonenfläche}})$) in Abhängigkeit unterschiedlicher Hüllflächenverteilung, bezogen auf die Referenzvariante mit realen Bauteilflächen

Die relativen Abweichungen zum Zonenreferenzwert reichen von -70% bis etwa 160% . Die höchsten relativen Abweichungen bilanzieren sich für Zonen mit sehr geringem Heizwärmebedarf, wie z. B. für einen Serverraum. Im Rahmen der Parameteruntersuchung konnte dieser Zusammenhang bereits abgeleitet werden (vgl. Abschnitt 3). Große relative Abweichungen treten auch dann auf, wenn innen liegende Zonen oder Zonen mit sehr wenig thermischen Bauteilflächen infolge einer generellen Verteilung wesentliche opake oder transparente Flächen erhalten. Ein generelles Selektieren dieser Zonen durch eine „vorhanden/nicht vorhanden“-Abfrage kann diese Fälle bereits deutlich verringern. Bei Anwendung von 4 Faktoren reduziert sich für alle Zonen, mit einer Ausnahme, der relative Fehler dann auf $\pm 20\%$.

Die Anwendung des *erweiterten Verfahrens* mit einer Korrektur der Flächenverteilung zeigt auch auf Zonenebene eine generell höhere Genauigkeit bei der Ermittlung zonenspezifischer Kennwerte. Bei

Anwendung des *einfachen Verfahrens* können noch Fehler bis zu $\pm 30 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ berechnet werden, jedoch mit geringerer Streuung. Deutlicher wird das bei der relativen Fehlerbetrachtung. Die Bandbreite der relativen Abweichungen reduziert sich bei Anwendung von 2 Faktoren von maximal 160 % und ohne Wichtung auf 60 %. Eine Verfeinerung bei der Flächenverteilung führt bei der absoluten und relativen Betrachtung zu einer weiteren Fehlerreduktion. Bei 4 Faktoren werden noch Fehler bis zu $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ in einzelnen Zonen berechnet. Die relative Betrachtung liefert hier ein ähnliches Bild $\pm 20 \%$.

Bei den Zonen (1) handelt es sich um innen liegende Zone mit real geringem Heizwärmebedarf, die durch das einfache Verfahren Bauteilflächen erhalten. Die Bestimmung des jeweils kleinsten möglichen Fehlers führt über alle Zonen zu sehr geringen Abweichungen bei der Zuweisung von Bauteilflächen. Da immer die kleinsten möglichen Fehler bei der Flächenverteilung betrachtet werden, kann es für kleine Zonen mit sehr niedrigem Heizwärmebedarf (Serverraum) partiell zu höheren relativen Abweichungen kommen (2).



Abbildung 149: Abweichung der absoluten Heizwärme Kennwerte (in $\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{Zonenfläche}})$) in Abhängigkeit unterschiedlicher Hüllflächenverteilung, bezogen auf die Referenzvariante mit realen Bauteilflächen.

4.3.2 Fehler im Nutzkältebedarf

In den Darstellungen zur Kältebilanz sind nur Fehler für klimatisierte Zonen aufgetragen. Die Verteilung der Gebäudehüllflächen betrifft im *einfachen* wie auch im *erweiterten Verfahren* immer alle Zonen eines Gebäudes. Während beim Heizwärmebedarf und beim Strombedarf für Beleuchtung Kompensationseffekte auftreten, ist das bei gekühlten Zonen in teilklimatisierten Gebäuden meist in geringerem Umfang der Fall. Die Ausprägung der Fehlerverteilung erlaubt demnach keine direkten Rückschlüsse auf einen möglichen Gesamtfehler für das Gebäude, sondern zeigt lediglich Tendenzen der Höhe des Zonenfehlers.

Die Abweichungen im zonenbezogenen Kälteenergiebedarf liegen bei einfacher Verteilung der Gebäudehüllflächen bei $\pm 60 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Auch beim Kältebedarf kann eine deutliche Reduktion der absoluten Fehler durch Anwendung des *erweiterten Verfahrens* aufgezeigt werden. Die Fehlerausprägung bei vier Wichtungsfaktoren liegt bei $\pm 20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, mit Ausnahme von zwei Zonen.

In Gebäude 10, Zone 8 wird für einen Besprechungsraum (1) mit einem Anteil von rund 2,6 % an der Gesamtzonenfläche, selbst unter Anwendung von 4 Faktoren, ein Fehler im Kältebedarf von etwa $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ berechnet. Wie bei der Flächenfehleranalyse in Abschnitt 2.10 festgestellt, wirkt das Wichtungsverfahren unter gewissen Bedingungen nicht ausreichend genau. Es ergeben sich für kleine Zonen tendenziell größere Fehler im Fensterflächenanteil. Der Raum „Besprechung“ (1) hat, bezogen auf seine Grundfläche von $34,2 \text{ m}^2$, eine verhältnismäßig große südorientierte Fensterfläche von $21,4 \text{ m}^2$ ($0,65 \text{ m}^2$ Fenster pro m^2 Zonenfläche). Bei Anwendung des *einfachen Verfahrens* (nettogrundflächenabhängige Zuteilung der Flächen) wird diesem Raum eine Fensterfläche von $5,3 \text{ m}^2$ zugewiesen. Maximiert man die Wichtung der Fensterflächenzuteilung, so steigt die zugeweilte Fensterfläche zwar auf $12,6 \text{ m}^2$ an, liegt aber mit $8,8 \text{ m}^2$ immer noch deutlich unterhalb der realen $21,4 \text{ m}^2$. Der Einfluss großer Zonen ist zu groß, um für diese kleine Zonen eine schärfere Zuteilung zu erreichen. Obwohl dieser Zone nur 4,3 % der gesamten südorientierten Fensterflächen fehlerhaft zugewiesen werden, führt dies zu einem zonenbezogenen Fehler im Kühlenergiebedarf von etwa $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Betrachtet man den resultierenden gebäudebezogenen Fehler, so ist der dort gemachte Fehler marginal. Der Kältebedarf mit realen Flächen liegt bei $5,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, der mit Anwendung von vier Wichtungsfaktoren bei $5,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Ebenso ergibt sich für die Zone „Server“ (2) in Gebäude 6 ein zu hoher Kältebedarf. Die Zone hat einen Anteil an der gesamten Zonenfläche von nur 0,3 % und selbst bei Nutzung von 4 Faktoren werden etwa 14 m^2 zu wenig Außenwandfläche zugeteilt. Dadurch sinkt der Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne. Wie die Parameteruntersuchungen gezeigt haben, ist dies sicherlich nur für Zonen mit sehr hohen internen Lasten der Fall, die dadurch bedingt keinen Heizwärmebedarf haben. Auch hier wirkt sich der Fehler im Kältebedarf durch den geringen Zonenflächenanteil auf Gebäudeebene nur sehr geringfügig aus (Fehler bei Anwendung von 4 Faktoren: $1,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$). Gleiches ist für den Serverraum in Zone (3) der Fall. Hier liegt der Serverraum real im Innern des Gebäudes. Durch das einfache Verfahren wird eine Gebäudehüllfläche generiert, die zu dem Fehler im Kühlenergiebedarf führt. Da der Serverraum keine thermischen Hüllflächen hat, wird durch Anwendung von zwei Faktoren der Fehler null.

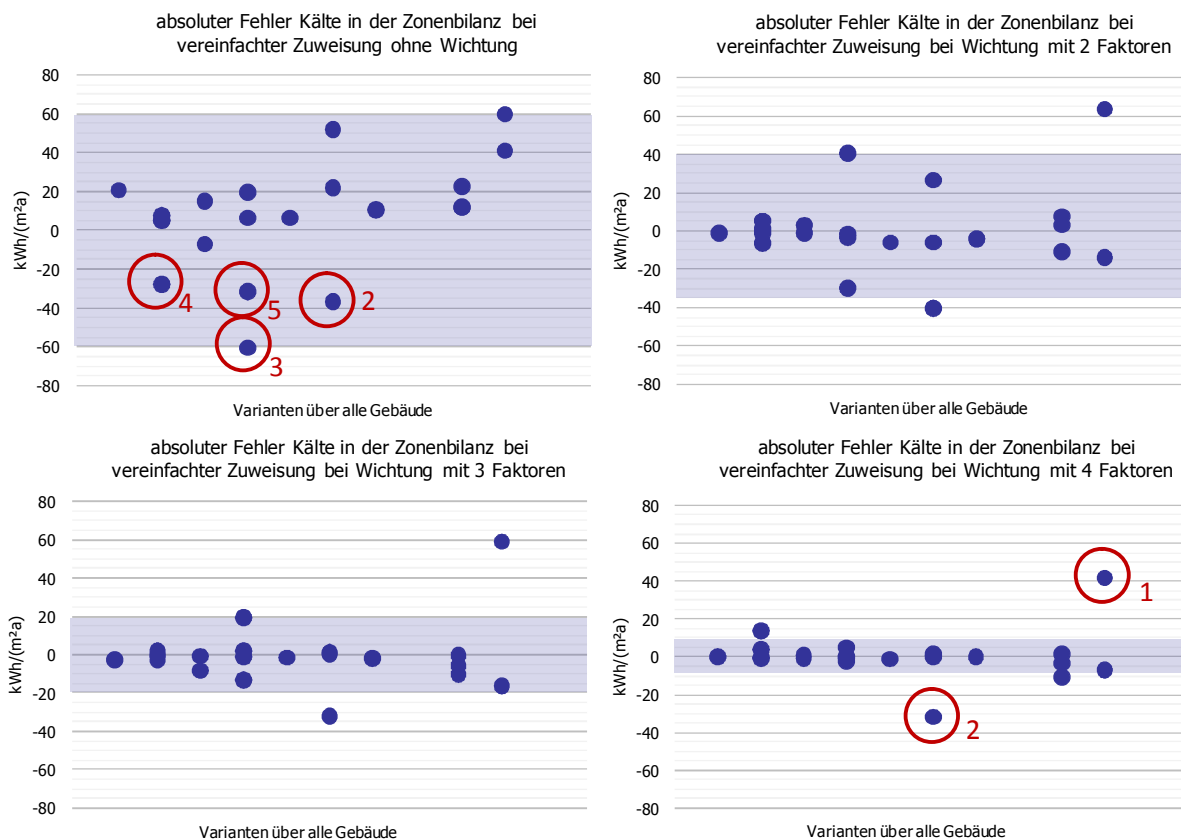


Abbildung 150: Abweichung der absoluten Kältekennwerte (in kWh/(m² Zonenfläche)) in Abhängigkeit unterschiedlicher Hüllflächenverteilung, bezogen auf die Referenzvariante mit realen Bauteilflächen.

Analog zur absoluten Darstellung sind in Abbildung 151 die relativen Fehler für die Zonenbilanzen aufgetragen. Bei einfacher Verteilung der Gebäudehüllflächen berechnen sich tendenziell negative relative Fehler, das heißt, es ergibt sich ein unterschätzter Kühlenergiebedarf. Der Ansatz des kleinsten möglichen Fehlers bei der Hüllflächenverteilung kann dazu führen, dass Zonen mit sehr kleinen Fensterflächenanteilen keine Fenster erhalten. Für Gebäude 2 (BoB) wird eine Bibliothek (4) mit einer Grundfläche von 38,3 m² (1,8 % von A_z) als gekühlt angenommen. Diese Zone hat real keine Fensterfläche. Bei einfacher Verteilung erhält diese Zone einen geringen Fensterflächenanteil, wodurch sich der Kühlenergiebedarf von 7,4 kWh/(m²a) auf 34,4 kWh/(m²a) erhöht. Ähnlich verhält es sich bei Gebäude 4 (Arsenal). Die Flurbereiche (5) (532,7 m²: 8,9 % von A_z) sind real klimatisiert. Der Kühlenergiebedarf dieser Zone mit etwa 40 m² Fensterfläche liegt bei 4,4 kWh/(m²a). Durch einfache Verteilung der Fensterflächen erhält diese Zone knapp 156 m² Fensterfläche und der Kältebedarf erhöht sich deutlich auf etwa 36,5 kWh/(m²a). Eine einfache Wichtung über 2 Faktoren kann diese Fehlbilanzierung bereits deutlich entschärfen, da die Zone überwiegend innen angeordnet ist und so eine schärfere Zuweisung erfolgen kann. Für die beiden Zonen (4, 5) wird ein Fehler von über 100 % ermittelt (366 % und 730 %), welche im Diagramm nicht dargestellt werden.

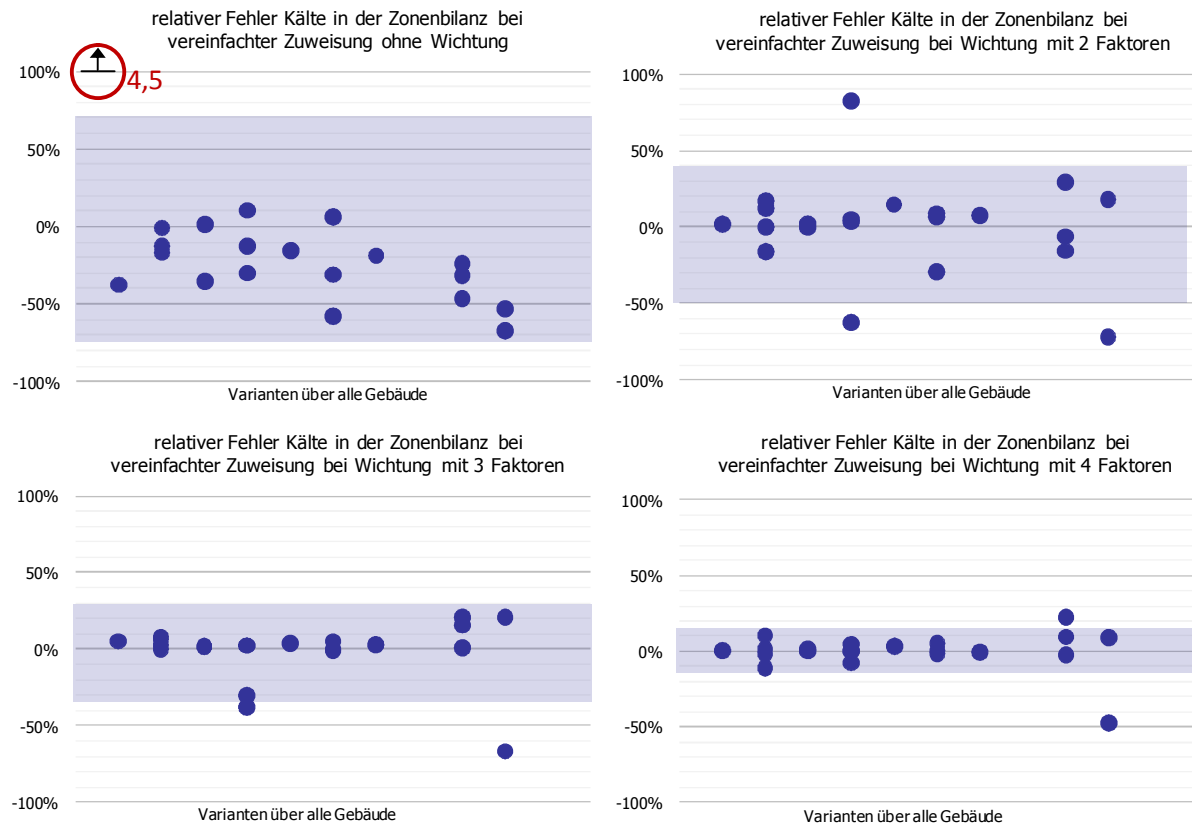


Abbildung 151: Abweichung der relativen Kältekennwerte (in $\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{Zonenfläche}})$) in Abhängigkeit unterschiedlicher Hüllflächenverteilung, bezogen auf die Referenzvariante mit realen Bauteilflächen.

Die Untersuchungen zum Flächenzuordnungsfehler zeigten, dass sich mit steigender Fensterfläche der Fehler im Fensterflächenanteil bei einfacher Zuweisung verringert. In teilklimatisierten Gebäuden ist der Anteil an gekühlten Flächen meist so hoch, dass bei Anwendung des *erweiterten Verfahrens* auch mit geringen Fehlern im Kältebedarf der Zonen zu rechnen ist. Darüber hinaus lässt das *erweiterte Verfahren* für Ausnahmefälle eine detaillierte Eingabe der Fensterflächen auf Zonenebene zu. Der Arbeitsaufwand für einen einzelnen Raum ist gering, sodass sich selbst bei Anwendung der detaillierten Eingabe kein großer Mehraufwand ergibt.

4.3.3 Fehler im Beleuchtungsstrombedarf

Im Strombedarf für Beleuchtung ergeben sich bei einfacher Verteilung absolute Fehler von -6 bis $+10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Die Verteilung der Fehler liegt dabei deutlich im Bereich positiver Abweichungen, wodurch der Energiebedarf über alle Zonen tendenziell unterschätzt wird. Die relativen Fehler liegen analog dazu zwischen -41 und $+33 \%$. Die korrigierte Flächenzuweisung nach dem *erweiterten Verfahren* führt zu einer Verringerung der Fehler und ein Unterschätzen tritt weniger häufig auf. Die Anwendung von differenzierteren Wichtungsfaktoren reduziert die absoluten und relativen Fehler im Beleuchtungsstrombedarf weiter. Bei 4 Faktoren werden maximale zonenbezogene Fehler von $-5,9$ bis $5,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, respektive -16 und $+19 \%$ bilanziert.

Verwendet man bei der Verteilung der Gebäudehüllflächen 2 Wichtungsfaktoren und fragt damit das generelle Vorhandensein von transparenten Flächen in einer Zone ab, so können die absoluten und relativen Fehler im Beleuchtungsstrombedarf deutlich reduziert werden. Wie bereits in vorigen Abschnitten erwähnt, kann es der Fall sein, dass es für Zonen mit sehr geringen Fensterflächen günstiger ist, „keine Fensterfläche vorhanden“ anzugeben, um den Gesamtfehler bei der Verteilung

aller transparenten Flächen zu reduzieren. Dies wird bei der Ermittlung des kleinsten möglichen Fehlers bei der Bauteilzuweisung berücksichtigt. Über alle Gebäude tritt dies in 3 Zonen auf (Gebäude 8, Zone 5: Bibliothek; Zone 7: Besprechung und Gebäude 9, Zone 3: Küche), im Diagramm mit (1) markiert. Durch Ausrichtung auf den kleinsten möglichen Fehler bei der Verteilung der gesamten Gebäudehüllfläche werden diesen Zonen meist zu geringe oder keine Fensterflächen zugeteilt. Bei der Bestimmung der Wichtungsfaktoren ist dieser „Bagatellfall“ entsprechend abzufragen.

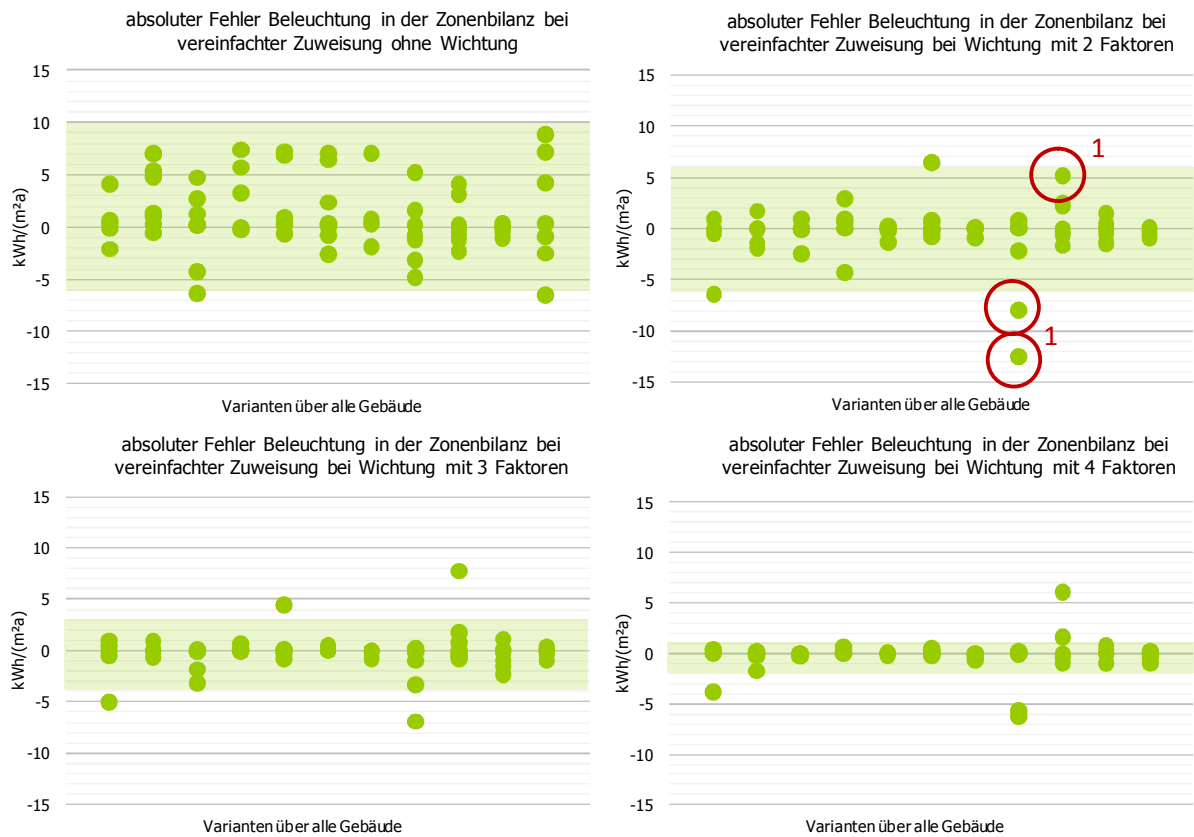


Abbildung 152: Abweichung der absoluten Stromkennwerte Beleuchtung (in kWh/(m²_{Zonenfläche})) in Abhängigkeit unterschiedlicher Hüllflächenverteilung, bezogen auf die Referenzvariante mit realen Bauteilflächen.

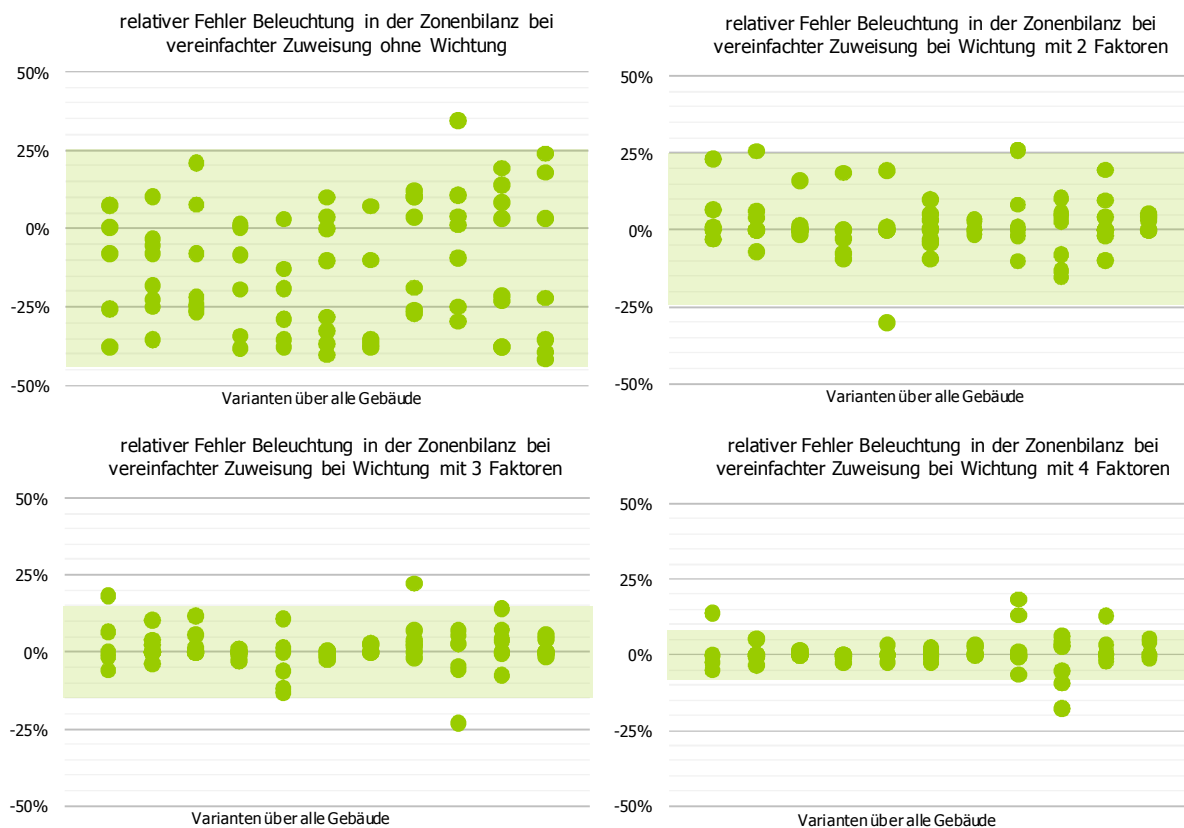


Abbildung 153: Abweichung der relativen Stromkennwerte Beleuchtung (in kWh/(m²_{Zonenfläche})) in Abhängigkeit unterschiedlicher Hüllflächenverteilung, bezogen auf die Referenzvariante mit realen Bauteilflächen.

Wie in den Parameteruntersuchungen (vgl. Abschnitt 3) gezeigt, wirken sich insbesondere Änderungen des Fensterflächenanteils bei geringen Fensterflächenanteilen zwischen 0 und 40 % am stärksten auf den bilanzierten Strombedarf aus. Erhalten Zonen keine Fensterfläche, so wird für diese ein höherer Energiekennwert berechnet. Für die betrachteten Gebäude war dies jedoch nur bei verhältnismäßig kleinen Zonen der Fall. Treten die Fehlzusweisungen jedoch bei größeren Fensterflächen auf, sind die Änderungen im Energiebedarf in der Regel geringer. Tabelle 6 und Tabelle 55 zeigen, dass der mittlere Fensterflächenanteil bei allen betrachteten Gebäuden und Orientierungen bei etwa 47 % liegt. Es ist daher nicht von einer generellen Verschiebung von 0 % Fensterfläche auf 100 % Fensterfläche auszugehen, sondern von einer verteilten Abweichung um den mittleren Fensterflächenanteil von 47 %. Der Ansatz, der in der Parameterstudie verfolgt wurde, den Referenzwert bei 50 % Fensterfläche zu definieren, stimmt gut mit den Mittelwerten über alle Gebäude überein. Die in der Parameteruntersuchung berechneten Fehler lassen sich somit besser auf die Zonenbilanzen übertragen.

Die Energiebilanzen nach der Rechenmethode der DIN V 18599 berücksichtigen ein integrales Zusammenspiel der unterschiedlichen Gewerke. Einen wesentlichen Einfluss auf die thermischen Nutzenergiebilanzen hat dabei der Strombedarf der Beleuchtungsanlagen. Ein zu niedrig berechneter Beleuchtungsstrombedarf führt tendenziell zu einem geringen Kältebedarf in gekühlten Zonen und erhöht dabei gleichzeitig den Heizwärmebedarf. Es treten bei einer unscharfen Verteilung somit weitere indirekte Kompensationseffekte in den thermischen Bilanzen auf.

Fazit

Für die Energieanwendungen Heizwärme, Kälte und Beleuchtung zeigen sich bei der Fehlerbewertung ähnliche Tendenzen. Die einfache Verteilung von Gebäudehüllflächen führt zu einer deutlichen Streuung bzw. der Verteilung der ausgewiesenen Fehler auf Zonenebene. Beim Heizwärmebedarf prägen sich die zonenbezogenen Fehler sowohl als positive als auch als negative Fehler aus und liegen zwischen -30 und $+30$ kWh/(m²a). Da positive und negative Werte auftreten, werden sich diese Fehler im Heizwärmebedarf und im Beleuchtungsstrombedarf zum Teil kompensieren. Auftretende Kompensationseffekte können nur in der gebäudebezogenen Analyse ermittelt und bewertet werden. Ein zu geringer Energiebedarf in Zone a) kann durch einen zu hoch bilanzierten in Zone b) kompensiert werden. Gerade für den Heizwärmebedarf und den Strombedarf für Beleuchtung treten solche Kompensationseffekte auf, da in der Regel alle Zonen eines Gebäudes beleuchtet und beheizt werden. Unbeheizte Zonen werden in den Energiebilanzen nur für die Beleuchtung und Luftförderung betrachtet. Für die Kältebilanz wird die Kompensation deutlich geringer sein, da oft nicht alle Zonen eines Gebäudes klimatisiert sind. Je weniger Zonen gekühlt sind, desto geringer ist auch die Möglichkeit einer Kompensation durch eine andere Zone. In Abschnitt A.9 werden die Ergebnisse auf Gebäudeebene diskutiert.

4.4 Gebäudebezogene Auswertung

Während im vorigen Abschnitt die Untersuchung für die Zonenbilanzen erfolgte, werden nun die aggregierten Ergebnisse auf Gebäudeebene gegenübergestellt. Die gebäudebezogenen Kennwerte dienen zur Bewertung der Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes. Da die berechneten Nutzenergiebedarfe aufgrund verschiedener Energieträger, Erzeugungs-, Verteilungs-, Speicher- und Übergabemöglichkeiten unterschiedlich hohe Auswirkungen auf den Primärenergiebedarf haben, erfolgt die Betrachtung einmal auf Nutzenergieebene und vereinfacht auf Primärenergieebene. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass die gezeigten Energiekennwerte der Gebäude nicht denen der realen Gebäude entsprechen, da alle mit gleichen standardisierten Randparametern berechnet werden. Die realen Entwürfe unterscheiden sich hinsichtlich der Spezifikationen opaker und transparenter Bauteile, des Sonnenschutzes, der Bauschwere sowie natürlich auch durch unterschiedliche Lüftungs- und Anlagenkonzepte. Es werden die aggregierten Zonergebnisse im Energiebedarf auf Gebäudeebene gegenübergestellt. Die Bewertung erfolgt auf Nutzenergie- und Primärenergieebene.

4.4.1 Nutzenergiebedarf

Bei Abweichungen im berechneten Energiebedarf zum Referenzwert sind negative und positive Differenzen in ihrer Ausprägung als gleichwertig zu betrachten, da der Energiebedarf entweder unter- oder überschätzt wird. Um einen typischen mittleren Fehler über alle Gebäude darzustellen, ist es erforderlich, für die Mittelwertbildung Betragswerte zu verwenden, um Kompensationseffekte zu vermeiden. In allen Abbildungen werden die Fehler dazu als positive Fehler dargestellt. Diese Darstellung zeigt damit nicht mehr, ob der Energiebedarf durch die vereinfachte Verteilung der Gebäudehüllflächen eher über- oder unterschätzt wird.

4.4.1.1 Fehler im Heizwärmebedarf

Je Säulengruppe werden die Ergebnisse für die in Tabelle 65 vorgestellten Gebäude angegeben. Eine Säulengruppe entspricht einer untersuchten Zuweisungsvariante. Bei Anwendung des *einfachen*

Verfahrens berechnet sich ein mittlerer Fehler von etwa 3 kWh/(m²a) für alle Gebäude. Verteilt man die Gebäudehüllflächen nach dem *erweiterten Verfahren* – also mit einer Zuweisungskorrektur –, reduziert sich der Fehler bereits bei Anwendung von 2 Faktoren auf unter 1 kWh/(m²a). Eine detailliertere Zuweisung der Gebäudehüllflächen durch Steigerung der Wichtungsfaktoren reduziert den Fehler nicht wesentlich auf 0,4 kWh/(m²a).

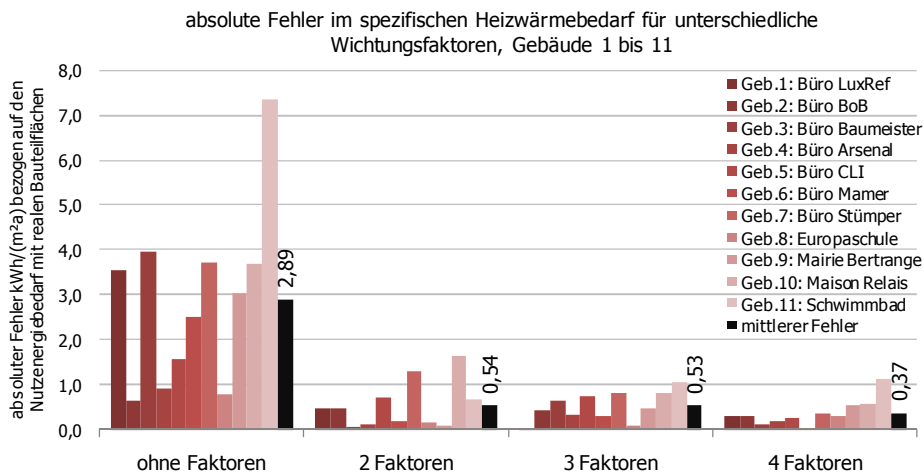


Abbildung 154: Mittlerer absoluter Fehler im Heizwärmebedarf für 11 Gebäude. Jede Säulengruppe entspricht der Reihenfolge der in Tabelle 65 aufgeführten Gebäude. Der letzte Balken einer jeden Säulengruppe zeigt den Mittelwert für alle Gebäude.

Setzt man die relativen Fehler in der Heizwärmebilanz als Bewertungsmaßstab an, so ergibt sich im *einfachen Verfahren* eine mittlere Abweichung von knapp 6 %. Durch Anwendung von bereits 2 Faktoren reduziert sich der Fehler im Energiebedarf auf etwa 1 %. Eine weitere Steigerung der Faktoren führt auch für den relativen Fehler zu keiner bedeutenden Verbesserung. Der in obiger Abbildung höchste absolute Fehler von 7,2 kWh/(m²a) liegt im relativen Vergleichsmaßstab mit etwa 8 % eher im Mittelfeld. Dies ist auf den verhältnismäßig höher berechneten Referenz-Heizwärmebedarf von etwa 90 kWh/(m²a) bei korrekter Flächenverteilung zurückzuführen. Eine unscharfe Verteilung transparenter und/oder opaker Flächen innerhalb beheizter Zonen führt nicht zu nennenswerten Fehlern in den Energiebilanzen. Auf Zonenebene kann der Fehler deutlich ausgeprägter sein, doch es treten Kompensationseffekte auf, die den Fehler auf Gesamtgebäudeebene stark verringern.

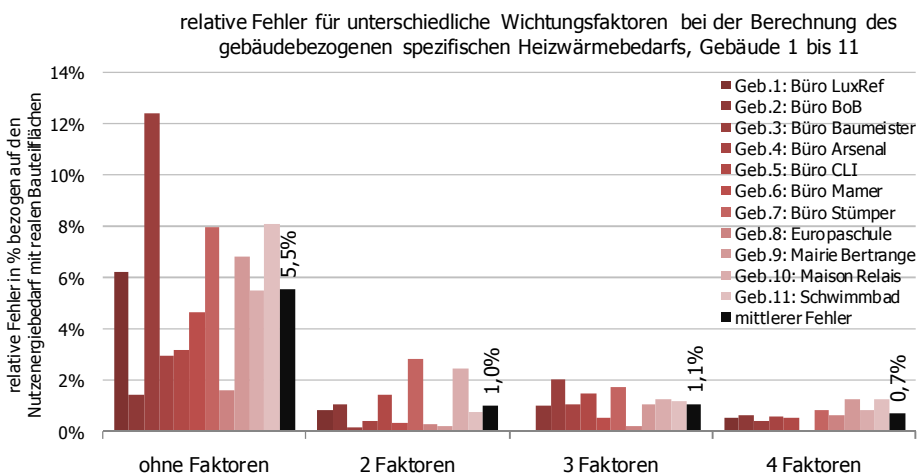


Abbildung 155: Relative Fehler im Heizwärmebedarf für 11 Gebäude. Jede Säulengruppe entspricht der Reihenfolge der in Tabelle 65 aufgeführten Gebäude. Der letzte Balken einer jeden Säulengruppe zeigt den Mittelwert über alle Gebäude.

4.4.1.2 Fehler im Kühlenergiebedarf

Für den berechneten Kältebedarf ergeben sich maximale Fehler von bis zu 16 kWh/(m²a), wenn die Gebäudehüllfläche vereinfacht auf die Zonen verteilt wird. In der vorgelagerten Parameterstudie über den Einfluss wesentlicher Parameter auf die Energiebilanzen zeigte sich, dass bei Anwendung einer unscharfen Zuweisung der Hüllflächen im Wesentlichen die Fensterflächen bzw. der damit verknüpfte Sonnenschutz den Kälteenergiebedarf beeinflussen. Der U-Wert und/oder die Fläche opaker Bauteile spielen für die Kältebilanz eine eher untergeordnete Rolle. Der über alle Gebäude gemittelte absolute Fehler liegt mit knapp 7 kWh/(m²a) deutlich über dem Fehler, der bei der Heizwärmebilanz zu erwarten ist. Es zeigt sich auch hier, dass bereits die Anwendung einer einfachen Zuweisungskorrektur mit 2 Faktoren, insbesondere für die orientierten Fensterflächen, zu einem geringeren Fehler im Kühlenergiebedarf mit im Mittel 1,5 kWh/(m²a) führt. Die Nutzung einer differenzierten Wichtung hat, im Vergleich zur Heizwärmebilanz, einen etwas höheren Einfluss. Die absoluten Werte liegen aber auch hier mit Werten zwischen 1,5 und 0,3 kWh/(m²a) auf niedrigem Niveau.

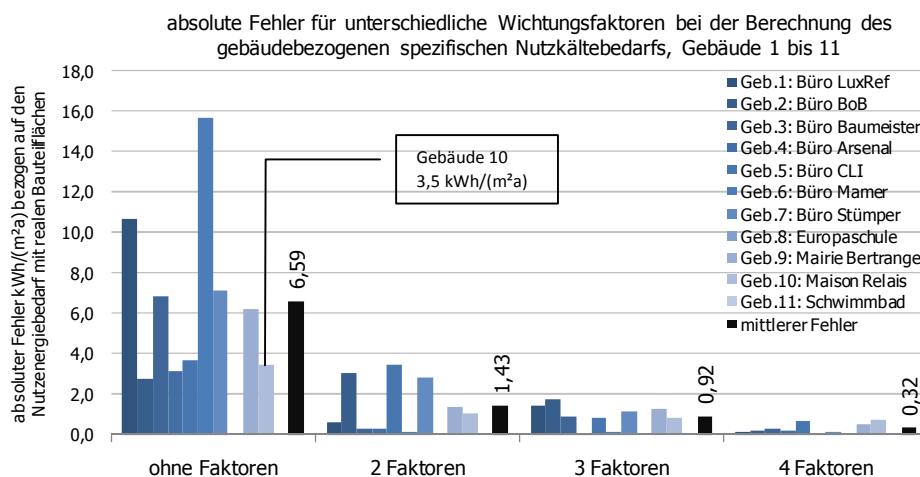


Abbildung 156: Absolute Fehler im Kältebedarf für 11 Gebäude. Jede Säulengruppe entspricht der Reihenfolge der in Tabelle 65 aufgeführten Gebäude. Der letzte Balken einer jeden Säulengruppe zeigt den Mittelwert für alle Gebäude.

Für Gebäude 10 ergibt sich ein absoluter Fehler im gebäudebezogenen Kältebedarf von etwa 3,5 kWh/(m²a). Die relative Abweichung für dieses Gebäude ist mit 60 % sehr ausgeprägt. Der Grund hierfür ist der geringe Teilklimatisierungsgrad des Gebäudes von etwa 7 % durch eine kleine Zone. Der Gesamt-Kältekennwert berechnet sich real mit etwa 5,8 kWh/(m²a). Bei Anwendung des *einfachen Verfahrens* wird für die kleine gekühlte Zone eine zu geringe Fensterfläche berechnet. Beim Wichtungsverfahren ergeben sich, insbesondere bei sehr kleinen Zonen mit verhältnismäßig großen Fensterflächenanteilen, größere Abweichungen. Dieser Zusammenhang wurde in Abschnitt 2.10 bei der Auswertung der bauteilbezogenen Fehler diskutiert. Aufgrund dessen ergibt sich bei ungewichteter Verteilung eine Differenz von 2,3 kWh/(m²a). Der ermittelte relative Fehler muss immer in Zusammenhang mit dem absoluten interpretiert werden.

Für das Gebäude „Geb. 1 Büro LuxRef“ wird bei Verteilung nach dem *einfachen Verfahren* ein gleichzeitig großer absoluter und relativer Fehler berechnet. Dieser große Fehler wird dadurch verursacht, dass real alle südorientierten Fensterflächen einer einzigen gekühlten Zone zugehören. Beim *einfachen Verfahren* erhalten alle anderen nicht gekühlten Zonen Fensterflächen dieser Orientierung, was zu einer Unterschätzung des Gesamtkühlenergiebedarfs führt. Bei Anwendung des *erweiterten Verfahrens* reduziert sich der relative Fehler bereits bei 2 Faktoren für alle Gebäude

deutlich. Dieser Effekt ist besonders beim Gebäude 1 ausgeprägt, da die südorientierten Fensterflächen ausschließlich der klimatisierten Bürozone angehören.

Der mittlere relative Fehler über alle Gebäude liegt mit 25 % ebenfalls deutlich höher als bei der Heizwärmebilanz. Es zeigt sich, dass ein Kompensationseffekt bei Verschiebung von Bauteilflächen (insbesondere von Fensterflächen) für die Kältebilanz nur zwischen gekühlten Zonen vorhanden ist, was bei teilklimatisierten Gebäuden oft nicht der Fall ist. Die Fehler für den gebäudebezogenen Kältebedarf verringern sich von ca. 7 %, bei Anwendung von 2 Faktoren, auf minimal etwa 3 % bei Nutzung der Zuweisungskorrektur über 4 Faktoren.

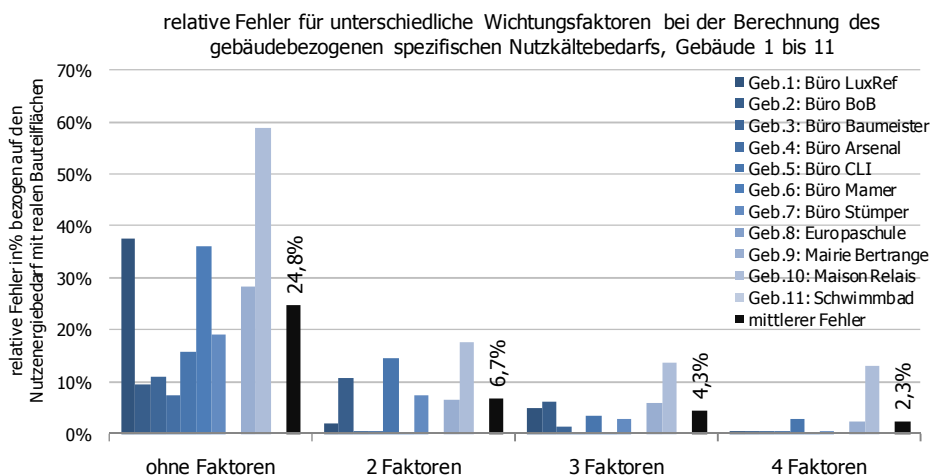


Abbildung 157: relative Fehler im Kältebedarf für 11 Gebäude. Jede Säulengruppe entspricht der Reihenfolge der in Tabelle 65 aufgeführten Gebäude. Der letzte Balken einer jeden Säulengruppe zeigt den Mittelwert für alle Gebäude.

4.4.1.3 Fehler im Beleuchtungsstrombedarf

Der Beleuchtungsstrombedarf ist nur von der Zuweisung transparenter Flächen abhängig, durch welche eine Tageslichtnutzung ermöglicht wird. Die unscharfe Zuteilung von Fensterflächen zu verschiedenen Zonen führt zu Kompensationseffekten, da in der Regel alle Zonen belichtet werden. Der Fehler wird umso größer, je größer die Unterschiede in der Effizienz des Beleuchtungssystems oder aber durch die im Nutzungsprofil hinterlegten Randbedingungen (Beleuchtungsstärke, Nutzungszeiten etc.) sind. Die Parameteruntersuchungen zeigen, dass der Einfluss der Fensterfläche auf den Beleuchtungsstrombedarf, insbesondere bei geringen Fensterflächenanteilen, sehr ausgeprägt ist. Ab Fensterflächenanteilen von etwa 50 % (für typische Büroräume) nimmt der Einfluss der Fensterfläche auf den Beleuchtungsstrombedarf deutlich ab. Dieser Zusammenhang spielt bei Zuweisung von Fensterflächen für die Ausprägung von Kompensationseffekten eine Rolle.

Der mittlere Fehler für alle Gebäude liegt bei rund $0,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, bei einem maximalen von etwa $3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Zur Interpretation der Ergebnisse muss bedacht werden, dass die Tageslichtversorgung nicht das wesentliche Hauptmerkmal ist, welches einen Einfluss auf den bilanzierten Beleuchtungsstrombedarf hat. Maßgeblich sind unter anderem die Betriebszeit, der Tages- und Nachtanteil sowie die installierte Beleuchtungsleistung. Anders als bei den thermischen Bilanzen, fließt die Fensterfläche eher als „indirekte“ Größe in die Bilanzierung ein. In Bezug auf die Fehlerausprägung zeigen sich für den Beleuchtungsstrombedarf ähnliche Tendenzen wie bei den thermischen Bilanzen. Im Mittel reduziert sich der Fehler über alle Gebäude bei Anwendung von 2 Faktoren auf unter $0,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Steigert man die Genauigkeit der Hüllflächenzuweisung durch Anwendung von mehreren Wichtungsfaktoren, so ergeben sich keine wesentlich geringeren Fehler.

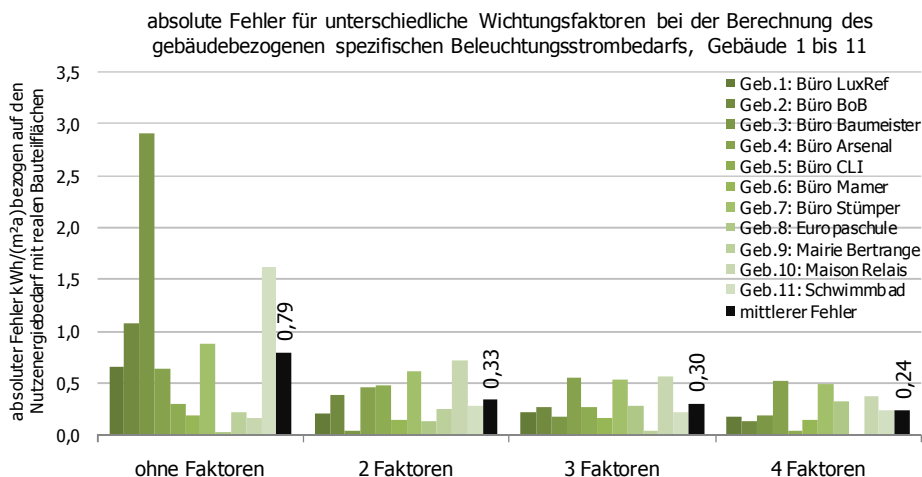


Abbildung 158: absolute Fehler im Beleuchtungsstrombedarf für 11 Gebäude. Jede Säulengruppe entspricht der Reihenfolge der in Tabelle 65 aufgeführten Gebäude. Der letzte Balken einer jeden Säulengruppe zeigt den Mittelwert für alle Gebäude.

Die absoluten und relativen Fehler im Beleuchtungsstrombedarf korrespondieren gut zueinander. Hohe absolute Fehler verursachen in der Regel auch hohe relative Fehlerausprägungen. Der mittlere relative Fehler für alle Gebäude liegt bei einfacher Verteilung der Flächen (ungewichtet, ohne Faktoren) bei etwa 4 % und kann durch schärfere Zuweisung der transparenten Flächen deutlich reduziert werden. Durch die Anwendung von 2 Faktoren halbiert sich der Fehler auf 2 %. Bei der maximalen Zuweisungsschärfe mit 4 Faktoren reduziert sich der mittlere Fehler weiter auf 1,5 %.

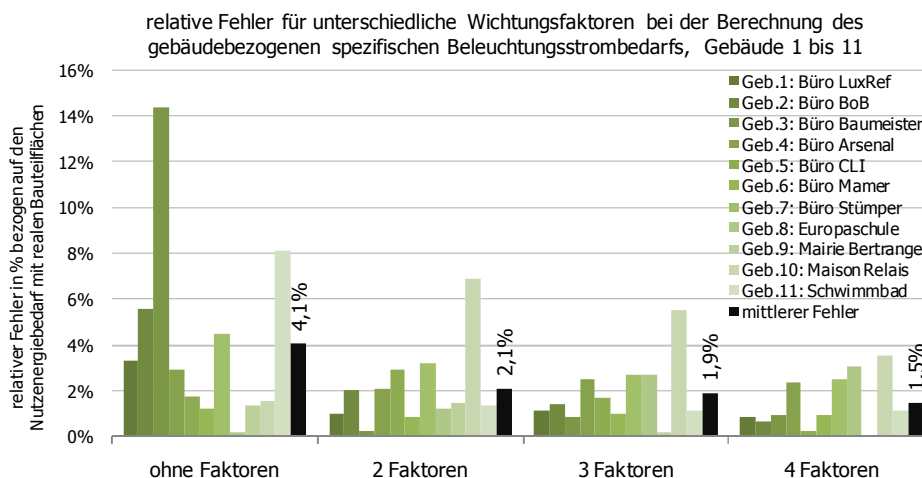


Abbildung 159: relative Fehler im Beleuchtungsstrombedarf für 11 Gebäude. Jede Säulengruppe entspricht der Reihenfolge der in Tabelle 65 aufgeführten Gebäude. Der letzte Balken einer jeden Säulengruppe zeigt den Mittelwert für alle Gebäude.

4.4.1.4 Fehler im Nutzenergiebedarf

Abbildung 160 und Abbildung 161 zeigen die Ergebnisse der mittleren Fehler zusammengefasst. Die Betrachtung des mittleren Fehlers zeigt allgemeine Tendenzen auf, in welcher Höhe sich der gebäudebezogene Energiebedarf bei Anwendung des *einfachen* und *erweiterten Verfahrens* ändert. Die größten Fehler treten aufgrund geringerer Kompensationsmöglichkeiten im Kältebedarf auf. Beim Kältebedarf beträgt der Unterschied für den Fall der einfachen Verteilung (ungewichtet, ohne Korrektur) im Nutzkältebedarf für alle Gebäude rund 7 kWh/(m²a). Für den Heizwärmebedarf wird eine durchschnittliche Abweichung von 3 kWh/(m²a) und für den Beleuchtungsstrombedarf eine Abweichung unter 1 kWh/(m²a) berechnet. Die Anwendung einer generellen Abfrage, ob ein Bauteil in einer Zone vorkommt oder nicht, hat einen deutlichen Einfluss auf die Fehlerausprägung im Energiebedarf. Die Anwendung des *erweiterten Verfahrens* mit 2 Faktoren führt zu deutlich

geringeren Fehlern beim Kältebedarf. Eine Erhöhung der Wichtungsfaktoren führt zu einer weiteren Verbesserung. Es zeigt sich, dass durch eine generelle Abfrage, ob ein Bauteil in einer Zone vorhanden ist oder nicht, der mittlere Fehler um das etwa 4,4-fache reduziert werden kann.

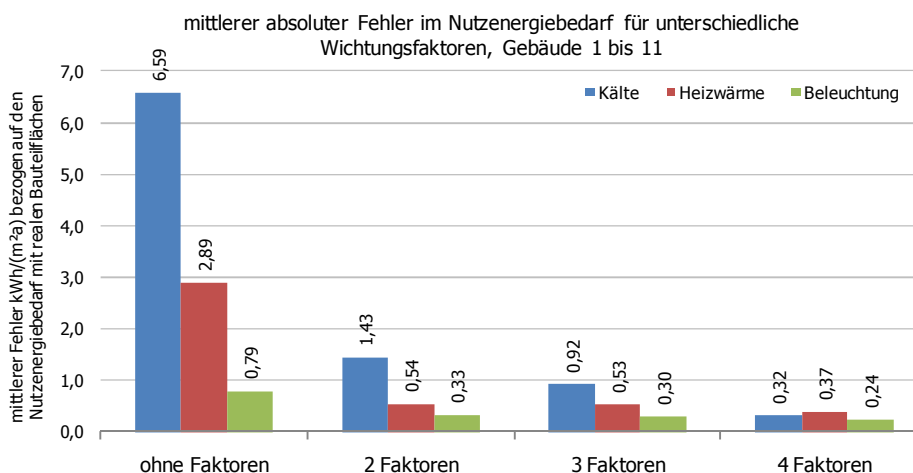


Abbildung 160: Darstellung des mittleren Fehlers im Nutzenergiebedarf für Heizwärme, Kälte und Beleuchtungsstrom bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren; alle Gebäude 1 bis 11

Die Darstellung der relativen Abweichungen zeigt ebenfalls eine auf Gebäudeebene bezogene Auswertung. Ohne Faktoren berechnet sich für den Kältebedarf ein Fehler von rund 25 %. Für den Heizwärmebedarf ergeben sich knapp 6 % und für den Beleuchtungsstrombedarf etwa 4 %. Kommen 2 Korrekturfaktoren bei der Flächenverteilung zur Anwendung, reduziert sich die Abweichung im Kältebedarf deutlich auf etwa 7 %. Im Heizwärmebedarf wird ein Fehler von 1 % und im Beleuchtungsstrombedarf von 2 % ermittelt. Eine Detaillierung bei der Flächenzuweisung mit 3 oder 4 Faktoren wirkt sich in erster Linie im Kältebedarf aus. Beim Heizwärme- und Beleuchtungsstrombedarf kann keine signifikante Verbesserung festgestellt werden.

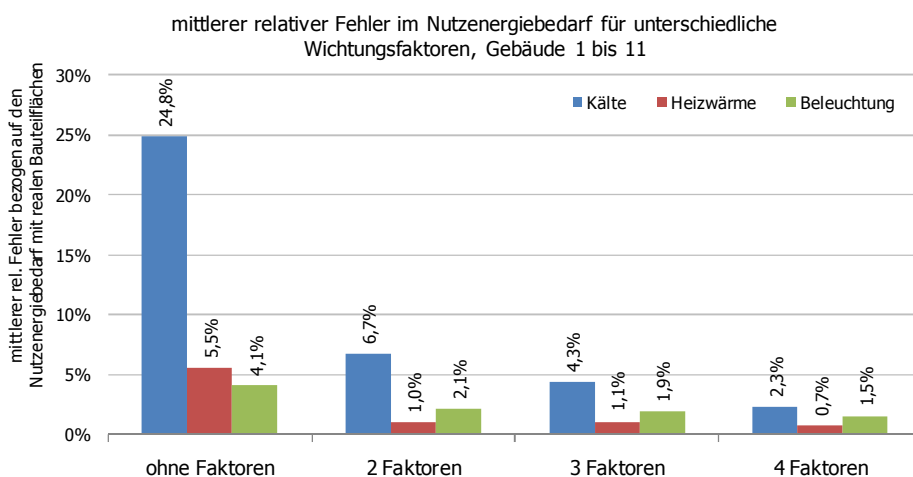


Abbildung 161: Darstellung des mittleren relativen Fehlers im Nutzenergiebedarf für Heizwärme, Kälte und Beleuchtungsstrom bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren, alle Gebäude 1 bis 11

4.4.1.5 Fehler im Primärenergiebedarf

Analog zur Auswertung im Nutzenergiebedarf zeigt sich bei der primärenergetischen Bewertung auch, dass im Bereich der Kälte die höchsten Abweichungen bilanziert werden. Der Einfluss der Bereiche Heizen und insbesondere Beleuchten ist, aufgrund der höheren Bewertungsfaktoren, deutlich ausgeprägter als in der Nutzenergiebilanz.

Neben dem mittleren Fehler für alle Gebäude ist auch der maximal auftretende Fehler für alle Gebäude interessant. Bei der Interpretation des maximalen Fehlers ist jedoch zu beachten, dass dieser beim Variantenvergleich in unterschiedlichen Gebäuden auftreten kann. Für das Beispiel Kühlung tritt der maximale Fehler im Energiebedarf beim *einfachen Verfahren* (ohne Faktoren) mit knapp 17 kWh/(m²a) in Gebäude 6 (Büro Mamer) auf. Durch Anwendung des *erweiterten Verfahrens* (hier 2 Faktoren) reduziert sich der maximale Fehler bereits auf 0,1 kWh/(m²a) und Gebäude 5 (Büro CLI) markiert hier die maximale Ausprägung. Durch Anwendung des *erweiterten Verfahrens* mit 2 Faktoren verringert sich der mittlere Fehler für Kühlung deutlich auf unter 2 kWh/(m²a), bei einem maximalen Fehler auf knapp 4 kWh/(m²a).

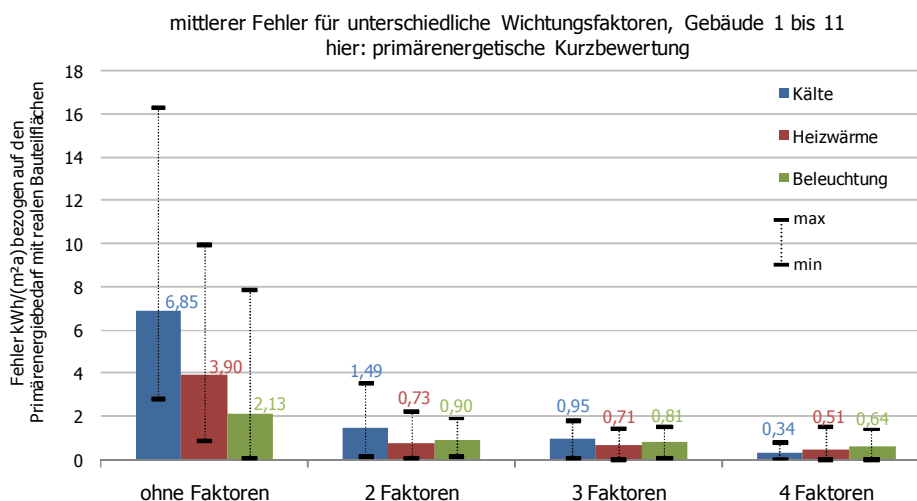


Abbildung 162: Darstellung des Fehlers im Primärenergiebedarf für Heizwärme, Kälte und Beleuchtungsstrom bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren für alle Gebäude. Die Zahlenwerte im Diagramm entsprechen den Mittelwerten für die jeweilige Energieanwendung. Für jeden Mittelwert wird der maximale und minimale Fehler angegeben.

Die gezeigten Werte können nicht ohne Weiteres zu einem mittleren Gesamtfehler des Gebäudes addiert werden, da es sich um Mittelwerte je Energieanwendung handelt und in Gebäuden unterschiedlich starke Kompensationseffekte wirken. Diese Betrachtung liefert lediglich den maximalen primärenergetischen Fehler, der für eine Energieanwendung zu erwarten ist. Durch Kompensationswirkungen ist der Gesamtfehler im Gebäude-Primärenergiebedarf niedriger einzuschätzen und wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

4.4.2 Primärenergiebedarf

Da für alle Gebäude die gleichen technischen Randbedingungen für Bau- und Anlagentechnik nach Tabelle 40 verwendet werden, ergeben sich die Unterschiede im Primärenergiekennwert zwischen den Gebäuden aufgrund folgender Einflussfaktoren:

- | | |
|------------------------|------------------|
| • Nutzungsstrukturen | • interne Lasten |
| • Mindestluftwechsel | • Betriebszeiten |
| • Beleuchtungsstärke | • Gebäudeentwurf |
| • Raumhöhen | • A/V-Verhältnis |
| • Fensterflächenanteil | |

4.4.2.1 Primärenergiebedarf für Heizen

Der primärenergiebewertete Heizwärmebedarf variiert zwischen den Gebäuden aufgrund der soeben genannten Unterschiede zwischen 40 kWh/(m²a) (Gebäude mit verhältnismäßig hohen Gewinnen) und 120 kWh/(m²a) (Gebäude mit sehr großen Raumhöhen und entsprechend kleiner Bezugsfläche). Über alle Gebäude zeigt sich die Tendenz, dass der Heizwärmebedarf durch Anwendung des *einfachen Verfahrens* unterschätzt wird. Dies begründet sich im Wesentlichen durch die unscharfe Verteilung der transparenten Flächen und dem vom Nutzungsprofil abhängigen Einfluss auf den Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne. Bei Anwendung von 2 Faktoren ergeben sich, im Vergleich zur Referenzvariante, nur geringe Unterschiede im Primärenergiebedarf für Heizen.

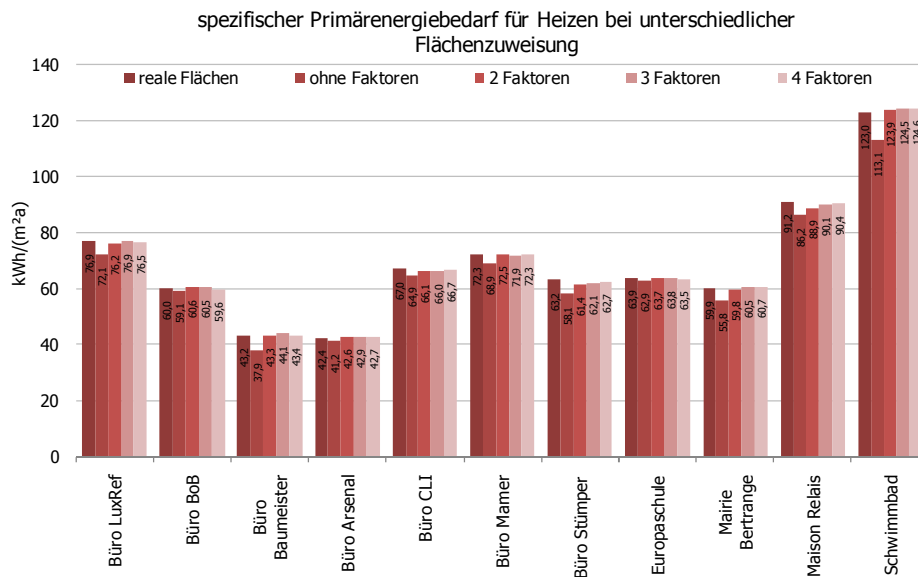


Abbildung 163: Spezifischer Primärenergiebedarf für Heizen bei unterschiedlicher Flächenzuweisung

4.4.2.2 Primärenergiebedarf für Kühlen

Die Gebäude „Europaschule“ und „Schwimmbad“ sind nicht gekühlt; entsprechend wird kein Kühlenergiebedarf bilanziert. Vergleicht man die Energiekennwerte zwischen den Gebäuden, so ergeben sich Primärenergiebedarfe zwischen 5 kWh/(m²a) und 65 kWh/(m²a). Das Büro „Baumeister“ (Gebäude 3) markiert das Gebäude mit dem höchsten Kühlenergiebedarf. Dieser wird maßgeblich durch einen großen Serverraum (8 % Flächenanteil an der konditionierten Grundfläche) beeinflusst. Ebenso ist zu beachten, dass gemäß den Randbedingungen kein Sonnenschutz in der Energiebilanz berücksichtigt wird und die solaren Lasten den Kühlenergiebedarf „ungedämpft“ beeinflussen. Die Differenzen sind hier deutlich größer als bei der Heizwärmebilanz, was auf die bereits beschriebene fehlende Kompensation zurückzuführen ist.

Es zeigt sich ebenfalls die Tendenz, dass bei Anwendung des *einfachen Verfahrens* der Kälteenergiebedarf unterschätzt wird. Ein wesentlicher Grund hierfür ist, dass beim *einfachen Verfahren* alle Zonen Fensterflächen zugewiesen bekommen, ungeachtet dessen, ob dort welche vorhanden sind oder nicht. Die auf diese Zonen verteilten Flächen fehlen dann in den Hauptnutzungszonen, die meist auch die gekühlten Bereiche eines Gebäudes darstellen.

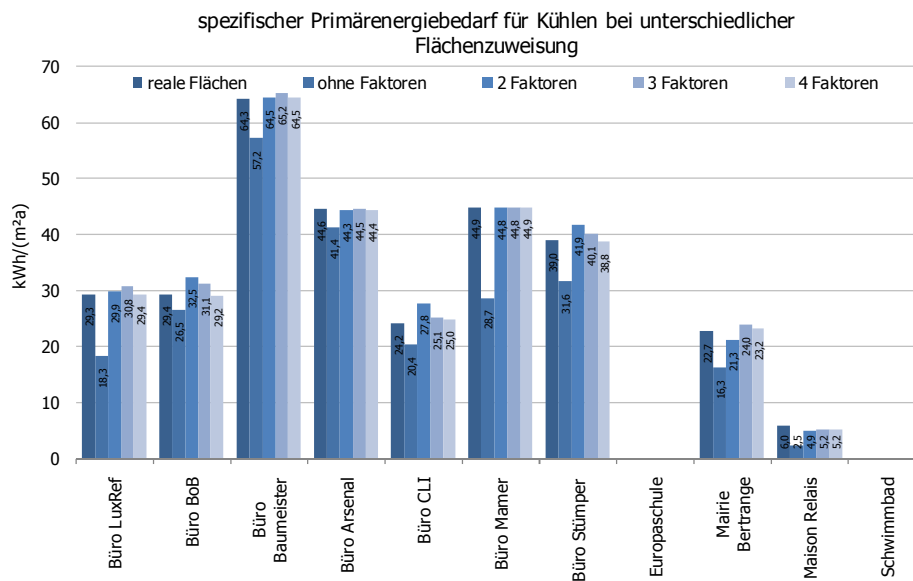


Abbildung 164: Spezifischer Primärenergiebedarf für Kühlen bei unterschiedlicher Flächenzuweisung

4.4.2.3 Primärenergiebedarf für Beleuchten

Analog zur Primärenergieauswertung für Heizung und Kühlung werden folgend die Unterschiede im Beleuchtungsstrombedarf dargestellt. Differenzen zwischen den Gebäuden hängen im Wesentlichen von der Nutzungsstruktur respektive vom erforderlichen Beleuchtungsniveau aller Zonen ab. Je geringer die Anforderung an die Beleuchtungsstärke ist, desto geringer ist auch die erforderliche elektrische Bewerleistung. Die Bürogebäude liegen alle auf einem ähnlichen Niveau zwischen 45 und 55 kWh/(m²a). Die Hauptnutzräume der Gebäude 8 „Europaschule“ und 10 „Maison Relais“ haben eine deutlich niedrigere Beleuchtungsanforderung (300 Lux), was zu Primärenergiekennwerten um die 30 kWh/(m²a) führt. Die Differenzen zwischen den Primärenergiekennwerten bei unterschiedlicher Flächenzuweisung sind ebenfalls nicht sehr ausgeprägt. Bei reiner nettogrundflächenabhängiger Verteilung ergeben sich Unterschiede von bis zu 8 kWh/(m²a). Bei Anwendung von 2 Faktoren liegen die Differenzen mit maximal 2 kWh/(m²a) deutlich darunter.

Die Anwendung des *einfachen Verfahrens* zeigt jedoch nicht die gleichen Tendenzen, dass der Energiebedarf unterschätzt wird, wie es bei der Heizwärme- oder Kältebilanz der Fall ist. Es treten positive und negative Abweichungen auf (hier sind Absolutwerte dargestellt). Im Rahmen der Parameterstudien konnte festgestellt werden, dass der Einfluss der Fensterfläche auf den Beleuchtungsstrombedarf bei geringen Fensterflächenanteilen am ausgeprägtesten ist. Mit steigender Fensterfläche tritt ein Sättigungsverhalten ein. Durch die Verteilung nach dem *einfachen Verfahren* wird die Fensterfläche in allen Zonen in beide Richtungen beeinflusst, was je nach Gebäudeentwurf zu einer Über- oder Unterschätzung des Strombedarfs führen kann.

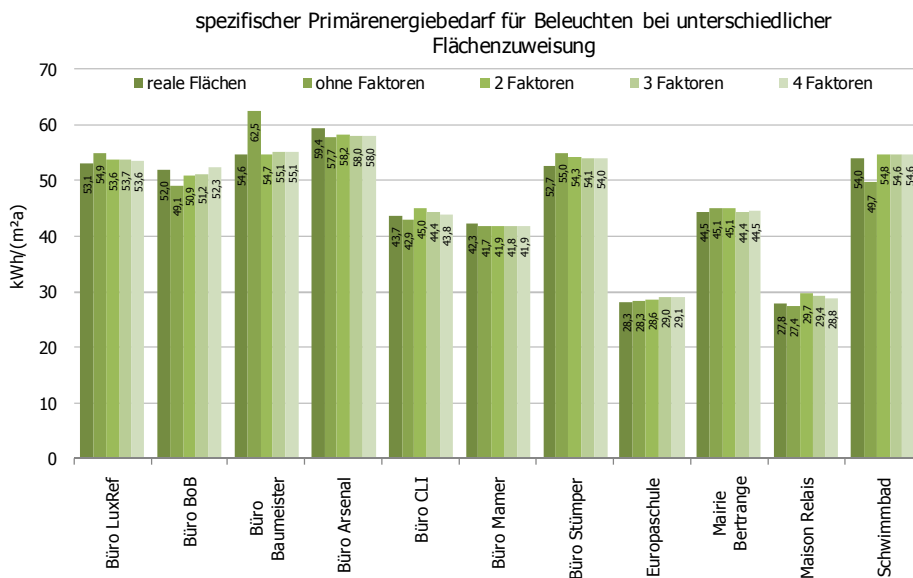


Abbildung 165: Spezifischer Primärenergiebedarf für Beleuchten bei unterschiedlicher Flächenzuweisung

4.4.2.4 Gesamt-Primärenergiebedarf

Aggregiert man die Primärenergiebedarfswerte der Energieanwendungen Heizen, Kühlen und Beleuchten, so ergeben sich über alle Gebäude Primärenergiekennwerte zwischen 90 und 180 kWh/(m²a). Die Differenzen bei der Anwendung verschiedener Flächenverteilung können sich auf Gesamt-Primärenergieebene weiter kompensieren. Während sich für Gebäude 3, bei Anwendung des *einfachen Verfahrens*, noch ein großer Fehler im Kühlenergie- (zu gering berechnet) und Beleuchtungsstrombedarf (zu hoch berechnet) ergibt, kompensieren sich beide Fehler bei der Gesamt-Primärenergieanwendung zu einem geringeren Gesamtfehler. Bei Anwendung des *einfachen Verfahrens* wird der Gesamt-Primärenergiebedarf aller Gebäude unterschätzt.

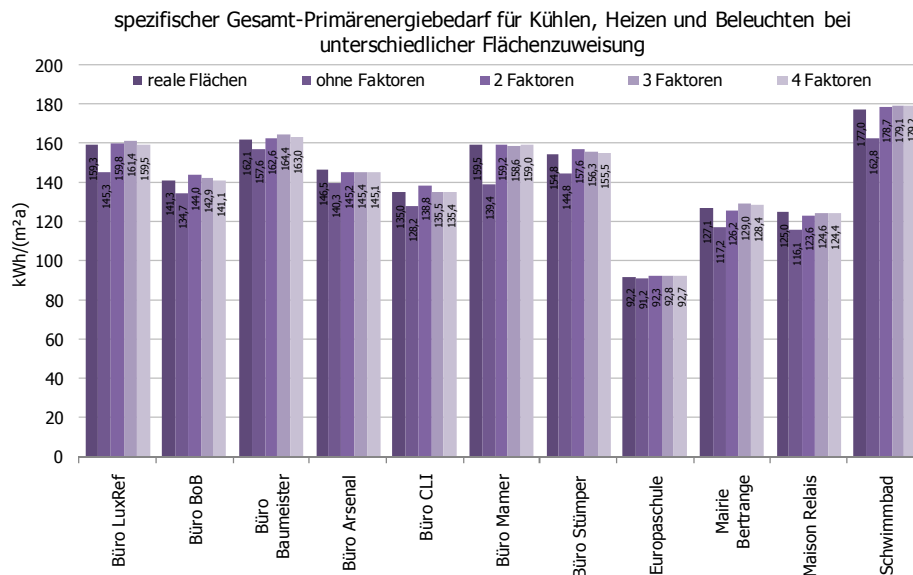


Abbildung 166: Spezifischer Gesamt-Primärenergiebedarf für Heizen, Kühlen und Beleuchten bei unterschiedlicher Flächenzuweisung

4.4.2.5 Fehler im Gesamt-Primärenergiebedarf

Wie in den vorigen Abschnitten gezeigt, können sich Fehler in einzelnen Gebäuden unterschiedlich stark kompensieren. Die Auswertung der mittleren Fehler berücksichtigt für die Mittelwertbildung

daher immer nur absolute Beträge. Durch die unterschiedlich ausgeprägten Kompensationseffekte (\pm Abweichungen, insbesondere im Strombedarf für Beleuchtung) ergeben sich geringere Werte, wie die folgenden Bilder verdeutlichen. Die absolute Abweichung liegt bei etwa 10 kWh/(m²a), die relative bei rund 6,5 %. Bei Anwendung von bereits 2 Wichtungsfaktoren verringert sich der Fehler im Gesamt-Primärenergiebedarf unter 2 kWh/(m²a) respektive auf 1 %. Eine Steigerung der Faktorentiefe führt nicht zu einer wesentlich höheren Genauigkeit.

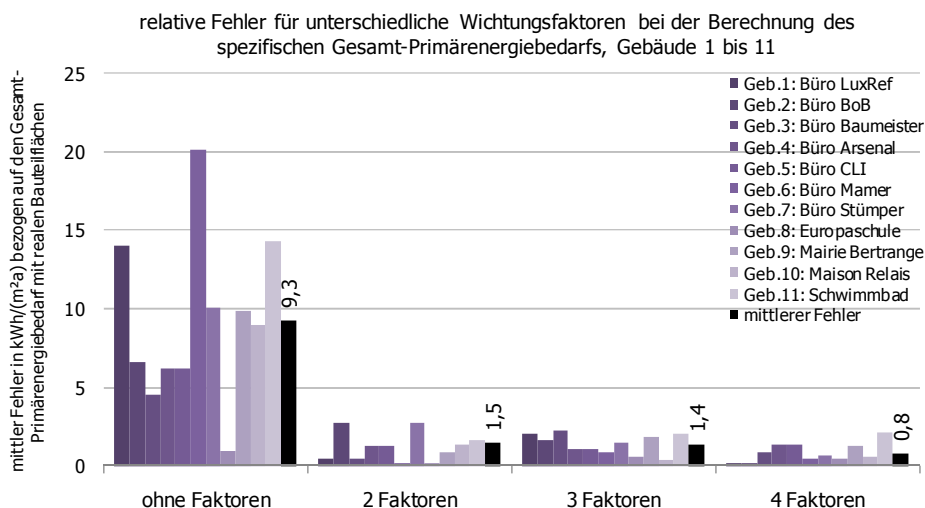


Abbildung 167: Darstellung des mittleren absoluten Fehlers im Gesamt-Primärenergiebedarf bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren, alle Gebäude 1 bis 11

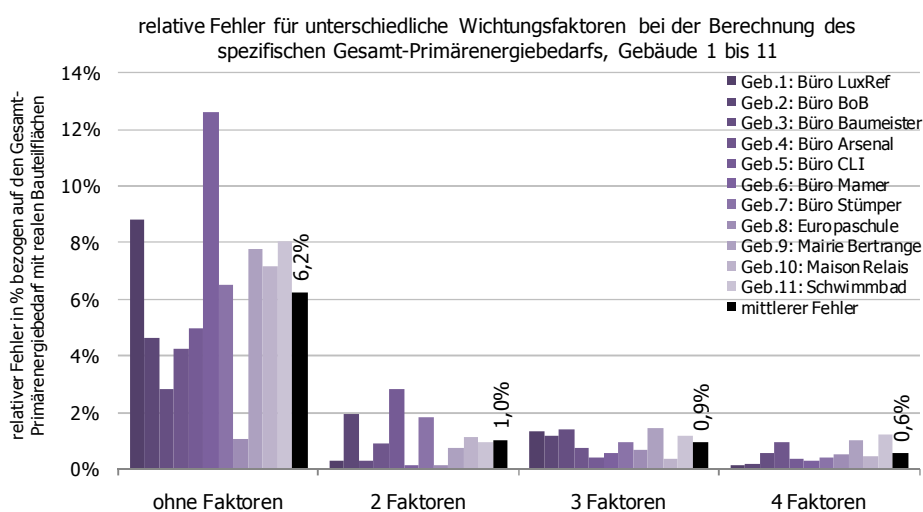


Abbildung 168: Darstellung des mittleren relativen Fehlers im Gesamt-Primärenergiebedarf bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren, alle Gebäude 1 bis 11

4.5 Flächenfehler und Fehler im Energiebedarf

In den vorigen Abschnitten wurden die energetischen Auswirkungen bei Anwendung der vereinfachten Hüllflächenverteilung untersucht. Jedem dort ermittelten Fehler im Energiebedarf steht auch ein bauteilbezogener Flächenfehler gegenüber. Wird eine Bauteilfläche nur in Abhängigkeit der Zonenfläche unscharf zugewiesen, so ergibt sich durch den Verteilungsalgorithmus ein direkter Zusammenhang zwischen diesem Fehler und der Größe der Zone. Die bauteilbezogenen Fehler sind somit klar definiert. Fehler im Energiebedarf können, wie zuvor erläutert, unter anderem auch durch unterschiedlich stark ausgeprägte Kompensationseffekte beeinflusst werden. Es ist davon

auszugehen, dass Zuweisungsfehler nicht in jedem Fall die gleichen Auswirkungen im Energiebedarf haben. Die Zusammenführung der beiden Analysen zeigt Abhängigkeiten zwischen den beiden Analysen, die sich unter Berücksichtigung dieser Kompensationseffekte auf tun. Die schematische Vorgehensweise bei der Integration beider Auswertungen erfolgt auf Gebäudeebene und wird in folgender Abbildung dargestellt.

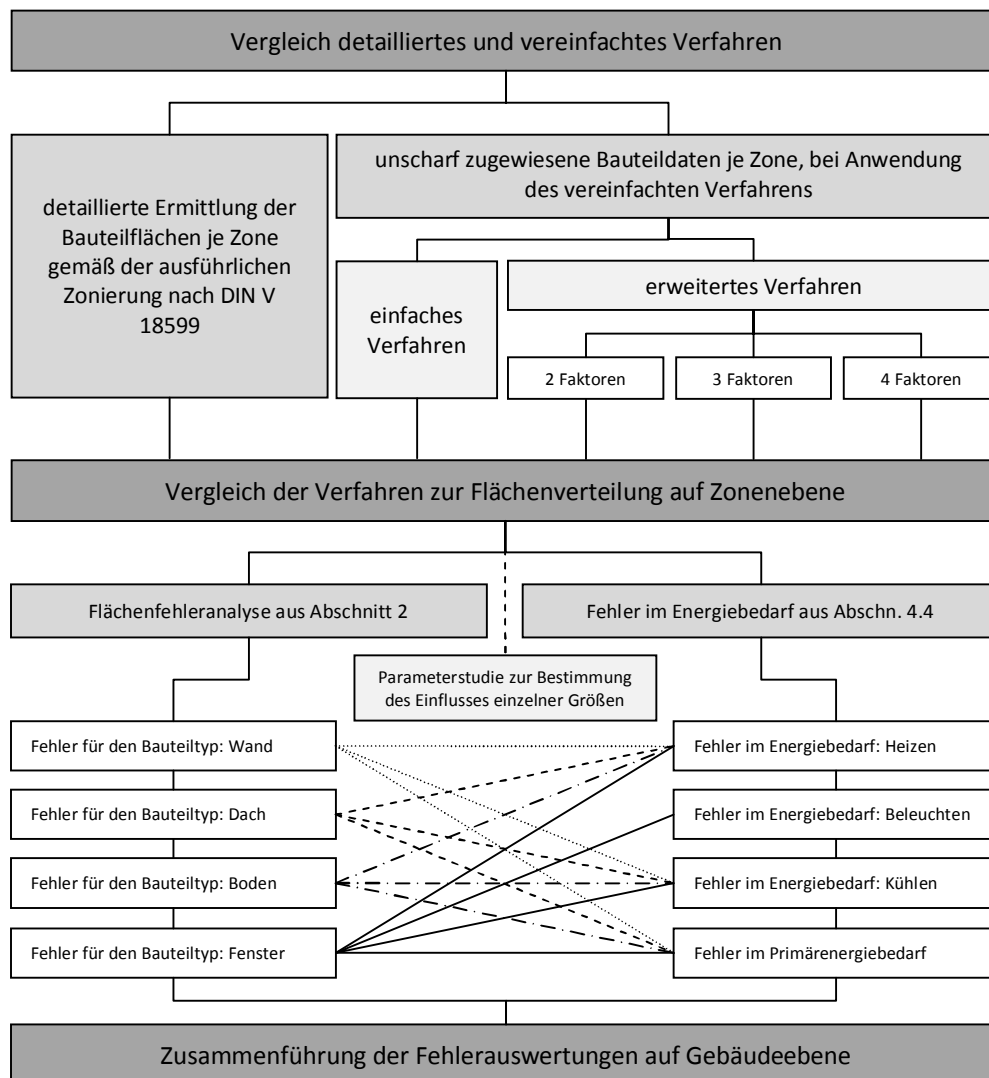


Abbildung 169: Schematische Darstellung der Zusammenführung der bauteilbezogenen und energiebezogenen Fehleranalyse bei Anwendung des einfachen und erweiterten Verfahrens zur Hüllflächenverteilung

Die Auswertungen werden für alle elf Gebäude kombiniert. Spannt man die mittleren bauteilbezogenen Fehler und die mittleren Fehler im Energiebedarf in einem Diagramm auf, so erhält man einen Eindruck, ob und wie hoch eine Abhängigkeit zwischen unscharf zugewiesenen Bauteilen und daraus resultierenden Fehlern im Energiebedarf zu erwarten ist. Je nach Energieanwendung werden die Fehler im Energiebedarf den entsprechenden bauteilbezogenen Fehlern für opake, transparente oder beider Bauteilgruppen gegenübergestellt und beziehen sich immer auf das gesamte Gebäude. In einzelnen Zonen können natürlich deutlich höhere Abweichungen auftreten. Für die Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und zur Erstellung von Energieausweisen in der Baugenehmigungsphase sind die Energiekennwerte auf Gebäudeebene von Interesse.

4.5.1 Heizwärmebedarf

Die Energiebilanzen erfolgen bei unscharfer Zuweisung immer bei gleichzeitiger Variation der transparenten und opaken Flächen. Ein Resultat der Parameterstudie ist, dass sowohl opake als auch transparente Bauteile einen Einfluss auf den Fehler im Heizwärmebedarf haben, wobei den Fensterflächen der größte Einfluss zugesprochen werden kann. Die mittleren Fehler im Heizwärmebedarf werden aus diesem Grund über zwei verschiedene Bauteilgruppen aufgetragen. Zum einen wird der Fehler im Energiebedarf in Abhängigkeit des mittleren Zuweisungsfehlers bei den transparenten Bauteilen und zum anderen über eine Kombination aus mittlerem Fehler für opake und transparente Bauteile aufgetragen. Die Kombination des Fehlers im Energiebedarf mit dem Fehler über transparente Bauteile liefert die besten Übereinstimmungen. Es zeigen sich deutliche Tendenzen, dass mit geringerem Fehler bei der Bauteilzuweisung auch der gebäudebezogene Fehler im Heizwärmebedarf sinkt. Der maximale mittlere Fehler im berechneten Heizwärmebedarf über alle Gebäude beträgt etwa 13 %, bei einer Fehlzuteilung der transparenten Flächen etwa 40 %.

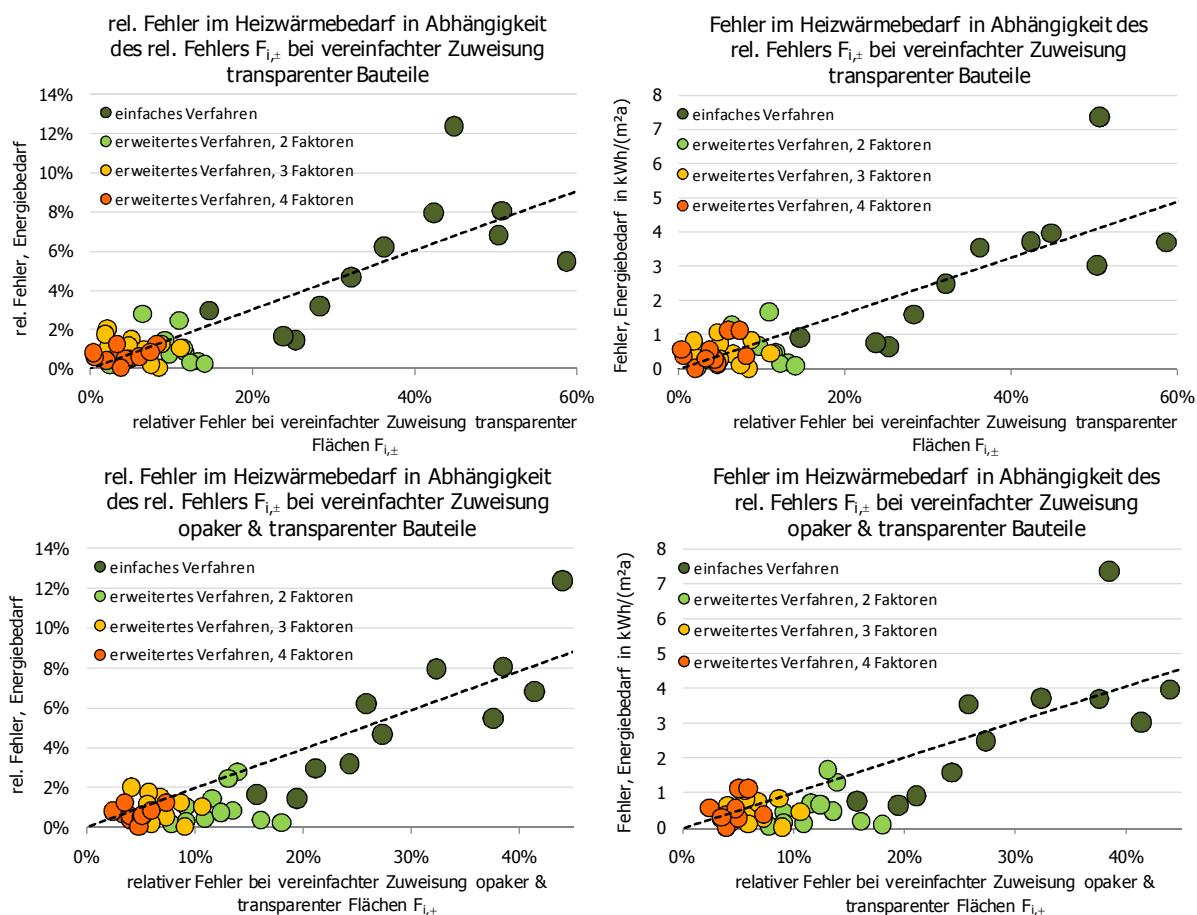


Abbildung 170: Zusammenführung der bauteilbezogenen und energiebezogenen Fehleranalyse bei Anwendung des einfachen und erweiterten Verfahrens zur Hüllflächenverteilung für den Heizwärmebedarf

Bei der Auswertung der bauteilbezogenen Flächenfehler werden typische mittlere Fehler angegeben. Bezieht man die dort ermittelten Flächenfehler auf mittlere Fehler im Energiebedarf, so lässt sich jedem mittleren Flächenfehler ein mittlerer Fehler im Energiebedarf zuordnen. In nachstehender Abbildung werden die Flächenfehler und die Fehler im Energiebedarf zusammengefasst dargestellt.

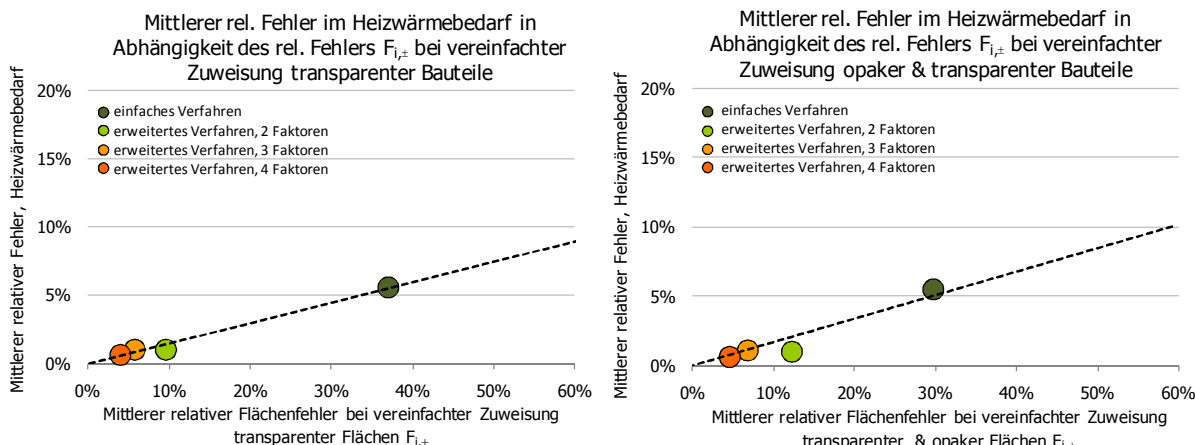


Abbildung 171: Zusammenführung der bauteilbezogenen und energiebezogenen Fehleranalyse bei Anwendung des einfachen und erweiterten Verfahrens zur Hüllflächenverteilung für den Heizwärmebedarf

4.5.2 Kühlenergiebedarf

Führt man den Vergleich im Bereich des Kälteenergiebedarfs durch, so ergibt sich eine deutlichere Ausprägung. Dies ist darauf zurückzuführen, dass nur eine eingeschränkte Kompensation bei unscharf zugewiesenen Fensterflächen erfolgt. Die Parameterstudien zeigen, dass bei neubautypischen U-Werten opake Bauteile einen geringen Einfluss auf den Fehler im Kühlenergiebedarf haben, da dieser im Wesentlichen von den solaren Gewinnen abhängt.¹⁸ Da die solaren Gewinne, neben der Fensterfläche, auch von der Effizienz des Sonnenschutzes bestimmt werden, ist der Sonnenschutz bei der vereinfachten Flächenzuweisung besonders zu berücksichtigen. Bei der Betrachtung der maximalen Fehler muss man beachten, dass hier eigentlich geringe gebäudebezogene Flächenfehler größere Fehler im Energiebedarf verursachen können. Dies kann insbesondere bei teilklimatisierten Gebäuden auftreten. Die höchsten Abweichungen im Energiebedarf ergeben sich bei der einfachen Verteilung der Fensterflächen ohne Berücksichtigung der Orientierungsabfrage. Wie die bisherigen Analysen gezeigt haben, wirkt schon die einfache Abfrage über das Vorhandensein eines Fensters in einer Zone zu einer immens genaueren Zuweisung der Flächen. Wie dem Kurvenverlauf zu entnehmen ist, nehmen die Streuungen im Kühlenergiebedarf drastisch ab.

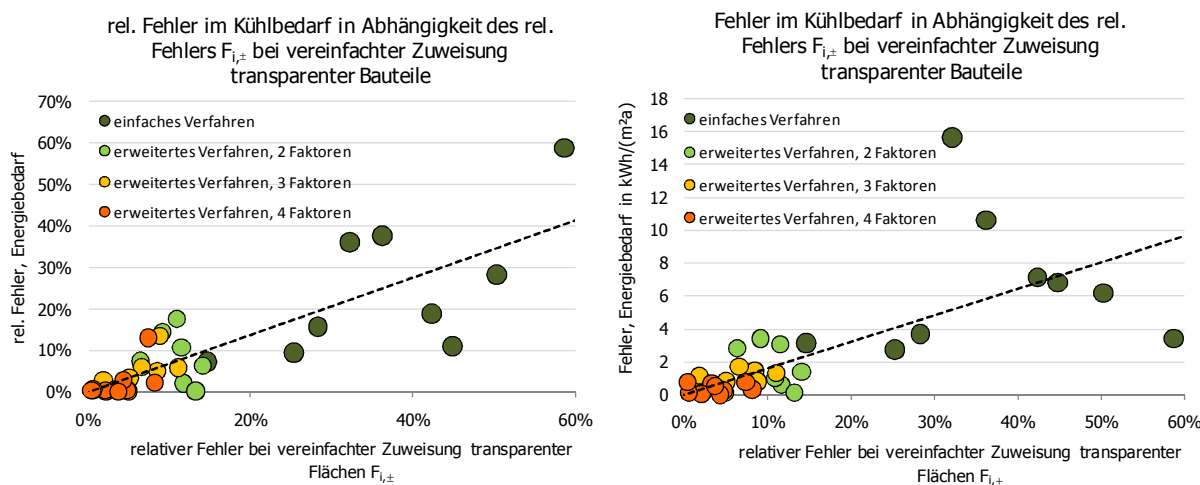


Abbildung 172: Zusammenführung der bauteilbezogenen und energiebezogenen Fehleranalyse bei Anwendung des einfachen und erweiterten Verfahrens zur Hüllflächenverteilung für den Kühlenergiebedarf

¹⁸ Eine Ausnahme sind hohe interne Gewinne, die sich z. B. bei Sondernutzungen, wie Serverräumen, ergeben.

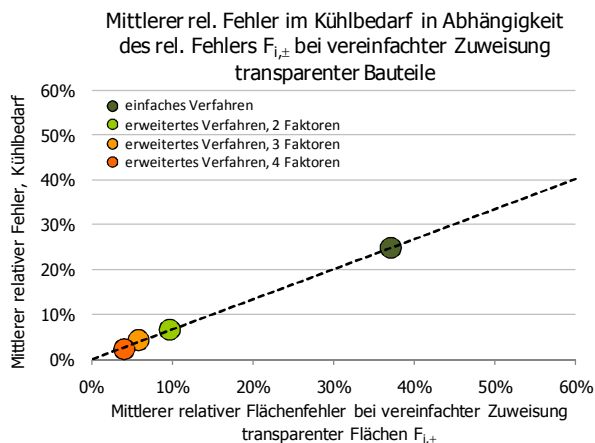


Abbildung 173: Zusammenführung der bauteilbezogenen und energiebezogenen Fehleranalyse bei Anwendung des einfachen und erweiterten Verfahrens zur Hüllflächenverteilung für den Kühlenergiebedarf

4.5.3 Beleuchtungsstrombedarf

Opake Bauteile wirken sich nicht bei der Berechnung des Beleuchtungsstrombedarfs aus. Lediglich die transparenten Flächen sind für die Höhe der Tageslichtversorgung verantwortlich. Demnach wird die Abhängigkeit des mittleren Fehlers im Beleuchtungsstrombedarf zum mittleren bauteilbezogenen Fehler der transparenten Flächen dargestellt. Auch hier kann eine tendenzielle Abhängigkeit des Fehlers im Beleuchtungsstrombedarf vom bauteilbezogenen Fehler bei den Fensterflächen festgestellt werden, wenngleich auch mit deutlicheren Streuungen. Die Streuungen werden durch die unterschiedlich stark wirkenden Kompensationseffekte in einzelnen Zonen verursacht. Maßgeblich verantwortlich hierfür sind die Höhe der Beleuchtungsstärke bzw. die elektrische Bewertungsleistung und die Unterschiede im Nutzungsprofil hinsichtlich der Nutzungsdauer. Im Bereich geringer Flächenfehler (bis 20 %) werden keine Fehler über 1 kWh/(m²a) ermittelt. Es zeigt sich tendenziell, dass die absoluten Fehler im Beleuchtungsstrombedarf mit maximal 3 kWh/(m²a) gering sind.

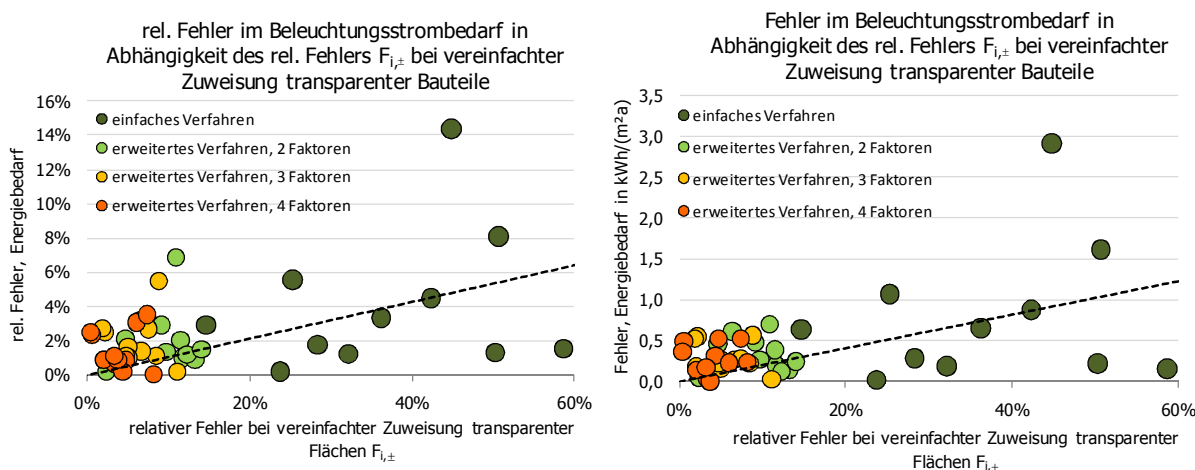


Abbildung 174: Zusammenführung der bauteilbezogenen und energiebezogenen Fehleranalyse bei Anwendung des einfachen und erweiterten Verfahrens zur Hüllflächenverteilung für den Beleuchtungsstrombedarf

Die Zusammenführung der mittleren Fehler für Bauteil und Energie zeigt, dass die Anwendung von 4 Faktoren keine nennenswerte Verbesserung im Vergleich zur Anwendung von 2 Faktoren bewirkt. In beiden Verfahren ergeben sich jedoch relative Fehler zwischen nur 1,5 und 2,2 %.

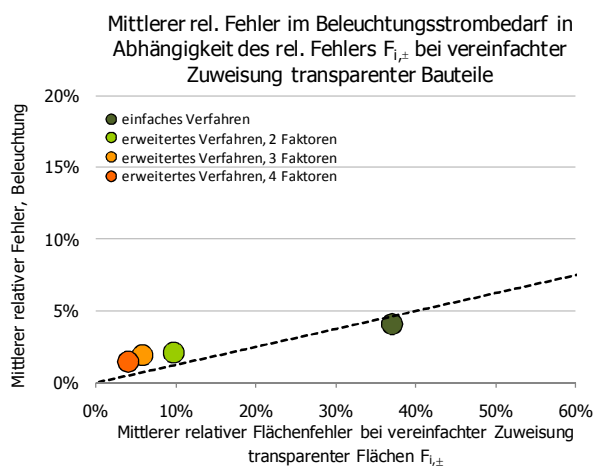


Abbildung 175: Zusammenführung der bauteilbezogenen und energiebezogenen Fehleranalyse bei Anwendung des einfachen und erweiterten Verfahrens zur Hüllflächenverteilung für den Beleuchtungsstrombedarf

4.6 Diskussion der Ergebnisse

Die Fehler, die sich aus der vereinfachten Hüllflächenzuweisung ergeben, sind beim Heizwärmebedarf gering, was auch zu erwarten war. Für Gebäude mit homogener Nutzungsstruktur spielt die Aufteilung der Hüllfläche auf die Zonen eine untergeordnete Rolle. Nennenswerte Fehler können sich lediglich bei funktionsorientierten Nutzungen oder Nutzungen mit stark unterschiedlichem Einfluss auf den mittleren Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne ergeben (z. B. bei hohen internen Lasten, hohen Lüftungsverlusten). Ein Grund für die geringe Beeinflussung des Gesamtergebnisses ist, dass einem Unterschätzen der Bauteilfläche in einer Zone eine Überschätzung in einer anderen Zone gegenübersteht. Durch diese „Kompensation“ wird der Fehler durch die unscharfe Flächenzuweisung in Bezug auf das Gesamtergebnis reduziert. Nicht gegeben ist die Kompensation, wenn nur Teilflächen eines Gebäudes gekühlt werden. In dem Fall kann es zu einer nennenswerten Beeinflussung des Ergebnisses kommen, insbesondere bei hohen solaren Gewinnen bzw. einem ineffizientem Sonnenschutz. Für den elektrischen Energiebedarf der Beleuchtung spielt nur die Zuweisung der Fensterfläche eine Rolle. Da in der Regel alle Zonen beleuchtet werden, ergibt sich hier, wenn auch in abgeschwächter Form, der beschriebene Kompensationseffekt. Die Energiebilanzen nach der Rechenmethode der DIN V 18599 berücksichtigen ein integrales Zusammenspiel der unterschiedlichen Gewerke. Einen deutlichen Einfluss auf die thermischen Nutzenergiebilanzen hat dabei der Strombedarf der Beleuchtungsanlagen (zweiter Kompensationseffekt). Ein zu gering berechneter Beleuchtungsstrombedarf führt auch zu einem geringeren Kältebedarf in der jeweiligen Zone. Gleichzeitig erhöht sich dort der Heizwärmebedarf. Es treten bei einer unscharfen Verteilung somit auch indirekte Kompensationseffekte zwischen den Gewerken auf.

Einfaches Verfahren (ungewichtete Verteilung)

Die Auswertungen im Energiebedarf zeigen, dass bei Anwendung des *einfachen Verfahrens* der Heizwärme- und der Kühlenergiebedarf in der Regel unterschätzt werden. Der mittlere Fehler im Heizwärmebedarf (Nutzenergie) liegt bei allen untersuchten Gebäude bei rund 3 kWh/(m²a) bzw. 5,5 % (vgl. Abbildung 160 und Abbildung 161). Beim Kühlenergiebedarf verursacht das *einfache Verfahren* deutlich größere Fehler. Der mittlere Fehler für alle Gebäude im Kühlenergiebedarf liegt bei knapp 7 kWh/(m²a) respektive bei 25 %. Beim Strombedarf für Beleuchtung kann nicht in allen

Fällen eine eindeutige Richtung des Fehlers (Über- oder Unterschätzen) festgestellt werden, da unterschiedliche Kompensationseffekte bei der Tageslichtversorgung wirken. Aus der vorgelagerten Parameterstudie geht hervor, dass die Änderung der installierten Beleuchtungsleistung (erforderliche Beleuchtungsstärke) mit den größten Einfluss auf den Fehler bei unscharfer Zuweisung von transparenten Flächen hat. Für alle Beispielgebäude wird der Strombedarf zwar meist unterschätzt, vereinzelt führte die unscharfe Verteilung aber auch zu leicht höheren Werten. Der mittlere Fehler im Nutzenergiebedarf für Beleuchtung liegt für alle Gebäude mit unter $1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bzw. knapp 4 % auf niedrigem Niveau.

Erweitertes Verfahren (gewichtete Verteilung)

Das *erweiterte Verfahren* führt zu einer schärferen Hüllflächenzuweisung in den Zonen, da das Vorhandensein eines Bauteiltyps auf Zonenebene abgefragt wird und beeinflusst werden kann. Bei der bauteilbezogenen Fehleranalyse ergab sich insbesondere bei den Fensterflächen, die in diesem Verfahren auch nach Orientierung verteilt werden, eine deutliche Verbesserung. Durch Auswertung von Parameteruntersuchungen konnte festgestellt werden, dass die unscharfe Verteilung der Fensterflächen mit den höchsten Einfluss auf die Energiebilanzen hat. Dieser Zusammenhang spiegelt sich auch beim Fehler im Energiebedarf wieder. Bei Anwendung von 2 Faktoren (generelles Abfragen, ob ein Bauteil in einer Zone vorhanden ist oder nicht) ergeben sich deutlich geringere Fehler als bei reiner zonenflächenabhängiger Verteilung nach dem *einfachen Verfahren*. Beim Heizwärmebedarf (Nutzenergie) reduziert sich der mittlere Fehler bereits durch Anwendung von 2 Faktoren auf unter $1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bzw. 1 % (Abbildung 160 und Abbildung 161). Im Kühlenergiebedarf ergibt sich ein ähnliches Bild. Durch eine einfache zusätzliche Abfrage, ob ein Bauteiltyp in der Zone vorkommt oder nicht (2 Wichtungsfaktoren), reduziert sich der Fehler im Nutzkältebedarf auf $1,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ respektive 7 %. Anders als beim Heizwärmebedarf kann durch Erhöhung der Zuweisungsgenauigkeit (3 oder 4 Wichtungsfaktoren) der Fehler im Kühlenergiebedarf weiter verringert werden. Bei 4 Wichtungsfaktoren ergibt sich ein Mittelwert von unter $0,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bzw. 3 %. Beim Strombedarf für Beleuchtung kann der Fehler, bei Anwendung von 2 Faktoren, ebenfalls deutlich auf unter $0,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bzw. 2 % verringert werden. Eine detailliertere Zuweisung mithilfe mehrerer Wichtungsfaktoren führt hier nur zu einer geringfügigen Verbesserung.

Auswirkungen im Primärenergiebedarf

Betrachtet man die Auswirkungen auf Primärenergieebene, so kann man feststellen, dass sich für die von den Vereinfachungen betroffenen Energieanwendungen weitere Kompensationseffekte ergeben, die tendenziell zu einem geringen Gesamtfehler führen. Ohne die Nutzung einer Zuweisungskorrektur nach dem *einfachen Verfahren* ergeben sich im Mittel Fehler von etwa $9,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bzw. 6,2 % (Abbildung 167 und Abbildung 168). Der maximale Fehler für alle Gebäude liegt bei $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bzw. 13 %. Der Primärenergiebedarf wird dabei unterschätzt. Die Auswertungen zum *erweiterten Verfahren* zeigen, dass der Fehler im Primärenergiebedarf bereits bei Anwendung von 2 Faktoren deutlich auf unter $2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bzw. 1 % reduziert werden kann. Die maximalen Fehler reduzieren sich ebenfalls auf knapp $3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ respektive 3 %. Eine weitere Erhöhung der Faktoren bringt zwar im Bereich der Kühlenergie eine etwas höhere Genauigkeit, auf Gesamt-Primärenergieebene ergeben sich jedoch nur noch marginale Verbesserungen. Verknüpft man die Auswertung im Energiebedarf mit der Auswertung der bauteilbezogenen Fehler, so zeigen sich Abhängigkeiten vom Flächenfehler bei den transparenten Bauteilen, die insbesondere beim

Kühlenergiebedarf und etwas abgeschwächter auch beim Heizwärme- und Beleuchtungsstrombedarf ausgeprägt sind. Bei den gezeigten Ergebnissen handelt es sich um gebäudebezogene Analysen. Auf Zonenebene ergeben sich höhere Abweichungen.

5 Praktische Anwendung

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass bei Anwendung einer korrigierten Flächenverteilung der Fehler im Energiebedarf deutlich reduziert werden kann. Bei Anwendung von mehr als 2 Wichtungsfaktoren ist eine Einschätzung bei komplexen Grundrissen oder bei Zonen, die sich aus vielen einzelnen Räumen zusammensetzen, womöglich noch verteilt über alle Geschosse eines Gebäudes, nicht immer leicht. Es wird eine Arbeitshilfe benötigt, um abzuschätzen, ob ein Bauteilvorkommen für eine Zone gering, mittel oder viel ist. Ein sicheres Schätzen ist sonst nicht möglich. Im folgenden Abschnitt werden unterschiedliche Möglichkeiten vorgestellt, mit denen man zum einen während der Zonierung des Gebäudes erforderliche Daten aus den Grundrissen mit aufnehmen kann und zum anderen werden zwei Vertriebungsverfahren gezeigt, mit denen eine Klassifizierung möglich ist.

5.1 Anwendbare Flächenverteilung

Für eine praktische Anwendung der einfachen Flächenverteilung muss es dem Anwender zweifelsfrei möglich sein, die Verteilung der Hüllflächen durchzuführen. Mit steigender Anzahl von Wichtungsfaktoren wird diese Einschätzung erschwert, da eine nicht direkt einschätzbare Größe „Flächenanteil eines Bauteils je Zonenfläche“ als Maß für die Wichtung herangezogen wird. Das kann dazu führen, dass bei reiner Schätzung zwei Anwender unterschiedliche Ergebnisse erzielen. Von daher braucht man bei Anwendung von mehr als 2 Faktoren eine Rechenhilfe, um diese Einschätzung durchführen zu können. Es werden 5 Konzepte untersucht, mit deren Hilfe eine Verteilung der Hüllflächen erfolgen kann.

- a) Ermittlung der zonenbezogenen Fassadenlängen
 - b) Einschätzung der Raumanordnung über das gesamte Gebäude
 - c) Einfache Wichtung mit nur 2 Faktoren (0/1)
 - d) Einfache Wichtung mit nur 2 Faktoren (0/1) unter Berücksichtigung von Bagatellfällen
 - e) Einfache Wichtung mit nur 2 Faktoren (0/1) und Eingabe der Fensterflächen gekühlter Zonen
- } Kleinsten möglichen Fehler bei Anwendung von 4 Wichtungsfaktoren (kein, gering, mittel und viel), vgl. Abschnitt 2

5.1.1 Variante a) Ermittlung der zonenbezogenen Fassadenlängen

Die Ermittlung der zonenbezogenen Fassadenlänge erfolgt als Arbeitsschritt im Rahmen der Zonierung des Gebäudes. Bei der Aufnahme der Räume und Zuweisung dieser zu Zonen wird für jede Zone die Länge der Fenster und Wände aus den Grundrissen ermittelt. Dabei wird ebenfalls das Vorhandensein der Bauteiltypen Dach und Boden abgefragt. Werden alle Räume/Zonen erfasst, so kann nach Gleichung (50) bestimmt werden, um welches Verhältnis die zonenbezogene Länge eines Bauteiltyps j über alle Zonen betrachtet unterdurchschnittlich in dieser Zone vorhanden ist. Ein positiver Wert bedeutet, dass dieser Bauteiltyp überdurchschnittlich oft vorkommt. Ist $f_{W,x,j} = 0$, entspricht die Bauteilfläche genau der Fläche, die sich bei einfacher Verteilung in Abhängigkeit der Zonenfläche ergibt. Da dies in der Regel nicht der Fall ist, erfolgt eine Klassifizierung in Abhängigkeit dieser Abweichung.

$$f_{W,x,j} = \frac{\sum_i L_{x,j,i}}{\sum_x \sum_i L_{x,j,i} \cdot \frac{\sum_i A_{x,i}}{\sum_x A_{z,x}}} - 1 \tag{50}$$

- mit
- $f_{W,x,j}$ - Einstufungsfaktor zur Klassifizierung, in welchem Umfang ein Bauteiltyp j in der Zone x vorkommt
 - $L_{x,j,i}$ m grundrissbezogene Länge eines Bauteiltyps j im Teilabschnitt i der Zone x
 - $A_{x,i}$ m² Grundfläche des Teilabschnitts i (Raum/Teilfläche einer Zone) in der Zone x
 - $A_{z,x}$ m² Grundfläche der Zonen x
 - i - Zählindex für Teilabschnitte
 - x - Zählindex für Zonen

Tabelle 43: Übliche Einstufung des Vorhandenseins eines Bauteiltyps nach der Abweichung vom Durchschnittswert

$f_{W,x,j} \leq -0,3$	gering
$-0,3 < f_{W,x,j} < 0,3$	mittel
$f_{W,x,j} \geq 0,3$	viel

Abbildung 176 zeigt beispielhaft die Erfassung und Wichtung der Bauteilarten bei Erfassung der Zonen. Für die Bauteilarten „Dach“ und „Boden“ reicht die Abfrage über das Vorhandensein in einer Zone, da bei raumweiser Erfassung die Zonenfläche in der Regel auch der Bauteilfläche für Dach und Boden entspricht. Die Einstufung erfolgt nach dem gleichen System wie für Fenster und Wände, mit dem Unterschied, dass in Gleichung (50) nicht die Fassadenlänge, sondern die Zonenflächen einfließen, sofern das Bauteil im Teilbereich vorhanden ist.

Erfassung der Bauteilarten								
Zone	A _z m ²	F _{Süd} Länge m	F _{West} Länge m	F _{Nord} Länge m	F _{Ost} Länge m	Wand Länge m	Dach ja/nein	Boden ja/nein
01 Einzelbüro	1 000	200	21	2	1	25	ja	ja
02 Gruppenbüro	200	22	2	1	11	-	nein	nein
04 Sitzung	1 000	22	-	-	-	25	ja	nein
01 Einzelbüro	1 000	30	-	-	-	-	nein	nein
Summe	3 200	274	23	3	12	50	-	-

Zone / Nutzungsprofil	A _z m ²	F _{Süd}	F _{West}	F _{Nord}	F _{Ost}	Wand	Dach	Boden
01 Einzelbüro	2 000	viel	viel	mittel	gering	mittel	mittel	viel
02 Gruppenbüro	200	mittel	viel	viel	viel	-	-	-
03 Großraumbüro	-	-	-	-	-	-	-	-
04 Sitzung	1 000	gering	-	-	-	viel	viel	-

Abbildung 176: Erfassungswerkzeug für die Einstufung des Wichtungsverfahrens, Verfahren a)

5.1.2 Variante b) Einschätzung der Raumanordnung über das gesamte Gebäude

Während bei Variante a) alle Zonen erfasst werden müssen, um eine einfache Einschätzung zu ermöglichen, erfolgt die Einstufung bei Variante b) je Zonentyp. Während der Zonierung des Gebäudes werden die Räume erfasst und anhand charakteristischer Raumanordnungen eingestuft. Als charakteristische Raumanordnung werden drei Raumtypen definiert. Dabei wird unterschieden zwischen „überwiegend innen liegende Anordnung“, „innen und außen liegende Anordnung“ sowie „überwiegend außen liegende Anordnung“. Bei Erfassung der Räume sind diese entsprechend zu klassifizieren. Ebenso ist das generelle Vorhandensein von orientierten Fensterflächen zu erfassen.



Abbildung 177: Charakteristische Raumanordnungen für die Einstufung des Wichtungsverfahrens

Mithilfe dieser Informationen wird für jeden Raum die gewichtete Zonenfläche nach Gleichung (51) ermittelt. Die dann gewichtet vorliegenden Zonenflächen werden in Bezug zur gesamten Zonenfläche des Zonentyps gesetzt. Ein Einstufungsfaktor $f_{W,x,j}$ von null bedeutet, dass die Bauteilflächen exakt der Zuweisung bei ungewichteter Verteilung entsprechen. Die Einstufung der Faktoren erfolgt zonenflächengewichtet über alle der Zone zugehörigen Räume/Bereiche. So bleibt gewährleistet, dass das überwiegende Vorkommen über alle Bereiche einer Zone abgeschätzt wird. Folgende Gleichung zeigt die Bestimmung von $f_{W,x,j}$ am Beispiel einer Wand j .

$$f_{W,x,j} = \frac{\sum_i A_{x,i} \cdot f_{x,j,i}}{\sum_i A_{x,i}} - 1 \tag{51}$$

mit

- $f_{W,x,j}$ - Einstufungsfaktor zur Klassifizierung, in welchem Umfang ein Bauteiltyp j in der Zone x vorkommt
- $A_{x,i}$ m² Grundfläche des Teilabschnitts i (Raum/Teilfläche einer Zone) in der Zone x
- $f_{x,j,i}$ - Wichtungsfaktor für den Teilabschnitt i und den Bauteiltyp j in der Zone x ; mit 0 wenn nicht vorhanden, 0,5 für unterdurchschnittliches Vorkommen, 1,0 für durchschnittliches Vorkommen und 1,5 für überdurchschnittliches Vorkommen

Die Bandbreite, ab wann die Einstufung „gering“, „mittel“ oder „viel“ erfolgt, ist in folgender Tabelle angegeben.

Tabelle 44: Übliche Einstufung des Vorhandenseins eines Bauteiltyps nach der Abweichung vom Durchschnittswert

$f_{W,x,j} \leq -0,3$	gering
$-0,3 < f_{W,x,j} < 0,3$	mittel
$f_{W,x,j} \geq 0,3$	viel

Nimmt $f_{W,x,j}$ einen Wert von -1 an, so ist der betrachtete Bauteiltyp in der Zone nicht vorhanden und es erfolgt keine Zuweisung.

Abbildung 178 zeigt eine mögliche Arbeitshilfe zur Erfassung der Räume bzw. Bereiche. Die Zonengrundflächen müssen ohnehin ermittelt werden, sodass lediglich die Informationen des „Raumtyps“ und ggf. das Vorkommen von Fensterflächen in einer bestimmten Orientierung abgefragt werden müssen.




Zone	01 Einzelraumbüro		Raumtyp / Zonentyp			Fenstervorkommen in diesem Raum			
	Bezeichnung	Lage	Raumfläche m ²				Fenster Nord	Fenster Ost	Fenster Süd
Büro, Raum 1	Etage 1	30	-	-	ja	-	ja	ja	ja
Büro, Raum 2	Etage 1	30	-	ja	-	-	ja	-	ja
Büro, Raum 3	Etage 1	30	-	ja	-	-	-	ja	ja
Büro, Raum 4	Etage 1	30	-	-	ja	-	-	ja	ja
Büro, Raum 5	Etage 1	30	-	-	ja	-	ja	-	ja
Büro, Raum 6	Etage 1	30	-	-	ja	ja	-	-	ja
Büro, Raum 7	Etage 2	30	-	-	ja	ja	-	-	ja
Büro, Raum 8	Etage 2	30	-	-	ja	ja	ja	-	ja
Büro, Raum 9	Etage 2	30	-	ja	-	-	-	ja	ja
Büro, Raum 10	Etage 2	30	-	-	ja	-	-	ja	ja
Büro, Raum 11	Etage 2	30	-	-	ja	-	-	ja	ja
Mittleres Zonenwichtungsprofil für die Zone			Raumtyp Wand			Fenster Nord	Fenster Ost	Fenster Süd	Fenster West
01 Einzelraumbüro			viel			gering	gering	mittel	viel

Abbildung 178: Erfassungshilfe für die Einstufung des Wichtungsverfahrens, Verfahren b)

5.1.3 Variante c) Einfache Wichtung mit nur 2 Faktoren (0/1)

Die Auswertung des Fehlers im Energiebedarf bei unterschiedlichen Wichtungsfaktoren (Abschnitt 4) zeigt, dass bereits eine einfache Abfrage, ob ein Bauteiltyp in einer Zone vorkommt oder nicht, zu geringen Fehlern im Energiebedarf führt. Ist ein Bauteiltyp in einer Zone vorhanden, so findet, unabhängig von der Größe des Bauteils oder der Zone, eine Zuweisung des Bauteiltyps für diese Zone statt. Für die Anwendbarkeit des Verfahrens ist eine möglichst einfache Einschätzung, ob ein Bauteiltyp in der Zone vorkommt oder nicht, zu bevorzugen. Dies spricht für die einfache Abfrage „Bauteil vorhanden“ oder „Bauteil nicht vorhanden“. Bereits während der Zonierung bzw. bei der Ermittlung der Gebäudehüllfläche nach dem 1-Zonen-Modell, kann ein generelles Vorhandensein leicht und zweifelsfrei ermittelt werden.

5.1.4 Variante d) Einfache Wichtung mit nur 2 Faktoren (0/1) unter Berücksichtigung von Bagatellfällen

In Abschnitt 2.7.2 werden wesentliche Geometrieinflussfaktoren bei der nettogrundflächenabhängigen Hüllflächenverteilung aufgezeigt (ohne Wichtung, vgl. Tabelle 20), die zu Ausreißern bei der Hüllflächenverteilung führen.

Tabelle 45: Wesentliche Geometrieinflussfaktoren bei der nettogrundflächenabhängigen Hüllflächenverteilung

1	Zonen, in denen ein Bauteiltyp nicht vorkommt
2	überwiegend oder ganz innen liegende Zonen
3	Zonen mit einem großen Anteil am Gebäudevolumen, aber geringem Anteil an der Gesamtzonenfläche; dies betrifft insbesondere Zonen mit stark von der mittleren Raumhöhe abweichenden Raumhöhen
4	Einbeziehung von thermisch nichtkonditionierten Zonenflächen in die Verteilung (z. B. Parkhäuser), wenn diese Zonen nicht ausdrücklich bei der Verteilung unberücksichtigt bleiben
5	Anbau an Bestandsgebäude oder anderweitige Verringerung thermischer Gebäudehüllflächen
6	Zonen, die bedingt durch den Gebäudeentwurf oder infolge der Nutzungsanforderungen wesentlich in einer bestimmten Orientierung oder in einem Bereich eines Gebäudes vorkommen
7	Zonen mit besonders großen oder kleinen Fensterflächenanteilen und exponierter Anordnung

Bei der in Abschnitt 2 durchgeführten Auswertung, zum bauteilbezogenen Fehler, wird immer der kleinste mögliche Fehler, der mit einer gegebenen Anzahl von Wichtungsfaktoren erreichbar ist, ermittelt. Für die Auswertung mit 2 Faktoren (0/1) erhält die Zone bei Wahl des Faktors (0) keine Bauteilfläche und bei (1) erfolgt eine Zuweisung in Abhängigkeit der Zonenfläche. Wenn nun beispielsweise eine große Zone mit einem sehr geringen Fensterflächenanteil eine Zuteilung erhält, so kann dies dazu führen, dass dieser Zone aufgrund ihrer Größe eine zu große Fensterfläche zugewiesen wird (vgl. Nr. 2 und 7, Tabelle 45). Die Berücksichtigung des kleinsten möglichen Fehlers verhindert in der Regel solche Zuweisungen, da Extremfälle abgefangen werden. Für eine möglichst geringe Fehlerausprägung kann es daher sinnvoll sein, solche Fälle als „Bagatellfall“ auszuklammern. Da die Auswirkungen von Fehlzuweisungen im gebäudebezogenen Energiebedarf bei großen Zonen am deutlichsten sind, muss sich diese Bagatellgrenze darauf konzentrieren.

Beschreibung des Bagatellfalls, zonenbezogene Fensterfläche $r_{Fe,Az}$

Die Beschreibung einer Definition eines Bagatellfalles erfolgt durch Auswertung der untersuchten 11 Gebäude. Die Ergebnisse der Parameteruntersuchung und der Analyse im gebäudebezogenen Energiebedarf zeigen, dass die Fensterfläche den wesentlichen Einfluss auf den berechneten Fehler im Energiebedarf eines Gebäudes hat. Zur Definition eines Bagatellfalls ist daher die Zuweisung der Fensterflächen von Interesse. Ausgehend von den 11 Gebäuden werden 2 Geometriedatensätze erzeugt, die beide die Anwendung von nur 2 Faktoren bei der Hüllflächenverteilung berücksichtigen. Für eine Variante wird jedoch der kleinste mögliche Fehler bei der Hüllflächenverteilung verwendet. Die beiden Datensätze werden miteinander verglichen, um so typische Merkmale zu charakterisieren, anhand derer der Bagatellfall abgeleitet werden kann. Die Auswertung erfolgt nach folgendem Schema:

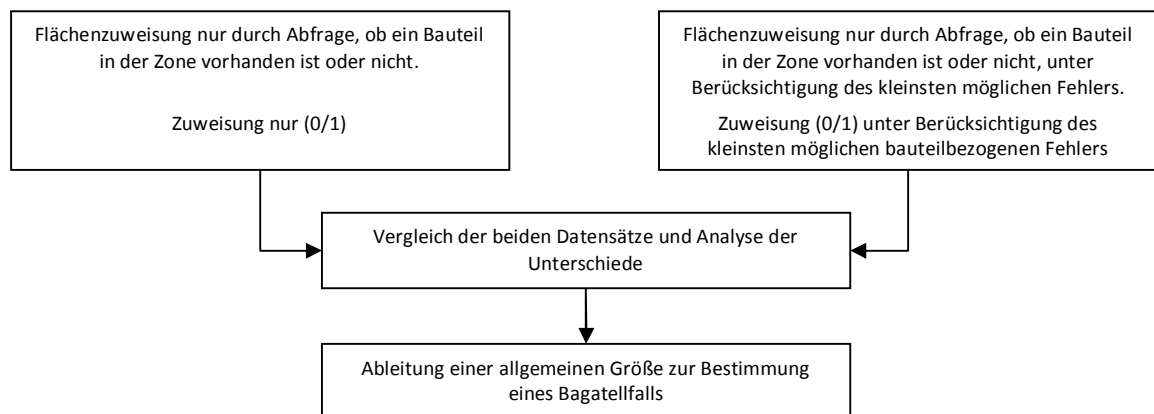


Abbildung 179: Schematisches Vorgehen zur Beschreibung einer Definition des Bagatellfalls

Für alle Gebäude mit insgesamt 75 Zonen ergeben sich für 7 Bauteilkategorien (Wand, Dach, Boden und 4 Fensterorientierungen) 525 Zuweisungen. Alle Bauteilkategorien betrachtet, wird 43-mal „vorhanden“ oder „nicht vorhanden“ zugewiesen, um den kleinsten möglichen Fehler zu erreichen. Das entspricht einem Anteil von etwa 8 % der Gesamtzuweisungen. Bezogen auf die Zuweisung der orientierten Fensterflächen, werden 27 von 300 Zuweisungen unter Beibehaltung des kleinsten möglichen Fehlers durchgeführt, was etwa 9 % aller Fälle entspricht. In allen Fällen ist die Fensterfläche als „nicht vorhanden“ gesetzt, obwohl eine Fläche in der Zone vorhanden ist. Abbildung 180 zeigt einen Vergleich beider Datensätze. Dargestellt werden die Zonengröße und die Fensterfläche, die der jeweiligen Zone nicht zugewiesen wird.

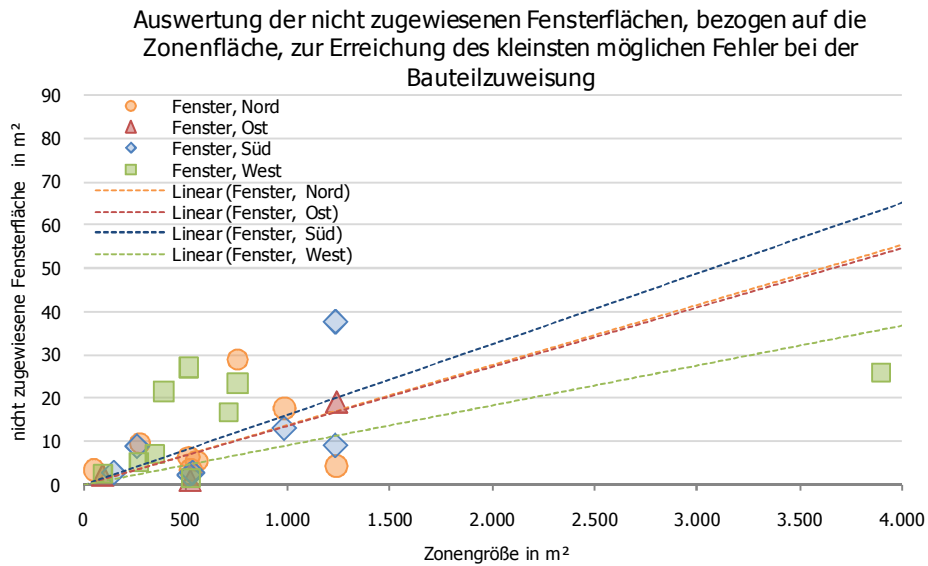


Abbildung 180: Auswertung der Datensätze mit und ohne Bagatellfall. Gezeigt wird die Zonenfläche in Abhängigkeit der Fensterfläche, die dieser Zone zur Erreichung des kleinsten bauteilbezogenen Fehlers nicht zugewiesen wird.

Es zeigt sich eine Abhängigkeit der Zonengröße und der Größe der Fensterfläche, wann diese Nichtzuweisung erfolgt. Für die weitere Auswertung wird die Größe $r_{Fe,Az}$ eingeführt, die das Verhältnis zwischen nicht zugewiesener Fensterfläche zur Zonenfläche beschreibt. Dieses Verhältnis gibt an, ab welchem Anteil der Fensterfläche an der Zonenfläche eine „Nichtberücksichtigung“ erfolgt. In folgender Abbildung ist diese Größe $r_{Fe,Az}$ in Abhängigkeit des Zonenflächenanteils an der gesamten Zonenfläche des Gebäudes aufgetragen.

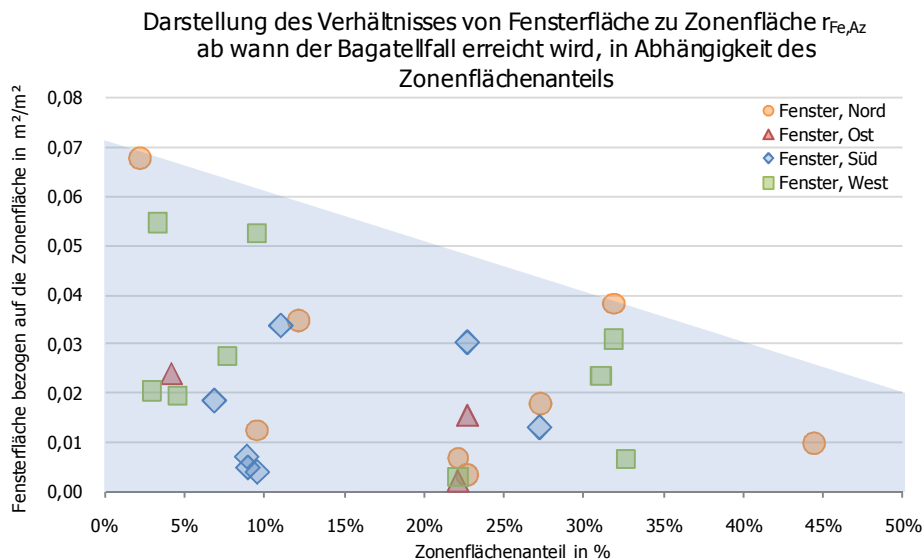


Abbildung 181: Auswertung der Datensätze mit und ohne Bagatellfall. Gezeigt wird die Zonenfläche in Abhängigkeit der Fensterfläche, die dieser Zone zur Erreichung des kleinsten bauteilbezogenen Fehlers nicht zugewiesen wird.

Die Auswirkungen im gebäudebezogenen Energiebedarf sind insbesondere dann wesentlich, wenn es sich um große Zonen mit eigentlich geringen Fensterflächen handelt, die durch das Wichtungsverfahren große Fensterflächen zugeteilt bekommen. Die Ergebnisse aus voriger Grafik sind in folgender Abbildung zusammengefasst. Dargestellt wird für jede Orientierung der Mittel- und der Maximalwert des zonenflächenabhängigen Fensterflächenanteils. Die rechte Säulengruppe entspricht dem Mittelwert über alle Orientierungen.

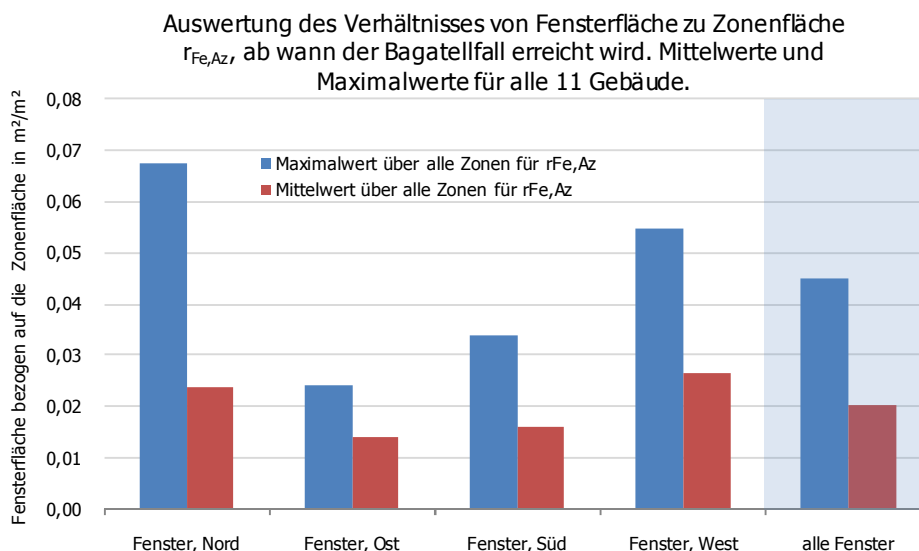


Abbildung 182: Auswertung der Datensätze mit und ohne Bagatellfall. Gezeigt wird die Zonenfläche in Abhängigkeit der Fensterfläche, die dieser Zone zur Erreichung des kleinsten bauteilbezogenen Fehlers nicht zugewiesen wird.

Zur Bewertung des Einflusses verschiedener Bagatellgrenzen werden alle Gebäude mit verschiedenen zonenflächenbezogenen Fensterflächenanteilen analysiert. Dabei gelten folgende Randbedingungen:

- Die Bagatellgrenze wird nur für den Fensterflächenanteil berücksichtigt.
- Alle opaken Bauteile werden durch ihr Vorkommen in der Zone entweder berücksichtigt oder nicht (nur 0/1).
- Bei Variante „nur 0/1“ werden die Bauteilflächen nur nach ihrem Vorkommen in der Zone verteilt. Es erfolgt keine Berücksichtigung der Größe des Bauteils oder der Zone.
- Variiert wird die Bagatellgrenze $r_{Fe,Az}$ von 0,01 bis 0,07 m^2/m^2 .

Es zeigt sich, dass durch Anwendung einer Bagatellgrenze ab 0,02 m^2/m^2 der maximale Fehler im Kühlenergiebedarf deutlich reduziert werden kann. Eine weitere Erhöhung der Bagatellgrenze führt nur zu einer Verbesserung der Genauigkeit des Heizwärmebedarfs. Bei einer Bagatellgrenze von 0,03 m^2/m^2 reduziert sich der maximale Fehler im Kühlenergiebedarf von 11 $kWh/(m^2a)$ bei reiner 0/1-Verteilung auf noch etwa 4 $kWh/(m^2a)$. Ab einer Bagatellgrenze von 0,06 m^2/m^2 ergeben sich insbesondere für kleine Zonen größere Fehler, was sich in einem deutlichen Anstieg des Energiebedarfs bemerkbar macht.

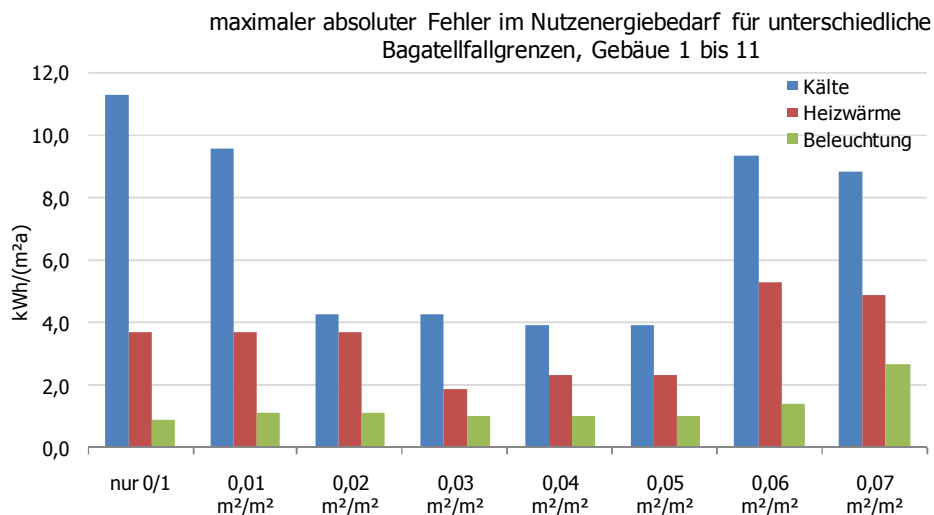


Abbildung 183: Maximaler Fehler im Nutzenergiebedarf bei unterschiedlichen Bagatellgrenzen für den zonenflächenbezogenen Fensterflächenanteil, Gebäude 1 bis 11.

Wertet man die mittleren Fehler für alle Gebäude aus, so werden geringe Differenzen zwischen den untersuchten Varianten deutlich. Der deutlichste Einfluss auf den Nutzenergiebedarf ist für den Kältebedarf zu verzeichnen. Auch hier kann durch Anwendung einer Bagatellgrenze der mittlere Fehler reduziert werden. Ausgehend von einer einfachen binären Verteilung, die nur das generelle Vorkommen berücksichtigt (0/1), kann der Fehler im Kühlenergiebedarf bei 0,05 m²/m² um etwa 1 kWh/(m²a) reduziert werden. Bei der Auswertung der Heizwärmebilanz wird das beste Ergebnis bei einer Bagatellgrenze $r_{Fe,Az}$ von 0,03 m²/m² erreicht. Ausgehend vom kleinsten möglichen Zuweisungsfehler ergibt sich für den Beleuchtungsstrombedarf keine wesentliche Änderung. Es zeigt sich, dass durch Festlegung einer Bagatellgrenze der Fehler im Strombedarf etwas ansteigt. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass der Einfluss der Tageslichtversorgung auf den Beleuchtungsstrombedarf, insbesondere bei kleinen Fensterflächenanteilen, hoch ist (vgl. Abschnitt 3.6).

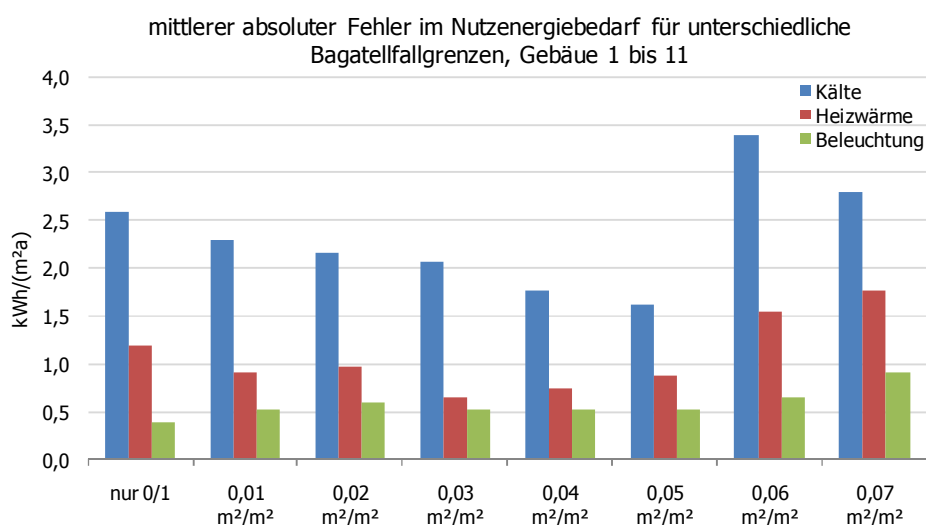


Abbildung 184: Mittlere Fehler im Nutzenergiebedarf bei unterschiedlichen Bagatellgrenzen für den zonenflächenbezogenen Fensterflächenanteil, Gebäude 1 bis 11.

Neben dem Einfluss auf die Nutzenergiebilanz ist die primärenergetische Auswertung interessant. Dazu wird auf das in Abschnitt 4.2 eingeführte Verfahren zur primärenergetischen Kurzbewertung

zurückgegriffen. Werden mittlere Fehler betrachtet, so können diese auch auf Primärenergieebene aggregiert werden, da es sich um Mittelwerte aller Gebäude handelt. Bezogen auf den Primärenergiebedarf bringt die Berücksichtigung einer Bagatellgröße eine durchschnittliche Reduzierung des gebäudebezogenen Fehlers um etwa $1,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Ausgehend von einer gewünschten Genauigkeit ist diese Reduzierung sicherlich nicht nennenswert. Für gekühlte Zonen spielt die Bagatellgrenze eine wesentlichere Rolle. In der Regel sind nicht alle Zonen eines Gebäudes gekühlt und der Energiekennwert berechnet sich auf die gesamte thermisch konditionierte Fläche. Auf die gekühlten Zonen bezogen entstehen höhere Abweichungen. Dies hat auch Auswirkungen auf die nachgeschaltete Anlagendimensionierung, für die die Eingangsgrößen maximale Kälteleistung und der Kühlenergiebedarf wesentlich sind [47].

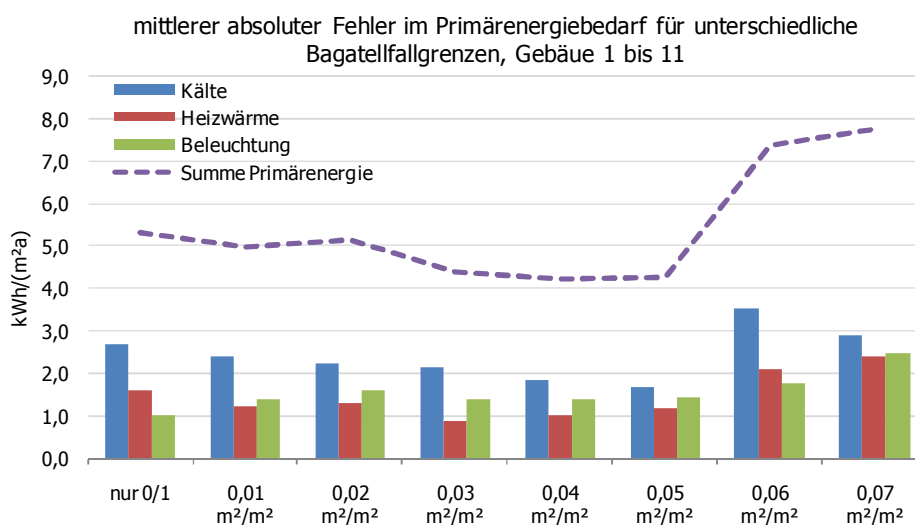


Abbildung 185: Mittlere Fehler im Primärenergiebedarf bei unterschiedlichen Bagatellgrenzen für den zonenflächenbezogenen Fensterflächenanteil, Gebäude 1 bis 11.

Vom Standpunkt der Reduzierung des maximalen Fehlers aus betrachtet, ist die Grenze $r_{Fe,Az} = 0,03 \text{ m}^2/\text{m}^2$ sinnvoll. Zwar liegt bei einer Grenze von $0,04 \text{ m}^2/\text{m}^2$ eine marginal geringere Gesamt-Primärenergieeinsparung vor, diese wird aber, im Vergleich zur Grenze bei $0,03 \text{ m}^2/\text{m}^2$, etwas stärker durch die Kühlung beeinflusst. Da im Rahmen einer Gesamt-Primärenergiebewertung nicht alle Gebäude gekühlt sind und der Einfluss in großen Zonen am deutlichsten ist, kann eine Bagatellgrenze $r_{Fe,Az} = 0,03 \text{ m}^2$ Fensterfläche je Quadratmeter Zonenfläche empfohlen werden. Diese Grenze wird bei weiteren Analysen als Referenzgröße herangezogen.

5.1.5 Variante e) Einfache Wichtung mit nur 2 Faktoren (0/1) und Eingabe der Fensterflächen gekühlter Zonen

Die Untersuchungen zeigen, dass der Fehler bei unscharfer Flächenzuweisung im Kältebedarf ausgeprägt ist, wenn Bauteilflächen, hier insbesondere die Fensterflächen, fehlerhaft zugewiesen werden. Da bei der einfachen Hüllflächenverteilung auch eine direkte Eingabe aller Bauteilflächen auf Zonenebene möglich ist, kann überlegt werden, nur für gekühlte Zonen die Fensterflächen auf Zonenebene direkt einzugeben.

5.2 Fehler auf Nutzenergieebene

Die in den vorigen Abschnitten vorgestellten Varianten werden zur Hüllflächenverteilung für die 11 Gebäude angewandt. Die Varianten a) und b) dienen der ausführlichen Anwendung des *erweiterten Verfahrens* mit 4 Faktoren (kein, gering, mittel und viel). Bei Anwendung dieser beiden Methoden können die im Abschnitt 4.4 gezeigten Genauigkeitsgrade erreicht werden, weshalb diese beiden Varianten hier nicht weiter betrachtet werden.

Bei den Varianten c) bis e) treten Abweichungen zu den in Abschnitt 4.4 ermittelten Fehlern auf und die praktischen Auswirkungen müssen vergleichend ermittelt werden. Ausgewertet werden die Fehler im Energiebedarf für Heizwärme, Kälte und Beleuchtungsstrom. Auf der Basis dieser Auswertung wird eine Empfehlung abgeleitet, welches Verfahren sich am besten eignet zur schnellen energetischen Bewertung von Neubauten. Dabei werden die Ergebnistreue und der Arbeitszeitaufwand als Bewertungskriterien herangezogen. Tabelle 46 zeigt die untersuchten Konzepte.

Tabelle 46: Varianten zur Fehlerbestimmung

Variante	Bezeichnung in Abbildungen	Beschreibung
Referenz	0/1 kleinster Fehler	Abschnitt 4.4: erweitertes Verfahren und Bestimmung des kleinsten möglichen Fehlers bei Anwendung von 2 Faktoren
c)	0/1	Abschnitt 5.1.3: Wichtung mit nur 2 Faktoren (0/1)
d)	0/1 Bagatell 0,03 m ² /m ²	Abschnitt 5.1.4: Wichtung mit nur 2 Faktoren (0/1) unter Berücksichtigung des Bagatellfalls $r_{Fe,Az} = 0,03 \text{ m}^2/\text{m}^2$
e)	0/1 $A_{Fe,real}$ für gekühlte Zonen	Abschnitt 5.1.5: Wichtung mit nur 2 Faktoren (0/1) und Eingabe der Fensterflächen gekühlter Zonen

Die Berechnungen und Auswertungen erfolgen analog zu Abschnitt 4.4 bei Anwendung des einfachen und erweiterten Verfahrens an den 11 Beispielgebäuden. In den folgenden Abschnitten werden die mittleren und maximalen Fehler im Energiebedarf dargestellt.

Die gesamten gebäudebezogenen Auswertungen befinden sich im Anhang unter Abschnitt A.10.

Erfolgt die Bauteilzuweisung nur nach dem generellen Vorhandensein (Variante c) eines Bauteiltyps in einer Zone, so berechnen sich die höchsten Fehler im Energiebedarf. Im Kältebedarf sind die Fehler, aufgrund der bereits beschriebenen fehlenden Kompensationsmöglichkeit, mit rund 2,6 kWh/(m²a) am deutlichsten. Beim Heizwärmebedarf entsteht ein mittlerer Fehler von 1,2 kWh/(m²a) und beim Beleuchtungsstrombedarf von 0,4 kWh/(m²a).

Bei Anwendung der Bauteilzuweisung nach dem generellen Vorhandensein eines Bauteiltyps in einer Zone und Berücksichtigung einer Bagatellgrenze von 0,03 m² Fensterfläche je m² Zonenfläche für alle transparenten Bauteile kann der mittlere Fehler im Heizwärmebedarf über alle Gebäude auf etwa 0,6 kWh/(m²a) reduziert werden. Für den Heizwärmebedarf ergibt sich somit eine Halbierung des Fehlers. Der Strombedarf für Beleuchtung steigt im Vergleich zu Variante c) leicht an, da für einige wenige Zonen keine Fensterfläche bilanziert wird und gerade bei kleinen Fensterflächenanteilen ein großer Einfluss des Tageslichts auf den Strombedarf für Beleuchtung vorhanden ist.

Bei Berücksichtigung des kleinsten möglichen bauteilbezogenen Fehlers kann der Fehler im Kühlenergiebedarf auf $1,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ reduziert werden. Beim Heizwärmebedarf wird ebenfalls eine Reduzierung auf $0,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ erreicht. Beim Beleuchtungsstrombedarf ergeben sich keine großen Änderungen. Im Vergleich zu Variante c) wird der Fehler im Mittel über alle Gebäude um $0,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ reduziert.

Werden nur die Fensterflächen gekühlter Zonen exakt zugewiesen und alle anderen Bauteilflächen nur nach dem generellen Vorhandensein in einer Zone verteilt (Variante e), so reduziert sich der Fehler im Kühlenergiebedarf auf $0,25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Da alle Fensterflächen gekühlter Zonen korrekt zugewiesen werden, entsprechen die solaren und internen Gewinne durch Beleuchtung exakt denen bei detaillierter Flächenverteilung. Der geringe Fehler im Kühlenergiebedarf wird folglich nur durch fehlerhaft zugewiesene opake Flächen verursacht. Da nur die Fensterflächen gekühlter Zonen detailliert zugewiesen werden, reduziert sich der Fehler im Heizwärmebedarf und im Beleuchtungsstrombedarf jedoch nur geringfügig gegenüber der Ausgangsvariante c) „0/1“.

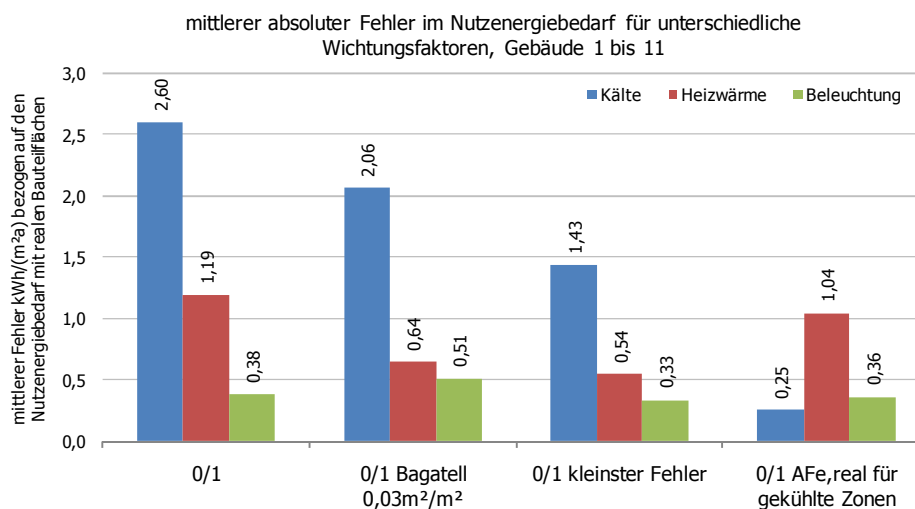


Abbildung 186: Darstellung des mittleren absoluten Fehlers im Nutzenergiebedarf bei Anwendung unterschiedlicher Verteilungskonzepte, alle Gebäude 1 bis 11

Die relativen Fehler liegen bei reiner 0/1-Verteilung (Variante c) bei 12 % im Kältebedarf und jeweils rund 2 % im Heizwärme- und Beleuchtungsstrombedarf. Im Vergleich zu Variante c) führt die Anwendung der Bagatellgrenze von $r_{Fe,Az} = 0,03 \text{ m}^2/\text{m}^2$ (Variante d) zu einer etwa 3 %igen Reduktion des Fehlers im Kühlenergiebedarf. Der Heizwärmebedarf wird ebenfalls um etwa 1 % verringert, der Beleuchtungsstrombedarf steigt um 0,8 % an.

Die Analyse für „0/1 kleinster Fehler“, also für den Fall, dass alle Bauteile so verteilt werden, dass der kleinste mögliche Fehler bei der Bauteilverteilung erreicht wird, zeigt den geringsten Fehler, den man bei Anwendung von 2 Wichtungsfaktoren erreichen kann.

Weist man die Fensterflächen gekühlter Zonen exakt zu und verteilt sonst alle opaken und transparenten Flächen mit reiner 0/1-Verteilung (Variante e), ergibt sich erwartungsgemäß auch ein sehr geringer relativer Fehler im Kühlenergiebedarf. Dieser Restfehler von 0,9 % ist den unzureichend zugewiesenen opaken Bauteilen anzurechnen. Wie die Parameteruntersuchungen zeigen, spielt der U-Wert bzw. die Fläche opaker Bauteile eine nur sehr untergeordnete Rolle. Die Fehler im Heizwärmebedarf und im Strombedarf für Beleuchtung liegen in ähnlicher Größenordnung vor wie bei Variante c) „nur 0/1“.

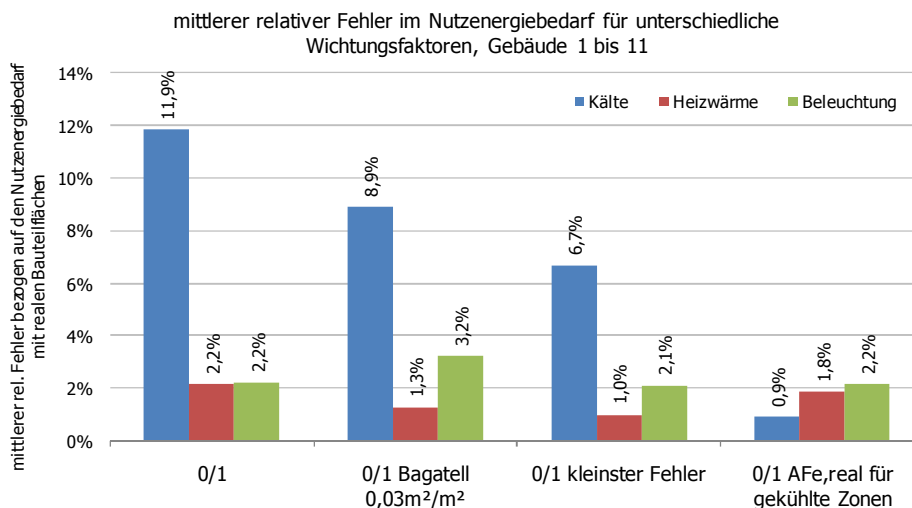


Abbildung 187: Darstellung des mittleren relativen Fehlers im Nutzenergiebedarf bei Anwendung unterschiedlicher Verteilungskonzepte, alle Gebäude 1 bis 11

Analysiert man die maximalen Fehler, die für alle Gebäude und je Art der Flächenverteilung auftreten können, zeigt sich im Vergleich zur Variante c) „0/1“, dass unter Beachtung der Bagatellgrenze von $r_{Fe,Az} = 0,03 \text{ m}^2/\text{m}^2$ sehr geringe Maximalfehler auftreten. Sie liegen leicht höher als bei Verteilung nach dem kleinsten möglichen Fehler für opake und transparente Bauteile. Die detaillierte Zuweisung der Fensterflächen zu gekühlten Zonen führt zu geringsten Fehlern im Kühlenergiebedarf, die maximalen Fehler im Heizwärme- und Beleuchtungsstrombedarf korrespondieren mit denen von Variante c) „nur 0/1“.

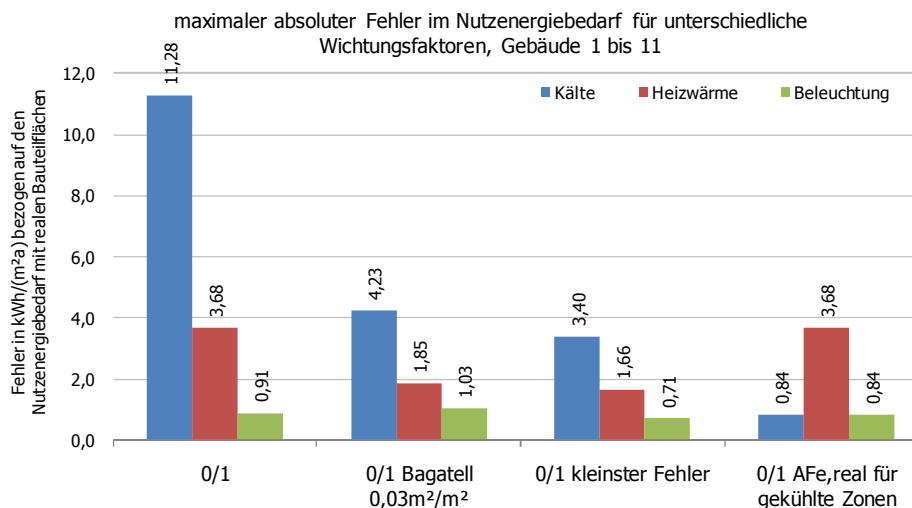


Abbildung 188: Darstellung des maximalen absoluten Fehlers im Nutzenergiebedarf bei Anwendung unterschiedlicher Verteilungskonzepte, alle Gebäude 1 bis 11

Setzt man den relativen Bezug als Bewertungsmaßstab an, so kann sich bei Anwendung der reinen 0/1-Verteilung ein maximaler Fehler von 50 % ergeben. Dieser hohe relative Fehler tritt in Gebäude 10 (Maison Relais) auf und entspricht einem absoluten Fehler von nur 2,5 kWh/(m²a). Der Grund dafür ist der geringe Klimatisierungsgrad des Gebäudes. Im detaillierten Verfahren wird ein spezifischer Kältebedarf von 5,8 kWh/(m²a) berechnet; durch Anwendung der 0/1-Wichtung ergibt sich ein Gebäudebezogener Wert von 2,9 kWh/(m²a). Dem hohen relativen Fehler steht ein sehr geringer absoluter gegenüber.

Die Anwendung des Bagatellfalls führt zu einer präziseren Zuweisung der Fensterflächen. In dem Fall betrifft es eine große Zone mit einem Fensterflächenanteil unter $0,03 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Für den Kühlfall kann der Fehler dadurch halbiert werden. Auch hier kommt der maximale Fehler im gleichen Gebäude wie bei Variante c) vor. Bei detaillierter Zuweisung der Fensterflächen für gekühlte Zonen ergeben sich maximale Fehler unter 5 % für alle Energieanwendungen.

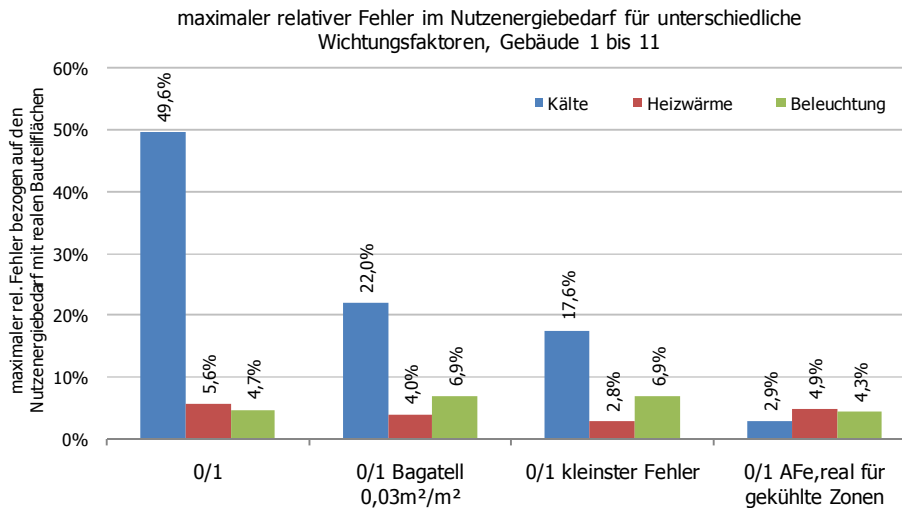


Abbildung 189: Darstellung des maximalen relativen Fehlers im Nutzenergiebedarf bei Anwendung unterschiedlicher Verteilungskonzepte, alle Gebäude 1 bis 11

5.3 Fehler im Primärenergiebedarf

Neben der Bewertung auf Nutzenergieebene erfolgt die Fehlerdarstellung auch vereinfacht auf Primärenergieebene nach dem Kurzverfahren aus Abschnitt 4.2. Berechnet werden die mittleren Fehler je Energieanwendung im primärenergetischen Maßstab. Wie in Abschnitt 4.4.2.4 beschrieben, können diese mittleren Fehler nicht zu einem gemeinsamen Primärenergiefehler addiert werden, da Kompensationseffekte zwischen den Energieanwendungen auftreten. Unter Anwendung der vorbestimmten Primärenergieaufwandszahlen gewinnt die Energieanwendung Beleuchtung im direkten Vergleich mehr an Gewicht. Bei Anwendung aller Konzepte ergeben sich mittlere Fehler unter $3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für die jeweilige Energieanwendung.

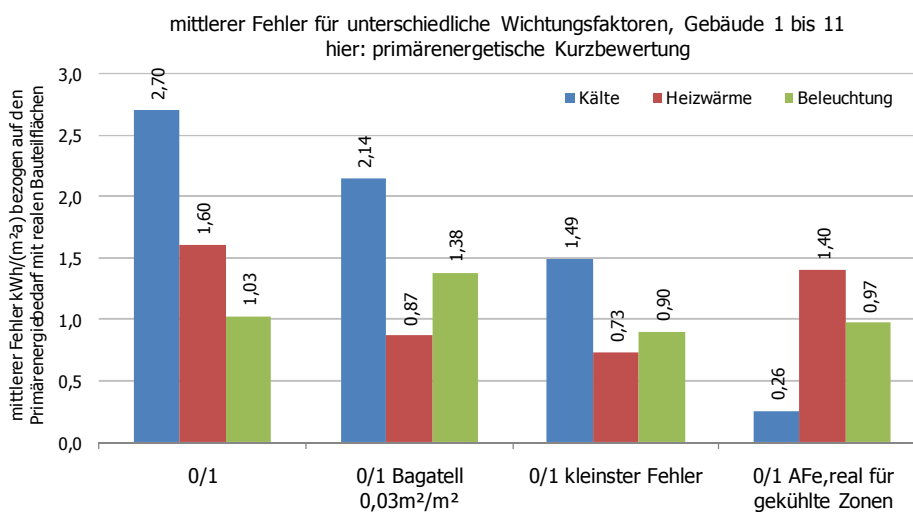


Abbildung 190: Darstellung des maximalen relativen Fehlers im Nutzenergiebedarf bei Anwendung unterschiedlicher Verteilungskonzepte, alle Gebäude 1 bis 11

5.4 Fehler im Gesamt-Primärenergiebedarf

Die berechneten Fehler im Energiebedarf kompensieren sich in den einzelnen Gebäuden unterschiedlich stark. Abbildung 191 zeigt den Gesamtprimärenergiebedarf für die unterschiedlichen Zuweisungskonzepte. Die linke Säule einer Säulengruppe (pro Gebäude) entspricht dem Primärenergiebedarf bei detaillierter Zuweisung der Gebäudehüllflächen.

Die gebäudebezogenen Primärenergiebedarfe liegen allesamt dicht beieinander. Lediglich für das Gebäude 6 (Büro Mamer) wird bei Anwendung einer 0/1-Wichtung (Verfahren c) eine Abweichung von 14 kWh/(m²a) berechnet, was durch den Kühlenergiebedarf verursacht wird.

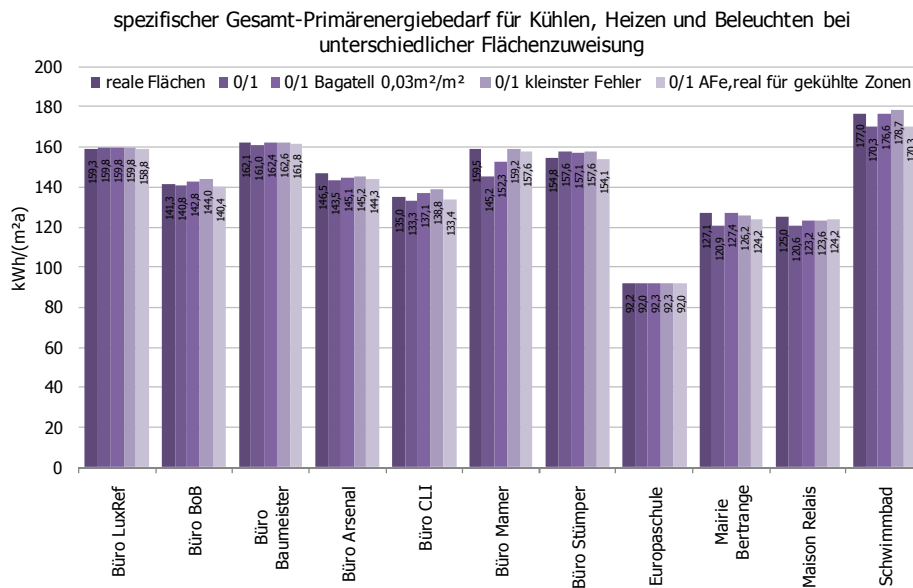


Abbildung 191: Spezifischer Gesamt-Primärenergiebedarf für Heizen, Kühlen und Beleuchten für verschiedene Zuweisungskonzepte

Die detaillierten Auswertungen je Energieanwendung sind im Anhang Abschnitt A.11 dargestellt.

Nutzt man die einfache Zuweisungskorrektur des Verfahrens c) „0/1“ ergibt sich ein mittlerer Fehler von etwa 4 kWh/(m²a) respektive 2,5 %. Durch die Berücksichtigung der Bagatellgrenze (Variante d) kann der Fehler halbiert werden und liegt auf gleichem Niveau wie bei den Analysen des kleinsten möglichen Fehlers.

Eine detaillierte Zuweisung der Fensterflächen in gekühlten Zonen durch Variante e) bringt eine erhöhte Genauigkeit bei der Berechnung des Kühlenergiebedarfs mit sich. Die übrigen Fensterflächen werden in dem Konzept vereinfacht auf die Zonen verteilt. Dies führt in den Bereichen Heizen und Beleuchten zu höheren Fehlern. Auf Primärenergieebene ergibt sich ein mittlerer Fehler im Primärenergiebedarf von 1,7 kWh/(m²a), der geringfügig höher ist, als bei den beiden vorigen Methoden. Die relativen Gesamt-Primärenergiefehler sind mit maximal 2,5 % für alle Varianten als gering einzuschätzen.

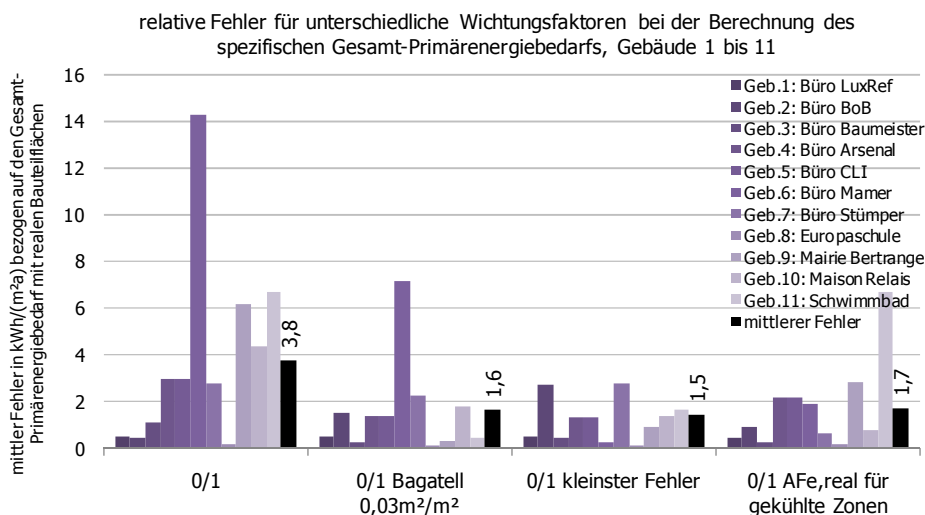


Abbildung 192: Darstellung des mittleren absoluten Fehlers im Gesamt-Primärenergiebedarf bei Anwendung unterschiedlicher Verteilungskonzepte, alle Gebäude 1 bis 11

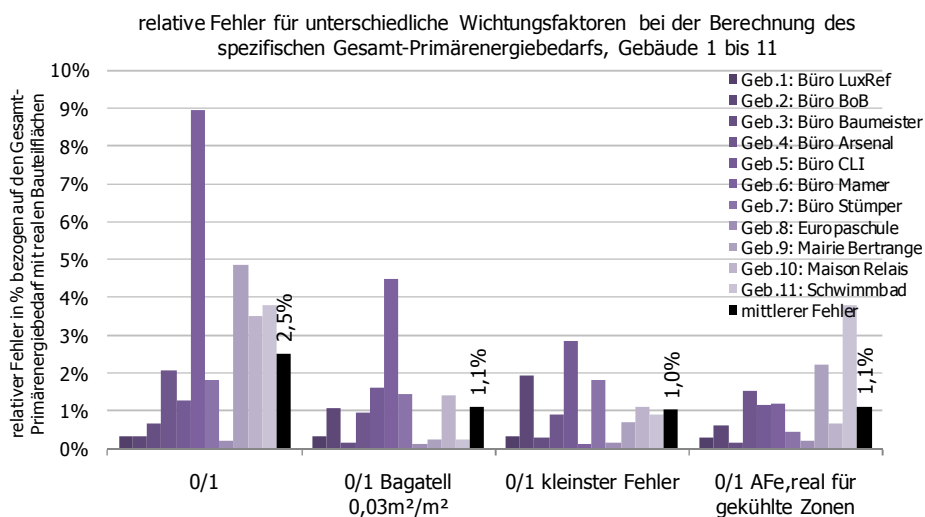


Abbildung 193: Darstellung des mittleren relativen Fehlers im Gesamt-Primärenergiebedarf bei Anwendung unterschiedlicher Verteilungskonzepte, alle Gebäude 1 bis 11

5.5 Diskussion der Ergebnisse

Die untersuchten Konzepte zur Anwendung des *erweiterten Verfahrens* zeigen gangbare Wege zur einfachen Datenaufnahme eines Gebäudes. Eine generelle Abfrage der Bauteilflächen in einer Zone zeigt, dass eine ausreichend hohe Ergebnisschärfe erreicht werden kann.

Der kleinste mögliche Fehler (Variante 0/1 markiert den Best case. Es ist im *erweiterten Verfahren* nicht möglich, geringere Fehler bei der Flächenverteilung zu erzielen. Die Wirksamkeit der anderen Konzepte muss sich demnach mit dieser Variante messen. Im Primärenergiebedarf ergibt sich ein mittlerer Fehler von 1 % bzw. 1,5 kWh/(m²a).

Das reine Abfragen, ob in einer Zone ein Bauteil vorkommt oder nicht, ist von der Vorgehensweise die eindeutigste und nachvollziehbarste Variante und die mit dem geringsten Aufwand. Die durchschnittlichen Fehler im Primärenergiebedarf liegen bei etwa 2,5 % bzw. bei knapp 4 kWh/(m²a). Dabei muss man beachten, dass sich der Fehler bei der detaillierten Zonierung reduziert, wenn weitere Energieanwendungen, wie Warmwasserbereitung, Strombedarf von Lüftungsanlagen,

hinzukommen. Diese werden beim *vereinfachten* als auch beim *detaillierten Verfahren* gleich bilanziert.

Die Einführung des Bagatellfalls, bei welchem zonenbezogene Fensterflächenanteile kleiner als $0,03 \text{ m}^2/\text{m}^2$ so berechnet werden, als wären keine Fensterflächen enthalten, scheint die beste Schnittmenge zwischen vertretbarem Mehraufwand und Verbesserung der Genauigkeit zu sein. Die Anwendung bei Gebäuden zeigt, dass hierbei der Primärenergiebedarf nahe dem Optimum liegt, das sich bei Berechnung des kleinsten möglichen Fehlers ergibt. Mit einem Fehler von 1,1 % respektive $1,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ kann die Genauigkeit der Energiebilanz weiter geschärft werden.

Die Aufteilung der Fensterflächen in gekühlte Zonen führt zu geringeren Fehlern im Nutzkühlenergiebedarf von $0,25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Die noch vorhandenen Unterschiede zur detaillierten Zonierung ergeben sich lediglich durch die unscharfe Verteilung opaker Flächen.

Wenn im Konzept alle anderen transparenten und opaken Flächen nach dem Schema 0/1 verteilt werden, ergeben sich in Summe jedoch sogar leicht höhere Gesamtfehler im Primärenergiebedarf. Aus Sicht der Beeinflussung des Gesamtergebnisses ist es nicht erforderlich, die Fensterflächen der gekühlten Zonen detailliert einzugeben. Zudem würde dies zu einem erheblichen Mehraufwand führen und Änderungen am Gebäudeentwurf müssten je Zone nacheditiert werden. Das *vereinfachte Verfahren* erlaubt auf Zonenebene Detailflächen zu definieren, sodass ein Projekt im Laufe der Bearbeitung präzisiert werden kann. Bei einem stabilen Gebäudeentwurf ist es lohnenswert, die Flächen von der vereinfachten Zuweisung in die detaillierte Zuweisung zu überführen.

Aus Sicht einer einfachen und vor allem zweifelsfreien Handhabbarkeit ist das Verfahren mit der Abfrage, ob ein Bauteiltyp in einer Zone vorkommt oder nicht, sowie die Berücksichtigung des Bagatellfalls mit $0,03 \text{ m}^3/\text{m}^2$ Zonenfläche für die Erstellung von Energieausweisen (gebäudebezogene Auswertung) zu empfehlen.

6 Teilenergiekennwerte

Seit Inkrafttreten der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2007 erfolgt die Bewertung von Nichtwohngebäuden nach dem Referenzgebäudeverfahren. In der überarbeiteten und verschärften EnEV 2009 wird die Anwendung dieses Verfahrens auch auf Wohngebäude ausgeweitet. Die Anforderungen an Gebäude werden auf der Grundlage eines Referenzgebäudes definiert. Das Referenzgebäude ist in Nutzung, Geometrie und Ausrichtung identisch zum nachzuweisenden Gebäude. Die Unterteilung hinsichtlich der Nutzung und Zonierung des Referenzgebäudes muss mit dem zu bewertenden Gebäude übereinstimmen. So wird das energetische Verhalten des zu bewertenden Gebäudes mit seinen geometrischen und nutzungsbedingten Eigenschaften, jedoch unter Verwendung einer vom Gesetzgeber definierten Referenzausstattung, berechnet. Der mit diesen Anforderungen berechnete Primärenergieferenzwert markiert die Anforderungsgrenze. Durch Anwendung dieses Verfahrens soll sichergestellt werden, dass auch Gebäude bewertet werden können, die sich hinsichtlich ihrer Nutzung stark von einem Durchschnittsgebäude der gleichen Gebäudekategorie unterscheiden. Des Weiteren kann so ein einheitlicher Standard für alle Gebäude vorgegeben werden. Die Anwendung von festen Primärenergiegrenzwerten für unterschiedliche Gebäudetypen würde dies nicht immer erlauben.

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte *Verfahren zur vereinfachten Hüllflächenverteilung für Mehr-Zonen-Bilanzen* zeigt eine potentielle Möglichkeit, um Teilenergiekennwerte auf der Basis einer statistischen gebäudebezogenen Auswertung zu ermitteln. Die Grundhypothese dabei ist, dass der Anteil der Gebäudehüllfläche, der in einer Zone vorkommt, mit dem Anteil der Zonenfläche an der Gesamtzonenfläche eines Gebäudes in Zusammenhang steht, sodass bei einer zonenflächengewichteten Verteilung der Gebäudehüllflächen der Energiebedarf eines Gebäudes hinreichend genau abgebildet werden kann. Die Untersuchungen hierzu zeigen, dass dies bei Anwendung des *erweiterten Verfahrens* gegeben ist.

Notwendigkeit der Arbeit

Nach DIN V 18599 werden Gebäude mit einer integralen Methode bewertet, so werden neben der umfassenden energetischen Analyse auch Rückkopplungen zwischen den Energiedisziplinen berücksichtigt. Die Anwendung dieser Methode lässt zudem auch die Kompensation von Maßnahmen bei der Bewertung der Gesamtenergieeffizienz zu.

Im Rahmen von Förderprogrammen werden strenge Zielvorgaben definiert, die erreicht werden müssen, um z. B. in den Genuss von Beihilfen zu kommen. Diese Vorgaben orientieren sich zum Teil auch an der Unterschreitung gesetzlicher Vorgaben. Für den Neubau ist im Rahmen von EnOB-Förderprojekten eine Unterschreitung des Gesamt-Primärenergiebedarfs von mindestens 50 % gefordert. Zudem müssen bautechnische Kenndaten nachgewiesen werden (siehe Abschnitt 6.1.2) [84].

Beim Zertifizierungssystem „Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen“ fließt die energetische Qualität des Gebäudes über die Ökobilanz zum vollständigen Lebenszyklus in die Beschreibung und Bewertung der ökologischen Qualität ein. Für die beste Bewertung (Gold) wird eine Unterschreitung der EnEV um mindestens 40 % empfohlen [85].

Da die Bewertung nach EnEV mit der Referenzgebäudemethode erfolgt, in welchem das Gebäude mit seinen gleichen geometrischen Eigenschaften abgebildet wird, bleibt der energetische Gebäudeentwurf größtenteils unberücksichtigt, da dessen Einfluss in beiden Modellen gleich ist. Die Optimierung des Baukörpers rückt somit weiter in den Hintergrund. Ein Gebäude mit einem ungünstigen A/V-Verhältnis, einer schlechten Tageslichtversorgung oder aber sehr hohen Glasanteilen wird sowohl beim zu bewertenden als auch beim Referenzgebäude hinterlegt. Will man ambitionierte Gebäudekonzepte bewerten, ist es erforderlich, auch die energetische Qualität des Gebäudeentwurfs zu bewerten. Dies erfolgt in der Praxis durch Expertisen [86].

Zur besseren Identifikation energetisch guter Gebäudeentwürfe kann eine zusätzliche Bewertung anhand spezifischer Teilenergiekennwerte auf Gebäude- oder Zonenebene hilfreich sein. Diese Vergleichswerte können entweder aus gemessenen statistischen Daten oder aber anhand vorberechneter synthetischer Vergleichswerte für die jeweilige Energiedisziplin (Beleuchtung, Heizwärme, Kälte und Strombedarf für Luftförderung) erhoben werden.

Mit zonenbezogenen Referenzwerten für einzelne Energieanwendungen kann eine primärenergetische Überkompensation gemindert und Zielwertanforderungen für die wesentlichen Nutzenergiebedarfe bestimmt werden. Der durch den Gebäudeentwurf bedingte Einfluss auf die jeweilige Energiebilanz kann somit bewertet werden. Ein guter Gebäudeentwurf bedingt einen geringen Energiebedarf und sorgt somit zu einem Abstand zum Anforderungswert. Bei ungünstigen Gebäudeentwürfen führt dies zu strengen Anforderungen.

Die Bewertungsbasis wird dann einerseits durch den Gebäudeentwurf, aber auch durch vorgegebene technische Ausstattungen gebildet, mit welchen entsprechende Klassengrenzen definiert werden können. Derzeit existieren noch keine solchen Kennwerte für alle Energieanwendungen.

Zielsetzung und Vorgehen

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines Verfahrens, mit welchem Gebäude präziser bewertet werden können und so auch einzelnen Energiedisziplinen und -merkmalen Rechnung getragen werden kann. Zudem soll eine zentrale Datenbank und ein Rechenwerkzeug geschaffen werden, auf deren Basis Teilenergiekennwerte für die Bereiche Heizen, Kühlen und Beleuchten ermittelt werden. Dabei soll es möglich sein, die bis zu diesem Zeitpunkt gewonnenen Ergebnisse, um neue Projektdaten zu erweitern und die Datenbank fortzuführen, sodass die Erhebung von zukünftigen Anforderungswerten weiter präzisiert und ausgebaut werden kann.

Die Bewertung mit Teilenergiekennwerten setzt voraus, dass der rechnerische Energiebedarf von Gebäuden damit abgebildet werden kann. Teilenergiekennwerte müssen für typische Gebäude generiert und für alle Nutzungsprofile, die nach DIN V 18599-10 angewendet werden können, bestimmt werden. Um auf Zonenebene typische Werte für unterschiedliche Nutzungen zu berechnen, sind typische Kenndaten erforderlich. Dazu werden statistische Untersuchungen an Gebäuden durchgeführt, auf deren Basis die für die Energiebilanz wichtigen Daten charakterisiert werden können. Auf dieser Grundlage sind weitere Randbedingungen zu definieren, um Teilenergiekennwerte zu ermitteln.

Um die Bewertung energieoptimierter Gebäude an das aktuelle Nachweisverfahren nach EnEV 2009 zu koppeln, ist es erforderlich die generierten Zielwerte (oder Klassengrenzen) mit der Bewertungsmethode DIN V 18599 zu ermitteln.

Folgende Ziele werden bei der Erarbeitung des Konzeptes verfolgt:

- Das Konzept soll eine Hilfe zur Bewertung der energetischen Qualität von Gebäuden sein, mit dem Schwerpunkt Optimierung des Gebäudeenergiebedarfs und später der Optimierung der Anlagentechnik.
- Der Aufwand zur Erhebung der Zusatzkriterien soll gering sein.
- Es soll die gleiche Rechenmethode wie für Nichtwohngebäude nach EnEV (DIN V 18599) genutzt werden, sodass die Rechenergebnisse verwendet werden können, die im Rahmen der Ausstellung von Energieausweisen bereits vorhanden sind.
- Gegebenenfalls sind Randbedingungen zu nennen, die bei der Berechnung bzw. bei der Auswertung der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen.
- Es soll eine Anforderung auf Gebäudeebene für die jeweilige Energieanwendung Heizwärme, Kühlen und Beleuchten aufgestellt werden.
- Die Zusatzkriterien sollen die Qualität des Gebäudeentwurfes besser beschreiben.
- Der Einfluss der Anlagentechnik ist bei der energetischen Bewertung des Gebäudeentwurfs nicht zu berücksichtigen.

Abgrenzung des Bearbeitungsschwerpunktes

Diese Arbeit befasst sich hauptsächlich mit der grundlegenden Entwicklung eines Konzeptes zur Bestimmung von Teilenergiekennwerten als Zusatzkriterien zur Bewertung von neuen Gebäuden. Dabei wird der theoretische Ansatz genutzt, der bei der Entwicklung des *vereinfachten Verfahrens* zur Hüllflächenverteilung entwickelt wurde. Es handelt sich somit auch um eine weitere praktische Anwendung des Verfahrens. Wechselwirkungen mit der Anlagentechnik werden aufgegriffen, jedoch nicht vertieft.

Es wird zudem eine Datenbank als Grundlage geschaffen, die im Rahmen der Projektfortführung erweitert werden soll und muss. Um die sichere Bewertung über Teilenergiekennwerte zu ermöglichen, sind weitere Gebäudedaten als die hier erhobenen erforderlich. Insbesondere betrifft dies spezifische Hüllflächendaten, die energetisch gute Gebäude beschreiben sollen, sodass im Laufe der Weiterentwicklung präzisere und auch auf neue Nutzungen angepasste Kennwerte ermittelt werden können.

6.1 Gebäudekennwerte

Folgend wird ein Konzept beschrieben, mit welchem Gebäude unter Zuhilfenahme von Teilenergiekennwerten in den Bereichen Heizwärme, Kühlung und Beleuchtungsstrom zusätzlich zum bisherigen Ansatz bewertet werden können.

6.1.1 Allgemeines zu Gebäudekennwerten

Feste Energiekennwerte als Anforderungs- oder Zielwerte zu verwenden, hat eine langjährige Tradition. Als Energiekennwerte sind Angaben zum flächen-, volumen- oder nutzeinheitbezogenen Aufwand an Nutz-, End- oder Primärenergie für Gebäudekategorien gebräuchlich [87].

Beispiele für Nichtwohngebäude sind die katalogisierten Verbrauchswerte nach der AGES [88], der VDI 3807 [89][90], der des BMVBS [91] oder von *Knissel, Lichtmeß* und *Hörner* in [92] beschriebenen Verfahren für objektspezifische Benchmarks. In der VDI 3807/4 sind Teilkennwerte für unterschiedliche (Strom-)Verwendungszwecke und Nutzungen hinterlegt, deren Ermittlung grundsätzlich auf dem von *Knissel* und *Hörner* in [93] vorgestellten Verfahren zur Bewertung des Stromeinsatzes in Nichtwohngebäuden aufbaut. Für neue Gebäude werden in der Regel berechnete Bedarfswerte als Bewertungsmaßstab herangezogen. Beispiele hierfür sind die Methoden nach LEE [94], des MEG [95] oder nach der SIA 380 [96]. Teilkennwerte über alle energetischen Verwendungszwecke existieren bislang nicht.

Einige europäische Länder, wie Österreich und die Schweiz, nutzen Kennwerte für bestimmte Gebäudeklassifizierungen, um Gebäude nach ihrem Energieverhalten zu beurteilen. Die Schwierigkeit besteht darin, dass insbesondere Nichtwohngebäude eine deutliche Inhomogenität hinsichtlich ihrer Nutzung aufweisen. In modernen Bilanzierungsansätzen, wie sie im aktuellen europäischen Normwerk definiert sind, werden diese Nutzungseigenschaften berücksichtigt. Daher kann eine Anforderungsgrenze mittels einem Kennwert für einen Gebäudetyp zwar im statistischen Mittel für alle Gebäude passen, jedoch kann es im Einzelfall zu deutlichen nutzungsbedingten Unterschieden kommen, wodurch ebenfalls eine ungerechte Bewertung zustande kommen kann – im positiven als auch im negativen Sinne. Die Bewertung mit der Referenzgebäudemethode verhindert diese nutzungsbedingten Unterschiede, da sich der Anforderungskennwert für jedes Gebäude selbst definiert. Die technische Referenzausführung ermöglicht es, die Anforderungen an Gebäude auf der Basis der vorgesehenen Nutzung festzulegen. Die Anforderungen selbst entstehen so erst mit dem Gebäude und dessen vorgesehener Nutzung. In früheren Verordnungen wurden die Anforderungen auf der Basis des Flächen-/Volumenverhältnisses festgelegt. Die Referenzgebäudemethode macht es aber auch schwerer für Architekten und Planer, denn Gebäude gleicher Kubatur können erheblich voneinander abweichende Bedarfswerte aufweisen. Die Ausführungen des Referenzgebäudes können jedoch als Richtwerte für das geplante Gebäude herangezogen werden. Die Zielsetzung, einen energetisch optimierten Gebäudeentwurf zu entwickeln, gerät hierbei in den Hintergrund.

In Österreich, wo auch die DIN V 18599 als Berechnungsgrundlage gilt, werden Gebäude in 12 Klassen unterteilt und in Abhängigkeit ihres Heizwärmebedarfs bewertet [25]. Berechnet werden neben dem Heizwärmebedarf auch der Gesamt-Primärenergiebedarf und die CO₂-Emissionen; klassifiziert werden Gebäude derzeit jedoch nur nach ihrem Heizwärmebedarf.

In der Schweiz werden Energieausweise für Gebäude nach der SIA 2031 erstellt, welche selbst auf Europäischem Normwerk basiert (EN 15217 und EN 15603) [97]. In dieser Vorschrift werden ebenfalls 12 Gebäudekategorien beschrieben, für die Standard-Primärenergiekennwerte als Anforderungswerte vorgegeben werden. Diese Standardwerte unterteilen sich dabei in die beiden Bereiche „*Heizwärme*“ und „*andere Verwendungszwecke*“. So soll sichergestellt werden, dass es für alle Gebäude möglich ist, unabhängig vom Gesamt-Primärenergiebedarf einen Mindestwärmeschutz zu definieren.

Absolute und relative Bewertung - Zusammenfassung

Folgende Aufstellung skizziert die Vor- und Nachteile von festen Kennwerten (absolute Bewertung) und der Methode der Referenzgebäudebewertung (relative Bewertung).

Tabelle 47: Gegenüberstellung von Vor- und Nachteilen bei Anwendung fester Energiekennwerte und der Referenzgebäudemethode

Bewertung von Gebäuden mittels fester Kennwerte (absolute Bewertung)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Akzeptanz von Kennwerten, da diese Systematik seit langem etabliert und bei Planern bekannt ist. • Gebäudekennwerte können direkt miteinander verglichen werden. • Die Definition fester Kennwerte erlaubt eine klare Zielwertvorgabe für Planer und Architekten. • Durch feste Kennwerte können übermäßige Kompensationseffekte verringert werden. 	<ul style="list-style-type: none"> • Schwierigkeiten bei der Begrenzung bzw. Festsetzung von Energiekennwerten für unterschiedliche Gebäudekategorien. • Unscharfe Bewertung von Gebäuden mit vom durchschnittlichen Standard abweichender Nutzung. Das kann dazu führen, dass diese Gebäude nur aufgrund ihrer Nutzungsstruktur energetisch „ungerecht“ bewertet werden – positiv als auch negativ. • Es ist in der Regel eine Abhängigkeit der Kennwerte von der Gebäudegeometrie erforderlich, um bei kleinen Gebäuden höhere Heizwärmebedarfe zuzulassen, will man gleiche ökonomisch motivierte Anforderungen an Gebäude stellen.

Bewertung von Gebäuden mittels der Referenzgebäudemethode (relative Bewertung)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Bessere Abbildung eines Anforderungswertes von Gebäuden mit heterogener Nutzung. • Höhere Freiheitsgrade bei der Ausarbeitung des architektonischen Entwurfs, da dieser gleichermaßen auch im Referenzgebäude abgebildet wird. Eine gefundene architektonische Lösung wird anschließend planerisch so detailliert, um die gesetzlichen Anforderungen zu unterschreiten. • Die Anforderungen an die Energieeffizienz können „ökonomisch“ gerechter abgebildet werden. • Die bloße Orientierung an der Referenzausstattung führt zum sicheren Erreichen der Anforderungswerte (ausgenommen sind pauschale Minderungsfaktoren in der Referenzausstattung, wie: „nur 80 % der Leitungslängen für Verteilung werden im Referenzgebäude zum Ansatz gebracht“). • Änderungen der Berechnungsmethodik sind unproblematischer, da sie im Referenz- und im zu bewertenden Gebäude berücksichtigt werden. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gebäude lassen sich weniger gut miteinander vergleichen. • Die Referenzbewertung birgt eine gewisse Abstraktheit in sich, da auch der Anforderungswert kein fester Wert ist und sich mit dem Gebäude selbst generiert. Das macht die Referenzbewertung für Planer und Architekten schwieriger. • Durch den Einfluss von Kompensationseffekten und durch die nicht transparenten Anforderungswerte werden Energiekennwerte, insbesondere in den Bereichen Heizwärme und Kühlung, entwertet. • Da das Gebäude geometrisch wie das Referenzgebäude behandelt wird, rückt die Zielsetzung, einen energetisch optimierten Gebäudeentwurf zu realisieren, in den Hintergrund, da dieser nicht bewertet wird. • Bei unterschiedlichen Berechnungsmethoden für das Referenzgebäude und das zu bewertende Gebäude können sich Primärenergieeinsparungen ergeben, die sich nur aufgrund von Unterschieden im Berechnungsverfahren ergeben.

6.1.2 Förderkriterien für energetisch gute Gebäude

Der Ansatz aktueller Fördersysteme sieht die Möglichkeit einer finanziellen Unterstützung bei Realisierung von Demonstrationsvorhaben und energieeffizienten Gebäude vor. Dafür müssen gewisse Voraussetzungen erfüllt sein. Die Politik legt großen Wert darauf, nicht nur Energieeinsparung zu realisieren, sondern auch Innovationen zu fördern [84]. Insofern fehlen bisher eindeutiger Kriterien, sodass auch Projekte realisiert werden können, die zwar energetisch letztlich nicht optimal sind, aber dem Piloteinsatz neuer Technologien/Strategien dienen. Die Erfüllung der Anforderungen an die Energieeffizienz ist somit ein Baustein bei den Auswahlkriterien für innovative Demonstrationsvorhaben.

Grundlegend steht bei der Planung energetisch hochwertiger Gebäude immer eine energieoptimierte Architektur im Vordergrund. Der positive Einfluss energetisch hochwertiger Gebäudeentwürfe wird bei der Bewertung nach der Referenzgebäudemethode nicht im vollen Maße berücksichtigt.

In der Praxis zeigt sich, dass es für ungünstige Gebäudeentwürfe zum Teil einfacher ist, das Förderkriterium „50 % unterhalb der gesetzlichen Anforderungen“ zu erfüllen, als für energetisch bessere Entwürfe. Dies lässt sich zum Teil dadurch erklären, dass der Relativbezug einerseits nur auf Primärenergieebene erfolgt und bei der Zusammensetzung der Energiebedarfe Verschiebungen auftreten. Beispielsweise wird der Anteil des Heizwärmebedarfs am Gesamtprimärenergiebedarf bei einem ungünstigen Gebäudeentwurf durch den größeren Hüllflächenanteil steigen. Die relativen Auswirkungen von Dämmmaßnahmen oder von Heizsystemen auf der Basis erneuerbarer Energien werden im Rahmen dieser Gesamtbewertung stärker bewertet als bei einem sehr guten Gebäudeentwurf.¹⁹ Ähnliche Zusammenhänge lassen sich bei der Bewertung des Strombedarfs für Beleuchtung feststellen. Der Einfluss einer guten oder schlechten Tageslichtarchitektur wird gleichermaßen im Referenzgebäude und im zu bewertenden Gebäude erfasst. Die absoluten Einsparpotentiale durch tageslichtabhängige Steuerungen verändern sich mit der Qualität der Tageslichtversorgung.

Anforderungen an die Energieeffizienz nach EnBau, Stand: 15.12.2006

Nach [84] werden die nachfolgend zitierten Anforderungen an die Energieeffizienz für Neubauten (EnBau) gestellt:

- Im Nichtwohnungsbau ist der Grenzwert für den Primärenergiebedarf nach EnEV 2006 in Verbindung mit der DIN 18599 um mindestens 50 % zu unterschreiten.
- Weiterhin besteht eine zusätzliche Anforderung an den Wärmeschutz der Gebäudehülle in der Form, dass der mittlere U-Wert einen Grenzwert nicht überschreiten darf. Die exakte Festlegung erfolgt hierzu nach Inkrafttreten der neuen Verordnung.
- Im Wohnungsbau ist über die o. g. Anforderungen hinaus eine auf das Jahr bezogene ausgeglichene Primärenergiebilanz nachzuweisen (z. B. Einsatz von Photovoltaik oder Kraft-Wärmekopplung, z. B. mit Biogaseinsatz, zur Stromerzeugung). Die Bilanzierung ist im Rahmen der EnEV 2006 unter Verwendung der Primärenergiefaktoren nach geltender DIN-Norm durchzuführen.

¹⁹ Bezogen auf die EnEV 2009 mit nicht A/V-abhängigen, festen U-Werten für das Referenzgebäude.

Für Nichtwohngebäude ist somit die 50 %ige Unterschreitung des Primärenergiebedarfs erforderlich. Die Überprüfung von Gebäuden anhand spezifischer Teilkennwerte für Heizen, Kühlen und Beleuchten kann bei der Bewertung von Gebäuden hilfreich sein.

Betrachtet man im Gebäudebereich zukünftige energetische Zielsetzungen, wie sie zum Beispiel durch den recast der EPBD-Richtlinie vorgegeben werden, so ist in jedem Fall ein ganzheitlicher, primärenergetischer Ansatz erforderlich [98].

6.1.3 Konzept für die Entwicklung von Teilenergiekennwerten

Teilenergiekennwerte können entweder über berechnete Gebäude, gemessene Verbräuche oder synthetisch erhoben werden. Die beschriebene Methode basiert auf synthetisch vorberechneten Kennwerten, die wiederum auf der Auswertung einer Stichprobe von 159 Gebäuden basieren. Die Methode ermöglicht es, vergleichende Kennwerte im Rahmen der Ausstellung von Energieausweisen zu generieren. Die Nutzung vorberechneter Vergleichswerte hat folgende Gründe:

- 1) Der Zeitbedarf zur detaillierten Berechnung und Auswertung einer ausreichenden Gebäudeanzahl steht in keinem Verhältnis zum Nutzen (vgl. Zeitbedarf in Abschnitt 2.1).
- 2) Die für dieses Projekt untersuchten 159 Gebäude (davon 22 als Mehr-Zonen-Modell) zeigen, dass dort nicht alle möglichen Nutzungen der DIN V 18599 vorkommen und demnach auch nicht für alle Nutzungsprofile Vergleichskennwerte abgeleitet werden können. In einem ersten Ansatz ist ein synthetisches Modell besser geeignet, um für alle Nutzungen Kennwerte zu bestimmen. Dazu wird eine Gebäudedatenbank aufgebaut.
- 3) Die Nutzung einer zentralen Gebäudedatenbank erlaubt neben dem Erfassen der Gebäudehülldaten auch die Aufnahme bereits berechneter Kennwerte. So kann das Energiekennwertmodell sukzessive um diese Informationen erweitert und angepasst werden (siehe Abbildung 195, Monitoring).
- 4) Liegen systematische Unterschiede zwischen einer Bedarfsrechnung und gemessenen Verbräuchen vor, ist die Bewertung mittels Verbrauchsdaten nur bedingt geeignet. Noch wichtiger ist die Tatsache, dass der Energieverbrauch eines Gebäudes stark vom Nutzer beeinflusst wird, während bei der Ermittlung des Bedarfs eine Standardnutzung angenommen wird. Die in einer ausreichenden Gebäude Stichprobe gemessenen Verbräuche dienen somit eher der Evaluierung der Rechenmethode DIN V 18599.

Beschreibung des Konzeptes

Die Grundlage bildet die Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599, die im Rahmen der Erstellung von Energieausweisen nach EnEV durchgeführt wird. Somit ist kein zusätzlicher Rechenaufwand erforderlich. Zur Aufbereitung der Kennwerte sind gewisse Vorgaben erforderlich, um die Teilenergiekennwerte auf ein vergleichbares Niveau zu transformieren. Dies betrifft insbesondere die Nutzenergie für Heizwärme und Kühlung. Hier sind die Energiebedarfe ohne die Berücksichtigung des Einflusses unregelmäßiger Wärmeerträge aus Verteilung erforderlich. Dieser Energiekennwert beschreibt „ungestört“ die Energieeffizienz des Gebäudeentwurfes.

Aus den vorhandenen Energiebedarfsrechnungen nach DIN V 18599 sind je Zone die Nutzfläche und die Energiekennwerte für Heizwärme, Kühlung und Beleuchtungsstrom zu ermitteln. Anhand des Nutzungsprofils werden aus einer Datenbank Zielwertvorgaben (Teilenergiekennwerte) ausgelesen,

mit denen die berechneten Energiekennwerte nach DIN V 18599 verglichen werden können. Dabei ist es nicht unbedingt erforderlich, einzelne Zonenkennwerte zu unterschreiten, dies ist insbesondere für den Heizwärmebedarf auch nicht immer möglich. Vielmehr sind die Zonenwerte flächengewichtet zu einem gebäudebezogenen Wert zu aggregieren. Das erfolgt gleichermaßen mit den berechneten und den Teilenergiekennwerten der Zielvorgabe – als eine Art Referenzgebäude.

Da die ermittelten Teilenergiekennwerte auf der Basis einer kleinen Stichprobe von 159 Gebäuden ermittelt worden sind, ist es erforderlich, neue Projekte in die Datenbank aufzunehmen und mit deren Hilfe die Genauigkeit des Datenmodells zu erweitern, um präzisere Teilenergiekennwerte bzw. Zielwertvorgaben abzuleiten.

Abbildung 194 zeigt ablauforientiert, wie eine zusätzliche Bewertung von Gebäuden auf der Basis von Teilenergiekennwerten erfolgt.

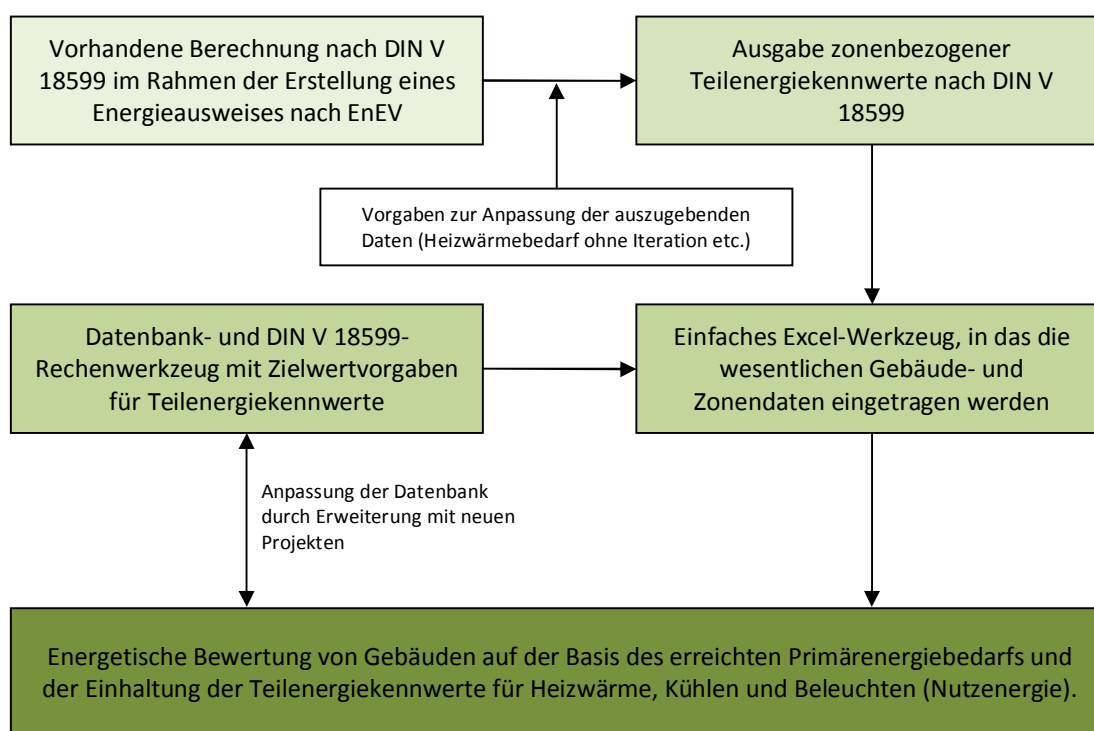


Abbildung 194: Schema zur Bewertung von Gebäuden auf der Basis von Teilenergiekennwerten

Methodisches Vorgehen bei der Ermittlung von Teilenergiekennwerten

Da die Bewertung mit Teilenergiekennwerten mit der energetischen Bewertung nach EnEV kompatibel sein soll, müssen die zusätzlichen Anforderungskriterien für alle 33 Nutzungsprofile der DIN V 18599 ermittelt werden. Die Vorgehensweise bei der Erarbeitung der Methode unterteilt sich in folgende Phasen:

Phase 1: Für die Bestimmung von Teilenergiekennwerten auf der Basis von Nutzungsprofilen sind typische Gebäudedaten zu ermitteln. Hierzu werden statistische Analysen durchgeführt, um nutzungsspezifische Hüllflächenanteile zu bestimmen. Diese sollen einen durchschnittlichen bzw. einen energetisch guten Gebäudeentwurf beschreiben. Die Analysen werden auf Gebäudeebene durchgeführt.

Phase 2: Weiterführend muss überprüft werden, ob für bestimmte Nutzungen Besonderheiten bei der Verteilung der Gebäudehüllflächen vorkommen. Hierfür ist es erforderlich

zonenbasierte Gebäudedaten auszuwerten, um spezielle nutzungsspezifische Anpassungen abzuleiten.

Phase 3: Mit den ermittelten Informationen und Randbedingungen werden typische Hüllflächenanteile (opake und transparente) für jedes Nutzungsprofil generiert, welche als Grundlage für die Berechnung der Teilenergiekennwerte gelten. Des Weiteren müssen für alle Nutzungsprofile typische Raumgeometrien analysiert werden, um ggf. zusätzliche Anpassungen bei der Hüllflächenberechnung vornehmen zu können. Hierzu zählen übliche Raumabmessungen und insbesondere Raumhöhen. Die Auswirkungen dieser Kenngrößen auf den berechneten Energiebedarf sind zu untersuchen.

Phase 4: Zur Bestimmung einer Anforderungsklasse (Zielwert) sind bauliche und technische Randbedingungen zu definieren, die ein energetisch hochwertiges Gebäude beschreiben. Dies betrifft die Bereiche Heizwärme, Kühlung und Beleuchtung bzw. die Tageslichtversorgung. Mithilfe dieser Daten können unter Anwendung der Rechengänge nach DIN V 18599 nutzungsspezifische Energiekennwerte als Zielwert berechnet werden.

Phase 5: Gebäudedaten und Energiekennwerte werden in einer zentralen Datenbank abgelegt und dienen als Vergleichswerte für externe Berechnungen. Dabei ist es erforderlich, die zentrale Gebäudedatenbank um weitere energetisch gute Gebäudeentwürfe zu erweitern, um präzisere gebäudebezogene und/oder zonenbezogene Kennwerte ermitteln zu können respektive Besonderheiten abzuleiten.

Phase 6: Bei der energetischen Bewertung der Gebäude mittels Teilenergiekennwerten muss analysiert werden, welche Energiekennwerte von der Gebäudegröße abhängen, und es muss ggf. ein Verfahren zur Berücksichtigung unterschiedlich großer Gebäude entwickelt werden. Der Fokus liegt dabei auf einer einfachen Handhabung.

Abbildung 195 zeigt das schematische Vorgehen bei der Ermittlung der Teilenergiekennwerte. Die Struktur der vorliegenden Arbeit ist diesem Schema angepasst.

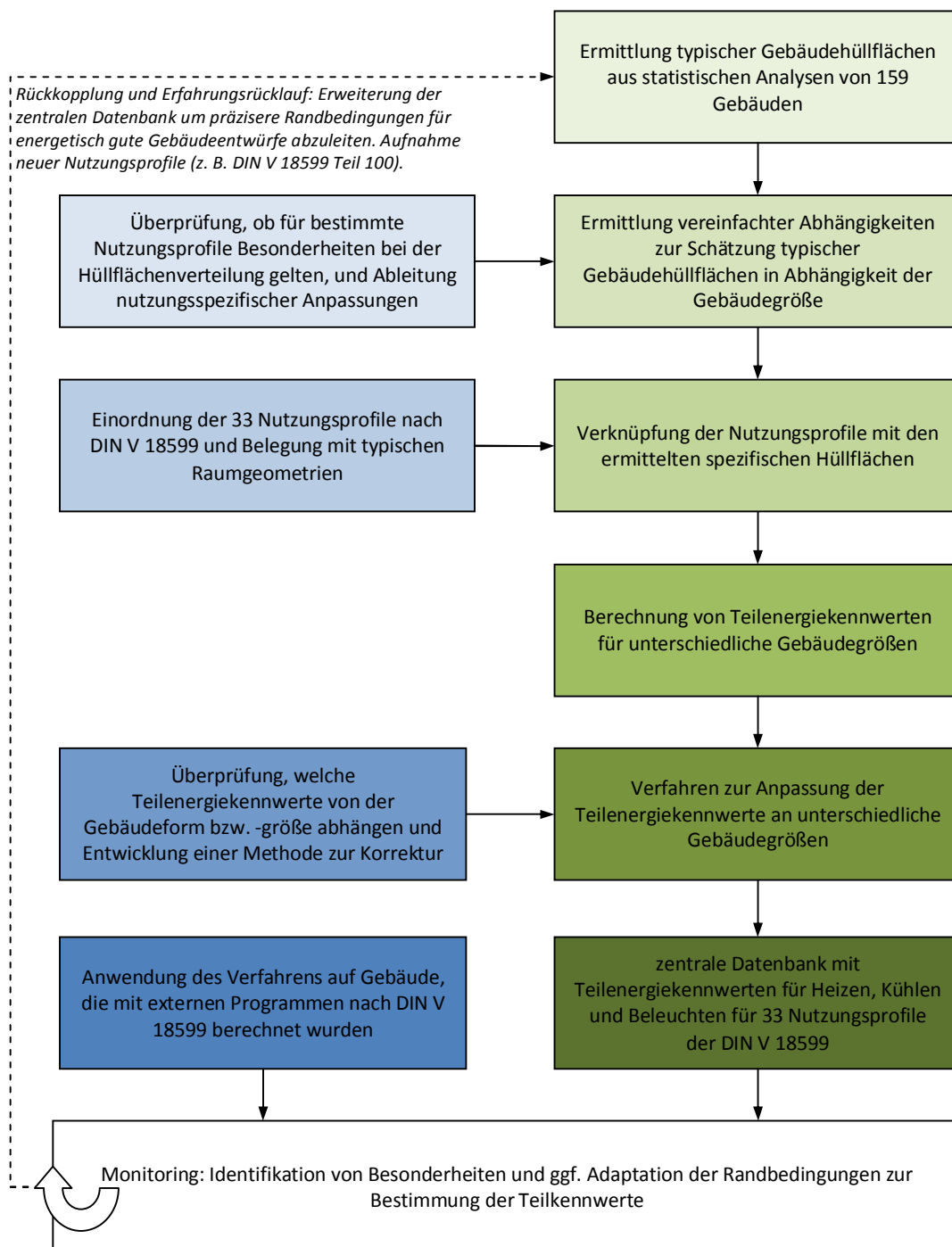


Abbildung 195: Schema für die Ermittlung von Teilenergiekennwerten

6.1.4 Rechenwerkzeug

Als Werkzeug zur Berechnung der Teilenergiekennwerte und zum Aufbau der Datenbank wird das in Abschnitt 3.2 vorgestellte Excel-Tool „EnerCalC“ genutzt. In diesem Rechenwerkzeug sind die normativen Rechenwege der DIN V 18599 abgebildet. Es können Energiebilanzen auf Nutzenergieebene und vereinfacht auch auf Primärenergieebene durchgeführt werden. Für die Berechnung der Teilenergiekennwerte lag die Programmversion 4.13 zugrunde. Für Vergleichszwecke werden darüber hinaus zwei kommerzielle Softwareprodukte „Energiepass Helena“ [38] und „B.54“ [39] genutzt, um die Ergebnisse bestmöglich zu überprüfen.

6.2 Hüllflächenanteile der Gebäude

Für die Berechnung von nutzungsbezogenen Energiekennwerten muss die Energiebilanz für eine typische Gebäudezone durchgeführt werden. Zur Bestimmung des Heizwärme- und Kühlenergiebedarfs sind typische Fassaden-, Dach- und Bodenflächen erforderlich. Für die Ermittlung des Beleuchtungsstrombedarfs sind nur die transparenten Flächen und deren Einfluss auf die Tageslichtversorgung erforderlich. Somit umfasst die thermische Gebäudehülle die folgenden Bauteiltypen:

- Fensterflächen (nach außen),
- Wandflächen (nach außen oder gegen unbeheizt),
- Dachflächen (nach außen oder gegen unbeheizt),
- Bodenflächen (Kellerdecke oder Boden gegen Erdreich).

Für diese Elemente der thermischen Hülle sind typische Werte zu ermitteln, mit denen die Teilenergiekennwerte vorberechnet werden können.

6.2.1 Ermittlung typischer Hüllflächenanteile

Die grundlegende Hypothese ist, dass es eine ausreichend gute Korrelation der Hüllfläche mit der Energiebezugs- bzw. Zonenfläche gibt. Dies begründet sich darin, dass die Energiebezugsfläche eines beheizten Geschosses – unter Voraussetzung einer typischen und festen Gebäudetiefe – proportional zur Länge des Gebäudes ist. Dieser Zusammenhang wurde von *Loga* in [42] untersucht.

Datengrundlage

Grundlage für die statistische Analyse der Hüllflächen bilden 159 Gebäude. Die Datenquellen werden in den folgenden Abschnitten kurz erläutert.

Tabelle 48: Datensatz der analysierten Gebäude

Herkunft der Daten	Anzahl der Gebäude
Energieberatung, GLA (eigene Erhebung)	140
Gebäude von EnOB	8
Gebäude, die im Rahmen dieser Arbeit untersucht wurden	11
Summe	159

Energieberatung, GLA (eigene Erhebung)

Im Rahmen von Energieanalysen des Ingenieurbüros Goblet Lavandier & Associés wurden 140 Gebäude ausgewertet. Es handelt sich im Wesentlichen um Neubauten, für die ein Nachweis über die Gesamtenergieeffizienz zur Beantragung von Fördermitteln in Luxemburg erstellt wurde. Im Gebäudepool befinden sich neben einigen Wohngebäuden auch viele öffentliche Nichtwohngebäude sowie viele Bürogebäude. Die meisten Gebäude sind mit der Software EneC Gebäudesimulation [99] berechnet, liegen in digitaler Form im 1-Zonen-Modell vor und wurden im August 2009 erhoben.

Gebäude EnOB

Im Rahmen der EnOB-Forschung werden 8 Gebäude ausgewertet, die nach DIN V 18599 detailliert berechnet wurden. Die Gebäudedaten liegen alle im Mehr-Zonen-Modell vor. Hierbei handelt es sich in der Regel um energetisch optimierte Gebäude.

Datenstruktur

Die Daten aller Gebäude werden in einer zentralen Datenbank erfasst. Im Rahmen des Projektes wird für die Gebäude aus „Energieberatung, GLA“ eine Schnittstelle zum Programm EneC erstellt, die den Export in eine zentrale Datenbank erlaubt. Eine fehlerträchtige Umwandlung oder Transformation ist somit nicht erforderlich. Für die EnOB-Gebäude wird eine einfache Excel-Liste erstellt, in welche neben den Gebäudehüllflächen auch die Zoneninformationen eingetragen werden. Da die meisten der EnOB-Projekte nach DIN V 18599 berechnet sind, können die Daten als Zonensummenwerte zusammengefasst erfasst werden. Die Anbindung an die Datenbank erfolgt, nach Überprüfung der Plausibilität, über eine Schnittstelle. Alle Datensätze werden im Vorfeld einem Plausibilitätstest unterzogen, damit das Ergebnis nicht von unplausiblen Daten beeinflusst wird, die durch fehlende oder falsche Angaben bzw. Fehler bei der Dateneingabe entstanden sind. Gebäude, die den Plausibilitätskriterien nicht entsprechen, werden aus dem Gebäudepool entfernt.

Es zeigt sich, dass sich für Gebäude die detailliert nach DIN V 18599 berechnet werden, deutlich häufigere Unplausibilitäten ergeben als bei Gebäuden die als 1-Zonen-Modell erfasst werden, was sich auf die hohe Komplexität der zu verwaltenden Eingabedaten zurückführen lässt.

Die untersuchten Gebäude werden anhand der vorwiegenden Nutzung den folgenden Gebäudekategorien zugeordnet. Es wird jeweils die Anzahl der Gebäude, die durchschnittliche Größe aller Gebäude einer Kategorie und jeweils das größte und kleinste Gebäude gezeigt.

Tabelle 49: Kategorisierung der Gebäude und durchschnittliche Eckdaten

Gebäudekategorie	Anzahl der Gebäude	durchschnittliche Gebäudegröße A_{NGF}	kleinstes Gebäude A_{NGF}	größtes Gebäude A_{NGF}
Altenheim	6	6 227 m ²	1 161 m ²	15 594 m ²
Büro, Verwaltung	39	6 376 m ²	217 m ²	61 408 m ²
Supermarkt, Einkaufszentrum	2	28 247 m ²	18.891 m ²	37 624 m ²
Krankenhaus	1	14 710 m ²	-	-
Sporthalle, Schwimmbad	8	2 913 m ²	791 m ²	6 082 m ²
Schule, Kindertagesstätte	47	2 787 m ²	285 m ²	18 581 m ²
Jugendherberge	1	2 437 m ²	-	-
Festsaal, Clubhaus	4	509 m ²	276 m ²	657 m ²
Ein- und Zweifamilienhaus	41	268 m ²	148 m ²	630 m ²
Mehrfamilienhaus	10	1 608 m ²	694 m ²	2 430 m ²
Summe	159	3 398 m²	-	-

6.2.2 Gebäudebezogene Auswertung

Vergleicht man den Heizwärmebedarf von Gebäuden mit gleich gutem Wärmedämmstandard der Außenbauteile, so kann man feststellen, dass die Geometrie des Gebäudes einen erheblichen Einfluss auf den Heizwärmebedarf hat. Von entscheidender Bedeutung ist die Größe der wärmetauschenden Gebäudehüllfläche, da hierüber Transmissionsverluste zustande kommen. Einen guten

Vergleichswert liefert das A/V-Verhältnis. Hierunter versteht man das Verhältnis von wärmetauschender Gebäudehüllfläche zum beheizten Gebäudevolumen. Je kleiner das A/V-Verhältnis ist, desto geringer ist der spezifische Heizwärmebedarf, bei sonst gleichen Randbedingungen. Für die Ermittlung von Teilenergiekennwerten sind daher typische A/V-Verhältnisse von Interesse. Abbildung 196 zeigt für alle 159 Gebäude das A/V-Verhältnis in Abhängigkeit der Gebäudegröße auf. Die Gebäudehüllfläche umfasst alle opaken und transparenten Teilflächen gegen Außenluft, unbeheizt und gegen Erdreich grenzend. Das Gebäudevolumen entspricht dem von diesen Flächen umschlossenen Bruttovolumen. Es zeigt sich, dass das A/V-Verhältnis bei kleinen Gebäuden (hier meist Wohngebäude) bis zu einem Wert von etwa $0,95 \text{ m}^{-1}$ reicht. Mit steigender Gebäudegröße verringert sich auch das A/V-Verhältnis der Gebäude bis auf etwa $0,19 \text{ m}^{-1}$. Dieser Zusammenhang wird in der Literatur umfangreich beschrieben [56][52][79][62][37][20][100].

Eine deutliche Abhängigkeit des A/V-Verhältnisses von der Gebäudegröße war zu erwarten. Bei kleinen Gebäuden ergeben sich größere Abweichungen. Gründe dafür sind ein- und mehrseitig angebaute Gebäude im Gebäudepool, größere praktische Spannweiten von A/V-Verhältnissen bei kleineren Gebäuden. Mit einer Regressionsanalyse konnte ein Ausgleichstrend als Potenzfunktion bestimmt werden. Dieser beschreibt ein typisches A/V-Verhältnis in Abhängigkeit der Gebäudegröße (hier die Nettogrundfläche).

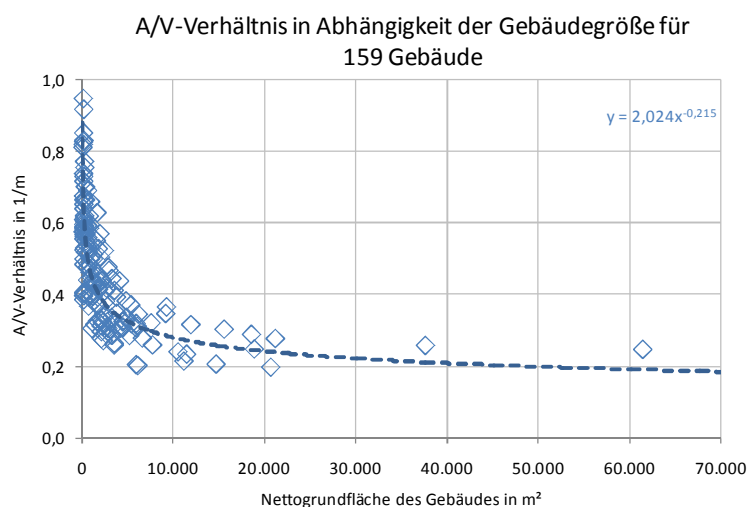


Abbildung 196: A/V-Verhältnis in Abhängigkeit der Gebäudegröße

6.2.2.1 Vergleichende Analysen

Um die aus dem Gebäudedatensatz extrahierten Kenndaten zu überprüfen, ist ein Vergleich mit anderen Rechenmodellen sinnvoll. Dazu werden die KVEP-Methode sowie die Auswertung eines fiktiven Quadergebäudes genutzt. Hierbei liegt die Intension in der Plausibilitätsprüfung und nicht in der exakten Abbildung oder Rekonstruktion der Gebäuestichprobe.

KVEP-Methode

In [42] entwickelte Loga ein Verfahren um Gebäudehüllflächen von Wohngebäuden unter Verwendung weniger Eingangsdaten statistisch gesichert abzuschätzen. Basierend auf einer Auswertung von etwa 4 000 Wohngebäuden wurde ein vereinfachtes Verfahren zur Schätzung der Bauteilflächen (Außenwand, Fenster, Dach und Kellerdecke) für Wohngebäude entwickelt.

Da Wohngebäude in der Regel eine begrenzte Gebäudetiefe aufweisen, die beheizte Nettogrundfläche geringer ist als bei großen Nichtwohngebäuden und die Gebäudehülle, insbesondere bei Mehrfamilienhäusern, eher schlicht gehalten ist, ist das KVEP-Flächenschätzverfahren in der vorliegenden Form nur bedingt für Nichtwohngebäude anwendbar.

Um dennoch die vorliegende Gebäudestichprobe von 159 Gebäuden mit der KVEP-Methode zu vergleichen, wird mit der KVEP-Methode die Hüllfläche von fiktiven Gebäuden (Nettogrundfläche 170 bis 85 000 m²) generiert und die Größen der Hüllflächen mit den aus der Stichprobe abgeleiteten Mittelwerten verglichen.

Im KVEP-Verfahren sind die Anzahl der beheizten Geschosse und die Wohnfläche erforderlich. Hierzu werden unterschiedlich große Quadergebäude mit den in Tabelle 50 aufgeführten Charakteristika verwendet. Für den Vergleich werden 11 fiktive Gebäude mit Bruttogrundflächen von 200 bis 100 000 m² definiert. Die Breite aller Gebäude wird auf 25 m begrenzt. Variiert werden die Länge und die Anzahl der Geschosse.

Tabelle 50: Randbedingungen des Standardgebäudes für KVEP

Nr.	Breite [m]	Länge [m]	h_{Geschoss}^{20} [m]	Anzahl der Geschosse	A_{BGF} [m ²]	A_{NGF} [m ²]
1	7,1	14,1	3,125	2	200	170
2	10,0	16,7	3,125	3	500	425
3	10,0	25,0	3,125	3	750	638
4	12,0	20,8	3,125	4	1 000	850
5	14,0	35,7	3,125	4	2 000	1 700
6	16,0	62,5	3,125	5	5 000	4 250
7	18,0	69,4	3,125	6	7 500	6 375
8	20,0	71,4	3,125	7	10 000	8 500
9	25,0	80,0	3,125	10	20 000	17 000
10	25,0	100,0	3,125	20	50 000	42 500
11	25,0	114,3	3,125	35	100 000	85 000

Hinsichtlich der direkten Anwendbarkeit der KVEP-Methode für Nichtwohngebäude ist es sicherlich lohnenswert weiterführende Untersuchungen durchzuführen, um das Rechenmodell auch sicher für Nichtwohngebäude mit unterschiedlichen Strukturen und Ausprägungen übertragbar zu machen.

²⁰ Die Geschosshöhe berechnet sich vereinfacht aus der Beziehung $A_n = 0,32 \cdot V_e$ nach EnEV, mit: $h_{\text{Geschoss}} = 0,32^{-1} \text{m}$.

Die Umrechnung von der Bruttogeschossfläche auf die Nettogeschossfläche erfolgt vereinfacht für alle Gebäude mit einem Faktor von 0,85 gemäß der Bekanntmachung für die Datenaufnahme von Nichtwohngebäuden [91]. Nebenstehende Abbildung zeigt die dort gefundenen Faktoren zur Umrechnung von der Brutto- auf die Nettogrundfläche; erweitert um den Bereich Wohnen gemäß den in dieser Studie erhobenen Gebäudedaten.

Da in der Stichprobe auch unterschiedliche Gebäudetypen vorhanden sind, kann ein einheitlicher pauschaler Faktor akzeptiert werden.



Abbildung 197: Umrechnungsfaktor von Brutto- auf Nettogrundfläche für verschiedene Gebäudekategorien nach [91]. Der Umrechnungsfaktor für Wohnen entspricht dem Mittelwert aus den 51 Wohngebäuden des Datensatzes.

Für die KVEP-Berechnung muss die lichte Raumhöhe ermittelt werden. Diese ergibt sich vereinfacht aus dem Verhältnis von Gebäudeluftvolumen zu Gebäudenutzfläche, wobei die Umrechnung von Brutto- auf Nettobezug berücksichtigt werden muss. Im vorliegenden Fall entspricht dies einer Raumhöhenkorrektur von $0,91 \frac{m_{\text{Lichte}}}{m_{\text{Geschoss}}}$, was bei einer mittleren Geschosshöhe von 3,125 m einer Deckenstärke von etwa 30 cm entspricht.

Berechnungsrandbedingungen

Zur Ermittlung der Gebäudehüllflächen werden die folgenden Randbedingungen angesetzt, die im Rahmen der KVEP-Berechnung erforderliche Nebenparameter darstellen:

- freistehendes Gebäude mit gestrecktem Grundriss,
- Dachfläche als Flachdach ohne Gaubenzuschlag,
- Fußboden gegen Keller oder Erdreich.

Die Gebäudehüllflächen können nach dem KVEP-Verfahren wie folgt geschätzt werden:

Fassadenfläche

$$A_{Fa} = n_G \cdot \frac{h_R}{2,5m} \cdot \left(p_{Fa} \cdot \frac{A_W}{n_G} + q_{Fa} \right) \quad (52)$$

mit

A_W	m^2	Wohnfläche, hier A_{NFG}
h_R	m	Raumhöhe (Mittelwert über alle Vollgeschosse)
n_G	-	Anzahl beheizter Geschosse
p_{Fa}	m^2/m^2	Parameter „Fassadenfläche pro m^2 Geschosswohnfläche“, hier: $p_{Fa} = 0,80 m^2/m^2$
q_{Fa}	m^2	Parameter „Zuschlagfläche Fassade je Vollgeschoss“, hier: $q_{Fa} = 50 m^2$

Dachfläche

$$A_{Da} = p_{Da} \cdot \frac{A_W}{n_G} \quad (53)$$

mit

p_{Da}	m^2/m^2	Parameter „Dachfläche pro m^2 Geschosswohnfläche“, hier: $p_{Da} = 1,33 m^2/m^2$
----------	-----------	--

Bodenfläche

$$A_{Fb} = p_{Fb} \cdot \frac{A_W}{n_G} \quad (54)$$

mit

p_{Fb}	m^2/m^2	Parameter „Fußbodenfläche pro m^2 Geschosswohnfläche“, hier: $p_{Fb} = 1,33 m^2/m^2$
----------	-----------	--

Fensterfläche

$$A_{Fe} = p_{Fe} \cdot A_W \quad (55)$$

mit

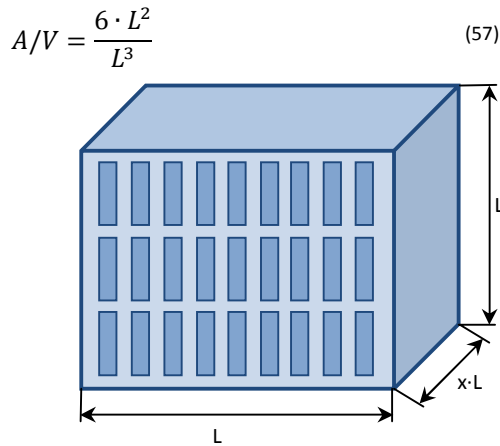
p_{Fe}	m^2/m^2	Parameter „Fensterfläche pro m^2 Geschosswohnfläche“, hier: $p_{Fe} = 0,20 m^2/m^2$
----------	-----------	---

Gebäudevolumen

$$V_e = 4 \cdot A_W \cdot \frac{h_R}{2,5m} \quad (56)$$

Fiktives Standardgebäude

Aus einem beheizten Gebäudevolumen V_e , das die konditionierten Räume einschließt, kann für Wohngebäude nach EnEV eine fiktive Nutzfläche $A_n = 0,32 \cdot V_e$ bestimmt werden [14]. Für ein einfaches Würfelhaus mit der Kantenlänge L gilt:



Aus [42][23] und [51] geht hervor, dass mit steigender Gebäudegröße zwar die Länge und die Geschoszahl zunehmen, die Gebäudebreite jedoch nicht in gleichem Maße steigt. Dies begründet sich architektonisch zum Teil auf die dann schwieriger zu realisierende Tageslichtversorgung im Gebäudekern und hat zudem urbanistische Gründe.

Zur Begrenzung der Gebäudebreite wird für das fiktive Gebäude ein Faktor x eingeführt. Aus dem Würfelhaus wird ein Quaderhaus mit einer Gebäudelänge und -höhe L sowie einer Breite $x \cdot L$.

Abbildung 198: Skizze zum fiktiven Standardgebäude

Die angepasste Gleichung für das A/V -Verhältnis schreibt sich wie folgt:

$$A/V = \frac{2 \cdot L^2 + 4 \cdot L^2 \cdot x}{x \cdot L^3} = \frac{L^2 \cdot (2 + 4 \cdot x)}{x \cdot L^3} = \frac{2 + 4 \cdot x}{x \cdot L} = \frac{2 + 4 \cdot x}{x \cdot \left(\frac{V_e}{x}\right)^{\frac{1}{3}}} = \frac{2 + 4 \cdot x}{x \cdot \left(\frac{A_n}{0,32 \cdot x}\right)^{\frac{1}{3}}} \quad (58)$$

mit

L	m	Kantenlänge und Höhe des Gebäudes
x	m	Faktor zur Begrenzung der Gebäudebreite (Quaderhaus)
V_e	m^3	beheiztes Gebäudevolumen
A_n	m^2	Energiebezugsfläche gemäß dem vereinfachten Ansatz für Wohngebäude nach EnEV

Für die vergleichende Rechnung wird nach [51] ein übliches Seitenverhältnis von $x = 0,16$ angesetzt. Es werden die Fassaden-, Dach- und Bodenflächen bestimmt. Diese Flächen beschreiben aggregiert die gesamte Gebäudehüllfläche. Fensterflächen werden im Speziellen nicht ermittelt.

Vergleich

Die mit den beiden Ansätzen vergleichend ermittelte A/V -Abhängigkeit korreliert gut mit dem Trend aus dem Datensatz der 159 Gebäude. Bei Gebäuden $< 10\,000\,m^2$ werden beim einfachen Quaderhaus etwas höhere A/V -Verhältnisse berechnet. Dies begründet sich durch das immer gleiche Höhen- zu Breitenverhältnis des fiktiven Gebäudes. Die KVEP-Methode liefert in diesem Bereich etwas niedrigere Werte. Mit steigender Gebäudegröße nähern sich die A/V -Verhältnisse der KVEP-Methode und die aus dem Datensatz der 159 Gebäude ermittelten gut an. Abbildung 199 zeigt die vergleichenden Analysen. Im rechten Diagramm ist zur besseren Darstellung kleiner Gebäude die Abszisse logarithmisch skaliert.

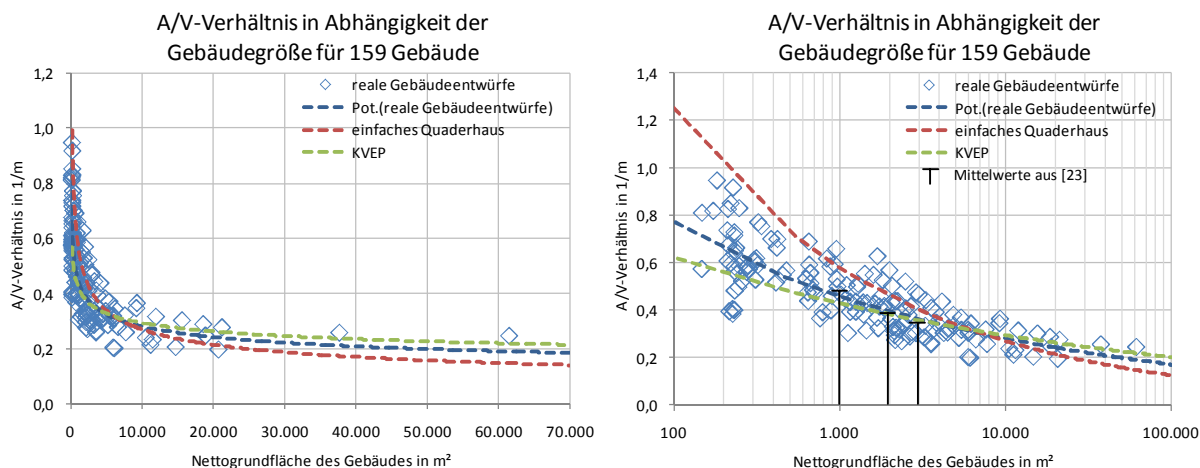


Abbildung 199: Vergleich der A/V-Abhängigkeit aus dem ermittelten Gebäudedatensatz mit einem fiktiven Quadergebäude und dem Flächenschätzverfahren der KVEP-Methode

Im Rahmen des Projektes „SolarBau: Monitor“ wurden in [56] mehrere Gebäude untersucht. Die dort gefundenen Formfaktoren liegen zwischen $0,17^{21}$ und $0,43 \text{ m}^{-1}$, für Gebäude mit einer Größe zwischen 27 000 und 2 000 m^2 .

In [23] untersuchte *Hirschberg* unterschiedliche Gebäudeformen und daraus resultierende A/V-Verhältnisse. Es wurden 3 Gebäudeklassen gebildet (1 000 m^2 , 2 000 m^2 und 4 000 m^2) für welche die A/V-Verhältnisse unterschiedlicher Gebäudeformen ermittelt wurden. Als Mittelwert über alle Gebäudeformen konnten folgende A/V-Verhältnisse gefunden werden:

Tabelle 51: A/V-Verhältnisse für unterschiedlicher Gebäudeformen und Gebäudegrößen nach [23]

Gebäudeklasse	Mittelwert für A/V	kleinstes A/V	größtes A/V
1 000 m^2	0,50	0,43	0,57
2 000 m^2	0,40	0,36	0,43
4 000 m^2	0,36	0,33	0,39

6.2.2.2 Hüllflächenanteile

Abbildung 200 zeigt die gesamte thermische Hüllfläche des jeweiligen Gebäudes, bezogen auf dessen gesamte Nettogrundfläche. Enthalten sind alle Wandflächen gegen außen, Fensterflächen, Dach- und Bodenflächen, sowie alle Bauteilflächen die gegen unbeheizt oder gegen Erdreich grenzen. Die für den Datensatz durchgeführte Regression zeigt eine deutliche Abhängigkeit der Gebäudehüllfläche von der Nettogrundfläche eines Gebäudes. Ebenfalls in der Abbildung dargestellt sind die dazugehörige Trendfunktion der Regressionsanalyse und das Bestimmtheitsmaß²² R^2 .

²¹ Beim Gebäude mit einem Formfaktor von $0,17 \text{ h}^{-1}$ handelt es sich um ein angebautes Gebäude.

²² Das Quadrat des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten, angepasst an die Datenpunkte (x_i, y_i) . Ein R^2 -Wert kann interpretiert werden als der Anteil der Varianz von y , der durch die Varianz von x erklärt wird. Können 100 % der Varianz von y durch die Varianz von x erklärt werden, so nimmt R^2 einen Wert von 1 an (vollständige Korrelation).

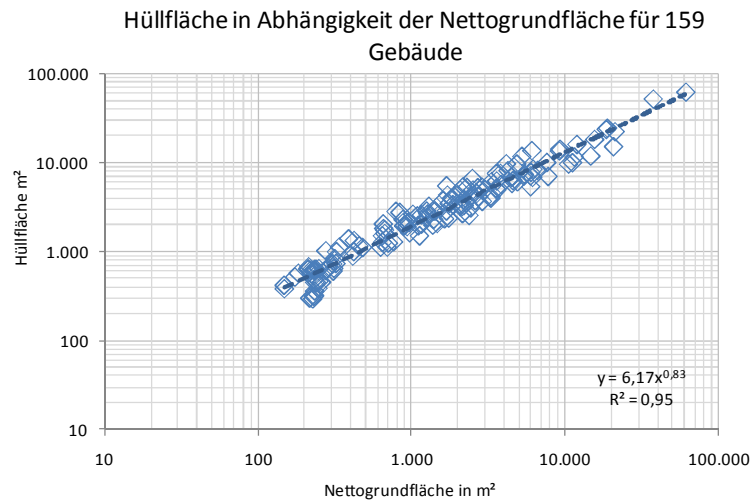


Abbildung 200: Hüllfläche in Abhängigkeit der Gebäudegröße

In der folgenden Abbildung werden thermische Gebäudehüllflächen auf die Nettogrundfläche bezogen und sortiert nach der Gebäudegröße dargestellt. Die Trendfunktion zeigt auch hier einen ähnlichen Verlauf wie bei der Auswertung zum A/V-Verhältnis.

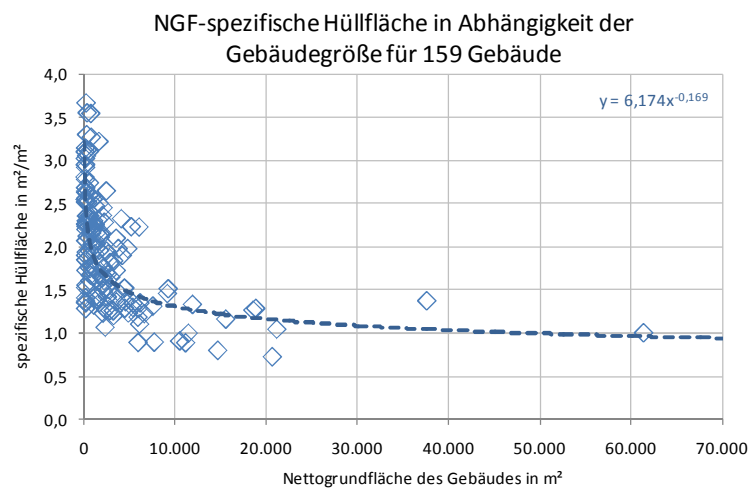


Abbildung 201: Spezifische Hüllfläche sortiert nach der Gebäudegröße

Vergleich

Mithilfe der KVEP-Methode erhält man ebenfalls typische und mittlere Werte für Hüllflächenanteile. Der Vergleich mit der KVEP-Methode zeigt eine sehr gute Übereinstimmung mit der Ausgleichsfunktion über den Datensatz der 159 Gebäude. Dies betrifft das gesamte Spektrum von kleinen und großen Gebäuden. Beim fiktiven Gebäude wird eingangs ein deutlich höherer spezifischer Hüllflächenanteil berechnet. Mit steigender Gebäudegröße fällt dieser Anteil deutlich unterhalb der beiden Trendkurven (KVEP und eigener Datensatz). Dies begründet sich auf die immer gleiche Gebäudeform über alle Gebäudegrößen und die feste Abhängigkeit zwischen Höhe, Breite und Tiefe. Die Gebäudegrößen, die der KVEP-Methode zugrunde liegen, als auch die der Gebäudestichprobe, variieren in allen Gebäudegrößen deutlich gegenüber dem fiktiven Standardgebäude.

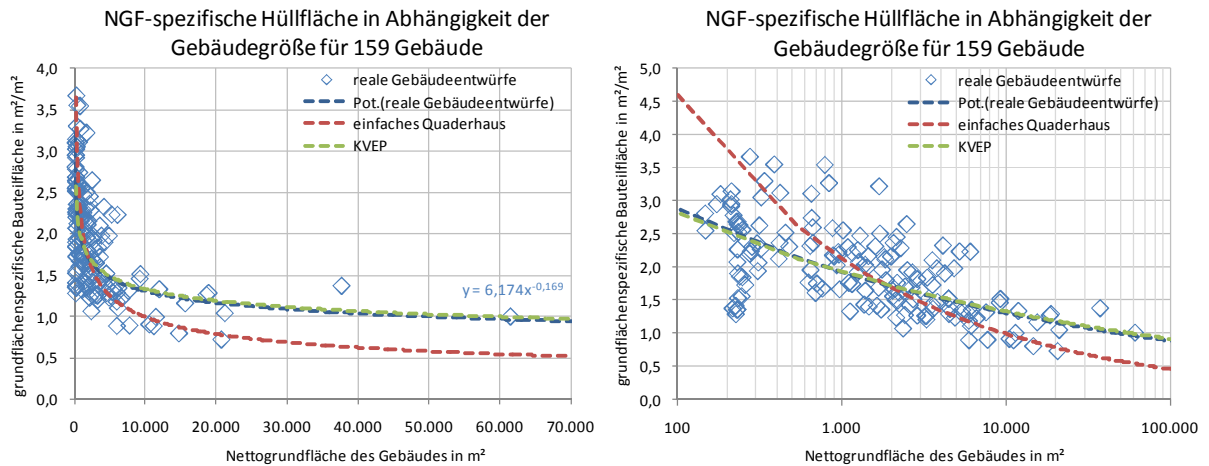


Abbildung 202: Vergleich der A/V-Abhängigkeit aus dem ermittelten Gebäudedatensatz mit einem fiktiven Quadergebäude und dem Flächenschätzverfahren der KVEP-Methode

6.2.2.3 Fassadenfläche

Abbildung 203 zeigt für alle 159 ausgewerteten Gebäude die Fassadenfläche, aufgetragen über der Nettogrundfläche des jeweiligen Gebäudes (in doppellogarithmischer Darstellung). Die Fassadenfläche umfasst alle vertikalen Teilflächen der thermischen Gebäudehülle. Sie wird ermittelt aus der Summe der Wandflächen gegen außen, der Wandflächen gegen Erdreich und/oder gegen unbeheizt und der Fensterflächen. Bei den beiden im Diagramm markierten Gebäuden (1) und (2) handelt es sich um Einkaufszentren, die aufgrund der doch recht quadratischen Gebäudeform einen relativ geringen Fassadenflächenanteil vorweisen. Insgesamt zeigt die Trendfunktion eine gute Abhängigkeit der Fassadenfläche von der Nettogrundfläche der Gebäude.

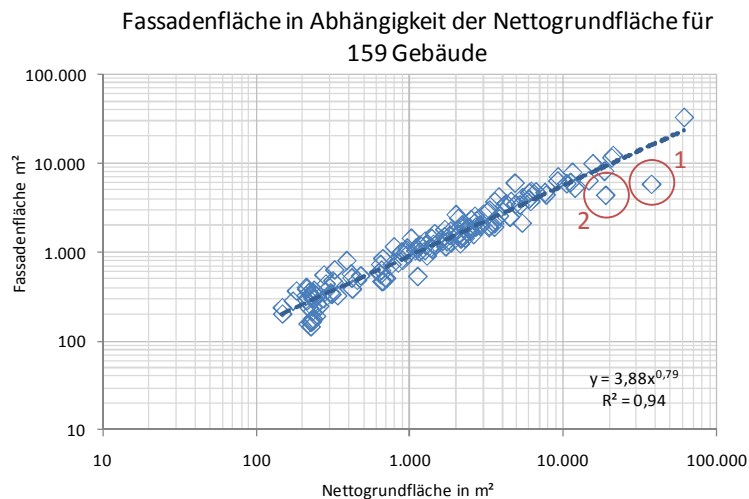


Abbildung 203: Fassadenfläche in Abhängigkeit der Gebäudegröße

Werden die Fassadenflächen auf die Nettogrundfläche bezogen und sortiert nach der Gebäudegröße (hier NFG) aufgetragen, zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit der Fassadenfläche von der Gebäudegröße. Die Ausgleichsfunktion (potentielle Trendfunktion) beschreibt einen typischen Wert für die spezifische Fassadenfläche in Abhängigkeit der Gebäudegröße.

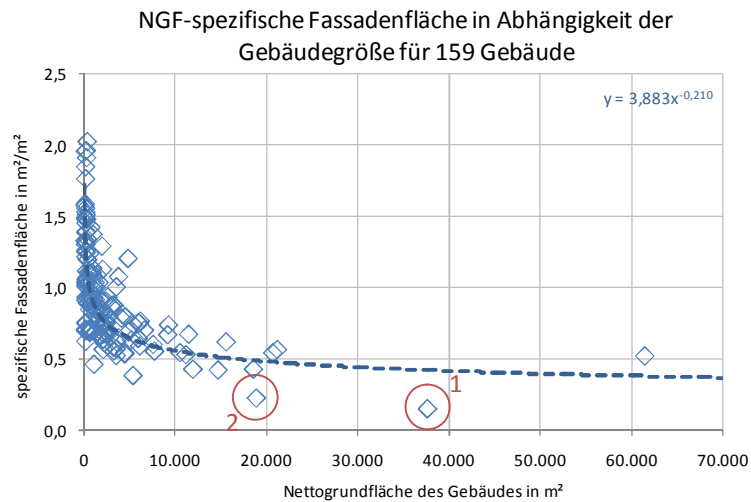


Abbildung 204: Spezifische Fassadenfläche sortiert nach der Gebäudegröße

Vergleich

Vergleicht man die Auswertungen der 159 Gebäude mit den Ansätzen der KVEP-Methode und dem fiktiven Gebäude, so zeigt sich, dass für das fiktive Gebäude im Bereich kleiner Gebäude deutlich höhere spezifische Fassadenflächen ermittelt werden, die sich mit steigender Gebäudegröße der Ausgleichfunktion des Datensatzes nähern. Die mit der KVEP-Methode ermittelten Daten zeigen bei Gebäuden bis etwa 300 m² eine gute Übereinstimmung, danach werden die Fassadenflächen durch die KVEP-Methode überschätzt. Eine Ursache hierfür sind die in Tabelle 50 hinterlegten Randbedingungen. Dort wird davon ausgegangen, dass in der Regel die Länge eines Gebäudes und die Anzahl der Geschosse mit steigender Gebäudegröße zunehmen, wohingegen die Breite des Gebäudes nicht in gleicher Weise steigt. Dies ist für Bürogebäude und große Mehrfamilienhäuser typisch. Für die 159 untersuchten Gebäude zeigt sich, dass die Geschosszahl und die Gebäudelänge nicht das alleinige Kriterium sind, sondern dass sich auch der Grundriss der Gebäude ändert, um größere Nutzflächen im Gebäudeentwurf zu integrieren. Es werden zum Teil andere Gebäudegrundformen genutzt (U-Form, L-Form, O-Form mit innen liegendem Atrium, Kamm-Form etc.).

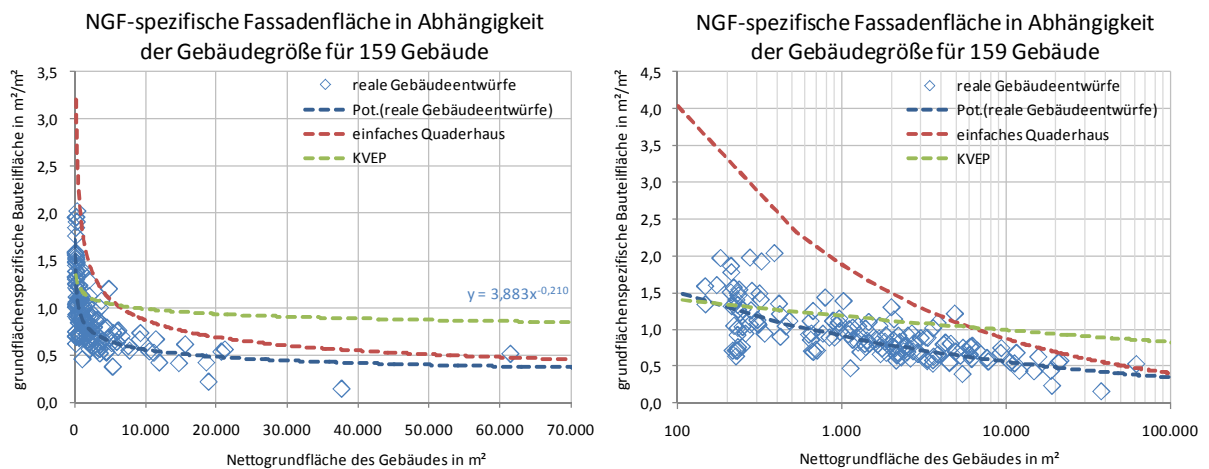


Abbildung 205: Vergleich der A/V-Abhängigkeit aus dem ermittelten Gebäudedatensatz mit einem fiktiven Quadergebäude und dem Flächenschätzverfahren der KVEP-Methode

6.2.2.4 Fensterfläche

Die Fensterflächen der untersuchten Gebäude sind in folgender Abbildung bezogen auf die Nettogrundfläche aufgetragen. Bei den Ausreißern (im Diagramm markiert) handelt es sich um zwei Einkaufszentren (1) und (2) mit „quadratischer“ Grundform und sehr geringen Fensterflächen in den Fassaden sowie eine Sporthalle mit nur einem kleinen Oberlichtband (3). Die Markierung (4) beschreibt ein großes und zugleich stark verglastes Bürogebäude mit einem fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 70 % (Außenmaßbezug).

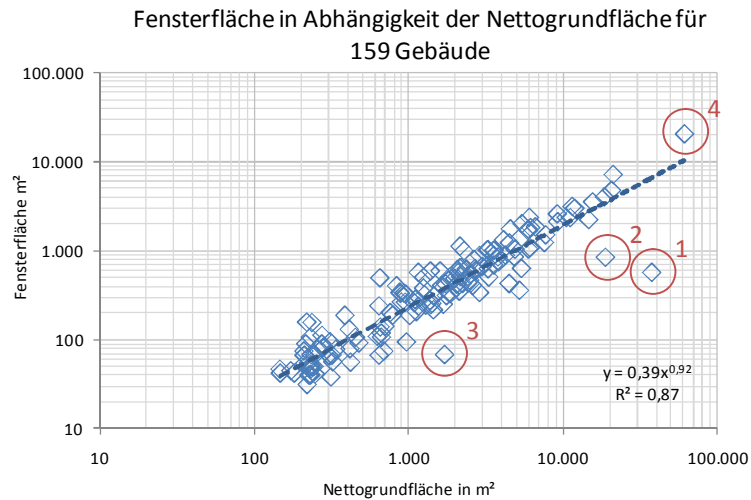


Abbildung 206: Fensterfläche in Abhängigkeit der Nettogrundfläche

Analog zu den anderen Bauteiltypen erfolgt die Darstellung spezifischer Fensterflächen sortiert und aufgetragen nach der Gebäudegröße. Anders als bei den Bauteilen Fassade, Dach und Boden sind die Fensterflächen weniger stark von der Größe des Gebäudes abhängig. Dies begründet sich darin, dass zur Erreichung einer Mindesttageslichtversorgung ein gewisser Fensterflächenanteil erforderlich ist. Zudem streuen die Werte stark um die Trendfunktion. Es zeigt sich, dass bei kleinen A/V-Verhältnissen die größten Schwankungen vorkommen, während bei größeren Gebäuden die Streuung abnimmt. Die Ausreißer sind hier ebenfalls im Diagramm markiert.

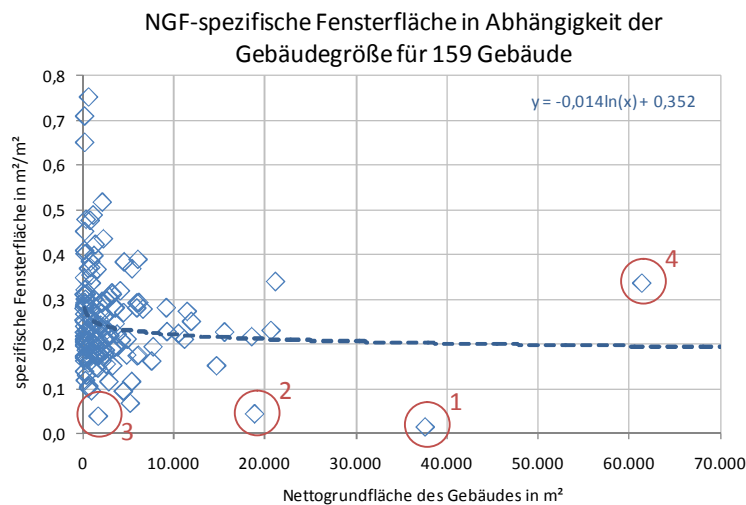


Abbildung 207: Spezifische Fensterfläche sortiert nach der Gebäudegröße

Vergleich

Beim fiktiven Gebäude werden nur Gesamthüllflächen ermittelt. Der Vergleich bei den Fensterflächen beschränkt sich demnach auf die Analyse mit der KVEP-Methode.

Die KVEP-Methode wurde für Wohngebäude konzipiert. Die dort gefundenen Fensterflächenanteile schwanken zwischen 0,20 m²/m² für Einfamilienhäuser und 0,18 m²/m² für Mehrfamilienhäuser. Für das Schätzverfahren wird ein Wert von 0,20 m²/m² für alle Gebäudegrößen angesetzt. Die Auswertung der eigenen Daten zeigt, dass die Schwankungsbreite bei Nichtwohngebäuden relativ groß ist. Im Datensatz befinden sich neben stark verglasten Gebäuden auch Gebäude mit moderatem Glasanteil. Die Trendfunktion beschreibt auch hier einen typischen Fensterflächenanteil in Abhängigkeit der Gebäudegröße. Es zeigt sich, dass bei kleinen Gebäuden tendenziell etwas höhere Fensterflächen möglich sind – nicht zuletzt deshalb, weil auch mehr Fassadenflächen zur Verfügung stehen.

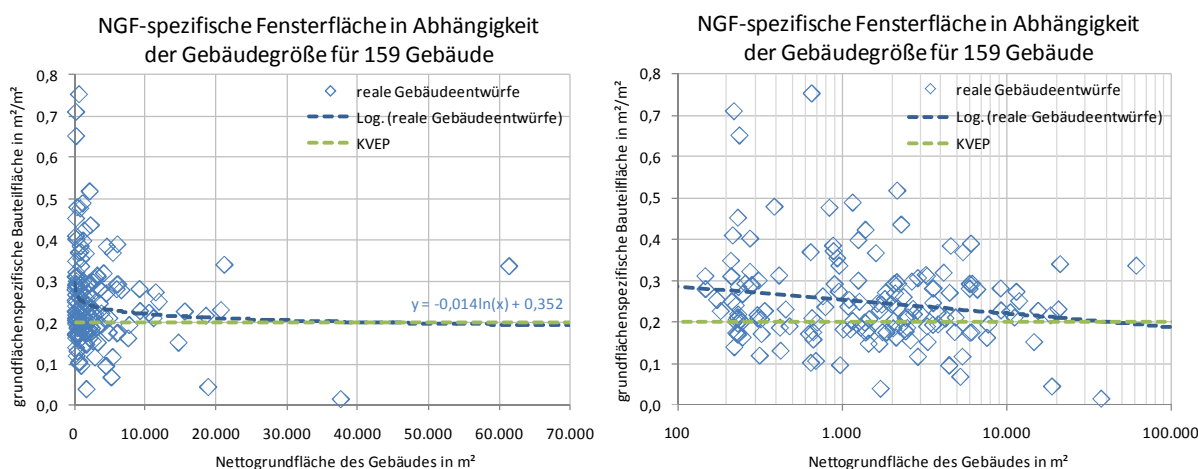


Abbildung 208: Vergleich der spezifischen Fensterfläche aus dem ermittelten Gebäudedatensatz mit dem Flächenschätzverfahren der KVEP-Methode

In [101] wurden Klassenräume hinsichtlich der Tageslichtversorgung und des sommerlichen Wärmeschutzes untersucht. In diesem Zusammenhang wurden auch typische Anteile für Fensterflächen je Raumgrundfläche ermittelt. Für 80 % aller Räume wurde dort ein auf die Raumgrundfläche bezogener Fensterflächenanteil zwischen 10 und 30 %²³ ermittelt, was sich gut mit der Ausgleichsfunktion des Datensatzes der 159 Gebäude deckt.

6.2.2.5 Dachfläche

Analog zu den bisher durchgeführten Auswertungen wird in folgender Abbildung die Dachfläche bezogen auf die Nettogrundfläche aufgetragen. Es zeigt sich, dass die Werte der Dachfläche stärker streuen als die der Hüllfläche oder der Fassadenfläche. Bei einfachen Grundrissen ist die Dachfläche bei einem Flachdach in der Regel proportional zur Geschossfläche eines Gebäudes. Unterschiede in der Geschossanzahl, in der Raumhöhe und im Gebäudeentwurf der untersuchten Stichprobe führen zu dieser höheren Streuung. Es zeigt sich aber dennoch der Trend, dass die Dachfläche mit der Größe des Gebäudes korreliert. Besondere Gebäude sind im Diagramm markiert. Bei den Gebäuden (1) und (4) handelt es sich um Supermärkte mit quadratischem Grundriss und jeweils nur zwei Etagen. Hierdurch ergibt sich eine verhältnismäßig größere Dachfläche als bei Gebäuden, mit mehreren

²³ 1 % der Räume hatten ein Verhältnis von Fensterfläche zu Raumfläche von unter 10 %, 30 % der Räume lagen zwischen 10 und 20 %, 50 % der Räume zwischen 20 und 30 %, 9 % zwischen 30 und 40 % und 8 % der Räume > 40 %.

Geschossen. Gebäude (2) ist ein 15-geschossiges Bürogebäude (KfW-Gebäude), Gebäude (3) ein Bürogebäude mit 7 Etagen. Da sich die Dachfläche in der Regel proportional zur Geschossfläche verhält, ergibt sich für diese Gebäude eine vergleichsweise geringe Dachfläche.

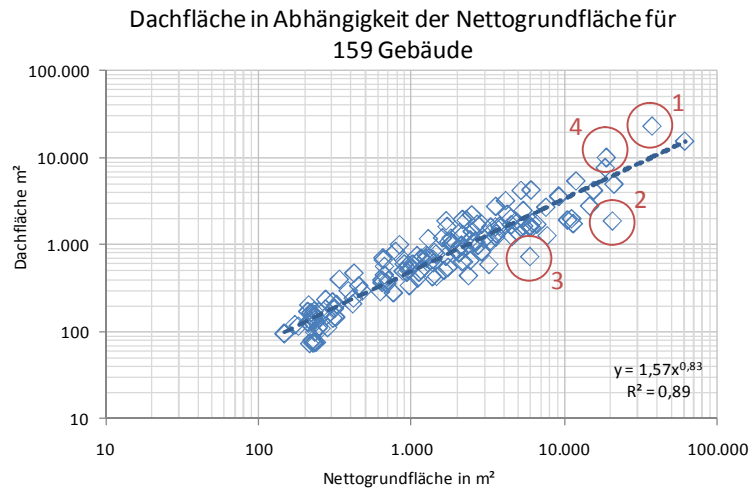


Abbildung 209: Dachfläche in Abhängigkeit der Nettogrundfläche

Trägt man die auf die spezifische Nettogrundfläche bezogene Dachfläche sortiert in Abhängigkeit von der Gebäudegröße auf, so zeigt sich eine Abhängigkeit von der Gebäudegröße – wenn auch mit einer höherer Streuung um den Ausgleichstrend als bei der gesamten Gebäudehüllfläche. Tendenziell sind die Gebäude oberhalb der Trendlinie Gebäude mit auslagernden Grundrissen und/oder wenigen Geschossen. Gebäude unterhalb der Trendlinie sind in der Regel vielgeschossig und haben gestreckte Grundrisse.

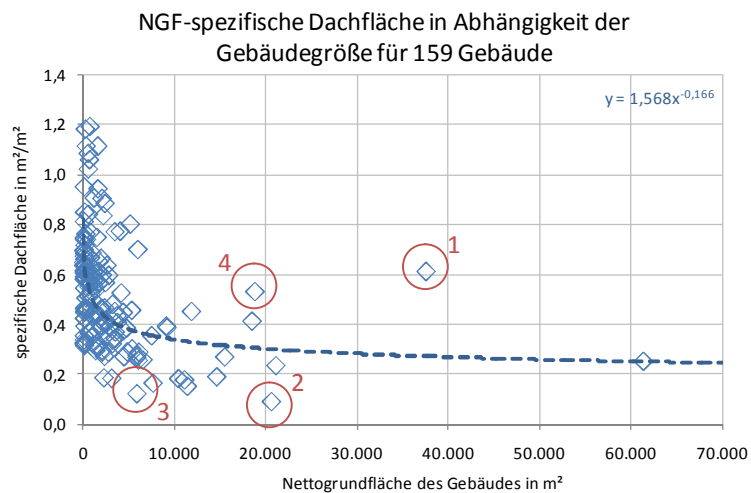


Abbildung 210: Spezifische Dachfläche sortiert nach der Gebäudegröße

Vergleich

Der Vergleich mit dem nach der KVEP-Methode berechneten Trend und mit dem fiktiven Standardgebäude zeigt größere Unterschiede bei den Dachflächen als bei der gesamten Gebäudehüllfläche. Die Dachfläche verhält sich in der Regel proportional zur Grundrissfläche. Große Unterschiede zum fiktiven Standardgebäude waren zu erwarten, da die Höhe (indirekt die Etagenzahl) mit der Größe des Gebäudes skaliert. Bei der KVEP-Methode wird die spezifische Dachfläche je m² Geschosswohnfläche berechnet. Bei einem eingeschossigen Gebäude wäre der Grenzwert dann 1,33 m²/m². Bei den für die KVEP-Methode hinterlegten Gebäuden (vgl. Tabelle 50)

wird ebenfalls davon ausgegangen, dass mit steigender Gebäudegröße neben der Länge des Gebäudes auch die Geschoszahl steigt, wohingegen die Breite der Gebäude nur moderat bis zu einem vergrößerten Grenzwert steigt. Wie bereits eingangs erwähnt, entsprechen die 159 Gebäude in der untersuchten Stichprobe nicht dieser Annahme. Die Unterschiede ergeben sich dadurch, dass im Datensatz Sporthallen mit hohen Raumhöhen und Gebäude mit geringer Geschoszahl enthalten sind.

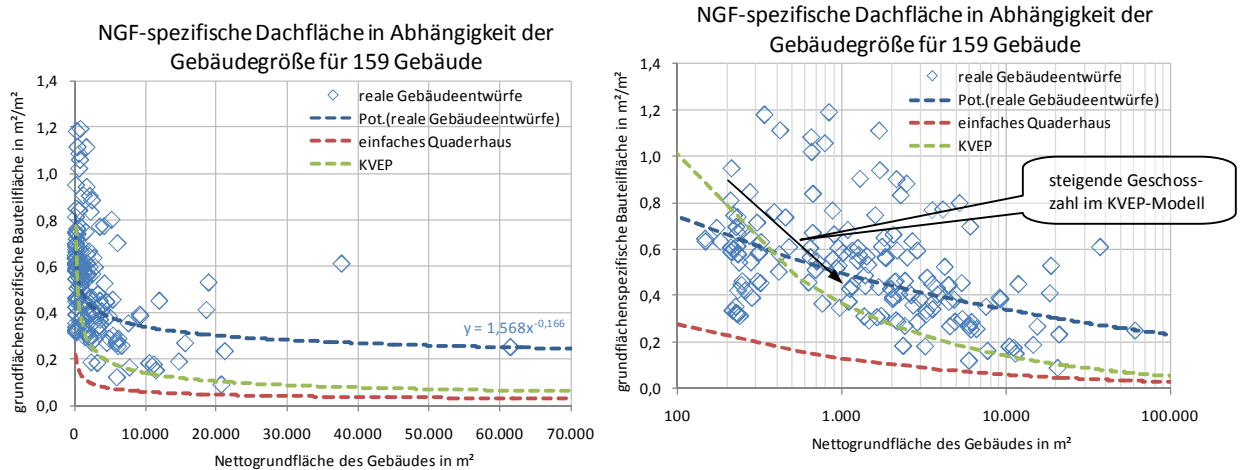


Abbildung 211: Vergleich der spezifischen Dachfläche aus dem ermittelten Gebäudedatensatz mit einem fiktiven Quadergebäude und dem Flächenschätzverfahren der KVEP-Methode

6.2.2.6 Bodenfläche

In der Bodenfläche enthalten sind alle Flächen des unteren Gebäudeabschlusses gegen Erdrich, Außenluft oder zu unbeheizten Räumen. Es zeigt sich auch hier eine Abhängigkeit der Bodenfläche von der Gebäudegröße. Die Streuung um die Trendfunktion ist in etwa so hoch wie bei der Dachfläche und ist durch die gleichen Gegebenheiten begründet. Bei der Bodenfläche sind ähnliche Ergebnisse zu erwarten wie bei der Dachfläche, da diese sich oft proportional zueinander verhalten, weshalb auf eine detaillierte Beschreibung der Unterschiede an dieser Stelle verzichtet wird.

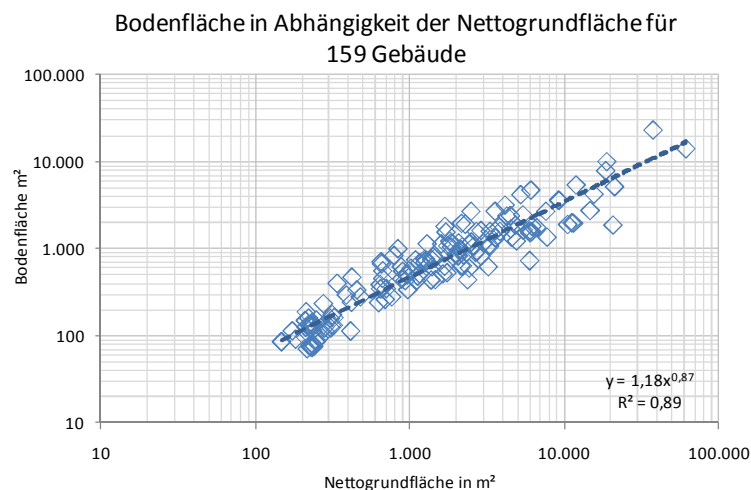


Abbildung 212: Bodenfläche in Abhängigkeit der Nettogrundfläche

Sortiert man die spezifischen Bodenflächenanteile in Abhängigkeit der Gebäudegröße, zeigt sich ebenfalls ein ähnliches Ergebnis wie bei der Dachfläche. Die gleichen Gebäude, die bei der Dachfläche als „Ausreißer“ markiert wurden, sind auch bei der Bodenfläche für Abweichungen

verantwortlich. Vergleicht man die Trendfunktion mit der der Dachfläche, so erkennt man, dass die Bodenfläche bei kleinen Gebäuden etwas niedriger berechnet wird als die Dachfläche. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass Dachflächen in kleinen Gebäuden oft als Sattel- oder Pultdach ausgeführt werden, wodurch sich tendenziell größere wärmeübertragende Flächen ergeben.

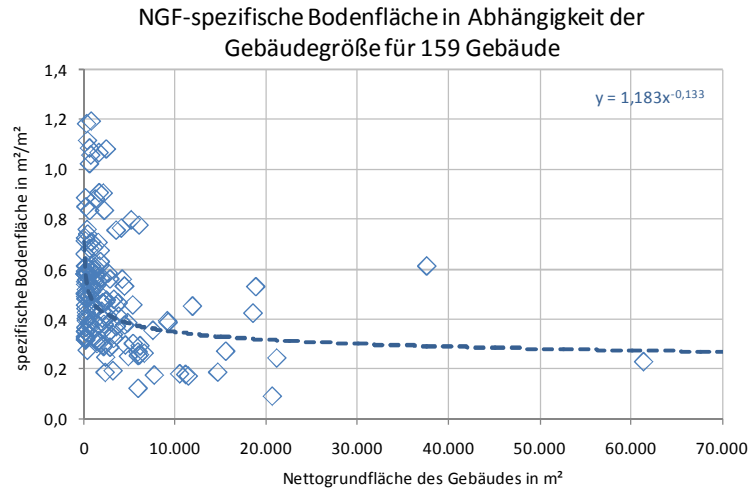


Abbildung 213: Spezifische Bodenfläche sortiert nach der Gebäudegröße

Vergleich

Die Unterschiede zwischen den Methoden sind gleich ausgeprägt wie bei der Dachfläche. Bei der KVEP-Methode wird die Bodenfläche über den gleichen Zusammenhang berechnet wie die Dachfläche (1,33 m² je m² Wohngeschossfläche). Beim fiktiven Standardgebäude entspricht die Dachfläche ebenfalls der Bodenfläche. Abbildung 214 zeigt den Vergleich zwischen den Analysen. In der rechten Abbildung ist die Abszisse logarithmiert dargestellt, um Wertebereiche kleiner Gebäude besser zu zeigen.

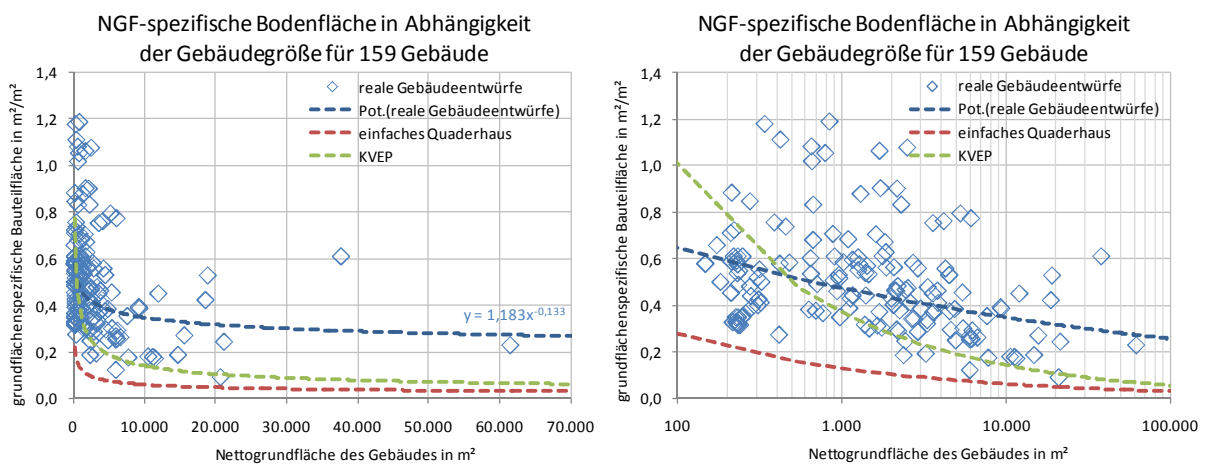


Abbildung 214: Vergleich der spezifischen Bodenfläche aus dem ermittelten Gebäudedatensatz mit einem fiktiven Quadergebäude und dem Flächenschätzverfahren der KVEP-Methode

6.2.2.7 Zwischenfazit

Die gesamten Gebäudehüllflächen sind neben den Fensterflächen die wichtigsten Größen zur Beschreibung der Transmissionsverluste eines Gebäudes. Selbst wenn in Teilbereichen, wie Boden, Fassade und Dach, Abweichungen der ermittelten Bauteilflächen auftreten, so sind die aggregierte Hüllfläche bzw. die daraus resultierenden Transmissionsverluste maßgebend. Insbesondere ist der Unterschied bei sehr gut gedämmten Gebäuden mit ähnlichen U-Werten in allen Bauteilgruppen

gering. Die Analysen zeigen, dass die gesamte Gebäudehüllfläche gut mit der aus der Gebäuestichprobe gewonnenen Abhängigkeit beschrieben werden kann. Vergleiche mit anderen Verfahren zum Schätzen der Gebäudehüllfläche, die Analyse von fiktiven Gebäudegrundrissen als auch die Ergebnisse der Literaturrecherche zeigen ebenfalls brauchbare Übereinstimmungen.

Die Unterschiede, die sich bei der Bestimmung der Dach- und Bodenflächen ergeben, beruhen auf der Tatsache, dass in der Gebäuestichprobe wenig vielgeschossige Gebäude enthalten sind. Demnach ergeben sich tendenziell geringere Fassadenflächen und größere Dach- und Bodenflächen. Die Geschosszahl ist im KVEP-Verfahren aus diesem Grund auch eine Eingangsgröße. Vergleicht man die, über die Stichprobe ermittelte gesamte Hüllfläche, mit der aus der KVEP-Methode, so zeigen sich gute Übereinstimmungen. Um auch zu vielgeschossigen Gebäuden Aussagen zu treffen, muss überprüft werden, inwieweit die summierten Flächen der Bereiche Fassade, Boden und Dach brauchbare Ergebnisse für unterschiedliche Gebäudegrößen liefern. Abbildung 215 zeigt die aggregierten Hüllflächen aus den Teilbereichen (Fassade, Boden, Dach) verglichen mit den gesamten Hüllflächen. Man erkennt, dass durch Summation der Einzelflächen die Gebäudehülle gut beschrieben werden kann. Da das Verfahren für energieeffiziente Gebäudeentwürfe konzipiert ist, werden die Anforderungen an alle opaken Bauteile ähnlich hoch sein. Eine Verschiebung vom Dach- zur Fassade kann demnach akzeptiert werden, solange die gesamte Gebäudehülle nicht nennenswert über- oder unterschätzt wird.

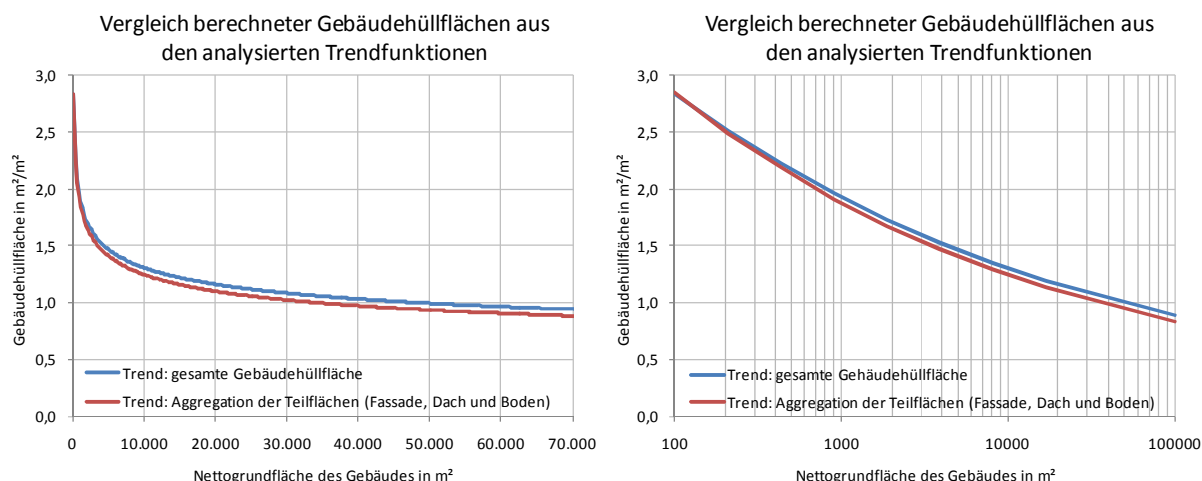


Abbildung 215: Vergleich spezifischer Gebäudehüllflächen. Berechnet nach den Regressionsgleichungen für Einzelbauteile (Fassade, Boden und Dach) sowie mit der Regressionsgleichung für die gesamte Fassade.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Fensterflächen in vergleichsweise geringem Maße von der Gebäudegröße abhängen. Der Mittelwert über alle Gebäude beträgt $0,25 \text{ m}^2_{\text{Fe}}/\text{m}^2_{\text{NFG}}$. Für weitere Analysen muss überprüft werden, ob typische Fensterflächenanteile in bestimmten Nutzungsprofilen höher oder niedriger sind als dieser Durchschnitt. Die Grundhypothese hierfür ist, dass die Nebennutz- und Verkehrsflächen mit steigender Gebäudegröße in das Gebäudeinnere wandern, während man versucht, die Hauptnutzflächen weiterhin fassadennah anzuordnen. Wie die Parameteruntersuchungen in Abschnitt 3.7 zeigen, beeinflusst die Fensterfläche die thermischen Bilanzen, insbesondere die Kühlenergiebilanz und den Energiebedarf für Beleuchtung.

Die Parameter der Regressionsgleichungen sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 52: Regressionsgleichungen und -parameter zur Berechnung typischer Gebäudehülldaten

Bereich	Bezugsgröße	Ausgleichsfunktion	Parameter a_0	Parameter a_1
A/V-Verhältnis	Gebäude-Nettogrundfläche A_{NFG}	$AV = a_0 \cdot A_n^{a_1}$	2,024	-0,215
Gebäudehüllfläche	Gebäude-Nettogrundfläche A_{NFG}	$A_{Ge} = a_0 \cdot A_n^{a_1}$	6,174	-0,169
Fassadenfläche	Gebäude-Nettogrundfläche A_{NFG}	$A_{Fa} = a_0 \cdot A_n^{a_1}$	3,883	-0,210
Fensterfläche	Gebäude-Nettogrundfläche A_{NFG}	$A_{Fe} = \max(a_0 \cdot \ln(A_n) + a_1; 0,18)^{24}$	-0,014	0,352
Dachfläche	Gebäude-Nettogrundfläche A_{NFG}	$A_{Da} = a_0 \cdot A_n^{a_1}$	1,568	-0,166
Bodenfläche	Gebäude-Nettogrundfläche A_{NFG}	$A_{Fb} = a_0 \cdot A_n^{a_1}$	1,183	-0,133

Vergleich

Mit den Ausgleichsfunktionen werden nun für alle Gebäude Hüllflächen berechnet und mit den Durchschnittswerten der jeweiligen Gebäudekategorie verglichen. So wird überprüft, ob und wie gut sich mittlere Gebäudehülldaten und Fensterflächen für die jeweiligen Gebäudekategorien ermitteln lassen.

Die folgenden Abbildungen zeigen die berechneten und statistisch erhobenen mittleren spezifischen Hüll- und Fensterflächen jeweils für die entsprechende Gebäudekategorie. Für die Darstellung wird die gesamte thermische Gebäudehüllfläche, aggregiert aus den Teilflächen Fassade, Boden und Dach ermittelt. Für die meisten Gebäudetypen werden die Hüllflächen leicht überschätzt. Beim Gebäudetyp „Krankenhaus“ ist der Wert mit 0,42 m² Hüllfläche je Quadratmeter Nettogrundfläche am größten. Für die Gebäudekategorien „Sporthalle“ und „Festsaal, Clubhaus“ werden zu geringe Werte berechnet. Dies ist durch größere Raumhöhen begründet, die bei gleicher Gebäudekubatur eine geringere Nettogrundfläche ergeben. Diesem Umstand ist bei der Berechnung der Teilennwerte Rechnung zu tragen. Insgesamt zeigt der Vergleich, dass die Gebäudehüllfläche für verschiedene die Gebäudetypen durchaus abgebildet werden kann.

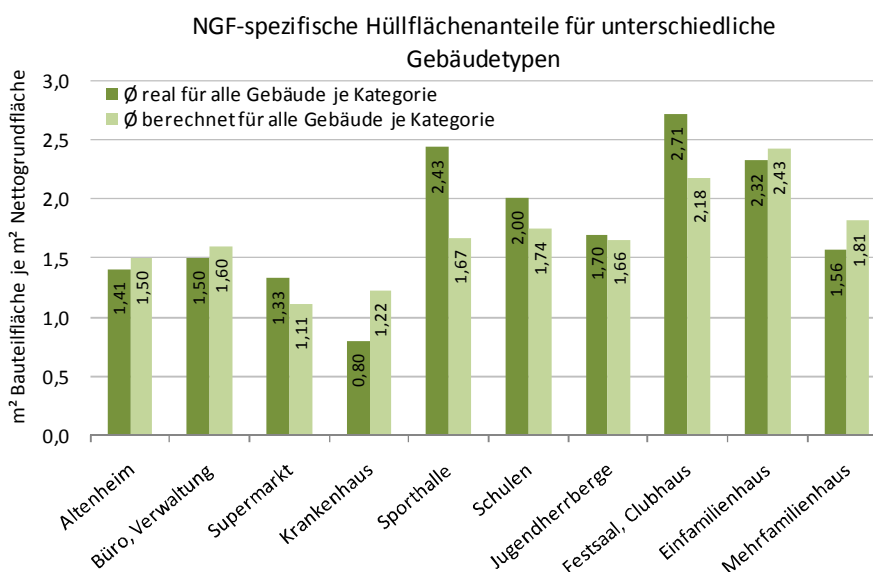


Abbildung 216: Vergleich zwischen berechneten und statistischen Hüllflächendaten für unterschiedliche Gebäudekategorien

²⁴ Da es sich um eine logarithmische Ausgleichsfunktion handelt wird der Fensterflächenanteil nach unten mit 0,18 m²/m² begrenzt. Diese Begrenzung wirkt nur bei sehr großen Gebäuden ab 200 000 m².

Abbildung 217 zeigt die Analyse für die Fensterflächen. Deutliche Unterschiede zwischen den berechneten und den statistischen Mittelwerten ergeben sich für die Gebäudekategorien „Supermarkt“, „Krankenhaus“ und „Jugendherberge“. Die beiden Einkaufszentren in der Datenbank beherbergen im Wesentlichen große Verkaufsflächen ohne Fenster. Fenster treten nur in Eingangsbereichen und partiell in Verkehrsbereichen auf. Das „Krankenhaus“ aus der Datenbank hat ebenfalls viele innen liegende Räume ohne Fensterflächen. Die Grundrisse dieser Gebäude sind geweitet, was neben geringeren Fassadenflächen auch zu geringeren Fensterflächen führt. Beim Bürogebäude zeigt sich, dass im Mittel die Fensterfläche etwas unterschätzt wird. Die im Datensatz analysierten 39 Bürogebäude weisen zudem höhere Fensterflächenanteile auf als die restlichen Gebäudetypen. Für die Berechnung der Teilenergiekennwerte ist dies bei der Ermittlung typischer Hüll- und Fensterflächen zu berücksichtigen.

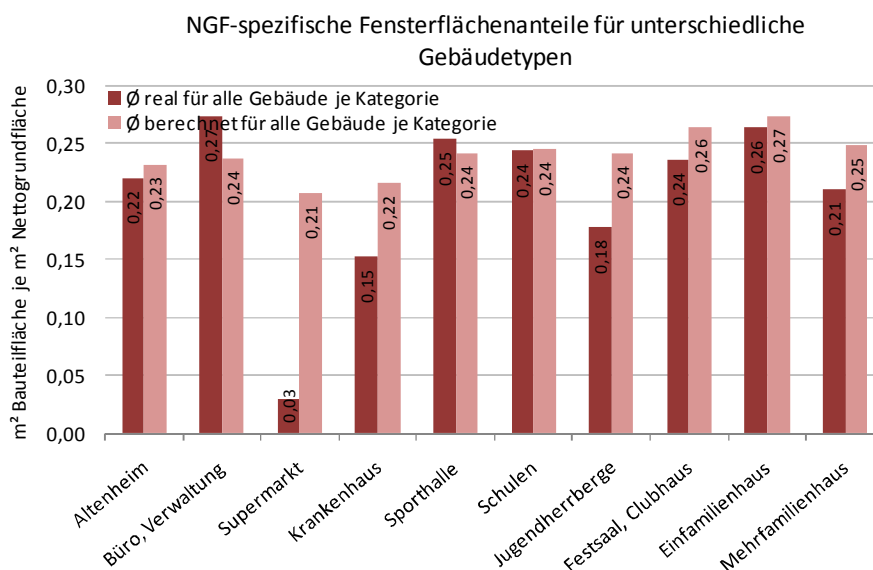


Abbildung 217: Vergleich zwischen berechneten und statistischen Hüllflächendaten für unterschiedliche Gebäudekategorien

Ausblick und weitere erforderliche Analysen

Da es sich nur um einen Gebäudepool von 159 Gebäuden handelt, sind diese Daten statistisch nicht abgesichert. Für die Weiterführung der Kennwertmethode ist es daher unerlässlich, zusätzliche Daten in der Datenbank zu erfassen und auszuwerten. Die Berechnung der Teilenergiekennwerte erfolgt auf der Basis von typischen Hüllflächen. Wenn die Datenbank mit weiteren Daten hinterlegt ist, kann überlegt werden, typische Hüllflächen je Nutzungsprofil differenzierter zu ermitteln, um so präzisere Teilenergiekennwerte zu generieren.

Auf der Basis der vorliegenden Gebäuestichprobe mit 159 Gebäuden ist das noch nicht möglich.

6.2.3 Zonenbezogene Auswertung

137 der 159 Gebäude liegen im 1-Zonen-Modell vor. Für 22 Gebäude sind die Gebäudehülldaten, die Zonenflächen und Volumina zonenweise erfasst und mit Nutzungsprofilen der DIN V 18599 belegt. Tabelle 53 zeigt den typischen Datensatz eines Gebäudes mit 10 Zonen und 8 Nutzungsprofilen.

Tabelle 53: Datensatz eines Gebäudes im Mehr-Zonen-Modell; hier: Gebäude 12 Pollmeier

	Zonen- fläche A_n [m ²]	Zonen- volumen V_n [m ³]	Fenster- fläche A_{Fe} [m ²]	Fassaden- fläche A_{Fa} [m ²]	Boden- fläche A_{Fb} [m ²]	Dach- fläche A_{Da} [m ²]	Dachfenster- fläche $A_{Fe, Da}$ [m ²]
16 WC, Sanitär	94	336	26	29	72	19	0
19 Verkehrsfläche	285	969	65	128	155	90	0
2 Gruppenbüro	554	1 818	256	507	252	209	0
2 Gruppenbüro	1 101	3 486	192	586	219	526	0
2 Gruppenbüro	737	2 368	81	201	147	345	0
20 Lager, Technik	79	285	61	67	69	12	0
21 Serverraum	50	155	0	0	0	44	0
15 Küche, Lager	45	170	40	44	51	0	0
12 Kantine	177	667	79	87	186	0	0

Auf der Basis dieser 22 Gebäudedaten wird nun überprüft, ob für bestimmte Nutzungsprofile typische Fensterflächen oder Anordnungen vorkommen. Der grundlegende Ansatz dabei ist, dass die auf die Zonen verteilten Hüllflächendaten bei Aggregation der Zonendaten das Gebäude wieder genau beschreiben, was bei den Gebäudehüllflächen eindeutig gegeben ist. Wie die Untersuchungen zum vereinfachten Verfahren gezeigt haben, führt die Verteilung der Gebäudehülle nach dem *einfachen* und *erweiterten Verfahren* nur zu geringen Fehlern im Energiebedarf.

Es zeigte sich aber, dass die größten Fehler im Energiebedarf durch Verschiebung von Fensterflächen entstehen. Dies ist für den Kühlenergiebedarf insbesondere dann der Fall, wenn kein Sonnenschutz vorgesehen ist. Bei ambitionierten Gebäuden ist davon auszugehen, dass effiziente Sonnenschutzsysteme vorhanden sind, sodass sich der Fehler beim Energiebedarf deutlich verringert. Der Heizwärmebedarf hängt im Wesentlichen von Transmissions- und Lüftungsverlusten ab. Für die Generierung der Teilkennwerte sind insbesondere die Transmissionsverluste von Interesse, da für die Berechnung Annahmen zur Hüllflächenverteilung gemacht werden müssen. Die flächengewichtete Summation der Teilergiekennwerte muss den Gesamtenergiekennwert des Gebäudes ausreichend genau abbilden.

Abbildung des A/V-Verhältnisses durch flächengewichtete Aggregation der Zonen-A/V-Verhältnisse

Es werden für 22 Gebäude das gebäudebezogene A/V-Verhältnis und das flächengewichtete summierte Zonen-A/V-Verhältnis ermittelt und in folgendem Diagramm aufgespannt. Die eingetragene Linie entspricht dem Verhältnis, wenn die beiden A/V-Verhältnisse gleich sind. Für die meisten Gebäude ergibt sich durch flächengewichtete Summation das gleiche A/V-Verhältnis wie das des realen Gebäudes. Für vier Gebäude wird das zonenflächengewichtete A/V-Verhältnis etwas unterschätzt. Gründe dafür sind im Gebäude vorkommende Zonen mit stark von der mittleren Raumhöhe abweichenden Raumhöhen. Da das A/V-Verhältnis nur in Abhängigkeit der Nettogrundfläche auf Gebäudeebene aggregiert wird, ergeben sich hier diese Unterschiede. Bei Gebäude 2 handelt es sich um ein Schwimmbad, bei welchem etwa 50 % der Zonenfläche eine lichte Raumhöhe von 8,5 m hat. Alle anderen Zonenflächen liegen bei etwa 3,2 m Raumhöhe. Die mittlere Raumhöhe des Gebäudes beträgt 5,4 m. Dieses Gebäude markiert die größte Abweichung. Bei Gebäude 1 hat etwa 24 % der Zonenfläche eine Raumhöhe von 4,2 m, bei einer mittleren Raumhöhe des Gebäudes von 3,3 m. Die Zone Sporthalle in Gebäude 3 mit einem Flächenanteil von 67 % weist

Raumhöhen von über 8 m auf. Die mittlere Raumhöhe des Gebäudes liegt knapp unter 7 m. Durch den hohen Zonenflächenanteil der Sporthalle fällt der Unterschied zwischen den A/V-Verhältnissen etwas geringer aus als beim Schwimmbad. Ein großes Atrium mit einer Raumhöhe von 11 m führt bei einer mittleren Raumhöhe von 4,2 m zu dieser geringen Abweichung bei Gebäude (4). Bei allen anderen Gebäuden weichen die Raumhöhen nicht so stark von der mittleren Raumhöhe des Gebäudes ab, wodurch sich keine nennenswerten Abweichungen ergeben.

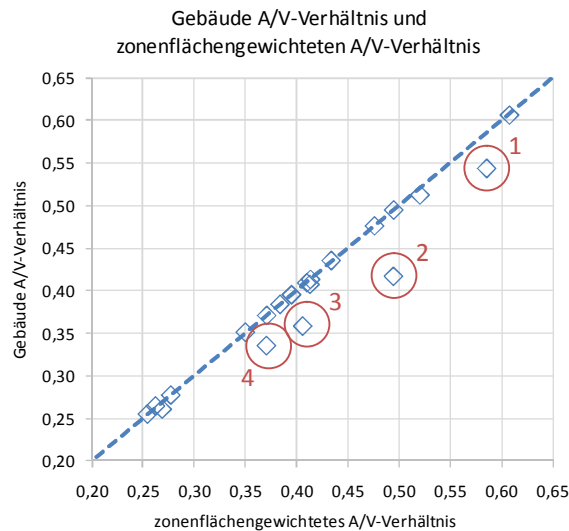


Abbildung 218: Vergleich der A/V-Verhältnisse

Für die Bildung von Teilergiekennwerten ist es daher erforderlich, die Raumhöhe bei der Bestimmung der Hüllflächen zu berücksichtigen. Die Nutzungsprofile müssen deshalb mit typischen Raumhöhen versehen und die Hüllflächen in Abhängigkeit davon korrigiert werden. Zudem zeigte die Analyse der typischen Hüllflächen, dass insbesondere für „Sporthallen“ und „Festsäle“ zu geringe Hüllflächen berechnet werden (vgl. Abbildung 216). Die Vergleichsraumhöhe liegt im Mittel für alle Gebäude bei $h_{R,\emptyset} = 3,22$ m. Die durchschnittliche Geschosshöhe der Stichprobe $h_{Ge,\emptyset}$ liegt bei 3,7 m, was sich gut mit statistischen Analysen aus dem BKI nach [102] deckt. Die in [79] gezeigten Gebäude ergeben Geschosshöhen in gleicher Größenordnung.

Die spezifische Fassadenfläche pro Nettogrundfläche einer Zone korrespondiert mit der typischen lichten Raumhöhe. Die in der Berechnung verwendete Fassaden- und Fensterfläche wird bezüglich der Raumhöhe wie folgt korrigiert:

$$A_{Fa, kor} = A_{Fa} \cdot \frac{h_R}{h_{R,\emptyset}} \tag{59}$$

$$A_{Fe, kor} = A_{Fe} \cdot \frac{h_R}{h_{R,\emptyset}}$$

mit

$A_{Fa, kor}$	m^2/m^2	raumhöhenkorrigierte NGF-spezifische Fassadenfläche
$A_{Fe, kor}$	m^2/m^2	raumhöhenkorrigierte NGF-spezifische Fensterfläche
h_R	m	Raumhöhe der Zone für das jeweilige Nutzungsprofil
$h_{R,\emptyset}$	m	durchschnittliche Raumhöhe

Typische Fensterflächenanteile für bestimmte Nutzungszonen

Die 22 Gebäude werden nach den Vorgaben der DIN V 18599 zoniert und beinhalten 168 Zonen. Im Schnitt kommen etwa 7,6 Zonen auf ein Gebäude. Analog zur Auswertung der Gebäudehüllflächen

auf Gebäudeebene werden die thermisch relevanten Hüllflächen auf der Basis der Zoneninformationen analysiert. Für die Bauteile Dach, Boden und Fassade ergeben sich höhere Streuungen als bei der gebäudebezogenen Auswertung, weshalb die Darstellung hier auf die gesamte thermische Gebäudehüllfläche und die Fensterfläche beschränkt ist.

Im Anhang finden sich unter Abschnitt A.12 die Auswertungen aller Bauteiltypen.

Die Bauteilflächen sind in den folgenden Abbildungen in Abhängigkeit der Zonengröße aufgetragen. Es zeigt sich, dass für die gesamte Gebäudehüllfläche eine Abhängigkeit von der Zonengröße vorliegt, während bei der Fensterfläche deutlich größere Streuungen vorhanden sind. Bei den Fensterflächen muss zudem überprüft werden, ob eine Abhängigkeit zwischen dem Nutzungsprofil und dem Überschreiten des Mittelwerts vorliegt. Die Grundhypothese hierfür wurde bereits im vorigen Abschnitt erläutert. Der arithmetische Mittelwert der NGF-spezifischen Fensterfläche über alle Zonen beträgt $0,214 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Der Mittelwert über alle Zonen liegt etwas unterhalb des gebäudebezogenen Mittelwerts, da auch Zonen ohne Fensterfläche einfließen. Bei der Bestimmung des Korrelationskoeffizienten ρ sind auch alle Nullwerte enthalten, die sich für innen liegende Zonen ohne thermische Hüllfläche oder für Zonen ohne Fensterflächen ergeben.

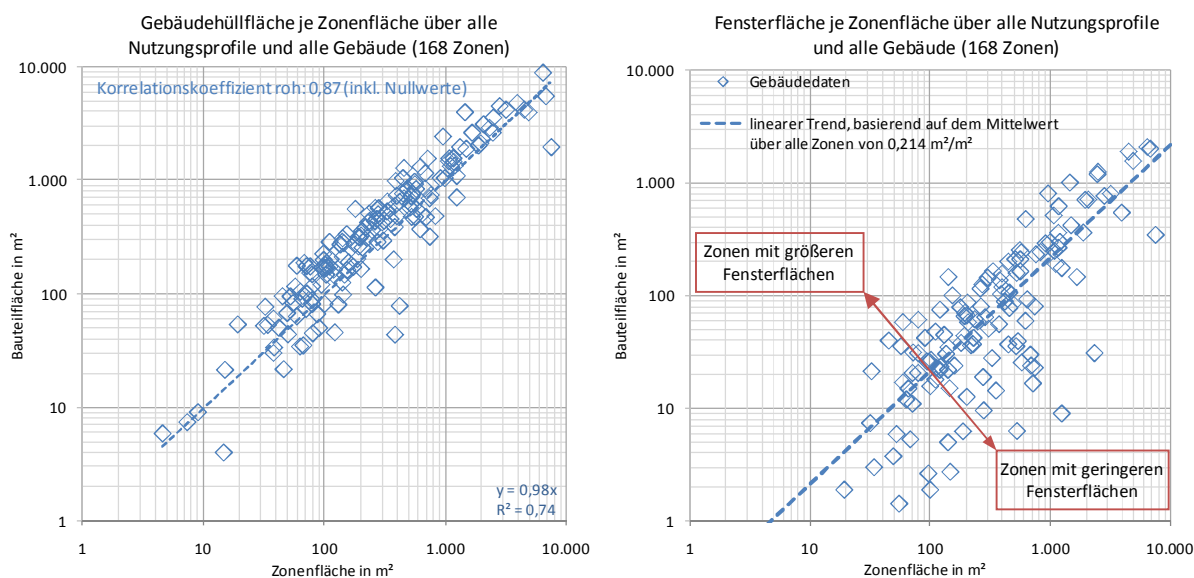


Abbildung 219: Zonenbasierte Gebäudehüllflächen aufgetragen in Abhängigkeit der Zonengröße

Sortiert man die NGF-spezifischen Hüllflächen nach der Zonengröße, so zeigt sich weder eine eindeutige Abhängigkeit von der Zonengröße für die gesamte thermische Hüllfläche noch für die Fensterflächen (linkes Bild)²⁵. Bei der gesamten Gebäudehüllfläche sind die Schwankungsbreiten der NFG-spezifischen Hüllflächen in kleineren Zonen deutlich größer als in großen. Je größer der Zonenflächenanteil an der Gesamtzonenfläche ist, desto mehr muss der NGF-spezifische Wert auch dem des Gebäudes selbst entsprechen, da diese Zone das Gebäude dann flächenmäßig am besten beschreibt.

Bei den Fensterflächen sind neben großen Schwankungsbreiten auch einige „Nullwerte“ vorhanden (im rechten Bild markiert). Diese beschreiben Zonen, die entweder innen liegend sind oder aber nutzungsbedingt keine Fensterflächen enthalten.

²⁵ Im Vergleich zu Abbildung 219 sind hier auch Zonen dargestellt, in denen keine Bauteilfläche vorkommt.

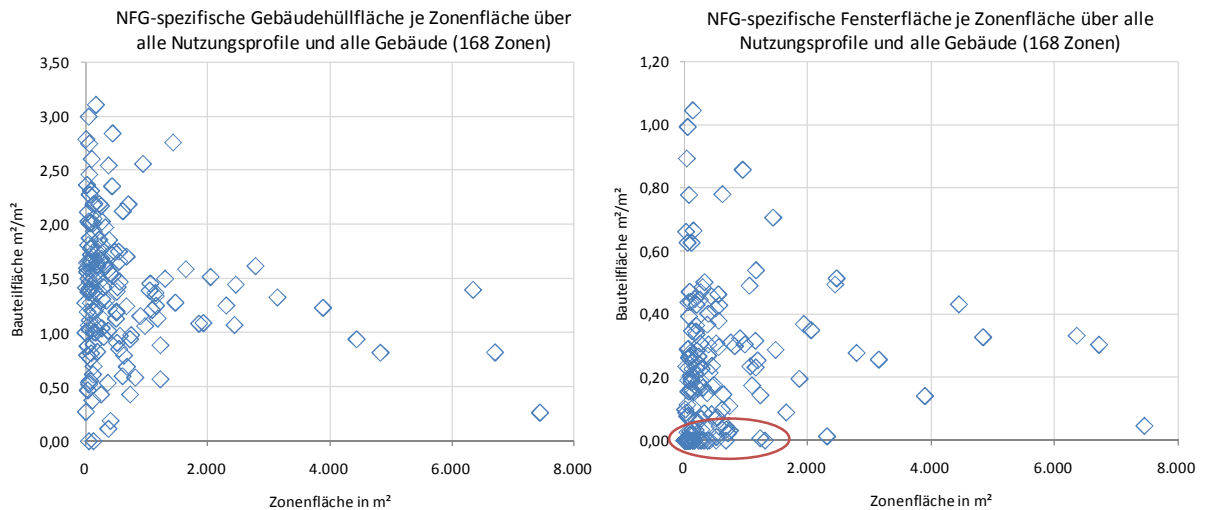


Abbildung 220: NGF-spezifische Gebäudehüllflächen sortiert nach der Zonengröße

Vergleicht man die zonenspezifischen Daten mit den Untersuchungen, die das gesamte Gebäude berücksichtigen, so sind gleiche Bandbreiten erkennbar. Da die Summe der Gebäudehüllflächen, die über alle Zonen aufgeteilt wird, konstant bleiben muss, kann durch Aggregation der flächengewichteten Zonendaten die gesamte Gebäudehüllfläche wieder beschrieben werden. Abbildung 221 zeigt die Korrelation der aus beiden Fällen ermittelten spezifischen Gebäudehülldaten im Vergleich. Die Daten korrelieren vollständig.

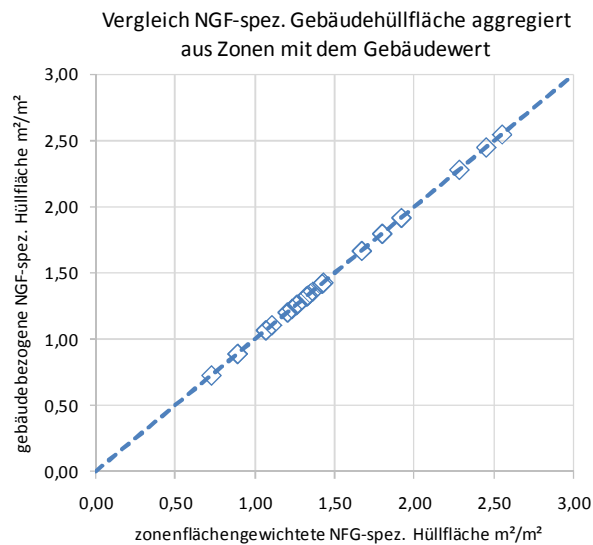


Abbildung 221: Vergleich der NGF-spezifischen Gebäudehüllflächen ermittelt über flächengewichtete Summation aus den Zonen mit dem gesamten Gebäudewert

Auswertung nach Nutzungsprofilen

Die Analyse der zonenbasierten Fensterflächen ermöglicht es, für bestimmte Nutzungsprofile Tendenzen aufzuzeigen. Basierend auf dem Gebäudemittelwert des NGF-spezifischen Fensterflächenanteils von $0,214 \text{ m}^2/\text{m}^2$ wird für jedes Nutzungsprofil die Häufigkeit ermittelt, wie oft dieser Wert über oder unterschritten wird (rechtes Bild). Darüber hinaus wird für jedes Nutzungsprofil der Mittelwert über alle NGF-spezifischen Fensterflächen ermittelt (linkes Bild). Für die im rechten Bild rot eingefärbten Nutzungsprofile wird die mittlere NGF-spezifische Fensterfläche in rund 75 % aller Fälle überschritten. Der Mittelwert liegt für diese Zonen (75 von 168 Zonen) mit $0,38 \text{ m}^2/\text{m}^2$ deutlich über dem Gebäudemittelwert von $0,214 \text{ m}^2/\text{m}^2$ über 168 Zonen.

Der Analyse der Nutzungsprofile 01 und 02 liegen 25 Zonenauswertungen zugrunde. Eine tendenziell größere Fensterfläche als der Gebäudemittelwert kommt in den Nutzungen „01 Einzelbüro“, „02 Gruppenbüro“, „04 Sitzung“, „08 Klassenzimmer“, „04 Kantine“, „28 Bibliothek Lesesaal“ und im Profil „31 Sporthalle“ vor. Bei der Nutzung „06 Einzelhandel“ ist nur ein Datensatz vorhanden, der keine Rückschlüsse auf ein typisches Vorkommen erlaubt. Diese Nutzungen beschreiben in der Regel auch die Hauptnutzung eines Gebäudes.

Für die Nutzungen „14 Küche“, „15 Küche, Lager, Vorbereitung“, „WC, Sanitär“, „18 Nebenflächen“, „19 Verkehrsflächen“, „20 Technik, Lager“ und „21 Serverraum“ liegen die NGF-spezifischen Fensterflächen häufiger unterhalb des Mittelwerts. Diese Nutzungen beschreiben in der Regel die Nebennutzflächen sowie Verkehrs- und Funktionsflächen.

Das Nutzungsprofil „17 sonstige Aufenthaltsräume“ ist nach EnEV als „Universalprofil“ zu verwenden, wenn eine Nutzung keiner anderen zugeordnet werden kann [14]. Hierunter fallen demnach die vielfältigsten Nutzungen (z. B. Labor, Behandlungszimmer, Schwimmbad etc.). Zwar liegt für dieses Profil der Mittelwert oberhalb des Gebäudemittelwertes, dieser wird jedoch zu gleichen Anteilen über- und unterschritten.

Betrachtet man die Standardabweichung, so zeigt sich hier insbesondere für die Nebennutzungen bzw. für die Nutzungsprofile mit geringeren NGF-spezifischen Fensterflächen als beim Gebäudedurchschnitt, dass deutliche Streuungen vorhanden sind. Bei den Nutzungsprofilen, die oberhalb des Durchschnittswertes liegen, sind die Standardabweichungen deutlich niedriger. Da diese Räume in der Regel auch die Hauptnutzung eines Gebäudes repräsentieren, ist von bewusster geplanter Tageslichtversorgung auszugehen, was sich durch geringere Abweichungen vom Zonenmittelwert verdeutlicht.

Für einige Nutzungsprofile liegen nicht ausreichende Zoneninformationen vor, um statistisch sichere Aussagen zu extrahieren.

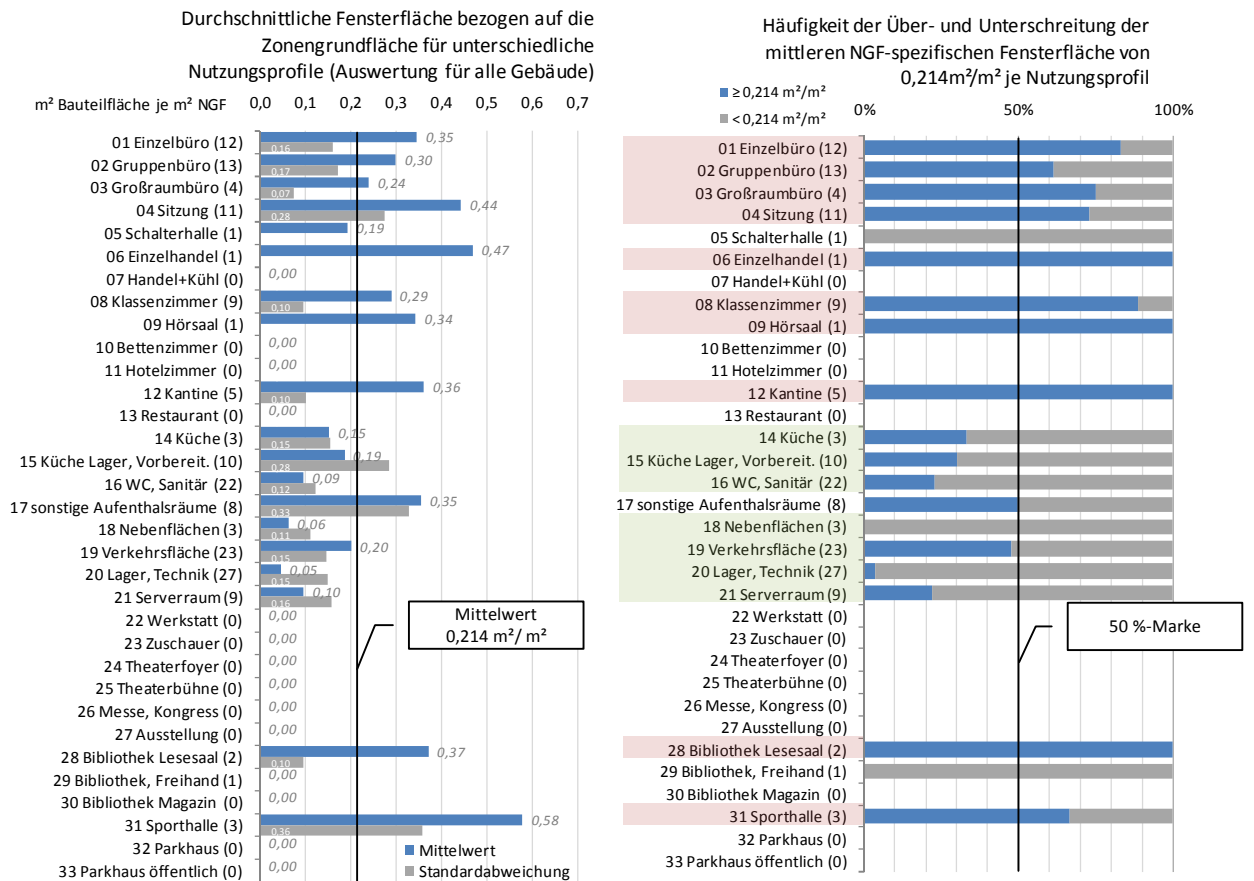


Abbildung 222: Zonenbasierte Auswertung typischer Fensterflächen je Nutzungsprofil. Dargestellt werden der Mittelwert je Nutzungsprofil und die Häufigkeit des Über- oder Unterschreitens des Gebäudemittelwertes. Rot markiert sind Nutzungen, für die häufiger höhere Fensterflächen als der Mittelwert ermittelt werden. Für die grün markierten Nutzungen kommen Fensterflächen häufiger unterhalb des Gebäudemittelwertes vor. Die Werte in Klammern neben den Nutzungsprofilen zeigen die Anzahl der im Datensatz vorkommenden Zonen dieser Nutzung.

Zur Bestimmung typischer Fensterflächenanteile wird auf der Basis der bis zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Daten ein Anpassungsfaktor für die Fensterfläche eingeführt. Dieser modifiziert für die Berechnung der Teilenergiekennwerte die NFG-spezifische Fensterfläche je nach Nutzungsprofil. Vereinfacht erfolgt eine Unterteilung in vier Kategorien.

Kategorie A)

Unter diese Kategorie fallen Nutzungsprofile in denen typischerweise mehr Fensterflächen vorkommen als im Gebäudemittel. Dies betrifft insbesondere Zonen, die die Hauptnutzung des Gebäudes charakterisieren.

Kategorie B)

Hierunter fallen Nutzungsprofile für die entweder nicht genügend Daten vorhanden sind, oder Nutzungsprofile, für welche die Fensterfläche gut mit dem Gebäudemittelwert abgeschätzt werden kann. Hierunter fällt ebenfalls das Nutzungsprofil 17 der DIN V 18599, was nach EnEV als „universales“ Nutzungsprofil gilt, wenn eine Nutzung keinem anderen Profil zugeordnet werden kann.

Kategorie C)

Diese Kategorie beschreibt diejenigen Nutzungen, bei denen der Fensterflächenanteil typischerweise unterhalb des Gebäudemittelwertes liegt. Es handelt sich hierbei um Verkehrsflächen, WC-Sanitärbereiche etc., die in der Regel häufiger im Innern eines Gebäudes angeordnet sind oder nutzungsbedingt weniger Fensterfläche erfordern.

Kategorie D)

Unter diese Kategorie fallen Nutzungen, für die in der Regel keine Fensterflächen geplant werden oder die innen liegend sind (z. B. Serverräume, Lager- und Technikflächen, Theaterbühnen etc.)

Da nicht für alle Nutzungsprofile Daten vorliegen, werden die Fensterflächen nur für bekannte Nutzungen modifiziert, oder es werden Annahmen zur typischen Lage von Nutzungen in Gebäuden getroffen.

Hörner definierte in [103] und [83] für häufig auftretende Nutzungen Fenster- zu Bodenverhältnisse. Die dort gefundenen Angaben liegen zwischen 0 und 30 % und variieren jeweils in 10 %-Schritten.

Flächennutzung

Zur weiteren Überprüfung, ob eine Erhöhung der Fensterfläche für Nutzungen, welche die Hauptnutzung eines Gebäudes charakterisieren, den Gesamtwert der Fensterflächen im Gebäudemittel trifft, ist die Kenntnis der Flächenanteile der Hauptnutzflächen hilfreich.

Ansatz der Überlegung ist, dass die Fensterflächen in untergeordneten Nutzungen um den Teil reduziert werden, der dem erhöhten Fensterflächenanteil der Hauptnutzung entspricht. So kann der Gebäudemittelwert beschrieben werden.

Als typische Werte für die Aufteilung von Nutzungen in Gebäuden werden dabei die in [91] angegebenen mittleren Flächenverhältnisse verwendet. Aus der Netto-Grundfläche (NGF) des Gebäudes kann eine typische Größe der Hauptnutzfläche (HNF) und der Nutzfläche (NF) bestimmt werden. Aus der Differenz (NF – HNF) ergibt sich die Nebennutzfläche (NNF: Pausenraum, Garderobe etc.). Die Differenz aus (NGF – NF) entfällt auf Verkehrsflächen (VF: Flure, Treppenhäuser etc.) und Funktionsflächen (FF: Heizungsraum, Lüftungsschächte etc.). Um das Verhältnis von VF und FF zu bestimmen, werden weitere Angaben aus statistischen Kennwerten von Gebäuden (BKI) herangezogen [102].

Abbildung 223 zeigt die in [91] und [102] gefundenen und zusammengeführten typischen Flächenaufteilungen verschiedener Gebäudetypen in Hauptnutzfläche, Nebennutzfläche sowie in Funktions- und Verkehrsfläche.

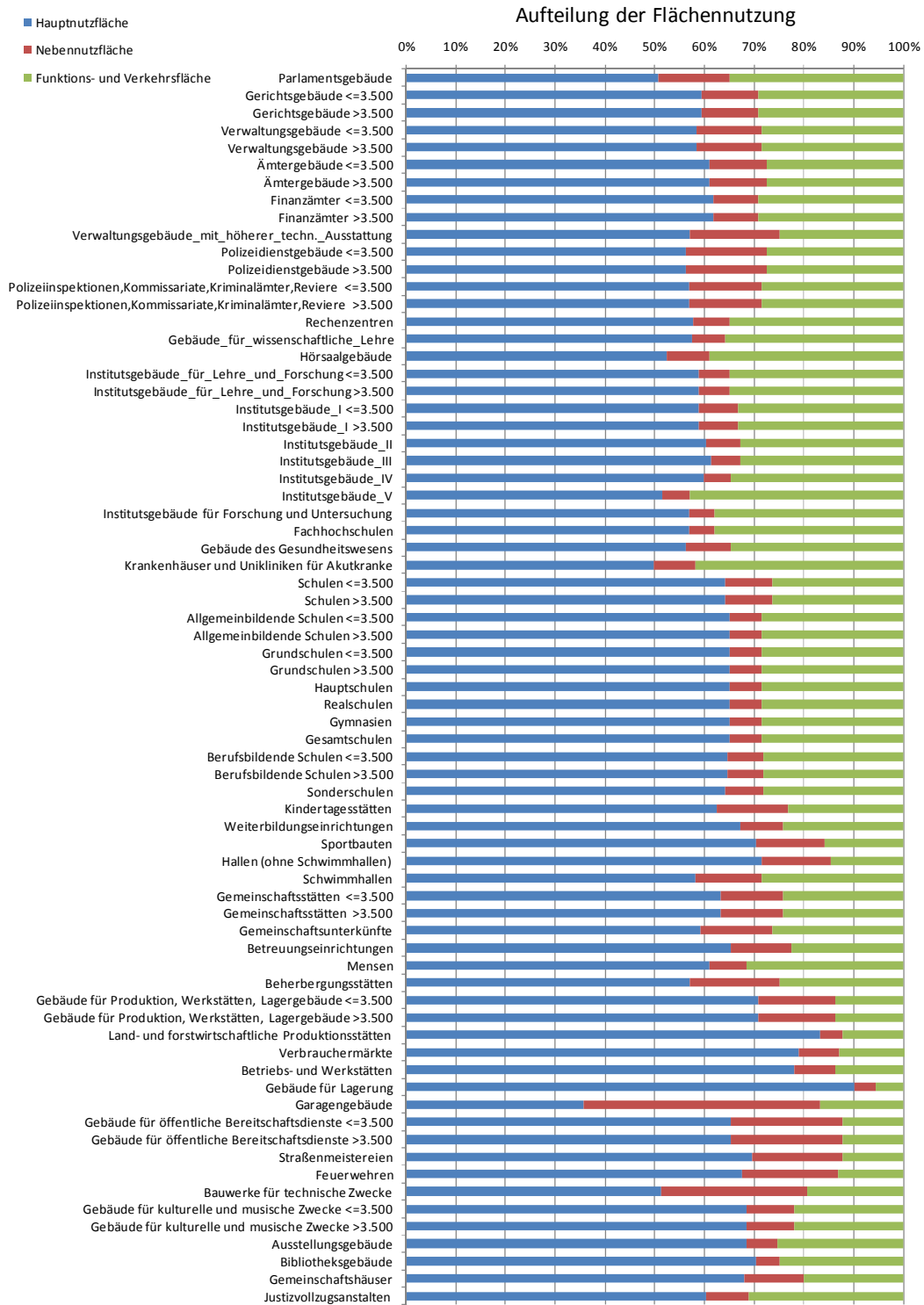


Abbildung 223: Aufteilung typischer Flächenaufteilungen von Gebäuden zur Bestimmung der Hauptnutzfläche

Der Anteil der Hauptnutzfläche ist für Gebäude, für die in der Regel Energieausweise erstellt werden müssen, in gleichen Größenordnungen zu finden. Die größte Abweichung kommt bei Garagegebäuden vor, die einerseits (wenn überhaupt) nur schwach beheizt sind und andererseits nur einen geringen Anteil der Gesamtgebäude repräsentieren. Die Bildung eines Mittelwertes für alle Gebäudekategorien kann daher akzeptiert werden.

In folgender Abbildung ist die Aufteilung der Flächennutzung als Mittelwert dargestellt. Bei allen Gebäudetypen dienen etwa 62 % der Gebäudenutzflächen der Hauptnutzung, während 11 % als Nebennutzflächen und 26 % als Funktions- und Verkehrsflächen genutzt werden.

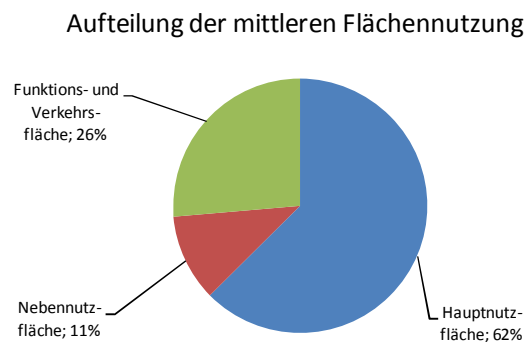


Abbildung 224: Aufteilung mittlerer Flächennutzungen

Wie die Zonergebnisse der 22 Gebäude (168 Zonen) zeigen, ist die NGF-spezifische Fensterfläche in den Hauptnutzzonen um etwa $0,1 \text{ m}^2/\text{m}^2$ höher als der Mittelwert. Für die Nebennutz- und Verkehrsflächen kann ebenfalls ein Wert von etwa $0,1 \text{ m}^2/\text{m}^2$ bestimmt werden.

Aufgrund der typischen Flächenaufteilung fallen etwa 62 % auf die Hauptnutzung. Unter der Voraussetzung, dass sich die Gesamtfensterfläche nicht ändert, führt eine Erhöhung der Fensterfläche in den Hauptnutzzonen um $0,1 \text{ m}^2/\text{m}^2$ zu einer Reduzierung der Fensterflächen der Nebennutz-, Funktions- und Verkehrsflächen um $0,16 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Wegen der großen Streuung der Fensterflächenanteile der Nebennutz-, Funktions- und Verkehrsflächen führt die Verteilung der Fensterflächen hinsichtlich der Nutzflächen unter Umständen zu einer Unterschätzung der Fensterflächen. Hinzu kommt, dass nicht für alle Hauptnutzungen eine Erhöhung der Fensterfläche erforderlich ist (z. B. für innen liegende Verkaufsflächen in Supermärkten) bzw. nicht für jede Nebennutz-, Funktions- und Verkehrsfläche eine Reduktion. Für die ausgewertete Stichprobe der 168 Zonen liegen darüber hinaus nicht genügend Daten vor, um statistisch sichere Ausprägungen abzuleiten.

Setzt man nun vereinfacht für die Hauptnutzflächen einen um $0,1 \text{ m}^2/\text{m}^2$ höheren Wert für die Fensterfläche an und für die Nebennutz- und Verkehrsflächen einen um $0,1 \text{ m}^2/\text{m}^2$ geringeren, so gleichen sich diese im Mittel in etwa aus, da sich die typischen Flächenaufteilungen in Relation ähnlich zueinander verhalten. Die nutzungskorrigierte Fensterfläche schreibt sich wie folgt:

$$A_{Fe,Nutz} = A_{Fe,kor} + \Delta f_{Fe} \quad (60)$$

mit

Δf_{Fe} m^2/m^2 nutzungsprofilabhängiger Korrekturfaktor für die NGF-spezifische Fensterfläche nach Tabelle 54

$A_{Fe,Nutz}$ m^2/m^2 raumhöhenkorrigierte NGF-spezifische Fensterfläche nach Abschnitt 6.2.3

6.3 Ermittlung der Teilenergiekennwerte

Die Teilenergiekennwerte für Heizen, Kühlen und Beleuchten werden für jedes der 33 Nutzungsprofile der DIN V 18599 berechnet.

6.3.1 Typische Anordnung, Berechnungs- und Raummodell

Für die Berechnung der Klassengrenzen werden typische Raumgeometrien der Nutzungsprofile verwendet. In [66] wurden diese typischen Raumgeometrien angewendet, um Stromkennwerte für den Kühlenergiebedarf zu ermitteln. Die dort angesetzten Nutzungsprofile sind an DIN V 18599 angelehnt. Tabelle 54 zeigt die in der Berechnung verwendeten Zonendaten. Die in [66] gefundenen Raumgeometrien werden hinsichtlich üblicher Raumhöhen modifiziert.

Es werden je Nutzungsprofil unterschiedliche Anteile der Gebäudehüllflächen berücksichtigt. Für eine präzisere Bewertung müssen, wie bereits verdeutlicht, typische Flächenvorkommen für Nutzungsprofile angesetzt werden. Gewisse Nutzungen werden z. B. meist innen angeordnet oder ohne Fenster ausgestattet, was einen eklatanten Einfluss auf die Kalibrierung der Zonenkennwerte haben kann. Zur Skizzierung des Konzeptes erfolgt der Ansatz im ersten Schritt unter diesen vereinfachten Randbedingungen.

Zur Berücksichtigung der Lage einer Zone im Gebäude wird eine typische Anordnung definiert. Im Mehr-Zonen-Modell teilen sich alle Zonen die gesamten Gebäudehüllflächen auf. Bei Auswertungen auf der Zonenebene müssen Annahmen zur Verteilung dieser Hüllflächen getroffen werden. In der Regel hängt die Verteilung von der Nutzung und der Anordnung im Gebäude ab. Der Fensterflächenanteil ist maßgeblich für den Beleuchtungsstrom- und den Kühlenergiebedarf. Beim Kühlenergiebedarf sind die Auswirkungen bereits untergeordnet, da bei energetisch hochwertigen Gebäuden effiziente Sonnenschutzsysteme vorgesehen sind, die den Kühlenergiebedarf bereits deutlich reduzieren (vgl. Parameterstudie). Für die unterschiedlichen Nutzungszonen wird nach den Merkmalen aus Abschnitt 6.2.3 unterschieden, und die Kalibrierung der Kennwerte erfolgt für jeden Zonentyp separat.

Tabelle 54: Verwendete Raumgeometrien zur Festlegung von Klassenkennwerten.

Nutzungsprofil	typische Raumhöhe	typische Raumbreite	typische Raumtiefe	Bodenfläche	Volumen	typische Anordnung
Einheit	[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m ³]	(A, B, C, D)
01 Einzelbüro	3,0	3,0	6,0	18	54	A
02 Gruppenbüro	3,0	6,0	6,0	36	108	A
03 Großraumbüro	3,0	12,0	12,0	144	432	A
04 Sitzung	3,0	6,0	6,0	36	108	A
05 Schalterhalle	4,0	10,0	10,0	100	400	B ²⁶
06 Einzelhandel	4,0	20,0	20,0	400	1.600	B ²⁶
07 Handel und Kühlung	4,0	20,0	20,0	400	1.600	D ²⁸
08 Klassenzimmer	3,0	10,0	10,0	100	300	A
09 Hörsaal	4,0	20,0	10,0	200	800	C ²⁷
10 Bettzimmer	2,5	4,0	4,0	16	40	B
11 Hotelzimmer	2,5	4,0	4,0	16	40	B
12 Kantine	3,0	20,0	20,0	400	1.200	A
13 Restaurant	3,0	12,0	12,0	144	432	B
14 Küche	3,0	6,0	6,0	36	108	D ²⁸
15 Küche, Lager, Vorbereitung	3,0	6,0	6,0	36	108	C
16 WC, Sanitär	3,0	3,0	6,0	18	54	C
17 sonstige Aufenthaltsräume	3,0	6,0	6,0	36	108	B
18 Nebenflächen	3,0	3,0	6,0	18	54	C
19 Verkehrsflächen	3,0	2,0	12,0	24	72	C
20 Lager, Technik	3,0	6,0	6,0	36	108	D ²⁸
21 Serverraum	3,0	6,0	6,0	36	108	D ²⁸
22 Werkstatt	4,0	20,0	20,0	400	1.600	C ²⁷
23 Zuschauerraum	6,0	20,0	10,0	200	1.200	C ²⁷
24 Theaterfoyer	3,0	12,0	12,0	144	432	C
25 Theaterbühne	6,0	10,0	5,0	50	300	D ²⁸
26 Messe, Kongress	6,0	40,0	20,0	800	4.800	B
27 Ausstellungsraum	4,0	20,0	20,0	400	1.600	B
28 Bibliothek Lesesaal	3,0	20,0	20,0	400	1.200	A
29 Bibliothek, Freihand	3,0	6,0	6,0	36	108	B ²⁶
30 Bibliothek, Magazin	3,0	6,0	6,0	36	108	C ²⁷
31 Sporthalle	7,0 ²⁹	40,0	20,0	800	4.800	A
32 Parkhaus	2,5	50,0	50,0	2.500	6.250	D ^{28,30}
33 Parkhaus, öffentlich	2,5	100,0	50,0	5.000	12.500	D ^{28,30}

Für Nutzungsprofile mit der typischen Anordnung A) ist $\Delta f_{Fe} = +0,1 \text{ m}^2/\text{m}^2$; für Nutzungsprofile mit der Anordnung B) ist $\Delta f_{Fe} = 0 \text{ m}^2/\text{m}^2$ und für die mit der Anordnung C) ist $\Delta f_{Fe} = -0,1 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Beim Anordnungsprofil D) werden für die Berechnung der Teilenergiekennwerte keine Fensterflächen angesetzt.

²⁶ Annahme: zu wenige Nutzungsprofile im Datensatz oder keine typisch vorkommende Lage im Gebäude: Anordnungsprofil B.

²⁷ Annahme: überwiegend innen liegend vorkommende Nutzung oder nutzungsbedingt wenig Fensterflächen: Anordnungsprofil C.

²⁸ Annahme: Für die Berechnung der Teilenergiekennwert wird diese Nutzung ohne Fensterflächen berechnet: Anordnungsprofil D.

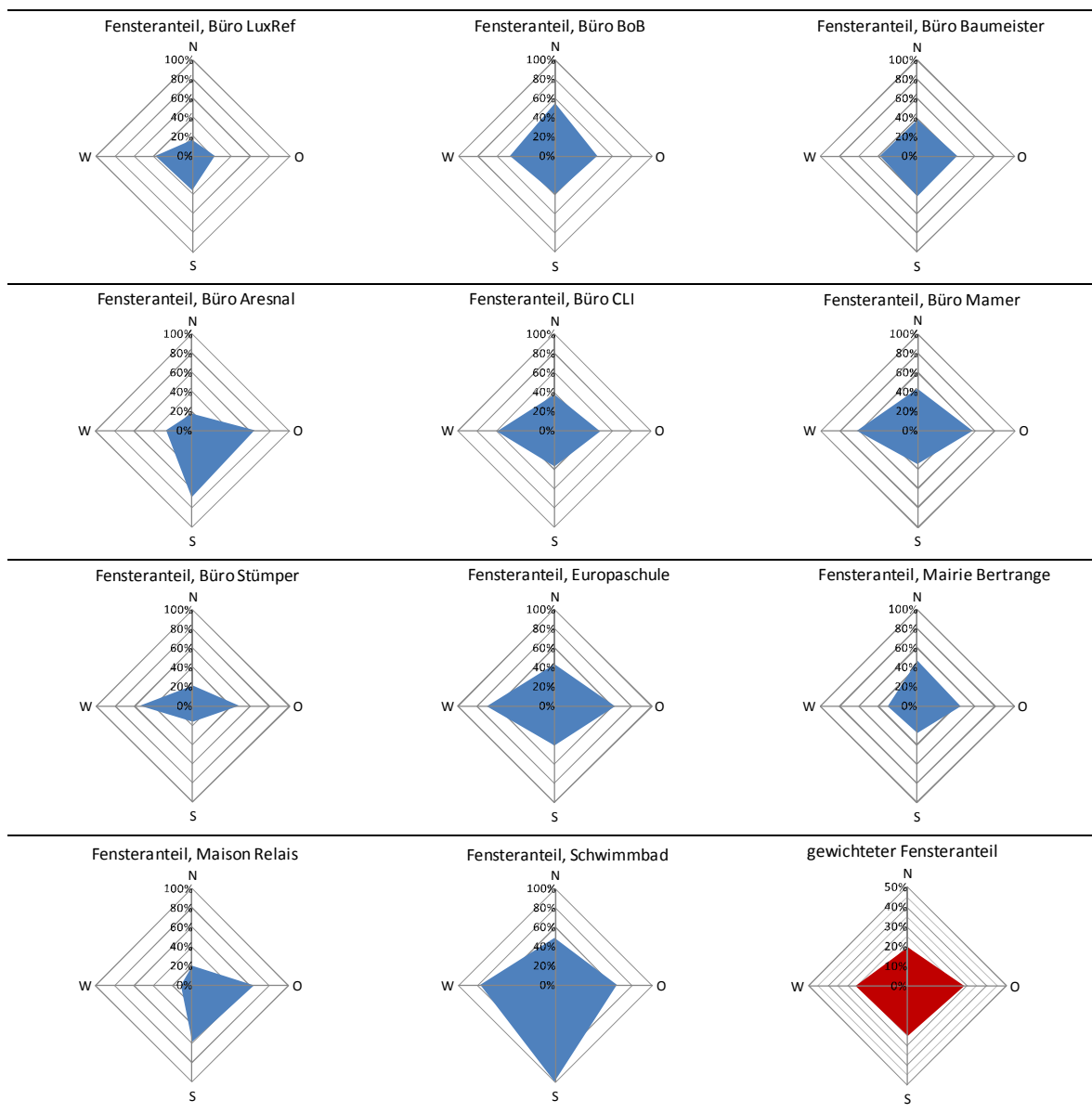
²⁹ Der im MEG-Verfahren gefundene Wert wird von 6,0 m auf typischere 7,0 m Raumhöhe modifiziert.

³⁰ Für diese Nutzung werden keine thermischen Hüllflächen generiert. Es wird lediglich der Beleuchtungsstrombedarf ermittelt.

Vorherrschende Himmelsrichtung

In Abschnitt 2 wurde der Einfluss einer vereinfachten Flächenverteilung untersucht. Das Verfahren wurde dabei an 11 Gebäuden getestet, deren Flächen detailliert aufgenommen und analysiert wurden. Die in folgender Tabelle dargestellten Orientierungsprofile zeigen die Fensterflächenanteile je Orientierung der Gebäude. Für alle untersuchten Gebäude werden eventuell vorkommende Zwischenorientierungen einer Haupthimmelsrichtung zugewiesen, ggf. anteilig auf zwei Haupthimmelsrichtungen verteilt. Somit lassen sich die Rechenwerte³¹ zur Ermittlung des End- und Nutzenergiebedarfs für Beleuchtung je Hauptorientierung eindeutig ermitteln. Die dargestellten Charakteristiken zeigen, wie ausgeprägt unterschiedliche Fensterflächenanteile je Orientierungen auftreten. Mit Ausnahme von Gebäude 11, wird deutlich, dass sich Fensterflächen in der Regel relativ homogen über alle Orientierungen verteilen, was bei Nichtwohngebäuden auch zu erwarten war.

Tabelle 55: Orientierungsprofile für den Fensterflächenanteil aller Gebäude



³¹ Beispielsweise sind das tabellierte Rechenwerte nach DIN V 18599, Teil 4 zur Ermittlung des Tageslichtversorgungsfaktors $C_{TL, Vers, SNA, j}$ oder relative Zeiten $t_{rel, TN, SNA, j}$ und $t_{rel, TL, SNA, j}$ bei nicht aktiviertem und aktiviertem Sonnen- und/oder Blendschutz.

Der Fensteranteil (letztes Diagramm mit roter Füllung) in Tabelle 55 zeigt die durchschnittliche Verteilung aller Fensterflächen je Orientierung. Ausgehend von einer gesamten Fensterfläche von 100 % fallen etwa 20 % auf die Nordorientierung, 55 % sind nach Osten und Westen orientiert und 25 % sind nach Süden angeordnet.

Ausblick

Die angesetzten Fensterflächenkorrekturen werden anhand der vorliegenden Daten abgeleitet und an einigen Stellen Annahmen getroffen, um das Modell auf alle Nutzungsprofile zu übertragen. Eine konsequente Fortführung der Datenbank wird zukünftig Präzisierungen bei der nutzungsabhängigen Korrektur bzw. bei der Bestimmung typischer Raumgeometrien ermöglichen. Für opake Bauteile ist eine weitere Präzisierung nicht in gleichem Umfang erforderlich, da die daraus resultierenden Fehler im Energiebedarf nicht wesentlich sind.

Energiedurchlassgrad

Werden Sonnenschutzsysteme auch als Blendschutz eingesetzt, was häufig bei Jalousiesystemen der Fall ist, verringern sie die in der Heizperiode einfallenden solaren Gewinne. In dieser Zeit kann je nach Raum- und Fenstergeometrie als auch in Abhängigkeit der Entfernung zum Fenster das Blendkriterium überschritten werden, weshalb diese Systeme auch innerhalb der Heizperiode aktiviert werden. In neueren Energiebilanzierungsverfahren, wie nach DIN V 18599, wird diesem Umstand Rechnung getragen [20] [59]. Die solaren Gewinne für die thermischen Energiebilanzen berechnen sich nach [35] gemäß folgender Gleichung.

$$Q_{S,tr} = F_F \cdot A \cdot g_{eff} \cdot I_S \cdot t \quad (61)$$

mit

$Q_{S,tr}$	kWh/d	solare Wärmeeinträge durch Fenster oder transparente Bauteile
F_F	-	Abminderungsfaktor für den Rahmenanteil, wenn nicht genauer bekannt (= 0,7)
A	m ²	Fläche des Bauteils (i. d. R. das lichte Rohbaumaß)
g_{eff}	-	wirksamer Gesamtenergiedurchlassgrad
t	h	Dauer des Berechnungsschrittes ($t = 24$ h)
I_S	W/m ²	mittlere solare Einstrahlung im Bilanzmonat

Der wirksame Energiedurchlassgrad g_{eff} berücksichtigt ein Aktivierungsverhalten von Sonnenschutz- und Blendschutzsystemen gleichermaßen. Variable Sonnenschutzsysteme werden, anders als in den Berechnungsansätzen in DIN V 4108-6 und DIN EN 832, über einen wirksamen Energiedurchlassgrad bewertet, welcher nach [35] gemäß folgender Beziehung ermittelt wird.

$$g_{eff} = F_W \cdot F_V \cdot \left(\frac{a \cdot g_{tot} + (1 - a) \cdot g_{\perp}}{F_S \cdot g_{\perp}} \right) \quad (62)$$

mit

F_W	-	Abminderungsfaktor für nichtsenkrechten Strahlungseinfall (= 0,9)
F_V	-	Abminderungsfaktor für Verschmutzung, gemäß (i. d. R. 0,9, für Wohnnutzung 1,0)
F_S	-	Abminderungsfaktor für Verschattung, bei üblichen Anwendungsfällen (= 0,9)
a	-	Parameter zur Bewertung der Aktivierung von beweglichen Sonnenschutzvorrichtungen
g_{tot}	-	Gesamtenergiedurchlassgrad einschließlich Sonnenschutzvorrichtung nach EN 13363-1/2
g_{\perp}	-	Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung ohne Sonnenschutzvorrichtung nach DIN EN 410

Mit einem Parameter a wird für den Bilanzzeitraum, entweder Sommer oder Winter, ein aktivierter Sonnenschutz berücksichtigt. Für den übrigen Teil ($1 - a$) im jeweiligen Jahres-Bilanzzeitraum wird der Sonnenschutz als nicht aktiviert berücksichtigt und es wirkt lediglich der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung g_{\perp} . Wird die Summe beider Teile größer als der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung ohne Sonnenschutzvorrichtung, unter Berücksichtigung der Verschattungssituation, so ist dieser Wert zu verwenden. Der Einfluss der Verschattung wird bei aktiviertem, beweglichem Sonnenschutzsystem nicht direkt berücksichtigt. Ist der durch die bauliche Verschattung berechnete Energiedurchlass ($F_S \cdot g_{\perp}$) geringer als der durch das Sonnenschutzsystem ermittelte Wert, so ist dieser Wert anzusetzen. Die a -Faktoren sind in DIN V 18599, Teil 2 für die Jahreszeitabschnitte Winter (Oktober bis März) und Sommer (April bis September) differenziert angegeben. Tabelle 56 und Tabelle 57 zeigen die in [35] aufgeführten a -Parameter zur Bestimmung des wirksamen Energiedurchlassgrads g_{eff} in Abhängigkeit von der Art der Steuerung, der Neigung und der Orientierung der mit Sonnen- und Blendschutz ausgestatteten Flächen. Diese Zahlenwerte entsprechen den relativen Gewichtungsanteilen geschlossener Sonnenschutzsysteme für den jeweiligen Bilanz-Jahreszeitraum und berücksichtigen neben Zeitanteilen auch die Intensität der solaren Einstrahlung.

Tabelle 56: Parameter a zur Bewertung der Aktivierung von beweglichen manuell- oder zeitgesteuerten Sonnenschutzvorrichtungen für verschiedene Flächenneigungen, DIN V 18599-2

	Periode	NORD	NO/NW	OST/WEST	SW/SO	SÜD
90°, senkrecht	Winter	0,00	0,00	0,34	0,63	0,71
	Sommer	0,00	0,13	0,39	0,56	0,67
60°	Winter	0,00	0,01	0,36	0,63	0,69
	Sommer	0,03	0,33	0,54	0,68	0,76
45°	Winter	0,00	0,02	0,34	0,59	0,66
	Sommer	0,30	0,46	0,61	0,72	0,78
30°	Winter	0,00	0,05	0,32	0,53	0,60
	Sommer	0,55	0,60	0,67	0,74	0,78
0°, horizontal	Winter				0,24	
	Sommer				0,74	

Tabelle 57: Parameter a zur Bewertung der Aktivierung von beweglichen strahlungsabhängig gesteuerten Sonnenschutzvorrichtungen für verschiedene Flächenneigungen, DIN V 18599-2

	Periode	NORD	NO/NW	OST/WEST	SW/SO	SÜD
90°, senkrecht	Winter	0,00	0,03	0,45	0,71	0,77
	Sommer	0,10	0,49	0,70	0,77	0,79
60°	Winter	0,00	0,05	0,48	0,70	0,75
	Sommer	0,43	0,69	0,81	0,86	0,88
45°	Winter	0,01	0,08	0,47	0,67	0,72
	Sommer	0,64	0,77	0,84	0,88	0,90
30°	Winter	0,05	0,14	0,45	0,62	0,67
	Sommer	0,80	0,83	0,87	0,89	0,90
0°, horizontal	Winter				0,42	
	Sommer				0,89	

Betrachtet man die in der Tabelle rot markierten Werte für die Nordorientierung, so hat der niedrige Aktivierungsparameter in der Regel keinen Einfluss auf die solaren Gewinne. Es wirkt der

verschattungsbewertete Energiedurchlassgrad der Verglasung. Dies hat zur Folge, dass für vertikale nordorientierte Fenster die Wahl des Sonnenschutzes unerheblich ist. Legt man die Standardklimadaten zugrunde, ergeben sich jedoch auch für die Nordorientierung keine nennenswerten solaren Wärmeeinträge. Abbildung 225 zeigt den Einfluss der Orientierung und des Sonnenschutzes auf die solaren Erträge, beispielhaft für den Monat Juli. Die Grafik zeigt einmal die Wärmeerträge unter Berücksichtigung eines Sonnenschutzes und einer Dreifachverglasung nach den Vorgaben der Klasse A und einmal ohne einen zusätzlichen Sonnenschutz.

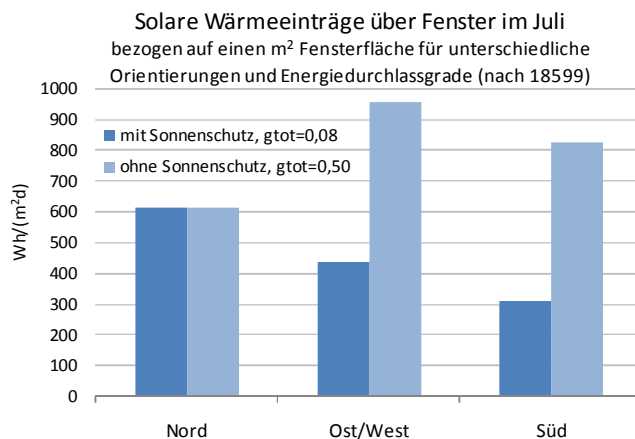


Abbildung 225: Vergleich der solaren Erträge im Monat Juli bezogen auf $1 m^2$ Fensterfläche für unterschiedliche Sonnenschutzsysteme. Die Verschattung wird pauschal mit $F_s = 0,9$ berücksichtigt.

Dieser Umstand führt dazu, dass für die Nordorientierung eine Sonnenschutzverglasung eingesetzt werden muss, um den Kühlenergiebedarf zu reduzieren. Die Sonnenschutzverglasung ist auch ein in der Praxis häufig angewendeter Sonnenschutz für die Nordorientierung.

Orientierungsprofil

Für die Berechnung von Standardenergiekennwerten wird von einer mittleren Hauptorientierung West/Ost, mit einem Anteil von 80 %, ausgegangen. 20 % der Fensterflächen werden der Nordorientierung zugeschlagen, um den zuvor beschriebenen Effekt zu berücksichtigen. Wie Parameteruntersuchungen in Abschnitt 3.5.6 zeigen, ist, verglichen mit der Südorientierung, für die Westorientierung ein etwas höherer Kältebedarf zu erwarten. Die winterlichen solaren Gewinne fallen im Westen hingegen etwas niedriger aus und der Heizwärmebedarf wird etwas höher bilanziert. Bei Anwendung dieser mittleren Orientierung als Referenzorientierung für die Ermittlung der Teilergiekennwerte werden der Kühlenergiebedarf und der Heizwärmebedarf in den Anforderungskennwerten leicht überschätzt. Aufgrund des häufigen gemeinsamen Auftretens der Ost- und Westorientierung (55 %) sowie der Nichtberücksichtigung der Südorientierung in den Kennwerten kann diese Überschätzung akzeptiert werden.

6.3.2 Standardgebäude₅₀₀₀

Die Definition der Fenster und Außenwandfläche erfolgt auf der Grundlage einer Auswertung der Geometrie von 159 Gebäuden nach Abschnitt 6.2. Diese Stichprobe setzt sich aus unterschiedlichen Gebäudekategorien zusammen. Der Gebäudepool umfasst auch Wohngebäude, um auch Aussagen zu kleineren Gebäuden machen zu können. Zur Ermittlung der Außenwandfläche wird die mittlere Fassadenfläche für ein Gebäude mit einer Nettogrundfläche von $A_n = 5\,000 m^2$ ermittelt. Zur Bestimmung der Fassadenfläche wird die Ausgleichsfunktion aus Tabelle 52 eingesetzt. Die

spezifische Fassadenfläche pro Nettogrundfläche korrespondiert mit einer typischen lichten Raumhöhe. Für die Berechnung der Standardkennwerte wird eine mittlere Raumhöhe von 3,0 m, entsprechend der in Tabelle 54 angegebenen Raumkonfigurationen, angesetzt. Um eine möglichst realitätsnahe Abbildung der Geometrie für die einzelnen Nutzungsprofile zu erreichen, sind diesen jeweils typische Raumhöhen nach Tabelle 54 zugeordnet. Die in der Berechnung verwendete Fassaden- und Fensterfläche wird nach Gleichung (59) noch bezüglich der Raumhöhe korrigiert:

Fassadenfläche

$$A_{Fa,5000,kor} = A_{Fa,5000} \cdot \frac{h_R}{3,0} \quad (63)$$

mit

$A_{Fa,5000,kor}$	m^2/m^2	raumhöhenkorrigierte NGF-spezifische Fassadenfläche für das Standardgebäude mit 5 000 m^2_{NGF}
$A_{Fa,5000}$	m^2/m^2	NGF-spezifische Fassadenfläche für das Standardgebäude mit 5 000 m^2_{NGF}
h_R	m^2	Raumhöhe der betrachteten Zonen nach Tabelle 54

Fensterfläche

$$A_{Fe,5000,kor} = A_{Fe,5000} \cdot \frac{h_R}{3,0} \quad (64)$$

mit

$A_{Fe,5000,kor}$	m^2/m^2	raumhöhenkorrigierte NGF-spezifische Fensterfläche für das Standardgebäude mit 5 000 m^2_{NGF}
$A_{Fe,5000}$	m^2/m^2	NGF-spezifische Fensterfläche für das Standardgebäude mit 5 000 m^2_{NGF}

Die Fensterflächen werden mit den Parametern aus Tabelle 54 hinsichtlich deren typischen Vorkommens für unterschiedliche Nutzungen korrigiert.

$$A_{Fe,5000,Nutz} = A_{Fe,5000,kor} + \Delta f_{Fe} \quad (65)$$

mit

Δf_{Fe}	m^2/m^2	nutzungsprofilabhängiger Korrekturfaktor für die NGF-spezifische Fensterfläche nach Tabelle 54
$A_{Fe,5000,Nutz}$	m^2/m^2	raumhöhen- und nutzungsbezogene korrigierte NGF-spezifische Fensterfläche für das Standardgebäude mit 5 000 m^2_{NGF}

Die Fensterfläche für das Standardgebäude schreibt sich wie folgt und wird für jedes Nutzungsprofil ermittelt.

$$A_{Fe,5000,Nutz} = A_{Fe,5000} \cdot \frac{h_R}{3,0} + \Delta f_{Fe} \quad (66)$$

Die Außenwandfläche für ein Gebäude mit 5 000 m^2 ergibt sich aus der Differenz von Fassaden- und Fensterfläche.

Wandfläche

$$A_{Wa,5000,kor} = A_{Fa,5000,kor} - A_{Fe,5000,Nutz} \quad (67)$$

mit

$A_{Wa,5000,kor}$	m^2/m^2	korrigierte NGF-spezifische Wandfläche für das Standardgebäude mit 5 000 m^2_{NGF}
-------------------	-----------	--

Dach- und Bodenfläche

Die Dach- und Bodenfläche werden ebenfalls aus den Analysen der Stichprobe für ein Gebäude mit einer Nettogrundfläche von 5 000 m^2 abgeleitet. Es gelten die Parameter aus Tabelle 52.

Gebäudehüllflächen

$$A_{Ge,5000,kor} = A_{Fa,5000,kor} + A_{Da,5000} + A_{Fb,5000} \quad (68)$$

mit

 $A_{Ge,5000,kor}$ m^2/m^2 korrigierte NGF-spezifische Gebäudehüllfläche für das Standardgebäude mit 5 000 m^2_{NGF}

Die typischen Bauteilflächen für das Standardgebäude sind für die jeweiligen Nutzungsprofile in folgender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 58: Gebäudehülldaten für das Standardgebäude mit einer Nettogrundfläche von 5 000 m^2

Nutzungsprofil	Hüllfläche	davon Fensterfläche
	$A_{Ge,5000,kor}$ in m^2/m^2_{NGF}	$A_{Fe,5000,Nutz}$ in m^2/m^2_{NGF}
01 Einzelbüro	1,409	0,331
02 Gruppenbüro	1,409	0,331
03 Großraumbüro	1,409	0,331
04 Sitzung	1,409	0,331
05 Schalterhalle	1,624	0,308
06 Einzelhandel	1,624	0,308
07 Handel und Kühlung	1,624	0,000
08 Klassenzimmer	1,409	0,331
09 Hörsaal	1,624	0,208
10 Bettzimmer	1,301	0,193
11 Hotelzimmer	1,301	0,193
12 Kantine	1,409	0,331
13 Restaurant	1,409	0,231
14 Küche	1,409	0,000
15 Küche, Lager, Vorbereitung	1,409	0,131
16 WC, Sanitär	1,409	0,131
17 sonstige Aufenthaltsräume	1,409	0,231
18 Nebenflächen	1,409	0,131
19 Verkehrsfläche	1,409	0,131
20 Lager, Technik	1,409	0,000
21 Serverraum	1,409	0,000
22 Werkstatt	1,624	0,208
23 Zuschauerraum	2,056	0,362
24 Theaterfoyer	1,409	0,131
25 Theaterbühne	2,056	0,000
26 Messe-, Kongressräume	2,056	0,462
27 Ausstellungsräume	1,624	0,308
28 Bibliothek „Lesesaal“	1,409	0,331
29 Bibliothek, Freihand	1,409	0,231
30 Bibliothek, Magazin	1,409	0,131
31 Sporthalle	2,271	0,639
32 Parkhaus	1,301	0,000
33 Parkhaus, öffentlich	1,301	0,000

6.3.3 Randbedingungen für die Klasseneinteilung

Die Berechnungen erfolgen nach DIN V 18599. Zur Bestimmung der Teilenergiekennwerte sind Anpassungen und die Festlegung von Randbedingungen für die Berechnungen erforderlich. Sie umfassen neben Vorgaben für die Bau- und Anlagentechnik des Gebäudes auch Randbedingungen für die Berechnung nach DIN V 18599.

6.3.3.1 Energetische Merkmale des Baukörpers

Ein energieoptimierter Gebäudeentwurf umfasst eine Vielzahl unterschiedlicher Bereiche bei der Gestaltung, Planung und Ausführung des Gebäudes. Bei einer alleinigen primärenergetischen Bewertung der Gesamtenergieeffizienz werden die einzelnen Merkmale des Baukörpers in einem gemeinsamen Kennwert zusammengeführt. Die Energieeffizienz einzelner Merkmale rückt sowohl durch gegenseitige Kompensation und Wechselwirkungen als auch durch die Bewertung über einen gemeinsamen Wert in den Hintergrund und ist somit vermischt dargestellt.

In [104][104] diskutiert *Jagnow* verschiedene Qualitätsmerkmale von Baukörpern, die zur energetischen Bewertung herangezogen werden können. *Voss, Löhnert, Herkel, Wagner* und *Wambsganß* zeigen in [56] und [105] verschiedene Konzepte auf, um die Energieeffizienz eines Gebäudes in der Planungsphase zu optimieren, die sich auch aus gesammelten praktischen Erfahrungen ableiten. Darauf aufbauend werden die zur Bestimmung von Anforderungswerten wesentlichen Bereiche eines guten Gebäudeentwurfs kurz skizziert:

- kompakter Gebäudeentwurf,
- Solararchitektur,
- sommerlicher Wärmeschutz,
- Wärmedurchgangskoeffizienten,
- thermische Speicherfähigkeit,
- Wärmebrückenoptimierung,
- Tageslichtversorgung,
- Gebäudeluftdichtheit.

Kompakter Gebäudeentwurf

Die Kompaktheit beschreibt das Verhältnis der thermischen Gebäudehüllfläche A zum davon eingeschlossenen beheizten Volumen V_e und wird als A/V -Verhältnis bezeichnet. Die Ausrichtung auf eine gute Gebäudekompaktheit ist ein wichtiger Bestandteil der Neubauplanung. Das A/V -Verhältnis bestimmt die Transmissionswärmeverluste und damit den rechnerischen Heizwärmebedarf bzw. -verbrauch eines Gebäudes über seine gesamte Lebensdauer maßgeblich mit. Je kleiner die Hüllfläche bei vorgegebenem Volumen oder vorgegebener Nutzfläche ist, desto geringer wird der Wärmeverlust. Dieses Merkmal kann als Bewertungskriterium für Gebäude herangezogen werden [56]. Ein realisierbares A/V -Verhältnis ist jedoch auch abhängig von der Größe des Gebäudes.

Solararchitektur

Ein energetisch guter Gebäudeentwurf schließt auch die Nutzung passiver Solarwärme ein. Sonnenstrahlen gelangen i. d. R. über transparente Bauteile in das Innere des Gebäudes und erwärmen Bauteile, welche die Energie speichern und zeitverzögert wieder an den Raum abgeben. Faktoren, die die passive Solarwärmenutzung in der Heizzeit beeinflussen, wie Ausrichtung und Größe von Fenstern, Energiedurchlassgrade, Verschattung und Verschmutzung sowie Rahmenanteile, können bei der Bestimmung der solaren Einstrahlung berücksichtigt werden.

Bezogen auf den Heizfall überwiegen bei einer konventionellen Verglasung³² in Nordorientierung die Transmissionswärmeverluste, da dort eine vergleichsweise geringe solare Einstrahlung vorhanden ist. Hohe Glasanteile im Norden wirken sich dadurch ungünstig auf den Heizwärmebedarf aus. Jedoch kann eine Nordorientierung interessant sein, denn man erhält im Sommer dort gute Arbeitsplatzbedingungen bei geringer Blendung oder Überhitzung.

Sommerlicher Wärmeschutz

Der Kühlenergiebedarf von Gebäuden wird durch den nicht zu Heizzwecken nutzbaren Teil der solaren und internen Gewinne beeinflusst. Ein energetisch guter Gebäudeentwurf muss die während der Heizperiode gewünschten passiven solaren Gewinne im Sommer bzw. im Kühlfall reduzieren. Fensterflächen, Orientierung der Fenster, bauliche als auch technische Verschattung sind daher für beide Nutzungsperioden zu optimieren. Die bauliche Planung muss somit auch den sommerlichen Wärmeschutz einschließen, welcher eng mit der passiven Solarwärmenutzung und der thermischen Speicherfähigkeit eines Gebäudes verbunden ist. Für jede Art von Kühlung, ob passiv oder aktiv, sind Gebäude mit großen und zugänglichen Speichermassen sinnvoll [106]. Neben additiven Sonnenschutzsystemen (z. B. Jalousien) kann der architektonische Entwurf eine bedeutende Rolle im sommerlichen Wärmeschutz spielen. *Hans* stellte in [60] drei formale Grundtypologien vor, die sich in der Architektur als baulicher, statischer Sonnenschutz etabliert haben. Dazu gehören horizontale und vertikale Auskragungen sowie Fassadenvorgelagerte Schirme. Diese Einflüsse können in der Berechnungsmethodik nach DIN V 18599-2/4 größtenteils berücksichtigt werden.

Wärmedurchgangskoeffizienten

Bezogen auf den Heizwärmebedarf sind die Wärmedurchgangskoeffizienten einzelner Bauteile ein wesentliches Merkmal des Baukörpers. Der Wärmedurchgangskoeffizient ist ein Maß für den Wärmestrom durch ein Bauteil. Er wird im Wesentlichen durch die Wärmeleitfähigkeit und die Dicke der verwendeten Materialien bestimmt. Der Transmissionswärmeverlust verhält sich proportional zum mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten. Die Festlegung der Wärmedurchgangskoeffizienten in der Planungsphase eines Gebäudes erfolgt unter konstruktiven, gesetzlichen, wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten [104][104]. Im Rahmen der EnEV werden Anforderungen an mittlere U-Werte von Bauteilgruppen gestellt [14].

Thermische Speicherfähigkeit

Der Einfluss der thermischen Speicherfähigkeit lässt sich nur indirekt in der Energiebilanz bewerten. Während der Einfluss der thermischen Speicherfähigkeit in der Heizperiode vergleichsweise gering ist, werden die Effekte im Sommer deutlich. Der Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht kann mithilfe der thermischen Masse ausgenutzt werden. Die über den Tag in den Bauteilen gespeicherte Wärme lässt sich mittels kühler Nachtluft entspeichern, so dass einer Aufheizung am darauf folgenden Tag entgegengewirkt wird. Begründen lässt sich dies durch die Auswirkung der Speicherfähigkeit auf instationäre Prozesse. Unter stationären Bedingungen beeinflusst die Speichermasse die Energiebilanz eines Gebäudes nicht. Bei der Planung passiver Kühlkonzepte ist es nach *Voss* [107] nicht ausreichend, nur besonders viel thermische Speichermassen in den Gebäudeentwurf zu integrieren, diese müssen auch zum Ein- und Entspeichern zugänglich sein [108].

³² Gemeint sind Dreifachverglasungen mit $U_g = 0,5$ bis $0,6$ sowie Energiedurchlassgraden g_{\perp} um $0,5$. Bei Neuentwicklungen wie Vakuumverglasungen können sich die Bilanzen ändern.

Wärmebrückenoptimierung

Mit steigendem Wärmeschutz der Außenbauteile wird der Einfluss möglicher Wärmebrücken größer. Deshalb ist der Einfluss der Wärmebrücken nicht nur in den Bilanzierungsmethoden, sondern insbesondere bei der Planung und Ausführung eines Gebäudes zu berücksichtigen [109]. Eine Wärmebrücke ist eine örtlich begrenzte Stelle, die im Vergleich zu den angrenzenden Bauteilen eine höhere Wärmestromdichte aufweist. Diese können sich aus geometrischen Gegebenheiten (z. B. Ecken, Vorsprüngen, Außenkanten) ergeben oder aber konstruktive Ursachen haben (z. B. Durchdringungen, Dämmstoffunterbrechungen, Auskragungen). Daraus ergeben sich höhere Wärmeverluste und niedrigere Oberflächentemperaturen, ggf. sogar Bauschäden. Deshalb sind Wärmebrücken nicht nur energetisch motiviert, sondern auch hinsichtlich eines ausreichenden Feuchteschutzes zu untersuchen [110]. Der Einfluss von Wärmebrücken bei der Erstellung von Energieeffizienznachweisen von Gebäuden wird in vielen EU-Staaten rechnerisch berücksichtigt [111] [112].

Tageslichtversorgung

Tageslicht hat eine grundsätzliche Bedeutung für das Wohlbefinden von Menschen in Gebäuden. Gut angeordnete Fensterflächen stellen einen Bezug zum Außenraum her und im Gegensatz zu einer statischen Kunstlichtbeleuchtung wirkt Tageslicht dynamischer und damit stimulierender auf den Menschen. Ebenfalls kann durch die erweiterte Nutzung von Tageslicht eine Einsparung des Kunstlichtbedarfes erzielt werden [113]. Als erstes Merkmal dient der Tageslichtquotient, der durch das Verhältnis der Beleuchtungsstärke an einem Punkt im Innenraum zu der Beleuchtungsstärke unter freiem Himmel definiert und eine konstante Größe hinsichtlich der Tages- und Jahreszeit ist. Während der Planung müssen Raum- und Fensteranordnung, Höhe des Fenstersturzes, Farben der Raumumschließungsflächen etc. aufeinander abgestimmt werden. Darüber hinaus können lichtlenkende Systeme zum Einsatz kommen, die – ein entsprechendes Beleuchtungskonzept vorausgesetzt – den Kunstlichtstrombedarf deutlich reduzieren können [114].

Tageslichtnutzung ist naturgemäß konfliktbeladen. Dies gilt insbesondere in Verbindung mit dem winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz. Bei der Tageslichtnutzung geht es nicht unbedingt darum, besonders viel Licht in die Räume hineinzuholen, sondern es gilt, das richtige Maß für den Umgang mit Tageslicht zu finden. Wird zu viel Licht und Wärme in das Gebäude gelassen, droht eine Überhitzung der Innenräume oder ein erhöhter Kühlenergiebedarf in den Sommermonaten oder eine ganzjährige Blendung am Arbeitsplatz. Gelingt zu wenig solare Wärme und Tageslicht im Winter in das Gebäude, steigen wiederum der Heizenergie- und der Strombedarf für Beleuchtung.

Gebäudeluftdichtheit

Mit den steigenden Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden wächst auch die Bedeutung der luftdichten Ausführung der Gebäudehülle, da die Lüftungswärmeverluste relativ zu den Transmissionswärmeverlusten steigen [104][109][115]. Das Erreichen einer guten Gebäudedichtheit ist sowohl während der Planung eines Dichtheitskonzeptes für alle Anschlüsse und Durchdringungen als auch bei der fachgerechten Umsetzung am Bau das Ziel. Praktisch kann die Dichtheit eines Gebäudes durch einen Blower-Door-Test nach DIN EN 13829 nachgewiesen werden. Der bei einer Druckdifferenz von 50 Pa zwischen innen und außen gemessene Volumenstrom wird in der Regel auf das beheizte Luftvolumen bezogen und so z. B. die spezifische Kenngröße n_{50} gebildet. Somit ist die

Luftdichtheit eine planerische – wenn auch bei der Erstellung von Energieausweisen im Rahmen von Bauanträgen nicht leicht zu prüfende – Anforderung. Beispielsweise müssen in Luxemburg bei der Nachweisführung im Rahmen von Bauanträgen daher Pläne beigelegt werden, in denen neben der Wärmedämmebene auch die Luftdichtheitsebene eingetragen ist. Nach aktueller Luxemburger EnEV muss dieser Wert messtechnisch nachgewiesen werden, wenn als Rechenwert in der Energiebilanz eine energetisch günstigere Dichtheitsklasse als im Referenzgebäude hinterlegt ist, verwendet wird [13][116].

Energetische Optimierung

An erster Stelle steht immer die Optimierung des Baukörpers, um den eigentlichen Bedarf des Gebäudes bestmöglich zu reduzieren. Anschließend wird die Anlagentechnik auf den verbleibenden Energiebedarf abgestimmt und optimiert. Gleichzeitig wird versucht, den Einsatz regenerativer Energieträger zu forcieren. Der Energieverbrauch eines Gebäudes hängt neben der Schaffung guter baulicher und anlagentechnischer Voraussetzungen, insbesondere von der Betriebsweise ab. Bereits in der Planungsphase ist es erforderlich, die richtigen Weichen zu stellen, um eine Betriebskontrolle und ein Monitoring zu ermöglichen.

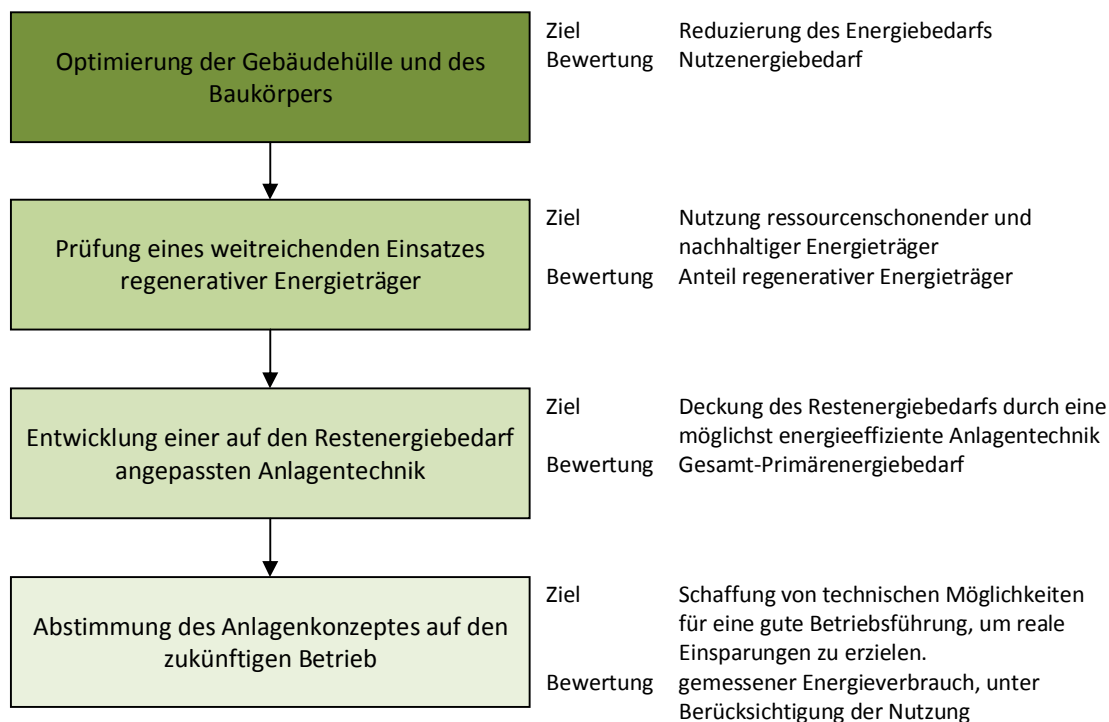


Abbildung 226: Vorgehensweise bei der Optimierung eines Gebäudes

Um im Rahmen von Energieberechnungen die Qualität eines Gebäudes bzw. Gebäudeentwurfs zu bewerten, kann der *Nutzenergiebedarf* hilfreich sein. Dieser wird im Wesentlichen vom Gebäudeentwurf (A/V-Verhältnis, Fensterflächenanteil, Fensteranordnung, bauliche Verschattung etc.), von baulichen Randbedingungen (Dämmstoffdicken, thermischer Speichermassen, Sonnenschutz, Wärmebrückeneinflüsse etc.) und von der Verwendung der grundlegenden Anlagentechnik (Beleuchtungskonzepte, Lüftungssysteme und -strategien) beeinflusst. Die Teilenergiekennwerte müssen unter Berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussung ermittelt werden. Damit ist insbesondere der Einfluss interner Gewinne durch Beleuchtung auf die thermischen Energiebilanzen gemeint. Bei energieeffizienten Beleuchtungskonzepten ist dieser

Einfluss (Abwärme der Beleuchtung) deutlich geringer als bei energetisch ungünstigen Lösungen. Bei energetisch ungünstigen Lösungen steigt der Heizwärmebedarf und gleichzeitig reduziert sich der Kühlenergiebedarf. Diese Effekte müssen bei der Kalibrierung der Anforderungswerte berücksichtigt werden.

6.3.3.2 Randbedingungen

Die Optimierung der Energieeffizienz eines Gebäudes sollte nach dem integralen Ansatz erfolgen. Die Vorgehensweise ist dadurch gekennzeichnet, dass sämtliche Bestrebungen, die Energieeffizienz eines Gebäudes zu verbessern, unter Berücksichtigung aller davon betroffenen Energiewerke stattfinden. Dabei darf der spätere Betrieb des Gebäudes nicht unbeachtet bleiben. Kontrolle und Monitoring sind ein wesentlicher Schlüsselfaktor für geringe Energieverbräuche und einen hohen Nutzerkomfort [117][118].

Nutzwärme- und -kältebedarf nach der 1. Bilanz

Für die thermischen Bilanzen ist der Heizwärme- und Kälteenergiebedarf vor der Iterationsrechnung zu berücksichtigen. Beim Iterationsprozess werden unregelmäßige Erträge über Verteilungen als Wärmequelle in einer Zone berücksichtigt. Wärmeabgaben über Heizungsverteilungen erhöhen z. B. die internen Gewinne einer Zone. Entsprechend verringert sich der Nutzwärmebedarf und ggf. erhöht sich der Kühlenergiebedarf.³³ Dieser Iterationsprozess wird nach DIN V 18599 bis zu einem Unterschied zwischen den Energiebilanzen von < 0,1 %, maximal jedoch 10-mal, durchgeführt.

Je nach Grundnutzenergiebedarf einer Zone beeinflussen diese unregelmäßigen Erträge, die nach DIN V 18599-1 flächengewichtet auf alle thermisch konditionierten Zonen verteilt werden, den Nutzenergiebedarf einer Zone deutlich, und eine Effizienzbewertung auf dieser Ebene wird erschwert. Der dann „gestört“ ermittelte Nutzenergiebedarf charakterisiert den Gebäudeentwurf nicht mehr eindeutig, da Eigenschaften der Anlagentechnik (Rohrleitungslängen, Isolationsstandards der Rohrleitungen etc.) einfließen. In der weiteren Berechnungskette werden die Übergabe-, Verteil- und Speicherverluste sowie die Zonenbedarfe aggregiert und beschreiben eindeutig die vom Erzeuger bereitzustellende Energiemenge.

Die Ergebnisse vor der ersten Bilanz sollten aus jeder Software als Zwischenergebnis ausgelesen werden können, da es sich um definierte Rechenergebnisse handelt.

Lüftung

Die Zulufttemperatur des hygienisch erforderlichen Außenvolumenstroms wird in der Zonenbilanz unter Berücksichtigung einer ggf. vorgeschalteten Wärmerückgewinnung berücksichtigt. Der daraus resultierende Heizwärmebedarf entspricht damit der in der Zone aufzubringenden Nutzenergie. Die Berücksichtigung eines einfachen Lüftungssystems mit unregelmäßigem Wärmetauscher führt in der Energiebilanz dazu, dass der Energieaufwand zur Luftkonditionierung in der Zone bilanziert wird. Nach Gleichung (91) der DIN V 18599 kann die mittlere Temperatur der Zuluft wie folgt bestimmt werden³⁴:

³³ Da die Berechnung monatsbasiert erfolgt, erhöht sich der Kühlenergiebedarf nur dann, wenn rechnerische Heizzeiten gemeinsam mit einem Kühlenergiebedarf auftreten.

³⁴ Aufgrund der nach DIN V 18599 (Teil 2 und 7) zulässigen verschiedenen Bilanzierungsmöglichkeiten zur Bestimmung der Zulufttemperatur für ein einfaches Lüftungssystem mit Wärmetauscher können sich, insbesondere für Zonen mit hohen Luftwechseln, deutliche Unterschiede für thermische Energiekennwerte ergeben. Dies betrifft besonders die Nutzung „Küche“.

$$\vartheta_{V,mech} = \vartheta_e + \eta_{V,mech} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \quad (69)$$

mit

ϑ_e	°C	mittlere monatliche Außenlufttemperatur
ϑ_i	°C	mittlere monatliche Innentemperatur
$\eta_{V,mech}$	-	Nutzungsfaktor des Wärmetauschers

Die nach DIN V 18599, Teil 3 vorberechneten spezifischen Energiekennwerte für die thermische Luftaufbereitung sind für maximale Nutzungsgrade von 75 % berechnet. Eine Extrapolation ist nicht vorgesehen [46][119]. Wärmeverluste bei Übergabe und Verteilung der Luftvolumenströme sowie der Nutzenergiebedarf für das Nachheizen bei Entfeuchtung oder Befeuchtung sind in dem Kennwert nicht enthalten.

Wärmebrücken

Die Reduzierung bzw. der Wegfall der pauschalen Berücksichtigung von Wärmebrücken bedingt rechnerische Nachweise einer wärmebrückenarmen bzw. -freien Konstruktion. Der Einfluss einer pauschalen Berücksichtigung von Wärmebrücken mit einem U-Wert-Zuschlag von 0,05 W/(m²K), macht sich insbesondere bei Gebäuden mit hohem Dämmstandard bemerkbar, da die Initial-U-Werte gerade mal doppelt so hoch sind wie der Zuschlagsfaktor selbst. In der Literatur finden sich Angaben darüber, dass Gebäude, die im Detail nach dem Passivhausstandard geplant worden sind, keinen Zuschlag benötigen [62][52]. Somit werden die Transmissionsverluste deutlich beeinflusst.

Beleuchtung

Im Rahmen der Erstellung von Energieausweisen werden in der Energieeinsparverordnung Berechnungsrandbedingungen für das Referenzgebäude definiert. Zur Bestimmung des elektrischen Energiebedarfs für Beleuchtung wird hier das Tabellenverfahren mit gewissen Randbedingungen als Vergleichsgröße herangezogen. Nun stehen nach DIN V 18599 insgesamt drei Verfahren zur Auswahl, mit denen die spezifische Bewertungsleistung von Beleuchtungsanlagen bestimmt werden kann, die sich hinsichtlich der Ergebnisse voneinander unterscheiden:

- Tabellenverfahren
- Wirkungsgradverfahren
- Beleuchtungsfachplanung

Seit der EnEV 2009 ist für die Erstellung von Energieausweisen und Energieeffizienznachweisen *indirekt* nur das Tabellenverfahren zulässig [14]. In den Beschreibungen der Anforderungen des Jahres-Primärenergiebedarfs (Artikel 1.1.1 EnEV 2009, Anforderungen an Nichtwohngebäude) wird die Nutzung des gleichen Berechnungsverfahrens gefordert. In der Ausführungsbeschreibung des Referenzgebäudes sind für die Beleuchtungsart lediglich Ausstattungsmerkmale zu finden, die mit dem Tabellenverfahren umgesetzt werden können (indirekt/direkt, stabförmige Leuchtstofflampe mit elektronischem Vorschaltgerät). Wendet man hier das Wirkungsgradverfahren oder gar Werte der Anlagenplanung an, liegen streng genommen keine Informationen vor, wie dies im Referenzgebäude abzubilden ist. In der Praxis besteht in vielen Programmen die Möglichkeit, auch andere Verfahren zu nutzen. Im Referenzgebäude wird dann das Tabellenverfahren angewendet (Beispiele dafür in [38][39]). Andererseits wird bei der Definition der Randbedingungen der EnEV

2009 ein Wartungsfaktor vorgegeben, der in den Rechengängen des Tabellenverfahrens (DIN V 18599-4: Ausgabe 2007) keine Bedeutung hat, jedoch beim Wirkungsgradverfahren.

Ungeachtet dessen, mit welchem Verfahren die erforderliche Leistung nun am genauesten ermittelt werden kann, wirken sich die Unterschiede durch verschiedene Berechnungsansätze auf den berechneten Strombedarf aus. So kann eine Verbesserung der Energieeffizienz gegenüber dem Referenzgebäude lediglich durch die Wahl des Berechnungsverfahrens erzielt werden, ohne dass sich am eigentlichen System der Beleuchtung etwas geändert hat. Beachtet man weiter, dass der Anteil des Beleuchtungsstrombedarfs am Gesamt-Primärenergiebedarf eines Gebäudes je nach Gebäudetyp etwa 30 % beträgt, so sind diese Unterschiede bei der Bewertung von Gebäuden, die sich durch eine freie Wahl des Verfahrens ergeben können, nicht akzeptabel.

Luxemburg geht diesbezüglich einen differenzierteren Weg. Dort werden für die beiden Verfahren (Tabellen- und Wirkungsgradverfahren) Anforderungen für das Referenzgebäude definiert, und Werte aus der Anlagenplanung dürfen bei der Nachweisführung nicht genutzt werden [13].

Die Berechnung der Tageslichtversorgung erfolgt in Anlehnung an das Verfahren „Simple2D“, welches im IBP-Rechenkern hinterlegt ist, der vielen Softwareprodukten dient. Dieses Verfahren eignet sich zur Modellierung größerer – mehrgeschossiger – thermischer Gebäudezonen [120][121].

6.3.3.3 Vorschlag für Klassifizierungsrandbedingungen

Zur Klassifizierung müssen Randbedingungen für Stoff- und Bauteildaten sowie für technische Systeme definiert werden, die den Energieeffizienzstandard der jeweiligen Kategorie beschreiben. Darüber hinaus müssen alle Parameter berücksichtigt werden, die nach der Rechenmethode in DIN V 18599 Einfluss auf die Energiebilanzen haben. Berechnet werden die Nutzenergiebedarfe für Heizwärme, Kälte und Beleuchtungsstrom unter Berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussung³⁵.

Tabelle 59 zeigt die für eine Klassifizierung verwendeten Berechnungsparameter. Die Klassengrenze „D“ beschreibt dabei die Anforderungen an das Referenzgebäude für Neubauten, in Anlehnung an die aktuelle Energieeinsparverordnung. Die Klasse „A“ orientiert sich an typischen Werten für energetisch hochwertige Gebäude, die nach dem Passivhausstandard geplant worden sind und/oder im Rahmen der Bewertung von EnOB als energetisch herausragend bewertet wurden [62][56][79][52][20][63][86][122]. Die Abstimmung der Tabelle erfolgte ebenfalls im Rahmen der Berechnungsmöglichkeiten nach DIN V 18599, insbesondere gilt dies für den Teil 4 und das Tabellenverfahren. Die U-Werte der Klassen „B“ und „C“ werden jeweils zwischen der oberen und unteren Klassengrenze interpoliert.

Die Festlegung der Klassen geht immer von einer gemeinsamen Optimierung des Gebäudes und dessen Anlagentechnik aus. Für jeden Klassenschritt werden in allen Energiebereichen (Heizwärme, Kälte und Beleuchtung) energetisch höherwertigere Randbedingungen definiert. Im Bereich Beleuchtung entspricht die Referenzausstattung der Klasse „D“ bereits einem energieeffizienten System, was im Rahmen des Tabellenverfahrens auswählbar ist. Änderungen an der Energieeffizienz sind hier nur über die Reduzierung des indirekten Anteils der Beleuchtung sowie durch die Berücksichtigung einer Beleuchtungssteuerung möglich.

³⁵ Mit gegenseitiger Beeinflussung ist insbesondere der Einfluss interner Gewinne aus der Beleuchtung auf die thermischen Energiebilanzen gemeint. Bei energieeffizienten Beleuchtungskonzepten ist dieser Einfluss deutlich geringer als bei energetisch ungünstigen Lösungen. Dadurch steigt der Heizwärmebedarf und gleichzeitig reduziert sich der Kühlenergiebedarf. Diese Effekte müssen bei der Kalibrierung berücksichtigt werden.

Vorschlag für Anforderungen

Für die zusätzliche Bewertung von Gebäuden ist daher sowohl im zu bewertenden Gebäude als auch bei der Berechnung der Teilenergiekennwerte das gleiche Berechnungsverfahren zu verwenden – hier das Tabellenverfahren. Die Anwendung dieser Randbedingungen wird für alle Nutzungsprofile gleichermaßen unterstellt.

Tabelle 59: Bauliche und technische Randbedingungen zur Definition und Markierung der Klassifizierungsgrenzen

		Klasse A	Klasse B	Klasse C	Klasse D Referenzgebäude
Fenstersturz	m	2,85	2,80	2,70	2,60
Blendschutzsteuerung	-	lichtlenkend	automatisch	automatisch	manuell
U-Wert Verglasung, U_g	W/(m ² K)	0,6	0,8	1,1	1,1
Lichttransmissionsgrad	-	0,69	0,69	0,78	0,78
Kontrollsystem Beleuchtung	-	dimmen, ausschaltend	dimmen, nicht ausschaltend	manuell	manuell
Präsenzerfassung	-	Ja	ja	nein	nein
Beleuchtungsart	-	direkt	direkt	direkt	direkt/indirekt
Lampenart	-	LSL Stab EVG	LSL Stab EVG	LSL komp. Ext KVG	LSL Stab EVG
U-Wert Rahmen, U_f	W/(m ² K)	0,75	0,88	1,02	1,15
Rahmenverbundwert, ψ	W/(mK)	0,035	0,043	0,052	0,060
U-Wert Fenster, U_w	W/(m ² K)	0,75	0,96	1,23	1,30
U-Wert Wand	W/(m ² K)	0,12	0,17	0,23	0,28
U-Wert Dach	W/(m ² K)	0,10	0,13	0,17	0,20
U-Wert-Boden	W/(m ² K)	0,15	0,22	0,28	0,35
Wärmebrücken, ΔU_{wb}	W/(m ² K)	0,00	0,02	0,03	0,05
Bauweise	-	mittelschwer	mittelschwer	mittelschwer	leicht
Art der Lüftung	-	mechanisch	mechanisch	mechanisch	mechanisch
Wärmerückgewinnung (WRG)	%	75 ³⁶	70	65	60
Luftdichtheit, n_{50}	1/h	0,60	1,00	1,50	1,50
Sonnenschutz, $g_{tot, S,W,0}$	-	0,08	0,15	0,23	0,30
Sonnenschutz, $g_{tot, N}$	-	0,16	0,30	0,46	kein
Steuerung Sonnenschutz	-	strahlungsabh.	strahlungsabh.	manuell, zeitgest.	manuell, zeitgest.

6.3.4 Berechnete Kennwerte

Die Energiekennwerte werden für unterschiedliche Gebäudegrößen ermittelt, um die Auswirkungen sich ändernder Gebäudehüllflächen nach Abschnitt 6.2 auf die Energiebilanzen zu überprüfen. Als Berechnungsrandbedingungen werden die in Tabelle 58 aufgeführten Standards angesetzt. Der Kühlenergiebedarf und der Beleuchtungsstrombedarf sind im Wesentlichen von den Fensterflächen abhängig (vgl. Parameterstudie). Da die spezifischen Fensterflächen nicht so stark mit der Größe des Gebäudes skalieren, sind auch keine großen Unterschiede für unterschiedlich große Gebäude zu erwarten. Der Kühlenergiebedarf wird auch durch die Transmissions- und Lüftungsverluste beeinflusst (Auswirkung auf den Ausnutzungsgrad der Wärmequellen bzw. auf die nicht zu Heizzwecken nutzbaren Gewinne). Wie aus der Parameterstudie hervorgeht, ist die Beeinflussung jedoch sehr gering. Insbesondere bei kleinen Gebäuden zeigen sich Auswirkungen, da hier die Transmissionsverluste aufgrund hoher A/V-Verhältnisse stärker beeinflusst werden. Je nach Höhe

³⁶ Nach DIN V 18599 Teil 3 und 7 höchster anzusetzender Wert.

des berechneten Kühlenergiebedarfs ist der Einfluss des Strombedarfs unterschiedlich. Bei geringen Kühlenergiebedarfen (bei geringen internen Lasten und/oder geringen Fensterflächenanteilen) ist die Beeinflussung der Beleuchtung am größten.

Abbildung 227 zeigt beispielhaft berechnete Energiebedarfe für Heizen, Kühlen und Beleuchten für das Nutzungsprofil 01 Einzelbüro. Die Ergebnisse aller Nutzungsprofile befinden sich im Anhang in Abschnitt A.13.

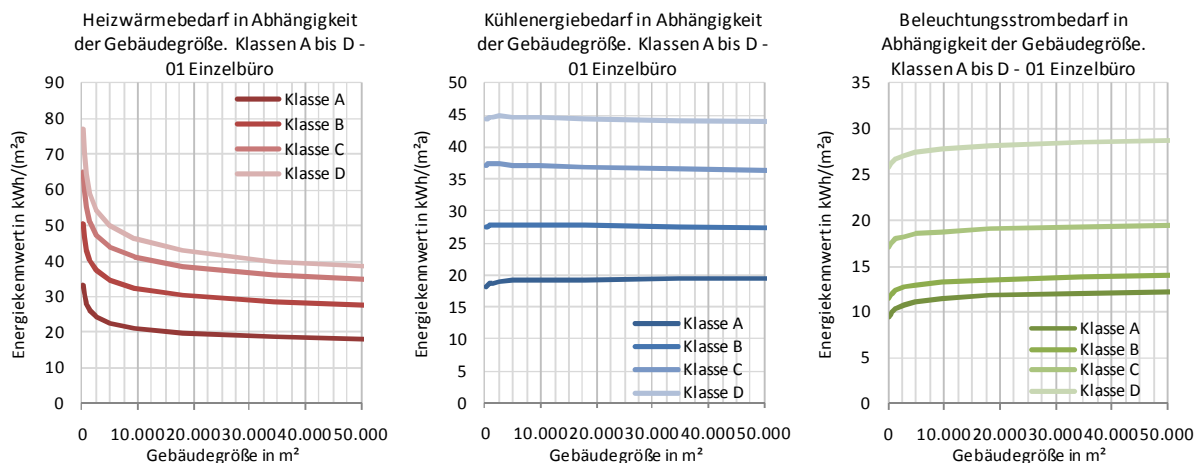


Abbildung 227: Berechnete Energiekennwerte für Heizwärme, Kühlen und Beleuchten nach DIN V 18599 für alle 33 Nutzungsprofile und für jeweils vier Energieklassen; hier beispielhaft für das Nutzungsprofil 01 Einzelbüro

Adaptation und Klassenkorridor der Kennwerte

Die Energiebedarfe für Kühlung und Beleuchtung sind für alle Nutzungsprofile und alle Gebäudegrößen weitestgehend konstant, wenn man Zonen mit sehr geringen Bedarfswerten außer Acht lässt. Aufgrund der geringen Schwankungen kann auf eine Skalierung der Kennwerte in Abhängigkeit der Gebäudegröße verzichtet werden. Anders beim Heizwärmebedarf, hier zeigt sich eine deutliche Beeinflussung bei kleinen Gebäuden bzw. bei kleinen A/V-Verhältnissen. Es ist daher erforderlich, die Heizenergiekennwerte bei der Bewertung unterschiedlich großer Gebäude zu korrigieren.

Neben dem Nutzenergiebedarf für Heizen, Kühlen und Beleuchten wird auch der Primärenergiebedarf nach der Kurzbewertungsmethode gemäß Abschnitt A.9.4 bestimmt. Bezogen auf eine kWh Nutzenergie in der jeweiligen Energieanwendung (Heizen, Beleuchten und Kühlen) ergeben sich nach der Kurzmethode primärenergetische Bewertungsfaktoren. Darin sind die wesentlichen Einflüsse, Energieträger, Erzeugungsverluste und vereinfacht Übergabe- und Verteilverluste für diese Systemkonfiguration enthalten. So kann vereinfacht der Primärenergiebedarf auf der Basis des Nutzenergiebedarfs bewertet werden. Der dargestellte Primärenergiekennwert soll an dieser Stelle lediglich Größenordnungen aufzeigen, um den Gesamteinfluss abschätzen zu können.

Mit den in Tabelle 59 definierten Randbedingungen ergeben sich feste Kennwerte für die jeweilige Klasse. Dieser repräsentiert den mittleren Energiekennwert einer Klasse. Zur Abgrenzung der Klassen und Bildung von Klassengrenzen muss ein Wertebereich geschaffen werden. Hierfür wird ein Kennwertkorridor gebildet, indem ein Zuschlag von 10 % auf die berechneten Energiekennwerte der Klasse A berücksichtigt wird. Betrachtet werden die mittleren Primärenergiekennwerte über alle

Nutzungsprofile der jeweiligen Energieklasse. Der Zuschlagswert leitet sich dann aus dem Mittelwert der Primärenergiekennwerte der Klassen A und B, bezogen auf den der Klasse A, ab.

Zwei Ausnahmen stellen die Nutzungsprofile „14 Küche in Nichtwohngebäuden“ und „21 Serverraum“ dar, weil hier sehr hohe absolute Bedarfswerte berechnet werden. Die Anwendung eines pauschalen Zuschlags von +10 % würde eine zu starke Korrektur bewirken. Für diese Nutzungsprofile wird daher ein moderater Zuschlag von +5 % angesetzt. Tabelle 60 zeigt die Energiekennwerte für das Standardgebäude₅₀₀₀ mit einer Nettogrundfläche von 5 000 m².

Tabelle 60: Teilenergiekennwerte für Kühlen, Beleuchten und Heizen; berechnet nach DIN V 18599 für die Klasse A

	berechnete Werte			korrigierte Werte +10 % (+5 % für Profil 14, 19)		
	Kühlen	Beleuchten	Heizen	Kühlen	Beleuchten	Heizen
	q _{c,b,5000}	q _{l,b,5000}	q _{h,b,5000}	q _{c,b,Ref,5000}	q _{l,b,Ref,5000}	q _{h,b,Ref,5000}
01 Einzelbüro	19,1	11,0	22,8	21,0	12,1	25,1
02 Gruppenbüro	18,3	9,2	23,8	20,1	10,1	26,2
03 Großraumbüro	24,7	16,4	22,0	27,2	18,0	24,2
04 Sitzungsraum	18,0	10,6	48,9	19,8	11,7	53,8
05 Schalterhalle	13,6	5,2	27,2	14,9	5,7	30,0
06 Einzelhandelsraum	22,5	11,3	24,6	24,8	12,4	27,0
07 Handel und Kühlung	32,1	27,6	8,9	35,3	30,4	9,8
08 Klassenzimmer	17,9	2,9	27,2	19,7	3,2	29,9
09 Hörsaal	32,9	6,1	42,9	36,2	6,7	47,2
10 Bettenzimmer	39,9	35,5	16,6	43,9	39,0	18,3
11 Hotelzimmer	20,1	5,9	23,0	22,1	6,5	25,3
12 Kantine	26,4	3,4	35,1	29,0	3,7	38,6
13 Restaurant	37,8	17,2	56,6	41,6	18,9	62,2
14 Küche	336,9	59,0	166,2	353,8	64,9	174,5
15 Küche, Lager, Vorbereitung	32,8	16,3	40,4	36,1	17,9	44,4
16 WC, Sanitär	1,1	2,7	69,9	1,2	3,0	76,9
17 sonstige Aufenthaltsräume	15,1	8,0	27,3	16,6	8,8	30,0
18 Nebenflächen	1,9	1,0	26,8	2,1	1,1	29,4
19 Verkehrsflächen	2,2	2,0	25,5	2,4	2,2	28,1
20 Lager, Technik	0,0	0,6	28,9	0,1	0,7	31,8
21 Serverraum	651,7	34,8	0,0	684,2	38,2	0,1
22 Werkstatt	35,7	16,8	36,6	39,2	18,5	40,3
23 Zuschauerraum	18,5	4,8	65,7	20,4	5,2	72,3
24 Theaterfoyer	6,6	4,0	40,8	7,3	4,4	44,9
25 Theaterbühne	8,5	37,1	22,6	9,3	40,8	24,9
26 Messe-, Kongressräume	20,1	1,5	41,3	22,1	1,6	45,4
27 Ausstellungsräume	9,1	3,5	39,4	10,0	3,9	43,3
28 Bibliothek, Lesesaal	42,0	25,9	21,0	46,2	28,5	23,1
29 Bibliothek, Freihand	14,2	14,2	19,3	15,6	15,6	21,2
30 Bibliothek, Magazin	1,3	1,3	37,8	1,4	1,4	41,6
31 Sporthalle	35,4	13,8	56,8	38,9	15,2	62,4
32 Parkhaus	0,0	0,6	0,0	0,1	0,6	0,1
33 Parkhaus, öffentlich	0,0	2,5	0,0	0,1	2,8	0,1

Abbildung 228 zeigt die berechneten Kennwerte der Klasse A für die Energiebereiche Heizen, Kühlen, Beleuchten und vereinfacht für Primärenergie. Zur besseren Darstellung der doch zum Teil unterschiedlich hohen Energiekennwerte (insbesondere für die Nutzungsprofile „21 Serverraum“ und „14 Küche“) sind die Werte für die Bereiche Heizen, Kühlen und Primärenergie logarithmiert dargestellt.

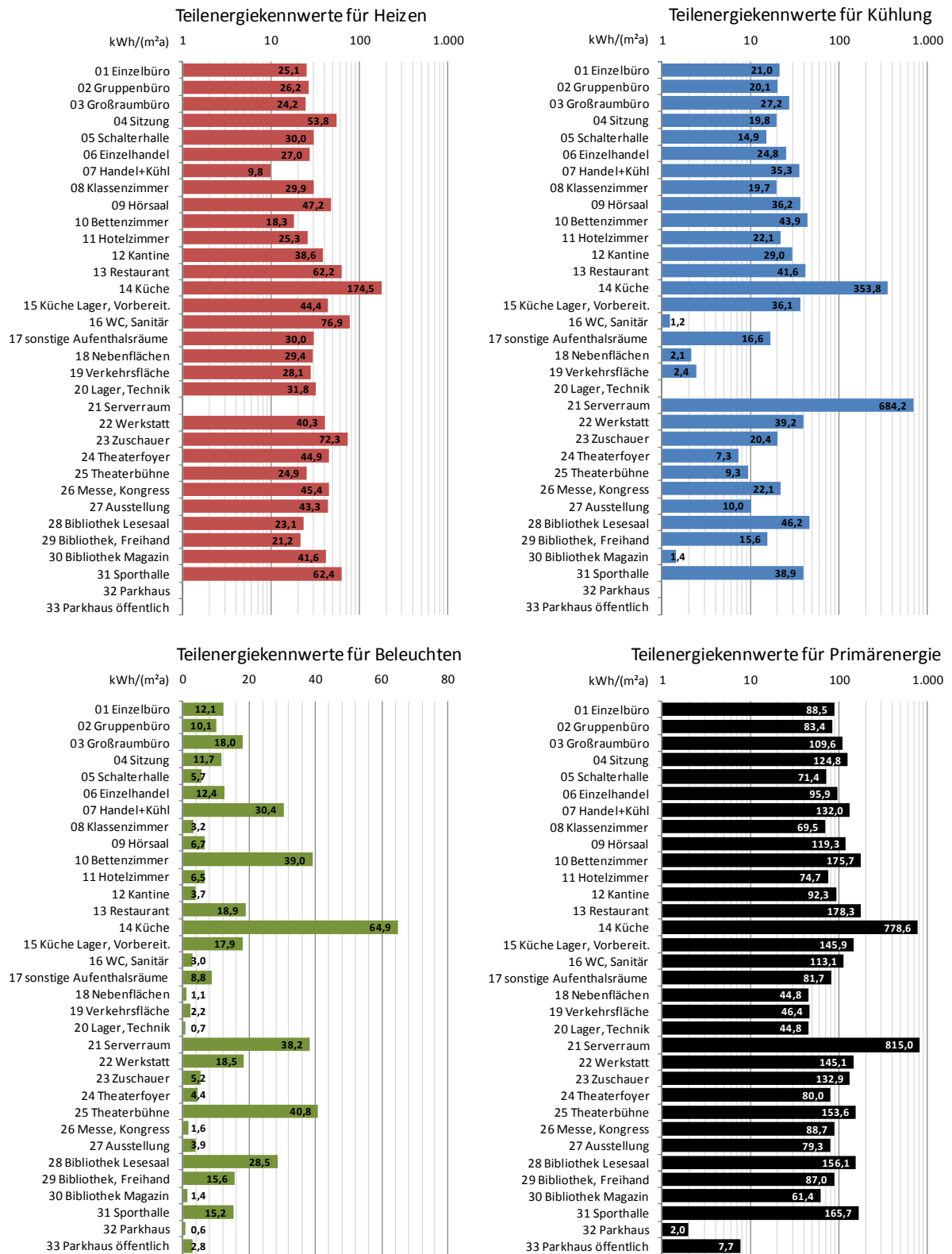


Abbildung 228: Berechnete Energiekennwerte für das Standardgebäude₅₀₀₀ mit einer Nettogrundfläche von 5 000 m²

Die Energiekennwerte werden mit einem Excel-Werkzeug (EnerCalC) berechnet, welches im Rahmen dieser Arbeit entwickelt und erfolgreich validiert wurde [44]. Bei den Vergleichsrechnungen mit anderen Softwareprodukten zeigte sich, dass bei Nutzung gleicher Eingabeparameter zum Teil unterschiedliche Ergebnisse berechnet werden; die mittleren Fehler lagen in einem Ergebniskorridor von $\pm 5\%$. Der Vergleich fand Ende 2008 kurz nach der Einführung der EnEV 2007 statt, und die

genutzten Programme arbeiteten zu diesem Zeitpunkt ungenauer. Im Rahmen einer Qualitätsprüfung für Energieausweis-Software nach DIN V 18599 untersuchten *Fehlhauer et al.* in [123] die Ergebnistreue und Anwendbarkeit von 15 Softwareprodukten. Es zeigt sich, dass Unterschiede im berechneten Energiebedarf in den einzelnen Programmen auftreten. Die Abweichungskorridore werden mit $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ bis maximal $\pm 20\%$ angegeben. Die meisten der Programme lagen innerhalb des $\pm 10\%$ -Korridors.

Ein Kennwertkorridor von $+10\%$ zur Bestimmung der Klassengrenze zwischen A und B berücksichtigt dabei auch gewissermaßen einen Ungenauigkeitskorridor, wenn unterschiedliche Programme zur Ermittlung der Kennwerte genutzt werden.

Vergleich mit VDI 3807/4

In der VDI Richtlinie 3807 Blatt 4 sind Teilkennwerte für elektrische Energie angegeben [124]. Diese Richtlinie dient als methodische Grundlage für die Analyse und Beurteilung des elektrischen Energieverbrauchs von bestehenden Gebäuden. Dazu werden Teilkennwerte genutzt, die nach Verwendungszwecken und Nutzungszonen differenziert sind. Für die Bedarfsklassen „sehr hoch“, „hoch“, „mittel“, „gering“ und „sehr gering“ sind elektrische Energiekennwerte für Beleuchten, Luftförderung und Endenergiebedarf Kühllkälte angegeben. Darüber hinaus stehen ebenfalls pauschale Kennwerte für zentrale Einrichtungen, Zentrale EDV, Küchen, Schwachstromanlagen, Diverse Technik, Aufzüge und Pumpen zur Verfügung. Diese sind erforderlich, um den gesamten Strombedarf eines Nichtwohngebäudes zu beschreiben. Die Bedarfsklasse „gering“ wird als Grenzwert, die Bedarfsklasse „sehr gering“ als Zielwert definiert.

Der Ermittlung dieser Kennwerte liegt im Wesentlichen die Berechnungssystematik des MEG-Verfahrens zugrunde, welches von *Knissel* und *Hörner* entwickelt wurde [66][83][95][103][125][126]. Das MEG-Projekt war die Fortentwicklung des hessischen „Leitfaden Elektrische Energie“ (LEE) und der erste Versuch, den Stromverbrauch von Nichtwohngebäuden einem angemessenen normativen Bewertungsverfahren zu unterwerfen [127][128]. Für die Bereiche Beleuchten, Kühllkälte und Luftförderung sind die Kennwerte für 37 Nutzungsprofile vorberechnet. Die Nutzungsprofile wurden von *Hörner* und *Siering* in [103] erhoben und für die VDI-Kennwerte mit denen der DIN V 18599-10 abgeglichen – jedoch mit geringen Unterschieden im Detail. Die Profile „Verkehrsflächen“, „Lager, Technik, Archiv“ und „Parkhäuser“ sind im MEG-Verfahren differenzierter angegeben [103]; es betrifft im Wesentlichen die Tageslichtversorgung.

Aufgrund der im MEG-Verfahren verwendeten Rechenmethoden, Berechnungsrandbedingungen und Nutzungsrandbedingungen lassen sich die dort gefundenen Energiekennwerte nicht in allen Fällen mit Kennwerten, die nach DIN V 18599 ermittelt werden, vergleichen. Die wesentlichen Verfahrensunterschiede werden folgend kurz skizziert.

Beleuchtung

Die Berechnung des Beleuchtungsstrombedarfs erfolgt im MEG-Verfahren streng nach der Normempfehlung SIA 380/4 [129]. Dort liegen empirisch entwickelte Ansätze zur Bestimmung des Tageslichtdeckungsanteils, des Regelungseinflusses der Beleuchtung und des Einflusses von Tag- und Nachtzeiten zugrunde. In Abhängigkeit eines Fenster-zu-Bodenflächenverhältnis unter Berücksichtigung des Regelungseinflusses können effektive Nutzungsstunden ermittelt werden. In DIN V 18599 wird ein neuer, differenzierter Berechnungsansatz angewandt [45], der im Wesentlichen

auf dem von *de Boer* in [74] entwickelten Verfahren aufbaut. Der Strombedarf für Beleuchtung wird von der elektrischen Beleuchtungsleistung und den effektiven Betriebsstunden im Bilanzzeitraum bestimmt. Die im MEG-Verfahren beschriebene Wirkungsgradmethode zur Bestimmung der installierten elektrischen Leistung ist vom Prinzip mit dem Wirkungsverfahren in DIN V 18599-4 zu vergleichen. Mit dem Unterschied, dass in DIN V 18599-4 weitere Einflussfaktoren, wie z. B. der „Minderungsfaktor zur Berücksichtigung des Bereichs der Sehaufgabe“, berücksichtigt werden [45][95]. In DIN V 18599 steht neben dem Wirkungsgradverfahren noch ein „schnelleres“ Tabellenverfahren zur Verfügung. Dieses Verfahren kommt vor allem wegen dessen Einfachheit im Nachweisverfahren zum Einsatz, jedoch ergeben sich im Vergleich zum Wirkungsgradverfahren, Unterschiede in der Höhe der elektrischen Bewertungsleistung. Ferner werden für die Bedarfsklassen der VDI unterschiedliche Reflexionsgrade für Decken, Wände und Böden angesetzt. Einflüsse einer Präsenzerfassung werden durch einen pauschalen Reduktionsfaktor über alle Nutzungsprofile berücksichtigt, und die Aktivierung von Sonnen- oder Blendschutz bleibt unberücksichtigt.

Kühlung

Die Teilkennwerte für Kühlung sind in der VDI als Endenergiebedarf Strom angegeben. Hierin sind der Stromaufwand für Rückkühlung und der Hilfsenergieeinsatz nicht enthalten. Der den Teilkennwerten zugrunde liegende Kühlnutzenergiebedarf wird mit dem von *Knissel* in [66] entwickelten MEG-Verfahren bestimmt. Dieses Verfahren baut grundlegend auf dem von *Elsberger* in [65] entwickelten Monatsbilanzverfahren auf. In DIN V 18599 wird ebenfalls das Monatsverfahren nach ähnlichem Grundprinzip (nicht nutzbare Gewinne) angewendet, es ergeben sich jedoch Unterschiede im Detail. Anders als in DIN V 18599 kann im MEG-Verfahren die Möglichkeit einer freien Kühlung berücksichtigt werden. In den Randbedingungen der VDI-Bedarfsklassen sind unterschiedliche Arten der freien Kühlung berücksichtigt (luftseitig, wasserseitig). Ein weiterer wesentlicher Unterschied besteht bei der Berücksichtigung von Sonnenschutzmaßnahmen. Während im MEG-Verfahren der Sonnenschutz mit seinem Effizienzkennwert als immer aktiviert angenommen wird, nutzt das Verfahren nach DIN V 18599-2 ein neues Modell, bei welchem die Sonnenschutzmaßnahmen und die Verschattung ganzjährig und in Abstimmung mit vorhandenen Strahlungsdaten bewertet werden [35][49][59]. Hierdurch ergeben sich bei der Anwendung des gleichen Sonnenschutzsystems zum Teil deutliche Unterschiede der solaren Gewinne, die den Kühlenergiebedarf in einer Zone maßgeblich beeinflussen (vgl. Abschnitt 3.5).

Im MEG-Verfahren wird der Außenluftwechsel für verschiedene Regelungsarten bestimmt. Eine bedarfsabhängige Luftvolumenstromregelung ist in DIN V 18599 erst mit dem Teil 100 möglich [130]. Diese Rechengänge können nach derzeitiger Energieeinsparverordnung nicht angewendet werden, da die EnEV 2009 einen statischen Normverweis auf die Ausgabe 2007 der DIN V 18599 macht [14]. Der Verschattungs- und Verschmutzungseinfluss bei transparenten Flächen geht im MEG-Verfahren ebenfalls mit einem pauschalen Faktor von 0,75 in die Berechnungen ein – jedoch nur in die Kühlenergiebilanz und nicht in die Beleuchtungsbilanz. Die Kopplung der Rechnungen Kühlung und Beleuchtung erfolgt im MEG-Verfahren indirekt über die Auswahl von vorberechneten Last-Szenarien. Bei der Bestimmung der Bilanzraumtemperatur unterscheiden sich die beiden Verfahren ebenfalls um 2 K.

Weitere Randbedingungen

Abweichungen in den Nutzungsrandbedingungen ergeben sich für wenige Nutzungsprofile in den Bereichen Mindestaußenluftvolumenströme, interne Lasten durch Personen und Geräte, angesetzter Wartungswert der Beleuchtungsstärke, Höhe der Nutzebene sowie beim angesetzten Raumindex. Teilkennwerte für Heizwärme sind in der VDI 3807/4 nicht angegeben.

Vergleich

Trotz der vorgenannten Unterschiede in den Berechnungsmethoden und -randbedingungen werden die hier erhobenen Teilenergiekennwerte (Klasse A) mit denen in der VDI 3807/4 (2008) [124] angegebenen verglichen, um einen Eindruck der Größenordnungen herzustellen. Abbildung 229 zeigt die berechneten Energiekennwerte der Klasse A (ohne Korrektur) mit denen aus der VDI 3807/4 gegenübergestellt. Bei der Beleuchtung liegen die Kennwerte der Klasse A in der Regel zwischen denen der VDI der Bedarfsklassen „sehr gering“ und „gering“.

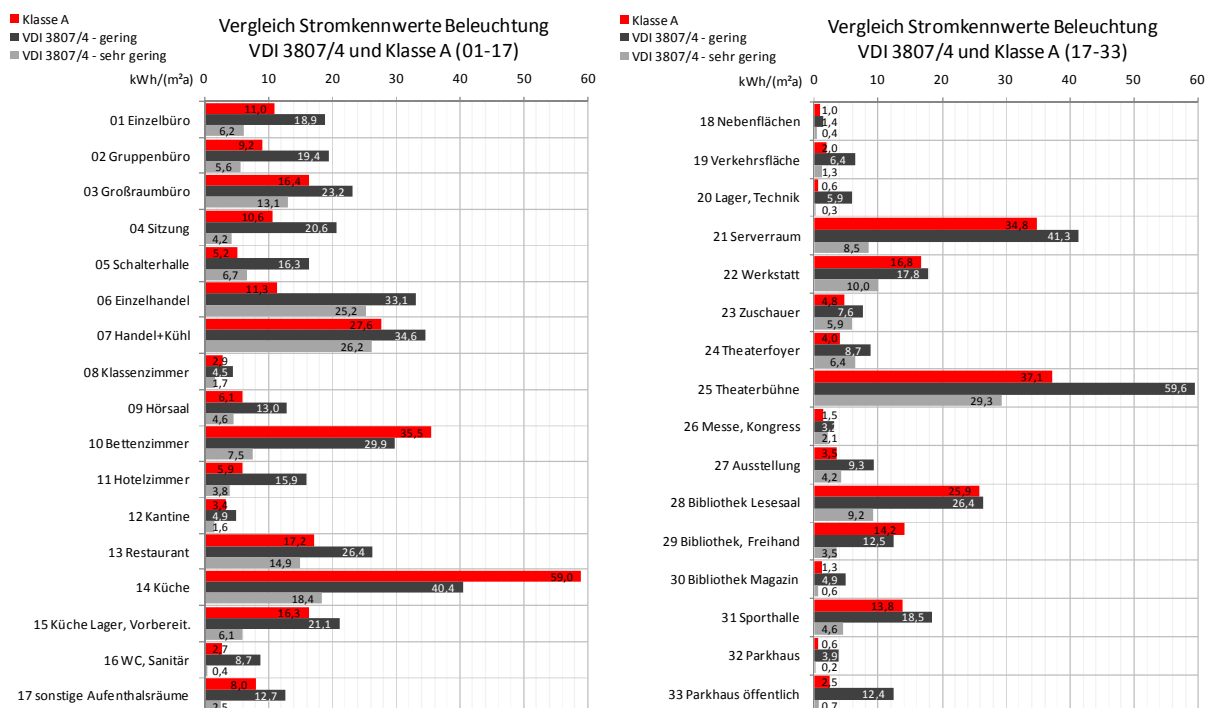


Abbildung 229: Vergleich Kennwerte der Klasse A mit Teilkennwerten für Strom nach VDI 3807/4 – Beleuchtung

Da die Energiekennwerte der Klasse A für Kühlung als Nutzenergiekennwerte vorliegen, werden sie nach den gleichen Randbedingungen, wie sie der VDI zugrunde liegen, angepasst.³⁷ Im Bereich der Kühlung ergeben sich ebenfalls Übereinstimmungen mit der Bedarfsklasse „gering“. Die Kennwerte der Klasse „sehr gering“ werden nur in sehr wenigen Fällen erreicht. Dies hat bezogen auf die VDI-Kennwerte folgende Ursachen:

- Nutzung eines festen Fensterflächenanteils für alle Nutzungsprofile - 40 % für die Bedarfsklasse „sehr gering“ und 60 % für die Bedarfsklasse „gering“,
- Berücksichtigung des Einflusses einer freien Kühlung für die Bedarfsklasse „sehr gering“,
- keine direkte Kopplung an die Beleuchtungsbilanz durch Nutzung von Standard-Szenarien,

³⁷ Bei den Klassen „sehr gering“ und „gering“ werden vereinfacht ein COP von 4 und ein pauschaler Zuschlag für Hilfsenergie von 30 % des Kompressorstrombedarfs angegeben.

- Unterschiede bei der Bilanzierung der solaren Gewinne/Sonnenschutz,
- Unterschiede in der angesetzten Bilanzraumtemperatur,
- Unterschiede in den Nutzungsrandbedingungen (Luftwechsel, bedarfsabhängige Lüftung, Betriebszeiten, ggf. Wetterdaten).

Für das Nutzungsprofil „07 Handel + Kühl“ werden nach DIN V 18599 in Tabelle 4 keine negativen Wärmequellen angesetzt, da davon ausgegangen wird, dass sich der Kondensator innerhalb der Verkaufseinrichtung befindet und dessen Abwärme als Wärmequelle anfällt. Bei den MEG-Randbedingungen ist dies anders, was die große Differenz erklärt. Die hohen Bedarfswerte für die Profile 14 und 21 werden aus Gründen der Übersichtlichkeit ausgeblendet.

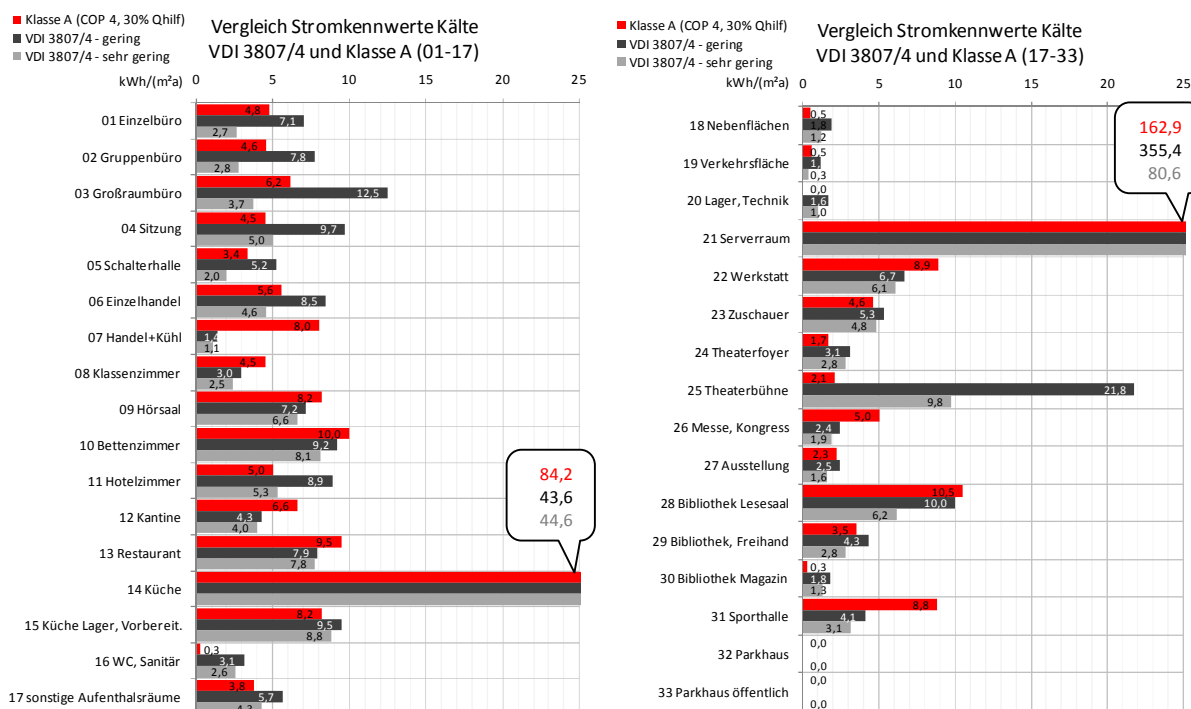


Abbildung 230: Vergleich Kennwerte der Klasse A mit Teilkennwerten für Strom nach VDI 3807/4-Kälte

Der Vergleich mit den Kennwerten aus VDI 3807/4 für bestehende Gebäude zeigt, dass in vielen Fällen eine Übereinstimmungen mit der Bedarfsklasse „gering“ (Grenzwert) vorliegt. Die Kennwerte der Bedarfsklasse „sehr gering“ (Zielwert) wird mit den hier berechneten Werten der Klasse A in der Regel nicht erreicht. Dies begründet sich im Wesentlichen mit Unterschieden im Berechnungsverfahren, aber auch mit anderen Berechnungs- und Nutzungsrandbedingungen.

Fazit

Wenn vergleichende Kennwerte für Gebäude im Rahmen der Erstellung von Energieausweisen genutzt werden sollen, ist es erforderlich, dass diese Vergleichswerte mit dem gleichen Berechnungsverfahren ermittelt worden sind, mit dem auch der rechnerische Nachweis erstellt wurde. Dadurch wird gewährleistet, dass man die energetische Qualität des Gebäudeentwurfs erkennbar machen kann.

Für Nutzungsprofile mit sehr hohem Luftwechsel (z. B. Nr. 14 „Küche“) wirken sich geringe Differenzen bei der Ermittlung der Lüftungsverluste sehr stark im Ergebnis aus. Bestimmt man die Zulufttemperatur der mechanischen Lüftung für ein einfaches Lüftungssystem mit unregelmäßig

Wärmetauschern nach Gleichung (91) der DIN V 18599-2, so ergeben sich im Vergleich zur ebenfalls zugelassenen Berechnung mit vortabellierten Zulufttemperaturen nach Teil 3 deutliche Unterschiede im Heiz- und Kühlenergiebedarf. Dies liegt unter anderem daran, dass in den Tabellenwerten die Abwärme des Ventilators mit berücksichtigt wird. Da prinzipiell beide Verfahren erlaubt sind, können die thermischen Teilenergiekennwerte für das Nutzungsprofil „Küche“ nur dann genutzt werden, wenn das gleiche Berechnungsverfahren wie nach DIN V 18599 genutzt wird. Für die anderen Nutzungen spielen diese Unterschiede eine untergeordnete Rolle.

EU-Vergleich am „Berlaymont“

Welche Auswirkungen verschiedene Berechnungsansätze haben können, zeigt z. B. das Projekt *„Energy Certification of Berlaymont“* [27]. In diesem Projekt wurde das Berlaymont Gebäude als Vergleichsobjekt zur Berechnung und Bewertung herangezogen. Die Staaten Österreich, Frankreich, Deutschland, Niederlande, Polen und Portugal bewerteten das rund 242 000 m² große Gebäude mit den zu diesem Zeitpunkt (2005) vorliegenden Methoden. Die Ergebnisse variieren, insbesondere auf Detailebene, zum Teil stark – alleine schon in der Anzahl der Zonen gibt es Unterschiede (Frankreich 2 Zonen und Österreich 144 Zonen). Dabei ist zu beachten, dass neben unterschiedlichen Rechenmethoden auch verschiedene Klimadaten verwendet wurden.

6.3.5 Klassenbestimmung

Die Energiekennwerte werden für alle Varianten und alle Nutzungsprofile ermittelt. Zur Einschätzung der Abstufungen zwischen den Klassen werden Mittelwerte über die Energiebereiche und alle Nutzungsprofile gebildet. Dabei werden bei der Mittelwertbildung die Nutzungsprofile nicht berücksichtigt, für die entweder kein Energiebedarf berechnet wird oder für die der Energiebedarf mehr als das Doppelte des Mittelwerts beträgt. Dies sind die Nutzungen:

- 07 Einzelhandel mit Kühlprodukten,
- 14 Küche,
- 21 Serverraum,
- 32 und 33 Parkhäuser.

Abbildung 231 zeigt die berechneten Abstufungen für die einzelnen Energiebereiche. Die Klasse D stellt dabei die Referenzmarke 100 % dar. Sie wird in Anlehnung an die Referenzausstattung nach Energieeinsparverordnung definiert (vgl. Tabelle 59). Der rechte Balken einer jeden Säulengruppe markiert den Mittelwert über alle drei Energieanwendungen. Beim Heizwärmebedarf werden mit steigender Effizienzklasse die größten Einsparungen erzielt, während beim Kältebedarf die relativen Einsparungen je Klassensprung am geringsten ausfallen.

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass es sich um die Darstellung von Mittelwerten der 28 Nutzungsprofile handelt. Für ein einzelnes Nutzungsprofil können diese Abweichungen, insbesondere für die Heizwärme- und Kältebilanz, ausgeprägter ausfallen, da Mindestaußenluftwechsel, interne Lasten durch Personen und Geräte sowie Nutzungszeiten einen Einfluss auf die Höhe der berechneten Kennwerte haben.

Die energetische Verbesserung von Klasse B auf Klasse A fällt im Bereich Beleuchtung sehr gering aus. Der Unterschied zwischen den beiden Varianten wird nicht durch ein effizienteres Leuchtmittel

geprägt, sondern durch Unterschiede in der Beleuchtungskontrolle (hier Dimmfunktion abschaltend/nicht abschaltend) sowie durch die Nutzung eines Sonnenschutzes mit tageslichtlenkenden Eigenschaften. Hier sind die möglichen berechneten Einsparungen geringer als bei Variation der Lampenart.

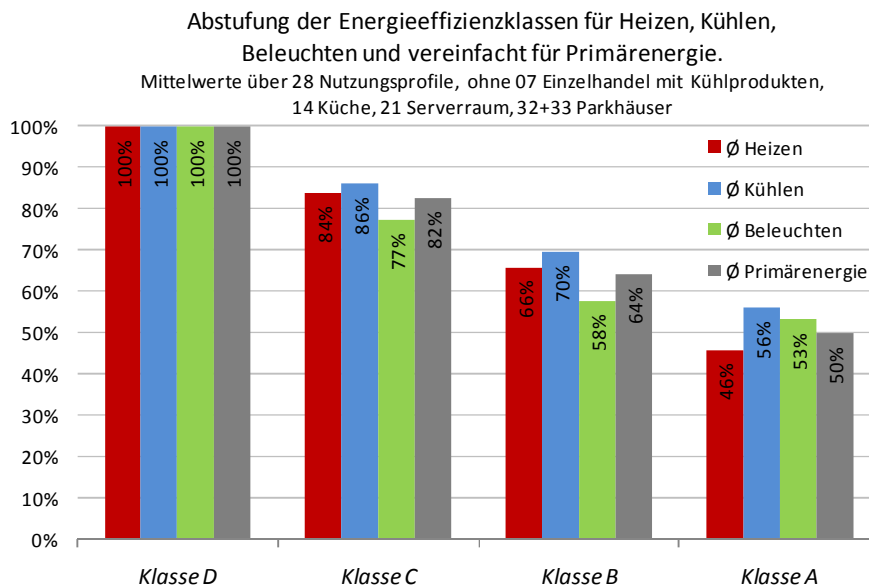


Abbildung 231: Abstufung der Energieeffizienzklassen für die unterschiedlichen Teilbereiche (Heizen, Kühlen und Beleuchten). Diese Abstufung gibt eine Tendenz über alle berücksichtigten Nutzungsprofile wieder.

Anders als der in Deutschland verwendete Bandtacho nutzen viele europäische Staaten Klassen zur Einordnung von Gebäuden nach Ihrer Energieeffizienz [4]. Ausgehend von primärenergetischen Überlegungen können Ergebnisse auf der Basis der Nutzenergiebilanz nicht direkt miteinander verglichen werden, da sich diese unterschiedlich stark auf den Primärenergiebedarf auswirken. Tabelle 61 zeigt die Resultate der mittleren Klassenabstufung auf der Basis des vereinfacht berechneten Primärenergiebedarfs zusammengefasst dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass sich der Unterschied zwischen den Klassen nur aus den in Tabelle 59 aufgeführten Randbedingungen ergibt und unter Berücksichtigung einer „konstanten“ Anlagentechnik und Energieträgern gerechnet wird.

Tabelle 61: Klassifizierung der energetischen Standards. Die groben Abstufungen (letzte Zeile) skizzieren vereinfacht die Mittelwerte über die bewerteten Nutzungsprofile auf Basis des Primärenergiebedarfs.

durchschnittlich				D
besser			C	
gut		B		
sehr gut	A			
grobe Abstufung	-50 %	-36 %	-18 %	Referenz

6.3.6 Anpassen der Energiekennwerte für Heizen

Ziel der folgenden Umformung ist es, die für die Heizwärmebilanz erforderlichen geometrischen Zusammenhänge zur Anpassung der Kennwerte an die Gebäudegröße aufzuzeigen. Die Verluste einer Zone berechnen sich durch Addition der Teilverluste für Transmission, Lüftung, interne Wärmesenken, solare Abstrahlung und Wärmeübertragung zwischen Nutzungs- und Nichtnutzungstagen nach folgender Gleichung:

$$Q_{sink} = Q_T + Q_V + Q_{I,sink} + Q_S + \Delta Q_{C,sink} \quad (70)$$

mit

Q_{sink}	kWh	Summe der Wärmesenken einer Zone
Q_T	kWh	Transmissionswärmesenken
Q_V	kWh	Lüftungswärmesenken
$Q_{I,sink}$	kWh	interne Wärmesenken in der Zone
Q_S	kWh	Wärmesenken durch Abstrahlung unter Berücksichtigung der solaren Einstrahlung
$\Delta Q_{C,sink}$	kWh	die an Tagen mit normalem Heizbetrieb gespeicherte Wärme, die an Tagen mit reduziertem Betrieb aus den Bauteilen entspeichert wird

Interne Wärmesenken in der Gebäudezone werden durch Verteilleitungen von Kühlmitteln oder Kaltwasser oder durch Kaltluftkanäle verursacht. Diese ergeben sich aus der Anlagentechnik und werden für die weitere Betrachtung mit $Q_{I,sink} = 0$ gesetzt. Die Ergebnisse der Parameterstudie zeigen ebenfalls, dass der Einfluss solarer Gewinne über opake Bauteile bzw. die Abstrahlverluste über diese vernachlässigbar gering sind. Für die folgende Betrachtung wird die Wärmesenke über Abstrahlverluste $Q_S = 0$ gesetzt und entsprechend nicht weiter berücksichtigt.³⁸ Geht man von einer durchgehenden Nutzung aus, ergeben sich keine Wärmeübertragungen zwischen Nutzungstagen und Nichtnutzungstagen. Der Term entfällt ebenfalls und die Bilanzgleichung für die Wärmesenken schreibt sich vereinfacht und reduziert zu:

$$Q_{sink} = Q_T + Q_V \quad (71)$$

mit

$$Q_T = A_{Ge} \cdot (U_m + \Delta U_{WB}) \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t \quad (72)$$

$$Q_V = Q_{V,inf} + Q_{V,win} + Q_{V,mech} \quad (73)$$

mit

A_{Ge}	m ²	gesamte thermische Gebäudehüllfläche
U_m	W/(m ² K)	hier der mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient der thermischen Gebäudehülle
ΔU_{WB}	W/(m ² K)	pauschaler außenflächenbezogener Wärmebrückenzuschlag
$Q_{V,inf}$	kWh	Lüftungswärmesenken infolge von Infiltration
$Q_{V,win}$	kWh	Lüftungswärmesenken infolge von Fensterlüftung
$Q_{V,mech}$	kWh	Lüftungswärmesenken infolge mechanischer Lüftung
ϑ_i	°C	Bilanz-Innentemperatur der Zone
ϑ_e	°C	durchschnittliche monatliche Außentemperatur

Wird der Einfluss über Wärmebrücken bereits in den U-Werten der Einzelbauteile berücksichtigt, so kann der pauschale Zuschlag entfallen und ΔU_{WB} wird null. Die Lüftungsverluste (in DIN V 18599 als Lüftungswärmesenken bezeichnet) setzen sich zusammen aus Infiltrationsverlusten $Q_{V,inf}$, Verlusten über Fensterlüftung $Q_{V,win}$ und Verlusten durch mechanische Lüftung $Q_{V,mech}$ nach folgenden Gleichungen:

$$Q_{V,inf} = n_{inf} \cdot V_n \cdot c_{p,L} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t \quad (74)$$

$$Q_{V,win} = n_{win} \cdot V_n \cdot c_{p,L} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t \quad (75)$$

$$Q_{V,mech} = n_{mech} \cdot V_n \cdot c_{p,L} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_{V,mech}) \cdot t \quad (76)$$

mit

n_{inf}	h ⁻¹	Tagesmittelwert des Infiltrationsluftwechsels
n_{win}	h ⁻¹	Tagesmittelwert des Fensterluftwechsels

³⁸ Für die Ermittlung der Teilenergiekennwerte wird der Einfluss berücksichtigt.

n_{mech}	h^{-1}	Tagesmittelwert des mechanischen Luftwechsels
V_n	m^3	Nettoraumluftvolumen einer Zone
$c_{p,L}$	$Wh/(m^3K)$	spezifische Wärmekapazität von Luft ($c_{p,L} = 0,34 Wh/(m^3K)$)
$\vartheta_{V,mech}$	$^{\circ}C$	mittlere Temperatur der Zuluft
t	h	Berechnungszeitraum ($t = 24 h$)

Die Bestimmung des erforderlichen Anlagenluftwechsels n_{mech} erfolgt in der Regel über den spezifischen Mindestaußenluftvolumenstrom \dot{V}_A , welcher den Nutzungsprofilen der DIN V 18599-10 entnommen werden kann. Geht man von einem durchgehenden Betrieb der Lüftungsanlage aus, ergibt sich der mechanische Luftwechsel nach folgender Beziehung:

$$n_{mech} = \frac{\dot{V}_A \cdot A_n}{V_n} \quad (77)$$

mit

\dot{V}_A	$m^3/(hm^2)$	Mindestaußenluftvolumenstrom der Zone nach DIN V 18599-10
A_n	m^2	Nettogrundfläche der Zone

Setzt man des Weiteren ein einfaches Lüftungssystem nach den Bilanzgleichungen der DIN V 18599-2 an, so kann die Zulufttemperatur unter Berücksichtigung eines ungeregelten Wärmetauschers nach folgender Beziehung ermittelt werden:

$$\vartheta_{V,mech} = \vartheta_e + n_{V,mech} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \quad (78)$$

mit

$\eta_{V,mech}$	-	Nutzungsfaktor des Abluft-Zuluft-Wärmetauschersystems
-----------------	---	---

Die Lüftungswärmeverluste durch mechanische Lüftung ergeben sich folglich nach:

$$Q_{V,mech} = \frac{\dot{V}_A \cdot A_n}{V_n} \cdot V_n \cdot c_{p,L} \cdot \left(\vartheta_i - \left(\vartheta_e + n_{V,mech} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \right) \right) \cdot t \quad (79)$$

Werden die Teilgleichungen ausgeschrieben und eingesetzt, ergibt sich folgender Ausdruck zur Bestimmung der Verluste für eine Zone, der die wesentlichen Parameter beinhaltet:

$$Q_{sink} = A_{Ge} \cdot U_m \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t + V_n \cdot n_{inf} \cdot c_{p,L} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t + V_n \cdot n_{win} \cdot c_{p,L} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t + \dot{V}_A \cdot A_n \cdot c_{p,L} \cdot \left(\vartheta_i - \left(\vartheta_e + n_{V,mech} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \right) \right) \cdot t \quad (80)$$

Feste Randbedingungen

Zur Ermittlung zusätzlicher Anforderungen werden für bau- und anlagentechnische Bestandteile feste Anforderungen (vgl. Tabelle 59) in einem Klassensystem definiert. Bei der Ermittlung der Transmissions- und Lüftungsverluste betrifft dies die folgenden Größen:

- U-Werte, hier der mittlere U-Wert der Gebäudehülle U_m ,
- Gebäudedichtheit n_{inf} ,
- Wärmerückgewinnungsgrad von Lüftungsanlagen $n_{V,mech}$.

Die Innen- und Außentemperatur (ϑ_i, ϑ_e), die spezifische Speicherkapazität von Luft $c_{p,L}$, der zusätzliche Luftwechsel infolge Fensterlüftung n_{win} (bei mechanischer Lüftung ist n_{win} i. d. R. $0,1 h^{-1}$), der mechanische Mindestaußenluftstrom \dot{V}_A sowie die Länge des Berechnungsschritts t sind feste Berechnungsgrößen und bei der Bestimmung der Anforderungswerte konstant.

Einflussgrößen auf die Verlustanteile

Die Geometrie Größen, die eine Zone beschreiben und einen Einfluss auf die Höhe der Transmissions- und Lüftungsverluste haben, sind die Gebäudehüllfläche A_{Ge} , die Zonenfläche A_n und das Nettovolumen V_n . Das A/V-Verhältnis beschreibt die Kompaktheit eines Gebäudes und drückt das Verhältnis der Oberfläche zu dem von der Oberfläche eingeschlossenen Volumen aus. Seit der Wärmeschutzverordnung 1995 wurden die Anforderungen an den Heizwärmebedarf von der Kompaktheit der Gebäudehülle abhängig gemacht [51]. Das A/V-Verhältnis ist definiert durch:

$$AV = \frac{A_{Ge}}{V_e} \rightarrow A_{Ge} = V_e \cdot AV \quad (81)$$

mit

V_e m³ beheiztes Gebäudevolumen

Vereinfacht wird an dieser Stelle $V_e = V_n = V$ angenommen. Eingesetzt in Gleichung (80) schreiben sich die Verluste wie folgt:

$$Q_{sink} = V \cdot AV \cdot U_m \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t + V \cdot n_{inf} \cdot c_{p,L} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t + V \cdot n_{win} \cdot c_{p,L} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t + \dot{V}_A \cdot A_n \cdot c_{p,L} \cdot \left(\vartheta_i - \left(\vartheta_e + n_{V,mech} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \right) \right) \cdot t \quad (82)$$

Unter der Annahme, dass der Mindestaußenluftvolumenstrom ohne den Einfluss einer Wärmerückgewinnung eingebracht wird, entspricht $\vartheta_{V,mech} = \vartheta_e$, und es kann für alle Terme eine Konstante Z eingeführt werden.

$$Z = (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t \quad (83)$$

Durch Einsetzen der Konstanten Z schreiben sich die Verluste wie folgt:

$$Q_{sink} = V \cdot AV \cdot U_m \cdot Z + V_n \cdot n_{inf} \cdot c_{p,L} \cdot Z + V \cdot n_{win} \cdot c_{p,L} \cdot Z + \dot{V}_A \cdot A_n \cdot c_{p,L} \cdot Z \quad (84)$$

Nach EnEV kann die Nutzfläche vereinfacht aus dem beheizten Gebäudevolumen berechnet werden:

$$A_n = 0,32 \cdot V_e \quad (85)$$

Eingesetzt in Gleichung (84) gilt:

$$Q_{sink} = \frac{A_n}{0,32} \cdot AV \cdot U_m \cdot Z + \frac{A_n}{0,32} \cdot n_{inf} \cdot c_{p,L} \cdot Z + \frac{A_n}{0,32} \cdot n_{win} \cdot c_{p,L} \cdot Z + \dot{V}_A \cdot A_n \cdot c_{p,L} \cdot Z \quad (86)$$

Bezieht man die Wärmesenken auf die Zonenfläche A_n , so erhält man einen gebäudegrößenpezifischen Wert. Die auf die beheizte Fläche bezogenen Wärmesenken q_{sink} sind proportional zum Kompaktheitsgrad A/V bzw. zur Zonenfläche A/A_n . Die Umrechnung der beiden Kennwerte erfolgt mit der Raumhöhe h_R (Geschosshöhe unter Berücksichtigung der Wanddicken).

$$q_{sink} = \underbrace{\left(\frac{AV \cdot U_m}{0,32} + \frac{c_{p,L} \cdot (n_{win} + n_{inf})}{0,32} \right)}_{\text{von der Gebäudeform abhängige Größe}} + \underbrace{\dot{V}_A \cdot c_{p,L}}_{\text{von der Gebäudeform unabhängige Größe}} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t \quad (87)$$

Bei Gleichung (87) handelt es sich um eine lineare Funktion $f_{(AV)}$, deren Steigung durch den mittleren U-Wert U_m bestimmt wird. Der Achsenabschnitt der Funktion entspricht der von der Gebäudeform unabhängigen Größe. Dieser Term beinhaltet die Lüftungsverluste durch Infiltration, Fensterluftwechsel und mechanischen Luftwechsel in einer Zone und ist unabhängig von der Größe des Gebäudes. Bei der Kalibrierung der Anforderungsniveaus für den Heizwärmebedarf ist dieser Gebäudegrößenabhängigkeit Rechnung zu tragen.

Bestimmung der A/V-Abhängigkeit

Wie in Abschnitt 6.2 Gleichung (58) gezeigt, besteht eine Abhängigkeit zwischen A/V-Verhältnis und der Größe des Gebäudes. Der berechnete Heizwärmebedarf berücksichtigt neben den Wärmesenken auch Wärmequellen und ergibt sich aus der Summation der Wärmesenken und der zu Heizzwecken nutzbaren Gewinne im Bilanzzeitraum. Wärmegewinne resultieren in der Regel aus solarer und interner Wärmequellen. Der Ausnutzungsgrad η berücksichtigt das zeitlich unterschiedliche Auftreten von Wärmesenken und Wärmequellen in einer Bilanzzone. Er hängt vom Verhältnis γ der Wärmegewinne zu den Wärmeverlusten und von der Zeitkonstante τ in einer Berechnungszone ab [32][35][37][49][51]. Niedrige Gewinne und hohe Verluste führen zu hohen Ausnutzungsgraden (Winterperiode), im umgekehrten Fall sind die Ausnutzungsgrade niedrig (Sommerperiode) [56]. Aufgrund dieser Wirkung wird der Verlauf des Heizwärmebedarfs nicht vollständig linear sein; große Schwankungen in der A/V-Abhängigkeit sind jedoch nicht zu erwarten, da dieser Einfluss über alle Gebäudegrößen wirkt und die solaren Gewinne durch die Berücksichtigung der Aktivierung des Sonnenschutzes auch im Winter gemindert werden.

Abbildung 232 zeigt die Verläufe der Heizwärmebedarfe für unterschiedliche A/V-Verhältnisse aller 33 Nutzungsprofile, berechnet nach DIN V 18599. Als Berechnungsparameter liegen die der Klasse A zugrunde. Es zeigt sich, dass die Steigungen der Heizwärmebedarfe für die meisten Nutzungsprofile ähnlich verlaufen. Die Nutzungen „23 Zuschauer“, „25 Theaterbühne“, „26 Messe, Kongress“ und „31 Sporthalle“ weisen deutlich höhere Raumhöhen bzw. auf den umbauten Raum bezogen, eine geringe Bezugsfläche auf, was zu einem steileren Verlauf führt. Bei den Nutzungsprofilen „Bettzimmer“ und „Hotelzimmer“ liegen die typischen Raumhöhen etwas unterhalb von 3,0 m, was zu flacheren Verläufen führt. Für die übrigen Nutzungen ergibt sich eine Beeinflussung von 39 kWh/(m²a) je m⁻¹.

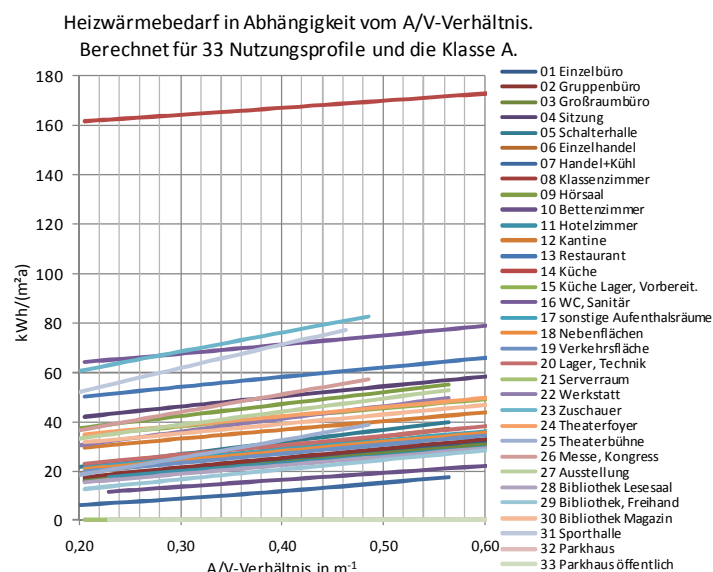


Abbildung 232: Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs vom A/V-Verhältnis

Der Verlauf des Heizenergiebedarfs, in Abhängigkeit der Kompaktheit eines Gebäudes, kann als quasi-linear betrachtet werden. Die Wirkung des Ausnutzungsgrades der Wärmegevinne führt zu einer leichten Nichtlinearität, die für diese Anwendung vernachlässigt werden kann. Somit lässt sich der Heizwärmebedarf in Abhängigkeit des A/V-Verhältnisses als Geradengleichung schreiben.

$$q_h = \Delta q_h \cdot AV + q_{h,bas} \quad (88)$$

mit

Δq_h	kWh/(m ² a) je m ⁻¹	Steigung zur Anpassung des Heizwärmebedarfs
AV	m ⁻¹	A/V-Verhältnis der Zone
$q_{h,bas}$	kWh/(m ² a)	Achsenabschnitt; entspricht dem Heizwärmebedarf der durch die Lüftungsverluste verursacht wird

$q_{h,bas}$ beschreibt den in Gleichung (87) angegebenen „von der Gebäudeform unabhängigen Teil“ und entspricht den Lüftungsverlusten der Zone. Aufgrund der festen Beziehung zur Zonenfläche verhalten sich die Lüftungsverluste konstant bei variierendem A/V-Verhältnis. Da die Steigungen für die meisten Nutzungen ähnlich verlaufen, kann der Heizwärmebedarf auch auf Gebäudeebene korrigiert werden, nachdem die Zonenwerte aggregiert worden sind.

Gebäudegröße und A/V-Verhältnis

Die Teilenergiekennwerte werden für ein Gebäude mit der Größe 5 000 m² Nettogrundfläche berechnet. In der Realität müssen aber Gebäude unterschiedlicher Größe bewertet werden. Mit der Gebäudegröße ändert sich auch das A/V-Verhältnis, was Auswirkungen auf den Kennwert selbst hat. Um hier auch für andere Gebäudegrößen einen realistischen Kennwert angeben zu können, müssen die tabellierten Kennwerte noch korrigiert werden.

Da das A/V-Verhältnis nicht bekannt ist bzw. da ein einheitlicher Bezug auf vorhandene Größen vorzuziehen ist, erfolgt die Korrektur über die Nettogrundfläche. Dabei wird ein für die Gebäudegröße typisches A/V-Verhältnis unterstellt. Die allgemeine Gleichung für den Heizwärmebedarf des Standardgebäudes lautet:

$$q_{h,5000} = \Delta q_{h,5000} \cdot AV_{5000} + q_{h,bas} \quad (89)$$

mit

$q_{h,5000}$	kWh/(m ² a)	spezifischer Heizwärmebedarf des Standardgebäudes mit $A_{NGF} = 5\,000\text{ m}^2$
AV_{5000}	m ⁻¹	A/V-Verhältnis des Standardgebäudes mit $A_{NGF} = 5\,000\text{ m}^2$
$\Delta q_{h,5000}$	kWh/(m ² a) je m ⁻¹	Steigung zur Anpassung des Heizwärmebedarfs für das Standardgebäude mit $A_{NGF} = 5\,000\text{ m}^2$

Basierend auf einem quasi-linearen Verlauf des Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit des A/V-Verhältnisses nach Gleichung (88) kann der Heizwärmebedarf für ein Gebäude mit beliebigem A/V-Verhältnis wie folgt ermittelt werden:

$$q_{h,A_{NGF}} = \Delta q_{h,5000} \cdot AV_{A_{NGF}} + q_{h,bas} \quad (90)$$

mit

$q_{h,A_{NGF}}$	kWh/(m ² a)	spezifischer Heizwärmebedarf für ein Gebäude beliebiger Größe
$AV_{A_{NGF}}$	m ⁻¹	A/V-Verhältnis des Gebäudes beliebiger Größe

Durch Gleichsetzen der Gleichungen (89) und (90) kann der Heizwärmebedarf für ein Gebäude mit beliebigem A/V-Verhältnis wie folgt geschrieben werden:

$$q_{h,A,NGF} = q_{h,5000} - \Delta q_{h,5000} \cdot (AV_{5000} - AV_{A,NGF}) \tag{91}$$

Der Zusammenhang zwischen der Größe des Gebäudes und dem typischen A/V-Verhältnis wird aus der in Abschnitt 6.2 gefundenen Abhängigkeit der Gebäuestichprobe abgeleitet.

$$AV_{A,NGF} = 2,024 \cdot A_{NGF}^{-0,215} \tag{92}$$

Tabelle 62 zeigt berechnete Heizwärme­kennwerte für unterschiedliche Nutzungsprofile in Abhängigkeit der Gebäudegröße. Die Variation des Teilenergiekennwerts Heizung vom A/V-Verhältnis wird für jede der 33 Standardnutzungen berechnet.

Tabelle 62: Berechnete Heizenergiebedarfe für unterschiedliche Gebäudegrößen mit Gebäudegrößenkorrektur

Nutzungsprofil	A _{NGF} 5.000		500	1 000	2 000	3000	6 000	10 000	18 000	32 000	57 000	100 000
	AV _{A,NGF} 0,325		0,533	0,460	0,396	0,363	0,313	0,280	0,247	0,218	0,193	0,171
	Δq _{H,5000}	q _{H,5000}	q _{H,500}	q _{H,1 000}	q _{H,2 000}	q _{H,3 000}	q _{H,6 000}	q _{H,10 000}	q _{H,18 000}	q _{H,32 000}	q _{H,57 000}	q _{H,100 000}
1 Einzelbüro	37,9	22,8	30,7	27,9	25,5	24,2	22,3	21,1	19,8	18,7	17,8	16,9
2 Gruppenbüro	37,7	23,8	31,6	28,9	26,5	25,2	23,3	22,1	20,8	19,8	18,8	18,0
3 Großraumbüro	37,6	22,0	29,9	27,1	24,7	23,5	21,6	20,3	19,1	18,0	17,1	16,2
4 Sitzungsraum	40,6	48,9	57,3	54,4	51,8	50,4	48,4	47,1	45,7	44,6	43,5	42,7
5 Schalterhalle	49,8	27,2	37,6	33,9	30,8	29,1	26,6	25,0	23,4	21,9	20,7	19,6
6 Einzelhandel	49,7	24,6	34,9	31,3	28,1	26,5	24,0	22,3	20,7	19,3	18,0	16,9
7 Handel und Kühlung	30,6	8,9	15,3	13,0	11,1	10,1	8,5	7,5	6,5	5,6	4,9	4,2
8 Klassenzimmer	35,4	27,2	34,5	31,9	29,7	28,5	26,7	25,6	24,4	23,4	22,5	21,7
9 Hörsaal	47,7	42,9	52,8	49,3	46,3	44,7	42,3	40,7	39,2	37,8	36,6	35,5
10 Bettzimmer	28,4	16,6	22,5	20,4	18,6	17,7	16,3	15,3	14,4	13,6	12,9	12,2
11 Hotelzimmer	32,2	23,0	29,7	27,4	25,3	24,2	22,6	21,6	20,5	19,6	18,8	18,1
12 Kantine	36,2	35,1	42,6	40,0	37,7	36,5	34,7	33,5	32,3	31,2	30,3	29,5
13 Restaurant	39,6	56,6	64,8	61,9	59,4	58,1	56,1	54,8	53,5	52,3	51,3	50,5
14 Küche	28,8	166,2	172,1	170,0	168,2	167,2	165,8	164,9	163,9	163,1	162,4	161,7
15 Küche, Lager, Vorbereit.	37,9	40,4	48,2	45,4	43,0	41,8	39,9	38,7	37,4	36,3	35,3	34,5
16 WC, Sanitär	37,0	69,9	77,6	74,9	72,5	71,3	69,4	68,2	67,0	65,9	65,0	64,2
17 sonst. Aufenthaltsräume	38,1	27,3	35,2	32,4	30,0	28,7	26,8	25,6	24,3	23,2	22,3	21,4
18 Nebenflächen	37,2	26,8	34,5	31,8	29,4	28,2	26,3	25,1	23,9	22,8	21,8	21,0
19 Verkehrsflächen	37,9	25,5	33,4	30,6	28,2	27,0	25,1	23,8	22,6	21,5	20,5	19,7
20 Lager, Technik	38,9	28,9	37,0	34,1	31,6	30,3	28,4	27,1	25,8	24,7	23,7	22,9
21 Serverraum	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22 Werkstatt	52,7	36,6	47,6	43,7	40,3	38,6	35,9	34,2	32,5	31,0	29,6	28,5
23 Zuschauerraum	77,4	65,7	81,8	76,1	71,2	68,6	64,7	62,2	59,7	57,4	55,5	53,8
24 Theaterfoyer	36,4	40,8	48,4	45,7	43,4	42,2	40,4	39,2	38,0	36,9	36,0	35,2
25 Theaterbühne	70,3	22,6	37,3	32,1	27,6	25,3	21,8	19,5	17,1	15,1	13,3	11,8
26 Messe-, Kongressräume	72,6	41,3	56,4	51,0	46,4	44,0	40,4	38,0	35,6	33,5	31,7	30,1
27 Ausstellungsräume	53,8	39,4	50,6	46,6	43,2	41,4	38,7	37,0	35,2	33,6	32,3	31,1
28 Bibliothek, Lesesaal	35,4	21,0	28,3	25,7	23,5	22,3	20,5	19,4	18,2	17,2	16,3	15,5
29 Bibliothek, Freihand	39,3	19,3	27,4	24,5	22,1	20,8	18,8	17,5	16,2	15,1	14,1	13,2
30 Bibliothek, Magazin	38,4	37,8	45,8	42,9	40,5	39,2	37,3	36,1	34,8	33,7	32,7	31,9
31 Sporthalle	96,9	56,8	76,9	69,8	63,6	60,4	55,5	52,4	49,2	46,4	43,9	41,8
32 Parkhaus	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
33 Parkhaus, öffentlich	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mittelwert (ohne 21, 32, 33)	44,4	38,2										

Abbildung 233 zeigt den für jedes Nutzungsprofil berechneten Verlauf des Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit der Gebäudegröße bzw. in Abhängigkeit des A/V-Verhältnisses. Bei der Interpretation der beiden Abbildungen ist darauf zu achten, dass die Darstellung der Gebäudegröße (Abszisse, linkes Bild) nicht im gleichen Verhältnis mit dem A/V-Verhältnis (Abszisse, rechtes Bild) skaliert. Der

hohe Heizwärmebedarf des Nutzungsprofils „14 Küche“ ist nicht aufgeführt, um die Verläufe der anderen Nutzungen besser sichtbar zu machen. Vergleicht man die Ergebnisse mit den zuvor berechneten Werten bzw. Verläufen aus Abbildung 227 (Berechnung der Initialwerte), so kann eine sehr gute Übereinstimmung festgestellt werden.

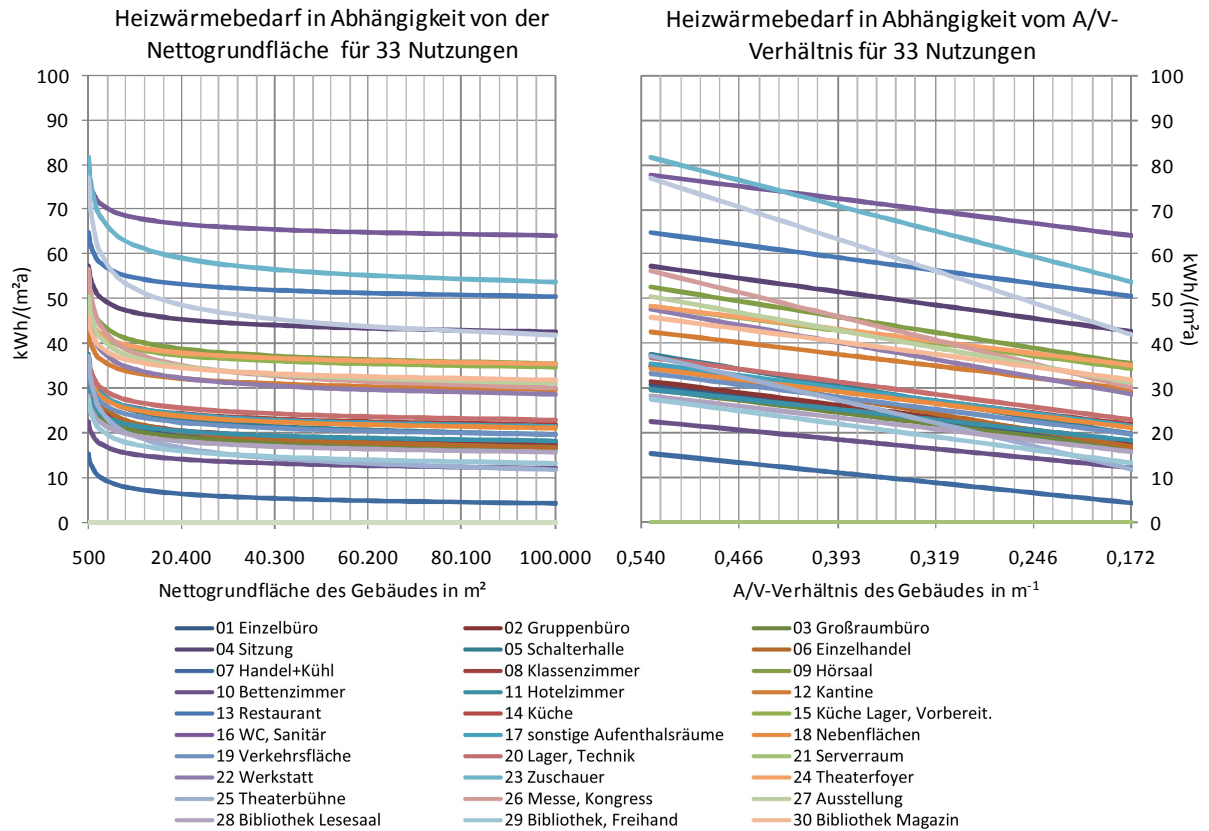


Abbildung 233: Verläufe der korrigierten Heizwärmebedarfe in Abhängigkeit von der Gebäudegröße und vom A/V-Verhältnis. Berechnet für alle 33 Nutzungsprofile der DIN V 18599. Das Nutzungsprofil „14 Küche“ ist zur besseren Übersichtlichkeit wegen des hohen Bedarfswertes ausgeblendet. Die Werte werden aus dem Heizwärmebedarf des Standardgebäudes mit 5 000 m² Nettogrundfläche über die Gebäudegrößenkorrektur abgeleitet.

Werden Nutzungen ohne Heizwärmebedarf (21 Serverraum, 32 und 33 Parkhäuser) ausgenommen, ergibt sich über die übrigen Nutzungsprofile eine relative Beeinflussung $\Delta q_{h,5000}$ von 44,4 kWh/(m²a) je m⁻¹ (vgl. Tabelle 62). Für das Standardgebäude mit einer Nettogrundfläche von 5 000 m² ergibt sich ein A/V-Verhältnis AV_{5000} von 0,325 m⁻¹. Setzt man Gleichung (92) und die ermittelten Werte für das Standardgebäude₅₀₀₀ in die Gleichung (91) ein, so schreibt sich die allgemeine A/V-abhängige Korrektur³⁹ für Gebäude beliebiger Größe nach Umformung der Gleichung wie folgt:

$$q_{h,A,NGF} = q_{h,5000} - (14,4 - 89,9 \cdot A_{NGF}^{-0,215}) \tag{93}$$

Vereinfachungen bei der Korrektur

Um die nachträgliche Korrektur des gebäude- oder zonenbezogenen Heizwärmebedarfs zu vereinfachen, wird folgend eine Methode beschrieben, mit der eine einfache Anpassung über Faktoren erfolgen kann. Für die betrachteten Gebäudegrößen wird ein Größenskalierungsfaktor f_{NGF} ermittelt, der sich aus dem Verhältnis zwischen spezifischem Heizwärmebedarf bei einer

³⁹ Diese Allgemeine Korrektur gilt nur für Gebäude, die dem hier definierten Energiestandard der Klasse A entsprechen. Bei energetisch ungünstigeren Gebäuden können sich andere Steigungen und Anhängigkeiten im Heizwärmebedarf ergeben.

bestimmten Gebäudegröße $q_{h,ANGF}$ und spezifischem Heizwärmebedarf des Standardgebäudes $q_{h,5000}$ berechnet und der somit eine relative Größe ist.

$$f_{NGF} = \frac{q_{h,ANGF}}{q_{h,5000}} \tag{94}$$

Liegt der Faktor über alle Nutzungsprofile in ähnlicher Größenordnung vor, so kann der Heizwärmebedarf auch auf Gebäudeebene über einen pauschalen Faktor korrigiert werden. Der Faktor wird für jedes Nutzungsprofil und jede Gebäudegröße ermittelt. Für die Nutzungsprofile „7 Einzelhandel mit Kühlprodukten“, „21 Serverraum“ und „32 und 33 Parkhäuser“ werden keine Faktoren ermittelt, da diese Zonen entweder nicht beheizt sind oder sich kein bzw. nur ein sehr geringer Heizwärmebedarf⁴⁰ berechnet. Zudem werden für jede Gebäudegröße der Mittelwert und die Standardabweichung über alle Nutzungsprofile ermittelt.

Tabelle 63: Größenskalierungsfaktor f_{NGF} zur Korrektur des Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit der Gebäudegröße. Berechnet für Gebäude von 500 bis 100 000 m² und für alle Nutzungsprofile nach DIN V 18599

Nutzung / A _{NGF} in m ²	500	1 000	2 000	3 000	6 000	10 000	18 000	32 000	57 000	100 000
1 Einzelbüro	1,35	1,22	1,12	1,06	0,98	0,93	0,87	0,82	0,78	0,74
2 Gruppenbüro	1,33	1,21	1,11	1,06	0,98	0,93	0,88	0,83	0,79	0,76
3 Großraumbüro	1,35	1,23	1,12	1,06	0,98	0,92	0,87	0,82	0,77	0,74
4 Sitzung	1,17	1,11	1,06	1,03	0,99	0,96	0,94	0,91	0,89	0,87
5 Schalterhalle	1,38	1,25	1,13	1,07	0,98	0,92	0,86	0,80	0,76	0,72
6 Einzelhandel	1,42	1,27	1,14	1,08	0,97	0,91	0,84	0,78	0,73	0,69
8 Klassenzimmer	1,27	1,17	1,09	1,05	0,98	0,94	0,90	0,86	0,83	0,80
9 Hörsaal	1,23	1,15	1,08	1,04	0,99	0,95	0,91	0,88	0,85	0,83
10 Bettzimmer	1,36	1,23	1,12	1,06	0,98	0,92	0,87	0,82	0,77	0,74
11 Hotelzimmer	1,29	1,19	1,10	1,05	0,98	0,94	0,89	0,85	0,81	0,78
12 Kantine	1,21	1,14	1,07	1,04	0,99	0,95	0,92	0,89	0,86	0,84
13 Restaurant	1,15	1,09	1,05	1,03	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89
14 Küche	1,04	1,02	1,01	1,01	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97
15 Küche, Lager, Vorbereit.	1,20	1,13	1,07	1,04	0,99	0,96	0,93	0,90	0,88	0,86
16 WC, Sanitär	1,11	1,07	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,94	0,93	0,92
17 sonst. Aufenthaltsräume	1,29	1,19	1,10	1,05	0,98	0,94	0,89	0,85	0,82	0,78
18 Nebenflächen	1,29	1,19	1,10	1,05	0,98	0,94	0,89	0,85	0,82	0,79
19 Verkehrsfläche	1,31	1,20	1,10	1,06	0,98	0,93	0,88	0,84	0,80	0,77
20 Lager, Technik	1,28	1,18	1,10	1,05	0,98	0,94	0,89	0,86	0,82	0,79
22 Werkstatt	1,30	1,19	1,10	1,05	0,98	0,94	0,89	0,85	0,81	0,78
23 Zuschauerraum	1,24	1,16	1,08	1,04	0,99	0,95	0,91	0,87	0,84	0,82
24 Theaterfoyer	1,19	1,12	1,06	1,03	0,99	0,96	0,93	0,90	0,88	0,86
25 Theaterbühne	1,65	1,42	1,22	1,12	0,96	0,86	0,76	0,67	0,59	0,52
26 Messe-, Kongressräume	1,37	1,24	1,12	1,07	0,98	0,92	0,86	0,81	0,77	0,73
27 Ausstellungsräume	1,28	1,18	1,10	1,05	0,98	0,94	0,89	0,85	0,82	0,79
28 Bibliothek, Lesesaal	1,35	1,23	1,12	1,06	0,98	0,92	0,87	0,82	0,78	0,74
29 Bibliothek, Freihand	1,42	1,27	1,14	1,08	0,97	0,91	0,84	0,78	0,73	0,69
30 Bibliothek ,Magazin	1,21	1,14	1,07	1,04	0,99	0,95	0,92	0,89	0,87	0,84
31 Sporthalle	1,36	1,23	1,12	1,06	0,98	0,92	0,87	0,82	0,77	0,74
Mittelwert f_{NGF}	1,29	1,19	1,10	1,05	0,98	0,94	0,89	0,85	0,82	0,79
Standardabweichung	0,11	0,07	0,04	0,02	0,01	0,02	0,04	0,06	0,07	0,08

⁴⁰ Serverräume haben aufgrund sehr hoher interne Lasten in der Regel keinen Heizwärmebedarf. Für das Nutzungsprofil „7 Einzelhandel mit Kühlprodukten“, ergibt sich ein niedriger Heizwärmebedarf aufgrund von zwei Faktoren. Zum einen wird die Abwärme der Kühlmöbel im Nutzungsprofil nach DIN V 18599 der Zone zugeschlagen. Zum anderen werden für diese Nutzung typischerweise keine Fensterflächen berücksichtigt. Dadurch steigen der Beleuchtungsstrombedarf und ebenso die internen Lasten. Der mittlere U-Wert bzw. die daraus resultierenden Transmissionsverluste sind wegen des hohen Anteils an opaken Bauteilen gering.

Vereinfachte Korrektur des spezifischen Heizwärmebedarfs - Tabellenverfahren

Die Standardabweichung beschreibt die Streuung um den Mittelwert. Sie liegt, wenn man die Gebäudegröße 100 000 m² außer Acht lässt, unter 10 % vom Mittelwert (vgl. Tabelle 63). Bei den Nutzungen mit einer starken A/V-Abhängigkeit ergeben sich die größten Unterschiede, die, wie bereits zuvor beschrieben, durch unterschiedliche Raumhöhen verursacht werden. Die Beeinflussung des spezifischen Heizwärmebedarfs durch die Gebäudegröße ist insbesondere bei kleinen Gebäuden hoch. Die Teilenergiekennwerte können entweder auf Zonenebene oder aber auf Gebäudeebene korrigiert werden. Da sich Gebäude aus mehreren Zonen unterschiedlicher Nutzung zusammensetzen, kann vereinfacht die Korrektur über einen gebäudebezogenen Wert durchgeführt werden. Die Korrektur des Energiebedarfs erfolgt demnach über den Größenskalierungsfaktor f_{NGF} .

$$q_{h,A_{NGF}} = q_{h,Ref,5000} \cdot f_{NGF} \tag{95}$$

mit

$q_{h,A_{NGF}}$	kWh/(m ² a)	spezifischer Heizwärmebedarf für ein Gebäude mit beliebiger Größe (in Abhängigkeit von der Nettogrundfläche)
f_{NGF}	-	Größenskalierungsfaktor zur Anpassung des Heizwärmebedarfs

Die schwarz gestrichelte Linie im nachstehenden Diagramm zeigt den Verlauf der Korrekturfaktoren, als Mittelwert für alle Nutzungsprofile (ohne die Nutzungen 7, 21, 32 und 33). Die eingetragene Standardabweichung zeigt, wie groß die Streuung um den Mittelwert ist. Die Standardabweichung ist bei einem Gebäude mit einer Nettogrundfläche von 5 000 m² = 0, da hier keine Korrektur erforderlich ist, und steigt bei kleineren oder größeren Gebäuden an.

Um die Bewertung der Korrektur zu vereinfachen, zeigt die rote Linie eine Abstufung für die Bewertungsfaktoren. Hierfür wird in 10 Größenklassen unterschieden, die so differenziert sind, dass kleinere Gebäude in kürzere Abstände unterteilt werden, da hier die Beeinflussung am größten ist. Alle Gebäudegrößen, die innerhalb einer Gebäudeklasse liegen, werden mit dem Mittelwert aus den anliegenden Grenzbereichen berechnet.

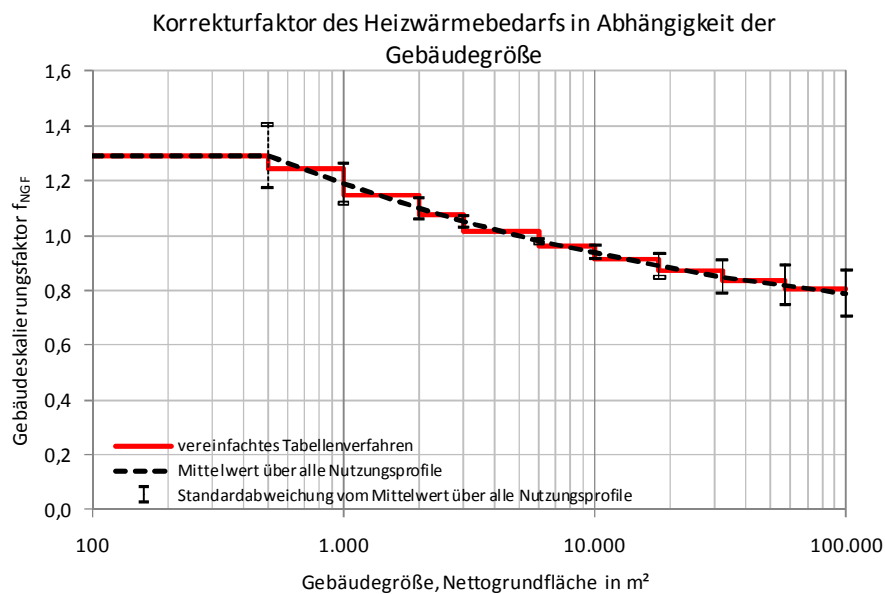


Abbildung 234: Vergleich der Gebäudeskalierungsfaktoren. Die schwarz gestrichelte Linie entspricht dem Mittelwert über alle Nutzungsprofile, mit Ausnahme der Nutzungen 7, 21, 32 und 33). Gezeigt wird hierzu die Standardabweichung über alle Nutzungsprofile für die jeweilige Gebäudegröße. Die rote Linie entspricht dem Verlauf der vereinfachten Anpassungsfaktoren nach dem Tabellenverfahren und gilt für bestimmte Spannweiten von Gebäudegrößen.

Mithilfe der Anpassungsfaktoren kann der Heizwärmebedarf von Gebäuden unterschiedlicher Größe leicht korrigiert werden. Tabelle 64 zeigt die Anpassungsfaktoren.

Tabelle 64: Anpassungsfaktor zur Korrektur des Heizwärmebedarfs

Größenklasse	Gebäudegröße als Nettogrundfläche	Anpassungsfaktor f_{NGF}
1	< 500 m ²	1,290
2	500 bis 1 000 m ²	1,240
3	1 000 bis 2 000 m ²	1,145
4	2 000 bis 3.000 m ²	1,075
5	3 000 bis 6 000 m ²	1,015
6	6 000 bis 10 000 m ²	0,960
7	10 000 bis 18 000 m ²	0,915
8	18 000 bis 32 000 m ²	0,870
9	32 000 bis 57 000 m ²	0,835
10	> 57 000 m ²	0,805

6.3.7 Gebäudebezogene Bewertung

Die auf Zonenebene ermittelten Kennwerte müssen zu einem Gebäudekennwert aggregiert werden. Zur Bildung dieses Vergleichswertes werden die zonenbezogenen Teilenergiekennwerte für die jeweilige Energieanwendung i mit der Zonenfläche A_z multipliziert und das Ergebnis durch die gesamte Energiebezugsfläche A_n des Gebäudes dividiert. Für den Heizwärmebedarf ist der zonenbezogene Vergleichswert mit dem Größenskalierungsfaktor f_{NGF} zu bewerten.

$$q_{i,b,Geb} = \frac{\sum_Z q_{i,b,Ref,5000,Z} \cdot A_z}{A_n} \cdot f_{NGF} \quad (96)$$

mit

$q_{i,b,Geb}$	kWh/(m ² a)	objektspezifischer Vergleichswert des Gebäudes für die Energieanwendung i (Heizen, Kühlen und Beleuchten)
$q_{i,b,Ref,5000,z}$	kWh/(m ² a)	zonenbezogener Teilenergiekennwert für die Energieanwendung i (Heizen, Kühlen und Beleuchten) nach Tabelle 60
A_z	m ²	Nettofläche der Zone Z
A_n	m ²	Energiebezugsfläche des Gebäudes (vorzugsweise die thermisch konditionierte Nettogrundfläche)
f_{NGF}	-	Größenskalierungsfaktor für Anpassung des Heizwärmebedarfs nach Tabelle 64; für alle anderen Energieanwendungen ist $f_{NGF} = 1,0$

6.4 Anwendung der Methode an Gebäuden

Die Generierung von sinnvollen Referenzkennwerten setzt voraus, dass die zur Erzeugung des Referenzkennwertes verwendeten Teilenergiekennwerte den Energiebedarf der mit DIN V 18599 berechneten Gebäude im Mittel abbilden. Dies ist nicht selbstverständlich, da es sich bei den Teilenergiekennwerten um berechnete Zonenkennwerte handelt, die auf der Basis typischer Gebäudegeometrien ermittelt werden. Um die Teilenergiekennwerte zu überprüfen, werden für 11 Gebäude aus den in Abschnitt 6.3 bestimmten Teilenergiekennwerten gebäudebezogene Referenzkennwerte generiert und diese mit entsprechenden Bedarfsberechnungen nach DIN V 18599 verglichen. Bei der Bedarfsberechnung nach DIN V 18599 werden dabei von den gleichen Randbedingungen hinsichtlich der U-Werte und technischen Randbedingungen ausgegangen, die auch bei der Generierung der Teilkennwerte nach Tabelle 59 berücksichtigt werden.

Bei den untersuchten Gebäuden handelt es sich um 10 reale Gebäudeentwürfe, die sich entweder in der Planungsphase befinden oder realisiert worden sind. Das erste Gebäude (Büro LuxRef) in der Tabelle ist ein synthetisch erzeugtes Gebäude. Es werden insgesamt 7 Bürogebäude, ein Verwaltungsgebäude, eine Schule, eine Kindertagesstätte und ein Sportzentrum bewertet. Tabelle 65 zeigt die wesentlichen Eckdaten der Gebäude. Der ausgewiesene Fensterflächenanteil entspricht dem Durchschnittlichen für alle Fassaden und Orientierungen. Bis auf 2 Gebäude sind alle Gebäude teilklimatisiert. Der mittlere Flächenanteil gekühlter Zonen beträgt für alle Gebäude etwa 57 %. Zwei Besonderheiten stellen die Gebäude 4 mit einem gekühlten Flächenanteil von 94 % und Gebäude 10 mit einem Anteil von nur 7 % dar.

Tabelle 65: Eckdaten der untersuchten Gebäude

Bezeichnung	Gebäudekategorie	Zonen-	Zonenfläche	davon	thermische	Fensterflächen
		anzahl	[m ²]	gekühlt	Hüllfläche	-anteil
		St.		[%]	[m ²]	[%]
Geb.01, Büro LuxRef	Büro	5	764	51	1 274	28
Geb.02, Büro BoB	Büro	8	2 151	66	2 642	46
Geb.03, Büro Baumeister	Büro	8	13 951	55	9 917	40
Geb.04, Büro Arsenal	Büro	6	5 978	94	5 315	45
Geb.05, Büro CLI	Büro	6	3 605	57	4 901	45
Geb.06, Büro Mamer	Büro	8	5 437	57	7 306	50
Geb.07, Büro Stümper	Büro	5	2 891	67	3 644	44
Geb.08, Europaschule	Schule	7	11 952	0	15 892	58
Geb.09, Mairie Bertrange	Verwaltung	7	2 371	48	2 526	38
Geb.10, Maison Relais	Kindertagesstätte	8	1 256	7	2 406	37
Geb.11, Schwimmbad	Sporthalle	7	2 292	0	5 224	71

Die folgenden Tabellen zeigen die Ergebnisse für die 11 Gebäude. Für alle Zonen wird der Energiebedarf unter den Randbedingungen nach Tabelle 59 ermittelt und mit den Teilenergiekennwerten verglichen. Für jede Zone wird überprüft, ob der Teilenergiekennwert erreicht wird. Gleiches erfolgt aggregiert auf Gebäudeebene – was die maßgebende Bewertung ist. Wird der Gebäudewert für eine Energiedisziplin nicht eingehalten, so ist dies in der Regel durch große Unterschiede zwischen realem Gebäudeentwurf und dem durch die Teilenergiekennwerte unterstellten bedingt.

Tabelle 66: Vergleich zwischen gebäude- und zonenbezogenen Energiekennwerten für 11 Gebäude. Berechnet nach DIN V 18599 und ermittelt aus den Teilenergiekennwerten Klasse A. Beiden Analysen liegen die gleichen Randbedingungen hinsichtlich der baulichen und technischen Ausstattung zugrunde. Die rechten Spalten zeigen jeweils grün markiert (ok), wenn der Teilenergiekennwert unterschritten und rot markiert (fail) überschritten wird.

	Berechnet nach DIN V 18599				Anforderung - Klasse A					
	Fläche	Heizen	Kühlen	Beleuchten	Heizen	Kühlen	Beleuchten	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}
Geb.1, Büro LuxRef	A _{n,NGF}	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}	q _{h,b,Ref} *f _{H,NGF}	q _{c,b,Ref}	q _{l,b,Ref}			
01 Einzelbüro	393	30,2	16,6	9,5	31,1	21,0	12,1	ok	ok	ok
19 Verkehrsfläche	158	25,9	0,0	1,7	34,8	0,0	2,2	ok	-	ok
20 Lager, Technik	98	38,2	0,0	0,6	39,4	0,0	0,7	ok	-	ok
15 Küche Lager, Vorbereit.	66	45,4	0,0	12,6	55,0	0,0	17,9	ok	-	ok
16 WC, Sanitär	49	71,9	0,0	2,9	95,3	0,0	3,0	ok	-	ok
Nutzung G	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
Nutzung G	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
Nutzung G	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
Summe / Gebäudewert	764	34,3	8,5	6,6	39,1	10,8	8,5	ok	ok	ok
Differenz					-12,2%	-21,0%	-22,6%			

Fortsetzung Tabelle 66

	Berechnet nach DIN V 18599				Anforderung - Klasse A					
	Fläche	Heizen	Kühlen	Beleuchten	Heizen	Kühlen	Beleuchten	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}
Geb.2, Büro BoB	A _{n,NGF}	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}	q _{h,b,Ref} *f _{H,NGF}	q _{c,b,Ref}	q _{l,b,Ref}	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}
02 Gruppenbüro	1.155	24,3	15,6	8,9	28,1	20,1	10,1	ok	ok	ok
04 Sitzung	206	47,3	13,8	11,6	57,8	19,8	11,7	ok	ok	ok
15 Küche Lager, Vorbereit.	46	30,2	0,0	19,3	47,7	0,0	17,9	ok	-	fail
16 WC, Sanitär	38	65,9	0,0	3,5	82,7	0,0	3,0	ok	-	fail
19 Verkehrsfläche	508	28,3	0,0	0,9	30,2	0,0	2,2	ok	-	ok
20 Lager, Technik	146	25,2	0,0	0,6	34,1	0,0	0,7	ok	-	ok
21 Serverraum	15	0,0	664,3	34,8	0,0	684,2	38,2	ok	ok	ok
29 Bibliothek, Freihand	38	8,2	10,5	22,7	22,8	15,6	15,6	ok	ok	fail
Summe / Gebäudewert	2.151	27,9	14,4	7,2	33,0	17,6	8,1	ok	ok	ok
Differenz					-15,4%	-18,1%	-10,2%			

	Berechnet nach DIN V 18599				Anforderung - Klasse A					
	Fläche	Heizen	Kühlen	Beleuchten	Heizen	Kühlen	Beleuchten	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}
Geb.3, Büro Baumeister	A _{n,NGF}	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}	q _{h,b,Ref} *f _{H,NGF}	q _{c,b,Ref}	q _{l,b,Ref}	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}
16 WC, Sanitär	382	60,3	0,0	3,5	70,4	0,0	3,0	ok	-	fail
19 Verkehrsfläche	1.234	18,5	0,0	2,9	25,7	0,0	2,2	ok	-	fail
20 Lager, Technik	1.312	30,5	0,0	0,6	29,1	0,0	0,7	fail	-	ok
21 Serverraum	907	0,0	649,6	24,1	0,0	684,2	38,2	ok	ok	ok
05 Schalterhalle	121	10,9	0,0	9,7	27,4	0,0	5,7	ok	-	fail
03 Großraumbüro	6.719	18,2	23,8	16,6	22,2	27,2	18,0	ok	ok	ok
20 Lager, Technik	517	27,8	0,0	0,6	29,1	0,0	0,7	ok	-	ok
32 Parkhaus	2.760	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,6	ok	-	ok
Summe / Gebäudewert	11.191	23,6	53,7	10,2	23,6	71,7	14,6	ok	ok	ok
Differenz					0,1%	-25,1%	-30,1%			

	Berechnet nach DIN V 18599				Anforderung - Klasse A					
	Fläche	Heizen	Kühlen	Beleuchten	Heizen	Kühlen	Beleuchten	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}
Geb.4, Büro Arsenal	A _{n,NGF}	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}	q _{h,b,Ref} *f _{H,NGF}	q _{c,b,Ref}	q _{l,b,Ref}	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}
02 Gruppenbüro	4.841	21,0	15,7	8,2	26,6	20,1	10,1	ok	ok	ok
21 Serverraum	5	0,0	649,6	34,8	0,0	684,2	38,2	ok	ok	ok
15 Küche Lager, Vorbereit.	67	31,4	0,0	19,3	45,1	0,0	17,9	ok	-	fail
06 Einzelhandel	270	27,2	23,8	11,5	27,4	24,8	12,4	ok	ok	ok
16 WC, Sanitär	263	63,7	0,0	3,5	78,0	0,0	3,0	ok	-	fail
19 Verkehrsfläche	533	28,4	0,3	2,3	28,5	2,4	2,2	ok	ok	fail
Nutzung G	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
Nutzung G	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
Summe / Gebäudewert	5.978	23,9	14,3	7,8	29,2	18,1	9,3	ok	ok	ok
Differenz					-18,2%	-21,2%	-16,3%			

	Berechnet nach DIN V 18599				Anforderung - Klasse A					
	Fläche	Heizen	Kühlen	Beleuchten	Heizen	Kühlen	Beleuchten	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}
Geb.5, Büro CLI	A _{n,NGF}	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}	q _{h,b,Ref} *f _{H,NGF}	q _{c,b,Ref}	q _{l,b,Ref}	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}
02 Gruppenbüro	2.057	25,9	17,1	8,0	26,6	20,1	10,1	ok	ok	ok
15 Küche Lager, Vorbereit.	63	30,3	0,0	19,3	45,1	0,0	17,9	ok	-	fail
16 WC, Sanitär	142	65,0	0,0	3,5	78,0	0,0	3,0	ok	-	fail
19 Verkehrsfläche	983	27,0	0,0	1,0	28,5	0,0	2,2	ok	-	ok
20 Lager, Technik	280	37,1	0,0	0,6	32,2	0,0	0,7	fail	-	ok
20 Lager, Technik	80	22,3	0,0	0,6	32,2	0,0	0,7	ok	-	ok
Nutzung G	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
Nutzung G	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
Summe / Gebäudewert	3.605	28,6	9,8	5,4	30,0	11,5	6,8	ok	ok	ok
Differenz					-4,7%	-14,7%	-21,2%			

Fortsetzung Tabelle 66

	Fläche	Berechnet nach DIN V 18599			Anforderung - Klasse A			q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}
		Heizen	Kühlen	Beleuchten	Heizen	Kühlen	Beleuchten			
Geb.6, Büro Mamer	A _{n,NGF}	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}	q _{h,b,Ref} *f _{H,NGF}	q _{c,b,Ref}	q _{l,b,Ref}			
02 Gruppenbüro	2.469	29,4	23,9	7,4	26,6	20,1	10,1	fail	fail	ok
19 Verkehrsfläche	1.235	22,3	0,0	1,8	28,5	0,0	2,2	ok	-	ok
16 WC, Sanitär	200	65,4	0,0	3,1	78,0	0,0	3,0	ok	-	fail
15 Küche Lager, Vorbereit.	72	49,9	0,0	10,9	45,1	0,0	17,9	fail	-	ok
20 Lager, Technik	310	28,0	0,0	0,6	32,2	0,0	0,7	ok	-	ok
21 Serverraum	15	0,0	650,2	34,8	0,0	684,2	38,2	ok	ok	ok
20 Lager, Technik	517	24,9	0,0	0,5	32,2	0,0	0,7	ok	-	ok
04 Sitzung	619	67,3	36,5	7,9	54,6	19,8	11,7	fail	fail	ok
Summe / Gebäudewert	5.437	33,1	16,8	5,1	33,1	13,3	7,0	ok	fail	ok
Differenz					0,0%	26,5%	-26,6%			

	Fläche	Berechnet nach DIN V 18599			Anforderung - Klasse A			q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}
		Heizen	Kühlen	Beleuchten	Heizen	Kühlen	Beleuchten			
Geb.7, Büro Stümper	A _{n,NGF}	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}	q _{h,b,Ref} *f _{H,NGF}	q _{c,b,Ref}	q _{l,b,Ref}			
01 Einzelbüro	1.940	22,3	19,3	9,6	26,9	21,0	12,1	ok	ok	ok
19 Verkehrsfläche	331	36,4	0,0	1,0	30,2	0,0	2,2	fail	-	ok
16 WC, Sanitär	103	73,4	0,0	3,5	82,7	0,0	3,0	ok	-	fail
20 Lager, Technik	331	31,3	0,0	0,6	34,1	0,0	0,7	ok	-	ok
20 Lager, Technik	186	25,6	0,0	0,6	34,1	0,0	0,7	ok	-	ok
Nutzung G	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
Nutzung G	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
Nutzung G	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
Summe / Gebäudewert	2.891	27,0	12,9	6,8	30,6	14,1	8,6	ok	ok	ok
Differenz					-11,8%	-8,4%	-21,3%			

	Fläche	Berechnet nach DIN V 18599			Anforderung - Klasse A			q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}
		Heizen	Kühlen	Beleuchten	Heizen	Kühlen	Beleuchten			
Geb.8, Europaschule	A _{n,NGF}	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}	q _{h,b,Ref} *f _{H,NGF}	q _{c,b,Ref}	q _{l,b,Ref}			
08 Klassenzimmer	6.357	27,6	0,0	2,5	27,3	0,0	3,2	fail	-	ok
01 Einzelbüro	376	25,5	0,0	9,6	22,9	0,0	12,1	fail	-	ok
19 Verkehrsfläche	3.900	25,1	0,0	1,8	25,7	0,0	2,2	ok	-	ok
20 Lager, Technik	351	26,2	0,0	0,6	29,1	0,0	0,7	ok	-	ok
28 Bibliothek Lesesaal	395	19,7	0,0	25,9	21,1	0,0	28,5	ok	-	ok
16 WC, Sanitär	380	66,2	0,0	3,5	70,4	0,0	3,0	ok	-	fail
04 Sitzung	194	51,9	0,0	9,4	49,2	0,0	11,7	fail	-	ok
Nutzung G	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
Summe / Gebäudewert	11.952	28,1	0,0	3,4	28,2	0,0	4,0	ok	-	ok
Differenz					-0,6%	-	-17,1%			

	Fläche	Berechnet nach DIN V 18599			Anforderung - Klasse A			q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}
		Heizen	Kühlen	Beleuchten	Heizen	Kühlen	Beleuchten			
Geb.9, Mairie Bertrange	A _{n,NGF}	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}	q _{h,b,Ref} *f _{H,NGF}	q _{c,b,Ref}	q _{l,b,Ref}			
01 Einzelbüro	755	18,2	18,6	13,1	26,9	21,0	12,1	ok	ok	fail
04 Sitzung	260	55,8	25,4	8,6	57,8	19,8	11,7	ok	fail	ok
15 Küche Lager, Vorbereit.	52	46,5	0,0	16,0	47,7	0,0	17,9	ok	-	ok
27 Ausstellung	120	44,6	30,0	3,1	46,6	10,0	3,9	ok	fail	ok
16 WC, Sanitär	100	74,4	0,0	2,4	82,7	0,0	3,0	ok	-	ok
19 Verkehrsfläche	559	22,8	0,0	1,0	30,2	0,0	2,2	ok	-	ok
20 Lager, Technik	524	23,4	0,0	0,6	34,1	0,0	0,7	ok	-	ok
Nutzung G	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
Summe / Gebäudewert	2.371	28,9	10,2	6,1	36,5	9,4	6,5	ok	fail	ok
Differenz					-20,9%	9,0%	-6,7%			

Fortsetzung Tabelle 66

	Fläche	Berechnet nach DIN V 18599			Anforderung - Klasse A			q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}
		Heizen	Kühlen	Beleuchten	Heizen	Kühlen	Beleuchten			
Geb.10, Maison Relais	A _{n,NGF}	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}	q _{h,b,Ref} *f _{H,NGF}	q _{c,b,Ref}	q _{l,b,Ref}			
08 Klassenzimmer	558	31,2	0,0	2,5	34,2	0,0	3,2	ok	-	ok
19 Verkehrsfläche	263	41,7	0,0	1,0	32,2	0,0	2,2	fail	-	ok
15 Küche Lager, Vorbereit.	96	41,7	0,0	18,6	50,8	0,0	17,9	ok	-	fail
20 Lager, Technik	76	36,3	0,0	0,6	36,4	0,0	0,7	ok	-	ok
16 WC, Sanitär	98	80,3	0,0	1,5	88,0	0,0	3,0	ok	-	ok
20 Lager, Technik	76	40,2	0,0	0,6	36,4	0,0	0,7	fail	-	ok
01 Einzelbüro	57	36,4	30,2	8,5	28,7	21,0	12,1	fail	fail	ok
04 Sitzung	32	66,7	21,3	8,7	61,6	19,8	11,7	fail	fail	ok
Summe / Gebäudewert	1.256	40,0	1,9	3,5	40,0	1,5	4,4	fail	fail	ok
Differenz					0,1%	31,1%	-19,8%			

	Fläche	Berechnet nach DIN V 18599			Anforderung - Klasse A			q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}
		Heizen	Kühlen	Beleuchten	Heizen	Kühlen	Beleuchten			
Geb.11, Schwimmbad	A _{n,NGF}	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}	q _{h,b,Ref} *f _{H,NGF}	q _{c,b,Ref}	q _{l,b,Ref}			
31 Sporthalle	950	65,3	0,0	14,2	67,1	0,0	15,2	ok	-	ok
01 Einzelbüro	38	13,6	0,0	23,7	26,9	0,0	12,1	ok	-	fail
16 WC, Sanitär	277	73,2	0,0	3,3	82,7	0,0	3,0	ok	-	fail
19 Verkehrsfläche	712	32,6	0,0	2,8	30,2	0,0	2,2	fail	-	fail
20 Lager, Technik	104	34,5	0,0	0,6	34,1	0,0	0,7	fail	-	ok
04 Sitzung	59	76,3	0,0	7,8	57,8	0,0	11,7	fail	-	ok
17 sonstige Aufenthaltsräume	152	46,9	0,0	4,1	32,3	0,0	8,8	fail	-	ok
Nutzung G	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
Summe / Gebäudewert	2.292	52,9	0,0	8,0	52,8	0,0	8,4	fail	-	ok
Differenz					0,2%	-	-4,8%			

Übersicht des Kennwertvergleichs

Folgend werden die Anforderungs- den Berechnungswerten gegenübergestellt. Gebäude mit geringeren A/V-Verhältnissen, als die durch die Teilenergiekennwerte unterstellten, (Geb.1, 2, 4, 7 und 9) erhalten einen deutlichen Bonus im Heizwärmebedarf, während es für Gebäude mit ungünstigerem A/V-Verhältnis schwerer oder nicht möglich ist, den Anforderungskennwert zu unterschreiten (5, 6, 8 und 10). Neben der Kompaktheit des Baukörpers spielt auch die Höhe des Verglasungsanteils eine wesentliche Rolle. Dies spiegelt sich gleichermaßen im elektrischen Kennwert für Beleuchtung und in den thermischen Kennwerten – insbesondere im Kühlenergiebedarf – wider. Die Gebäude 6, 9 und 10 haben einen deutlich höheren Fensteranteil als die übrigen Gebäude bzw. als durch die Teilkennwerte indirekt unterstellt. Bei hohen Fensterflächenanteilen wird es schwierig, den Anforderungswert für Kühlenergie zu unterschreiten.

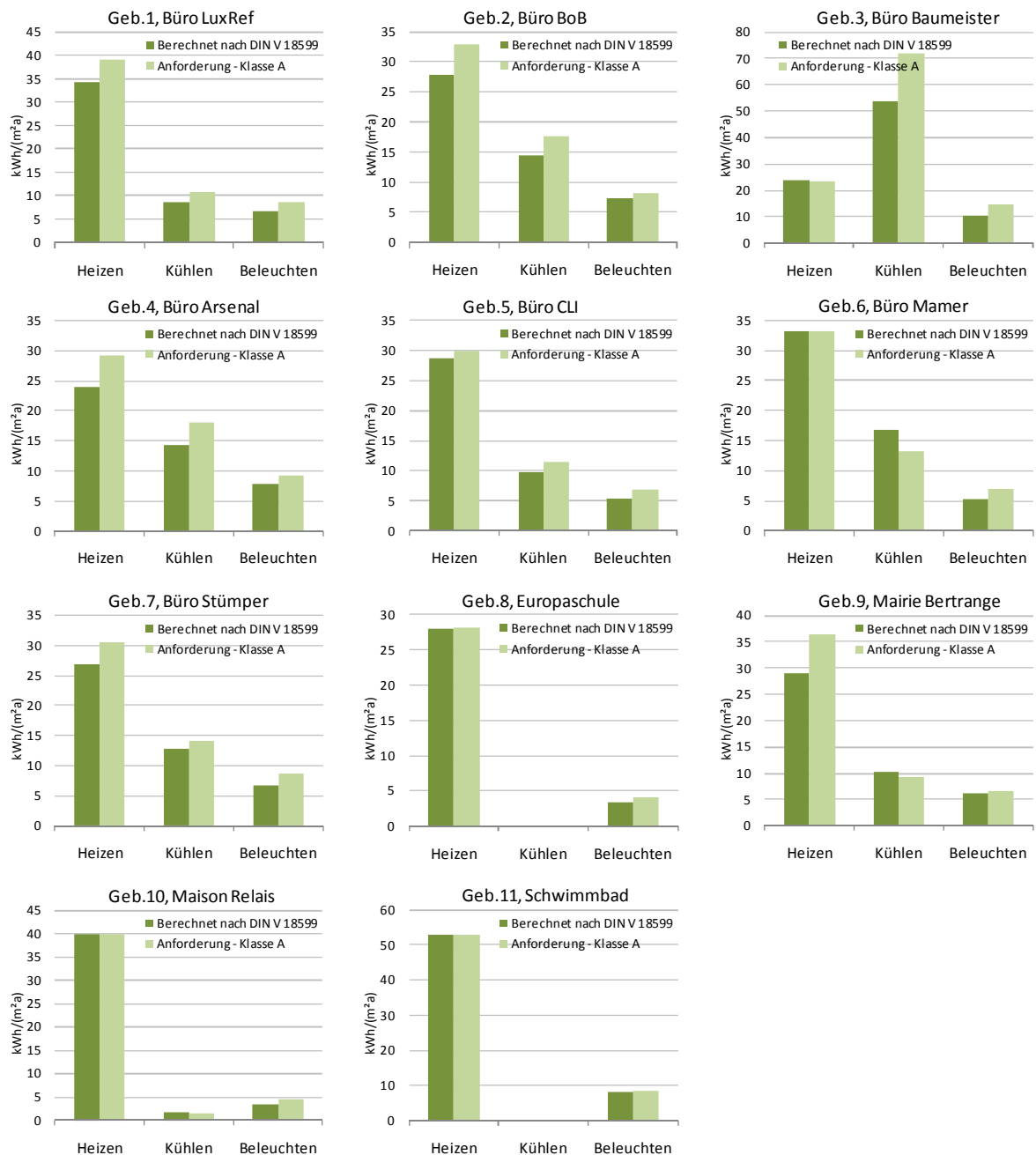


Abbildung 235: Vergleich berechneter Energiebedarfe für Heizen, Kühlen und Beleuchten nach DIN V 18599 mit den Anforderungswerten der Klasse A.

6.5 Diskussion der Ergebnisse

In folgender Tabelle werden die Gebäudedaten zusammengefasst dargestellt. Es zeigt sich, dass alle 11 Gebäude den gebäudebezogenen Teilenergiekennwert für Beleuchtung unterschreiten.

Betrachtet man die Ergebnisse auf Zonenebene, so wird der Beleuchtungskennwert in 56 von 75 Zonen eingehalten. Abweichungen innerhalb der Zonen ergeben sich bei sehr geringen oder keinen Fensterflächen im Gebäudeentwurf.

Beim Heizwärmebedarf unterschreiten 9 von 11 Gebäuden die vorberechneten Teilenergiekennwerte. Auf Zonenebene liegen 58 von 75 beheizten Zonen unterhalb der Anforderungswerte. Es findet (ebenso beim Beleuchtungsstrombedarf) eine Kompensation auf Gebäudeebene statt. In Gebäude 10 und 11 wird der Anforderungswert leicht um jeweils 0,1 kWh/(m²a) überschritten. Bei den Gebäuden 8 und 3 entspricht der Anforderungswert gleich dem Zielwert. Gründe hierfür sind energetisch ungünstigere Gebäudeentwürfe mit zum Teil hohen Verglasungsanteilen in einzelnen Zonen sowie in Gebäude 8 auch ein Gebäudegrundriss mit einer großen Fassadenabwicklung. Beispielsweise bewirkt in Gebäude 8 eine Reduzierung des Fensterflächenanteils⁴¹ von 75 auf 65 %, in den nach Westen orientierten Klassenräumen, eine Reduzierung des Kennwert um 1 kWh/(m²a). Bei Gebäuden mit geringeren A/V-Verhältnissen und/oder Fensterflächenanteilen, als durch die statistischen Daten unterstellt, zeichnet sich ein tendenzielles Unterschreiten der Zielwerte ab.

Beim Kühlenergiebedarf zeigt sich, dass für 3 der 9 gekühlten Gebäude die Anforderungswerte nicht eingehalten werden. Die Abweichung beträgt bei den Gebäuden 6 und 10 etwa 30 %. Betrachtet man den Gebäudeentwurf von Gebäude 6, zeigt sich, dass der Fensterflächenanteil der gekühlten Zonen mit 74 %⁴¹ sehr hoch ist, was sich natürlich in einem höheren Kühlenergiebedarf widerspiegelt. Gleichmaßen liegen die berechneten Kennwerte für Beleuchtung (aufgrund der besseren Tageslichtversorgung) deutlich unterhalb der Anforderungen (–26 % in Zone 1 und –33 % in Zone 8). Für Zone 1 (02 Gruppenbüro) beträgt die auf die Nettogrundfläche bezogene Fensterfläche 0,51 m²/m², für Zone 8 (04 Sitzung) 0,78 m²/m². Vergleicht man diese Werte mit denen der statistischen Analysen, so liegen die spezifischen Fensterflächenanteile der beiden Zonen deutlich über dem zu erwartenden Durchschnittswert für Bürozone mit 0,31 bis 0,36 m²/m². In [106] untersuchte *Hoffmann* bestehende Gebäude hinsichtlich der Ausarbeitung von Strategien für passive Kühlkonzepte. Hier ergaben Nutzerbefragungen hohe Zustimmung für Fenstergrößen von 0,34 m²/m²; Fensterflächenanteile zwischen 0,15 und 0,24 m²/m² führten zur Einschätzung „gerade richtig“. Setzt man nun in diesen Zonen 1 und 8 moderatere Fensterflächenanteile (0,4 m²/m²) an, so werden in beiden Zonen die Zielwerte erreicht.

Für die Gebäude 9 und 10 sorgt neben hohen Fensterflächenanteilen gekühlter Zonen (> 70 %) ein weiterer Effekt für hohe relative Unterschiede. Es sind jeweils nur zwei kleine gekühlte Zonen in den Gebäuden vorhanden. Dementsprechend ergeben sich niedrige gebäudebezogene Kühlenergiebedarfswerte mit rund 2,0 kWh/(m²a) für Gebäude 10 und 10,2 kWh/(m²a) für Gebäude 9. Die Anforderungswerte gemäß den Teilenergiekennwerten der Klasse A liegen für das Gebäude 10 bei rund 1,5 kWh/(m²a) und für Gebäude 9 bei 9,4 kWh/(m²a). Es sind also keine großen absoluten Differenzen vorhanden. Durch Anpassung der Fensterflächenanteile auf jeweils unter 60 % werden die Gebäudekennwerte aller gekühlten Gebäude unterschritten.

⁴¹ Auf die Außenfassade bezogener Fensterflächenanteil.

Tabelle 67: Vergleich gebäude- und zonenbezogener Energiekennwerte für 11 Gebäude. Für jede Energieanwendung sind die Anzahl der Gebäude und die Anzahl der Zonen aufgeführt, die unter Annahme gleicher Randbedingungen für Bau- und Anlagentechnik die Teilenergiekennwerte unterschritten haben. Die durchschnittliche (\emptyset) Differenz gibt an, wie hoch die mittlere Abweichung vom Teilenergiekennwert ist, betrachtet über alle Gebäude. In den mit „fail“ markierten Bereichen werden die Anforderungen nicht eingehalten.

Gebäude	Heizen	Kühlen	Beleuchten
	q _{h,b}	q _{c,b}	q _{l,b}
Geb.1, Büro LuxRef	ok -12%/-4,8	ok -21%/-2,3	ok -23%/-1,9
Geb.2, Büro BoB	ok -15%/-5,1	ok -18%/-3,2	ok -10%/-0,8
Geb.3, Büro Baumeister	ok 0%/0	ok -25%/-1,8	ok -30%/-4,4
Geb.4, Büro Arsenal	ok -18%/-5,3	ok -21%/-3,8	ok -16%/-1,5
Geb.5, Büro CLI	ok -5%/-1,4	ok -15%/-1,7	ok -21%/-1,4
Geb.6, Büro Mamer	ok 0%/0	fail 27%/3,5	ok -27%/-1,8
Geb.7, Büro Stümper	ok -12%/-3,6	ok -8%/-1,2	ok -21%/-1,8
Geb.8, Europaschule	ok -0,6%/-0,2	- -	ok -17%/-0,7
Geb.9, Mairie Bertrange	ok -21%/-7,6	fail 9%/0,8	ok -7%/-0,4
Geb.10, Maison Relais	fail 0%/0,1	fail 31%/0,5	ok -20%/-0,9
Geb.11, Schwimmbad	fail 0,2%/0,1	- -	ok -5%/-0,4
Gebäude mit Energiebedarf	11	9	11
davon unterhalb der Teilenergiekennwerte	9	6	11
idem in %	82%	67%	100%
Zonen mit Energiebedarf	75	21	75
davon unterhalb der Teilenergiekennwerte	58	15	56
idem in %	77%	71%	75%
\emptyset Differenz zum Teilenergiekennwert %/kWh/(m²a)	-8%/-2,5	-5%/-2,3	-18%/-1,5

Bei allen Gebäuden wird der Zielwert für den Heizwärmebedarf um etwa 8 % bzw. 2,5 kWh/(m²a) unterschritten. Im Kühlenergiebedarf zeigt sich ein geringerer Abstand zum Zielwert von nur 5 % respektive 2,3 kWh/(m²a). Beim Beleuchtungsstrombedarf ist der relative Abstand mit 18 % am größten, wobei der absolute Unterschied nur 1,5 kWh/(m²a) beträgt. Hierbei muss man beachten, dass auf alle Anforderungswerte ein Zuschlag von 10 % gerechnet wird, um die Klassengrenzen zu definieren. Der elektrische Strombedarf für Beleuchtung beeinflusst die Höhe des Heizwärme- und Kühlenergiebedarfs - gerade bei sehr geringen Bedarfswerten. Ein etwas niedriger berechneter Beleuchtungsstrombedarf führt direkt zu einer Erhöhung des Heizwärmebedarfs, da weniger Abwärme zur Verfügung steht. Der Kühlenergiebedarf sinkt ebenfalls. Wird ein geringerer Beleuchtungsstrombedarf jedoch durch einen größeren Fensterflächenanteil erreicht, so kann der Kühlenergiebedarf ebenfalls steigen. Handelt es sich um ein überwiegend angebautes Gebäude, so wird der vortabellierte Vergleichswert für den Heizwärmebedarf tendenziell höher liegen als der berechnete für das Gebäude. Es kann überlegt werden, für diese besondere Situation weitere Differenzierungen bei den Kennwerten zu erarbeiten.

Insgesamt zeigt sich, dass es mit Teilenergiekennwerten möglich ist, gebäudespezifische Richtwerte zu generieren. Die Kennwerte wurden nach der Rechenvorschrift in DIN V 18599 Ausgabe 2007 ermittelt. Dementsprechend liegen auch die dort im Teil 10 beschriebenen Nutzungsrandbedingungen zugrunde. Die Struktur der Gebäudedatenbank und das Rechenprogramm zur Bestimmung der Zielwerte sind direkt miteinander verbunden. So ist es möglich, auch neue Rechengänge, andere Nutzungsprofile (z. B. die aus DIN V 18599 Teil 100) oder für bestimmte Fälle separate Zielwerte als Vergleichswerte zu ermitteln.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung von Vereinfachungen für Mehr-Zonen-Bilanzen, mit denen der Eingabeaufwand verringert werden kann und gleichermaßen die Möglichkeit einer energetischen Optimierung im Detail erhalten bleibt. Zudem wird ein Verfahren zur Generierung eines Energiekennwertkatalogs beschrieben, mit dessen Hilfe die energetische Qualität von Gebäudeentwürfen, die nach DIN V 18599 berechnet wurden, bewertet werden kann.

Im Folgenden werden die wesentlichen Erkenntnisse der Arbeit kurz zusammengefasst, essentielle Aussagen hervorgehoben und Schlussfolgerungen für die Anwendbarkeit und die praktische Umsetzung aufgezeigt. Dies betrifft die *Vereinfachungen für Mehr-Zonen-Bilanzen* und die Bestimmung von *Zusatzkriterien zur energetischen Bewertung von Gebäuden*.

7.1 Vereinfachungen für Mehr-Zonen-Bilanzen

Bei der energetischen Bilanzierung von Gebäuden nach DIN V 18599 müssen Gebäude in der Regel aufgrund der Nutzung in unterschiedliche Zonen aufgeteilt werden. Die Zonenbilanzierung macht es erforderlich, dass die Flächen der thermischen Gebäudehülle nicht mehr für das gesamte Gebäude, sondern je Zone definiert werden müssen. Dies erhöht den Eingabeaufwand erheblich, da zunächst die Teilflächen der Gebäudehülle ermittelt werden und auf die Zonen aufgeteilt werden müssen. Zudem wächst der Arbeitsaufwand bei Änderungen der Geometrie, der Raumanordnung oder den Eigenschaften der Bauteile erheblich. Zur Identifikation eines möglichen Zeiteinsparpotentials werden mehrere teilklimatisierte Gebäude nach den Rechenregeln der DIN V 18599 bewertet, die dafür erforderlichen Zeitbedarfe ermittelt und durchzuführenden Arbeitsgängen zugeordnet. Es zeigte sich, dass der Zeitbedarf zur detaillierten Ermittlung und Aufteilung der Gebäudehüllflächen etwa 50 % beträgt und dass hier ein großes Einsparpotential vorhanden ist.

Vereinfachte Hüllflächenverteilung

Aktuell diskutierte Vereinfachungen beschäftigen sich im Wesentlichen mit der Anwendung des 1-Zonen-Modells, welches auch für wenige Gebäudetypen im Rahmen der Energieeinsparverordnung genutzt werden kann. Das 1-Zonen-Modell ist kompromissbeladen, da die wesentlichen Vorteile der Mehr-Zonen-Bilanz verloren gehen und Aussagen zum real zu erwartenden Energiebedarf des Gebäudes nur bedingt ableitbar sind.

Bei dem in Abschnitt 2 vorgestellten *vereinfachten Verfahren* wird die Hüllfläche eines Gebäudes und damit verbundene Stoffdaten in Anlehnung an das 1-Zonen-Modell erfasst und den Zonen über einen Verteilungsalgorithmus zugewiesen, sodass die eigentliche Berechnung in der Mehr-Zonen-Bilanz erfolgen kann. Eine grundlegende Arbeitshypothese bei der Erarbeitung des vereinfachten Verfahrens ist, dass eine ausreichend gute Korrelation zwischen der thermischen Hüllfläche und der Energiebezugs- bzw. Zonenfläche vorliegt und dass eine automatisierte Verteilung der Hüllflächen auf die Zonen einen überschaubaren Fehler im Energiebedarf bewirkt. Die Arbeitshypothese wird sowohl mit theoretischen Grundlagen als auch anhand von Fallstudien überprüft.

Für das vereinfachte Verfahren zur Hüllflächenverteilung wird ein Gebäude in zwei Ebenen gegliedert. Die erste Ebene bildet die *Gebäudeebene*; hier wird das Flächendatenmodell der thermischen Gebäudehülle hinterlegt. In der zweiten Ebene, der *Zonenebene*, wird die

Nutzungsstruktur abgebildet. Dazu wird das Gebäude entsprechend seiner Nutzung unterteilt und Zonen nach den Regeln für Mehr-Zonen-Bilanzen gebildet.

Das vereinfachte Verfahren zur Hüllflächenverteilung dient als Schnittstelle zwischen der *Gebäude-* und der *Zonenebene*. Die Gebäudehüllflächen und die damit verbundenen Stoffdaten werden automatisiert von der *Gebäudeebene* auf die *Zonenebene* transferiert. Die Flächen- und Stoffwerte der thermischen Gebäudehülle werden in vier Bauteilkategorien eingeteilt (für Fenster differenziert je nach Orientierung) und Summenwerte gebildet. In Abhängigkeit der Größe der Zonenfläche werden die Daten automatisiert auf die Nutzungszonen des Gebäudes verteilt.

Es stehen zwei Methoden zur Diskussion. Beim *einfachen Verfahren* erfolgt die Verteilung der Hüllfläche ohne Korrektur und nur in Abhängigkeit der Zonenfläche. Das *erweiterte Verfahren* berücksichtigt darüber hinaus das Vorkommen eines Bauteiltyps in einer Zone und korrigiert die Zuweisung in Abhängigkeit davon (Rückkopplung aus den Zonen). Die Zonenfläche wird in diesem *erweiterten Verfahren* über Wichtungsfaktoren, die die Höhe des Vorkommens eines Bauteiltyps in einer Zone beschreiben, modifiziert und somit die Flächenzuweisung beeinflusst. Die Wichtungsfaktoren sind mit der maximalen Ausprägung „kein, gering, mittel, viel“ für das Vorkommen eines Bauteiltyps in einer Zone angegeben. Abbildung 236 zeigt schematisch das Modell der Datentransformation.

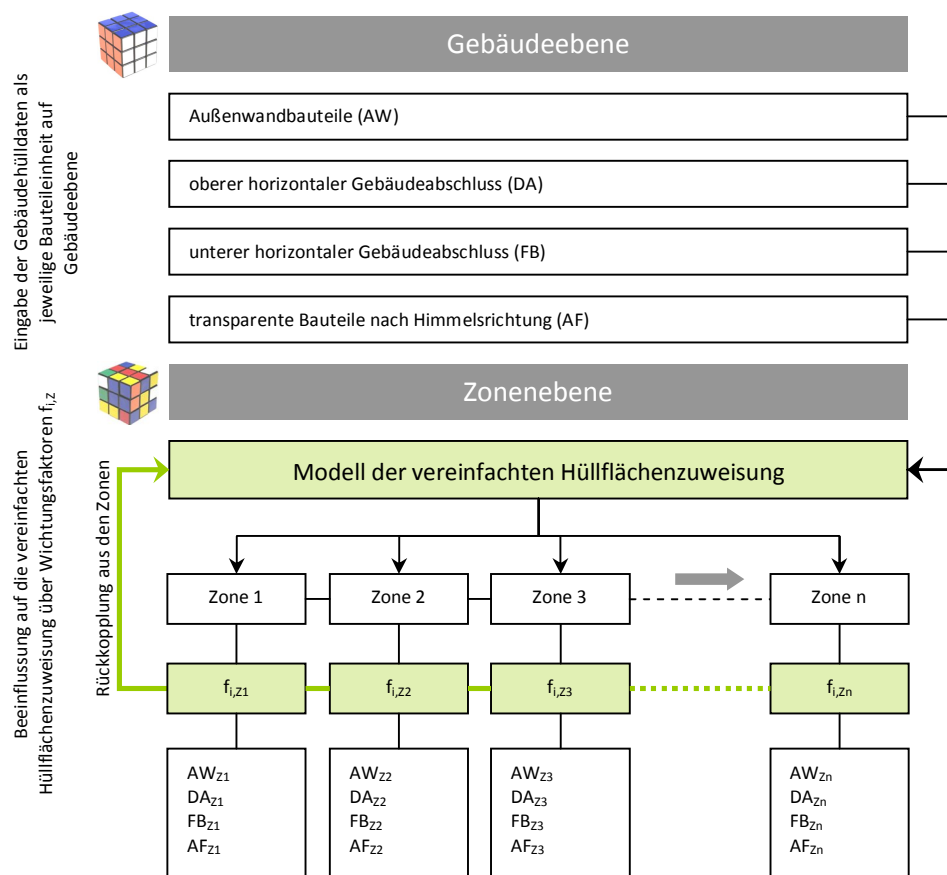


Abbildung 236: Schema der Datentransformation der Gebäudehülldaten von Gebäude- auf Zonenebene

Oftmals liegen zum Zeitpunkt der Baugenehmigung nicht alle Informationen vor, um eine detaillierte Berechnung in vollem Umfang zu ermöglichen. Das vereinfachte Verfahren ist so konzipiert, dass das Gebäudedatenmodell im Rahmen der fortschreitenden Projektbearbeitung weiter präzisiert und detailliert werden kann, ohne dass die zuvor hinterlegten Daten verloren gehen.

Genauigkeit

Im Rahmen von Parameteruntersuchungen wurden die wesentlichen Einflussfaktoren identifiziert, die bei der Verteilung der Gebäudehüllflächen auf die Zonen einen besonders großen Einfluss auf die Energiebilanzen haben. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse wurden in die Prozeduren integriert. Eine wesentliche Erkenntnis der Parameterstudie ist, dass die Summe der solaren Gewinne im Gebäude möglichst wenig beeinflusst werden darf, wenn die Hülldaten von Gebäude- auf Zoneebene transferiert werden.

Das Verfahren wurde an elf Gebäuden mit unterschiedlichem Teilklimatisierungsgrad angewendet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Fehler im Energiebedarf gering und für die frühe energetische Bewertung von Gebäuden im Rahmen der Nachweiserstellung ausreichend präzise sind. Verglichen mit einer detaillierten Berechnung ergeben sich bei der Anwendung des *einfachen Verfahrens* durchschnittliche Abweichungen im Primärenergiebedarf von etwa 6,2 % respektive 9,3 kWh/(m²a). Nutzt man das *erweiterte Verfahren* in seiner einfachsten Anwendung (2 Faktoren), so reduzieren sich, verglichen mit einer detaillierten Zonierung, die mittleren Fehler auf 1 % bzw. 1,5 kWh/(m²a) (vgl. Abbildung 237 und Abbildung 238).⁴² Dabei muss man beachten, dass sich der Fehler zur detaillierten Berechnung reduziert, wenn weitere Energieanwendungen, wie Warmwasserbereitung, Strombedarf von Lüftungsanlagen und weitere Hilfsenergien, hinzukommen. Diese werden sowohl beim *vereinfachten Verfahren* als auch bei der detaillierten Berechnung gleich bilanziert. Folgende Abbildungen zeigen jeweils den kleinsten möglichen Fehler, der bei Anwendung des *einfachen* und *erweiterten Verfahrens* erreichbar ist.

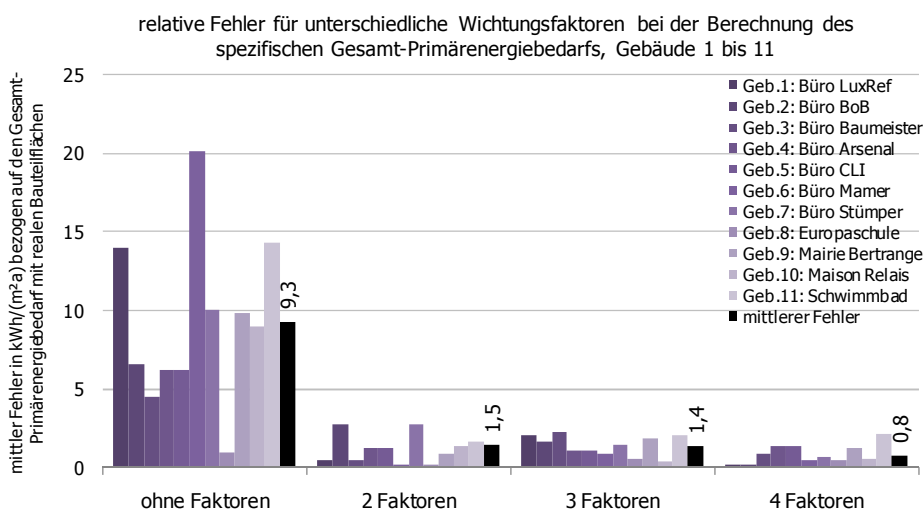


Abbildung 237: Darstellung des mittleren absoluten Fehlers im Gesamt-Primärenergiebedarf bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren, alle Gebäude 1 bis 11

⁴² Der Primärenergiebedarf wurde unter Zugrundelegung einer standardisierten Anlagentechnik ermittelt, die sich an der Referenzausstattung für Nichtwohngebäude nach EnEV orientiert.

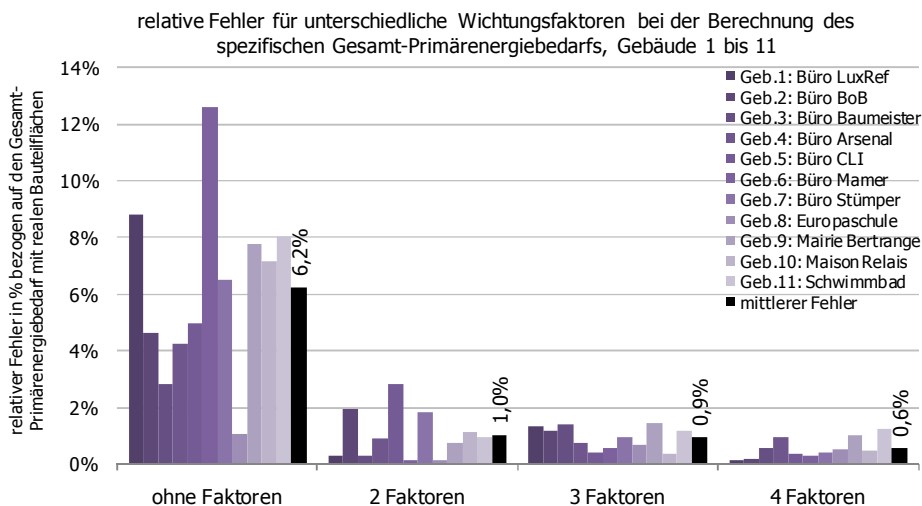


Abbildung 238: Darstellung des mittleren relativen Fehlers im Gesamt-Primärenergiebedarf bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren, alle Gebäude 1 bis 11

Praktische Anwendung

In der aktuellen Energieeinsparverordnung für Wohn- und Nichtwohngebäude (EnEV 2009) ist das 1-Zonen-Modell für bestimmte Gebäude und Nutzungstypen zugelassen [14]. Im 1-Zonen-Modell werden alle in einem Gebäude vorkommenden Nutzungen dem Hauptnutzungsprofil zugeteilt und die Berechnung wird unter Anwendung der Randbedingungen des Hauptnutzungsprofils durchgeführt. Bei nicht klimatisierten Gebäuden ergeben sich für die Heizwärmebilanz so relativ überschaubare Abweichungen, da in der Regel alle Zonen beheizt sind. In den Bereichen Beleuchtungsstrom oder bei der Berechnung des Strombedarfs für Lüftungsanlagen haben zonenspezifische Besonderheiten einen großen Einfluss auf den berechneten Gesamtenergiebedarf [21]. Die Anwendung des 1-Zonen-Modells, auch im Referenzgebäude, kompensiert diesen Fehler etwas bei der Bewertung der Gesamt-Energieeffizienz eines Gebäudes. Das kann jedoch dazu führen, dass zum Teil ein sehr realitätsferner Energiebedarf für das Gebäude berechnet wird. Des Weiteren ist eine differenzierte Bewertung der Anlagentechniken nur schwer möglich. Rückschlüsse auf erzielbare Energieeinsparungen können im Rahmen der Optimierung des Gebäudes verzerrt dargestellt werden. Detaillierte Optimierungsvorschläge im baulichen oder anlagentechnischen Bereich sind unter Umständen nur noch sehr eingeschränkt möglich. Bei Anwendung des reinen 1-Zonen-Modells gehen die Vorteile der Mehr-Zonen-Bilanzierung, wie nach DIN V 18599 möglich, zum Teil verloren.

Die Anwendung des *einfachen Verfahrens* zur Verteilung der Gebäudehüllfläche ermöglicht es, unterschiedlichen Nutzungsstrukturen und Anlagentechniken in einem Gebäude Rechnung zu tragen. Bei der Datenaufnahme der Gebäudehülle würde das *einfache Verfahren*, im Vergleich zum 1-Zonen-Modell, zu keinem Mehraufwand führen. Insbesondere, wenn die Randbedingungen zum vereinfachten Berechnungsverfahren nach Anlage 2 (Abschnitt 3) der EnEV 2009 auch erst ermittelt werden müssen.

Das *erweiterte Verfahren* kann insbesondere dann Anwendung finden, wenn man detailliertere Ergebnisse zum Energiebedarf eines Gebäudes benötigt oder wenn es sich um ein teilklimatisiertes Gebäude handelt. Die Anwendung von 2 Faktoren, also eine generelle Abfrage des Vorhandenseins eines Bauteiltyps in einer Zone, führt bereits zu guten Übereinstimmungen im Energiebedarf. Insbesondere können hohe Abweichungen (Ausreißer) vom realen Wert reduziert werden, was eine

völlige Fehleinschätzung verringert. Die Nutzung von 2 Faktoren als „binäres System“ (Bauteiltyp vorhanden = 1; Bauteiltyp nicht vorhanden = 0) ermöglicht zudem eine zweifelsfreie Zuordnung. Bei Anwendung von mehr als zwei Wichtungsfaktoren ist eine Einschätzung bei komplexen Grundrissen oder bei Zonen, die sich aus vielen einzelnen Räumen zusammensetzen, nicht immer leicht möglich. Zur praktischen Anwendung des Konzeptes wurden mehrere Methoden und Arbeitshilfen entwickelt, mit denen diese Bewertung, im Rahmen der ohnehin durchzuführenden Zonierung, erfolgen kann. Für die Anwendung im Nachweisverfahren ist davon auszugehen, dass das *erweiterte Verfahren* mittels 2 Faktoren gebäudebezogene Ergebnisse mit vertretbaren Fehlern im Energiebedarf liefert. Zusätzlich zu diesen 2 Faktoren zeigte sich, dass die Berücksichtigung einer Bagatellgrenze bei der Zuweisung der Fensterflächen eine deutliche Verbesserung mit sich bringt. Hierbei ist einer Zone keine Fensterfläche einer bestimmten Orientierung zuzuweisen, wenn der auf die Zonenfläche bezogene Fensterflächenanteil weniger als $0,03 \text{ m}^2/\text{m}^2$ beträgt. Diese Zonen sind in den Grundrissen schnell identifiziert. Unter Anwendung dieser Randbedingungen für das *erweiterte Verfahren* ergeben sich mittlere Fehler im Primärenergiebedarf von 1,1 % respektive $1,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Das Ziel der Untersuchungen war die Bewertung, ob für die vereinfachte Berechnung des Gebäudeenergiebedarfs im Rahmen der Erstellung eines Energieausweises die Flächen- und Stoffwerte der Gebäudehülle auf Gebäudeebene definiert und dann nach einem vorgegebenen Schlüssel (*einfaches* und *erweitertes Verfahren*) automatisiert auf die Zonen aufgeteilt werden können. Grundsätzlich lässt sich die Anwendung des *vereinfachten Verfahrens* bestätigen. Die Zeitersparnis bei Anwendung der Vereinfachungen beträgt etwa 30 %. Bei komplexeren, vielzonigen Gebäuden ist die Einsparung tendenziell höher einzuschätzen.

Einsatzgrenzen

Für die praktische Umsetzung ist insbesondere darauf zu achten, dass bei Transformation der Hülldaten von Gebäude- auf Zonenebene die solaren Gewinne nicht beeinflusst werden. Das führt dazu, dass der Sonnenschutz bereits auf Gebäudeebene erfasst werden muss und unterschiedliche Fenstertypen nicht nur in Abhängigkeit des U-Wertes, sondern auch in Abhängigkeit des Energiedurchlassgrades bzw. der Effizienz des Sonnenschutzes erfasst werden müssen. In der praktischen Anwendung kann dies über eine kombinierte Bauteildefinition von U-Wert und g-Wert bei der Erfassung der Fensterflächen realisiert werden.

Die gewichtete Verteilung der Gebäudehüllflächen kann in bestimmten Grenzfällen nicht immer sinnvoll angewendet werden. Für Atrien mit extrem hohen Glasanteilen und gleichzeitig sehr niedrigen Nettogrundflächen reicht eine Gewichtung über Faktoren unter Umständen nicht aus. Um solche Fälle dennoch abbilden zu können, muss in der Umsetzung die Möglichkeit einer direkten Eingabe dieser Sonderbereiche auf Zonenebene gegeben sein. Das *vereinfachte Verfahren* lässt Detailsangaben auf Zonenebene zu, und die Verteilung der übrigen Gebäudehüllflächen erfolgt weiter nach den Regeln der Vereinfachungen.

Da die Auswertung am Beispiel von elf Gebäuden erfolgte, kann noch keine statistisch abgesicherte Aussage über die Genauigkeit des Verfahrens getroffen werden. Jedoch kann eine Tendenz und ein guter Eindruck vermittelt werden, welche typischen Fehler durch die vereinfachte Flächenzuweisung zu erwarten sind. Die analysierten Daten haben gezeigt, dass für die meisten Anwendungsfälle eine gute Genauigkeit für die Gebäudebewertung erreicht werden kann.

Ausblick auf die Weiterverarbeitung: Mögliche Anwendung in Luxemburg

Während in Luxemburg für Wohngebäude eine eigene Berechnungsmethode und ein Bewertungsverfahren ausgearbeitet wurden, soll im Bereich der Nichtwohngebäude die DIN V 18599 als Grundlage der Bewertung der Gesamtenergieeffizienz für Neubauten dienen [4][116]. Die im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Verfahren sollen als Grundlagen für die Ausarbeitung von Vereinfachungen in der zukünftigen Luxemburger Energieeinsparverordnung für Nichtwohngebäude (LuxEeB-f, Bâtiment fonctionnels) zur energetischen Bewertung von neuen Gebäuden genutzt werden.

7.2 Zusatzkriterien für die energetische Bewertung von Gebäuden

Die Nutzung von spezifischen gebäudebezogenen Energiekennwerten hat bei der energetischen Bewertung von Gebäuden eine lange Tradition. Insbesondere für bestehende Gebäude existieren eine Reihe etablierter Systeme (AGES, SIA 380, MEG etc.) [88][96][95]. Die Anwendung fester Anforderungswerte kann für Gebäude mit einer von der durchschnittlichen Nutzung abweichenden Struktur jedoch zu Fehleinschätzungen führen. Seit der EnEV 2007 werden Nichtwohngebäude unter anderem auch deshalb nach dem Referenzgebäudeverfahren bewertet. In der überarbeiteten EnEV 2009 wird die Anwendung dieses Verfahrens auch auf Wohngebäude ausgeweitet. Das Referenzgebäude ist ein virtuelles Gebäude, das architektonisch (unter anderem Orientierung, Größe, Kubatur) und in der Nutzung identisch zum nachzuweisenden bzw. zu bewertenden Gebäude ist. So wird das energetische Verhalten des zu bewertenden Gebäudes mit seinen geometrischen und nutzungsbedingten Eigenschaften, jedoch unter Verwendung einer vom Gesetzgeber definierten Referenzbauweise und -ausstattung berechnet (baulicher Wärmeschutz, Energieversorgung, Lüftung, Kühlung, Steuerung und Regelung). Der mit diesen Anforderungen berechnete Referenzwert für Primärenergie markiert die Anforderungsgrenze. Dieses Verfahren hat hinsichtlich einer Bewertung von Gebäuden mit unterschiedlichen Nutzungsstrukturen deutliche Vorteile. Geht es aber um die energetische Bewertung eines Gebäudeentwurfs, so liefert die Referenzgebäudemethode nur unzureichende Informationen, da der Entwurf gewissermaßen als durchlaufender Posten in den Bilanzen behandelt wird. Er wird im zu bewertenden als auch im Referenzgebäude gleich hinterlegt.

Angepasste Kennwerte

Im Rahmen der Erstellung von Energieausweisen und -nachweisen nach EnEV ist die Rechenmethodik der DIN V 18599 anzuwenden. Die Untersuchung von vorhandenen Gebäudekennwerten im Hinblick auf die Bewertungsmöglichkeit von Baukörper und Nutzung führt zur notwendigen Entwicklung eines angepassten Kennwertkataloges. Wenn vergleichende Kennwerte für Gebäude genutzt werden sollen, ist es erforderlich, dass diese mit dem gleichen Berechnungsverfahren ermittelt worden sind, mit dem auch der rechnerische Nachweis erstellt wurde. Dadurch wird gewährleistet, dass man die energetische Qualität des Gebäudeentwurfs freischneiden kann.

Um darüber hinaus den großen Unterschied bei der Nutzungszusammensetzung von Gebäuden gerecht zu werden und dennoch klar formulierte Ziele definieren zu können, ist es erforderlich, dass die Vergleichswerte für alle unterschiedlichen Nutzungen der DIN V 18599 ermittelt werden. Auf der Basis solcher Vergleichskennwerte kann ein gebäudebezogener Anforderungswert bestimmt werden, der sich aus der Nutzungsstruktur des Gebäudes ableitet. Bei der Aggregation der Teilkennwerte zu einem Gebäudekennwert kann dabei konzeptionell auf bereits etablierte Systematiken

zurückgegriffen werden. Die im Rahmen der Nachweiserbringung berechneten Energiebedarfskennwerte nach DIN V 18599 werden ebenfalls zonenweise erfasst und ein gebäudebezogener Ist-Wert bestimmt, der dem jeweiligen Vergleichswert für die Energieanwendungen Heizen, Kühlen und Beleuchten gegenübergestellt werden kann. Der energetische Zielwert für ein Gebäude basiert auf der eingeforderten Nutzung und verändert sich nicht mit der gewählten architektonischen Lösung.

Gebäudedatenbank und Hüllflächen

Für die Bestimmung solcher zonenbezogenen Vergleichswerte sind neben typischen bau- und anlagentechnischen Randbedingungen auch Aussagen über typische Hüllflächen bzw. Gebäudegeometrien erforderlich und müssen unter bestimmten Annahmen zur Verteilung der Gebäudehüllfläche ermittelt werden. Hierfür wurde eine Stichprobe von 159 Gebäuden statistisch ausgewertet und Aussagen über typische Hüllflächenverteilung abgeleitet. Der Vergleich mit realen Gebäuden und Analysen anderer Schätzverfahren zeigt, ebenso wie der Abgleich mit Angaben aus der Literatur, eine gute Tendenz, dass aus der Gebäudestichprobe typische und charakteristische Hüllflächen abgeleitet werden können. Die Festlegung typischer Hüllflächen zur Ermittlung der Teilenergiekennwerte orientiert sich derzeit am Querschnitt aller untersuchten Gebäudeentwürfe der Stichprobe. Ist ein Gebäude energetisch ungünstiger entworfen, so wird es schwerer die Anforderungswerte einzuhalten bzw. muss an anderer Stelle eine Kompensierung stattfinden.

Wie Parameteruntersuchungen in Abschnitt 3 zeigten, führt eine unscharfe Verteilung opaker Flächen zu geringen Fehlern im Heizwärme- und Kühlenergiebedarf. Der Beleuchtungsstrombedarf ist davon nicht betroffen. Die Berechnung von Energiekennwerten mit einem für ein Gebäude typischen Flächenanteil kann demnach durchgeführt werden. Dies bestätigte sich auch durch die im Rahmen dieser Studie durchgeführten Vergleichsrechnungen.

Bei den transparenten Flächen ist dieser Einfluss, insbesondere bei der Kühlenergiebilanz und bei der Beleuchtung, höher zu bewerten. Durch Auswertung der Gebäudestichprobe wurden typische Fensterflächenanteile für alle 159 Gebäude bestimmt. Die zonenbasierten Auswertungen an 22 Gebäuden zeigten, dass in Bereichen der Hauptnutzungen in der Regel mehr Fensterflächen vorkommen als in Nebennutzungsbereichen. Aufbauend auf dieser Erkenntnis werden die Fensterflächen nutzungsspezifisch korrigiert.

Man muss allerdings beachten, dass die zonenbasierte Auswertung bisher auf der Basis von nur 22 Gebäuden mit insgesamt 169 Zonen erfolgt ist und somit statistisch noch nicht ausreichend abgesichert ist. Für einige Nutzungsprofile sind keine Daten vorhanden.

In der Gebäudedatenbank sind die relevanten Daten hinterlegt, die zur Bestimmung von zonenbezogenen Kennwerten erforderlich sind. Die daraus abgeleiteten Kennwerte dienen als erste Vorlage zur energetischen Bewertung von Projekten. In diesem Zusammenhang muss die im Rahmen dieser Arbeit erstellte Datenbank fortgeführt werden, um zukünftig präzisere Anforderungswerte für unterschiedliche Nutzungen zu bestimmen. Insbesondere für die Bestimmung typischer Fensterflächenanteile je Nutzungsprofil können weitere zonenbezogene Gebäudedaten hilfreich sein.

Bestimmung von Teilkennwerten

Nutzenergiekennwerte für Gebäudezonen beschreiben ausschließlich die energetische Qualität eines Bauwerks, nicht die der Energieversorgung. Da aus Gründen der Lebenszyklusbetrachtung eine hohe energetische Qualität eines Bauwerks in der Regel als prioritäres Planungsziel betrachtet werden sollte, ist die Konzentration auf Nutzenergie in der frühen Planungsphase kein Nachteil.

Die Teilenergiekennwerte für Heizen, Kühlen und Beleuchten wurden für alle Nutzungsprofile unter Annahme gleicher Randbedingungen nach DIN V 18599 berechnet. Für die Höhe des Heizenergiekennwerts spielen die Transmissionsverluste eine wesentliche Rolle. Da im Rechenmodell die opaken Gebäudehüllflächen über alle Zonen eines Gebäudes gleich verteilt angenommen werden, kann ein Zonenkennwert alleinstehend nicht immer treffend sein. Sind Zonen beispielsweise innen liegend angeordnet, ergeben sich entsprechend geringere Transmissionswärmeverluste. Der Heizwärmebedarf wird dann überwiegend von dem Mindestaußenluftvolumenstrom definiert. Da die Teilkennwerte zonenbezogen sind, muss die Grenzwertbildung unter Berücksichtigung der gesamten thermischen Hüllfläche gebildet werden. Aggregiert man die Zonenkennwerte auf Gebäudeebene, so kompensieren sich diese Unschärfen. Lediglich in Zonen mit sehr hohen internen Lasten, wie beispielsweise ein Serverraum, sind die Unterschiede größer, wenn sie vollkommen innen liegen. Da es sich hierbei meist um geringe Flächenanteile eines Gebäudes handelt, kann der Fehler akzeptiert werden. Um auch unterschiedlich große Gebäude bewerten zu können, ist eine Korrektur des Zielwertes für den Heizwärmebedarf erforderlich. Dazu wurde ein Verfahren beschrieben, mit dem der Anforderungswert des Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit der Nettogrundfläche des Gebäudes modifiziert wird.

Der Kühlenergiebedarf wird maßgeblich von den nicht zu Heizzwecken nutzbaren Gewinnen beeinflusst. Der Einfluss opaker Bauteile ist insbesondere bei gut gedämmten Gebäuden relativ gering. Die Kennwerte sind für typisch vorkommende Fensterflächen bestimmt worden. Die auf Zonenebene durchgeführten Analysen zeigen, dass die Unterschiede zu erwartender Fensterflächen in Hauptnutzungszonen (Büro, Klassenzimmer etc.) geringer sind als beispielsweise für Verkehrsflächen. Das legt die Hypothese nahe, dass mit steigender Gebäudegröße auch die untergeordneten Nutzungen in das Gebäudeinnere verlagert werden, während man versucht, die Hauptnutzungen, wenn möglich, in Fassadennähe anzuordnen. Die nach Nutzungsprofil differenzierten Fensterflächen berücksichtigen diesen Zusammenhang. Dies hat im gleichen Maße auch Auswirkungen auf die Tageslichtversorgung bzw. auf den berechneten Beleuchtungsstrombedarf.

Die Energiebilanz nach DIN V 18599 folgt einem integralen Ansatz. Dies betrifft insbesondere die Beeinflussungen der thermischen Bilanzen für Heizen und Kühlen durch die Abwärme der Beleuchtung. Zudem wird die Tageslichtversorgung durch den Gebäudeentwurf charakterisiert. Die Vergleichswerte müssen daher auch unter Berücksichtigung des Beleuchtungsstrombedarfs ermittelt werden.

Bei der Bestimmung der Kennwerte werden für alle Nutzungsprofile Randbedingungen für die bauliche Ausführung unterstellt, und es werden Kennwerte für vier unterschiedliche Energieeffizienzklassen (Klassen A bis D) ermittelt. Die Anforderungen der Klasse D wurden an die Referenzausstattung der EnEV 2009 angelehnt, die der Klasse A an energetisch ambitionierte

Gebäude. Den Wärmeschutz betreffend entspricht die Klasse A in etwa dem Passivhausstandard. Für die folgenden energierelevanten Parameter werden Anforderungen gestellt:

U-Werte aller Bauteile der Gebäudehülle
Wärmebrücken
Bauschwere
Art der Lüftung und Wärmerückgewinnungsgrad von Lüftungsanlagen
Luftdichtheit des Gebäudes
Effizienz des Sonnenschutzes und der Steuerung
Fenster (U-Werte, g-Wert, Rahmenverbundwert, Lichttransmissionswert, Geometrie bzw. Anordnung in der Fassade)
Beleuchtungsart (direkt, direkt/indirekt, indirekt)
Blendschutzsteuerung (Lichtlenkung etc.)
Beleuchtungskontrollsystem (tageslichtabhängig etc.)
Präsenzerfassung

Berechnungsrandbedingungen

Für Nutzungsprofile mit sehr hohem Luftwechsel (z. B. „14 Küche“) wirken sich geringe Differenzen bei der Bestimmung der Lüftungsverluste sehr stark im Ergebnis der thermischen Bilanzen aus. Da nach DIN V 18599 verschiedene Verfahren und Anlagenkombinationen möglich sind, können die thermischen Teilenergiekennwerte, insbesondere für das Nutzungsprofil Küche, nur dann genutzt werden, wenn das gleiche Berechnungsverfahren nach DIN V 18599 genutzt wurde. Für die anderen Nutzungen spielen diese Unterschiede eine untergeordnete Rolle.

Nach DIN V 18599 stehen unterschiedliche Verfahren für die Ermittlung der elektrischen Bewertungsleistung zur Verfügung. Die Höhe der Kennwerte hängt natürlich wesentlich von dieser Größe ab. Für die Nachweisführung ist das Beleuchtungskonzept meist nicht bekannt, und es wird die Anwendung des Tabellenverfahrens unterstellt. Bei Anwendung des Wirkungsgradverfahrens oder bei Nutzung von Werten der Fachplanung können sich die daraus ergebenden Energiekennwerte von den vorberechneten Kennwerten abweichen, wenngleich die Unterschiede bei der Beleuchtungskonfiguration der Klasse A als gering einzuordnen sind. Wie bereits beschrieben, kann die Nutzung unterschiedlicher Verfahren für die Nachweisführung, im Vergleich zum Referenzgebäude (Tabellenverfahren), zu einer Über- oder Unterbewertung des Gebäudes führen.

Praktische Anwendung

Die im Rahmen der Arbeit untersuchten elf Gebäude wurden mit den gleichen baulichen und technischen Anforderungen berechnet, die auch der Ermittlung der Teilenergiekennwerte zugrunde liegen. Die Unterschiede zwischen den vorberechneten Anforderungswerten und den Kennwerten sind gering und lassen sich für die untersuchten Gebäude auf den jeweiligen Entwurf zurückführen. In der Regel wird eine Überschreitung des Zielwerts durch ein energetisch weniger günstiges A/V-Verhältnis oder aber durch sehr hohe Fensterflächenanteile verursacht.

Im weiteren Verlauf muss das Verfahren an Gebäuden, die nach DIN V 18599 berechnet wurden, getestet werden, und die Kennwerte bzw. die Randbedingungen zur Ermittlung überprüft und ggf.

adaptiert werden. Insbesondere ist dies im Zusammenhang mit unterschiedlichen Softwareprodukten erforderlich.

Auch drei Jahre nach Inkrafttreten der EnEV 2007, mit welcher auch das Rechenverfahren nach DIN V 18599 vorgeschrieben wurde, ist noch nicht davon auszugehen, dass alle auf dem Markt verfügbaren Programme die gleichen Ergebnisse liefern. Wie in [121], [123] und [44] gezeigt, konnte die Fehlerfreiheit zwar deutlich verbessert werden, dennoch gibt es Unterschiede zwischen den Programmen. Darüber hinaus tragen die vergleichsweise hohe Komplexität der DIN V 18599 und die Vielzahl an Daten, die für die Berechnung erhoben und verwaltet werden müssen, nicht dazu bei, Anwenderfehler auszuschließen.

Die Nutzung von Zielwerten dient, neben der Stellung von weiteren Anforderungen an neue Gebäude, auch dazu, Zwischenergebnisse auf Plausibilität zu überprüfen. Die Kennwerte wurden für vier unterschiedliche Energieeffizienzklassen vorberechnet und bilden somit eine gute Grundlage für die Ermittlung von Gebäudekennwerten für unterschiedliche energetische Standards.

Ausblick auf die Weiterverarbeitung: Zielkennwertkatalog

Die erarbeitete Methode und die Datenbasis liefern eine Grundlage zur energetischen Bewertung von Gebäuden auf Basis von Teilkennwerten. Die Entwicklung eines energetischen Zielwertekataloges soll, im Rahmen des EnOB-Projektes, mit der Intention weitergeführt werden, ein praxistaugliches Verfahren für die frühe Phase der Gebäudeplanung und damit letztlich auch für eine frühzeitige Abschätzung von Energieverbräuchen, Emissionen und Betriebskosten in Ergänzung zur Referenzwertemethode der EnEV zur Verfügung zu stellen [87]. Der Energiekennwertkatalog soll im Sinne eines „Baukastens“ als Hilfsmittel zur Ermittlung objekt- und nutzungsspezifischer Bewertungsmaßstäbe und Zielwerte für Gebäude herangezogen werden. Zudem soll diese Datenbank auch um die Kosten für unterschiedliche Flächenarten erweitert werden, sodass Aussagen über den Lebenszyklus eines Gebäudes abgeleitet werden können.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1]. **EU-Richtlinie.** *Energy Performance of Buildings. Richtlinie 2002/91/EG.* Brüssel : Amtsblatt der EU, 2002.
- [2]. **Clausnitzer, Klaus-Dieter und Dittrich, Joachim.** *Potential an Fachleuten zur Umsetzung der GebäudeRL, Bremer Energie Institut.* Institut Technik und Bildung (ITB), Bremer Energieinstitut (BEI). Bremen : BMWA 45/04, 2005.
- [3]. **Zweifel, Gerhard.** *Europäische Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD).* Luzern, Horw : Hochschule Luzern, Technik & Architektur (HTA), Zentrum für Interdisziplinäre Gebäudetechnik (ZIG), 2004.
- [4]. **European Commission.** *Implementation of the Energy Performance of Buildings Directive, Countr reports 2008.* Brussels : European Commission, EPBD Buildings Platform, 2008.
- [5]. **Royal Insitution of Chartered Suveyors (RICS).** *Towards an Energy Efficient European Building Stock.* London : RICS, 2009.
- [6]. **European Commission.** *Draft - Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast) .* Brussels : European Commission, 2009. 16407/09.
- [7]. **Zirngibl, J.** *EPBD / CEN Normung / nationale Umsetzung, Theorie und Praxis.* Paris : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 2007.
- [8]. **DIN V 18599-1:2007-02.** *Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger.* Berlin : DIN, 2007.
- [9]. **Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V., Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH, ARUP GmbH.** *Weiterentwicklung der EnEV zur Umsetzung der neuen EU-Richtlinie, Weiterentwicklung der Anforderungsmethodik.* Berlin, Kassel : BMVBS, BBR, Z6-10.06.03.-03.119, 2005.
- [10]. **Erhorn, Hans, et al.** *Weiterentwicklung und Evaluierung von Technologien und von Bewertungsmethoden zur Steigerung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EnEff06).* Stuttgart : IBP, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 2007. WTB-02-2007.
- [11]. **Fraunhofer-Institut für Bauphysik.** *SANIREV 2, Energetische Bilanzierung von Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen. Bilanzierungsgrundlagen und praktische Umsetzung in DIN V 18599.* Bietigheim-Bissingen : FIA-Projekt - Forschungs-Information-Austausch, 2005. FGK Nr. 121.3 08/06.
- [12]. **Institut für Wärmetechnik, IWT TU Graz.** *Vergleich des Rechenverfahrens der österreichischen Umsetzung der EU - Gebäude richtlinie mit thermischen Simulationsrechnungen.* Wien : Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA), 2005.
- [13]. **Wirtschaftsministerium Luxemburg.** *Avant-projet de règlement grand-ducal concernant la performance énergétique des bâtiments fonctionnels et modifiant le règlement grand-ducal modifié du 30 novembre 2007 concernant la performance énergétique des bâtiments d'habitation.* Luxemburg : Wirtschaftsministerium Luxemburg, Februar 2009.

- [14]. **EnEV 2009.** *Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung.* Bonn, Berlin : Bundesanzeiger Verlag, 29. April 2009. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr.23.
- [15]. **Maas, Anton, et al.** *Entwicklung eines Normteils zur DIN V 18599 für Wohngebäude und Beurteilung energetischer Anforderungen an Wohngebäude in Zusammenhang mit Fortschreibung der EnEV.* Berlin : BMVBS / BBSR (Hrsg.), BBSR-Online-Publikation 07/2009. <urn:nbn:de:0093-ON0709R223>.
- [16]. **Erhorn-Kluttig, Heike, Erhorn, Hans und Gruber, Edelgard.** *Evaluierung des dena Feldversuchs, Energieausweise für Nichtwohngebäude.* Stuttgart : IBP-Bericht, 2005.
- [17]. **Römmling, Uwe.** *Erstellung von Energieausweisen für Nichtwohngebäude in der Praxis - Energieausweise für Oberste Bundesbehörden in Berlin.* Berliner Energietage : IEMB, 2008.
- [18]. **Maas, Anton.** *Umweltbewusstes Bauen.* Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2008.
- [19]. **Lichtmeß, Markus und Knissel, Jens.** *Vergleich und Bewertung unterschiedlicher Softwareprodukte zur Berechnung nach DIN V 18599 für die Anwendung nach Luxemburger Randbedingungen.* Luxemburg : Wirtschaftsministerium Luxemburg, 2008.
- [20]. **Fouad, Nabil A.** *Bauphysik Kalender, Schwerpunkt: Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden 2007.* Berlin : Ernst und Sohn, 2007.
- [21]. **Maas, A., et al.** *Monitoring der Verfahren für die Bewertung von Nichtwohngebäuden nach EnEV 2007.* BBR : BBR-Online-Publikation 17/2008, 2008.
- [22]. **Hauser, Gerd.** *Entwicklung eines vereinfachten Nachweisverfahrens für Nichtwohngebäude (unter Anwendung der DIN V 18599).* Kassel : BMVBS/BBR, Abschlussbericht Aktenzeichen Z6-10.03.03.-05.113, 2006.
- [23]. **Hirschberger, Rainer.** *Energieeffiziente Gebäude, Bau- und anlagentechnische Lösungen.* Köln : Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, 2008.
- [24]. **Reuter, Schmidt.** *Leitfaden für Energiebedarfsausweise im Nichtwohnungsbau.* Berlin : Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2007.
- [25]. **Österreichisches Institut für Bautechnik .** *OiB-Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz.* Wien : OiB, 2007. NiB-300.6-038/07.
- [26]. **Österreichisches Institut für Bautechnik.** *Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden, Version 2.5.* Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik (OiB), 2006.
- [27]. **European Commission.** *Energy Certification of Berlaymont.* Brussels : European Commission, 2005.
- [28]. **Bundesarchitektenkammer.** *Stellungnahme der Bundesarchitektenkammer zum Entwurf einer Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV).* Berlin : Bundesarchitektenkammer (BAK), 12.12.2006.
- [29]. **Bundesarchitektenkammer .** *Stellungnahme der Bundesarchitektenkammer (BAK) zum ersten Entwurf einer Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV 2009).* Berlin : Bundesarchitektenkammer (BAK), 21.11.2007.

- [30]. **Bundesarchitektenkammer.** *Entwurf einer Verordnung zur Änderung der Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung).* Berlin : Bundesarchitektenkammer (BAK), 29.04.2008.
- [31]. **DIN V 4108-6.** *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs.* Berlin : Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN, 2003.
- [32]. **EN 832.** *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs.* Berlin : DIN, 1998.
- [33]. **EN 13779.** *Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme.* Brüssel : CEN, 2007.
- [34]. **Rochard, Ulrich.** Vergleichbarkeit von Energiekennwerten aus Nachweisverfahren in Deutschland, Frankreich und der Schweiz. *Bauphysik.* 2008, Heft 5, S. 328-332.
- [35]. **DIN V 18599-2:2007-02.** *Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen.* Berlin : DIN, 2007.
- [36]. **Lutz, Dorsch.** *Zonierung von Nichtwohngebäuden nach DIN V 18599: Beispielhaftes Vorgehen.* Berlin : Beuth, 2008.
- [37]. **Fischer, Heinz-Martin, et al.** *Lehrbuch der Bauphysik.* Wiesbaden : Vieweg+Teubner, 2008.
- [38]. **Energiepass-Helena.** *Programm Energiepass-Helena 5.0, Energetische Bilanzierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden nach DIN V 18599.* Kassel : ZUB-Kassel e. V., 2007-2009.
- [39]. **B.54.** *Programmpaket B.54, Energetische Bilanzierung nach DIN V 18599 Nichtwohngebäude.* Göttingen : SOLAR-COMPUTER GmbH, 2007-2009.
- [40]. **BMVBS/DIN-Gemeinschaftstagung.** *DIN V 18599 überarbeitet - Das Instrument zur Erstellung von Energieausweisen.* Berlin : Beuth, 13. Februar 2008.
- [41]. **Deutsche Energie Agentur.** *Zusammenfassung Kabinettsentwurf zur Novellierung der Energieeinsparverordnung (Entwurf zur EnEV 2009).* Berlin : Deutsche Energie Agentur GmbH (dena), 2008.
- [42]. **Loga, Tobias, Diefenbach, Nikolaus und Knissel, Jens.** *Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden.* Darmstadt : IWU, Institut für Wohnen und Umwelt, 2005. Gefördert vom BBR Z6-5.4.00-12/II 13 -80 01 03-15.
- [43]. **DIN 4108-2.** *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.* Berlin : Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN, 2003.
- [44]. **Lichtmeß, Markus.** *Validierung des Rechenwerkzeug EnerCalc DIN 18599.* Bergische Universität Wuppertal : Bericht im Rahmen der Dissertation, 2008.
- [45]. **DIN V 18599-4:2007-02.** *Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung.* Berlin : DIN, 2007.
- [46]. **DIN V 18599-3:2007-02.** *Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung.* Berlin : DIN, 2007.

- [47]. **DIN V 18599-7:2007-02**. *Teil 7: Endenergiebedarf von Raumluftechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau*. Berlin : DIN e.V., 2007.
- [48]. **DIN V 18599-10:2007-02**. *Teil 10: Nutzungsbedingungen, Klimadaten*. Berlin : DIN, 2007.
- [49]. **David, Ruth, et al.** *Heizen, Kühlen, Belüften & Beleuchten*. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2009.
- [50]. **Marquardt, Helmut**. *Energiesparendes Bauen. Von der europäischen Normung zur Energieeinsparverordnung*. Stuttgart : Teubner, 2004.
- [51]. **Häupl, Peter**. *Bauphysik, Klima Wärme Feuchte Schall, Grundlagen, Anwendungen, Beispiele*. Berlin : Ernst und Sohn, 2007.
- [52]. **Oehler, Stefan**. *Große Passivhäuser*. Stuttgart : Kohlhammer, 2004.
- [53]. **Heinze, Mira und Voss, Karsten**. *Ziel Null Energie, Erfahrungen am Beispiel der Solarsiedlung Freiburg am Schlierberg*. Gütersloh : Bauverlag BV GmbH, DBZ (Deutsche Bauzeitschrift), 2009. 1.
- [54]. **Loga, Tobias, Knissel, Jens und Diefenbach, Nikolaus**. *Energy performance requirements for new buildings in 11 countries from Central Europe - Exemplary Comparison of three buildings*. Bonn : BBR, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Vertrag Z 6 – 10.08.17.7-07.16), 2008.
- [55]. **Lichtmeß, Markus**. *Aktivierungszeiten von Blend- und Sonnenschutzsystemen*. Bergische Universität Wuppertal : Bericht im Rahmen der Dissertation, 2008.
- [56]. **Karsten, Voss, et al.** *Bürogebäude mit Zukunft*. Berlin : Solarpraxis AG, 2007.
- [57]. **Kuhn, Tilmann E.** *Sonnenschutz: Eine generelle Bewertungsmethode - auch für zwischenliegende systeme - und zwei neue Behänge*. *Bauphysik*. 2007, Heft 1.
- [58]. **K., Voss und C.F., Reinhart**. *Monitoring manual control of electric lightning and blinds*. *Lighting Research & Technology*. 2003, Bde. pp. 243-260, v. 35, no. 3.
- [59]. **David, Ruth, Rouvel, Lothar und Wenning, Martin**. *SANIREV 2, Energetische Bewertung von Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen, Entwicklung eines Bewertungssystems für den Nutzenergiebedarf für klimatisierte Gebäude*. Bietigheim-Bissingen : FIA Forschungs- Informations-Austausch, 2005. FGK Nr. 121.1 08/06.
- [60]. **Hans, Oliver**. *Statischer Sonnenschutz in der Verwaltungsarchitektur, MSc bei Prof. Karsten Voss*. Wuppertal : Universität Wuppertal, 2006.
- [61]. **DIN EN ISO 13790**. *Energieeffizienz von Gebäuden - Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung*. Berlin : Beuth Verlag, 2008.
- [62]. **Feist, Wolfgang, et al.** *Passivhaus Projektierungs Paket 2007, Anforderungen an qualitätsgeprüfte Passivhäuser*. Darmstadt : Passivhaus Institut, 2007.
- [63]. **Pfluger, Rainer**. *Simulation des thermischen Gebäudeverhaltens eines Passivhauses in Geschosswohnungsbau-Typologie und städtischer Bebauung*. Darmstadt : PHI Passivhaus-Institut, 2000. B15-800198-15.

- [64]. **Hauser, Gerd.** Konzepte zum energieeffizienten Bauen. *Lehrstuhl Bauphysik - Technische Universität München.* [Online] Mai 2009.
<http://www.bp.bv.tum.de/images/file/LEHRE/BP_III/SS09_Konzepte_zum_energieeffizienten_Bauen.pdf>.
- [65]. **Elsberger, Martin.** *Nutzenergiebedarf klimatisierter Gebäude mittels Monatsbilanzierung.* München : IfE Schriftenreihe; Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der TU München, 2001.
- [66]. **Knissel, Jens.** *Methodik zur Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden, Modul 1.3 Parameterstudie Kälte.* Darmstadt : IWU, Institut Wohnen und Umwelt, 2004.
- [67]. **DIN EN ISO 10077-1.** *Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangs- koeffizienten – Teil 1: Vereinfachtes Verfahren.* Berlin : Beuth, 2006.
- [68]. **Voss, K., Wagner, A. und Löhnert, G.** *Energieeffizienz und Solarenergie im Nichtwohnungsbau.* Staffelstein : 9. Symposium Thermische Solarenergie, 1999.
- [69]. **Rouvel, L. und Kolmetz, S.** Thermische Bewertung von Gebäuden unter sommerlichen Randbedingungen. *Gesundheits-Ingenieur.* 1997, Heft 2, S. 65-74.
- [70]. **Russ, Christel, et al.** *Sonnenschutz, Schutz vor Überwärmung und Blendung.* Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2008.
- [71]. **Schädlich, Sylvia, Röttger, Ilknur und Lüttgens, Steffen.** *Menschliche Behaglichkeit in Innenräumen und deren Einfluss auf die Produktivität am Arbeitsplatz.* Bietigheim-Bissingen : FIA Forschungs-Informations-Austausch, 2006. FGK Nr. 127 11/06.
- [72]. **Köster, Helmut.** *Tageslichtdynamische Architektur, Grundlagen, Systeme, Projekte.* Basel, Schweiz : Birkhäuser, 2004.
- [73]. **Danner, Dietmar, Dassler, Friedrich H. und Krause, Jan R.** *Die klima-aktive Fassade.* Leinfelden-Echterdingen : Alexander Koch GmbH, 1999.
- [74]. **de Boer, Jan.** *Tageslichtausbeutung und Kunstlichteinsatz in Verwaltungsbauten mit unterschiedlichen Fassaden.* Dissertation am Lehrstuhl für Bauphysik der Universität Stuttgart : s.n., 2004.
- [75]. **Jan de Boer, Sirri Aydinli, Wolfgang Cornelius, Roman Jakobiak, Peter Krebs, Alexander Rosemann, Paul Schmits.** Ein umfassendes Instrumentarium zur Ermittlung des Energiebedarfs für Beleuchtungszwecke. *Talisy - Innovative Tageslichtsysteme.* [Online] Fraunhofer Institut Solare Energiesysteme, 2005.
www.talisy.de/pdf/09_DIN_18599_Teil4_Licht_7_05.pdf.
- [76]. **de Boer, Jan, et al.** Ein umfassendes Instrumentarium zur Ermittlung des Energiebedarfs für Beleuchtungszwecke - Die DIN V 18599 Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung. *LICHT.* 2006, Heft 1/2 (2006).
- [77]. **Roesmann, Alexander, et al.** *Verfahren zur Ermittlung der elektrischen Bewertungsleistung für Kunstlichtanlagen.* München : LICHT, 2006.

- [78]. **de Boer, Jan.** *Modelling indoor illumination by complex fenestration systems based on bidirectional photometric data.* Stuttgart : Fraunhofer Institute for Building Physics, 2005.
- [79]. **Deplazes, Andrea, et al.** *Architektur konstruieren vom Rohmaterial zum Bauwerk - ein Handbuch.* Eidgenössische Technische Hochschule Zürich : Birkhäuser, 2009.
- [80]. **DIN V 18599-5:2007-02.** *Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen.* Berlin : DIN, 2007.
- [81]. **DIN V 18599-6:2007-02.** *Teil 6: Endenergiebedarf von Wohnungslüftungsanlagen und Luftheizanlagen für den Wohnungsbau.* Berlin : DIN, 2007.
- [82]. **DIN V 18599-8:2007-02.** *Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasseranlagen.* Berlin : DIN, 2007.
- [83]. **Hörner, Micheal, Tschudy, Daniel und Weber, Andreas.** *Methodik zur Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden (MEG), Modul 2.1 Beleuchtung.* Frankfurt, Darmstadt : DS-Plan GmbH, Institut Wohnen und Umwelt GmbH, 2003.
- [84]. **Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.** *Förderkonzept "Energieoptimiertes Bauen" EnOB.* Berlin : BMWi, 15.12.2006.
- [85]. **DGNB.** DGNB Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen. [Online] 2010.
<<http://www.dgnb.de/>>.
- [86]. **Voss, Karsten und Hans, Oliver.** *EnOB, Architektur mit Energie, BMWi Preis Energieoptimiertes Bauen 2009.* Bonn : Forschungszentrum Jülich GmbH, BINE Informationsdienst, 2009.
- [87]. **Voss, Karsten, et al.** Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden - Zielsetzungen und Bewertungsmaßstäbe. *Deutsche Bauzeitung (db).* 2010, 3.
- [88]. **AGES.** *Verbrauchskennwerte 2005, Gesamtschaft für Energieplanung und Systemanalyse m.b.H.* Münster : AGES, 2005.
- [89]. **VDI 3807/2.** *VDI 3807 Blatt 2: 1998-06 Energieverbrauchskennwerte für Gebäude; Heizenergie- und Stromverbrauchskennwerte.* Berlin : Beuth Verlag, 1998.
- [90]. **VDI 3807/4.** *VDI 3807 Blatt 4: 2006-08 Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude, Teilkennwerte elektrische Energie.* Berlin : Beuth Verlag, 2006.
- [91]. **Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.** *Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand.* Berlin : BMVBS, 2009.
- [92]. **Knissel, Jens, Lichtmeß, Markus und Hörner, Michael.** Objektspezifische Benchmarks zur Verbrauchskennwertanalyse. *Bauphysik.* 2010, 01.
- [93]. **Knissel, Jens und Hörner, Michael.** Bewerten des Stromaufwandes in Nicht-Wohngebäuden mit der Teilkennwertmethode. *HLH.* 2005, 12.
- [94]. **LEE 2000.** *Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau – überarbeitete Auflage.* Darmstadt : Institut Wohnen und Umwelt, 2000.

- [95]. **Knissel, Jens und Großklos, Marc.** *Stromverbrauch in Bürogebäuden, Energiecontrolling und Optimierung, Protokoll zur Veranstaltung des 41. Workshops.* Darmstadt : Institut Wohnen und Umwelt GmbH, 2004.
- [96]. **SIA 380/4.** *Elektrische Energie im Hochbau, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein.* s.l. : Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, 2006.
- [97]. **SIA 2031.** *Energieausweise für Gebäude.* Zürich : Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, 2009. Merkblatt 2031.
- [98]. **Voss, Karsten.** *Nullenergiehaus, Plusenergiehaus, Nullemissionshaus – Was steckt dahinter und wie gelingt die Umsetzung.* Bern : Departements Architektur, Holz und Bau der Berner Fachhochschule, 2008.
- [99]. **EneC.** *EneC stationäre thermische und elektrische Gebäudesimulation. Programmversion 3.23.* 2008.
- [100]. **Hegner, Hans-Dieter.** *Bauphysik Kalender, Die neue Energieeinsparverordnung - Perspektiven für das energieeffiziente und umweltschonende Bauen.* Berlin : Ernst & Sohn Verlag, 2001.
- [101]. **Hellwig, Runa Tabea, Kersken, Matthias und Schmidt, Simon.** *Ausstattung von Klassenräumen mit Einrichtungen zum Temperieren, Lüften und Belichten.* *Bauphysik.* 2009, 03/09, S. 157-162.
- [102]. **BKI Baukosteninformationszentrum.** *BKI Baukosten 2007, Teil 1 Statistische Kostenkennwerte für Gebäude.* Stuttgart : Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH, 2007.
- [103]. **Hörner, Michael und Siering, Karsten.** *Methodik zur Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden, Modul 1.2 Standardnutzungen.* Frankfurt, Darmstadt : DS-Plan, Institut Wohnen und Umwelt, 2003.
- [104]. **Jagnow, Kati.** *Verfahren zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Qualitätssicherungsmaßnahmen in der Heizungsanlagentechnik, Dissertation.* Dortmund : Universität Dortmund, Fakultät Bauwesen, 2004.
- [105]. **Voss, Karsten, Löhnert, Günter und Wagner, Andreas.** *Towards Lean Buildings – Examples and Experiences from a German Demonstration Programme for Energy Efficiency and Solar Energy Use in Commercial Buildings.* Copenhagen : Proceedings of the EuroSun Conference, 2000.
- [106]. **Hoffmann, Caroline.** *Sanierung als zweite Chance, Dissertation.* Wuppertal : Bergische Universität Wuppertal, 2007. <urn:nbn:de:hbz:468-20070621>.
- [107]. **Voss, Karsten und Pfafferott, Jens.** *Energieeinsparung contra Behaglichkeit?* Berlin, Bonn : Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), 2007.
- [108]. **Voss, Karsten, Löhnert, Günter und Wagner, Andreas.** *Energieeffizienz und Solarenergie im Nichtwohnungsbau.* Regensburg : OTTI, 1999. urn:nbn:de:swb:90-AAA204520008 .

- [109]. **Engelund Thomsen, Kirsten und Rose, Jørgen.** *Analysis of Execution Quality Related to Thermal Bridges.* www.buildup.eu : ASIEPI, European Communities, 2009. P159.
- [110]. **Hauser, Gerd und Stiegel, Horst.** *Wärmebrückenatlas für Modernisierungs- und Sanierungsmaßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzen.* Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006.
- [111]. **Erhorn-Kluttig, Heike und Erhorn, Hans.** *Impact of thermal bridges on the energy performance of buildings.* www.buildup.de : ASIEPI, European Communities, 2009. P148.
- [112]. **Citterio, Marco, Cocco, Manuela und Erhorn-Kluttig, Heike.** *Thermal bridges in the EBPD context: overview on MS approaches in regulations.* www.buildup.eu : ASIEPI, European Communities, 2008. P64.
- [113]. **Jakobiak, Roman A.** *Bine Themeninfo: Tageslichtnutzung in Gebäuden.* Eggenstein-Leopoldshafen : FIZ Karlsruhe GmbH, 2005.
- [114]. **Ruck, Nancy, et al.** *IEA SHC Task21: Daylight in Buildings, a source book on daylighting systems and components.* Washington D.C. : Lawrence Berkeley Laboratory, 2000.
- [115]. **Erhorn-Kluttig, Heike, Erhorn, Hans und Lahmidi, Hicham.** *Airtightness requirements for high performance building envelopes.* <www.buildup.eu> : ASIEPI, European Communities, 2009. P157.
- [116]. **Großherzogtum Luxemburg.** *Règlement grand-ducal du 30 novembre 2007 concernant la performance énergétique des bâtiments d'habitation et modifiant.* Luxemburg : service central de législation, 2007.
- [117]. **Hans, Oliver, et al.** *Energieoptimiertes Bauen - Erfahrungen und Zukunftsperspektiven aus einem Demonstrationsprogramm.* Berlin : Eurosolar Konferenz 2008 - "Sun ans Sense", 2008.
- [118]. **Voss, Karsten und Engelmann, Peter.** *Energieoptimiertes Bauen: Demonstrationsbauvorhaben, Evaluierung eines Niedrigenergie- und Passivhauses in der Sanierung "Neue Burse".* Wuppertal : Bergische Universität Wuppertal, 2008. Förderkennzeichen: 0329750U.
- [119]. **Schiller, Heiko.** *SANIREV 2, Energetische Bewertung von Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen. Berechnungsverfahren für den Nutzenergiebedarf der thermischen Luftaufbereitung in raumluftechnischen Anlagen.* Bietigheim-Bissingen : FIA-Projekt - Forschungs- Informations-Austausch, 2006. FGK Nr. 121.2 08/06.
- [120]. **Fraunhofer-Institut für Bauphysik.** *Benutzerhandbuch, Rechenkern zur "DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung", IBP 18599 Kernel Version 2.0.* Stuttgart : Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 2007.
- [121]. **Kusic, Martin.** *Offener, wissenschaftlicher 18599-Softwarevergleich. Die Erkenntnis zählt. Gebäude Energieberater.* 2009, GEB 01/2009, S. 12-17.
- [122]. **Knissel, Jens.** *Energieeffiziente Bürogebäude mit reduzierten internen Wärmequellen und Wärmeschutz auf Passivhausniveau, Dissertation.* Berlin : Technische Universität Berlin, 2002.

- [123]. **Fehlauer, Klaus, Winkler, Heiko und Schettler-Köhler, Horst.** *Qualitätsprüfung für Energieausweis-Software*. Berlin : BMVBS / BBSR (Hrsg.): Qualitätsprüfung für Energieausweis-Software, 2009. urn:nbn:de:0093-ON2109R226.
- [124]. **VDI 3807/4.** *VDI 3807 Blatt 4: 2008-08 Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude, Teilkennwerte elektrische Energie*. Berlin : Beuth Verlag, 2008.
- [125]. **DS-Plan, Institut Wohnen und Umwelt.** *Methodik zur Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden (MEG), Modul 2.2 Luftförderung*. Frankfurt, Darmstadt : DS-Plan, Institut Wohnen und Umwelt, 2003.
- [126]. **Knissel, Jens und Hörner, Michael.** Bewertung des Stromeinsatzes in Nicht-Wohngebäuden mit der Teilkennwertmethode. *HLH*. 2005, Bd. 56, 12-Dezember, S. 66-70.
- [127]. **Hennings, Detlef.** *LEE, Leitfaden Elektrische energie im Hochbau*. Darmstadt : IWU, 2000.
- [128]. **Institut Wohnen um Umwelt (IWU).** *IWU Arbeiten zum Thema: Elektrische Energie in Nicht-Wohngebäuden*. Darmstadt : IWU, 2006.
- [129]. **SIA 380/4.** *Elektrische Energie im Hochbau*. Zürich : Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverband, 1995. SN 565 380/4.
- [130]. **DIN V 18599-100.** *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 100: Ergänzungen und Änderungen zu DIN V 18599-1 bis DIN V 18599-10*. Berlin : DIN, 2009.
- [131]. **Papula, Lothar.** *Mathematische Formelsammlung für Ingenieure und Naturwissenschaftler*. Wiesbaden : Vieweg, 2003.
- [132]. **Schoch, Torsten.** *EnEV 2009 und DIN V 18599 Nichtwohnbau, 2. Aufl.* Berlin : Bauwerk, 2009.
- [133]. **Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.** *Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand*. Berlin : Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2009.
- [134]. **DIN V 18599-9:2007-02.** *Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen*. Berlin : DIN, 2007.
- [135]. **Lichtmeß, Markus.** *Vereinfachtes Flächenerfassungsmodell für Mehrzonenbilanzen*. Berlin : Ernst & Sohn, 2009. S. 139-148.
- [136]. **Braune, Anna, et al.** *Potentiale des Nachhaltigen Bauens in Deutschland: Analyse der internationalen Strukturen*. Stuttgart : Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Bauphysik, 2007.
- [137]. **Cerbe, Günter und Hoffmann, Hans-Joachim.** *Einführung in die Thermodynamik. Von den Grundlagen zur technischen Anwendung*. Wien : Carl Hanser Verlag, 1994.
- [138]. **International Energy Agency (IEA).** *Energy Policies of IEA Countries, Luxembourg 2009 Review*. France : OECD(IEA), 2009.
- [139]. **Walthert, Roland, et al.** *Strom rationell nutzen, RAVEL Handbuch*. Zürich : vdf Verlag, 1992.
- [140]. **Köhler, Roland.** *Schweizer Energiefachbuch*. Zürich : Künzler-Bachmann, 2007.

-
- [141]. **Lichtmeß, Markus.** Auswirkungen von Vereinfachungen bei der Flächenerfassung für Mehrzonenbilanzen auf die Energiebedarfsermittlung. *Bauphysik*. 2010, 01.
- [142]. **Deutscher, Peter, Elsberger, Martin und Rouvel, Lothar.** Sommerlicher Wärmeschutz - eine einheitliche Methodik für die Anforderungen an den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz. *Bauphysik*. Teil 2, 2000, Bd. Heft 2, 22, S. S. 178-184.
- [143]. **Daniels, Klaus.** *Technologie des ökologischen Bauens. Grundlagen und Maßnahmen, Beispiele und Ideen.* Basel, Bosten, Berlin : Birkhäuser, 1995.

Nomenklatur

Die Formelzeichen und Indizes wurden so gewählt, dass Doppelnennungen weitgehend vermieden werden und lehnen sich an die Bezeichnung in gängigem Normwerk an. Verwechslungen sind bei einer mehrfachen Verwendung eines Formelzeichens ausgeschlossen, da sich die Bedeutung der Symbole aus dem jeweiligen Zusammenhang ergibt.

Zeichen	typische Einheit	Erläuterung
$\Delta\vartheta_{er}$	K	mittlere Differenz zwischen der Temperatur der Umgebungsluft und der scheinbaren Temperatur des Himmels (vereinfacht 10K)
$\Delta q'_{j,b,yx}$	%	prozentuale Einordnung der maximalen Änderung des Fehlers für den betrachteten Untersuchungsfall j in Relation zur größten Änderung der gesamten Untersuchungsreihe für eine Energieanwendung b, mit x für Fall 1 und y für Fall 2
$\Delta q_{j,b,yx}$	kWh/(m ² a)	maximale Änderung des Fehlers über mehrere Nebenparameter für den betrachteten Untersuchungsfall j und die Energieanwendung b, mit x für Fall 1 und y für Fall 2
$\Delta q_{j,x}$	kWh/(m ² a)	Änderung im Fehler beim Energiebedarf als maximale Differenz zwischen größtem und kleinstem Fehler bei Verschiebung zwischen Zonen mit unterschiedlichen Nebenbedingungen
$\Delta q_{i,y}$	kWh/(m ² a)	Änderung im Fehler beim Energiebedarf als maximale Differenz zwischen größtem und kleinstem Fehler bei Verschiebung innerhalb einer Zone mit gleichen Nebenbedingungen
A	m ²	Allgemein für Fläche
α	-	Absorptionskoeffizient des Bauteils für Solarstrahlung
a	-	Parameter zur Bewertung der Aktivierung von beweglichen Sonnenschutzvorrichtungen
$A_{B,Z}$	m ²	Nettogrundfläche der Zone Z
$A_{Fa,5000}$	m ² /m ²	NGF-spezifische Fassadenfläche für das Standardgebäude mit 5 000 m ² _{NGF}
$A_{Fa,5000,kor}$	m ² /m ²	raumhöhenkorrigierte NGF-spezifische Fassadenfläche für das Standardgebäude mit 5 000 m ² _{NGF}
$A_{Fa,kor}$	m ² /m ²	raumhöhenkorrigierte NGF-spezifische Fassadenfläche
$A_{Fe,5000}$	m ² /m ²	NGF-spezifische Fensterfläche für das Standardgebäude mit 5 000 m ² _{NGF}
$A_{Fe,5000,kor}$	m ² /m ²	raumhöhenkorrigierte NGF-spezifische Fensterfläche für das Standardgebäude mit 5 000 m ² _{NGF}
$A_{Fe,5000,Nutz}$	m ² /m ²	raumhöhen- und nutzungsbezogene korrigierte NGF-spezifische Fensterfläche für das Standardgebäude mit 5 000 m ² _{NGF}
$A_{Fe,i}$	m ²	Fensterfläche einer Zone je Orientierung i
$A_{Fe,kor}$	m ² /m ²	raumhöhenkorrigierte NGF-spezifische Fensterfläche
$A_{Fe,Nutz}$	m ² /m ²	raumhöhenkorrigierte NGF-spezifische Fensterfläche
A_{Ge}	m ²	gesamte thermische Gebäudehüllfläche
$A_{Ge,5000,kor}$	m ² /m ²	korrigierte NGF-spezifische Gebäudehüllfläche für das Standardgebäude mit 5 000 m ² _{NGF}
$A_{i,ges}$	m ²	Gesamtfläche der Bauteilkategorie i
$A_{i,j}$	m ²	die Fläche des Bauteils j, die der Bauteilkategorie i zugeordnet ist
$A_{i,j,Z}$	m ²	in einer Zone Z gesondert definierte Teilfläche j einer Bauteilkategorie i
$A_{i,Z}$	m ²	Fläche der Bauteilkategorie i in einer Zone Z bei Anwendung des ausführlichen Verfahrens
$A'_{i,Z}$	m ²	Fläche der Bauteilkategorie i in einer Zone Z bei Anwendung des vereinfachten Verfahrens
A_{KL}	m ²	nicht tageslichtversorgte Fläche in einer Zone
A_n	m ²	Energiebezugsfläche, i.d.R. Nettogrundfläche
$A_{N,i,ges}$	m ²	Summe der gewichteten Zonenflächen für die Bauteilkategorie i
$A_{N,i,Z}$	m ²	gewichtete Zonenfläche der Zone Z für die Bauteilkategorie i
$A_{N,i}$	m ²	gewichtete Zonenfläche der Zone i für die Bauteilkategorie i
a_R	m	Raumtiefe
$a_{R,i}$	m	charakteristische Raumtiefe je Orientierung i
$A_{RB,TL,i}$	m ²	Fensterfläche oberhalb der Arbeitsebene je Orientierung i
A_{TL}	m ²	Teilfläche des Bereichs, der mit Tageslicht versorgt ist
$a_{TL,i}$	m	Tiefe des Tageslichtbereichs je Orientierung i

$A_{TL,i}$	m^2	tageslichtversorgte Fläche in einer Zone für die Orientierung i
$a_{TL,max}$	m	maximale Tiefe des Tageslichtbereichs
$a_{TL,max,i}$	m	maximale Tiefe des Tageslichtbereichs je Orientierung i
AV	m^{-1}	A/V-Verhältnis der Zone
AV_{5000}	m^{-1}	A/V-Verhältnis des Standardgebäudes mit $A_{NGF} = 5\,000\,m^2$
$AV_{A,NGF}$	m^{-1}	A/V-Verhältnis des Gebäudes beliebiger Größe
A_W	m^2	Wohnfläche, hier A_{NFG}
$A_{Wa,5000,kor}$	m^2/m^2	korrigierte NGF-spezifische Wandfläche für das Standardgebäude mit $5\,000\,m^2_{NGF}$
$A_{Wa,i}$	m^2	Außenwandfläche einer Zone je Orientierung i
$A_{x,i}$	m^2	Grundfläche des Teilabschnitts i (Raum/Teilfläche einer Zone) in der Zone x
A_Z	m^2	Nettofläche der Zone Z
$A_{Z,x}$	m^2	Grundfläche der Zonen x
$b_{Fassade}$	m	Fassadenbreite
$b_{Fe,i}$	m	charakteristische Fensterbreite einer Zone je Orientierung i
b_R	m	Raubbreite
$b_{TL,i}$	m	Breite des Tageslichtbereichs je Orientierung i
$b_{Zone,ges}$	m	charakteristischer Außenwandumfang einer Zone
$C_{A,j}$	-	relative Abwesenheit in dem Berechnungsbereich j
$c_{p,L}$	Wh/(m^3K)	spezifische Wärmekapazität von Luft
$C_{Prä,j}$	-	Faktor zur Beschreibung der Effizienz der Präsenzkontrolle, die Abwesenheit im Berechnungsbereich j zu erkennen
$C_{TL,kon}$	-	Faktor zur Berücksichtigung des tageslichtabhängigen Beleuchtungskontrollsystems
$C_{TL,Vers}$	-	Tageslichtversorgungsfaktor
$C_{TL,Vers,SN}$	-	Tageslichtversorgungsfaktor zu Zeiten aktivierten Sonnen- und/oder Blendschutzes
$C_{TL,Vers,SNA}$	-	Tageslichtversorgungsfaktor zu Zeiten nicht aktivierten Sonnen- und/oder Blendschutzes
c_{wirk}	Wh/K	wirksame Wärmespeicherkapazität
$\Delta A_{i,Z}$	m^2	Abweichung in der zugewiesenen Bauteilfläche für die Bauteilkategorie i zwischen dem vereinfachten und dem ausführlichen Verfahren in der Zone Z
d_{AW}	m	Dicke der Außenwand
d_{Decke}	m	Dicke der Geschosdecke
Δf_{Fe}	m^2/m^2	nutzungsprofilabhängiger Korrekturfaktor für die NGF-spezifische Fensterfläche
d_{IW}	m	Dicke der Innenwand
$\Delta Q_{c,sink}$	kWh	die an Tagen mit normalem Heizbetrieb gespeicherte Wärme, die an Tagen mit reduziertem Betrieb aus den Bauteilen entspeichert wird
Δq_h	$kWh/(m^2a)$ je m^{-1}	Steigung zur Anpassung des Heizwärmebedarfs
$\Delta q_{h,5000}$	$kWh/(m^2a)$ je m^{-1}	Steigung zur Anpassung des Heizwärmebedarfs für das Standardgebäude mit $A_{NGF} = 5\,000\,m^2$
$\Delta q_{j,b}$	$kWh/(m^2a)$	Fehler beim Energiebedarf als Summe über beide Zonen, mit j für den jeweiligen Betrachtungsfall
e_{wind}	-	Windschutzkoeffizient
F_i	-	Formfaktor zwischen dem Bauteil und dem Himmel
F_F	-	Abminderungsfaktor für den Rahmenanteil, wenn nicht genauer bekannt (= 0,7)
$f_{F,ai}$	m^2/m^2	Korrekturfaktor für Innenmaßbezug; Standardwert = $0,9\,m^2/m^2$
F_i	%	bauteilbezogener relativer Fehler bei der Flächenzuweisung bei Anwendung des vereinfachten Verfahrens über alle Zonen Z
$F_{i,\pm}$	%	bauteilbezogener relativer Fehlerbereich in der Flächenzuweisung bei Anwendung des vereinfachten Verfahrens über alle Zonen Z
$F_{i,Z}$	%	Zonen- und bauteilbezogener relativer Fehler bei der Flächenzuweisung bei Anwendung des vereinfachten Verfahrens
$f_{i,Z}$	-	Wichtungsfaktor für die Bauteilkategorie i in der Zone Z
$F_{n,k}$	-	relativer Fehler $F_{i,Z}$ der jeweiligen Variation V^n_k
f_{NGF}	-	Größenskalierungsfaktor zur Anpassung des Heizwärmebedarfs

$F_{Prä}$	-	Teilbetriebsfaktor zur Berücksichtigung der Präsenz
F_S	-	Abminderungsfaktor infolge Verschattung
F_{TL}	-	Teilbetriebsfaktor zur Berücksichtigung der Tageslichtversorgung
F_V	-	Abminderungsfaktor für Verschmutzung, (i. d. R. 0,9, für Wohnnutzung 1,0)
F_W	-	Abminderungsfaktor für nichtsenkrechten Strahlungseinfall (= 0,9)
$f_{W,x,j}$	-	Einstufungsfaktor zur Klassifizierung, in welchem Umfang ein Bauteiltyp j in der Zone x vorkommt
$f_{x,j,i}$	-	Wichtungsfaktor für den Teilabschnitt i und den Bauteiltyp j in der Zone x
F_x	-	Menge an Fehler $F_{n,k}$, die genau der Menge G_x an Variationen zugeordnet werden kann
g_{\perp}	-	Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung ohne Sonnenschutzvorrichtung nach DIN EN 410
g_{eff}	-	wirksamer Gesamtenergiedurchlassgrad
g_{tot}	-	Gesamtenergiedurchlassgrad einschließlich Sonnenschutzvorrichtung nach EN 13363-1/2
G_x	-	Menge an Variationen $V_{n,k}^i$, die maximal den Faktor x aufweisen
η	-	Ausnutzungsgrad der Wärmequellen
h_{Fe}	m	mittlere Fensterhöhe in der Zone
$h_{Gebäude}$	m	Fassadenhöhe
h_{Ne}	m	Höhe der Nutzebene über dem Fußboden
h_r	W/(m ² K)	äußerer Abstrahlkoeffizient
h_R	m	Raumhöhe
$h_{R,\varnothing}$	m	durchschnittliche Raumhöhe
h_{St}	m	Sturzhöhe über dem Fußboden
H_T	W/K	Wärmetransferkoeffizient für Transmission
H'_T	W/(m ² K)	spezifischer Transmissionswärmetransferkoeffizient
$H'_{T,i}$	W/(m ² K)	für die Bauteilkategorie i ermittelter mittlerer spezifischer Transmissionswärmetransferkoeffizient
$H'_{T,i,j}$	W/(m ² K)	spezifischer Transmissionswärmetransferkoeffizient der zur Bauteilkategorie i zugeordneten Teilflächen j
$H'_{T,i,z}$	W/(m ² K)	der Fläche $A_{i,z}$ zugewiesene spezifische Transmissionswärmetransferkoeffizient
H_V	W/K	Wärmetransferkoeffizient für Lüftung
$\eta_{V,mech}$	-	Nutzungsfaktor des Wärmetauschers
$H_{V,mech,\vartheta}$	W/K	temperaturgewichteter Wärmetransferkoeffizient für mechanische Lüftung
h_z	m	Zonenhöhe
I_s	W/m ²	solare Einstrahlung im Bilanzmonat
I_v	-	Verbauungsindex
ϑ_e	°C	Außentemperatur
ϑ_i	°C	Innentemperatur
$\vartheta_{V,mech}$	°C	mittlere Temperatur der Zuluft
k_2	-	Minderungsfaktoren für Verschmutzung
k_3	-	Minderungsfaktor für nicht senkrechten Strahlungseinfall
L	m	Kantenlänge und Höhe des Gebäudes
$L_{x,j,i}$	m	grundrissbezogene Länge eines Bauteiltyps j im Teilabschnitt i der Zone x
$\max(\Delta q_{j,b,y,x})$	kWh/(m ² a)	größte maximale Änderung des Fehlers über mehrere Nebenparameter einer Reihe i = 1 bis n Nebenparameter für eine Energieanwendung b, mit x für Fall 1 und y für Fall 2
$\min F_{n,k,x}$	-	kleinster Fehler, der einer Menge G_x an Variationen zugeordnet werden kann
n_{50}	1/h	Luftwechselrate bei 50 Pa Druckdifferenz
n_G	-	Anzahl beheizter Geschosse
$n_{Geschosse}$	-	Anzahl der Geschosse
n_{inf}	h ⁻¹	Tagesmittelwert des Infiltrationsluftwechsels
n_{IW}	m	Anzahl der Innenwände

n_{mech}	h^{-1}	Tagesmittelwert des mechanischen Luftwechsels
n_{win}	h^{-1}	Tagesmittelwert des Fensterluftwechsels
ρ	W/m^2	spezifische elektrische Bewertungsleistung
ρ_{Da}	m^2/m^2	Parameter „Dachfläche pro m^2 Geschosswohnfläche“, hier: $\rho_{\text{Da}} = 1,33 \text{ m}^2/\text{m}^2$
ρ_{Fa}	m^2/m^2	Parameter „Fassadenfläche pro m^2 Geschosswohnfläche“, hier: $\rho_{\text{Fa}} = 0,80 \text{ m}^2/\text{m}^2$
ρ_{Fb}	m^2/m^2	Parameter „Fußbodenfläche pro m^2 Geschosswohnfläche“, hier: $\rho_{\text{Fb}} = 1,33 \text{ m}^2/\text{m}^2$
ρ_{Fe}	m^2/m^2	Parameter „Fensterfläche pro m^2 Geschosswohnfläche“, hier: $\rho_{\text{Fe}} = 0,20 \text{ m}^2/\text{m}^2$
$Q_{\text{C,b,nutz}}$	kWh	Kühlbedarf in der Zone b (Nutzkältebedarf)
q_{Fa}	m^2	Parameter „Zuschlagfläche Fassade je Vollgeschoss“, hier: $q_{\text{Fa}} = 50 \text{ m}^2$
$q_{\text{h},5000}$	$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$	spezifischer Heizwärmebedarf des Standardgebäudes mit $A_{\text{NGF}} = 5000 \text{ m}^2$
$q_{\text{h,A,NGF}}$	$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$	spezifischer Heizwärmebedarf für ein Gebäude beliebiger Größe
$Q_{\text{h,b}}$	kWh	Heizwärmebedarf der Zone b (Nutzwärmebedarf)
$q_{\text{h,bas}}$	$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$	Achsenabschnitt; entspricht dem Heizwärmebedarf der durch die Lüftungsverluste verursacht wird
Q_i	kWh	interne monatliche Gewinne durch Personen und Arbeitshilfen
$q_{i,b,\text{Geb}}$	$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$	objektspezifischer Vergleichswert des Gebäudes für die Energieanwendung i (Heizen, Kühlen und Beleuchten)
$q_{i,b,\text{Ref},5000,z}$	$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$	zonenbezogener Teilenergiekennwert für die Energieanwendung i (Heizen, Kühlen und Beleuchten)
$Q_{i,\text{sink}}$	kWh	interne Wärmesenken in der Zone
$Q_{i,\text{source}}$	kWh	interne Wärmequellen in einer Zone
$q_{i,b}$	$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$	spezifischer Energiebedarf der Zone, mit j für den jeweiligen Betrachtungsfall
$Q_{i,b,n}$	kWh/a	Nutzenergiebedarf für Beleuchtung in einer Zone n
Q_s	kWh	solare Einträge
$Q_{s,\text{op}}$	kWh	solare Wärmeerträge über opake Bauteile
$Q_{s,\text{tr}}$	kWh/d	solare Wärmeeinträge durch Fenster oder transparente Bauteile
Q_{sink}	kWh	Wärmesenken einer Zone
Q_{source}	kWh	Wärmequellen in der Zone
Q_T	kWh	Transmissionswärmesenken
Q_V	kWh	Lüftungswärmesenken
$Q_{V,\text{inf}}$	kWh	Lüftungswärmesenken infolge von Infiltration
$Q_{V,\text{win}}$	kWh	Lüftungswärmesenken infolge von Fensterlüftung
$Q_{V,\text{mech}}$	kWh	Lüftungswärmesenken infolge mechanischer Lüftung
$r_{\text{Fe,Az}}$	m^2/m^2	Bagatellfall, Verhältnis zwischen nicht zugewiesener Fensterfläche zur Zonenfläche
R_{se}	$(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	äußerer Wärmeübergangswiderstand
σ	variabel	Standardabweichung
σ^2	-	Varianz
t	h	Dauer des Berechnungsschrittes ($t = 24\text{h}$)
t_{eff}	h	effektive Betriebszeit des Beleuchtungssystems
$t_{\text{eff,Nacht}}$	h/a	effektive Betriebszeit des Beleuchtungssystem zur Nachtzeit
$t_{\text{eff,Tag,KTL}}$	h/a	effektive Betriebszeit des Beleuchtungssystems im nicht tageslichtversorgten Bereich
$t_{\text{eff,Tag,TL}}$	h/a	effektive Betriebszeit des Beleuchtungssystems im tageslichtversorgten Bereich
$t_{\text{Nacht,n}}$	h/a	Betriebszeit einer Zone zur Nachtzeit
$t_{\text{rel,TL,SA,j}}$	-	Zeitanteil eines aktivierten Blend- und/oder Sonnenschutzes
$t_{\text{rel,TL,SNA,j}}$	-	Zeitanteil eines nicht aktivierten Blend- und/oder Sonnenschutzes
$t_{\text{Tag,n}}$	h/a	Betriebszeit einer Zone zur Tagzeit
U	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	Wärmeübergangsdurchgangskoeffizient eines Bauteils
U_g	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	U-Wert der Verglasung

U_m	W/(m ² K)	mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient der thermischen Gebäudehülle
ΔU_{WB}	W/(m ² K)	pauschaler außenflächenbezogener Wärmebrückenzuschlag
V_A	m ³ /(hm ²)	Mindestaußenluftvolumenstrom der Zone nach DIN V 18599-10
V_e	m ³	beheiztes Gebäudevolumen
V_n	m ³	Nettoraumluftvolumen
V_k^n	-	n^k mögliche Variationen bei n Faktoren und k Zonen
i, j, m, n, x, z, %	-	Zählvariablen, Laufindex, Faktor oder Merkmalsausprägung
ges	-	Gesamtheit über alle Zonen

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und dass keine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades vorliegt.

Trier, den 12. März 2010

Markus Lichtmeß

Anhang

A.1 Zu Abschnitt 2.1: Zeitbedarf für die Rechnung nach DIN V 18599

Der Zeitbedarf für die Zonierung ist je nach Aufteilung und Gestaltung der Gebäudegeometrie unterschiedlich hoch. In Tabelle 68 sind die Ergebnisse für die betrachteten Gebäude zusammengefasst. Die beiden ersten Arbeitsbereiche „Zonierung“ und „Datenaufnahme, Gebäudehülle“ sind nicht scharf voneinander trennbar, da sich zum Teil iterative Effekte bei der Bearbeitung einstellen. Es ist eine vertikale und horizontale Aufteilung der Gebäudehüllflächen und eine Einteilung des Gebäudes in Nutzungsbereiche erforderlich; dies hat zum Teil wiederum einen Einfluss auf die Zonierung. Die beiden Punkte werden deshalb zusammengefasst dargestellt. Der Zeitbedarf für die beiden Bereiche (inkl. der erforderlichen Nebenarbeiten) ist mit etwa 40 h relativ hoch, da unter anderem alle Gebäude- und Zonenhüllflächen (äußere und innere) ermittelt und den Zonen zugeordnet werden müssen. Die Eingabe dieser Daten in die jeweilige Software nahm im Schnitt 12 h in Anspruch. Die Abbildung der Anlagentechnik ist sehr stark von der Bedienerfreundlichkeit der verwendeten Software abhängig. Die Verwaltung von komplexen Anlagensystemen nach DIN V 18599 ist in dieser Form ein Novum. Die Konfiguration der Anlagentechnik nahm im Mittel 13 h in Anspruch. Der Zeitbedarf zur Plausibilitätskontrolle sowie zur Erstellung eines Gebäudeberichts lag bei 9 h. Summiert man die Zeitbedarfe auf, so waren zur energetischen Bilanzierung der analysierten Gebäude im Schnitt etwa 80 Stunden erforderlich.

Tabelle 68: Zeitaufwand bei der energetischen Bilanzierung

	BoB	LuxRef	CLI-Büro Luxemburg	HochTief Luxemburg	Fonds de Kirchberg	Baumeister Luxemburg	Mittelwert
	Bürogebäude	Referenz- bürogebäude	Bürogebäude Teilabschnitt	Bürogebäude	Bürogebäude	Bürogebäude	NGF-flächen- gewichtet
Zonierung, Datenaufnahme, Gebäudehülle	48,0	24,0	42,0	47,0	35,0	44,0	42,8
Eingabe der Bauteildaten in eine Software	14,0	7,0	12,0	14,0	8,0	12,0	11,8
Konfiguration der Anlagentechnik	13,0	9,0	15,0	18,0	13,0	11,0	13,3
Plausibilitätsprüfung, Berichterstellung	9,0	6,0	9,0	9,0	6,0	9,0	8,5
Summe in Stunden	84,0	46,0	78,0	88,0	62,0	76,0	76,3

Bei einem angenommenen Ingenieur-Stundensatz von 80 €/h kostet die Erstellung eines Bedarfsausweises im Durchschnitt etwa 6 100 €.

Die relativen Zeitanteile, bezogen auf den Gesamtzeitbedarf bei der Bilanzierung, liegen bei allen Gebäuden auf ähnlichem Niveau.

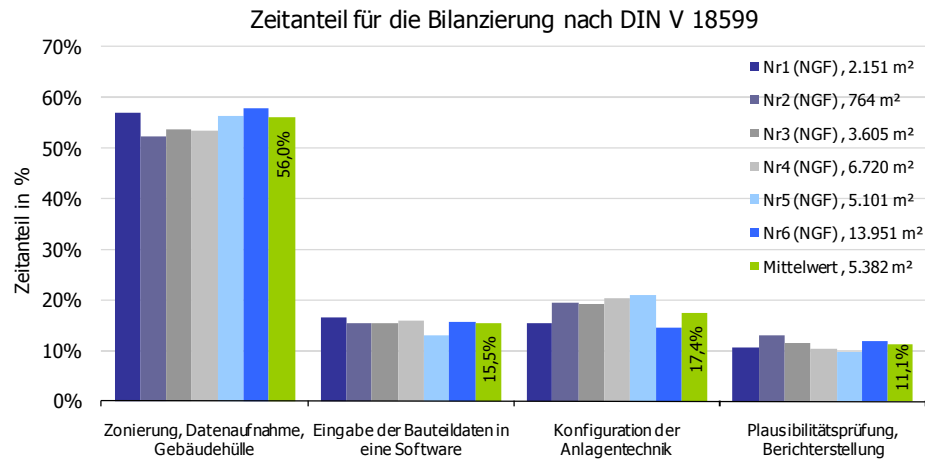


Abbildung 239: Zeitanteil für die Bedarfsberechnung nach DIN V 18599 für die analysierten Gebäude

A.2 Zu Abschnitt 2.7: Bauteilbezogene Fehlerauswertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Abschnitts 2.7 zur Bestimmung des bauteilbezogenen Flächenfehlers für die Gebäude 2 bis 11 dargestellt und diskutiert.

A.2.1 Fehleranalyse, Gebäude 2 – Büro BoB

Im *einfachen Verfahren* wird eine Bauteilfläche in Abhängigkeit von der Zonengröße verteilt. Für das betrachtete Gebäude 2 bedeutet das, dass der Zone „Verkehrsfläche“, welche zum Großteil innen liegend angeordnet ist, ein größerer Anteil der Wand- und Fensterflächen zugewiesen wird, als tatsächlich vorkommt (vgl. Tabelle 69). Diese unscharf verteilten Flächen werden der Hauptnutzung „Gruppenbüro“ entnommen. Für den „Serverraum“ werden höhere Flächen bilanziert als tatsächlich vorhanden. Diese Zone ist im Innern des Gebäudes angeordnet und erhält aufgrund ihres Zonenflächenanteils (0,7 % vom Gesamtgebäude) einen entsprechenden Anteil der Gebäudehüllflächen. Für die Zonen „Küche“ und „WC und Sanitärräume“ ergeben sich ähnliche Resultate. Tabelle 69 zeigt die zonenbasierte Auswertung für Gebäude 2. Je Bauteilkategorie entspricht die Summe der positiven relativen Fehler (zu wenig Fläche) der Summe der negativen relativen Fehler (zu viel Fläche).

Tabelle 69: Fehlerauswertung bei der vereinfachten Flächenzuweisung, Geb.2

	Gruppenbüro	Be-sprechungs-räume	Küche Vorbe-reitung	WC und Sanitär-räume	Verkehrs-flächen	Lager Technik, Archiv	Serverraum	Bibliothek
Wände	24,1 %	0,8 %	-2,1 %	-1,8 %	-18,3 %	-0,2 %	-0,7 %	-1,8 %
Dach	-8,8 %	2,9 %	-1,0 %	-0,1 %	2,2 %	1,9 %	-0,7 %	3,5 %
Boden	2,5 %	-3,2 %	0,1 %	1,3 %	1,5 %	-0,4 %	-0,1 %	-1,8 %
Fenster Nord	-15,8 %	-9,6 %	-2,1 %	-1,8 %	38,6 %	-6,8 %	-0,7 %	-1,8 %
Fenster Ost	-1,0 %	7,4 %	-2,1 %	-1,8 %	6,8 %	-6,8 %	-0,7 %	-1,8 %
Fenster Süd	28,1 %	7,1 %	-2,1 %	-1,8 %	-23,6 %	-5,3 %	-0,7 %	-1,8 %
Fenster West	10,2 %	0,5 %	-2,1 %	-1,8 %	2,5 %	-6,8 %	-0,7 %	-1,8 %

Der bauteilbezogene Fehler $F_{i,\pm}$ wird in Abbildung 240 dargestellt. Verglichen mit Gebäude 1 liegt der relative Fehler bei den Außenwänden fast doppelt so hoch. Dies liegt vor allem an der heterogenen Verteilung der Zonen/Nutzungen im Gebäude. Da Dach- und Bodenflächen fast in jedem Zonentyp

vorkommen, ist der Fehler bei diesen beiden Bauteilgruppen niedrig. Bei den transparenten Flächen entstehen wiederum Fehler von bis zu 38,6 % durch eine flächengewichtete Verteilung. Je nach Vorhandensein von transparenten Flächen in den einzelnen Zonen kann dies sehr stark variieren.

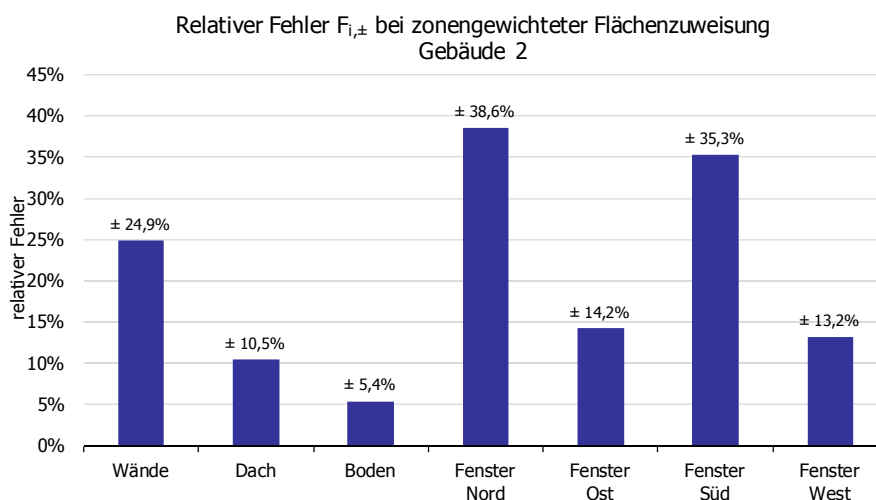


Abbildung 240: Relativer Fehler bei der Flächenzuweisung nach dem vereinfachten Verfahren, Geb.2

A.2.2 Fehleranalyse, Gebäude 3 – Büro Baumeister

Tabelle 70 zeigt die Zonenergebnisse für Gebäude 3. Positive Zahlenwerte sind auch hier als „zu wenig zugewiesene“ Flächen zu interpretieren. In der klimatisierten Zone „Großraumbüro“ ergibt sich, je nach Orientierung, ein relativer Fehler von bis zu 41,7 %. Die Nebennutzungsbereiche sind real mit weniger Fensterflächen ausgestattet. Es zeigt sich, dass sich durch die flächengewichtete Verteilung im *einfachen Verfahren* für diese Bereiche zu große Fensterflächenanteile ergeben, welche im Wesentlichen der Hautnutzung „Großraumbüro“ entnommen werden. Im Bereich des unteren Gebäudeabschlusses wird in der Zone „Großraumbüro“ hingegen ein Fehler von –44,4 % auffällig – es wurde zu viel Fläche zugewiesen. Dem Gebäudeentwurf nach etabliert sich diese Zone erst ab dem Erdgeschoss, weshalb dort real eine sehr geringe Bodenfläche vorkommt. Durch die flächengewichtete Verteilung wird dieser Zone dann deutlich mehr Bauteilfläche zugeteilt.

In Tabelle 70 fällt ein gleich verteilter relativer Fehler im Parkgeschoss auf. Ursache ist, dass die Zone Parkgeschoss für dieses Projekt mit zur Energiebezugsfläche gezählt wurde und durch eine einfache Zuweisung der Gebäudehüllfläche einen entsprechenden Anteil eines jeden Bauteiltyps erhält. In der Realität hat diese Zone jedoch keine thermisch relevante Hüllfläche. Die dem Parkgeschoss fehlerhaft zugewiesene Fläche fehlt bei der Verteilung der übrigen Flächen auf die Zonen.

Tabelle 70: Fehlerauswertung bei der vereinfachten Flächenzuweisung, Geb.3

	WC und Sanitär-räume	Verkehrs-flächen	Lager	Serverraum	Schalter-halle	Großraum-büro	Archiv	Parkhäuser
Wände	–2,3 %	–3,0 %	13,2 %	–1,5 %	–0,3 %	9,8 %	3,8 %	–19,8 %
Dach	–1,9 %	–4,6 %	16,8 %	–6,5 %	–0,9 %	18,7 %	–1,8 %	–19,8 %
Boden	–2,1 %	11,1 %	22,4 %	21,9 %	–0,9 %	–44,4 %	11,8 %	–19,8 %
Fenster Nord	–2,7 %	–8,8 %	–9,4 %	3,6 %	–0,9 %	41,7 %	–3,7 %	–19,8 %
Fenster Ost	–2,7 %	–8,8 %	–9,4 %	7,3 %	–0,9 %	38,0 %	–3,7 %	–19,8 %
Fenster Süd	–2,7 %	–7,6 %	–9,4 %	6,0 %	2,5 %	34,8 %	–3,7 %	–19,8 %
Fenster West	–2,7 %	–8,8 %	–9,4 %	7,4 %	–0,9 %	38,0 %	–3,7 %	–19,8 %

In Abbildung 241 sind die summierten positiven und negativen relativen Fehler aufgetragen. Verglichen mit den beiden Gebäuden 1 und 2, kann, bei einer vereinfachten Flächenaufteilung, eine stärkere Abweichung zum realen Flächenvorkommen ausgemacht werden. Außenwände werden zu etwa 27 % fehlerhaft zugewiesen. Im Bereich des Daches liegt der Fehler bei 36 %. Die größte Abweichung ist beim unteren Gebäudeabschluss (Boden) mit 67 % auszumachen. Die transparenten Bauteile werden über alle Himmelsrichtungen hinweg etwa zu 45 % fehlerhaft verteilt.

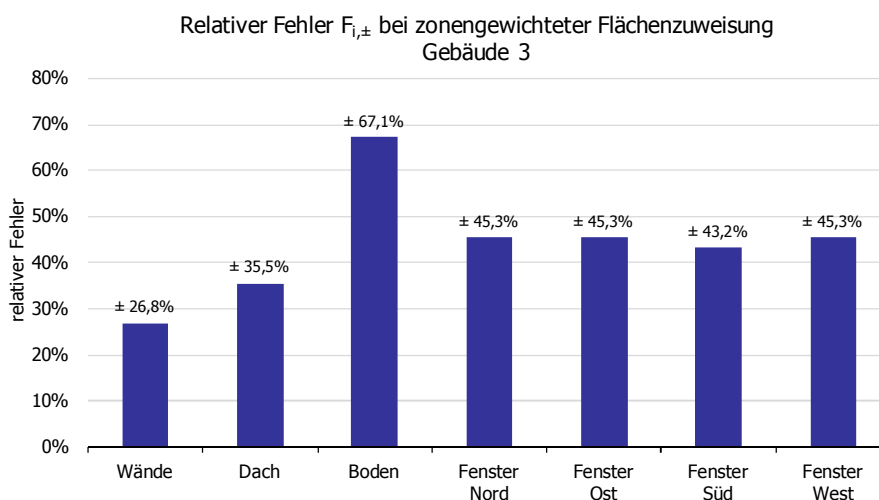


Abbildung 241: Relativer Fehler bei der Flächenzuweisung nach dem vereinfachten Verfahren, Geb.3

A.2.3 Fehleranalyse, Gebäude 4 – Büro Arsenal

Im *einfachen Verfahren* wird der Zone „Verkehrsfläche“, die zum Großteil innen liegend ist, ein größerer Anteil der Wand- und Fensterflächen zugeteilt. Auch hier wird dadurch der Hauptnutzung „Gruppenbüro“ weniger Fläche zugewiesen (vgl. Tabelle 71). Mit Ausnahme der großen Abweichung im Bereich der Bodenplatte, ergeben sich jedoch geringe bauteilbezogenen Fehler über alle Zonen zwischen $\pm 1\%$ und $\pm 10\%$, was sich dadurch begründet, dass die Bürozone knapp 80 % des gesamten Gebäudes ausmacht.

Tabelle 71: Fehlerauswertung bei der vereinfachten Flächenzuweisung, Geb.4

	Gruppenbüro	Serverraum, Rechenzentrum	Küche, Vorbereitung	Einzelhandel, Kaufhaus	WC und Sanitärräume	Verkehrs- flächen
Wände	-4,8 %	-0,1 %	-0,5 %	-2,5 %	-3,3 %	11,2 %
Dach	0,6 %	-0,1 %	1,5 %	-4,5 %	-1,6 %	4,1 %
Boden	-64,3 %	0,8 %	-1,1 %	39,0 %	6,0 %	19,6 %
Fenster Nord	10,4 %	-0,1 %	-1,1 %	4,1 %	-4,4 %	-8,9 %
Fenster Ost	12,7 %	-0,1 %	-1,1 %	-4,5 %	-4,4 %	-2,6 %
Fenster Süd	3,8 %	-0,1 %	-1,1 %	10,3 %	-4,4 %	-8,5 %
Fenster West	17,2 %	-0,1 %	-1,1 %	-2,7 %	-4,4 %	-8,9 %

Der bauteilbezogene Fehler ist bei der Zuweisung der Bodenfläche in der Zone „Großraumbüro“ ausgeprägt. Das Erdgeschoss, welches gleichzeitig den thermischen unteren Gebäudeabschluss bildet, beinhaltet fast keine Büroflächen, sondern zum Großteil die Zone „Einzelhandel“ (Shops). Der reale Flächenanteil der Bodenfläche für die Zone „Gruppenbüro“ ist dementsprechend niedrig. Die Anwendung des *einfachen Verfahrens* führt hier zu einer entsprechend hohen Zuweisung.

Dementsprechend steht der Zone „Einzelhandel“ weniger Fläche zur Verfügung, und es erfolgt eine Verschiebung bei der Flächenzuweisung.

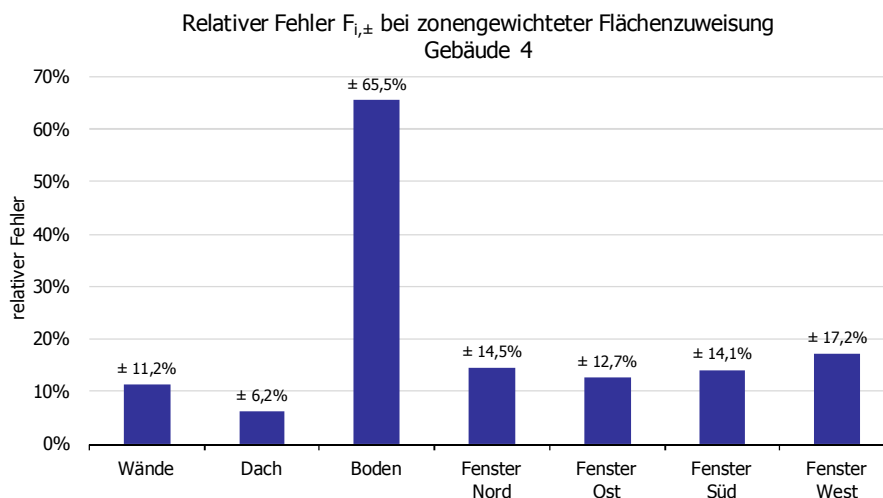


Abbildung 242: Relativer Fehler bei der Flächenzuweisung nach dem vereinfachten Verfahren, Geb.4

A.2.4 Fehleranalyse, Gebäude 5 – Büro CLI

Die Büroflächen haben einen Flächenanteil von etwa 57 % des Gebäudes und sind in Fassadennähe angeordnet. Der Gebäudekern wird durch die Zonen „Verkehrsflächen“, „WC und Sanitärräume“ und das „Archiv“ geprägt. Für diese Zonen werden im *einfachen Verfahren* Bauteilflächen generiert. Fehler ergeben sich dabei insbesondere für die Fenster- und Wandflächen, da diese der Hauptnutzung entnommen werden. Die zwischen den beiden Gebäudeteilen liegende Passerelle ist Richtung Westen voll verglast. Für die Flächenanalyse sind die Verkehrsflächen im Gebäudeinnern und die der Passerelle zusammengefasst in einer Zone. In der Energiebilanz sind sie hinsichtlich der Tageslichtversorgung zu unterteilen. Für die nach Westen orientierten Fenster ergibt sich daher eine Verschiebung von der Zone „Verkehrsfläche“ zur Zone „Gruppenbüro“, was in der Zone „Gruppenbüro“ einen bauteilbezogenen Fehler von +10,5 % (zu viel Fläche) bewirkt. Insgesamt werden der Zone „Gruppenbüro“ weniger Fensterflächen in den übrigen Orientierungen zugeteilt, was sich durch positive Abweichungen ausdrückt.

Tabelle 72: Fehlerauswertung bei der vereinfachten Flächenzuweisung, Geb.5

	Gruppenbüro	Küche, Vorbereitung	WC und Sanitärräume	Verkehrsflächen	Lager Technik, Archiv	Archiv
Wände	13,6 %	-1,7 %	-3,9 %	-21,3 %	15,6 %	-2,2 %
Dach	-7,4 %	-1,7 %	-3,9 %	-8,8 %	24,0 %	-2,2 %
Boden	4,4 %	0,2 %	1,6 %	1,3 %	-7,8 %	0,3 %
Fenster Nord	34,7 %	-1,7 %	-3,9 %	-19,0 %	-7,8 %	-2,2 %
Fenster Ost	9,5 %	-1,7 %	-3,9 %	6,1 %	-7,8 %	-2,2 %
Fenster Süd	36,7 %	-1,7 %	-3,9 %	-21,0 %	-7,8 %	-2,2 %
Fenster West	-10,5 %	-1,7 %	-3,9 %	26,1 %	-7,8 %	-2,2 %

Die Fehler der Hüllflächenverteilung sind erwartungsgemäß bei den Wänden und den transparenten Bauteilen hoch, da innen liegende Zonen und im Erdreich liegende Zonen vorhanden sind, die real keinen Flächenanteil dieser Bauteilgruppen aufweisen. Dementsprechend stehen den restlichen

Zonen weniger Flächen zur Verfügung. Die Bauteilflächen werden der Hauptnutzung (Gruppenbüro) entnommen. Die relativen Fehler sind in folgender Abbildung dargestellt.

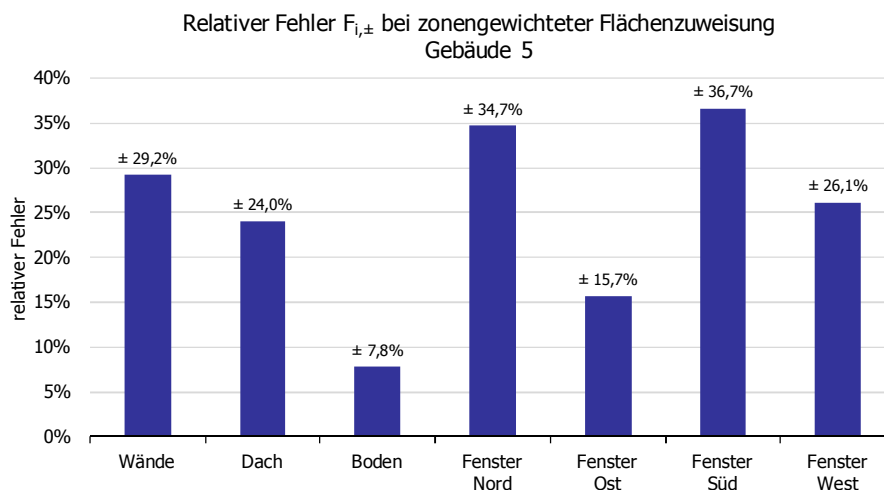


Abbildung 243: Relativer Fehler bei der Flächenzuweisung nach dem vereinfachten Verfahren, Geb.5

A.2.5 Fehleranalyse, Gebäude 6 – Büro Mamer

Tabelle 73 zeigt die zonenweise Auswertung bauteilbezogener Flächenfehler bei Anwendung des *einfachen Verfahrens*. Positive Zahlenwerte sind als „zu wenig zugewiesene“ Flächen zu interpretieren. Die Büroräume sind, ähnlich wie bei Gebäude 5, alle in Fassadennähe angeordnet. Die Zonen „Verkehrsflächen“, „Sanitär“ und „Küche“ sind zum überwiegenden Teil innen liegend. Somit ergeben sich auch für dieses Gebäude Abweichungen für alle Bauteile in der Hauptnutzung. Bis auf den unteren Gebäudeabschluss werden allen diesen Zonen zu geringe Bauteilflächen zugeteilt. Im Bereich der Fenster beträgt der relative Fehler zwischen $\pm 14,3$ und $\pm 22,8$ %.

Im Obergeschoss liegen die meisten Räume der Zone „Besprechung“ und im Untergeschoss die Räume der Zone „Lager, Archiv“. Demnach ist real auch das Vorkommen der Bauteile Dach und Boden hoch in diesen Zonen. Durch einfache Zuweisung erhält die Zone „Büros“ einen zu großen Anteil an Dach- ($-8,2$ %) und Bodenfläche ($-13,7$ %). Die größten bauteilbezogenen Fehlzuweisungen treten in der Zone „Besprechung“ mit etwa $+26,6$ % auf.

Tabelle 73: Fehlerauswertung bei der vereinfachten Flächenzuweisung, Geb.6

	Büros	Verkehrs- wege	Sanitär- räume	Küchen	Lager, Archiv	Server	Technik	Besprech- ungsräume
Wände	13,0 %	-13,8 %	-3,6 %	-0,8 %	1,2 %	0,8 %	6,4 %	-3,1 %
Dach	-8,2 %	-5,9 %	0,7 %	1,2 %	-4,7 %	-0,3 %	-9,5 %	26,6 %
Boden	-13,7 %	3,7 %	1,1 %	-0,1 %	9,2 %	-0,3 %	3,8 %	-3,7 %
Fenster Nord	14,3 %	-21,5 %	-0,2 %	-1,3 %	-5,7 %	-0,3 %	-7,7 %	22,4 %
Fenster Ost	19,5 %	-19,5 %	-3,7 %	2,5 %	-5,7 %	-0,3 %	-9,5 %	16,6 %
Fenster Süd	22,8 %	-12,8 %	-3,7 %	0,9 %	-5,7 %	-0,3 %	-8,9 %	7,8 %
Fenster West	15,2 %	-5,4 %	-3,7 %	-1,3 %	-5,7 %	-0,3 %	-5,4 %	6,7 %

Abbildung 244 zeigt den relativen Fehler bei der Bauteilzuweisung. Bezogen auf das Gesamtgebäude ergeben sich mittlere Fehlzuweisungen zwischen $\pm 17,8$ und $\pm 38,6$ %.

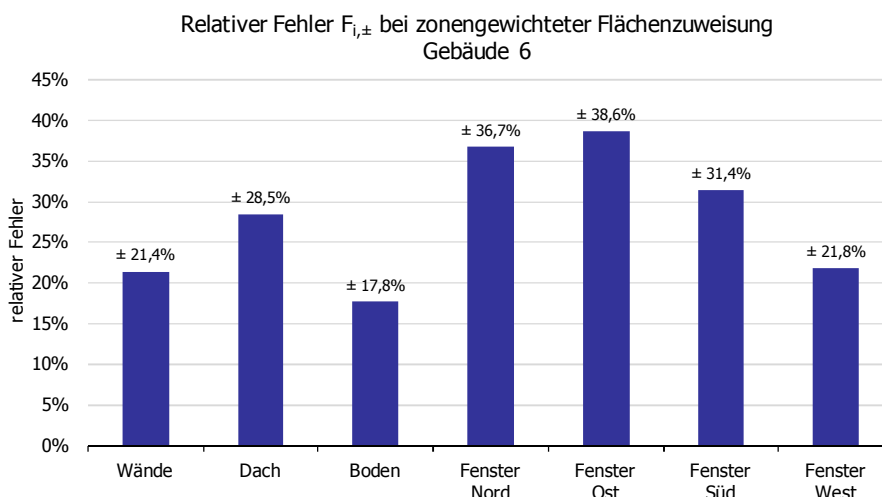


Abbildung 244: Relativer Fehler bei der Flächenzuweisung nach dem vereinfachten Verfahren, Geb.6

A.2.6 Fehleranalyse, Gebäude 7 – Büro Stümper

Im Gebäudeentwurf sind die Büroräume (Hauptnutzräume) im Wesentlichen nach Westen und Osten orientiert. Nebennutzräume, wie Treppenhäuser, Sanitärbereiche und Verkehrsflächen, sind an den kurzen Stirnseiten (Süd und Nord) des länglichen Gebäudeentwurfs angeordnet.

In folgender Tabelle sind die Flächenfehler je Zone dargestellt. Die Fensterflächen teilen sich real auf die beiden Zonen „Büros“ und „Verkehrswege“ und im Norden auch auf die Zone „Technik“ auf. Durch Anwendung des *einfachen Verfahrens* ergeben sich in der Zone „Büros“ zu wenige Fensterflächen im Westen und Norden.

Die größten Abweichungen treten in der Zone „Büros“ auf, mit einem Fehler beim Bauteil Fenster Süd von $-67,1\%$. Diese Fensterfläche kommt lediglich in der Zone „Verkehrsfläche“ vor, wird jedoch in Abhängigkeit der Flächenanteile auch jeder anderen Zone zugewiesen.

Tabelle 74: Fehlerauswertung bei der vereinfachten Flächenzuweisung, Geb.7

	Büros	Verkehrswege	Sanitär	Lager	Technik
Wände	-25,5 %	8,3 %	4,6 %	6,7 %	5,9 %
Dach	-0,7 %	18,7 %	-0,2 %	-11,4 %	-6,4 %
Boden	-17,1 %	-5,1 %	-0,1 %	22,7 %	-0,4 %
Fenster Nord	16,6 %	-11,4 %	-3,6 %	-11,4 %	9,9 %
Fenster Ost	0,3 %	21,1 %	-3,6 %	-11,4 %	-6,4 %
Fenster Süd	-67,1 %	88,6 %	-3,6 %	-11,4 %	-6,4 %
Fenster West	32,9 %	-11,4 %	-3,6 %	-11,4 %	-6,4 %

Tabelle 74 zeigt die aggregierten Bauteilfehler. Aufgrund des großen Zonenflächenanteils der Bürofläche und Grundrissgestaltung sind die realen Bauteilflächen zum überwiegenden Teil auch in dieser Zone wiederzufinden, was zu geringen Fehlern führt. Mit Ausnahme der Orientierung Süd liegen alle Fehler mit zwischen $\pm 18,7$ und $\pm 32,9\%$.

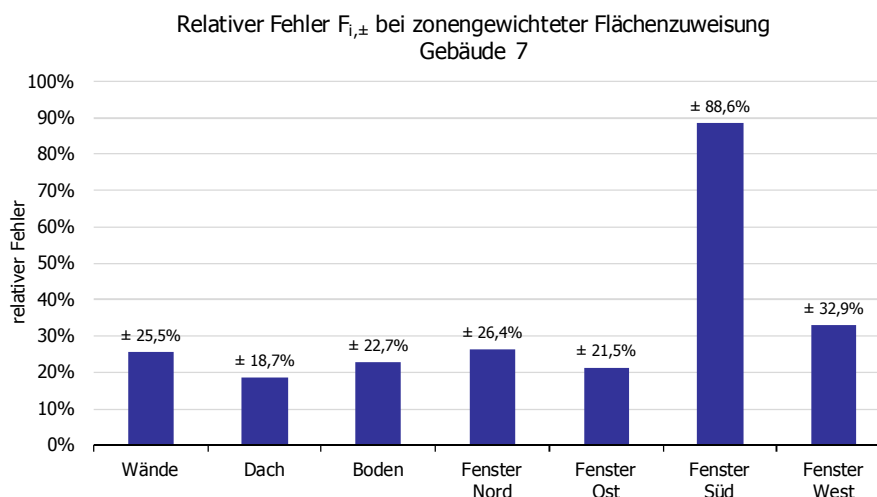


Abbildung 245: Relativer Fehler bei der Flächenzuweisung nach dem vereinfachten Verfahren, Geb.7

A.2.7 Fehleranalyse, Gebäude 8 – Europaschule

Der Gebäudeentwurf gliedert das Gebäude in zwei Bereiche, welche über Verkehrsflächen miteinander kommunizieren. Tabelle 75 zeigt die zonenweise Fehlerauswertung. Der größte Fehler mit rund 37,9 % entsteht in der Zone „Klassenräume“ bei den nach Westen orientierten Fensterflächen. Für alle anderen Bauteiltypen ergibt sich aufgrund der homogenen Raum- bzw. Zonenanordnung ein geringer Fehler.

Tabelle 75: Fehlerauswertung bei der vereinfachten Flächenzuweisung, Geb.8

	Klassenräume	Büros	Verkehrswege	Lager	Bibliothek	WC und Sanitärräume	Besprechungsräume
Wände	1,6 %	0,5 %	-6,2 %	1,7 %	2,3 %	-0,5 %	0,6 %
Dach	6,3 %	-1,5 %	1,9 %	-1,5 %	-3,3 %	-0,3 %	-1,6 %
Boden	-8,3 %	2,1 %	1,4 %	1,9 %	1,1 %	0,0 %	1,9 %
Fenster Nord	-10,4 %	0,8 %	5,3 %	-1,1 %	10,2 %	-3,2 %	-1,6 %
Fenster Ost	11,5 %	3,4 %	-10,4 %	-2,9 %	1,1 %	-3,2 %	0,5 %
Fenster Süd	-10,3 %	-3,1 %	10,3 %	-2,9 %	-3,3 %	-3,2 %	12,5 %
Fenster West	37,9 %	1,4 %	-30,6 %	-2,4 %	-1,6 %	-3,2 %	-1,6 %

Die nach Westen orientierte Fensterfläche kommt überwiegend nur in der Zone „Klassenräume“ vor, welche etwa 50 % der gesamten Zonenfläche ausmacht. Bei Anwendung des *einfachen Verfahrens* werden allen anderen Zonen ebenfalls Fensterflächen dieser Orientierung zugeteilt, was zu einer Verschiebung der Flächen aus der Zone „Klassenräume“ in andere Bereiche führt. Dies schlägt sich als größte Abweichung bei der Fehleranalyse nieder.

Durch den geöffneten Grundriss liegen fast keine Zonen vollständig im Inneren des Gebäudes, weshalb Wand-, Dach- und Bodenflächen praktisch in jeder Zone vorkommen und sich gleichmäßig verteilen.

Aufgrund der zentralen Anordnung einiger Zonen/Räume (Bibliothek im Norden) liegen die Fehler bei den transparenten Bauteilen etwas oberhalb der opaken Bauteile.

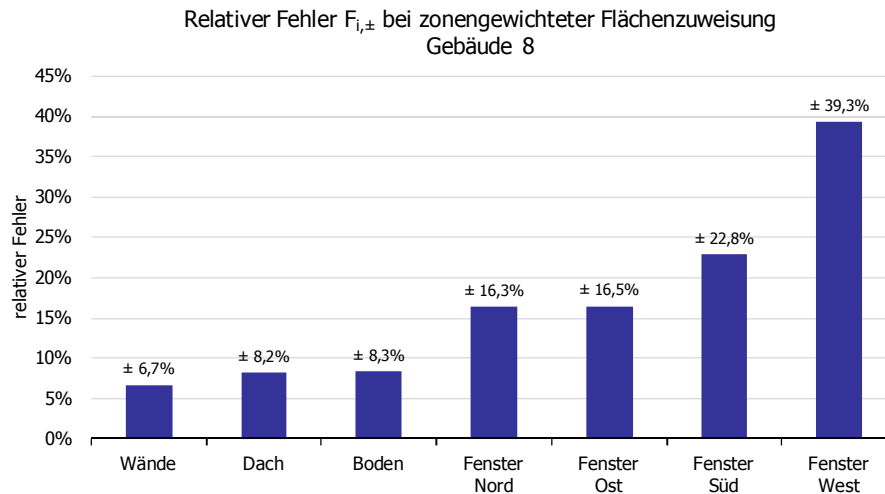


Abbildung 246: Relativer Fehler bei der Flächenzuweisung nach dem vereinfachten Verfahren, Geb.8

A.2.8 Fehleranalyse, Gebäude 9 – Mairie Bertrange

Bei diesem Gebäude handelt es sich um einen Anbau an ein bestehendes Gebäude und es beschreibt so einen Sonderfall bei der Hüllflächenverteilung, da an den Anbau grenzende Zonen keine thermische Hüllfläche erhalten. Es zeigt sich erneut bei diesem Gebäude, dass zum überwiegenden Teil innen liegende Zonen, wie „Lager, Technik, Archiv“, mehr Bauteilflächen erhalten als Zonen, die eine Hauptnutzung des Gebäudes beschreiben. Für die Fensterflächen ergeben sich orientierungsbedingte Fehlzuweisungen zwischen $-15,5$ und $+47,2$ % für die Zone „Einzelbüro“. In der Zone „Lager, Technik, Archiv“ werden die Fensterflächen mit einem Fehler von $+20$ % überschätzt.

Tabelle 76: Fehlerauswertung bei der vereinfachten Flächenzuweisung, Geb.9

	Einzelbüros	Besprechung	Küche, Vorbereitung	Austellungsraum	WC und Sanitärräume	Verkehrsflächen	Lager Technik, Archiv
Wände	3,2 %	1,7 %	3,9 %	1,7 %	5,5 %	-13,8 %	-2,1 %
Dach	-3,3 %	26,2 %	3,0 %	-5,1 %	2,3 %	-3,8 %	-19,3 %
Boden	-31,8 %	-11,0 %	-2,2 %	-5,1 %	0,1 %	5,5 %	44,5 %
Fenster Nord	-15,5 %	32,5 %	-0,2 %	31,1 %	-4,2 %	-23,6 %	-20,1 %
Fenster Ost	17,8 %	3,2 %	-2,2 %	-5,1 %	-3,1 %	10,8 %	-21,6 %
Fenster Süd	47,2 %	-1,8 %	-2,2 %	6,8 %	-4,2 %	-23,6 %	-22,1 %
Fenster West	-14,3 %	-11,0 %	-0,4 %	-5,1 %	5,8 %	45,9 %	-21,0 %

Abbildung 247 zeigt die gebäudebezogene Auswertung. Auch bei diesem Gebäude lassen sich ähnliche Auswirkungen bezüglich der Flächenverteilung beobachten wie bei den bisherigen Gebäuden. Die Wandflächen verteilen sich relativ homogen über alle Zonen, was zu einem geringen Fehler von 16 % führt. Beim Boden liegt der bauteilbezogene Fehler bei etwa 50 %. Die Zone „Archiv“ hat im Gebäudeentwurf den größten Anteil dieses Bauteiltyps. Deren Zonenflächenanteil beträgt jedoch nur 22 %. Den Büroflächen, mit rund 32 % Zonenflächenanteil, wird dieser Bauteiltyp im *einfachen Verfahren* ebenfalls zugewiesen, was zu einer Reduzierung des zu verteilenden „Flächenpools“ für alle anderen Zonen führt. Bei den Fensterflächen führt die orientierte Anordnung bestimmter Zonen zu deutlichen Fehlern zwischen $\pm 31,9$ und $\pm 63,6$ %.

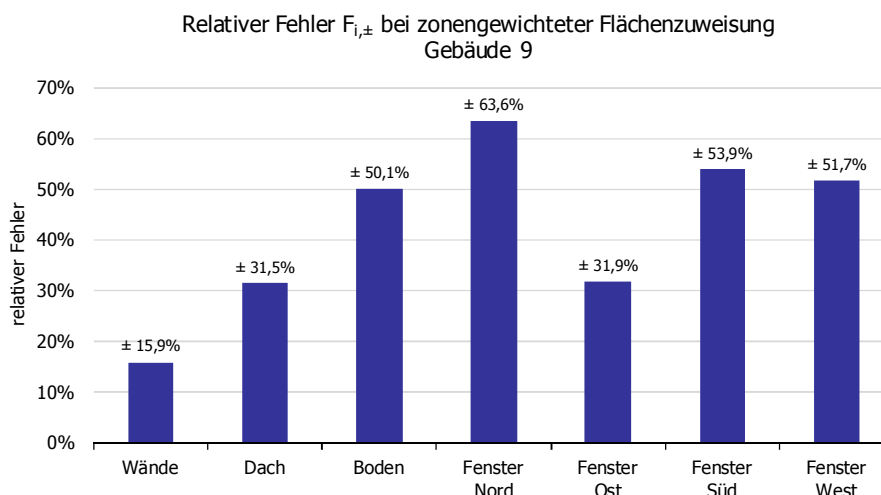


Abbildung 247: Relativer Fehler bei der Flächenzuweisung nach dem vereinfachten Verfahren, Geb.9

A.2.9 Fehleranalyse, Gebäude 10 – Maison Relais

Im Gebäudeentwurf werden einzelne Nutzungsbereiche jeweils zentral an einer Stelle im Gebäude zusammengefasst. Dies betrifft im Wesentlichen die Hauptnutzung, wie die Zonen „Büro“, „Klassenräume“, aber ebenso die Zone „WC-Sanitär“, und führt insbesondere bei der orientierten Fensterflächenzuweisung zu größeren Fehlern. Tabelle 77 zeigt die relativen Fehler bei der Flächenzuweisung auf Zonenebene. Für die Klassenräume entstehen, je nach Orientierung, bauteilbezogene Fehler zwischen $-44,4$ und $+55,6\%$. Die Fensterflächen werden zum Großteil in Zonen der Nebennutzung verschoben („WC-Sanitär“, „Lager, Technik, Archiv“, „Küche“).

Tabelle 77: Fehlerauswertung bei der vereinfachten Flächenzuweisung, Geb.10

	Klassen- räume	Verkehrs- wege	Küche	Lager Technik Archiv	WC und Sanitärräume	Technik	Büro	Bespre- chungsräume
Wände	-20,5 %	-3,3 %	3,5 %	3,3 %	8,0 %	9,0 %	-1,0 %	1,0 %
Dach	-2,3 %	6,8 %	-7,6 %	-0,3 %	-0,6 %	-0,9 %	2,8 %	2,2 %
Boden	-5,9 %	5,6 %	5,9 %	1,5 %	-0,8 %	-0,2 %	-3,5 %	-2,6 %
Fenster Nord	-38,2 %	28,8 %	-7,6 %	-6,0 %	21,5 %	-6,1 %	10,2 %	-2,6 %
Fenster Ost	55,6 %	-20,9 %	-7,6 %	-6,0 %	-7,8 %	-6,1 %	-4,5 %	-2,6 %
Fenster Süd	22,3 %	-3,2 %	-7,6 %	-6,0 %	-7,8 %	-6,1 %	0,7 %	7,8 %
Fenster West	-44,4 %	-20,9 %	10,5 %	-6,0 %	-7,8 %	-6,1 %	77,3 %	-2,6 %

Abbildung 248 zeigt den relativen Fehler bei der Flächenzuweisung für Gebäude 10. Durch die stark gegliederte Anordnung der Gebäudezonen bzw. Nutzungsbereiche im Gebäude bilden sich die bauteilbezogenen Fehler bei den transparenten Bauteilen deutlich aus. In allen Zonen sind Flächen der Bauteiltypen Wände und Dächer gegen Außenluft sowie Böden gegen Erdreich zu finden, sodass sich niedrige Abweichungen für opake Bauteile ergeben. Bei den nach Westen orientierten Fenstern sind die Abweichungen am größten, da die Bürozone als einzige Glasflächen in dieser Orientierung hat. Bei der Flächenverteilung erhalten alle anderen Zonen ebenfalls einen flächengewichteten Anteil dieser Flächen. An die Nordfassade grenzen keine Räume der Zone „Klassenräume“, die etwa 45 % des Gebäudes ausmacht. Dieser Zone wird im *einfachen Verfahren* für die Nordorientierung eine Fensterfläche zugewiesen, was die Verteilung auf die anderen Zonen beeinflusst. Die transparenten

Flächen der Ostfassade grenzen nur an Klassenräume, was ebenfalls zu höheren Unschärfen in anderen Zonen führt.

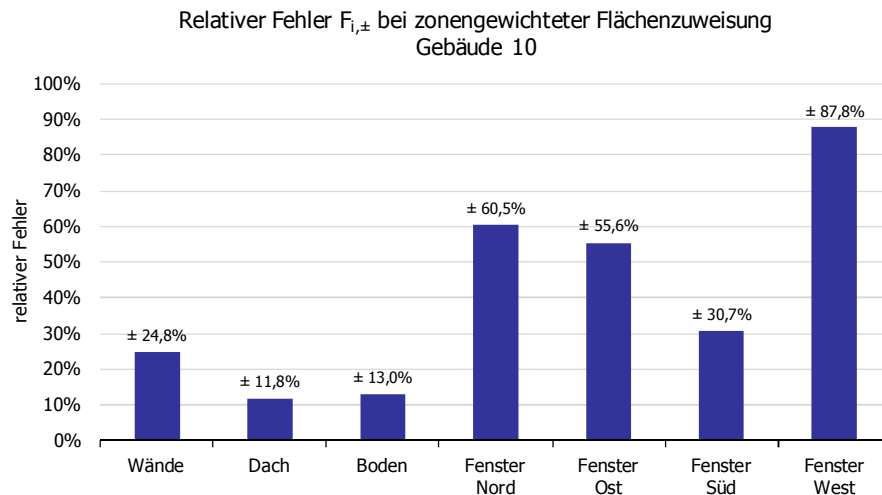


Abbildung 248: Relativer Fehler bei der Flächenzuweisung nach dem vereinfachten Verfahren, Geb.10

A.2.10 Fehleranalyse, Gebäude 11 – Schwimmbad Belair

Das Schwimmbad zeichnet sich durch einen Hauptbereich (Becken) mit einer sehr hohen lichten Raumhöhe aus. Diese Zone ist eingeschossig ausgebildet. Alle anderen Zonen reichen über zwei Geschosse. Die Auswirkungen unterschiedlicher Raumhöhen auf die Verteilung kann an diesem Beispiel überprüft werden. Tabelle 78 zeigt die berechneten Fehleranalysen.

Trotz des geringeren Nutzflächenanteils wird der Zone „Becken“ mehr Wandfläche (–33,1 %) zugewiesen als real vorhanden ist. Der Grund dafür ist, dass sämtliche vertikalen thermischen Hüllflächen dieser Zone aus transparenten Bauteilen bestehen. Die Außenwandflächen grenzen zum größten Teil an die Flurbereiche. Durch die flächengewichtete Verteilung wird der Zone „Verkehrswege“ somit zu wenig Außenwandfläche zugewiesen. Ebenso ist die Zone „Sanitär, Umkleide“ zum Großteil innen liegend angeordnet, was zu Fehlern bei der Verteilung der transparenten Bauteile (–12,1 %) und der Wände (–5,4 %) führt. Die Fensterflächen verschieben sich im Wesentlichen von der Zone „Becken“ in die Zone „Verkehrswege“.

Tabelle 78: Fehlerauswertung bei der vereinfachten Flächenzuweisung, Geb.11

	Becken	Büros	Sanitär- und Umkleideräume	Verkehrswege	Lager	Besprechungsräume	Sonstige Aufenthaltsräume
Wände	–33,1 %	–1,6 %	–5,4 %	37,8 %	11,6 %	–2,6 %	–6,6 %
Dach	12,1 %	–0,6 %	–3,1 %	–4,8 %	–4,5 %	0,3 %	0,7 %
Boden	–14,5 %	0,5 %	3,8 %	9,9 %	1,4 %	0,8 %	–2,0 %
Fenster Nord	29,7 %	–1,6 %	–7,2 %	–31,1 %	–4,5 %	1,9 %	12,8 %
Fenster Ost	27,8 %	–1,6 %	–12,1 %	–31,1 %	–4,5 %	–2,6 %	24,1 %
Fenster Süd	49,4 %	–1,6 %	–12,1 %	–31,1 %	–4,5 %	6,6 %	–6,6 %
Fenster West	45,4 %	–1,6 %	–12,1 %	–25,3 %	–4,5 %	4,8 %	–6,6 %

Da Dach- und Bodenflächen fast in allen Zonentypen vorkommen, ergibt sich ein geringer Fehler bei der Flächenaufteilung zwischen ±13 und ±16,5 %. Bei den Fensterflächen liegen die Fehler jedoch deutlich zwischen ±44,5 und ±56 %. Grund hierfür ist die orientierte Anordnung von Nutzungsbereichen im Gebäude.

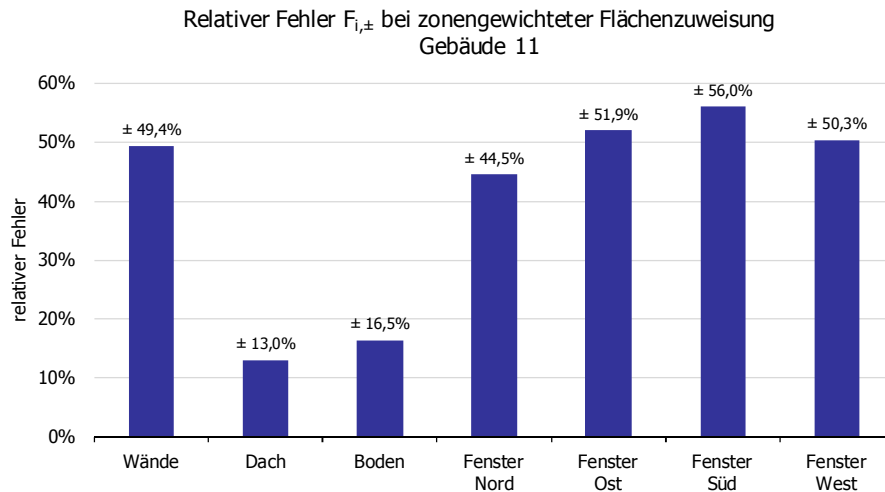


Abbildung 249: Relativer Fehler bei der Flächenzuweisung nach dem vereinfachten Verfahren, Geb.11

A.3 Zu Abschnitt 2.9: Übersicht alle Bauteile

Folgende Abbildungen zeigen den Fehler bei vereinfachter nettogrundflächenabhängiger Zuweisung der Gebäudehüllflächen (mit „ohne“ gekennzeichnet) und die relativ berechneten minimalen Fehler unter Berücksichtigung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren (2 bis 4 Faktoren) bauteilbezogen für jedes Gebäude. Für die Gebäude 1, 2, 4, 5 und 7 werden die Fehler als Ergänzung zur bisherigen Darstellung mit bis zu 7 Faktoren gezeigt.

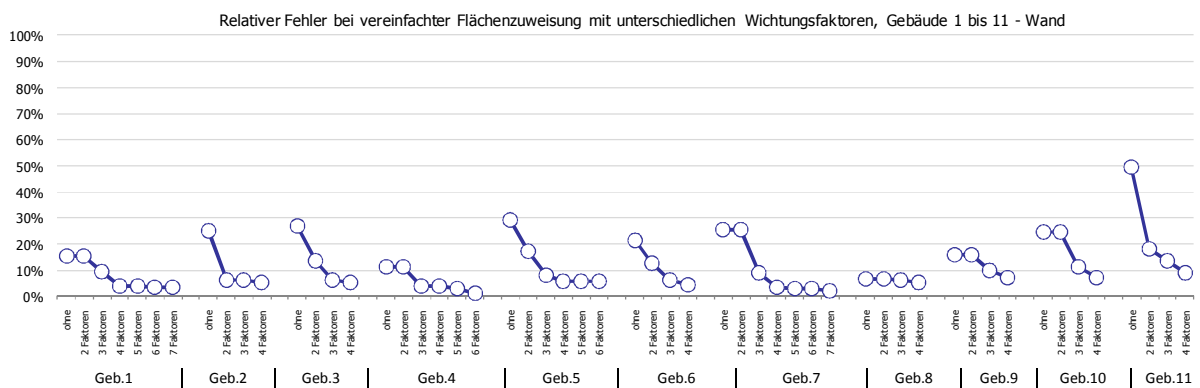


Abbildung 250: relativ minimaler Fehler bei vereinfachter Flächenzuweisung mit unterschiedlichen Wichtungsfaktoren für die Gebäude 1 bis 11, Bauteiltyp Wand

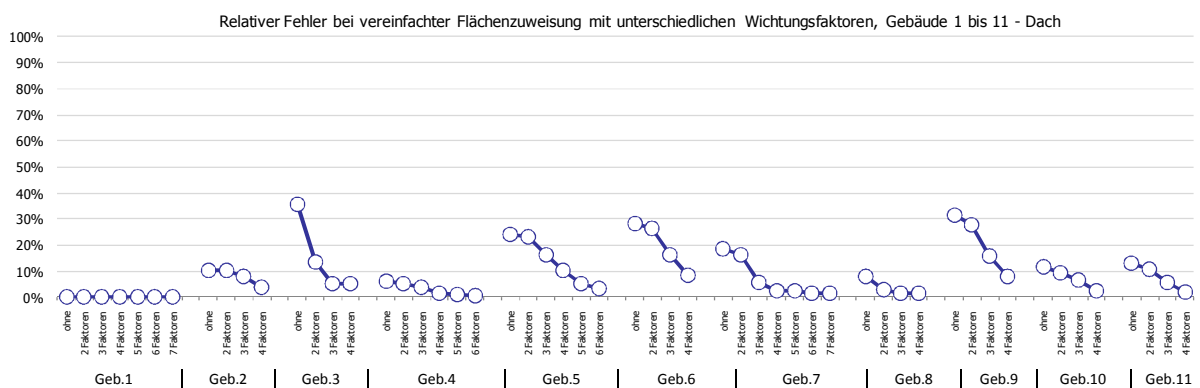


Abbildung 251: Relativ minimaler Fehler bei vereinfachter Flächenzuweisung mit unterschiedlichen Wichtungsfaktoren für die Gebäude 1 bis 11, Bauteiltyp Dach

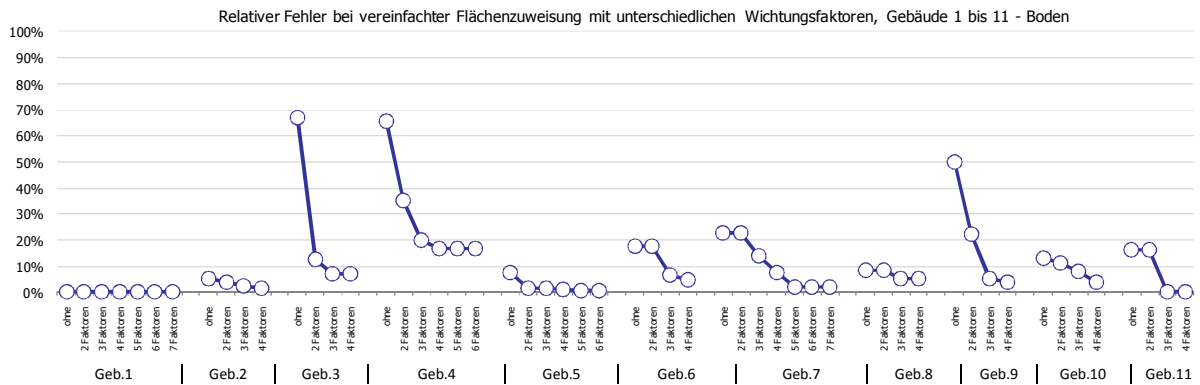


Abbildung 252: Relativer minimaler Fehler bei vereinfachter Flächenzuweisung mit unterschiedlichen Wichtungsfaktoren für die Gebäude 1 bis 11, Bauteiltyp Boden

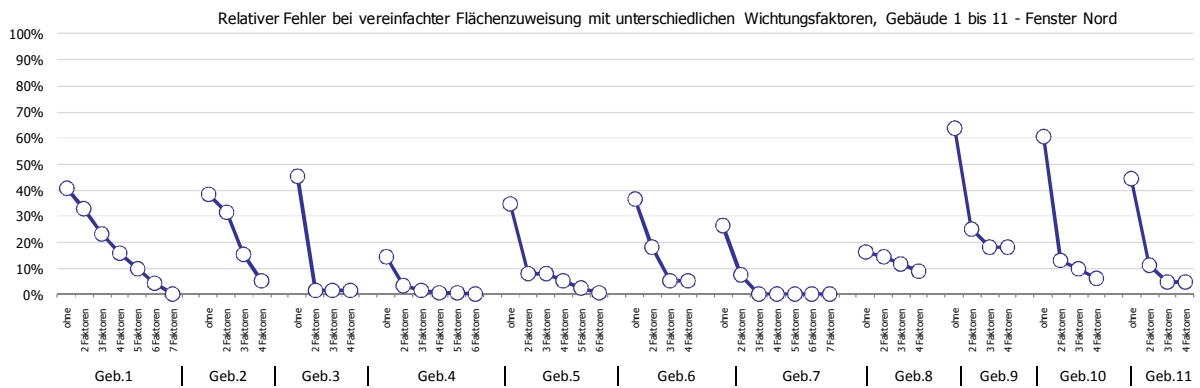


Abbildung 253: Relativer minimaler Fehler bei vereinfachter Flächenzuweisung mit unterschiedlichen Wichtungsfaktoren für die Gebäude 1 bis 11, Bauteiltyp Fenster Nord

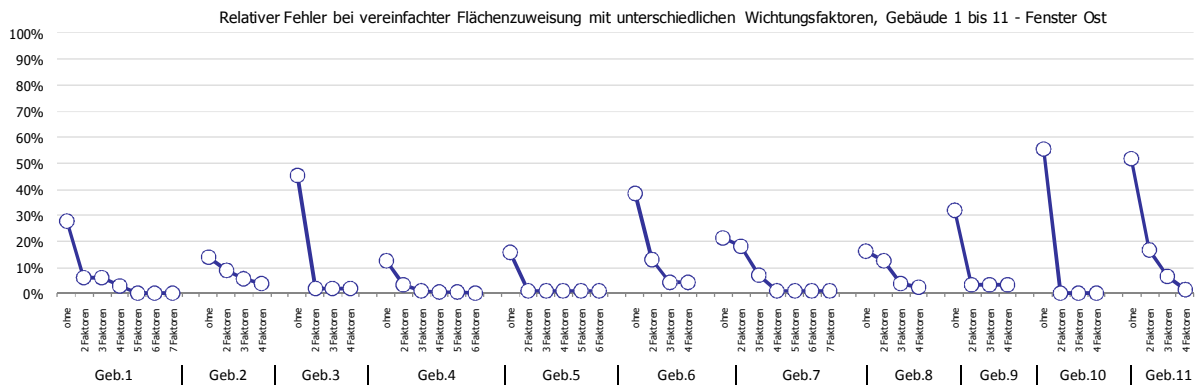


Abbildung 254: Relativer minimaler Fehler bei vereinfachter Flächenzuweisung mit unterschiedlichen Wichtungsfaktoren für die Gebäude 1 bis 11, Bauteiltyp Fenster Ost

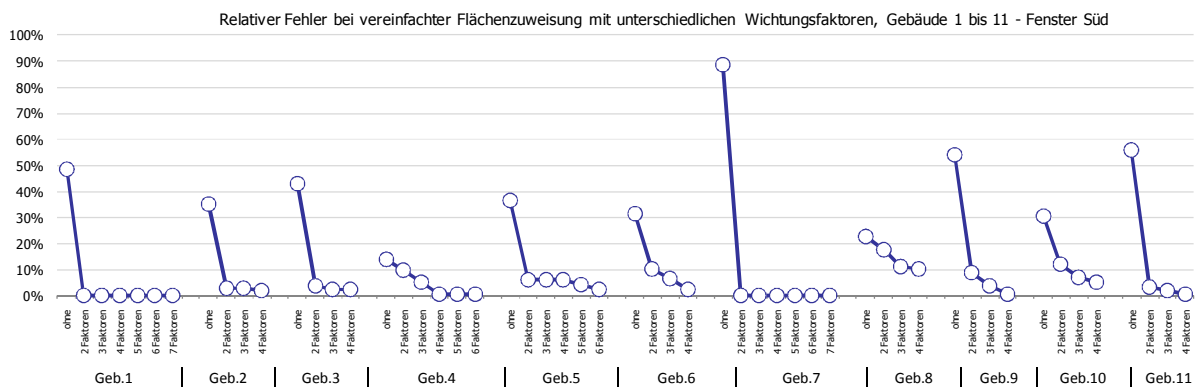


Abbildung 255: Relativer minimaler Fehler bei vereinfachter Flächenzuweisung mit unterschiedlichen Wichtungsfaktoren für die Gebäude 1 bis 11, Bauteiltyp Fenster Süd

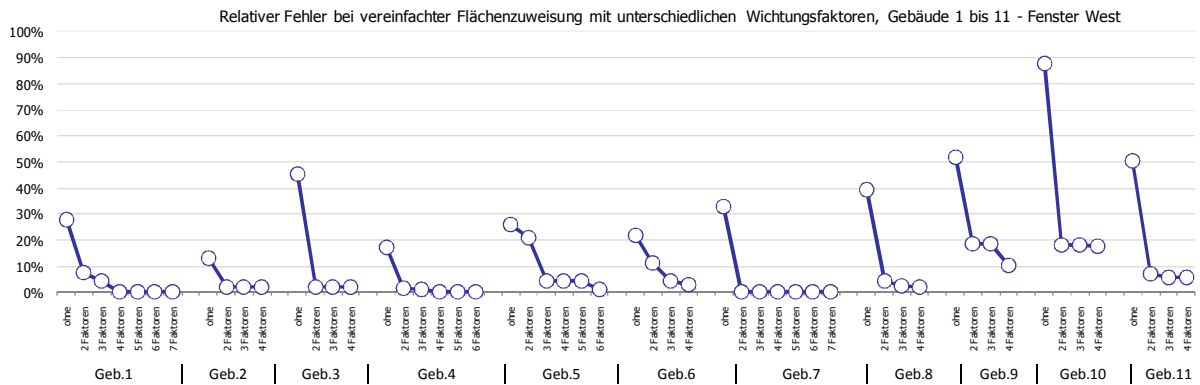


Abbildung 256: Relativer minimaler Fehler bei vereinfachter Flächenzuweisung mit unterschiedlichen Wichtungsfaktoren für die Gebäude 1 bis 11, Bauteiltyp Fenster West

Fehlerverteilung bei Anwendung des einfachen Verfahrens für alle Zonen je Bauteilgruppe

Die Verteilung der relativen Fehler wird in folgenden Abbildungen für jede Bauteilgruppe über alle untersuchten Zonen der 11 Gebäude dargestellt. Für transparente Bauteile ergeben sich deutlich höhere Einzelabweichungen, wobei ein positiver Fehler als „zu wenig Fläche“ zu interpretieren ist. Für die automatisierte Verteilung der Fensterflächen auf die Zonen ist es daher sinnvoll die Orientierung mit einzubeziehen. Dies wird beim *erweiterten Verfahren* berücksichtigt.

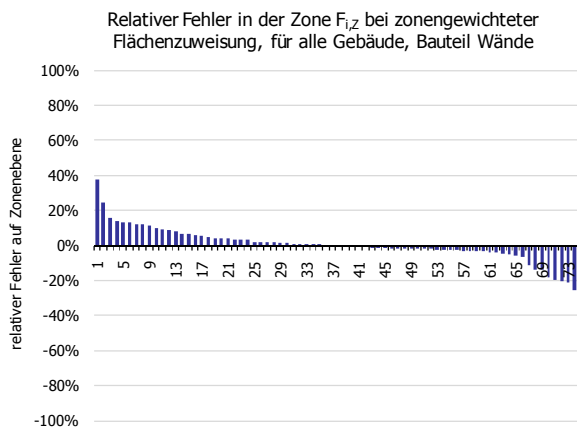


Abbildung 257: Verteilung der Flächenfehler über alle Zonen – Bauteil Wand

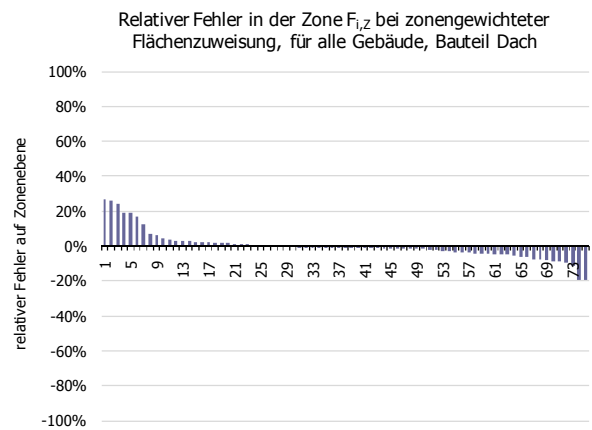


Abbildung 258: Verteilung der Flächenfehler über alle Zonen – Bauteil Dach

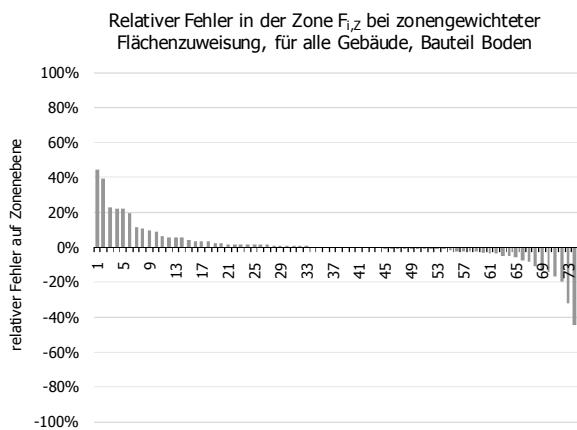


Abbildung 259: Verteilung der Flächenfehler über alle Zonen – Bauteil Boden

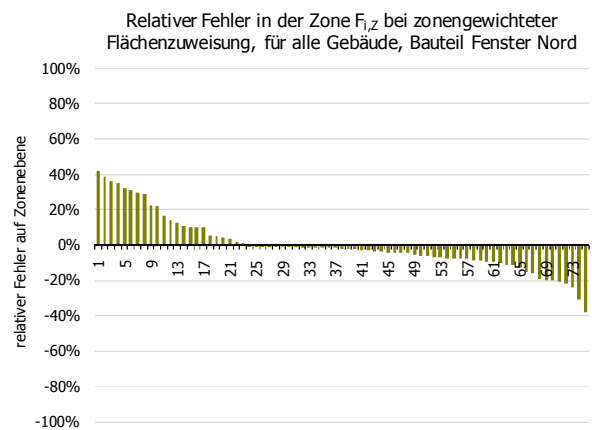


Abbildung 260: Verteilung der Flächenfehler über alle Zonen – Bauteil Fenster Nord

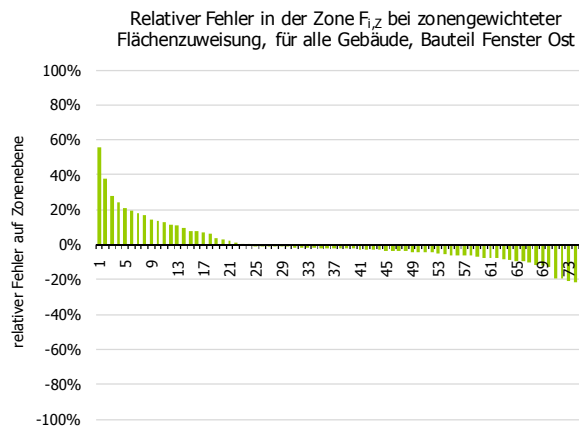


Abbildung 261: Verteilung der Flächenfehler über alle Zonen – Bauteil Fenster Ost

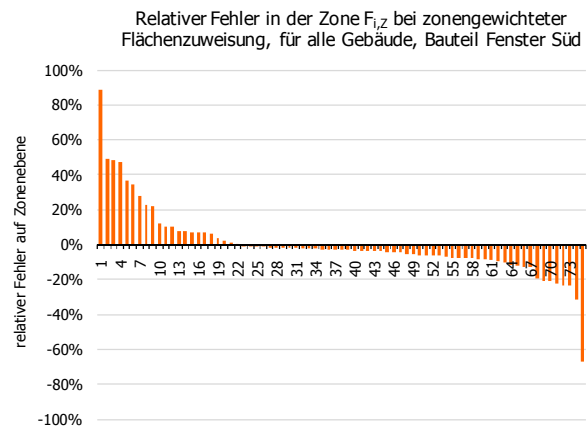


Abbildung 262: Verteilung der Flächenfehler über alle Zonen – Bauteil Fenster Süd

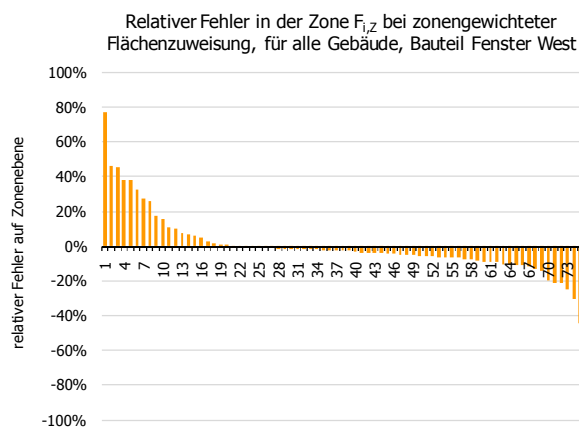


Abbildung 263: Verteilung der Flächenfehler über alle Zonen – Bauteil Fenster West

A.4 Zu Abschnitt 3.4: Monatlicher Ausnutzungsgrad für 33 Nutzungsprofile

Da die berechneten Ausnutzungsgrade von vielen unterschiedlichen Faktoren abhängen, werden für alle Nutzungsprofile, die nach DIN V 18599 im Teil 10 definiert sind, monatliche Ausnutzungsgrade berechnet. Die wesentlichen Einflüsse gehen von den Lüftungsverlusten (hier durch den Mindestaußenluftvolumenstrom, Infiltration und Fensterlüftung bestimmt), den internen Gewinnen über Personen, den Geräten und auch von der Beleuchtung aus. Letztere hängt zum einen von der erforderlichen Beleuchtungsstärke, vom gewählten Beleuchtungssystem und von der Tageslichtversorgung ab. Die Analyse erfolgt für 3 unterschiedliche U-Werte $0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, um den Einfluss des U-Wertes auf die Höhe der Ausnutzungsgrade darzustellen.

In den folgenden Abbildungen werden die Ausnutzungsgrade der Wärmegewinne für jedes Nutzungsprofil monatlich dargestellt. Unter Annahme einer Fensterlüftung lässt sich für Zonen mit geringen spezifischen Mindestaußenluftvolumenströmen feststellen, dass sich die berechneten Ausnutzungsgrade im Jahresverlauf je nach Dämmstandard stark voneinander unterscheiden. Für Zonen mit hohen Lüftungsverlusten (z. B. Küche, Hörsaal, Werkstatt, Sanitärräume, Zuschauerraum, Theaterfoyer etc.) kann eine weitgehende Konstanz des monatlichen Ausnutzungsgrades bestimmt werden, wenn die U-Werte variiert werden.

Für den Extremfall „Serverraum“ liegen die bilanzierten Ausnutzungsgrade im Jahresverlauf immer unterhalb 0,5.

Während der Monate mit geringen mittleren Außenlufttemperaturen (November bis Februar) ist die Abhängigkeit der Ausnutzungsgrade vom U-Wert opaker Bauteile als gering einzustufen. Für die Fehlerberechnung ist dies insofern wichtig, als für die Bilanzierung des Jahresheizwärmebedarfs auch die Übergangsmonate März, April, Mai und September interessant sind. In diesen Monaten sind die Auswirkungen unterschiedlicher U-Werte aufgrund der höheren solaren Einstrahlung und der geringeren Lüftungs- und Transmissionsverluste durch höhere mittlere Außentemperaturen (Gewinn-zu-Verlust-Verhältnis) deutlicher.

Fehler im Heizwärmebedarf, die durch eine einfache Verteilung der Gebäudehüllflächen entstehen, sind mit Ausnahme des Nutzungsprofils „Server“, in den Übergangsmonaten zu erwarten. In der Gesamtjahresbilanz werden die Auswirkungen auf den berechneten Heizwärmebedarf sicherlich weniger ausgeprägt sein als im Einzelmonat. Für die weitere Analyse ist es deshalb erforderlich, neben der reinen Betrachtung der Änderung des Ausnutzungsgrades, die Auswirkungen auf den Jahresheizwärmebedarf zu untersuchen.

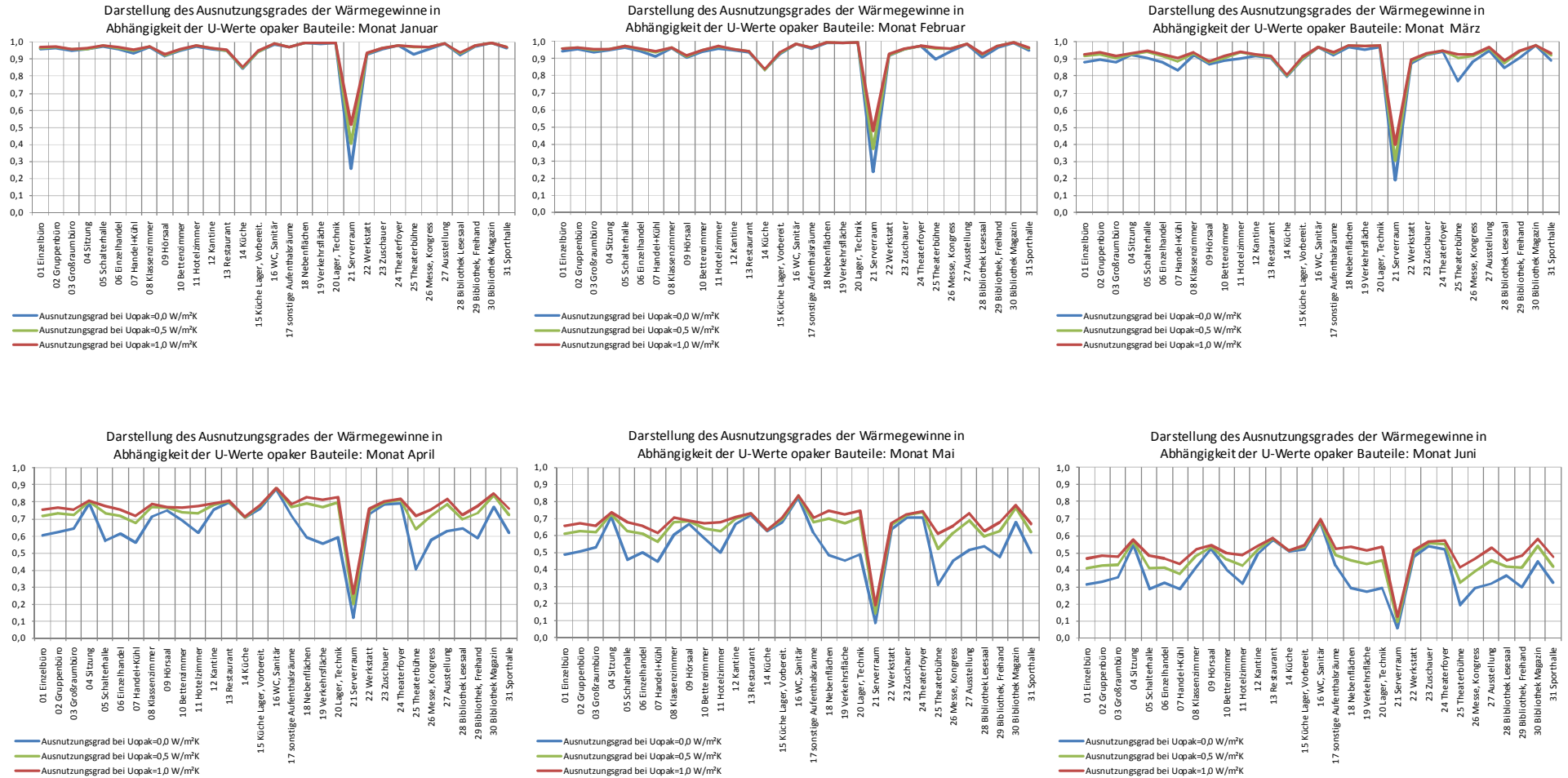


Abbildung 264: Darstellung monatlicher Ausnutzungsgrade der Wärmegewinne in Abhängigkeit der U-Werte opaker Bauteile für alle Nutzungsprofile. Berechnungsmodell ist das synthetisch erzeugte Raummodell (Monate Januar bis Juni)

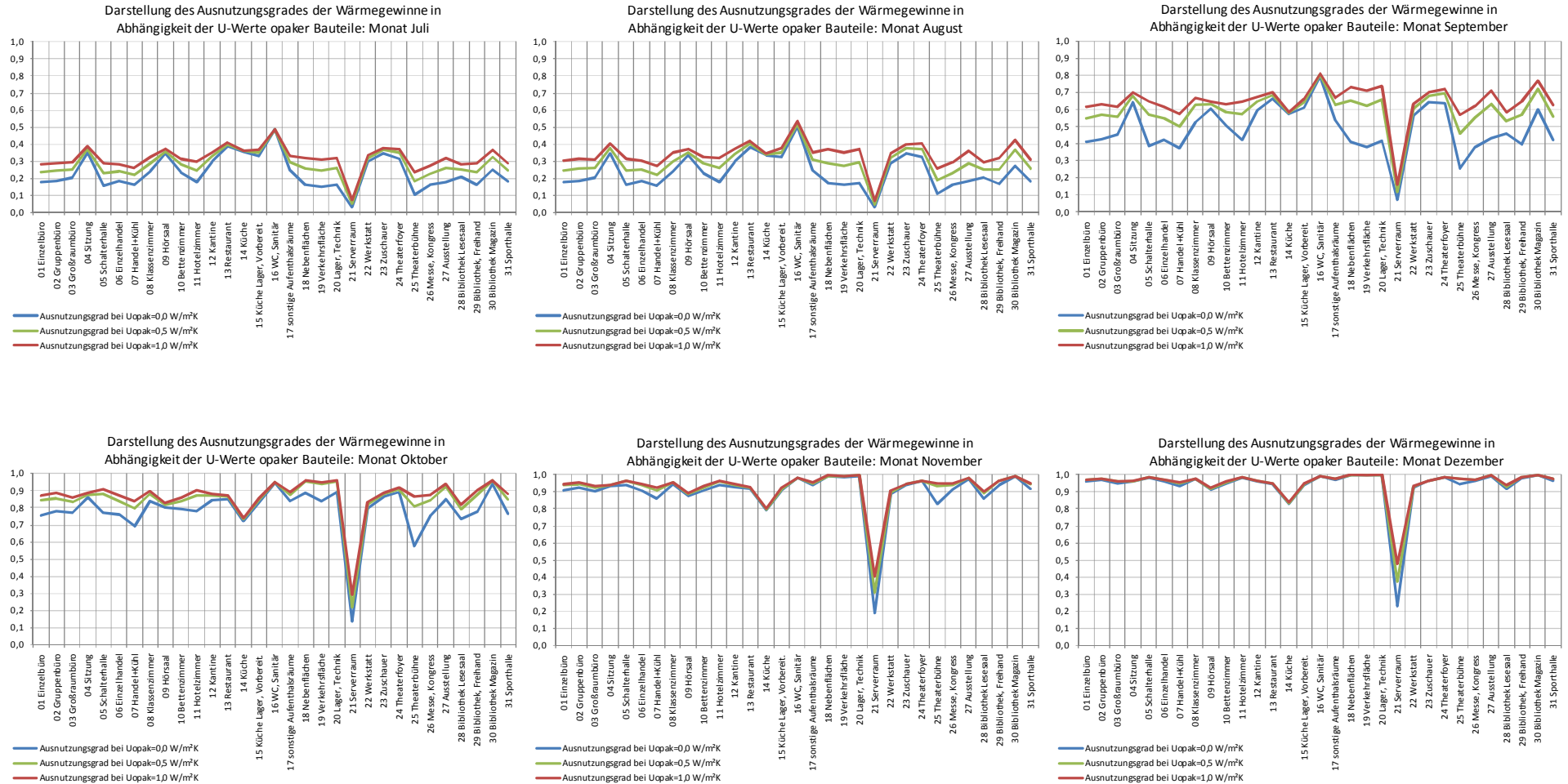


Abbildung 265: Darstellung monatlicher Ausnutzungsgrade der Wärmegewinne in Abhängigkeit der U-Werte opaker Bauteile für alle Nutzungsprofile. Berechnungsmodell ist das synthetisch erzeugte Raummodell (Monate Juli bis Dezember)

A.5 Zu Abschnitt 3.6.9: Einfluss der Beleuchtung auf thermische Bilanzen

Eine Änderung des Beleuchtungsstrombedarfs beeinflusst die internen Lasten der thermischen Bilanzen. Dadurch ändern sich auch der Heiz- und Kühlenergiebedarf in einer Zone. Da der Strombedarf für Beleuchtung von der Fensterfläche bzw. von der Tageslichtversorgung abhängt, treten indirekte Kompensationseffekte in den thermischen Bilanzen auf, wenn transparente Flächen unscharf zugewiesen werden. Im folgenden Abschnitt wird der Einfluss des Strombedarfs auf die thermischen Bilanzen untersucht.

A.5.1 Beleuchtungsstärke

Der Einfluss der Beleuchtung auf die nachgeschaltete Heizwärme- und Kältebilanz wird in folgender Grafik dargestellt. Die Wärmeeinträge durch Beleuchtung in eine Zone beeinflussen gleichermaßen die Heiz- und Kältebilanz. Mit steigender Beleuchtungsstärke⁴³ in einer Zone erfolgt eine Minderung des Heizwärmebedarfs, da die Gewinne als Gutschrift verbucht werden. In der Kühlenergiebilanz wirkt die Beleuchtungsstärke gegenteilig, da die anfallende Wärme zu einer Temperaturerhöhung im Raum führt und die zusätzlich nicht nutzbaren Gewinne über ein Raumkühlssystem abgefahren werden müssen. Bei sehr geringen Beleuchtungsstärken von 150 Lux fallen die Wärmegewinne durch die Beleuchtung so gering aus, dass die Heiz- und Kühlenergiebilanzen nicht wesentlich beeinflusst werden.

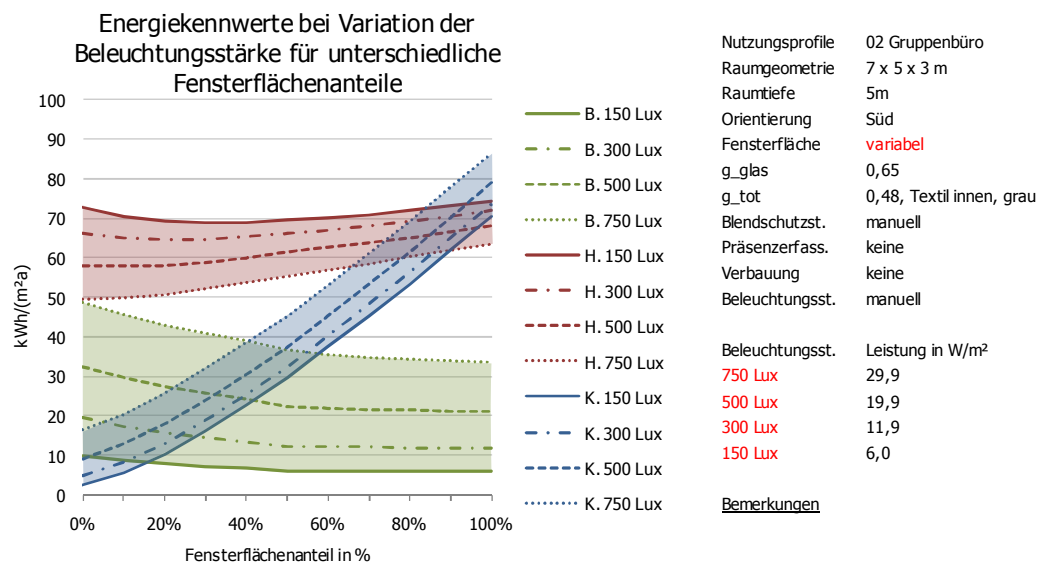


Abbildung 266: Absolute Auswirkungen unterschiedlicher Beleuchtungsstärken auf die Nutzenergiebilanzen. „B.“ steht für den Beleuchtungsstrombedarf, „H.“ für den Heizwärmebedarf und „K.“ für den Kühlenergiebedarf

Für die Parameteruntersuchung sind die relativen Änderungen des berechneten Energiebedarfs für Heizung und Kälte interessant, wenn Fensterflächen zu Zonen mit verschiedenen Beleuchtungsstärken zugewiesen werden. Abbildung 267 zeigt die Ausprägung des Einflusses auf den Heizwärme- und Kältebedarf. Die vollfarbigen Balken, hier alle im positiven Bereich, entsprechen der Änderung des Heizwärmebedarfs, die schraffierten der des Kältebedarfs. Gezeigt wird die Änderung des berechneten Energiebedarfs bezogen auf die Basisvariante mit 750 Lux Beleuchtungsstärke. Hieraus lässt sich der Einfluss der internen Gewinne durch Beleuchtung für unterschiedliche Fensterflächenanteile ableiten.

⁴³ Indirekt führt eine höhere Beleuchtungsstärke zu einer höheren elektrischen Bewertungsleistung – bei gleichem Beleuchtungssystem.

Für den Heizwärmebedarf kann bei einem Fensterflächenanteil von 0 % die größte Abweichung von 48 % bzw. 23 kWh/(m²a) berechnet werden, wenn die gleiche Zone statt mit 750 Lux nur mit 150 Lux berechnet wird. Mit steigendem Fensterflächenanteil macht sich der abnehmende Strombedarf der Beleuchtung bemerkbar, und die absolute und relative Änderung im Heizwärmebedarf zwischen den unterschiedlichen Systembeleuchtungsstärken nimmt ab.

Während beim Heizwärmebedarf die relativen und absoluten Änderungen im Energiebedarf annähernd gleich verlaufen, ist beim Kältebedarf die absolute Änderung weitgehend konstant und die relative Änderung stark variabel. Bei geringen Fensterflächenanteilen werden geringe Kühlenergiebedarfe berechnet, und eine geringe Änderung im Bedarfswert verursacht hohe relative Abweichungen. Die Ausnutzungsgrade der Wärmegewinne sind in den für die Kühlenergiebilanz relevanten Monaten tendenziell gering. Wie in Abschnitt 3.4.2 gezeigt, nimmt die Änderung des Ausnutzungsgrades mit steigendem Gewinn-zu-Verlust-Verhältnis ab. Dies führt in der Energiebilanz dazu, dass die absolute Änderung des Kältebedarfs durch den Einfluss der Beleuchtung nicht stark schwankt.

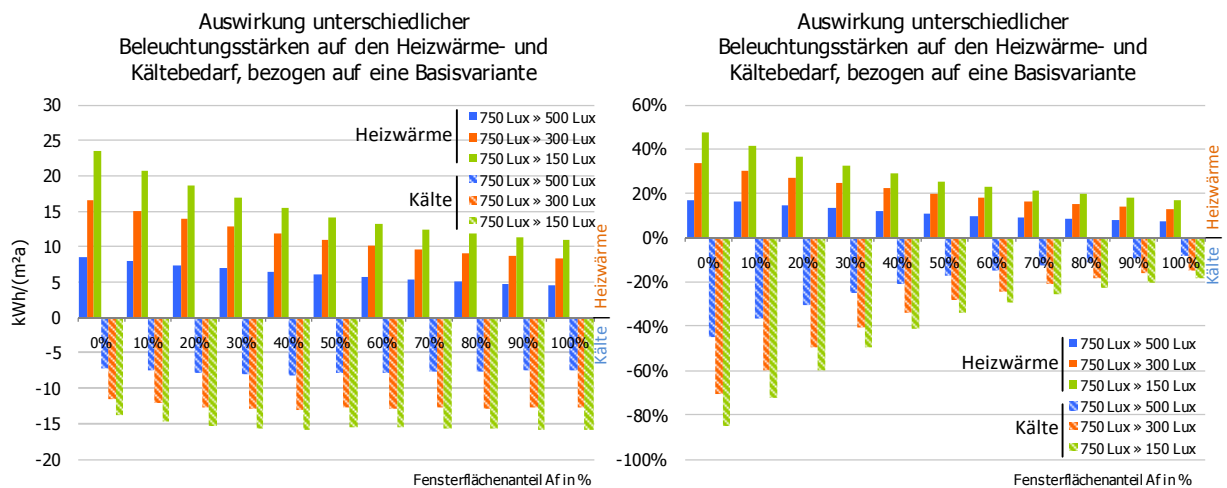
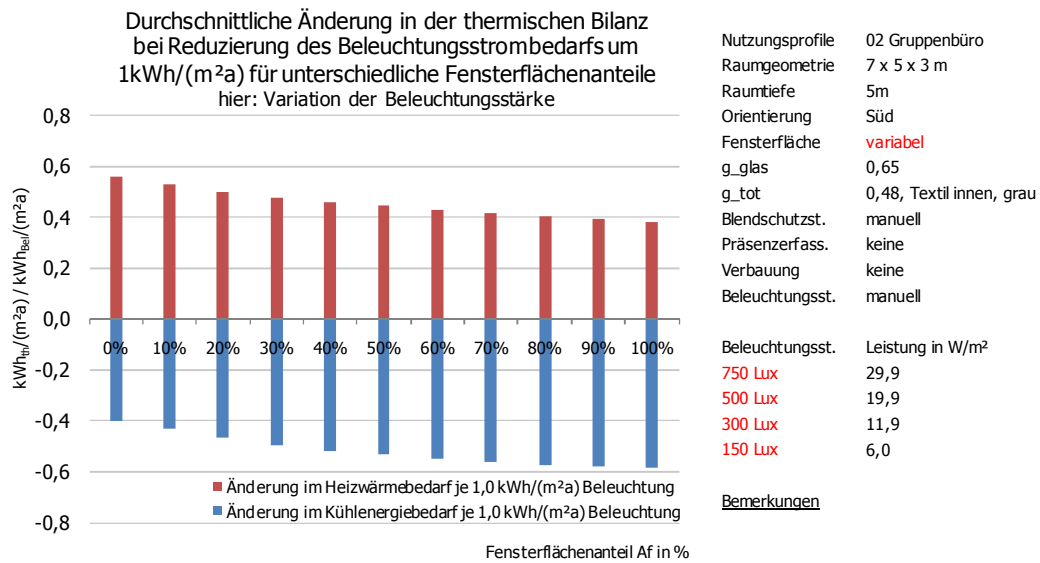


Abbildung 267: Absolute und relative Auswirkungen unterschiedlicher Beleuchtungsstärken auf die Nutzenergiebilanzen

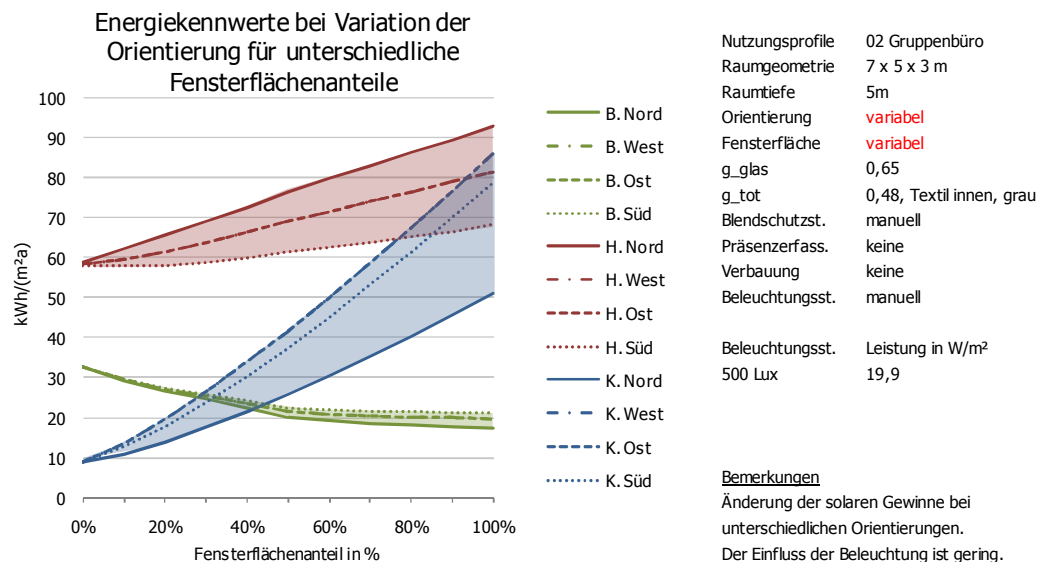
Um die Höhe des Einflusses der Beleuchtung auf die thermischen Bilanzen allgemeiner bewerten zu können, wird die durchschnittliche Änderung des Energiebedarfs für Heizwärme und Kälte je Änderung im Strombedarf durch Beleuchtung ermittelt. Es wird auf die berechneten Energiebedarfe aus Abbildung 266 zurückgegriffen. Ausgehend von der Basisvariante (Beleuchtungsstärke 750 Lux) werden die Änderungen des Beleuchtungsstrombedarfs für den jeweiligen Untersuchungsfall (500, 300 und 150 Lux) in Relation zur Änderung der thermischen Bilanzen betrachtet. Es ergeben sich demnach spezifische Auswirkungen auf den Heizwärme- und den Kühlenergiebedarf in kWh(m²a) je Änderung im Beleuchtungsstrombedarf in kWh/(m²a). Die Auswertung zeigt, dass die Änderungen für die angesetzten Beleuchtungsstärken (150, 300, 500 Lux) zusammengefasst werden können, da sie sich unwesentlich unterscheiden und eine durchschnittliche Angabe repräsentativ ist. Abbildung 268 zeigt die Änderung der jeweiligen thermischen Bilanz für den untersuchten Fall, wenn der Strombedarf durch Beleuchtung um jeweils 1 kWh/(m²a) verringert wird. Für den Heizfall berechnen sich bei geringen Fensterflächenanteilen aufgrund des geringen Gewinn-zu-Verlust-Verhältnisses hohe Ausnutzungsgrade. Die internen Lasten durch Beleuchtung können weitreichender zu Heizzwecken genutzt werden. Mit steigendem Fensterflächenanteil erhöhen sich die solaren Gewinne, was den Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne reduziert und zu einem abnehmenden

Einfluss der Beleuchtung auf die Heizwärmebilanz führt. Da die Kühlenergiebilanz maßgeblich von den nicht nutzbaren Gewinnen beeinflusst wird, ist hier eine gegenläufige Abhängigkeit vorhanden.



A.5.2 Orientierung

In Abbildung 269 sind die Auswirkungen auf die gesamte Nutzenergiebilanz dargestellt. Da die für die verschiedenen Orientierungen berechneten Strombedarfe für Beleuchtung nicht sehr voneinander abweichen, gilt dies auch für die daraus resultierenden internen Wärmegewinne durch die Beleuchtungsanlage. Für die thermischen Bilanzen ergeben sich jedoch wesentliche Änderungen des Energiebedarfs, welche mit steigendem Fensterflächenanteil größer werden. Die Auswirkungen der Beleuchtung auf den Energiebedarf für Heizwärme und Kälte sind als gering zu bewerten.



In folgender Abbildung ist der Einfluss auf den Energiebedarf für Heizwärme und Kälte dargestellt. Wird fehlerhaft auf Nord oder Süd zugewiesen, so ist der Einfluss der Orientierung groß. Dies ist auf das differenzierte Strahlungsaufkommen für unterschiedliche Orientierungen zurückzuführen. Die

geringen Fehler beim Fensterflächenanteil von 0 % sind durch solare Gewinne über opake Bauteile zu erklären. Für die Südorientierung berechnen sich interne Gewinne aus Beleuchtung von 3,2 kWh/d bei 100 % Fensterflächenanteil und 5,0 kWh/d für 0 % Fensterflächenanteil. Dagegen liegen die solaren Gewinne zwischen 0 kWh/d bei 0 % Fensterfläche und rund 20 kWh/d bei 100 % Fensterfläche deutlich weiter auseinander.⁴⁴ Der Einfluss der Beleuchtung auf die bilanzierten Gewinne beträgt für die betrachtete Referenzzone anteilig etwa nur 10 % von den gesamten Gewinnen⁴⁵. Für die Betrachtung der Auswirkungen unterschiedlicher Orientierungen auf den Heizwärme- und Kältebedarf kann der Einfluss der Beleuchtung als gering bewertet werden. Der Einfluss vergrößert sich sicherlich mit effizienterem Sonnenschutz, das heißt bei Reduzierung der solaren Gewinne.

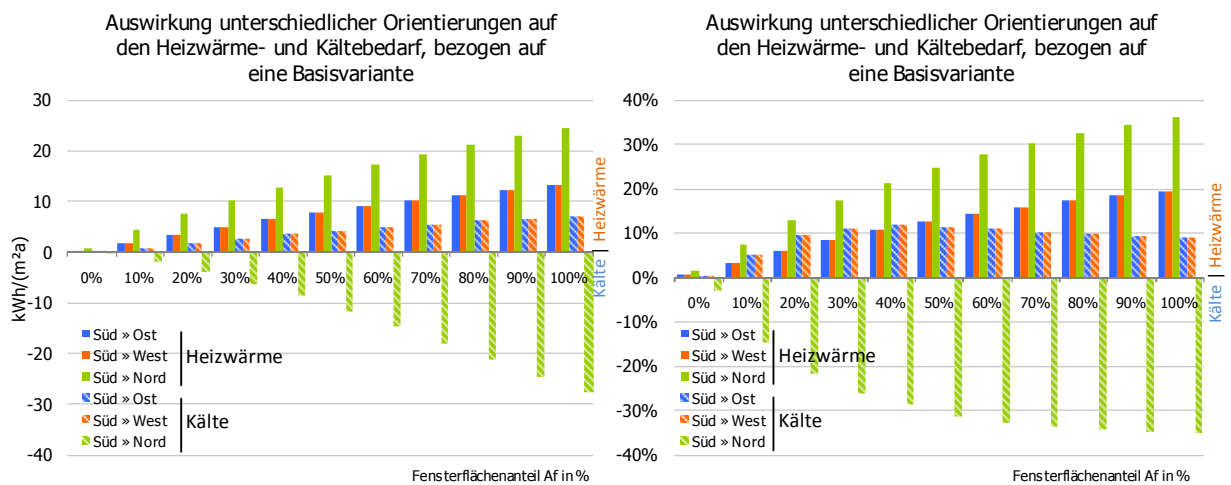


Abbildung 270: Absolute und relative Auswirkungen unterschiedlicher Orientierungen auf die Nutzenergiebilanzen

Für den Beleuchtungsstrombedarf ergeben sich, insbesondere bei sehr geringen Fensterflächenanteilen, nur marginale Änderungen in den Kennwerten. Dagegen steigen die Kennwerte der thermischen Bilanzen deutlicher in Abhängigkeit der Orientierung und mit dem Fensterflächenanteil an. Allgemeine Schlussfolgerungen auf typische Änderungen der thermischen Bilanzen durch Beleuchtung bei unterschiedlichen Orientierungen können daher nicht zur Bewertung gezogen werden. Der Einfluss der Orientierung auf die thermischen Bilanzen ist so dominant, dass die Änderung durch Beleuchtung zu sehr überlagert wird.

A.5.3 Raumtiefe

Betrachtet man die Auswirkungen auf die Energiebilanz für Heizwärme und Kälte, so zeigt sich, dass insbesondere bei der Bilanzierung des Kältebedarfs große Abweichungen zu verzeichnen sind. Je kleiner die Tiefe einer Zone ist, desto größer berechnet sich der Nutzenergiebedarf für Kälte. Bei gleichen solaren Gewinnen ändern sich die Transmissions- und Lüftungsverluste und durch die kleiner werdenden Raumumschließungsflächen auch die anrechenbare thermische Speichermasse. Das Gewinn-zu-Verlust-Verhältnis wird größer und der Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne fällt stark ab. Die Auswirkungen auf den Kältebedarf sind wesentlich größer als auf den Heizwärmebedarf. Betrachtet man den Einfluss der Beleuchtung auf den Energiebedarf, so berechnen sich bei geringen Raumtiefen auch geringe Strombedarfe für Beleuchtung. Dementsprechend werden auch geringere

⁴⁴ Beispielhaft berechnet für den Monat Juni.

⁴⁵ In den Gesamtgewinnen sind neben den solaren Gewinnen auch Gewinne durch Arbeitshilfen und Personen sowie solare Gewinne über opake Bauteile enthalten.

interne Wärmegewinne berechnet. Der Energiebedarf für Kälte wird entsprechend reduziert. In der Gesamtbilanz spielt diese Reduzierung des Beleuchtungsstrombedarfs jedoch eher eine untergeordnete Rolle, da die Energiebilanzen für Heizwärme und Kälte wesentlich stärker durch verschiedene Raumtiefen beeinflusst werden als durch den Beleuchtungsstrombedarf. Die Berechnung des Referenzraumes erfolgte mit einem innen liegenden Sonnenschutz ($g_{tot} = 0,48$) für eine Südorientierung. Mit effektiverem Sonnenschutz und/oder bei Orientierungen mit geringerem Einstrahlungsniveau steigen die Auswirkungen der Beleuchtung auf die thermischen Energiebilanzen.

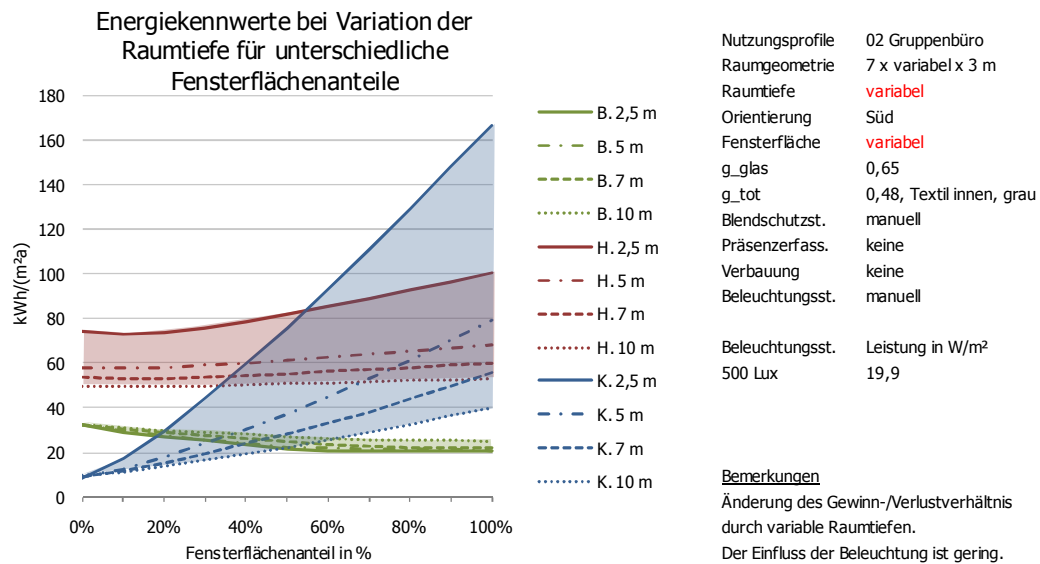


Abbildung 271: Absolute Auswirkungen unterschiedlicher Raumtiefen auf die Nutzenergiebilanzen. „B.“ steht für den Beleuchtungsstrombedarf, „H.“ für den Heizwärmebedarf und „K.“ für den Kühlenergiebedarf

Abbildung 272 zeigt die Auswirkungen variierender Raumtiefen auf die thermischen Energiebilanzen. Basierend auf einer Raumtiefe von 10 m wird die relative Änderung des Heizwärme- und Kältebedarfs für andere Raumtiefen aufgezeigt. Für den Heizwärmebedarf ergeben sich die geringsten Änderungen. Er steigt mit geringer werdender Raumtiefe an. Die Differenz ist am größten bei maximaler Differenz der Raumtiefen (10 m zu 2,5 m). Beim Kälteenergiebedarf ergeben sich deutlich höhere Differenzen zwischen verschiedenen Raumtiefen. Bei größtmöglichem Fensterflächenanteil liegt der Unterschied zwischen der Raumtiefe 2,5 m und 10 m bei etwa 300 % bzw. 125 kWh/(m²a).

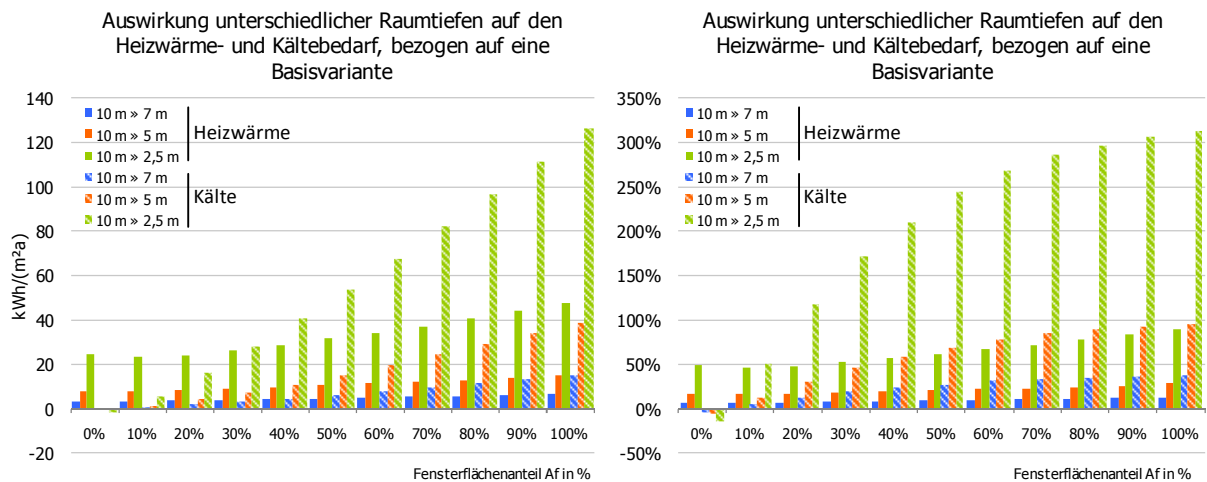


Abbildung 272: Absolute und relative Auswirkungen unterschiedlicher Raumtiefen auf die Nutzenergiebilanzen

Analog zur Analyse der Orientierung sind für unterschiedliche Raumtiefen keine allgemeinen Schlussfolgerungen über den Einfluss der Beleuchtung auf die thermischen Bilanzen ableitbar. Der Einfluss unterschiedlicher Raumtiefen auf die thermischen Bilanzen ist um ein Vielfaches größer als bei der Beleuchtungsberechnung.

A.5.4 Verbauungssituation

Unterschiedliche Verbauungssituationen beeinflussen nicht nur die Tageslichtversorgung einer Zone, sondern durch geänderte solare Gewinne auch die thermische Energiebilanz. Während eine starke Verbauung zu einem geringeren Kühlenergiebedarf führt, wirken sich die reduzierten solaren Gewinne in der Heizwärmebilanz gegenteilig aus. Der Heizwärmebedarf steigt mit dem Verbauungsgrad.

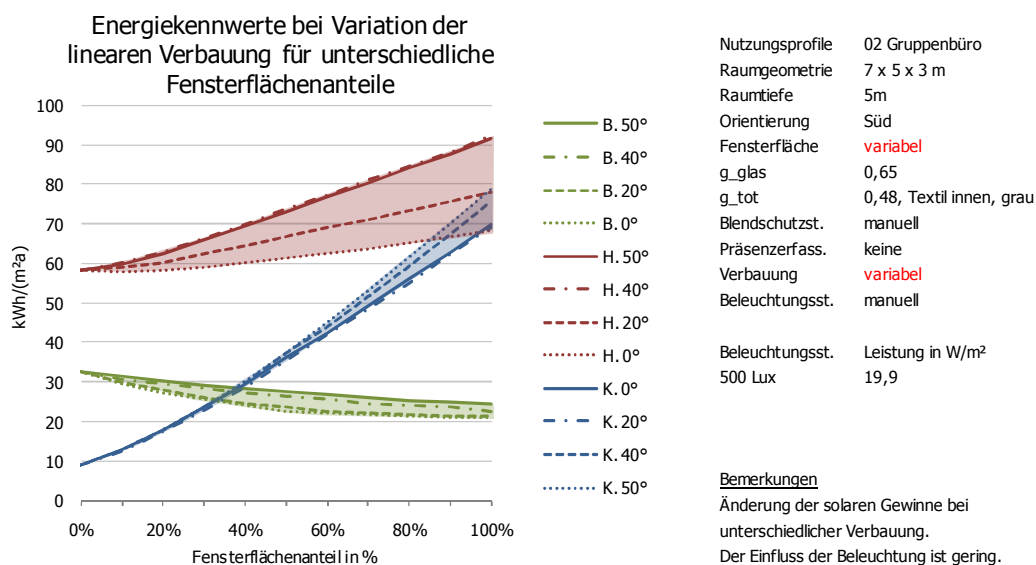


Abbildung 273: Absolute Auswirkungen unterschiedlicher linearer Verbauung auf die Nutzenergiebilanzen. „B.“ steht für den Beleuchtungsstrombedarf, „H.“ für den Heizwärmebedarf und „K.“ für den Kühlenergiebedarf

In Abbildung 274 werden die Auswirkungen unterschiedlicher linearer Verbauungen auf die Heizwärme- und Kältebilanz aufgezeigt. Dabei dient die Variante ohne Verbauung als Referenzvariante. Die dargestellten Werte zeigen jeweils die Änderung im Energiebedarf, wenn der Beispielraum jeweils mit unterschiedlichen linearen Verbauungswinkeln berechnet wird. Für die Kälteenergiebilanz ist der Einfluss der linearen Verbauung für alle Fensterflächenanteile mit maximal +10 % bzw. 10 kWh/(m²a) vergleichsweise gering. Bei der Heizwärmebilanz lassen sich wesentlich stärkere Abhängigkeiten bis zu 35 % respektive 25 kWh/(m²a) feststellen. Eine ungünstigere Verbauung geht immer mit einer Verminderung der Tageslichtversorgung einher. Diese führt zu einer Erhöhung der internen Lasten durch Beleuchtungsabwärme, welche den Heizwärmebedarf reduzieren. Der Einfluss der Minderung der direkten solaren Gewinne ist auch hierbei um ein Vielfaches höher zu bewerten. Bei der Kälteenergiebilanz können ähnliche Auswirkungen festgestellt werden. Die geringen solaren Lasten durch stärkere Verbauung verringern generell auch den Kühlenergiebedarf. Die höhere Abwärme der Beleuchtung kompensiert den Minderbedarf etwas. Der Einfluss des Beleuchtungsstrombedarfs auf die thermische Energiebilanz kann für den Fall unterschiedlicher Verbauungssituationen als gering eingestuft werden.

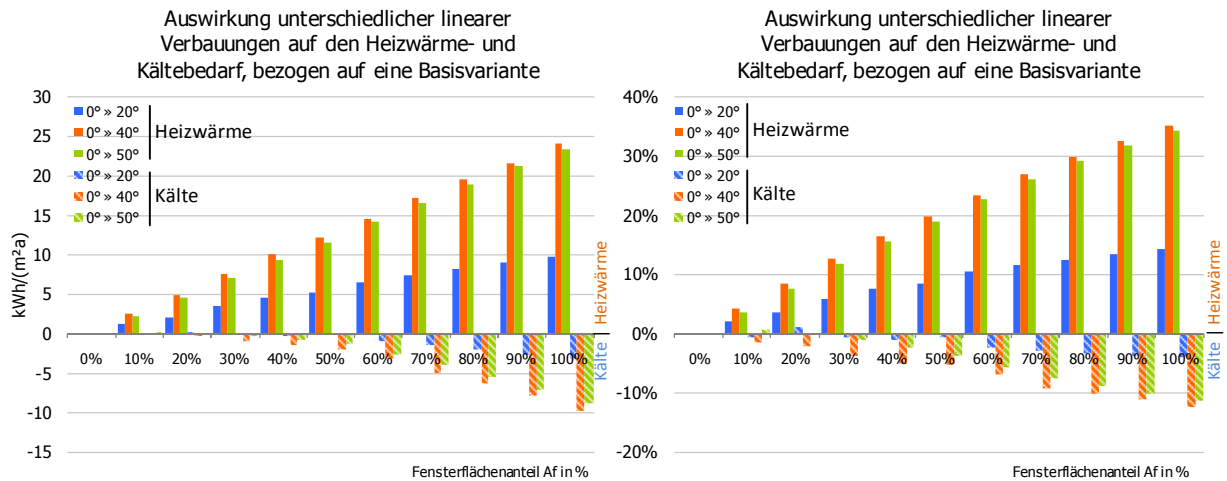


Abbildung 274: Absolute und relative Auswirkungen unterschiedlicher linearer Verbauung auf die Nutzenergiebilanzen

Auch für die Verbauung sind keine allgemeinen Rückschlüsse darüber möglich, welchen Einfluss die Beleuchtung auf die thermischen Bilanzen für unterschiedliche Verbauungssituationen hat. Der Einfluss der Verbauung ist auf die thermischen Bilanzen auch hier um ein Vielfaches größer als auf die Beleuchtungsberechnung.

A.5.5 Blendschutzsysteme

Die thermische Energiebilanz nach DIN V 18599 berücksichtigt ebenfalls verschiedene Systeme zur Sonnenschutzsteuerung. Bewertet werden bei den variablen Sonnenschutzvorrichtungen zwei grundlegende Systeme, welche in folgender Tabelle aufgeführt sind.

Tabelle 79: Systemlösungen für die vereinfachte Berechnung des Einflusses unterschiedlicher Blend- und/oder Sonnenschutzsteuerungen

manuell betätigte oder zeitgesteuerte Systeme	handbetätigte Systeme oder Systeme, die nach einem voreingestellten Zeitprogramm öffnen und schließen
einstrahlungsabhängig gesteuerte Systeme	Systeme, die in Abhängigkeit der Höhe der Einstrahlung öffnen und schließen

Bei der Berechnung der thermischen Energiebilanzen wird für alle Varianten das System „manuell betätigt oder zeitgesteuerte Systeme“ angewendet. Durch verschiedene Blendschutzsteuerungen ergeben sich in der thermischen Energiebilanz demnach keine differenzierten solaren Gewinne. Unterschiede in der Heizwärme- und/oder Kältebilanz werden demnach nur durch voneinander abweichende interne Gewinne durch das Beleuchtungssystem verursacht. Abbildung 275 zeigt die berechneten Energiebedarfe für unterschiedliche Blendschutzsteuerungen.

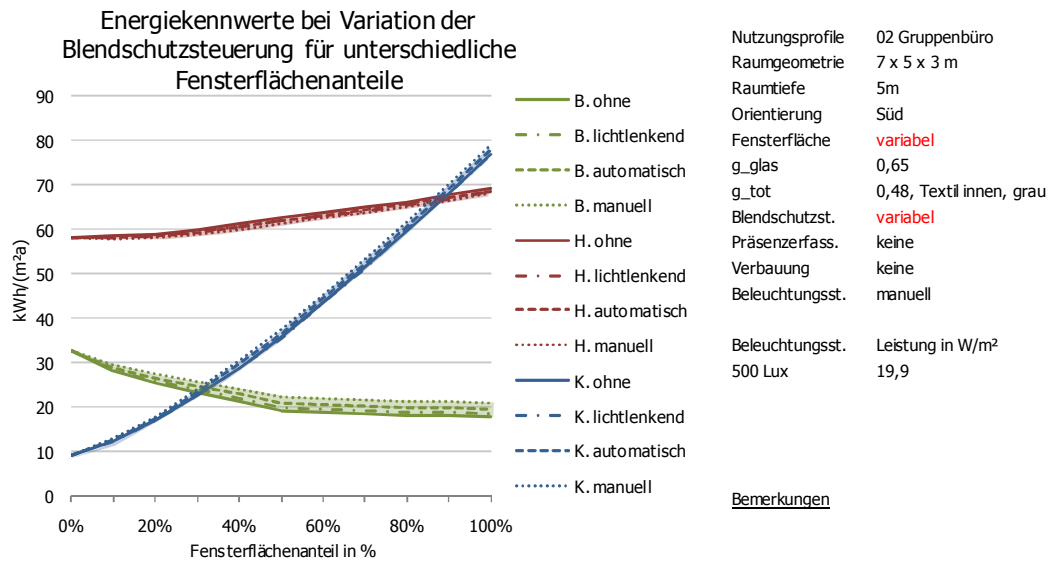


Abbildung 275: Absolute Auswirkungen unterschiedlicher Blendschutzsteuerungen auf die Nutzenergiebilanzen. „B.“ steht für den Beleuchtungsstrombedarf, „H.“ für den Heizwärmebedarf und „K.“ für den Kühlenergiebedarf

Die Vergleichsvariante markiert die manuelle Steuerung des Blendschutzes. Betrachtet wird beim jeweiligen Fensterflächenanteil die Differenz zwischen den berechneten Heizwärme- und Kältebedarfen, wenn die Zonen mit den verschiedenen Blendschutzsystemen berechnet werden. Der Einfluss auf den Heizwärmebedarf beträgt maximal 2 % respektive 1,3 kWh/(m²a) bei einem Fensterflächenanteil von 50 % und bei größter energetischer Systemdifferenz des Blendschutzsystems. Der relative Einfluss auf den Kälteenergiebedarf bei geringen Fensterflächenanteilen von 20 bis 50 % liegt mit etwa 5 % geringfügig höher. Absolut betrachtet liegt die größte Änderung bei größeren Fensterflächenanteilen mit etwa 2 kWh/(m²a) vor.

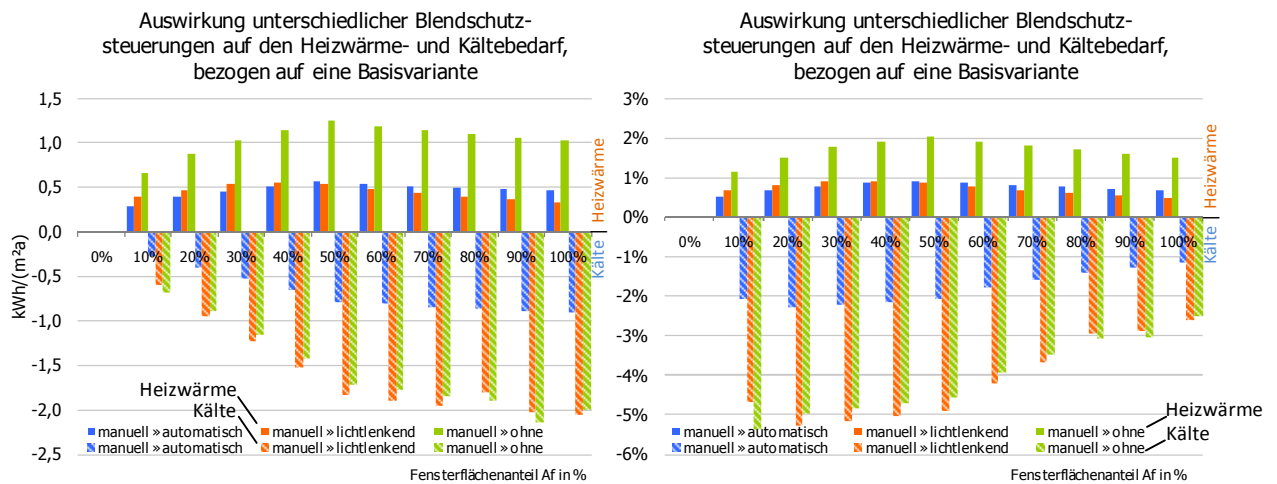


Abbildung 276: Relative und absolute Auswirkungen unterschiedlicher Blendschutzsteuerungen auf die Nutzenergiebilanzen

Da alle Analysen verschiedener Blendschutzsteuerungen je Fensterflächenanteil mit gleichen solaren Gewinnen durchgeführt werden, können allgemeine Rückschlüsse gezogen werden, inwieweit die Änderung des Beleuchtungsstrombedarfs die thermischen Bilanzen für Heizwärme und Kühlenergie beeinflusst. Je nach Fensterflächenanteil variiert die Höhe des Einflusses aufgrund sich ändernder Ausnutzungsgrade. Für den Heizwärmebedarf wird eine durchschnittliche Änderung von etwa 0,35 kWh/(m²a) je Verringerung des Beleuchtungsstrombedarfs um 1 kWh/(m²a) berechnet. Auf die

Kältebilanz – durchschnittliche Reduktion um 0,6 kWh/(m²a) – haben unterschiedliche Blendschutzsteuerungen einen höheren Einfluss.

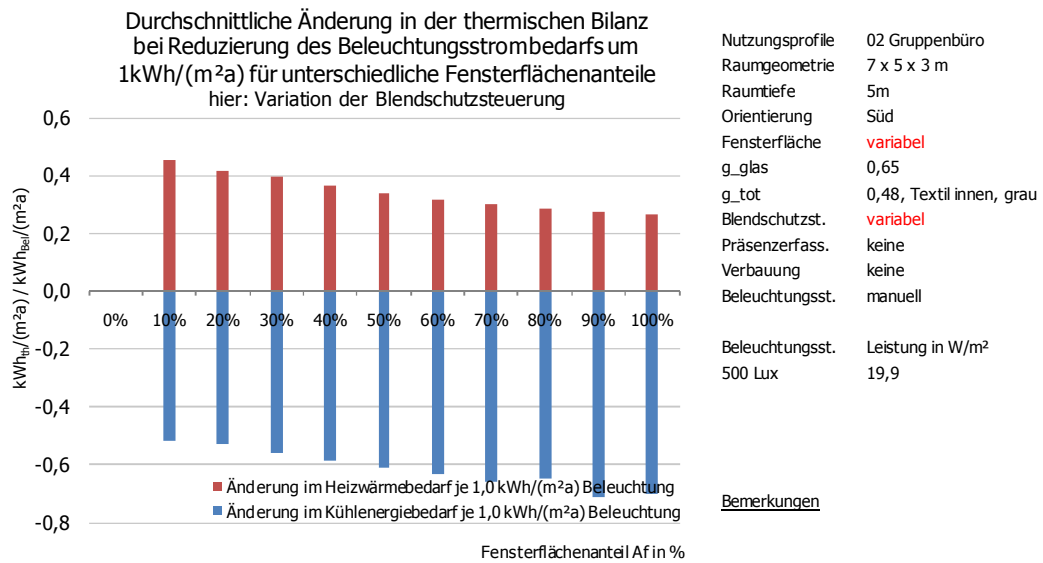


Abbildung 277: Durchschnittliche Änderung in der thermischen Bilanz bei Reduzierung des spezifischen Beleuchtungsstrombedarfs um 1 kWh/(m²a). Aufgetragen für unterschiedliche Fensterflächenanteile

A.5.6 Systeme zur Beleuchtungssteuerung

Die thermische Energiebilanz für Heizen und Kühlen wird durch verschiedene Systeme der Beleuchtungssteuerung lediglich von der Abwärme der Beleuchtungsanlagen beeinflusst. Bei manueller Steuerung wird ein höherer Strombedarf bilanziert, was in der Kälteenergiebilanz zu etwas höheren Kältebedarfen und in der Heizbilanz zu einer Verringerung des Heizwärmebedarfs führt.

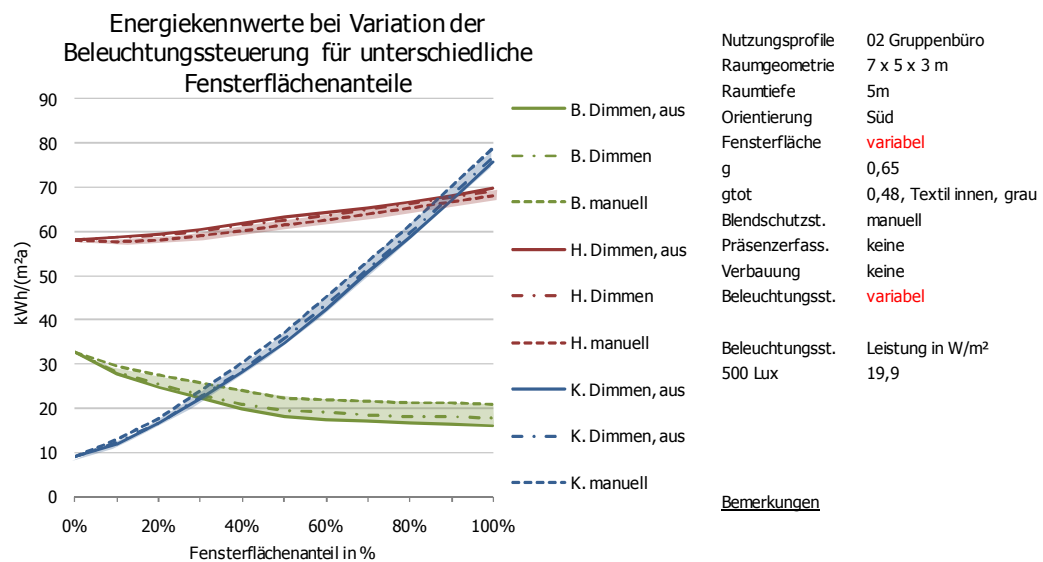


Abbildung 278: Absolute Auswirkungen unterschiedlicher Beleuchtungssteuerungen auf die Nutzenergiebilanzen. „B.“ steht für den Beleuchtungsstrombedarf, „H.“ für den Heizwärmebedarf und „K.“ für den Kühlenergiebedarf

Setzt man als Vergleichsvariante eine manuelle Steuerung an, so können die Abweichungen für den jeweiligen Fensterflächenanteil ermittelt werden, die durch unterschiedliche Systeme zur Beleuchtungssteuerung verursacht werden. Bezogen auf die Heizwärmebilanz verlaufen die absoluten und relativen Änderungen gleich mit maximal etwa 3 % bzw. 1,8 kWh/(m²a) bei 40 % Fensterfläche. Für die Kühlenergiebilanz liegt die maximale absolute Abweichung mit -3 kWh/(m²a)

bei einem hohen Fensterflächenanteil von 90 % vor. Die größte relative Abweichung mit -7% liegt bei einem Fensterflächenanteil von etwa 30 bis 40 % vor.

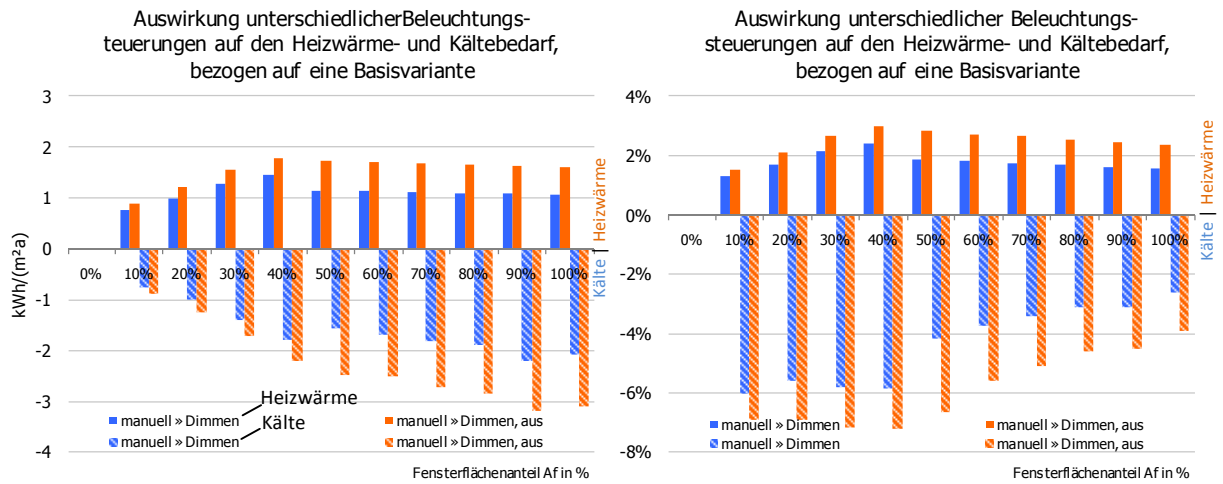


Abbildung 279: Absolute und relative Auswirkungen unterschiedlicher Beleuchtungssteuerungen auf die Nutzenergiebilanzen

Da sich die externen Einflüsse direkter solarer Gewinne auf die thermischen Bilanzen für einen bestimmten Fensterflächenanteil nicht ändern, können Rückschlüsse gezogen werden, inwieweit eine Änderung im Beleuchtungsstrombedarf Auswirkungen auf die thermischen Energiebilanzen hat. Für die Heizwärmebilanz ergibt sich wiederum eine höhere Abhängigkeit bei geringen Fensterflächenanteilen und höher bilanzierten Ausnutzungsgraden. Auf die Kältebilanz hat dies, wie bereits erklärt, gegenteilige Wirkungen. Im Durchschnitt hat die Reduzierung des Beleuchtungsstrombedarfs um $1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ in der Heizwärmebilanz eine Erhöhung von rund $0,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ zur Folge. Beim Kältebedarf führt eine Reduzierung des Beleuchtungsstrombedarfs ebenfalls zu einer Reduzierung des Kühlenergiebedarfs um rund $0,58 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

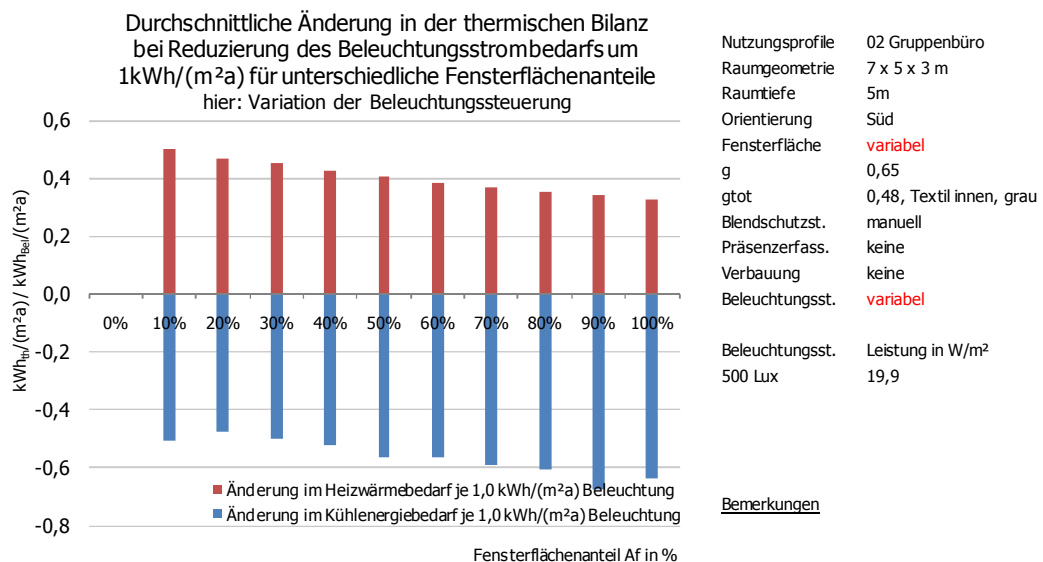


Abbildung 280: Durchschnittliche Änderung in der thermischen Bilanz bei Reduzierung des spezifischen Beleuchtungsstrombedarfs um $1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Aufgetragen für unterschiedliche Fensterflächenanteile

A.5.7 Systeme zur Präsenzerfassung

In Abbildung 281 werden die Auswirkungen unterschiedlicher Systeme zur Präsenzerfassung auf den berechneten Heizwärme- und Kälteenergiebedarf gegenübergestellt. Da sich die solaren Gewinne

durch die Systeme nicht ändern, sondern lediglich die Höhe der Abwärme des Beleuchtungssystems, sind keine großen Abweichungen in den thermischen Bilanzen auszumachen.

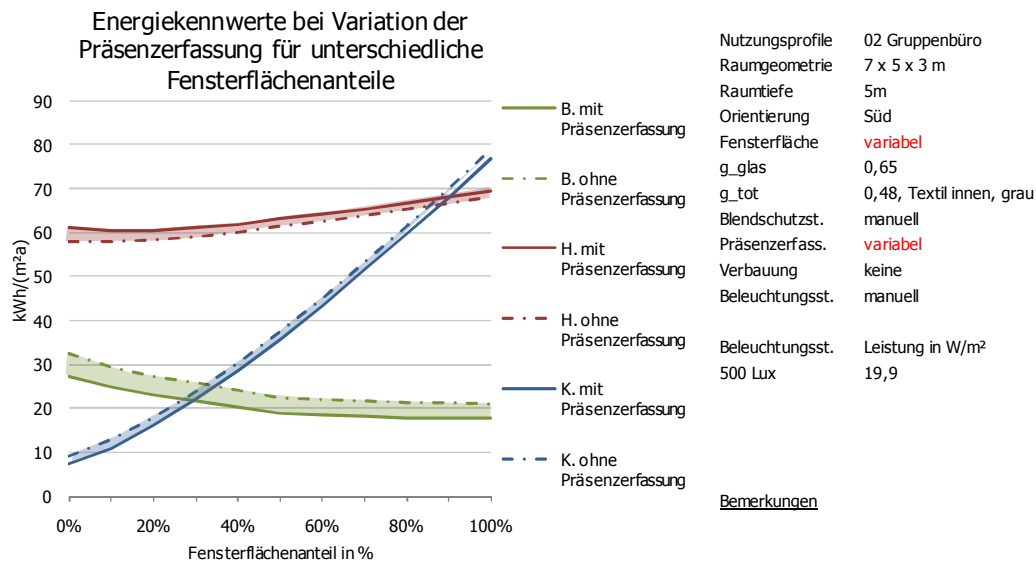


Abbildung 281: Absolute und relative Auswirkungen unterschiedlicher Präsenzerfassungen auf die Nutzenergiebilanzen. „B.“ steht für den Beleuchtungsstrombedarf, „H.“ für den Heizwärmebedarf und „K.“ für den Kühlenergiebedarf

Als Basisvariante wird das System ohne Präsenzerfassung angesetzt. Dieser Variante werden die berechneten thermischen Kennwerte für Heizwärme und Kälte für jeden Fensterflächenanteil gegenübergestellt. Die Kurvenverläufe aus Abschnitt 3.6.7 zeigen, dass durch Anwendung einer Präsenzerfassung eine weitestgehende Parallelverschiebung der Bedarfskurven erfolgt. Selbige wird in den Bilanzgleichungen der DIN V 18599 multiplikativ bei der Ermittlung der effektiven Tages- und Nachtbetriebszeit berücksichtigt und die Ermittlung erfolgt unabhängig von der Tageslichtversorgung. Neben der generellen Berücksichtigung der Präsenzerfassung hat die relative Abwesenheit den wesentlichen Einfluss. Abbildung 282 zeigt die monatlichen Energiebilanzen bei Anwendung unterschiedlicher Systeme der Präsenzerfassung für Fensterflächenanteile von je 0 und 50 %.

Für die Monate November bis Februar, also die Monate mit dem größtem Heizwärmebedarf, ergeben sich für die Zone mit einem Fensterflächenanteil von 50 % höhere Bedarfswerte. In der Übergangszeit (Monate April bis Oktober) bilanziert sich aufgrund fehlender solarer Gewinne ein höherer monatlicher Heizwärmebedarf für die fensterlose Zone. Summiert dominieren jedoch die höheren monatlichen Bedarfe in der kalten Jahreszeit und der Jahresheizwärmebedarf der fensterlosen Zone ist geringer. Es zeigt sich aber auch, dass der Unterschied im Heizwärmebedarf bei der fensterlosen Zone über mehrere Monate im Jahr bilanziert wird. Dadurch ergibt sich für die fensterlose Zone unter anderem ein stärkerer Einfluss des Beleuchtungsstrombedarfs auf die Heizwärmebilanz. Die Ausnutzungsgrade beider Varianten liegen, insbesondere innerhalb der Heizperiode, auf gleichem Niveau.

Der Kühlenergiebedarf nimmt bei geringen Fensterflächenanteilen (ohne direkte solare Gewinne) auch kleinere Zahlenwerte an und wird maßgeblich vom nicht nutzbaren Teil der internen Gewinne bestimmt. Wie in Abschnitt 3.4.2 gezeigt, ist die Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades vom Gewinn-zu-Verlust-Verhältnis bei kleinen Gewinn-zu-Verlust-Verhältnissen stärker als bei größeren. Mit steigender Fensterfläche steigt auch das Gewinn-zu-Verlust-Verhältnis, und es berechnen sich

geringere Unterschiede in den Ausnutzungsgraden beider Systeme (mit und ohne Präsenzerfassung). Ebenso verbessert sich mit steigendem Fensterflächenanteil die Tageslichtversorgung, was zu einem niedriger bilanzierten Beleuchtungsstrombedarf führt. Es stehen geringere Energiemengen durch Abwärme der Beleuchtung zur Verfügung, die als nicht nutzbare interne Last in die Kühlergiebilanz einfließen. Mit steigendem Fensterflächenanteil werden für beide Varianten Ausnutzungsgrade in gleicher Größenordnung berechnet. Dadurch werden auch die nicht nutzbaren Gewinnanteile in ähnlicher Größenordnung bilanziert. Alle Fensterflächenanteile betrachtet, führt dies in der Bilanz zu einem konstanten Einfluss auf die Kühlergiebilanz.

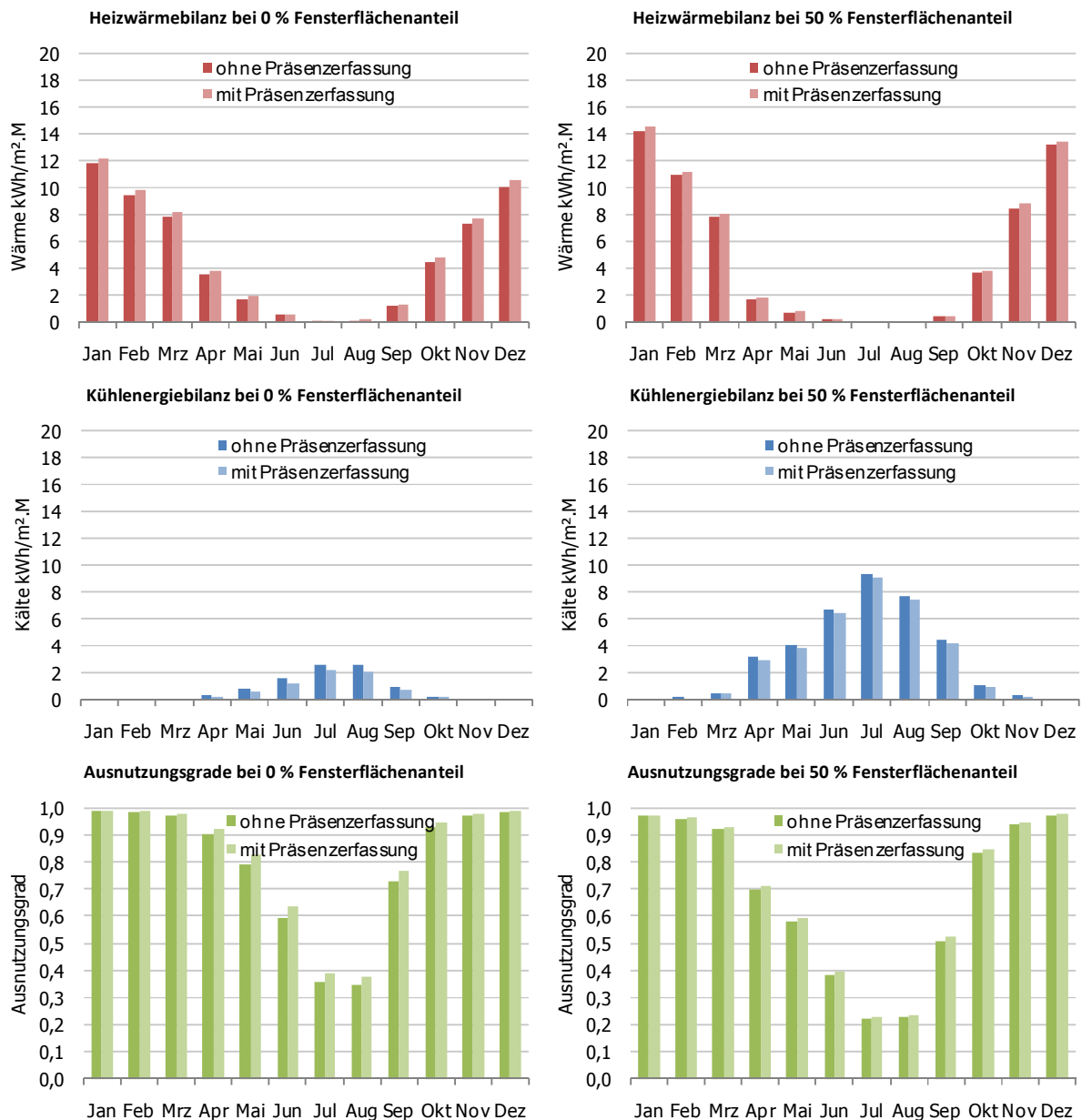


Abbildung 282: Darstellung der monatlichen Energiebilanzen für Heizwärme und Kühlergie für einen Fensterflächenanteil von 0 und 50 %, jeweils mit und ohne Berücksichtigung einer Präsenzerfassung

Die Änderung im Heizwärmebedarf von 3 kWh/(m²a) ist ohne den Einfluss solarer Gewinne deutlich und nimmt mit steigenden solaren Gewinnen bis auf 1,5 kWh/(m²a) ab. Für die Kühlergiebilanz ist die absolute Veränderung für alle Fensterflächenanteile mit 2 kWh/(m²a) konstant. Die relative

Änderung nimmt mit steigendem Fensterflächenanteil aufgrund steigender Kühlenergiebedarfswerte ab.

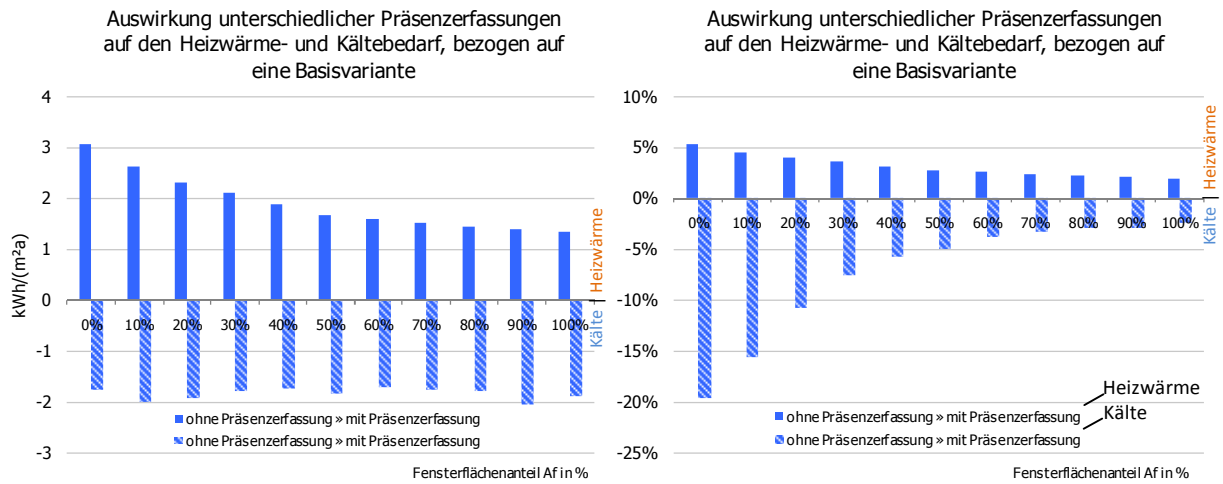
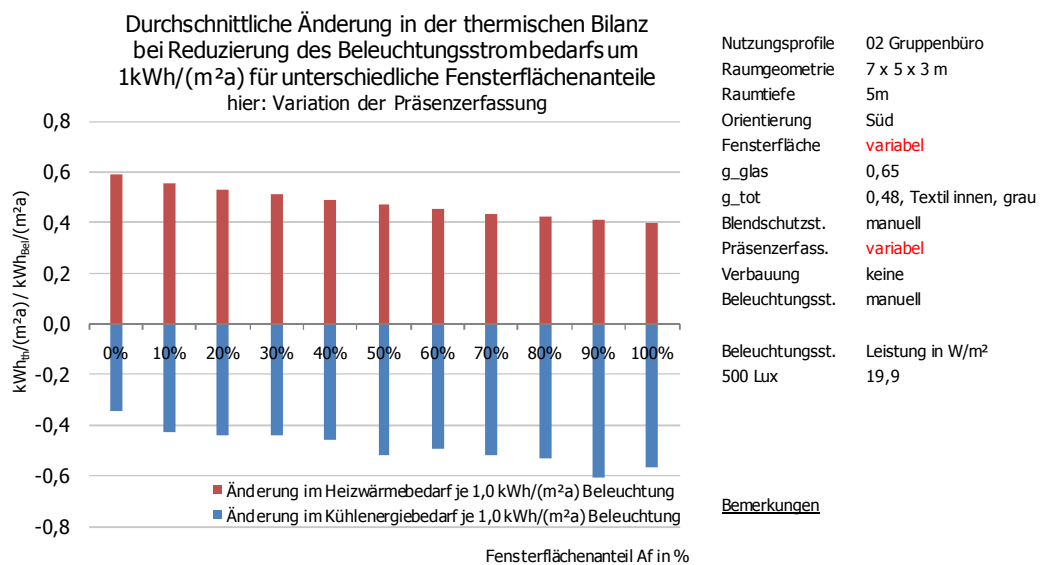


Abbildung 283: Absolute und relative Auswirkungen unterschiedlicher Präsenzerfassungen auf die Nutzenergiebilanzen

Durch die Variation unterschiedlicher Systeme der Präsenzerfassung werden, für den jeweils betrachteten Fensterflächenanteil, weder die solaren Gewinne noch die Verluste der thermischen Bilanzen (Transmission und Lüftung) beeinflusst. Änderungen in den thermischen Bilanzen ergeben sich demnach alleine durch Unterschiede im Beleuchtungsstrombedarf. So erlaubt auch diese Parameteruntersuchung direkte Rückschlüsse auf die Beeinflussung der thermischen Bilanzen durch Beleuchtung. Bei geringen Fensterflächenanteilen ergeben sich höhere Ausnutzungsgrade. Wärmegewinne können zu einem höheren Maße zu Heizzwecken genutzt werden, und eine Änderung im Beleuchtungsstrombedarf ist für die Heizwärmebilanz dann besonders deutlich. Mit steigendem Fensterflächenanteil verringern sich der Jahresausnutzungsgrad und analog dazu auch die nicht nutzbaren Gewinne, die einen Einfluss auf den Kühlenergiebedarf haben. Durchschnittlich bilanziert sich bei Verringerung des spezifischen Beleuchtungsstrombedarfs um 1 kWh/(m²a) der Heizwärmebedarf um rund 0,48 kWh/(m²a) höher, der Kühlenergiebedarf reduziert sich um etwa 0,5 kWh/(m²a).



Nutzungsprofil	02 Gruppenbüro
Raumgeometrie	7 x 5 x 3 m
Raumtiefe	5m
Orientierung	Süd
Fensterfläche	variabel
g_glas	0,65
g_tot	0,48, Textil innen, grau
Blendschutzst.	manuell
Präsenzerfass.	variabel
Verbauung	keine
Beleuchtungsst.	manuell
Beleuchtungsst.	Leistung in W/m²
500 Lux	19,9

Bemerkungen

Abbildung 284: Durchschnittliche Änderung in der thermischen Bilanz bei Reduzierung des spezifischen Beleuchtungsstrombedarfs um 1 kWh/(m²a); aufgetragen für unterschiedliche Fensterflächenanteile

A.5.8 Höhe des Fenstersturzes

Unterschiedliche Sturzhöhen wirken sich auf den Strombedarf für Beleuchtung aus. Indirekt bewirken unterschiedliche Sturzhöhen eine Änderung der internen Gewinne durch Abwärme der Beleuchtung und beeinflussen so die thermischen Energiebilanzen für Heizwärme und Kühlung. Für die betrachtete Zone werden in folgender Grafik die Nutzenergiebedarfe für unterschiedliche Sturzhöhen dargestellt. Die Energiebedarfe der Beleuchtung variieren nicht sehr stark, demnach ist der Einfluss auf die Heizwärme- und Kältebilanz gering.

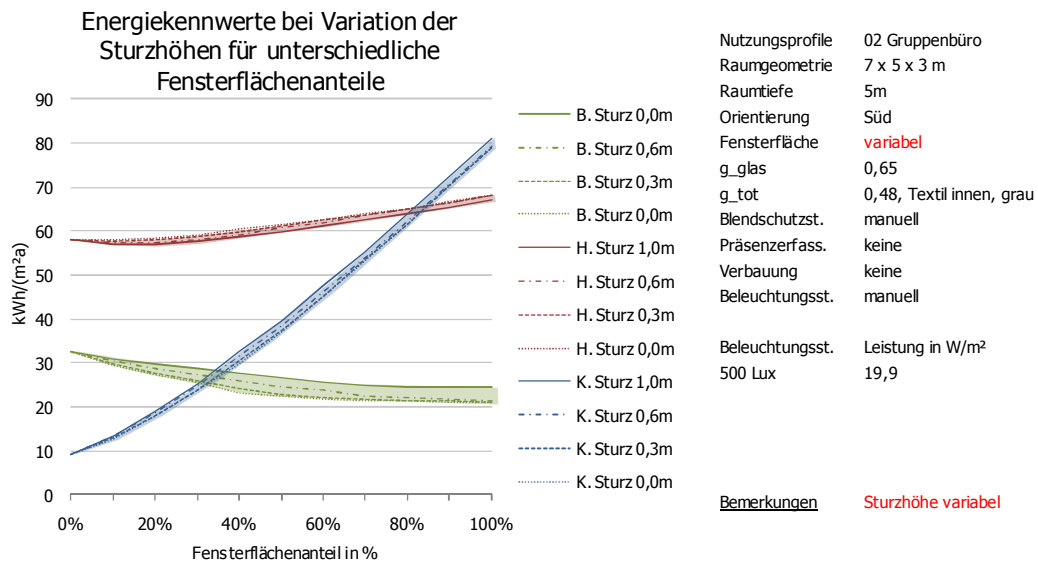


Abbildung 285: Absolute Auswirkungen unterschiedlicher Sturzhöhen auf die Nutzenergiebilanzen. „B.“ steht für den Beleuchtungsstrombedarf, „H.“ für den Heizwärmebedarf und „K.“ für den Kühlenergiebedarf

Abbildung 286 zeigt den relativen Einfluss unterschiedlicher Sturzhöhen auf die thermischen Energiebilanzen. Die relativen Abweichungen beziehen sich auf die Varianten ohne Fenstersturz. Ein höherer Fenstersturz führt innerhalb der Nutzungszeit des Gebäudes zu einer geringeren Tageslichtversorgung und zu höheren effektiven Einschaltzeiten des Kunstlichts. Dadurch vergrößert sich auch die durch die Beleuchtungsanlage erzeugte Abwärme, welche als interner Gewinn in die thermischen Energiebilanzen einfließt. Die größten relativen und absoluten Abweichungen in der thermischen Bilanz sind bei großen Sturzunterschieden und einem Fensterflächenanteil von etwa 40 % vorhanden. Die Auswirkungen auf die Kälteenergiebilanz sind mit bis zu 8 % bzw. 2,5 kWh/(m²a) größer als bei der Heizwärmebilanz mit 3 % respektive -1,7 kWh/(m²a). Der Einfluss auf die thermische Energiebilanz kann also als gering eingestuft werden.

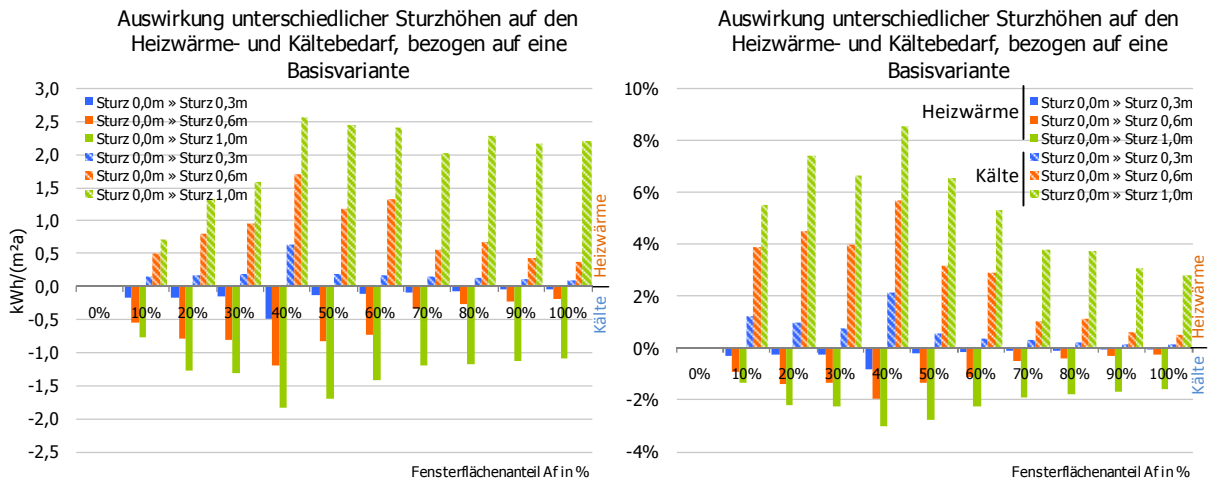


Abbildung 286: Relative und absolute Auswirkungen unterschiedlicher Sturzhöhen auf die Nutzenergiebilanzen

Wird für einen bestimmten Fensterflächenanteil die Sturzhöhe variiert, ändert sich nur die Positionierung des Fensters in der Fassade. Da die Größe gleich bleibt, ergibt sich dadurch keine Beeinflussung der solaren Gewinne. Es können auch für den Fall unterschiedlicher Sturzhöhen direkte Schlussfolgerungen über die Höhe des Einflusses der Beleuchtung auf die thermischen Bilanzen gezogen werden. Der Ausnutzungsgrad wird in hohem Maße von der Höhe der solaren und internen Gewinne bestimmt. Bei sehr hohen Fensterflächenanteilen sind die solaren Gewinne über transparente Bauteile so groß, dass der Einfluss der Abwärme durch Beleuchtung auf die Heizwärmebilanz abnimmt. Die dann höher bilanzierten nicht nutzbaren Gewinne vergrößern den Einfluss auf die Kühlenergiebilanz. Aus einer Änderung des Beleuchtungsstrombedarfs um minus 1 kWh/(m²a) resultiert eine Änderung des Heizwärmebedarfs von 0,38 kWh/(m²a) und des Kühlenergiebedarfs von etwa 0,58 kWh/(m²a).

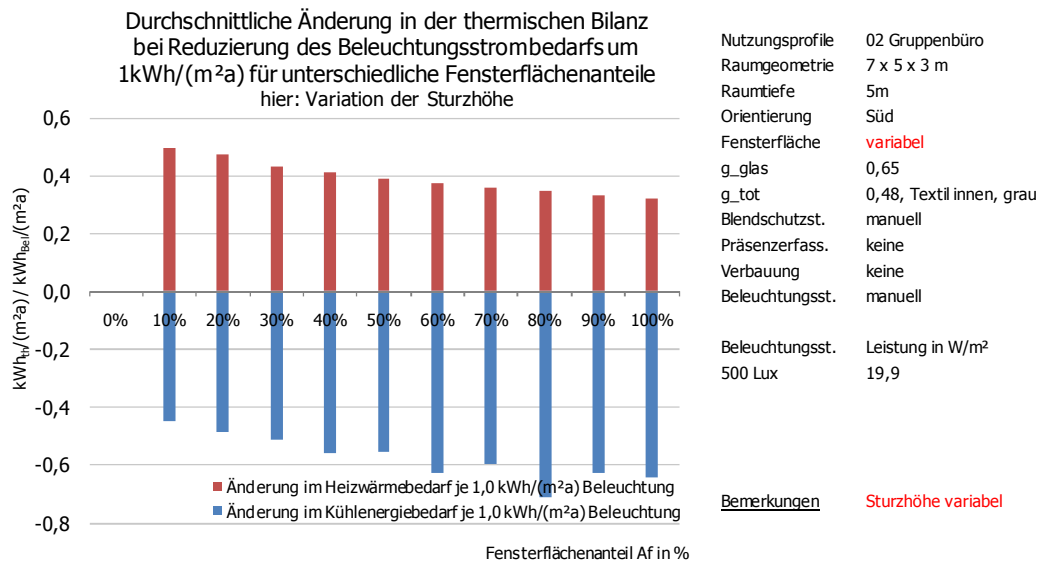


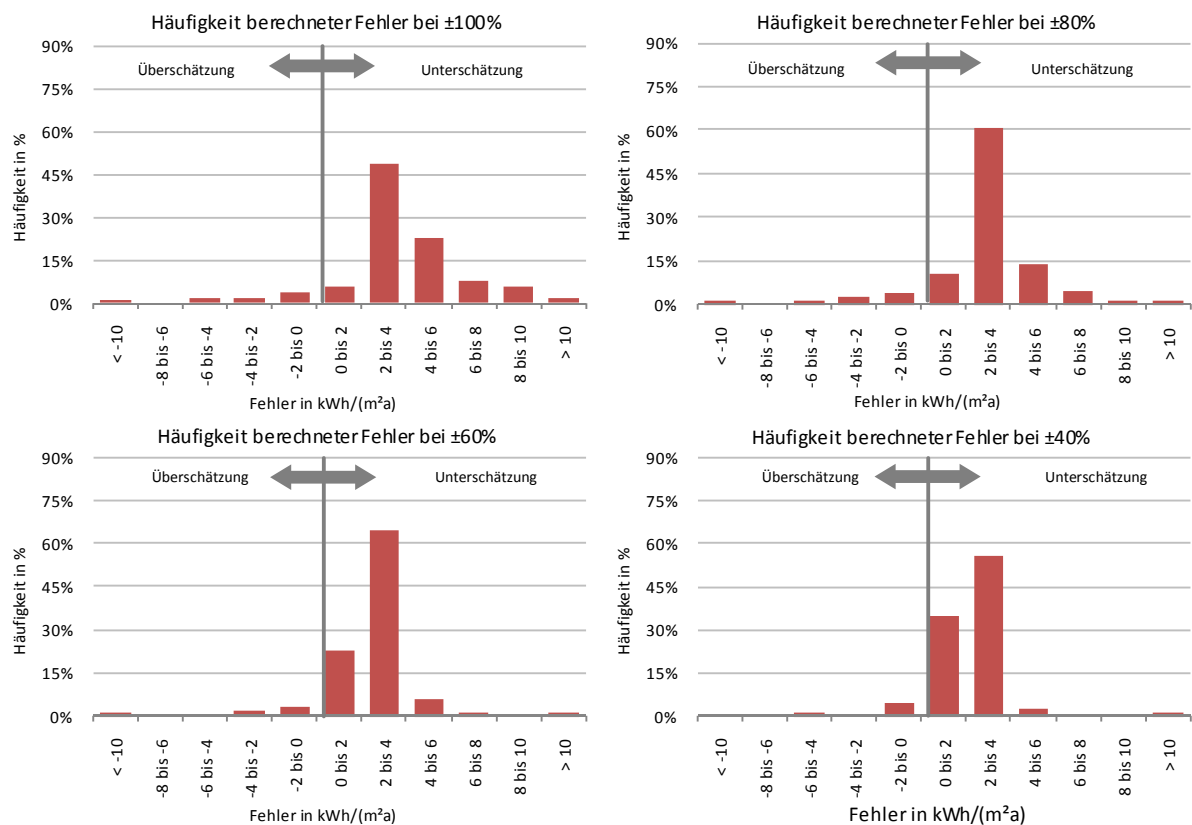
Abbildung 287: Durchschnittliche Änderung in der thermischen Bilanz bei Reduzierung des spezifischen Beleuchtungsstrombedarfs um 1 kWh/(m²a); aufgetragen für unterschiedliche Fensterflächenanteile

A.6 Zu Abschnitt 3.7: Auswirkungen auf die Energiebilanz

A.6.1 Heizwärme

Abbildung 288 zeigt die geordnete Häufigkeitsverteilung der Fehler im Heizwärmebedarf für die jeweilige Zuweisungsschärfe. Jede Auswertung ist durch 107 Datenpunkte der Parameteranalyse geprägt. Gebäudebezogene Aussagen können nicht ohne Weiteres abgeleitet werden, da sich bei der Verteilung der Gebäudehüllflächen auf unterschiedliche Zonen Kompensationseffekte einstellen können. Zudem werden hier die gesamten möglichen Fehlerauswertungen gezeigt.

Die Häufigkeiten berechneter Fehler sind für einen Wertebereiche von jeweils 2 kWh/(m²a) aufgetragen. Es liegt ein Datensatz von 107 Varianten zugrunde. Die Ausprägungen zeigen, wie häufig bestimmte Fehler im Heizwärmebedarf vorkommen, wenn die wesentlichen Parameter variiert werden, die den Heizwärmebedarf beeinflussen können. Der Heizwärmebedarf wird tendenziell unterschätzt. Mit steigendem Zuweisungsfehler erhöht sich die Häufigkeit von Fehlern innerhalb kleinerer Wertebereiche. Bei einem definierten Zuweisungsfehler von $\pm 20\%$ wird der Heizwärmebedarf noch leicht unterschätzt. Die Häufigkeitsanalyse zeigt, dass dann alle Fehler im Bereich zwischen 0 und 4 kWh/(m²a) liegen.



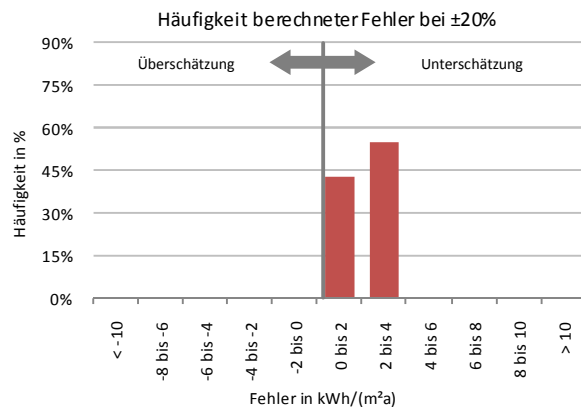


Abbildung 288: Fehlerhäufigkeitsanalyse der Parameteruntersuchung für die Heizwärmebilanz. Aufgetragen ist die Häufigkeit berechneter Fehler im Energiebedarf für unterschiedliche Fehlerausprägungen bei der Bauteilzuweisung.

Streuungsmaße beschreiben die Breite einer Verteilung von metrischen Daten. Das für die Auswertung verwendete Maß ist die Standardabweichung σ . Mit der Standardabweichung wird die Streuung um den arithmetischen Mittelwert \bar{x} ermittelt [131]. Eine geringe Standardabweichung bedeutet, dass die Merkmalsausprägungen eng um den Mittelwert \bar{x} herum liegen, eine hohe Standardabweichung σ weist auf eine große Streuung um den Mittelwert hin. Zunächst wird der Mittelwert \bar{x} für die berechneten Energiekennwerte gebildet.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (97)$$

Mit dem Mittelwert \bar{x} kann die Varianz σ_n^2 aus dem Mittel der quadrierten Abweichungen vom Mittelwert \bar{x} für n Merkmalswerte berechnet werden.

$$\sigma_n^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (98)$$

Die Standardabweichung berechnet sich aus der Wurzel der Varianz und liegt somit in der ursprünglichen Einheit der Einzelkennwerte vor.

$$\sigma = \sqrt{\sigma_n^2} \quad (99)$$

mit

n	-	Anzahl der berechneten Kennwerte/Merkmalwerte
x_i	kWh/(m²a)	berechneter Energiekennwert mit i für verschiedene Kennwerte
\bar{x}	kWh/(m²a)	arithmetischer Mittelwert der berechneten Kennwerte x_i
σ_n^2	-	Varianz als Durchschnitt der Abweichungsquadrate vom Mittelwert für n Merkmalswerte
σ	kWh/(m²a)	Standardabweichung

Die so ermittelte Standardabweichung zeigt, wie die Fehler, die im Rahmen der Parameteruntersuchung ermittelt wurden, um den Mittelwert streuen. Man erkennt deutlich, dass neben der Reduktion des mittleren Fehlers auch die Streuung der Fehler verringert wird. Die hier gezeigten Ergebnisse geben keinen Aufschluss auf zu erwartende gebäudebezogene Gesamtfehler, sondern geben einen Eindruck über die Ausprägung für unterschiedliche Flächenzuweisungen.

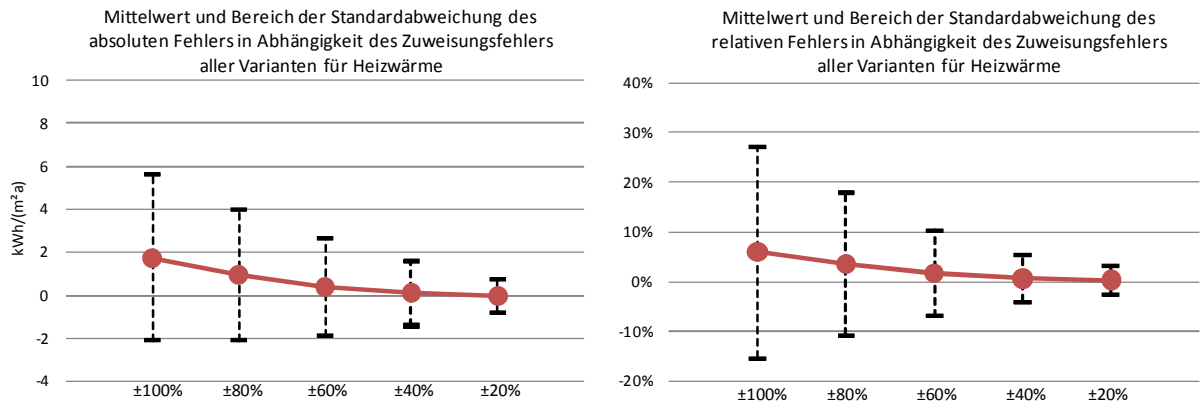


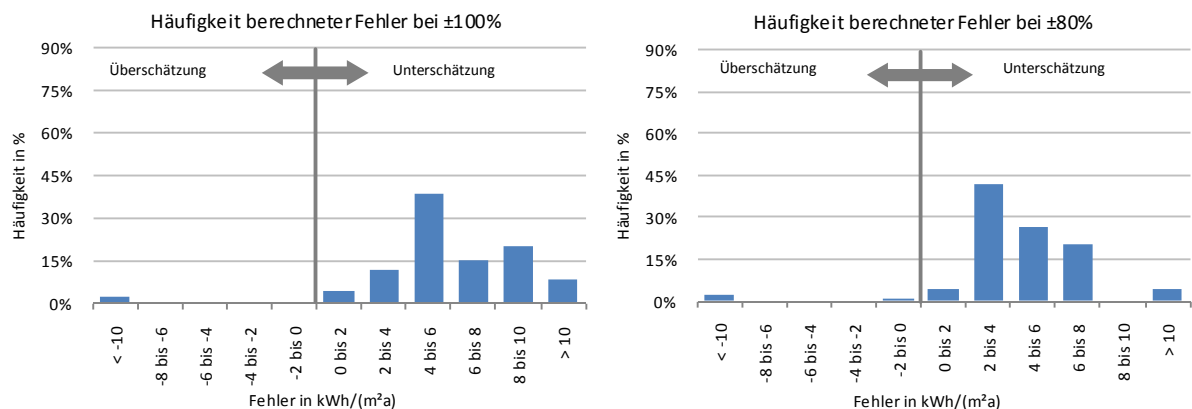
Abbildung 289: Darstellung des mittleren Fehlers und des Bereichs der Standardabweichung im Heizenergiebedarf für unterschiedliche Fehlerausprägungen bei der Bauteilzuweisung

A.6.2 Kälte

Da in die Berechnung keine Zonen mit sehr niedrigem Kühlenergiebedarf einfließen, sind – anders als beim Heizwärmebedarf – die Verläufe der relativen und absoluten Fehler ähnlich ausgeprägt.

Betrachtet man nun die Verteilung der Fehler für den jeweiligen Fall der unscharfen Bauteilzuweisung, so fällt die starke Verteilung der Fehler im Energiebedarf auf, wenn hohe Fehler bei der Verteilung der Bauteile vorliegen. Es zeigt sich, dass durch Variation der Parameter insgesamt größere Fehler im Kühlenergiebedarf auftreten. Dies begründet sich zum Teil auch darauf, dass in der Parameteruntersuchung in der Regel auch immer die Fensterfläche mit variiert wird.

Beim Kühlenergiebedarf treten häufiger höhere absolute Fehler auf. Eine höhere Zuweisungsschärfe führt zu deutlich geringeren Fehlern im Kühlenergiebedarf. Die Auswertung der Parameteranalyse zeigt, ähnlich wie beim Heizwärmebedarf auch, dass eine unscharfe Zuweisung der Gebäudehülle tendenziell zu einer Unterschätzung des Energiebedarfs führt. Bei einem Zuweisungsfehler von 20 % liegt der Fehler im Kühlenergiebedarf für etwa 80 % der Analysen zwischen 2 und 4 kWh/(m²a).



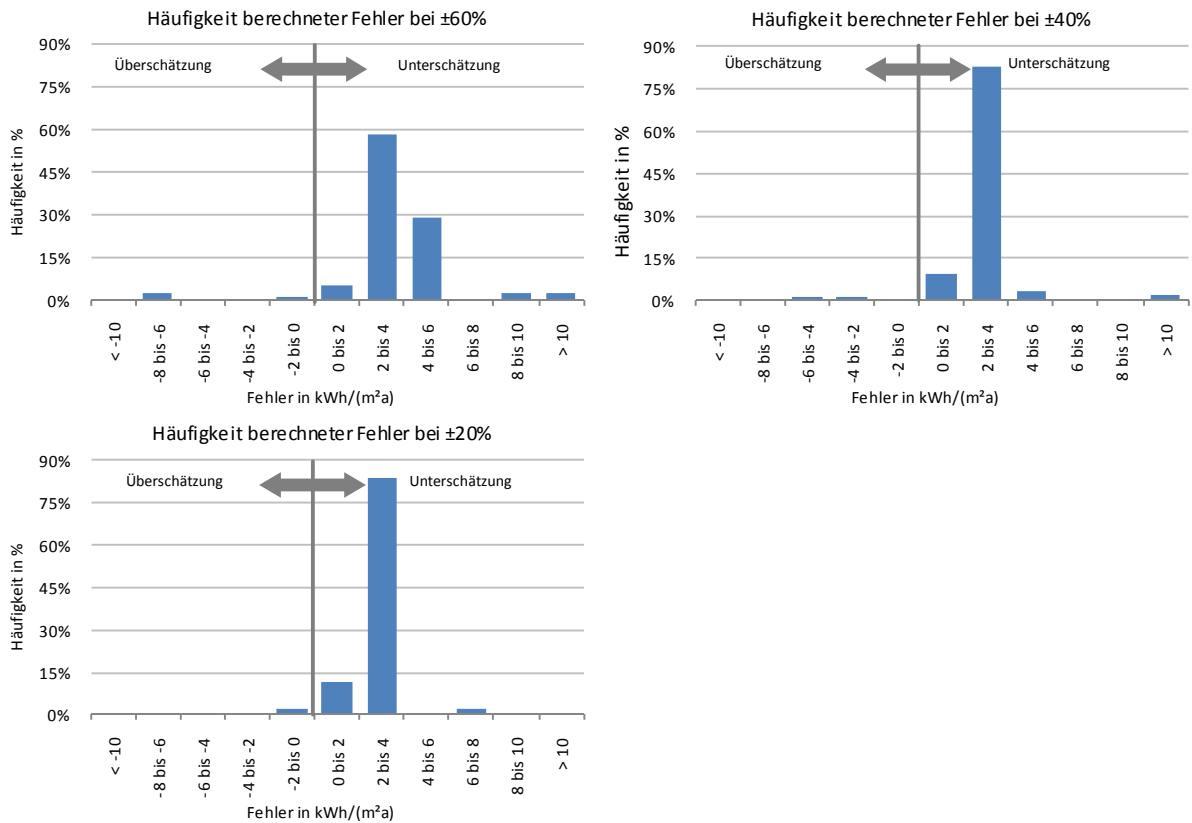


Abbildung 290: Fehlerhäufigkeitsanalyse der Parameteruntersuchung für den Kühlenergiebedarf. Aufgetragen ist die Häufigkeit berechneter Fehler im Energiebedarf für unterschiedliche Fehlerausprägungen bei der Bauteilzuweisung.

Betrachtet man den Mittelwert und den Wertebereich der Standardabweichung für die jeweilige Zuweisungsschärfe, so verringern sich beide Größen mit geringerem Fehler bei der Bauteilzuweisung. Die Standardabweichung vom Mittelwert ist stärker ausgeprägt als beim Heizwärmebedarf. Für einen Zuweisungsfehler von 100 % berechnet sich ein mittlerer Fehler im Energiebedarf von etwa 4 kWh/(m²a), jedoch eine hohe Standardabweichung von etwa 5 kWh/(m²a).

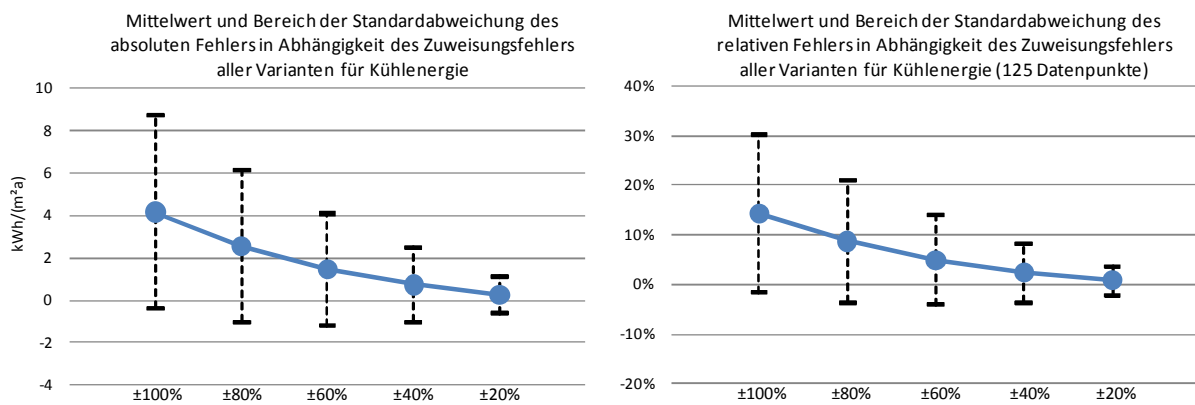


Abbildung 291: Darstellung des mittleren Fehlers und des Bereichs der Standardabweichung im Kühlenergiebedarf für unterschiedliche Fehlerausprägungen bei der Bauteilzuweisung

A.6.3 Beleuchtung

Durch hohe Zuweisungsfehler bei den Fensterflächen können sich Fehler im Beleuchtungsstrombedarf von bis zu 8 kWh/(m²a) ergeben. Bei einer genaueren Zuweisung der Fensterflächen kann, wie bei den thermischen Bilanzen auch, der Fehler deutlich reduziert werden, und es treten Fehler zwischen 2 und 4 kWh/(m²a) auf. Bei der hier gezeigten Darstellung der

Fehlerverteilung für die Parameteruntersuchung muss man jedoch beachten, dass diese nicht auf die Gebäudeebene transformiert werden können, da der Bezugspunkt, von dem der Fehler aus bestimmt wird, in der Realität variiert.

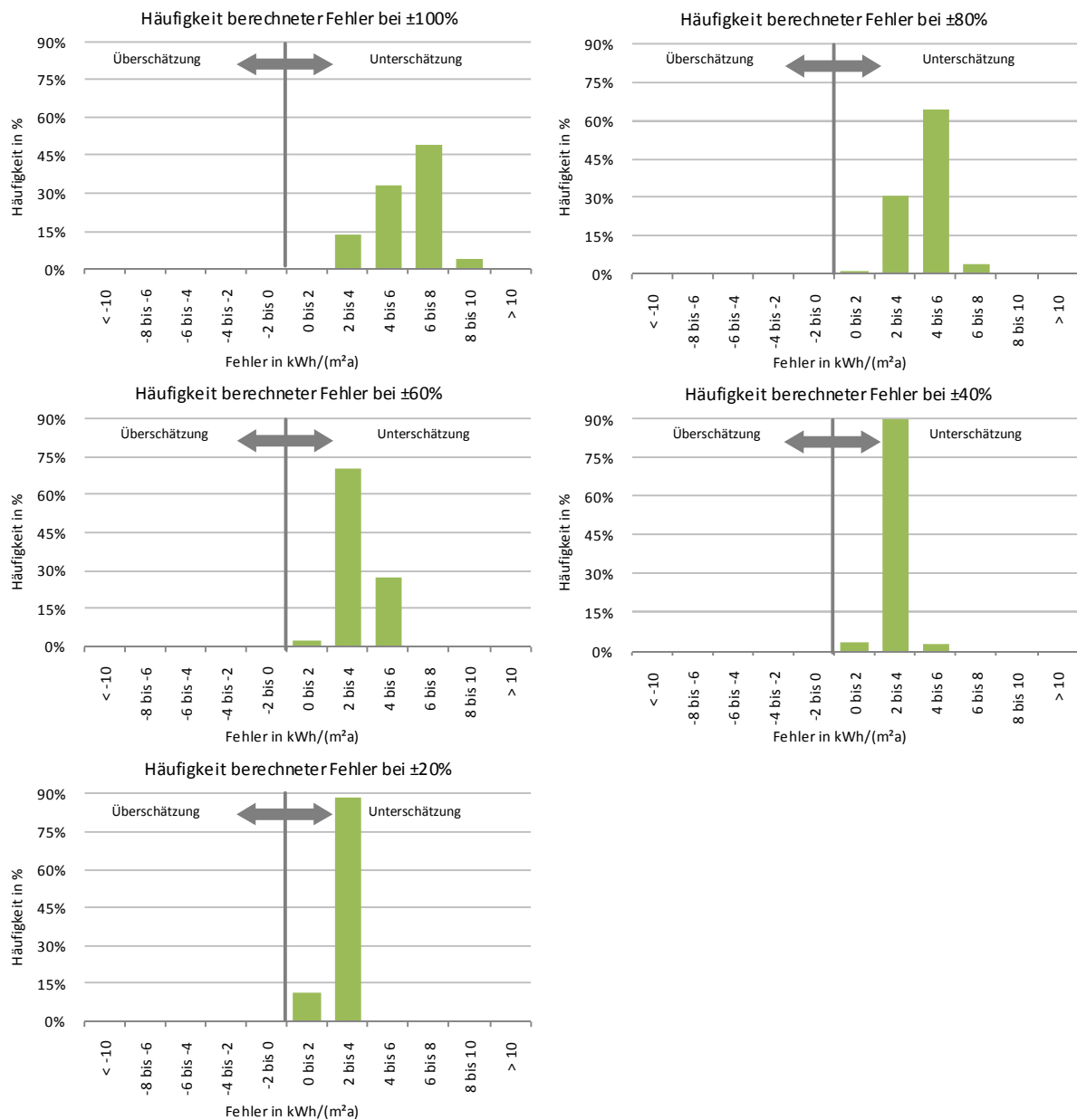


Abbildung 292: Fehlerhäufigkeitsanalyse der Parameteruntersuchung für den Beleuchtungsstrombedarf. Aufgetragen ist die Häufigkeit berechneter Fehler im Energiebedarf für unterschiedliche Fehlerausprägungen bei der Bauteilzuweisung.

Bei mittleren Fehlern von 3,8 kWh/(m²a) beträgt die Standardabweichung etwa 2 kWh/(m²a). Liegen geringe Fehler bei der Bauteilzuweisung vor, zeigt sich auch hier eine deutliche Abnahme des mittleren Fehlers und der Standardabweichung.

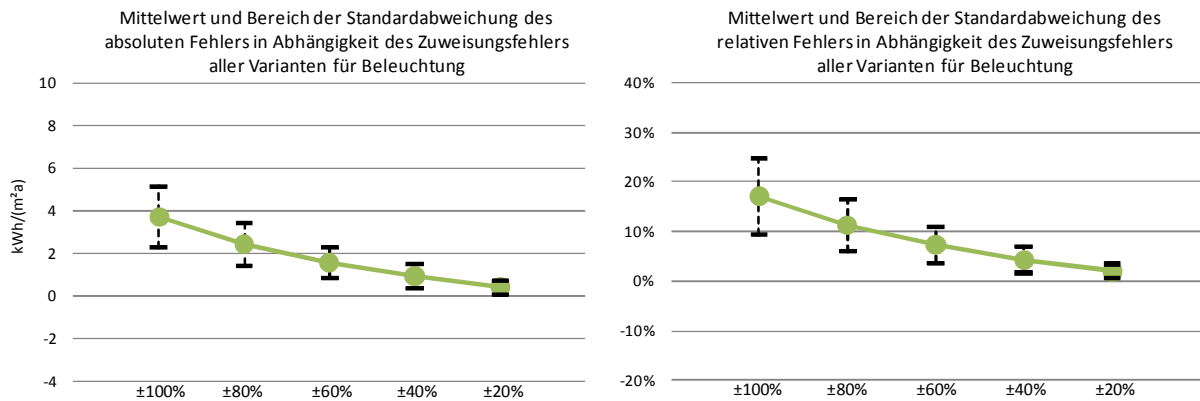


Abbildung 293: Darstellung des mittleren Fehlers und des Bereichs der Standardabweichung im Heizenergiebedarf für unterschiedliche Fehlerausprägungen bei der Bauteilzuweisung

A.7 Zu Abschnitt 4.1: Vereinfachte Ermittlung der Tageslichtversorgung

Das folgend beschriebene Verfahren zur Ermittlung der Tageslichtversorgung berücksichtigt im Wesentlichen die Ansätze der DIN V 18599 Teil 4 zur Berechnung des Strombedarfs für Beleuchtungsanlagen [45]. Für die Vereinfachungen nach Abschnitt 2 werden die Flächen transparenter Bauteile (Fenster) näherungsweise als Summenwerte je Zone ermittelt. Die Fensterflächensummenwerte können jedoch nicht ohne Weiteres zur Berechnung der tageslichtversorgten Flächen genutzt werden, da geometrische Daten der Fenster sowie Angaben über die Anordnung der Fenster in der Fassade erforderlich sind.

Der Einfluss raumgeometrischer Zusammenhänge einzelner Berechnungsbereiche kann durch Vorgabe typischer Kennwerte vereinfacht charakterisiert werden, um so aufwendige geometrische Modellbildungen zu vermeiden bzw. Annahmen bei nicht feststehender Raumaufteilung treffen zu können [74]. Bei der Analyse der Beleuchtungsverhältnisse ist neben dem direkten Licht von Leuchten auch die Mehrfachreflektion der Raumumschließungsflächen zu berücksichtigen. In schmalen Räumen, in denen der Lichtstrom von den Raumumschließungsflächen relativ stärker absorbiert wird, ist der nutzbare Lichtstrom geringer als bei ausgedehnten Räumen. In der Planungspraxis kann dies durch Bestimmung des Raumwirkungsgrades berücksichtigt werden [76]. Der Raumwirkungsgrad hängt von der Beleuchtungsart und dem Raumindex k ab und berücksichtigt die Abstrahlcharakteristik und Positionierung der Leuchten in einem Raum, die Raumgeometrie und die Reflektionsgrade der Raumumschließungsflächen. Die Abstrahlcharakteristik wird beim Tabellen- und Wirkungsgradverfahren nach [45] durch Auswahl von nur „direkt“, „direkt und indirekt“ oder nur „indirekt“ wirkenden Leuchten bestimmt. Der Raumindex ist für beide Verfahren erforderlich und berechnet sich allgemein in Abhängigkeit der Raumgeometrie nach Gleichung (100).

$$k = \frac{a_R \cdot b_R}{h \cdot (b_R + a_R)} \quad (100)$$

mit

a_R	m	Raumtiefe
b_R	m	Raumbreite
h	m	Differenz aus den Höhen der Pendelebene der Leuchte h_{Pe} und der Nutzebene h_{Ne}

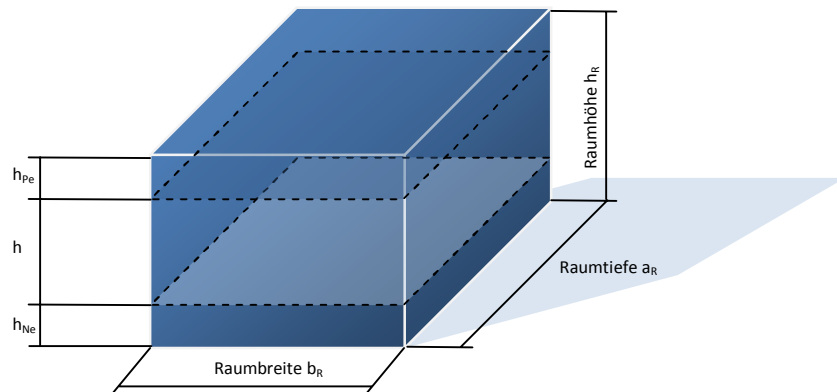


Abbildung 294: Darstellung zur Bestimmung der Höhe h

Abbildung 295 illustriert beispielhafte Raumtypen und deren kennzeichnende Raumindizes, wie sie in den Nutzungsprofilen der DIN 18599 Teil 10 definiert sind [48].⁴⁶

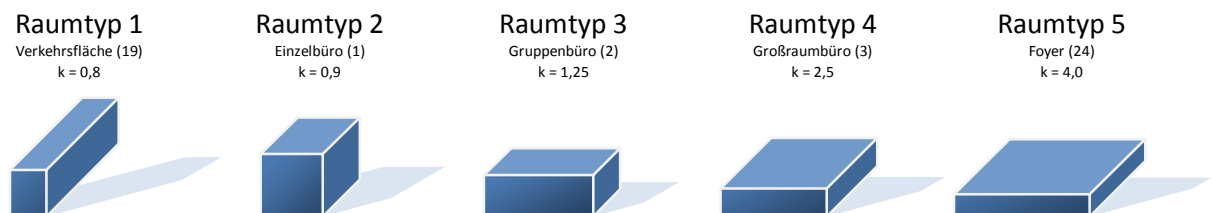


Abbildung 295: Darstellung verschiedener typischer Raumgeometrien (in Anlehnung an [49] und [48]).

Werden die Berechnungen für einzelne Räume durchgeführt, so können die Raumindizes einzeln mit obiger Gleichung ermittelt werden. In DIN V 18599 sind für die dort angegebenen Nutzungsprofile Standardwerte hinterlegt [48]. Üblicherweise setzen sich Zonen jedoch aus mehreren Räumen zusammen, die durchaus auch unterschiedliche Raumindizes haben können. Für die Berechnung müsste dann ein entsprechend gewichteter Mittelwert für alle Räume einer Zone ermittelt werden. In der Planungspraxis erscheint dies nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand möglich zu sein. Für das vereinfachte Nachweisverfahren sollen deshalb für jede Zone die typischen Geometriedaten gemäß dem Nutzungsprofil verwendet werden. Das Konzept der vereinfachten Hüllflächenverteilung sieht eine Kombination aus geschätzter Aufteilung und detaillierter Eingabe aller Flächen auf Zonenebene vor. Wird das ausführliche Berechnungsverfahren nach DIN V 18599 angewendet, können die auf Gebäudeebene eingegebenen Bauteildaten auch im Detail den Zonen zugewiesen werden. Dies kann auch der Fall sein, wenn das vereinfachte Verfahren nicht sinnvoll angewendet werden kann (z. B. bei stark verglasten Atrien).

Transformation und Aufbereitung der transparenten Flächendaten für Fassaden

In DIN V 18599, Teil 4 wird eine grundlegende Berechnungsmethode beschrieben, die sich in erster Linie auf Räume bezieht. In [120] wird ein vereinfachtes Modell zur Aufbereitung von Fensterflächen vorgestellt, welches in den IBP-Rechenkern integriert ist. Es dient zur einfachen lichttechnischen Berechnung größerer Gebäudezonen, die sich über mehrere Geschosse erstrecken. Mit dem Verfahren lassen sich aus reinen Flächeninformationen unter Angabe der Brüstungs- und Sturzhöhe die Tageslichtverhältnisse bewerten. Der IBP-Rechenkern lässt 4 unterschiedliche Verfahren zur Bewertung der Tageslichtverhältnisse zu. Die unterschiedlichen Ansätze bilden die Norm ausreichend

⁴⁶ Die Reflektionsgrade für Boden, Wände und Decke sind nach DIN V 18599-4 vorgegeben ($\rho_B = 20\%$, $\rho_W = 50\%$, $\rho_D = 70\%$).

ab, führen jedoch zu verschiedenen Ergebnissen. Die Differenzen sind nach [121] jedoch nicht besonders ausgeprägt. Das in [120] beschriebene Verfahren wird als Grundlage verwendet und für das vereinfachte Flächenerfassungsmodell erweitert.

Für die Berechnung werden je Zone feste Tageslichtbereiche definiert, die der möglichen Anzahl der orientierten Fenster entsprechen (N, S, W, O, NO, SO, NW, SW, HO). Nach Unterteilung der Gebäudehülle in Zonen liegen folgende Daten in einer Zone vor:

Tabelle 80: Vom vereinfachten Verfahren zugeweilte Gebäudehüllendaten

Fensterfläche	$A_{Fe,i}$	m ²	Summenwert für jede Orientierung i
Wandfläche	$A_{Wa,i}$	m ²	Summenwert für jede Orientierung i
Zonenfläche	A_Z	m ²	
mittlere Zonenhöhe	h_Z	m	

Abbildung 296 zeigt schematisch die natürlichen Tageslichtverhältnisse einer Zone/eines Geschosses. Die an die Fenster angrenzenden Grundflächenanteile entsprechen den mit Tageslicht versorgten Bereichen. Bei über Eck angeordneten Räumen kann es zu Überlappungen (Übersversorgung) dieser Bereiche kommen; in Bereichen ohne Fenster oder bei Ecksituationen zu einer Unterversorgung.

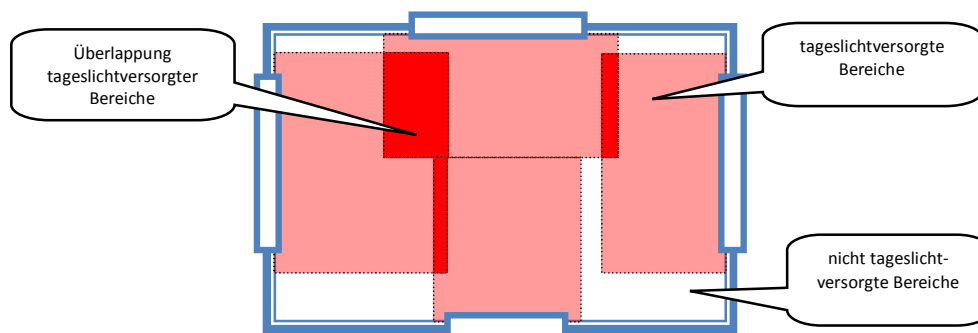


Abbildung 296: Schematische Darstellung eines Raumbereichs und dessen Tageslichtversorgung

Zur vereinfachten Berechnung sind zwei weitere Größen auf Zonenebene zu definieren, um die charakteristischen Größen zur Berechnung der tageslichtversorgten Flächen näherungsweise zu berechnen. Die beiden Größen dienen dazu, die Breite des Tageslichtbereichs und die Positionierung der Fenster in der Fassade zu bestimmen.

Tabelle 81: Erforderliche Zonendaten zur Aufbereitung der transparenten Bauteildaten aus dem vereinfachten Verfahren

mittlere Fensterhöhe	h_{Fe}	m
mittlere Sturzhöhe	h_{St}	m

Mit diesen Daten werden die folgenden beschriebenen Größen bestimmt. Zuerst werden charakteristische Geometriegrößen einer Zone ermittelt, um die Begrenzung der Raumtiefe und der Raumbreite für die Tageslichtversorgung zu schätzen. Dabei wird aus den aufsummierten Fensterflächen ein virtuelles Fensterband gebildet. Ausgehend von einer mittleren Fensterhöhe h_{Fe} kann so vereinfacht die Fensterbreite abgeleitet werden. Da die Informationen beim vereinfachten Verfahren je Orientierung vorliegen, erfolgt auch die Ermittlung des virtuellen Fensterbandes für jede Orientierung bzw. für jeden Tageslichtbereich.

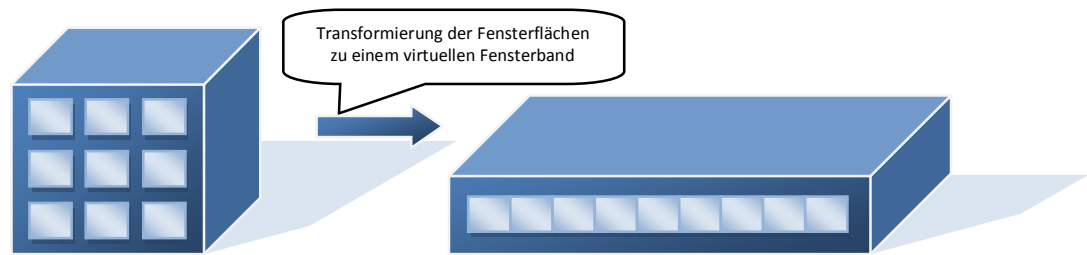


Abbildung 297: Schematische Darstellung der Transformation zusammenhängender Fensterdaten zu einem virtuellen Fenster durch das vereinfachte Verfahren für die Ermittlung der Breite des Tageslichtversorgten Bereichs

Die charakteristische Fensterbreite $b_{Fe,i}$ wird über die gesamte Fensterfläche je Orientierung in Abhängigkeit der mittleren Fensterhöhe h_{Fe} ermittelt. Begrenzt wird diese Breite von der maximal möglichen Breite einer Zone, welche sich durch Division der Fassadenfläche je Orientierung (Fenster + Wand) durch die Zonenhöhe h_z ergibt. Durch diese Begrenzung wird eine Überschätzung der Fensterbreite reduziert. Da die Fassadenflächen außenmaßbezogen vorliegen, muss eine Flächenkorrektur erfolgen, um dem erforderlichen Innenmaßbezug Rechnung zu tragen. Dazu wird ein Korrekturfaktor $f_{F,ai}$ eingeführt. Diese vereinfachte Korrektur berücksichtigt die Dicke der Innen- und Außenwände sowie die Höhe der Geschosdecken.

$$f_{F,ai} = \frac{(b_{Fassade} - 2 \cdot d_{AW} - n_{IW} \cdot d_{IW}) \cdot (h_{Gebäude} - d_{Decke} \cdot n_{Geschosse})}{b_{Fassade} \cdot h_{Gebäude}} \quad (101)$$

mit

$b_{Fassade}$	m	Fassadenbreite
$h_{Gebäude}$	m	Fassadenhöhe
$n_{Geschosse}$	-	Anzahl der Geschosse
d_{Decke}	m	Dicke der Geschosdecke
d_{AW}	m	Dicke der Außenwand
d_{IW}	m	Dicke der Innenwand
n_{IW}	m	Anzahl der Innenwände

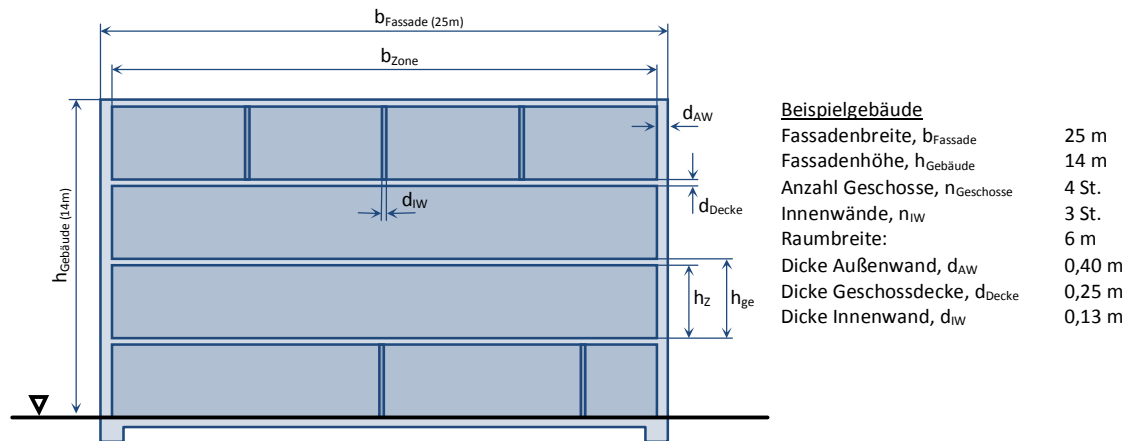


Abbildung 298: Schematische Darstellung für die Umrechnung von Außen- auf Innenmaßbezug

Der Korrekturwert ist von der Größe des Gebäudes, der Raumeinteilung und der Raumhöhe abhängig. Für eine viergeschossige Gebäudefassade mit einer angenommenen Breite von 25 m, einer gleichmäßigen Teilung in 4 Räume über alle Geschosse und einer Gebäudehöhe von 14 m ergibt sich ein Korrekturfaktor von gerundet $0,9 \text{ m}^2/\text{m}^2$.⁴⁷ Die folgenden Abbildungen zeigen berechnete Korrekturfaktoren $f_{F,ai}$ für unterschiedliche Raum- und Fassadenbreiten sowie für variable Geschosshöhen und Geschosdeckenstärken.

⁴⁷ Außenwand: $d_{AW} = 0,4 \text{ m}$: 20 cm Beton, 16 cm Dämmung, 3 cm Innen- und Außenputz. Decken: $d_{Decke} = 0,25 \text{ m}$: 18 cm Betondecke, 5 cm Estrich und Trittschalldämmung, 1,5 cm Bodenbelag. Innenwand: $d_{IW} = 0,13 \text{ m}$: 2 x 1,5 cm Gipskartonplatte, 10 cm Ständerwand.

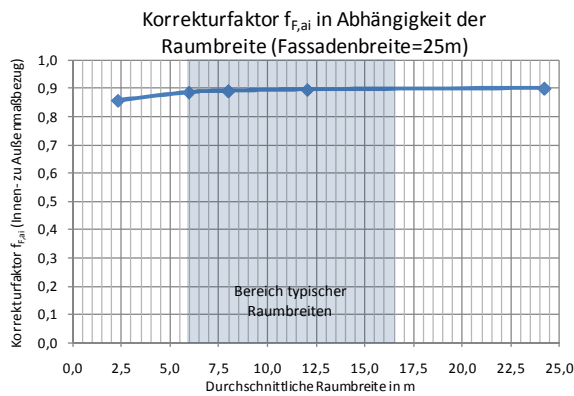


Abbildung 299: Korrekturfaktoren für Innen- zu Außenmaßbezug; Fassadenbreite und Gebäudehöhe sind konstant. Dargestellt wird der Einfluss unterschiedlicher Raumbreiten auf den Korrekturfaktor $f_{F,ai}$.

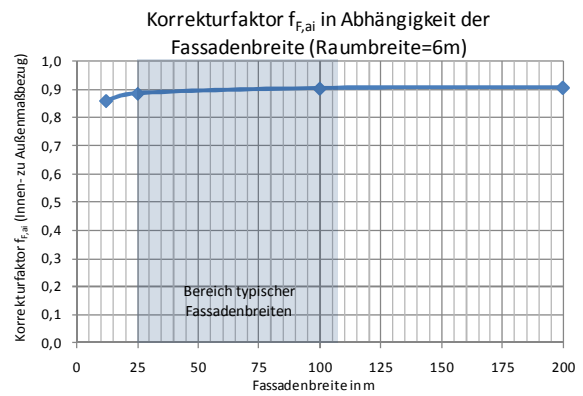


Abbildung 300: Korrekturfaktoren für Innen- zu Außenmaßbezug. Raumbreite und Gebäudehöhe sind konstant. Dargestellt wird der Einfluss unterschiedlicher Fassadenlängen auf den Korrekturfaktor $f_{F,ai}$.

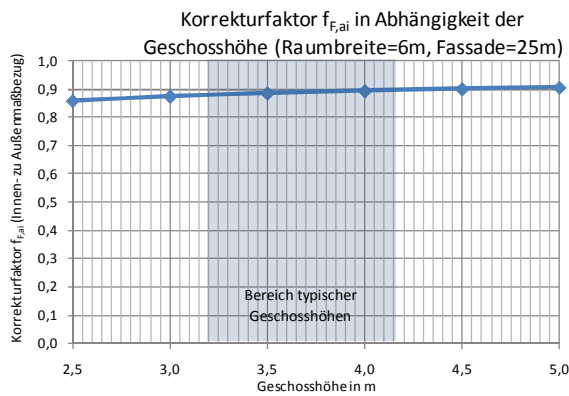


Abbildung 301: Korrekturfaktoren für Innen- zu Außenmaßbezug. Fassaden- und Raumbreite sind konstant. Dargestellt wird der Einfluss unterschiedlicher Geschosshöhen auf den Korrekturfaktor $f_{F,ai}$.

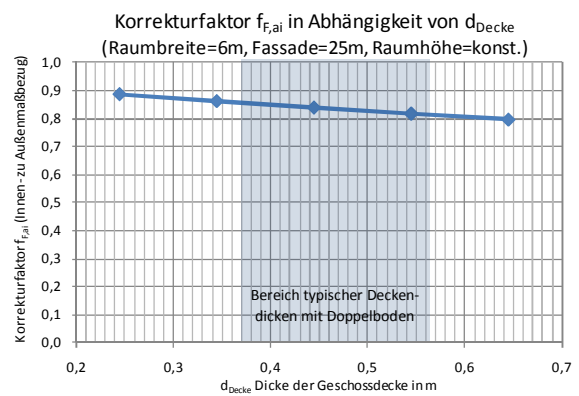


Abbildung 302: Korrekturfaktoren für Innen- zu Außenmaßbezug. Fassaden-, Raumbreite und Raumhöhe sind konstant. Dargestellt wird der Einfluss unterschiedlicher Geschosssdeckendicken auf den Korrekturfaktor $f_{F,ai}$.

Für ein durchschnittliches Gebäude kann ein pauschaler Faktor $f_{F,ai}$ von $0,9 \text{ m}^2/\text{m}^2$ verwendet werden. In Bürogebäuden werden oft Doppelböden oder abgehängte Decken eingesetzt, um die Integration technischer Installationen zu erleichtern. Dadurch erhöht sich der Deckenaufbau. Ausgehend von einer konstant bleibenden lichten Raumhöhe muss mit wachsender Deckenstärke in der Regel auch die Geschosshöhe angehoben werden. Abbildung 302 zeigt den Zusammenhang zwischen Geschosssdeckendicke und des berechneten Korrekturfaktors für das Beispielgebäude. Bei Gebäuden mit Doppelboden kann der Faktor vereinfacht auf $0,85 \text{ m}^2/\text{m}^2$ reduziert werden.

$$b_{Fe,i} = \min\left(\frac{A_{Fe,i} + A_{Wa,i}}{h_z} \cdot f_{F,ai}, \frac{A_{Fe,i}}{h_{Fe}}\right) \quad (102)$$

mit

$b_{Fe,i}$	m	charakteristische Fensterbreite einer Zone je Orientierung i
$A_{Fe,i}$	m^2	Fensterfläche einer Zone je Orientierung i
$A_{Wa,i}$	m^2	Außenwandfläche einer Zone je Orientierung i
h_z	m	mittlere Zonenhöhe
h_{Fe}	m	mittlere Fensterhöhe in der Zone
$f_{F,ai}$	m^2/m^2	Korrekturfaktor für Innenmaßbezug; Standardwert = $0,9 \text{ m}^2/\text{m}^2$

Der mittlere charakteristische Außenwandumfang der Zongeometrie $b_{Zone,ges}$ ermittelt sich durch die Summe aller Außenfassadenflächen (Fenster und Wand) dividiert durch die Zonenhöhe h_z . Dieser Wert entspricht näherungsweise der umlaufenden Außenfassadenlänge, in der Fenster vorkommen können.

$$b_{Zone,ges} = \frac{\sum_i A_{Fe,i} + A_{Wa,i}}{h_z} \cdot f_{F,ai} \quad (103)$$

mit

$b_{Zone,ges}$ m charakteristischer Außenwandumfang einer Zone

Die charakteristische Raumtiefe $a_{R,i}$ ermittelt sich in Abhängigkeit des mittleren charakteristischen Außenwandumfangs. Die Zonenfläche wird mit dem charakteristischen Außenumfang $b_{Zone,ges}$, welcher der Fassadenfläche entspricht, über die Tageslicht in die Zone eindringen kann, in Bezug gesetzt. Diese Annäherung geht von einer rechteckigen Anordnung der Zone und in der Regel einseitig belichteten Räumen aus. Sind in einer Zone viele zwei- oder mehrseitig (über Eck) belichtete Räume vorhanden, wird durch diese Annäherung die maximale Raumtiefe a_R unterschätzt. Der dadurch bilanzierte Strombedarf für Beleuchtung steigt dann tendenziell an. Dieser Effekt reduziert sich durch überlappende Tageslichtbereiche (zwei- oder mehrseitige Versorgung über Eck). Die ermittelte Raumtiefe wird für jeden orientierten Tageslichtbereich i angesetzt.

$$a_R = a_{R,i} = \frac{A_Z}{\frac{\sum_i A_{Fe,i} + A_{Wa,i}}{h_z} \cdot f_{F,ai}} = \frac{A_Z}{b_{Zone,ges}} \quad (104)$$

mit

$b_{Zone,ges}$ m charakteristischer Außenwandumfang einer Zone

$a_{R,i}$ m charakteristische Raumtiefe je Orientierung i

Zur überschlägigen Ermittlung der Positionierung der Fenster in einer Zone wird ein repräsentativer Mittelwert der Fassade gebildet. Für die Berechnung der Tageslichtversorgung ist die Fensterfläche $A_{RB,TL,i}$ oberhalb der Nutzebene h_{Fe} zu bestimmen. Ausgehend von einer mittleren Fensterhöhe h_{Fe} , die je Zone zu definieren ist, und der Fensterfläche der jeweiligen Orientierung, wird die folgende Beziehung für die Fensterfläche oberhalb der Arbeitsebene gebildet. $A_{RB,TL,i}$ entspricht in der Regel der Fensterfläche $A_{Fe,i}$ in einer Zone. Begrenzt wird diese Fläche durch die anrechenbare Fensterhöhe, die von der Positionierung der Fenster in der Fassade abhängig ist. Ausschlaggebend hierfür ist die Nutzebene. Es muss deshalb überprüft werden, ob nicht ein Teil der Fensterfläche unterhalb der Nutzebene angeordnet ist. Ermittelt werden kann dies durch die Differenz der Sturzhöhe h_{St} und der Höhe der Nutzebene h_{Ne} .

$$A_{RB,TL,i} = \frac{\min(h_{Fe}; h_{St} - h_{Ne}) \cdot A_{Fe,i}}{h_{Fe}} \quad (105)$$

mit

$A_{RB,TL,i}$ m² Fensterfläche oberhalb der Arbeitsebene je Orientierung i

Die maximale Tiefe des Tageslichtbereichs wird gemäß DIN V 18599 nach folgender Gleichung bestimmt [45]. Dabei ist die maximale Tiefe beim vereinfachten Verfahren für jede Himmelsrichtung zu ermitteln.

$$a_{TL,max,i} = 2,5 \cdot (h_{St} - h_{Ne}) \quad (106)$$

mit

$a_{TL,max,i}$ m maximale Tiefe des Tageslichtbereichs je Orientierung i

In DIN V 18599, Teil 4 wird das sogenannte 1,25-Kriterium eingeführt. Dies soll unverhältnismäßig kleine Bereiche in einer Zone, die nicht tageslichtversorgt sind, vermeiden. Nach [45] werden Bereichstiefen bis zum 1,25-Fachen der berechneten maximalen Tiefe des tageslichtversorgten Bereichs als tageslichtversorgt betrachtet. Um diese Bedingung mit den Vereinfachungen abzubilden, wird folgende Beziehung für jede Orientierung i angewandt.

$$\begin{aligned} \text{wenn} \quad & a_{TL,max,i} < (a_{R,i} - 0,25 \cdot a_{TL,max,i}) \\ \text{dann} \quad & a_{TL,i} = a_{TL,max,i} \\ \text{sonst} \quad & a_{TL,i} = a_{R,i} \end{aligned} \quad (107)$$

mit

$a_{TL,max,i}$ m maximale Tiefe des Tageslichtbereichs je Orientierung i

$a_{TL,i}$ m Tiefe des Tageslichtbereichs je Orientierung i

$a_{R,i}$ m charakteristische Raumbreite je Orientierung i

Nach DIN V 18599 entspricht die Breite des Tageslichtbereichs b_{TL} in der Regel der Breite einer Zone, bzw. eines Raumes [45][49]. Innenwände dürfen nach dem Verfahren übermessen werden. Wenn nur in einem Teilbereich der Fassade Fenster angeordnet sind, so kann der Ansatz, die Raumbreite als Breite des Tageslichtbereichs zu verwenden, zu einer Überschätzung der tageslichtversorgten Fläche führen. In dem Fall ist die Breite des Fassadenbereichs anzusetzen, der mit Fenstern ausgestattet ist. Da die Belichtung auch seitlich der Fenster stattfindet, ist zu dieser Breite die halbe Tiefe der tageslichtversorgten Tiefe a_{TL} zu addieren.

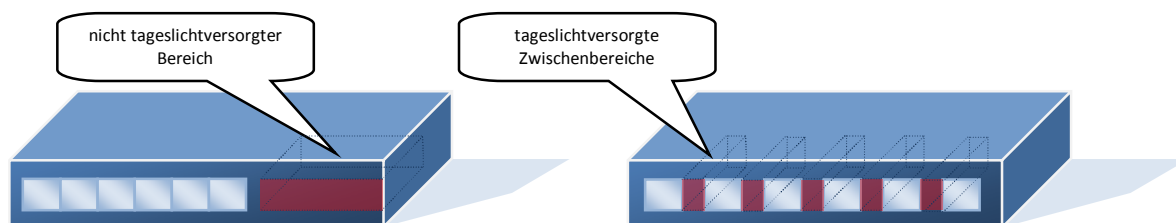


Abbildung 303: Darstellung der Fensteranordnung in einer Zone als Fensterband oder Lochfassade

Da im vereinfachten Verfahren die transformierte Fensterfläche als Fensterband vorliegt, kann es auch zu einer Unterschätzung der tageslichtversorgten Breite kommen, wenn es sich real um eine Lochfassade handelt, da bei einem virtuellen Fensterband die tageslichtversorgten Flächen zwischen den Fenstern nicht berücksichtigt werden. Für die vereinfachte Zuweisung wird deshalb eine künstliche Vergrößerung der Fensterbreiten berechnet, wenn es sich nicht um ein einzelnes Fensterband handelt. Um dies zu realisieren, muss auf Zonenebene eine weitere Abfrage erfolgen: „Sind die Fenster in einer Lochfassade angeordnet?“ Zur synthetischen Vergrößerung der Breite des Tageslichtbereichs $b_{TL,i}$ wird die halbe Tiefe des Tageslichtbereichs je Orientierung $a_{TL,i}$ angesetzt.

$$\text{wenn «ja» gilt} \quad b_{TL,i} = b_{Fe,i} + \frac{a_{TL,i}}{2} \quad (108)$$

$$\text{wenn «nein» gilt} \quad b_{TL,i} = b_{Fe,i}$$

mit

$b_{TL,i}$ m Breite des Tageslichtbereichs je Orientierung i

$b_{Fe,i}$ m charakteristische Fensterbreite einer Zone je Orientierung i

$a_{TL,i}$ m Tiefe des Tageslichtbereichs je Orientierung i

Mit diesen Daten kann die tageslichtversorgte Fläche $A_{TL,i}$ je Orientierung nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$A_{TL,i} = a_{TL,i} \cdot b_{TL,i} \quad (109)$$

mit

$A_{TL,i}$ m^2 tageslichtversorgte Fläche in einer Zone für die Orientierung i

Damit die Summe der tageslichtversorgten Flächen nicht größer wird als die Zonenfläche, wird bei der Bestimmung der tageslichtversorgten Fläche A_{TL} für die gesamte Zone die maximale tageslichtversorgte Fläche begrenzt.

$$A_{TL} = \min \left(\sum_i A_{TL,i}; A_Z \right) \quad (110)$$

mit

A_{TL} m^2 tageslichtversorgte Fläche in einer Zone
 $A_{TL,i}$ m^2 tageslichtversorgte Fläche in einer Zone für die Orientierung i
 A_Z m^2 Zonenfläche

Die nicht tageslichtversorgte Fläche A_{KL} berechnet sich aus der Differenz der Zonenfläche A_Z und der mit tageslichtversorgten Fläche einer Zone A_{TL} .

$$A_{KL} = A_Z - A_{TL} \quad (111)$$

mit

A_{KL} m^2 nicht tageslichtversorgte Fläche in einer Zone

Schoch zeigt in [132], dass die Nutzung eines auf Zonenebene definierten Transparenzindex bei einheitlichen Fassadenstrukturen innerhalb einer Zone nicht zu ungenaueren Ergebnissen führt, als wenn die Räume einzeln berechnet werden.

Die folgenden Größen sind nach DIN V 18599 in Abhängigkeit der Orientierung i zu berechnen. Die Berechnung des Kunstlichtstrombedarfs erfolgt für jede Orientierung bzw. für jeden Tageslichtbereich und betrifft die folgenden Größen nach [45]:

Tabelle 82: Nach DIN V 18599, Teil 4 zu berechnete Größen je Orientierung/Tageslichtbereich i

Transparenzindex	$I_{Tr,j,i}$
Raumtiefenindex	$I_{Rt,j,i}$
Verbauungsindex	$I_{V,j,i}$
Tageslichtquotient für die Rohbauöffnung	$D_{Rb,j,i}$
relativer Zeitanteil, Blend- und/oder Sonnenschutz nicht aktiviert	$t_{rel,TL,SNA,j,i}$
relativer Zeitanteil, Blend- und/oder Sonnenschutz aktiviert	$t_{rel,TL,SA,j,i}$
Tageslichtversorgungsfaktor SNA, Blend- und/oder Sonnenschutz nicht aktiviert	$C_{TL,Vers,SNA,j,i}$
Tageslichtversorgungsfaktor SA, Blend- und/oder Sonnenschutz aktiviert	$C_{TL,Vers,SA,j,i}$
Tageslichtversorgungsfaktor	$C_{TL,Vers,j,i}$
Korrekturfaktor tageslichtabhängiges Kontrollsystem	$C_{TL,kon,j,i}$
Teilbetriebszeitfaktor Tageslicht	$F_{TL,j,i}$
monatlicher Verteilschlüssel	$v_{Monat,i}$

Bei der Berechnung der Stundenanteile, für die das Tageslicht ausreichend ist, muss eine Gewichtung mithilfe der orientierten tageslichtversorgten Flächen $A_{TL,i}$ erfolgen.

A.8 Zu Abschnitt 4.3: Zonenbezogene Auswertung

Für die in Abschnitt 2.6 vorgestellten Gebäude werden nach DIN V 18599 die Nutzenergiebedarfe für Heizwärme, Kälte und Beleuchtung berechnet. Die Energiekennwerte der Zonenbilanzen werden in der ersten Übersicht nicht je Zonenfläche, sondern auf die gesamte Energiebezugsfläche des Gebäudes bezogen, sodass der Summenwert für alle Zonen dem Energiekennwert des gesamten Gebäudes entspricht. Zudem können so auch Fehlinterpretationen relativiert werden, wenn beispielsweise größere Abweichungen im Energiebedarf in kleinen Zonen auftreten. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass sich die Höhe der berechneten spezifischen Energiebedarfe für alle Gebäude (durch die festen Randparameter nach Tabelle 40) weitestgehend ähneln. Unterschiede ergeben sich aus verschiedenen Gebäudeentwürfen (Fensterflächenanteile, A/V-Verhältnis etc.) und aus den, in den Nutzungsprofilen definierten Randparametern einzelner Zonen nach [48] (Beleuchtungsstärke, interne Lasten, Mindestaußenluftwechsel etc.).

A.8.1 Auswertung, Zusammensetzung zonenbezogener Fehler im Energiebedarf

Aus der Summe der Balken jeder Grafik ergibt sich der Gesamtenergiekennwert für die jeweilige Energieanwendung über alle Zonen. Die Höhe des Balkens eines Teilbereichs entspricht dem Anteil des Gesamtbedarfs in der jeweiligen Zone.

A.8.1.1 Gebäude 1 – Büro LuxRef

In der Zone „Einzelbüro“ wird der gesamte Kühlenergiebedarf des Gebäudes umgesetzt. Alle anderen Zonen sind nicht voll klimatisiert. Der Fehler, der durch vereinfachte Zuweisung der Gebäudehüllflächen ohne Wichtung entsteht, wird hier sehr deutlich, weil fehlerhaft zugeteilte Fensterflächen in dieser Zone (bezogen auf den Kältebedarf) durch die anderen Zonen nicht kompensiert werden. Bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs und des Strombedarfs für Beleuchtung ist dies anders. Wenn in einer Zone A zu wenig Fensterfläche zugewiesen wird, erhält eine Zone B entsprechend mehr Fläche. Die Summe aller solaren Einträge und die Transmissionsverluste bleiben konstant.

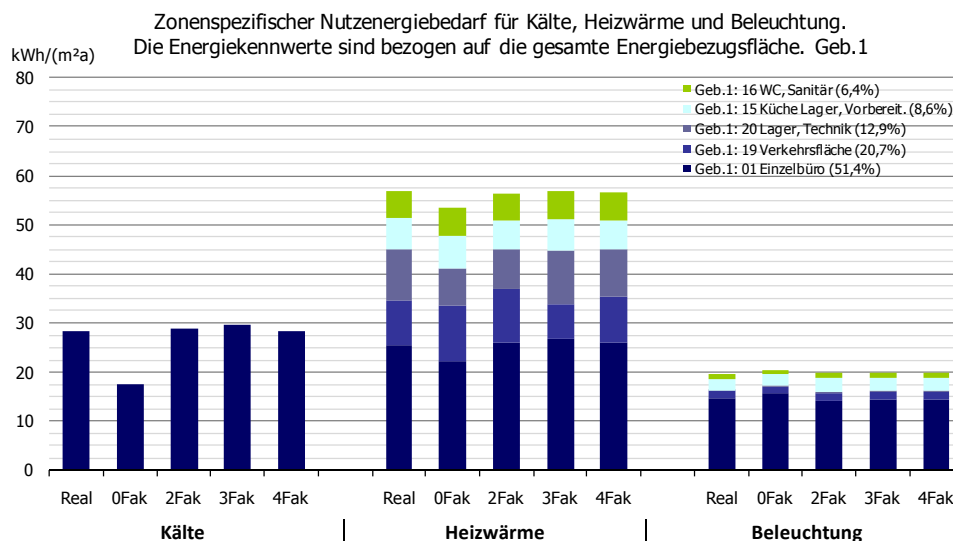


Abbildung 304: Analyse des zonenspezifischen Nutzenergiebedarfs für unterschiedliche Fälle, Gebäude 1

A.8.1.2 Gebäude 2 – Büro BoB

In Gebäude 2 sind zwei Zonen gekühlt. Bei der Initialvariante (Real) mit korrekten Fensterflächen wird der größte Anteil des Kältebedarfs in der Zone „Gruppenbüro“ umgesetzt, ein kleiner Teil des Gesamtkältebedarfs fällt auf die Zone mit der Nutzung „Besprechungsraum“. Bei Zuweisung nach dem *einfachen Verfahren* (ohne Wichtung) wird den nicht klimatisierten Zonen zu viel Fensterfläche zugewiesen und den beiden klimatisierten Zonen zu wenig. Dadurch reduziert sich der Gesamtkältebedarf des Gebäudes. Beim Heizwärmebedarf bewirkt die Verschiebung der opaken und transparenten Flächen in den Zonen ebenfalls deutliche Unterschiede. Über alle Zonen bilanziert sich jedoch in der Summe ein geringer Fehler.

Die Zone „Verkehrsfläche“ erhält weniger Bauteilfläche als real vorhanden, weshalb sich hier auch geringere Transmissionsverluste errechnen. Vergleicht man die Verläufe der berechneten Heizwärme- und Kältebedarfe für die Zone „Gruppenbüro“, so wirken sich die dort zu gering bilanzierten Bauteilflächen gleichermaßen aus. Für die Beleuchtungsberechnung ergibt sich ebenfalls ein etwas geringerer aggregierter Summenkennwert. Dies lässt sich dadurch erklären, dass alle Zonen Fensterflächen erhalten und somit überall eine Tageslichtnutzung vorhanden ist. Wie die Auswertungen der Parameteruntersuchen gezeigt haben, wirken sich variierende Fensterflächen bei sehr niedrigen Fensterflächenanteilen am stärksten aus; ab Fensterflächenanteilen von 50 bis 60 % reduziert sich hingegen der Effekt deutlich (vgl. Abbildung 119).

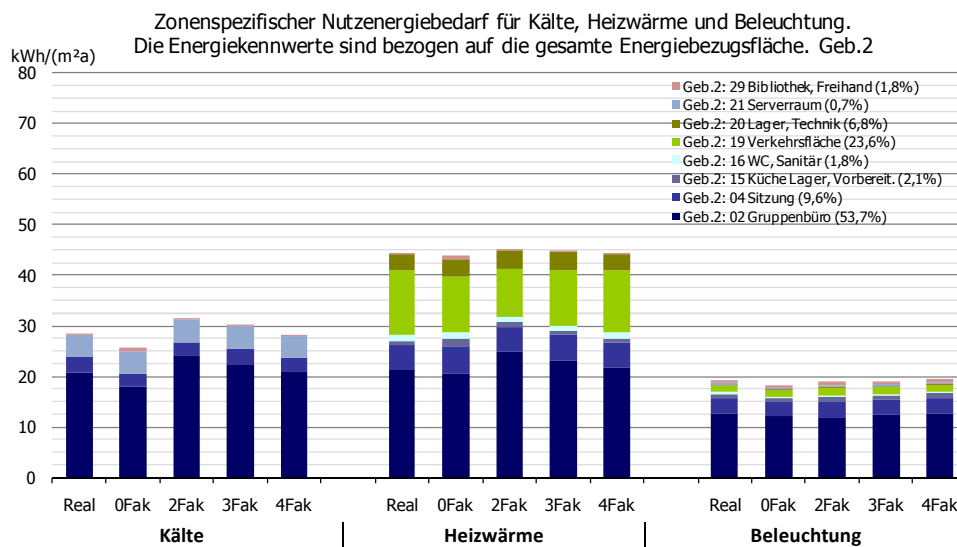


Abbildung 305: Analyse des zonenspezifischen Nutzenergiebedarfs für unterschiedliche Fälle, Gebäude 2

A.8.1.3 Gebäude 3 – Büro Baumeister

Für Gebäude 3 (Baumeister) ist im Wesentlichen die Nutzung „Serverraum“ verantwortlich für den Gesamtkältebedarf. Ein Serverraum zeichnet sich durch sehr hohe interne Lasten aus, die maßgebend für den Kälteenergiebedarf in dieser Zone sind. Selbst bei unscharfer Zuteilung der Fensterflächen ergeben sich nur geringfügige Änderungen des Kältebedarfs. Real sind in dieser Zone keine Fensterflächen angeordnet. Eine vereinfachte Zuteilung von Fensterflächen bewirkt, dass auch dieser Zone Fensterflächen zugeteilt werden. Der Anstieg im zonenspezifischen Kühlenergiebedarf ist marginal. Dagegen wirkt sich in der Zone „Großraumbüro“ eine Verringerung der Fensterfläche sehr stark auf den bilanzierten Kältebedarf aus. Für dieses Nutzungsprofil bestimmen die solaren Gewinne die Höhe der nicht nutzbaren Gewinne.

Ebenso ist bei Anwendung des *einfachen Verfahrens* eine deutliche Kompensation des Heizwärmebedarfs zu beobachten. Hierfür ist ebenfalls die Zone „Server“ maßgeblich verantwortlich. Der Zusammenhang lässt sich mit den in Abschnitt 3.4.3 gewonnenen Erkenntnissen erklären. Die dieser Zone zugewiesenen Flächen bewirken einen vergleichsweise geringeren Anstieg des Heizwärmebedarfs. Die hohen internen Lasten in der Heizperiode führen zu sehr niedrigen Ausnutzungsgraden der Wärmegewinne. Steigern sich beispielsweise die Transmissionsverluste, so wird das Gewinn-zu-Verlust-Verhältnis derart beeinflusst, dass sich nur ein geringer Anstieg im Heizwärmebedarf ergibt. Der Fehler im Beleuchtungsstrombedarf ist bei einfacher Zuweisung der Gebäudehüllflächen auffallend. Die Ursache dafür ist die Berücksichtigung des Parkhauses bei der Verteilung der Gebäudehüllflächen. Mit einem Zonenflächenanteil von knapp 20 % erhält diese Zone einen entsprechend hohen Fensterflächenanteil. Aufgrund der geringen erforderlichen Beleuchtungsstärke und der sehr hohen relativen Abwesenheit für diese Nutzung, berechnet sich ein sehr geringer Strombedarf für Beleuchtung, der relativ unabhängig von der Fensterfläche ist. Der dadurch stark reduzierte Fensterflächenanteil für die Zone „Großraumbüro“ bewirkt einen Anstieg des Strombedarfs, welcher nicht durch die Zone „Parkhaus“ kompensiert werden kann.

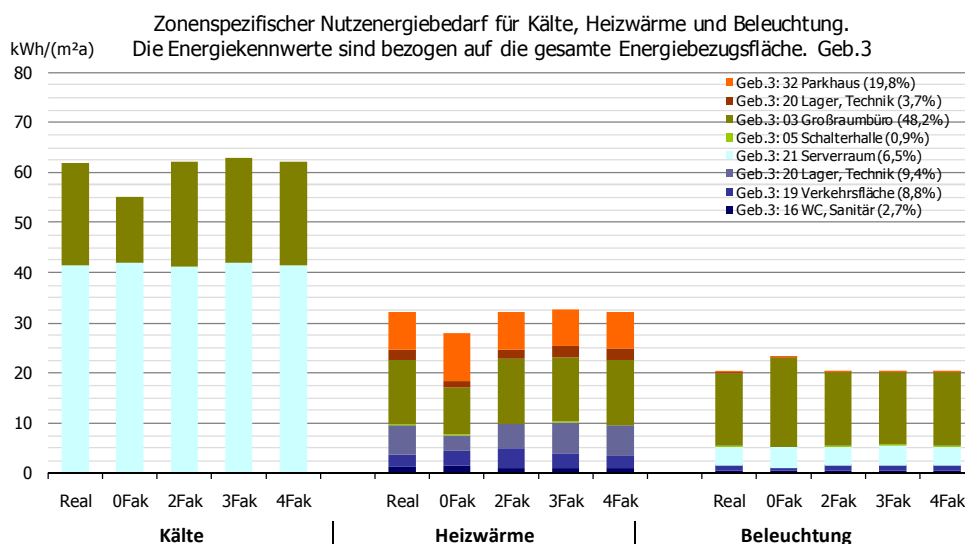


Abbildung 306: Analyse des zonenspezifischen Nutzenergiebedarfs für unterschiedliche Fälle, Gebäude 3⁴⁸

A.8.1.4 Gebäude 4 – Büro Arsenal

Abbildung 307 zeigt die Analyse von Gebäude 4 (Arsenal). Die Zone „Gruppenbüro“ hat einen Zonenflächenanteil von etwa 81 %. Die Fensterflächen fallen ebenfalls zu etwa 90 % auf diese Zone. So ist selbst bei einfacher und ungewichteter Zuteilung der Gebäudehüllflächen mit geringen Fehlern zu rechnen. Diese einfache Zuteilung der Bauteilflächen bewirkt eine leichte Verschiebung der Fensterflächen von der Zone „Gruppenbüro“ in andere Zonen. Die solaren Gewinne sinken und dementsprechend auch der Kältebedarf. Der Heizwärmebedarf bleibt nahezu unverändert.

Die Zone „Verkehrsfläche“ hat mit einem Zonenflächenanteil von real knapp 9 % einen Anteil von ca. 20 % an den opaken Bauteilflächen. Eine vereinfachte, rein zonenflächenabhängige Zuteilung der Bauteilflächen bewirkt dabei eine Verringerung des Anteils der opaken Bauteile. Diese Verringerung

⁴⁸ Die Zone 32 „Parkhaus“ wurde für alle Varianten als beheizt angenommen. Auch bei der vereinfachten Flächenerfassung wird die thermische Hüllfläche auf Gebäudeebene erfasst. Grenzen der thermischen Hüllfläche stellen die Außenluft und/oder ein nichtkonditionierter Bereich dar. Es ergeben sich dadurch keine Unterschiede zwischen der vereinfachten Flächenerfassung und der realen Zuteilung. In beiden Verfahren wird eine Zone entweder als konditioniert oder nichtkonditioniert betrachtet. Der Heizwärmebedarf dieser Zone bilanziert sich real nur durch den erforderlichen Luftwechsel; der Zone sind keine thermischen Gebäudehüllflächen zugewiesen.

wird zum Teil von anderen Zonen kompensiert, führt in der Summe doch zu einer leichten Reduzierung des Heizwärmebedarfs. Durch Anwendung von Wichtungsfaktoren reicht aufgrund der klaren Strukturierung des Gebäudeentwurfs schon die Abfrage „vorhanden/nicht vorhanden“ aus, um eine gute Korrektur der Gebäudehüllflächen und der berechneten Energiebedarfe zu bewirken.

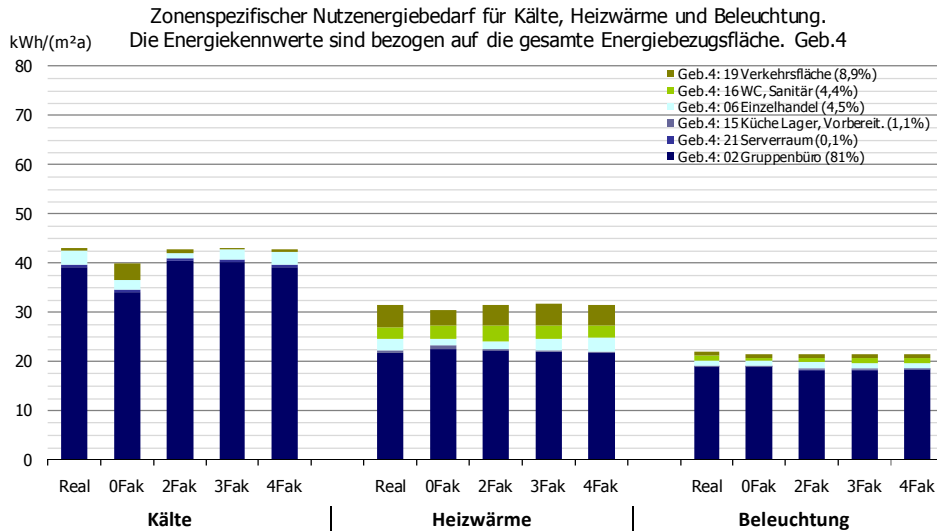


Abbildung 307: Analyse des zonenspezifischen Nutzenergiebedarfs für unterschiedliche Fälle, Gebäude 4

A.8.1.5 Gebäude 5 – Büro CLI

Bei Gebäude 5 (Büro CLI) handelt es sich um ein Bürogebäude mit Fensterflächen nur in den Zonen „Gruppenbüro“ und „Verkehrsfläche“. Die opaken Flächen teilen sich noch auf eine weitere Zone „Lager/Technik“ auf. Der größte Anteil der Fensterflächen, etwa 71 %, ist den Büros zugeordnet. Auch hier bewirkt eine einfache Verteilung der Bauteilflächen eine Reduzierung der transparenten und opaken Flächen in der Hauptzone des Gebäudes. Folglich bilanzieren sich ein geringerer Kälte- und Heizwärmebedarf für diese Zone. Für Beleuchtung ist die Fensterfläche in einer Zone relevant. Durch vereinfachte Zuweisung ändert sich der Fensterflächenanteil der Zone „Gruppenbüro“ von 45 auf 37 %, was nur eine marginale Änderung bewirkt. Dies korreliert auch mit den Ergebnissen der Parameterstudie (vgl. Abbildung 117, Kurve mit 500 Lux); der Beleuchtungsstrombedarf bleibt in der Summe über alle Varianten konstant. Auch für dieses Gebäude kann durch Anwendung eines „vorhanden/nicht vorhanden“-Kriteriums (2 Fak) eine gute Korrektur erreicht werden. Für den Kühlenergiebedarf bilanziert sich dabei ein etwas größerer Kältebedarf, da die Fensterflächen nur zwischen den Zonen „Gruppenbüro“ und „Verkehrsfläche“ aufgeteilt werden, was zu einer leichten Überbewertung der Bürozone führt. Erst mit Anwendung der erweiterten Wichtung von Bauteilflächen kann auch für den Kältebedarf eine gute Übereinstimmung erzielt werden.

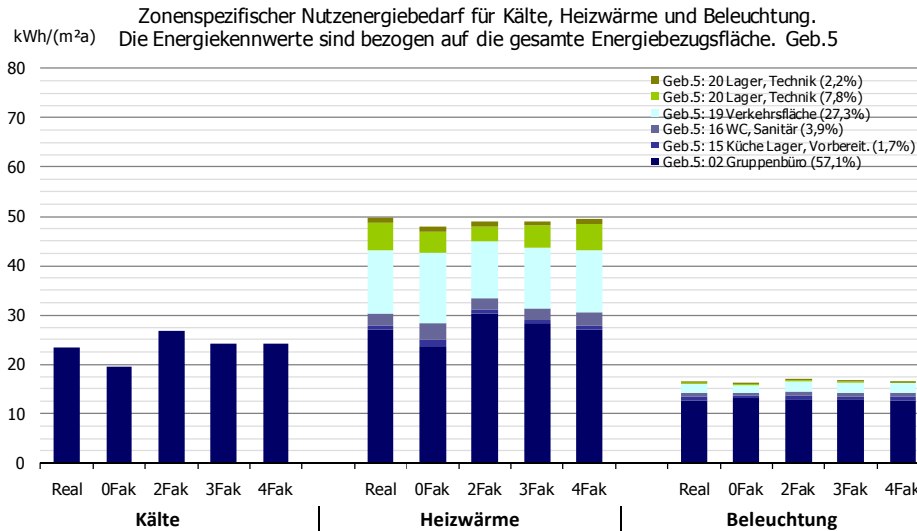


Abbildung 308: Analyse des zonenspezifischen Nutzenergiebedarfs für unterschiedliche Fälle, Gebäude 5

A.8.1.6 Gebäude 6 – Büro Mamer

Auch in Gebäude 6 (Büro Mamer) ist nur eine Zone aktiv gekühlt. Gemäß dem Gebäudeentwurf nimmt die Zone „Gruppenbüro“ etwa 45 % der gesamten Zonenfläche ein. Im Heizwärmebedarf wird die Kompensation von unscharf zugewiesenen Bauteilen sichtbar, wobei auch hier bei Anwendung einer einfachen Flächenverteilung ein zu gering berechneter Heizwärme- und Kältebedarf vorliegt. Der Beleuchtungsstrombedarf steigt leicht an, da Zonen mit einer geringeren erforderlichen Beleuchtungsstärke oder geringeren Nutzungszeiten (bzw. relative Abwesenheiten), mehr Fensterflächen erhalten. Die Reduzierung des absoluten summierten Energiebedarfs ist geringer. Die Anwendung eines generellen „vorhanden/nicht vorhanden“-Kriteriums führt zu einer deutlich besseren Verteilung der Flächen und dementsprechend zu exakter berechneten Energiebedarfen.

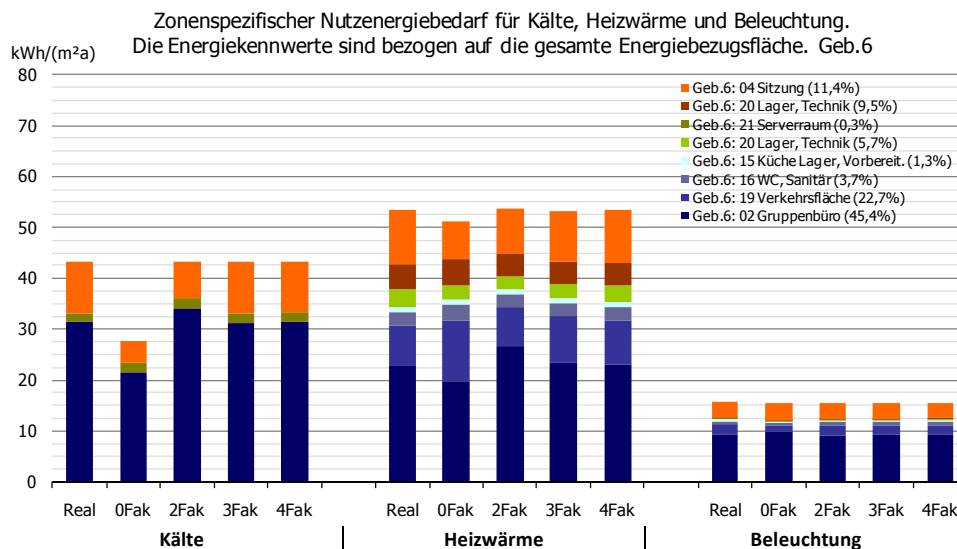


Abbildung 309: Analyse des zonenspezifischen Nutzenergiebedarfs für unterschiedliche Fälle, Gebäude 6

A.8.1.7 Gebäude 7 – Büro Stümper

Gebäude 7 (Büro Stümper) wird ebenfalls durch die Hauptnutzung von Büroflächen charakterisiert. Etwa 67 % aller Zonenflächen fallen auf diesen Nutzungsbereich. 80 % der gesamten Fensterflächen kommen ebenfalls in dieser Zone vor. Bei vereinfachter Zuteilung der Bauteilflächen wird dieser Zone demnach auch zu wenig Fensterfläche zugeteilt, was sich in einem niedrigeren Kältebedarf

widerspiegelt. Bei Wichtung mit 2 Faktoren tritt ein leichtes Überschwingen im Kältebedarf auf. Für diesen Gebäudeentwurf sind 4 Wichtungsfaktoren (keine, gering, mittel, viel) erforderlich, um das Vorhandensein der Bauteilfläche in einer Zone mit entsprechender Genauigkeit für den Energiebedarf zu gewährleisten. Die Kompensation fehlerhaft zugewiesener Flächen kann für den Heizwärmebedarf und den Strombedarf für Beleuchtung beobachtet werden. Bei stark voneinander abweichenden Nutzungsprofilen, hinsichtlich der internen Lasten und der Mindestaußenluftströme, ergeben sich merkbare Beeinflussungen im berechneten Ausnutzungsgrad; insbesondere in der Übergangszeit (vgl. Abschnitt 3.4.2). Dadurch erfolgt die Kompensation von fehlerhaft zugewiesener Bauteilfläche abgeschwächt. Dieser Zusammenhang drückt sich im berechneten Heizwärmebedarf für diesen Gebäudeentwurf aus. Auch bei der Berechnung des Beleuchtungsstrombedarfs führt eine vereinfachte Zuteilung der Fensterflächen zu einem Anstieg des Gesamtbedarfs, da die mögliche Kompensation in Zonen mit geringerem Grundbedarf erfolgt.

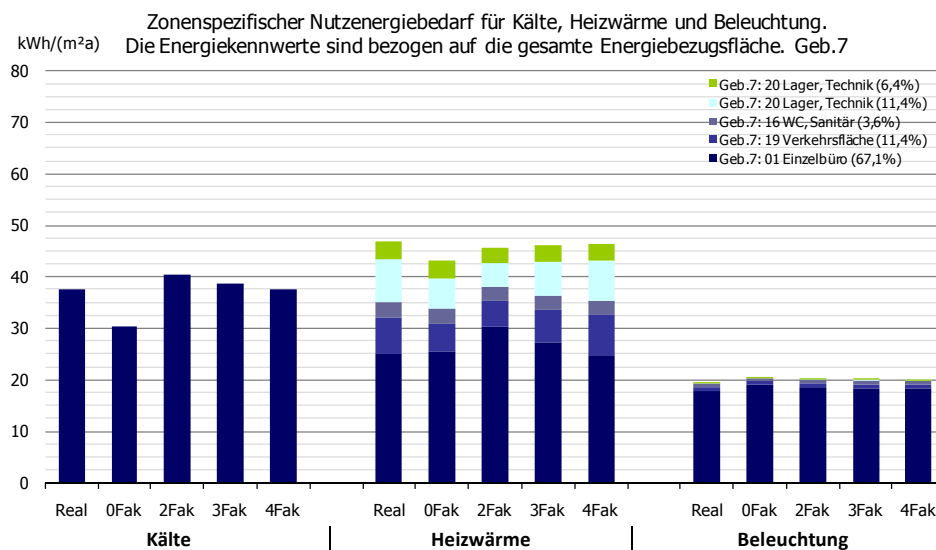


Abbildung 310: Analyse des zonenspezifischen Nutzenergiebedarfs für unterschiedliche Fälle, Gebäude 7

A.8.1.8 Gebäude 8 - Europaschule

Das Gebäude 8 (Europaschule) ist nicht klimatisiert und hat dementsprechend keinen Kältebedarf. Für die Energiebilanzierung wird dennoch ein innen liegender Sonnenschutz nach Tabelle 40 angesetzt, da von der Einhaltung eines minimalen sommerlichen Wärmeschutzes ausgegangen wird. Die Hauptnutzung „Klassensäle“ charakterisiert dieses Gebäude mit einem Zonenflächenanteil von etwa 53 %. Der Fensterflächenanteil in dieser Zone beträgt etwa 64 %. Eine Zuteilung der Bauteilflächen in alleiniger Abhängigkeit der Zonengrundfläche, reduziert den Anteil auf etwa 49 %. Die Zone „Verkehrsfläche“ dagegen hat real einen Fensterflächenanteil von ca. 49 %. Dieser steigt durch Anwendung des einfachen Wichtungsverfahrens auf etwa 88 %. Wie in Abbildung 81 gezeigt, wirkt sich eine variierende Fensterfläche für das Nutzungsprofil „Verkehrsfläche“ in diesem Bereich des Fensterflächenanteils kaum auf den Heizwärmebedarf aus. Beim Nutzungsprofil „Klassenraum“ ist ein ähnlicher Verlauf – wenn auch auf höherem Niveau – zu erwarten. Den größeren Mindestaußenluftmengen wirken auch höhere interne Lasten durch Personen entgegen. Die internen Lasten für das Nutzungsprofil „Klassen“ sind maßgeblich von der Personenbelegung abhängig, gleichermaßen auch der Mindestaußenluftvolumenstrom. Dadurch erfolgt eine Kompensation zwischen den Zonen. Beim Beleuchtungsstrombedarf zeigt sich, dass ebenfalls ein Ausgleich mit der

Zone „Verkehrsfläche“ erfolgt und dass die geringeren Anforderungen an die Beleuchtungssteuerung den Mehrbedarf in der Zone „Klassen“ nicht ganz egalisieren kann.

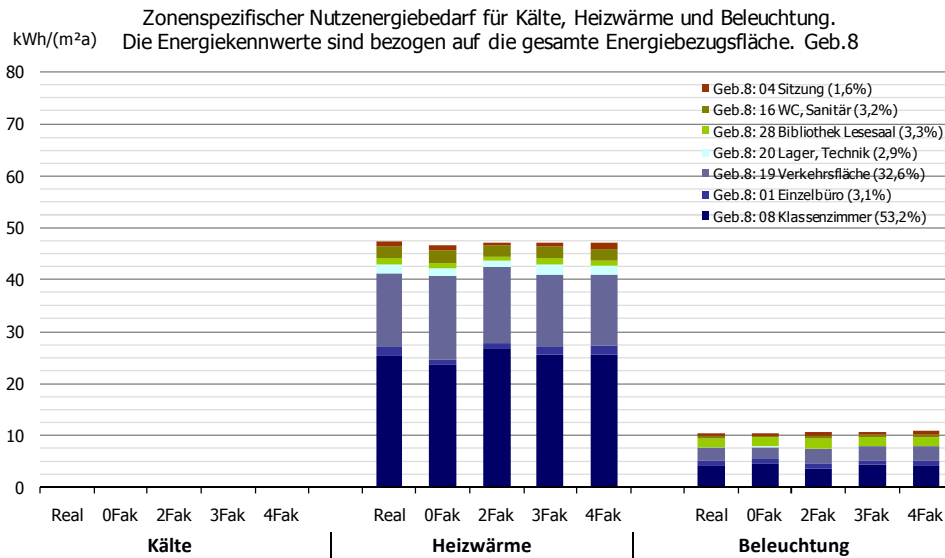


Abbildung 311: Analyse des zonenspezifischen Nutzenergiebedarfs für unterschiedliche Fälle, Gebäude 8

A.8.1.9 Gebäude 9 – Mairie Bertrange

Bei Gebäude 9 handelt es sich um ein teilklimatisiertes Verwaltungsgebäude (Marie Bertrange). Drei Zonen werden aktiv gekühlt (Einzelbüro, Sitzung und Ausstellung). Die Nutzungen „Einzelbüro“, „Verkehrsfläche“ sowie „Lager, Technik“ machen den größten Teil der Zonenflächen aus. Die Zone „Lager, Technik“ hat dabei nur einen Fensterflächenanteil von etwa 3 %. Bei Anwendung einer zonenflächengewichteten Bauteilzuweisung erhält diese Zone einen bedeutenden Anteil der Fensterfläche. Dadurch wird den klimatisierten Zonen weniger Fläche zugeteilt, was sich auch hier durch einen geringeren Kältebedarf ausdrückt. Bei der Heizwärmebilanz zeigt sich eine ähnliche Charakteristik wie bei den bisher betrachteten Gebäuden. Der über alle Zonen aggregierte Heizwärmebedarf sinkt durch reine flächenabhängige Zuteilung, und es erfolgt eine Verschiebung insbesondere zwischen den Zonen „Sitzung“ und „Einzelbüro“. Der Fensterflächenanteil der Hauptzonen variiert um $\pm 15\%$, was nur eine geringe Änderung des elektrischen Strombedarfs für Beleuchtung bewirkt.

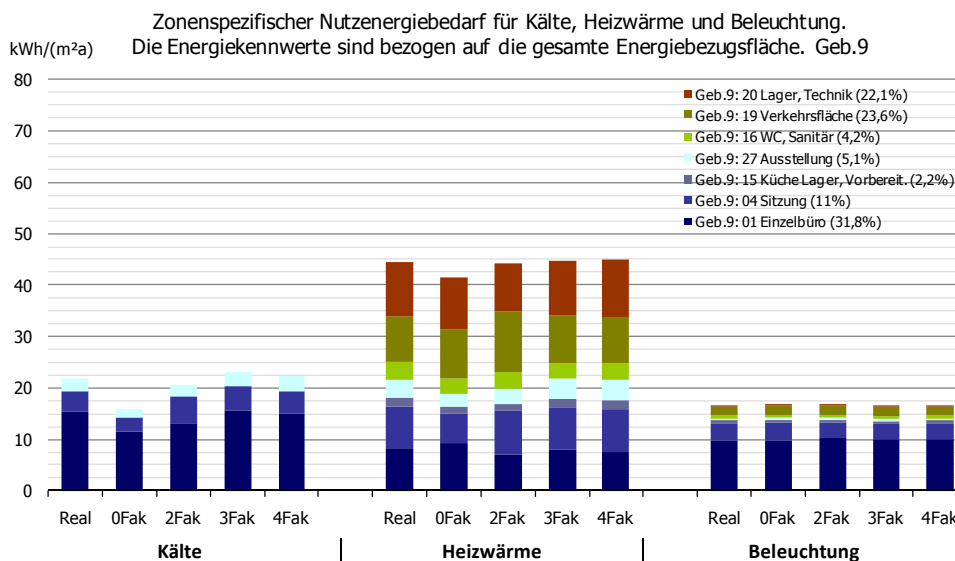


Abbildung 312: Analyse des zonenspezifischen Nutzenergiebedarfs für unterschiedliche Fälle, Gebäude 9

A.8.1.10 Gebäude 10 – Maison Relais

Das Gebäude „Maison Relais“ ist eine Schule mit Tagesbetreuung. Es wird nach DIN V 18599 durch die Hauptnutzung „Klassenzimmer“ charakterisiert. Ein Sitzungssaal mit 2,3 % und ein paar Einzelbüros mit etwa 4,1 % an der gesamten Zonenfläche werden gekühlt. Durch einfache Wichtung der Gebäudeflächen, insbesondere der Fensterflächen, wird insbesondere der Zone „Sitzung“ zu wenig Fensterfläche zugewiesen, was sich im geringeren Kältebedarf ausdrückt. Erst mit Anwendung von 4 Wichtungsfaktoren wird eine gute Genauigkeit bei der Zuteilung der Fensterflächen erreicht. In der Heizwärmebilanz kann eine Kompensation zwischen den Zonen „Klassen“, „Verkehrsfläche“ und „WC/Sanitär“ festgestellt werden. Wie in Abbildung 82 gezeigt, ist gerade bei Kombination mit diesen Nutzungsprofilen mit größeren Abweichungen im Heizwärmebedarf zu rechnen. Dieses Gebäude benötigt bei der Flächenzuteilung eine Wichtung mit 4 Faktoren, um auch für den Heizwärmebedarf eine gute Übereinstimmung mit der Initialvariante zu erreichen. Die absoluten Abweichungen im Beleuchtungsbedarf sind gering.

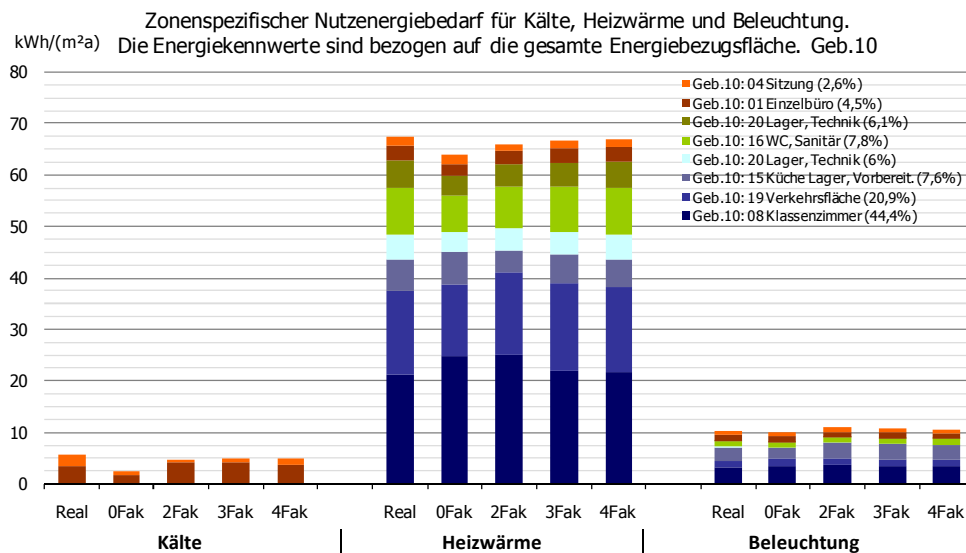


Abbildung 313: Analyse des zonenspezifischen Nutzenergiebedarfs für unterschiedliche Fälle, Gebäude 10

A.8.1.11 Gebäude 11 – Schwimmbad Belair

Für die Schwimmbadnutzung liegt in der Ausgabe 2007 der DIN V 18599 kein Nutzungsprofil vor. Die Anzahl der möglichen Nutzungsprofile wurde mit dem Teil 100 von 33 auf 45 erhöht. Die Nutzung „Schwimmbad“ ist jedoch nicht integriert. Für das Schwimmbad wird für diese Berechnung vereinfacht das Nutzungsprofil „Sporthalle“ angesetzt. Die bilanzierten Energiekennwerte werden unter Anwendung dieses Nutzungsprofils sicherlich nicht typischen Bedarfswerten für eine Schwimmhalle übereinstimmen. Zur Analyse der Auswirkungen unscharf zugewiesener Flächen auf den Energiebedarf soll dies jedoch genügen. Die Sporthalle markiert etwa 64 % der gesamten Zonenfläche. Bezogen auf das Gebäudevolumen ist der Anteil, aufgrund großer Raumhöhen, höher. An dieser Stelle sollte man vermuten, dass dieser Zone durch die verhältnismäßig geringe Zonenfläche bei einfacher Verteilung der Gebäudehüllflächen geringere Bauteilflächen zugeteilt werden. Für die transparenten Flächen stimmt diese Vermutung, für die opaken Flächen bestätigt sich dieser Zusammenhang für den Gebäudeentwurf nicht. Der Grund dafür ist ein realer Fensterflächenanteil von 100 % für diese Zone. Bei vereinfachter Zuteilung werden bei der Fensterflächenverteilung massive Fehler gemacht, was einen großen Einfluss auf die thermische Energiebilanz hat. Von den 7 Zonen haben real nur 3 Zonen Fensterflächen. Die Kompensation der

Verschiebung von solaren Gewinnen in andere Zonen wird entsprechend stark gedämpft. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss auch der Einfluss einer geringen Energiebezugsfläche, bezogen auf das Gebäudevolumen, beachtet werden.

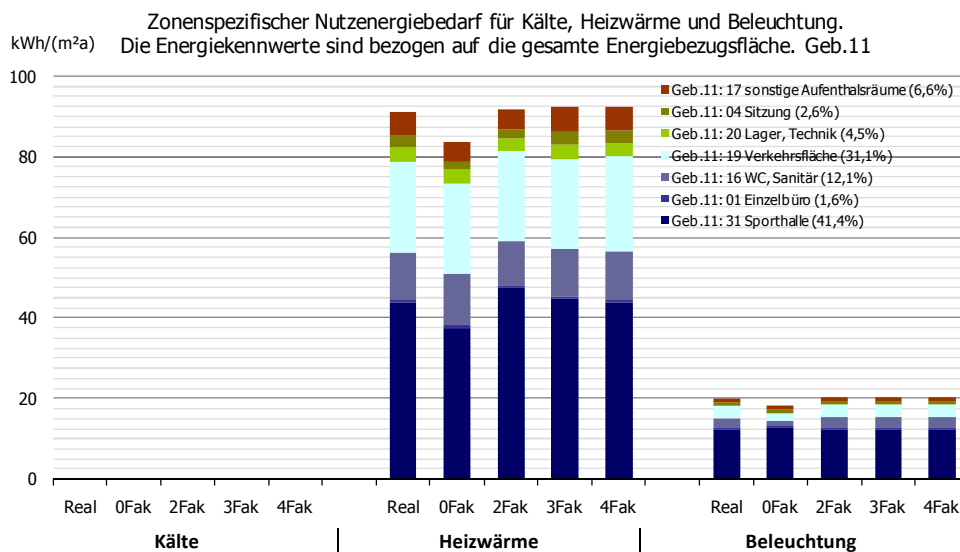


Abbildung 314: Analyse des zonenspezifischen Nutzenergiebedarfs für unterschiedliche Fälle, Gebäude 11

Die Untersuchung der Änderung der Ausnutzungsgrade bei realer und vereinfachter Zuteilung der Gebäudehüllflächen auf die Zonen ist in folgender Abbildung gegenübergestellt. Für die Zone „Lager/Technik“ verläuft der Ausnutzungsgrad der Wärmequellen über das Jahr fast konstant mit 100 %. Die Zone erhält real keine solaren Gewinne, es werden gemäß dem Nutzungsprofil keine internen Lasten durch Personen und Arbeitshilfen berechnet, sodass der geringe Beleuchtungsstrombedarf von nur 0,8 kWh/(m²a) über alle Monate zu fast 100 % als Gewinn verbucht werden kann. Ähnliche Verläufe können für die Zonentypen „Verkehrsfläche“ und „WC/Sanitär“ ausgemacht werden. Vergleicht man die Ausnutzungsgrade bei vereinfachter Zuteilung der Bauteile, so werden allen Zonen einerseits Fensterflächen zugewiesen, und es fallen demnach auch solare Gewinne an, die den Ausnutzungsgrad massiv beeinflussen. Die Zonen „Sporthalle“, „Sitzung“ und „sonstige Aufenthaltsräume“ teilen sich die gesamten Fensterflächen des Gebäudes. Die Zone „Einzelbüro“ hat real so gut wie keine Transmissionsverluste, was bewirkt, dass hier die internen Gewinne in der Übergangszeit weniger gut zu Heizzwecken genutzt werden können. Das linke Bild zeigt, dass die Ausnutzbarkeit der solaren Gewinne in der Übergangszeit sehr stark abnimmt. Vergleicht man dies mit dem rechten Bild (vereinfachte Zuteilung), so werden die solaren Gewinne auf die Zonen verteilt und relativ gleichmäßig für die einzelnen Nutzungsprofile zu Heizzwecken genutzt. Die starke Diskrepanz zwischen den berechneten Ausnutzungsgraden ist für den Fehler im Heizwärmebedarf von etwa 7 kWh/(m²a) verantwortlich.

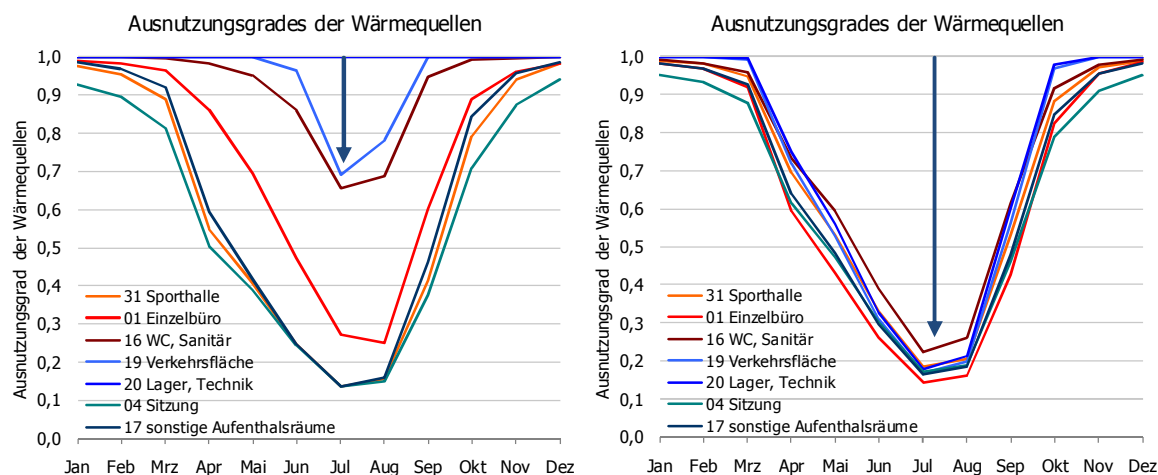


Abbildung 315: Analyse der berechneten Ausnutzungsgrade für die Flächenverteilungsmodelle Real (linkes Bild) und bei zonenflächenabhängiger Verteilung (OFak, rechtes Bild), Gebäude 11. Bei einfacher Verteilung der Gebäudehüllflächen werden auch für innen liegende oder weitestgehend innen liegende Zonen Bauteilflächen generiert und beeinflussen somit die Transmissionsverluste und die solaren Gewinne einer Zone. Das Gewinn-zu-Verlust-Verhältnis beeinflusst maßgeblich die Höhe des Ausnutzungsgrades. Für die Zone „Lager, Technik“, „Verkehrsfläche“ und „WC, Sanitär“ werden die Ausnutzungsgrade, insbesondere in der Übergangszeit und in den Sommermonaten wesentlich geringer berechnet. Für nicht gekühlte Zonen spielt der Sommerfall dann eine untergeordnete Rolle, da der Heizwärmebedarf in diesem Zeitraum nahe null ist. In der Übergangszeit berechnen sich dann jedoch deutlich andere Heizwärmebedarfe.

A.9 Zu Abschnitt 4.4: Gebäudebezogene Auswertung

A.9.1 Fehler im Gebäudeenergiebedarf auf Nutzenebene

Die Berechnung mit realen Bauteilflächen erfolgte unter Berücksichtigung der Standardbedingungen nach Tabelle 82. Die in den Grafiken dargestellten Nutzenergiebedarfe werden zur besseren Übersicht aufaddiert dargestellt. Die linke Säule jeder Grafik entspricht der Berechnung mit den exakt zugewiesenen opaken und transparenten Bauteilflächen. Jede weitere Säule entspricht der Berechnung mit den jeweiligen Wichtungsfaktoren nach dem vereinfachten Verteilungsverfahren.

Hinweis zur Interpretation: Die Summe der Nutzenergiebedarfe stellt keine Bewertungsgröße dar, da unterschiedliche Erzeugungstechnologien, Verteilungen und vor allem Energieträger Einsatz finden. Eine ganzheitliche Bewertung kann nur auf Primärenergieebene erfolgen.

A.9.1.1 Gebäude 1 – Büro LuxRef

Bei ungewichteter Zuteilung der Bauteilflächen ergibt sich ein geringerer Heizwärme- und Kältebedarf. Der Strombedarf für Beleuchtung wird hingegen leicht um etwa 3 % überschätzt. Das Gebäude hat nur 2 aktiv gekühlte Zonen. Wie in Abschnitt 2.10 gezeigt, führt eine vereinfachte Flächenverteilung in der Regel dazu, dass Hauptnutzungszonen zu wenig Fensterfläche erhalten. Dementsprechend werden in diesen Zonen geringere solare Lasten bilanziert, die einen direkten Einfluss auf die Höhe des Kältebedarfs haben. Im Heizfall erfolgt ein Ausgleich in anderen Zonen, dies ist bei teilklimatisierten Gebäuden oft nicht der Fall. Der Fehler liegt auf Gebäudeebene bei 10,9 kWh/(m²a) bzw. 37 %. Bei Wichtung mit 2 Faktoren (vorhanden/nicht vorhanden) kann die Zuweisung der Fensterfläche deutlich gesteigert werden. Für dieses Gebäude ist in erster Linie die orientierungsabhängige Zuweisung wesentlich, da die gesamten nach Süden orientierten Fensterflächen der Bürozone zugehören. Mit steigender Anzahl der Wichtungsfaktoren verringern sich die Fehler im Energiebedarf. Bei Anwendung von 4 Faktoren werden auf Gebäudeebene sehr geringe Fehler im Energiebedarf zwischen ±1 % gemacht.

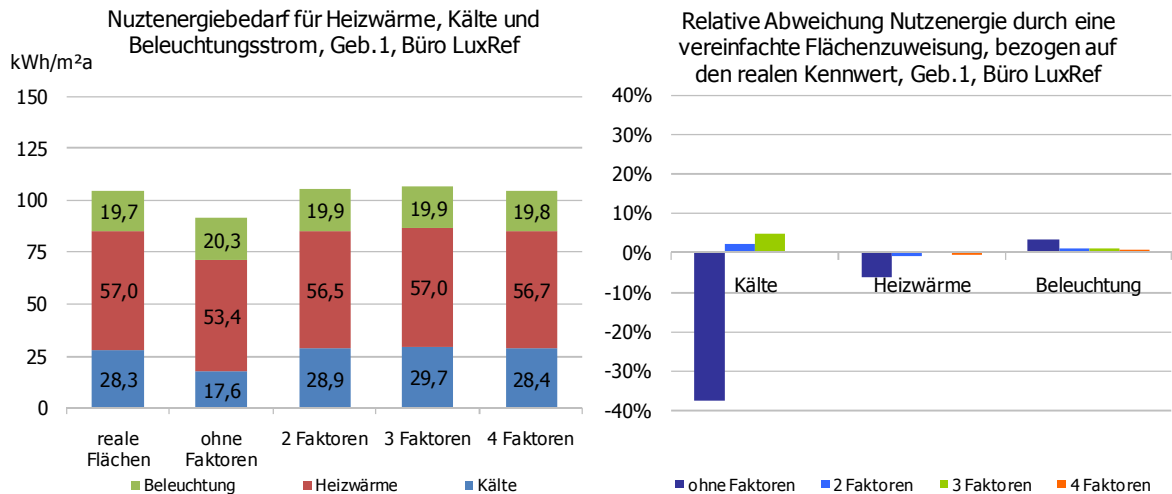


Abbildung 316: Darstellung des Nutzenergiebedarfs und der relativen Abweichung bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren, Gebäude 1, Büro LuxRef

A.9.1.2 Gebäude 2 – Büro BoB

Beim Gebäude 2 (Büro BoB) fallen gebäudebezogene Fehler etwas geringer aus als bei Gebäude 1. Der Strombedarf wird bei einfacher Zuweisung um etwa 4,5 % zu gering berechnet. Der Kältebedarf wird um 9,8 % unterschätzt, der Heizwärmebedarf um 1,7 %. Bei Anwendung von 2 Faktoren bei der Flächenverteilung berechnen sich deutlich genauere Gebäudeenergiekennwerte. Einzig der Kältebedarf wird noch um etwa 10 % überschätzt. Mit steigender Anzahl von Faktoren verbessert sich der Gebäudeenergiekennwert und die Fehler liegen im ± 1 %-Bereich.

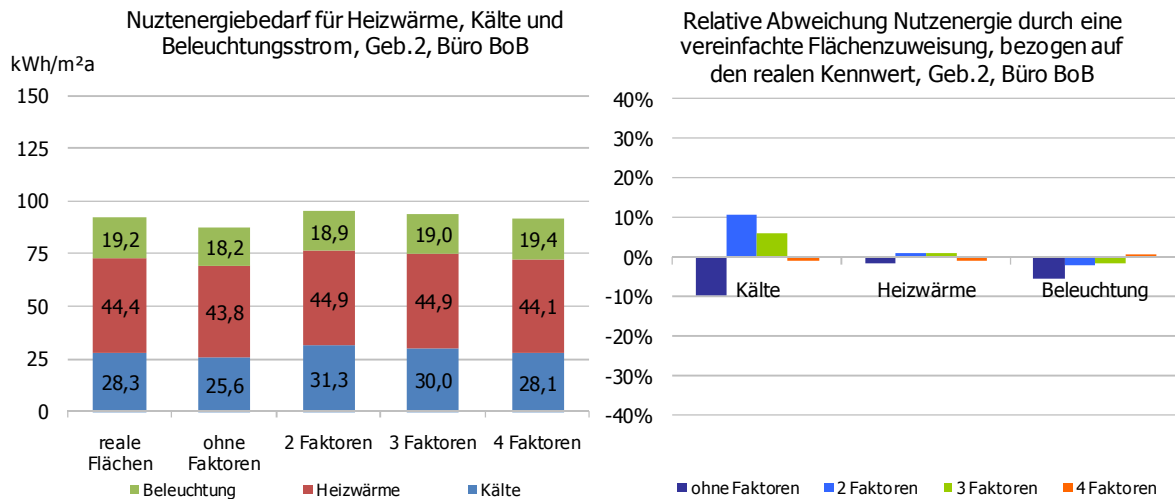


Abbildung 317: Darstellung des Nutzenergiebedarfs und der relativen Abweichung bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren, Gebäude 2, Büro BoB

A.9.1.3 Gebäude 3 – Büro Baumeister

Beim Büro Baumeister bewirkt eine einfache Zuteilung der Flächen eine Unterschätzung im Heizwärme- und Kältebedarf von etwa 12 %. Der Beleuchtungsstrombedarf wird um etwa 10 % überschätzt. Bei Anwendung einer einfachen Abfrage über das prinzipielle Vorhandensein von Bauteilflächen in einer Zone (2 Faktoren) kann die Genauigkeit für dieses Gebäude deutlich verbessert werden. Die berechneten Werte liegen dann 2 % über denen mit realen Bauteilflächen. Beim Büro Baumeister verteilen sich die Fensterflächen zum Großteil auf Zone 6 (Großraumbüro). Für diese Zone ergibt sich bereits bei einfacher Wichtung eine annähernd korrekte Fensterfläche.

Eine weitere Verfeinerung bei der Flächenverteilung bringt keine nennenswerten Verbesserungen mit sich.

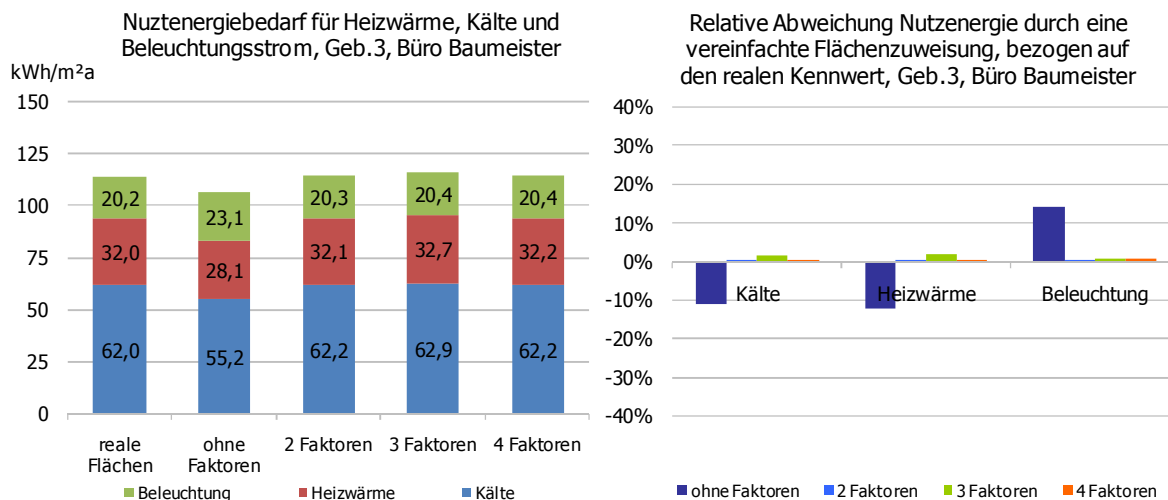


Abbildung 318: Darstellung des Nutzenergiebedarfs und der relativen Abweichung bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren, Gebäude 3, Büro Baumeister

A.9.1.4 Gebäude 4 – Büro Arsenal

Ausgehend von einer einfachen Verteilung wird beim Büro Arsenal ebenfalls der gebäudebezogene Kältebedarf um ca. 1,8 kWh/(m²a) zu gering berechnet. Der Heizwärmebedarf um etwa 1,1 kWh/(m²a). Im Strombedarf ergeben sich für alle Fälle sehr geringe Abweichungen. Die Fehler sind schon bei Anwendung von 2 Faktoren sehr gering. Eine Steigerung der Wichtungsfaktoren bringt keine nennenswerte Verbesserung der Genauigkeit des gebäudebezogenen Nutzenergiebedarfs mit sich.

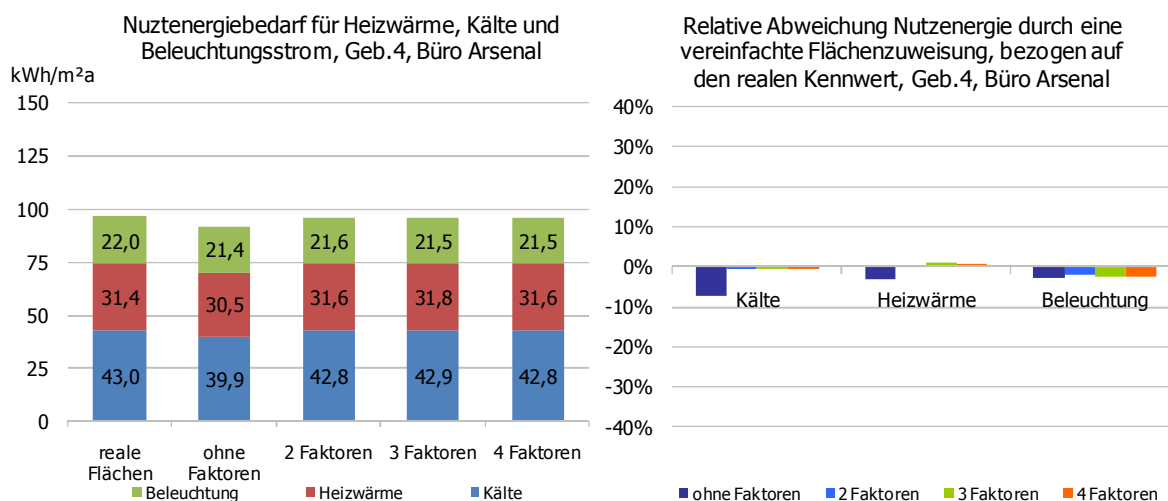


Abbildung 319: Darstellung des Nutzenergiebedarfs und der relativen Abweichung bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren, Gebäude 4, Büro Arsenal

A.9.1.5 Gebäude 5 – Büro CLI

Beim Gebäude CLI sind die meisten Fensterflächen mit etwa 70 % den Bürozonem und ein geringerer Teil von 30 % den Verkehrsflächen zugeordnet. Alle anderen Zonen haben keine Fenster. Bei einer einfachen Verteilung ergeben sich für die Hauptnutzung Büro (57 %) und die Verkehrsfläche (27 %) geringere Fensterflächenanteile, da auch alle anderen Zonen ohne Fenster einen Anteil transparenter Bauteile erhalten. Demnach berechnen sich ein zu geringer Heizwärmebedarf von

etwa 3 % und ein zu geringer Kältebedarf von 15 %. Bei einfacher Wichtung (2 Faktoren) werden der Bürozone aufgrund des großen Zonenflächenanteils dann etwa 80 % der Fensterfläche zugewiesen. Die zugewiesene Fensterfläche auf die Verkehrsfläche reduziert sich auf etwa 20 %. Die höhere Fensterfläche führt zu höher bilanzierten solaren Lasten und zu einem etwa 15 % höheren Kältebedarf. Bei feinerer Korrektur (ab 3 Faktoren) der Gebäudehüllfläche werden die Fensterflächen zwischen den Zonen „Büro“ und „Verkehrsflächen“ exakter verteilt, und die Energiebedarfe berechnen sich mit geringen Abweichungen zum Referenzwert. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass alle Zonen ohne den Einfluss von Sonnenschutz berechnet wurden, wodurch sich maximale Änderungen im Kühlenergiebedarf ergeben. Insbesondere dann, wenn transparente Flächen zwischen gekühlten und ungekühlten Zonen verschoben werden. Bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs führt diese Fehlbilanzierung nur zu geringen Fehlern, selbst bei einfacher Verteilung der Flächen.

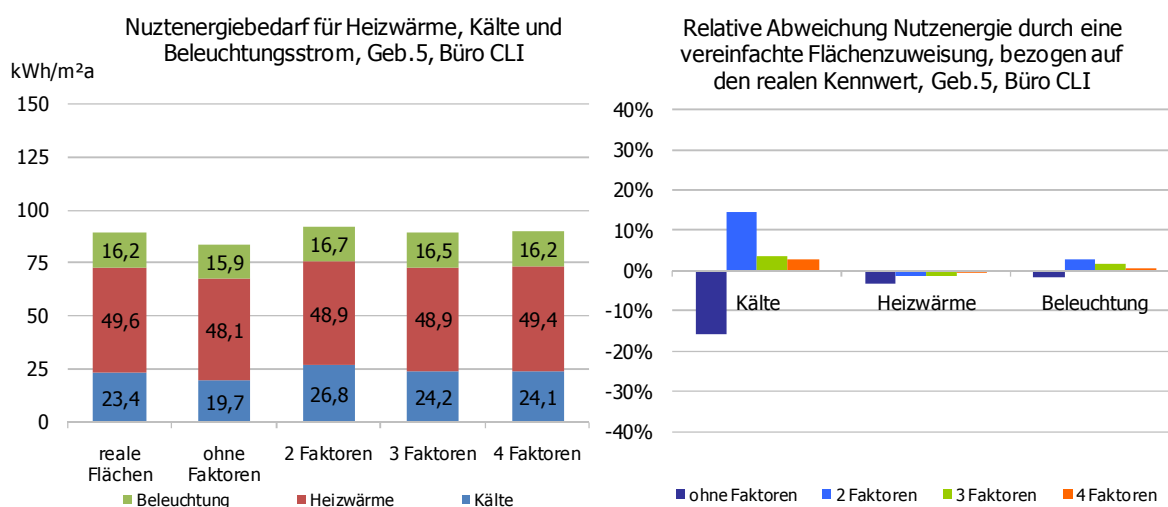


Abbildung 320: Darstellung des Nutzenergiebedarfs und der relativen Abweichung bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren, Gebäude 5, Büro CLI

A.9.1.6 Gebäude 6 – Büro Mamer

In diesem Gebäude werden die Büroräume, die Besprechungsräume und ein Serverraum gekühlt. Eine einfache Verteilung der Gebäudehüllflächen bewirkt auch hier in den Hauptzonen eine zu gering bilanzierte Fensterfläche. Eine besonders große Auswirkung hat dies auf die Zone „Besprechung“ mit einem Zonenflächenanteil von etwa 11 %. Bezogen auf die gesamten Fensterflächen sind dieser Zone etwa 24 % aller Fensterflächen zugewiesen. Bei einer einfachen Verteilung ohne Korrektur erhält diese Zone nur die Hälfte der tatsächlichen Fensterfläche. Markant für diese Zone ist ebenfalls, dass die meisten Fensterflächen in den Orientierungen West und Ost vorkommen. Die orientierungsabhängige Zuweisung der transparenten Flächen führt bereits bei Anwendung von 2 Korrekturfaktoren zu einer wesentlich schärferen Verteilung der Flächen. Für die Hauptnutzung zeigen sich ähnliche Zusammenhänge, mit dem Unterschied, dass bei einfacher Verteilung der Fehler bei der Fensterflächenzuweisung geringer ist. Im Strombedarf für Beleuchtung und auch beim Heizwärmebedarf führen diese Verschiebungen der Fensterflächen zwischen den Zonen nicht zu nennenswerten Fehlern, da hier zum Teil Kompensationseffekte wirken. Bei bis zu 2 Wichtungsfaktoren wird der Strombedarf für Beleuchtung etwas überschätzt.

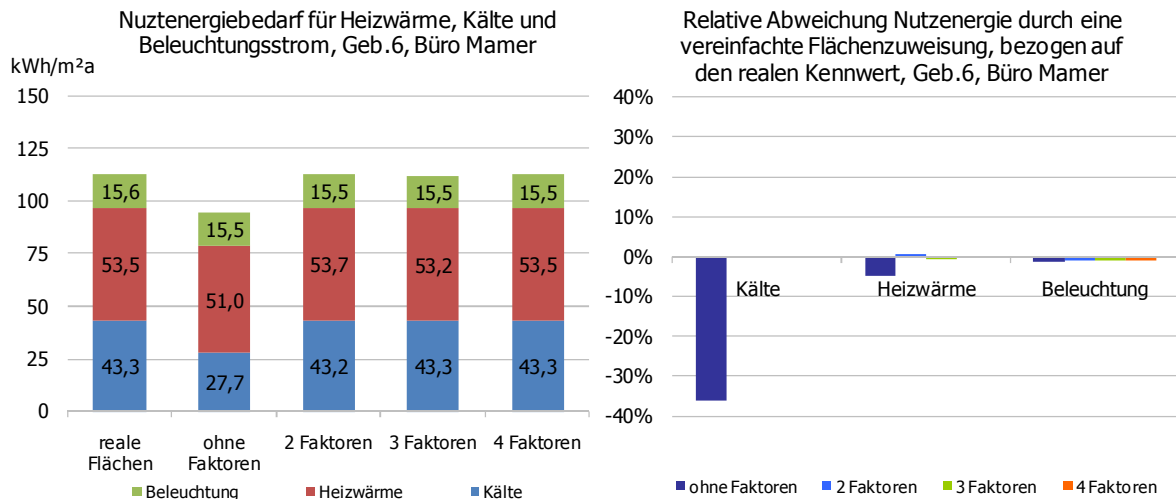


Abbildung 321: Darstellung des Nutzenergiebedarfs und der relativen Abweichung bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren, Gebäude 6, Büro Mamer

A.9.1.7 Gebäude 7 – Büro Stümper

Der Zonentyp „Büro“ macht etwa 67 % des gesamten Gebäudes aus. Gleichzeitig sind die Büroflächen auch die einzigen gekühlten Flächen. Die Zonen „Lager“, „Verkehrsfläche“ und „Technik“ haben mit etwa 28 % einen relativ hohen Anteil an der Gesamtzonenfläche. Wie in der Parameterstudie festgestellt, führt gerade eine Verschiebung von Bauteilflächen zwischen Zonen mit sehr unterschiedlichen internen Lasten und/oder Lüftungsverlusten zu höheren Fehlern beim Heizwärmebedarf, der bei einfacher Verteilung um ca. 9 % zu gering berechnet wird. Auf den bilanzierten Strombedarf für Beleuchtung schlägt sich eine einfache Zuteilung mit einem überschätzten Fehler von 1,5 kWh/(m²a) bzw. einem relativen Fehler von etwa 7 % nieder. Eine einfache Abfrage über das generelle Vorhandensein eines Bauteiltyps zeigt auch eine deutliche Verbesserung im berechneten Fehler für alle Energieanwendungen. Der Hauptbürozone wird dabei etwas zu viel Fensterfläche zugeteilt, was sich einen höheren Energiekennwert für Kälte bewirkt.

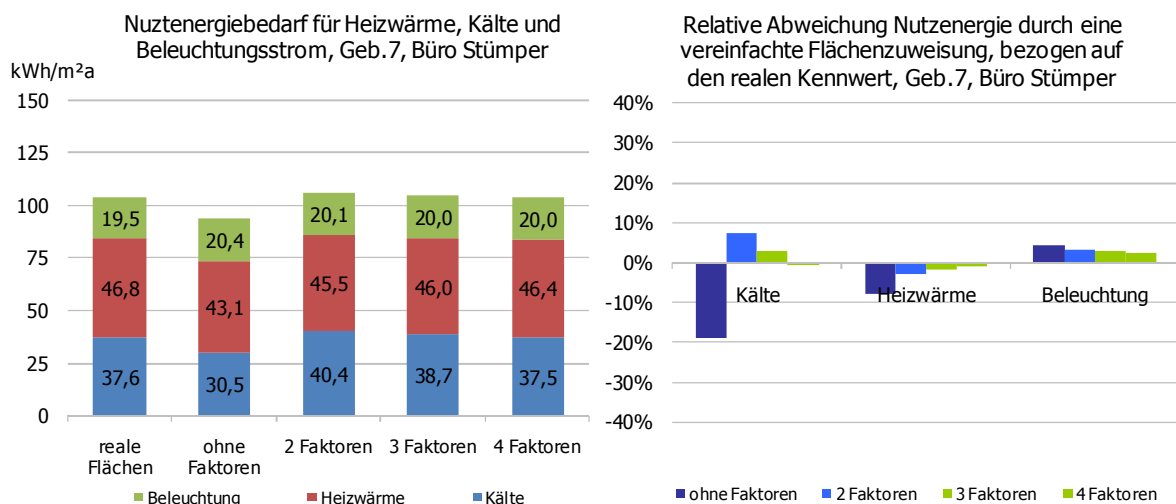


Abbildung 322: Darstellung des Nutzenergiebedarfs und der relativen Abweichung bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren, Gebäude 7, Büro Stümper

A.9.1.8 Gebäude 8 – Europaschule

Das Schulgebäude ist nicht teilklimatisiert, weshalb nur Fehler für die Heizwärmebilanz und den Strombedarf für Beleuchtung berechnet werden. Die Klassenräume machen etwa 53 % des Gebäudes

aus, die Verkehrsflächen haben mit 33 % den zweitgrößten Anteil. Die restlichen Zonenflächen teilen sich zu etwa gleichen Teilen auf die Nutzungen „Sanitär“, „Büro“, „Bibliothek“, „Lager“ und „Besprechung“ auf. Es zeigt sich, dass bei einer einfachen Verteilung sehr geringe Fehler in den Energieanwendungen berechnet werden. Der Beleuchtungsstrombedarf wird für alle untersuchten Wichtungsfaktoren leicht überschätzt. Die relativen Abweichungen von bis zu 4 % beziehen sich jedoch auf einen geringen Energiekennwert von 10,4 kWh/(m²a) für Beleuchtung. Für dieses Gebäude wäre eine einfache Verteilung der Hüllfläche bereits sehr genau.

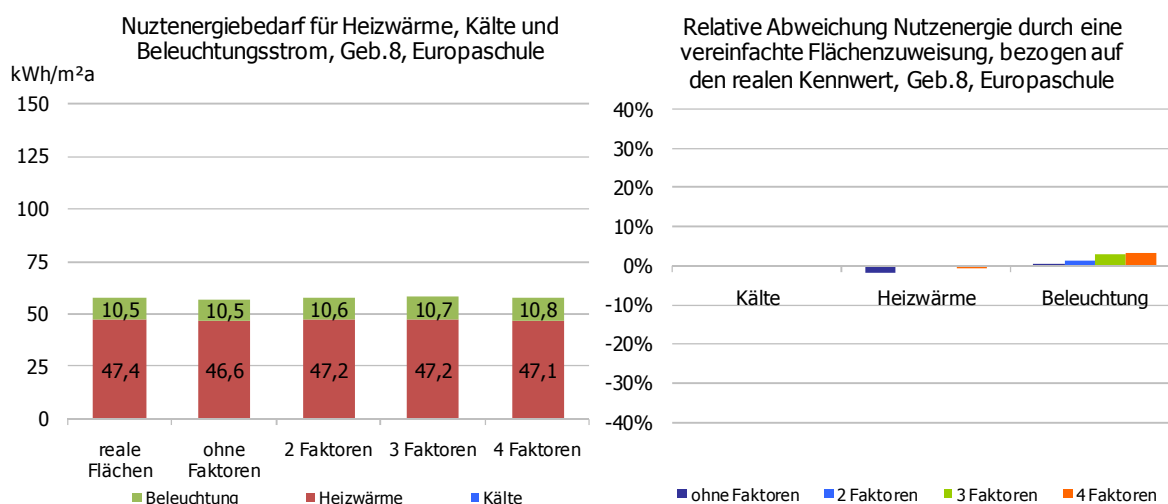


Abbildung 323: Darstellung des Nutzenergiebedarfs und der relativen Abweichung bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren, Gebäude 8, Europaschule

A.9.1.9 Gebäude 9 – Mairie Bertrange

Das Verwaltungsgebäude ist von seiner Nutzungsstruktur her nicht mit einem klassischen Büro vergleichbar. Die Nutzungen „Verkehrsfläche“ und „Lager, Archiv“ haben je einen Anteil von etwa 23 % an der Gesamtfläche. Die Hauptnutzung „Büro“ einen von 32 %, die Besprechungsräume liegen bei 11 %. Durch eine einfache Zuweisung der Hüllfläche erhalten auch Zonen mit sehr geringem Fensterflächenanteil (Verkehrsfläche und Lager, Archiv) Fensterflächen. Dadurch verringert sich der Anteil in der Hauptnutzung, welche die einzig klimatisierte Nutzung darstellt. Die dadurch geringer bilanzierten solaren Gewinne kompensieren sich teilweise im Heizfall. Im Kühlfall erfolgt diese Kompensation nicht, und der Kältebedarf wird deutlich unterschätzt. Bei Anwendung einer einfachen orientierungsabhängigen Verteilung (2 Faktoren) reduziert sich der Fehler im Kältebedarf deutlich von 6,2 auf 1,5 kWh/(m²a). Beim Heizwärmebedarf und beim Strombedarf für Beleuchtung werden keine nennenswerten Verbesserungen erreicht, wenn die Anzahl der Wichtungsfaktoren bzw. eine höhere Korrektur der Flächenzuweisung erfolgt.

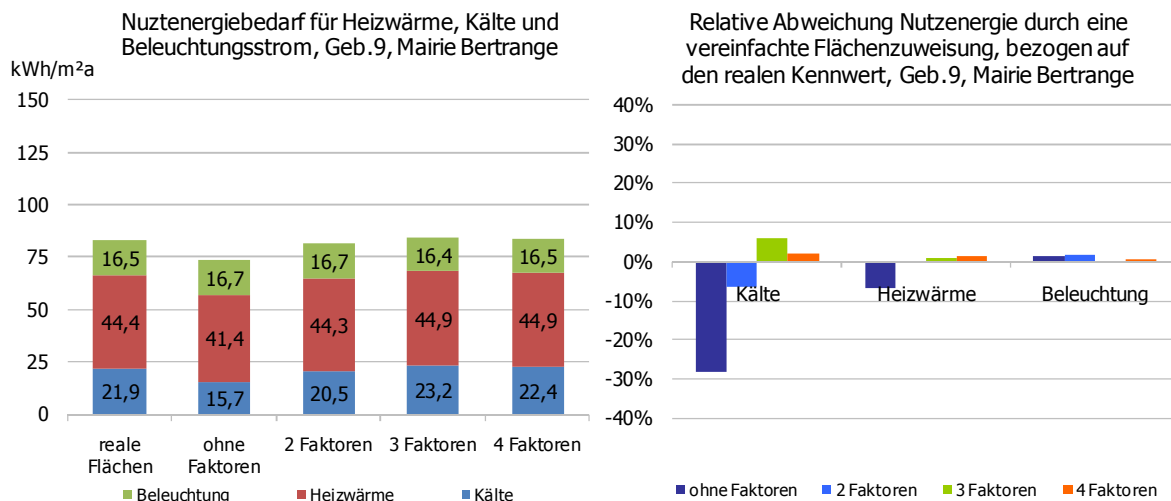


Abbildung 324: Darstellung des Nutzenergiebedarfs und der relativen Abweichung bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren, Gebäude 9, Büro Bertrange

A.9.1.10 Gebäude 10 – Maison Relais

Beim Maison Relais handelt es sich um eine Kindertagesstätte mit einer gekühlten Bürozone von 57 m² und einem Besprechungsraum von etwa 32 m². An der gesamten Hüllfläche haben diese beiden Zonen einen Flächenanteil von nur 7 %. Die Hauptnutzung charakterisiert die Zone „Klassenräume“ mit einem Zonenflächenanteil von rund 45 %. Bei einfacher Verteilung werden für die klimatisierten Zonen sehr geringe Fensterflächen ermittelt, was zu deutlich unterschätzten Kältebedarfen für diese Zonen führt. Für die kleinere der beiden Zonen (Besprechungsraum) ist der Fehler am größten. Bezogen auf das gesamte Gebäude ist dieser Fehler mit 3,5 kWh/(m²a) sehr gering. Es zeigt sich auch hier der Zusammenhang, dass der Fehler bei der Flächenverteilung besonders bei kleinen Zonen ausgeprägt ist. Bei Anwendung von bereits 2 Faktoren verringert sich der Fehler im Kältebedarf auf rund 1 kWh/(m²a), wird aber immer noch unterschätzt. Die Fehler im Beleuchtungsstrombedarf sind mit maximal 0,7 kWh/(m²a) sehr gering. Die Hauptnutzung des Gebäudes erfordert eine Beleuchtungsstärke von 300 Lux. Im Vergleich zur Büronutzung (500 Lux) ergibt sich neben einer geringen elektrischen Bewertungsleistung auch ein geringer Gesamtstrombedarf.

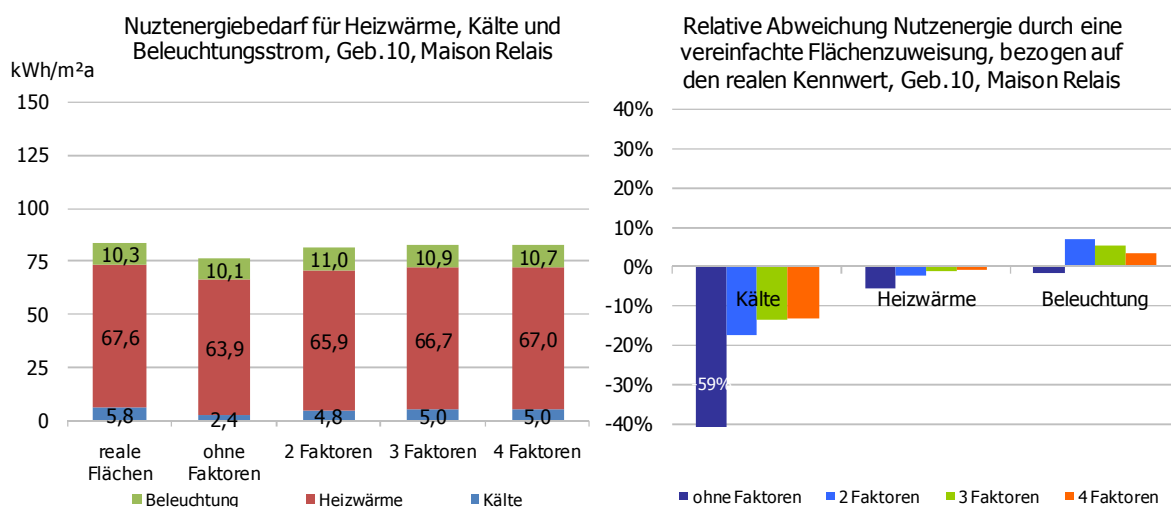


Abbildung 325: Darstellung des Nutzenergiebedarfs und der relativen Abweichung bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren, Gebäude 10, Büro Maison Relais

A.9.1.11 Gebäude 11 – Schwimmbad Belair

Die Zone Schwimmbad wird vereinfacht mit dem Nutzungsprofil „Sporthalle“ berechnet. Vergleicht man den spezifischen Heizwärmebedarf mit den anderen Gebäuden, ergibt sich ein Unterschied von etwa 20 kWh/(m²a). Der durch Transmissionsverluste verursachte Heizwärmebedarf berechnet sich über die Gebäudehüllfläche. Bei gleichem Raumvolumen hat der Hallenbereich mit einer Höhe von 7 m eine vergleichsweise geringe Zonenfläche. Zum anderen sind Zonentypen mit vergleichsweise geringerem Heizwärmebedarf (z. B. Einzelraumbüro mit hohen internen Lasten) weniger stark vertreten. Keine der Zonen im Gebäude ist gekühlt. Bei einfacher Zuteilung der Gebäudehüllflächen zeigt sich ein Fehler im gebäudebezogenen Heizwärmebedarf von 7,2 kWh/(m²a). Betrachtet man die Orientierungsprofile nach Tabelle 55, so zeigt sich, dass die Südfassade vollverglast ist und dass all diese Fensterflächen in der Zone „Sporthalle“ vorkommen. Durch die einfache Verteilung erhalten alle anderen Zonen auch einen Fensterflächenanteil der Südfenster, was sich in einem geringeren Heizwärmebedarf und Beleuchtungsstrombedarf widerspiegelt. Bereits bei Anwendung von zwei Korrekturfaktoren („ja/nein“-Abfrage) wird diese Fensterfläche eindeutig zugewiesen und der berechnete Fehler im Heizwärmebedarf reduziert sich auf 0,7 kWh/(m²a) und der Fehler im Beleuchtungsstrombedarf von 1,8 auf 0,3 kWh/(m²a). Auch für dieses Gebäude wird deutlich, dass eine weitere Verfeinerung der Flächenverteilung das Gesamtergebnis nur noch geringfügig beeinflusst.

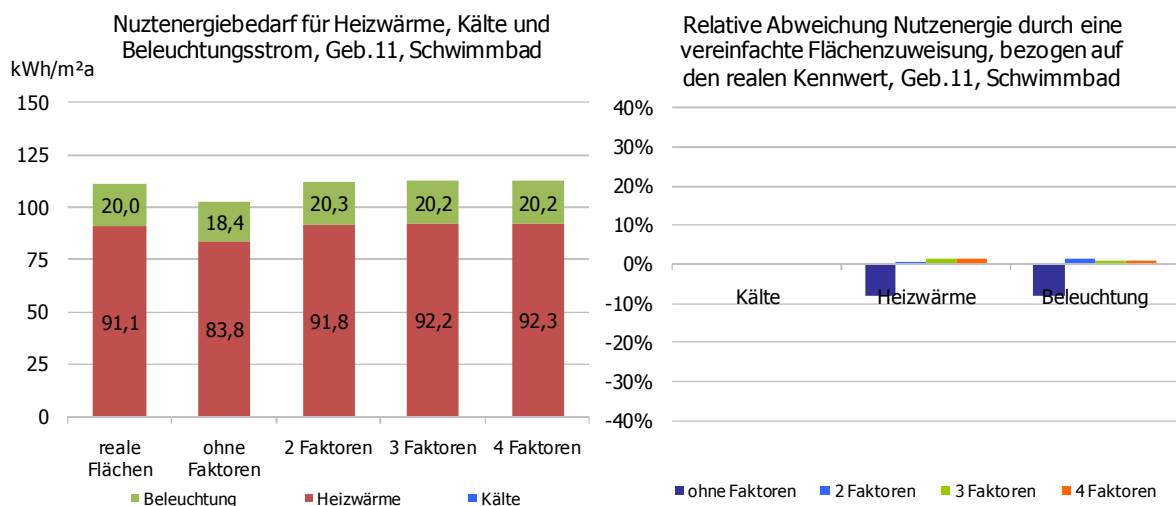


Abbildung 326: Darstellung des Nutzenergiebedarfs und der relativen Abweichung bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren, Gebäude 11, Büro Schwimmbad

A.9.2 Ausprägung der gebäudebezogenen Fehler

Abbildung 327 zeigt den Fehler im gebäudebezogenen Heizwärmebedarf aller 11 Gebäude, bezogen auf den berechneten Energiebedarf mit korrekt zugewiesenen Flächen. Bei einfacher Verteilung der Gebäudehüllflächen bilanziert sich für alle Gebäude ein zu geringer Heizwärmebedarf. Die Bandbreite liegt zwischen etwa -1 bis -7 kWh/(m²a). Im Wesentlichen sind die Fensterflächen für diese Unterschiede verantwortlich. Bei Anwendung einer einfachen Korrektur (2 Faktoren) werden die Flächen bereits wesentlich genauer zugewiesen, was sich in geringeren Fehlern im Heizwärmebedarf widerspiegelt. In dem Fall liegen positive als auch negative Fehler vor. Die Bildung eines Mittelwertes aus positiven und negativen Werten stellt jedoch keine gute Vergleichsgröße dar, da sich die Fehler gegenseitig aufheben könnten. Für die Bestimmung eines mittleren Fehlers werden

daher die Beträge der Fehler ausgewertet, da eine Abweichung nach unten oder oben gleich zu bewerten ist.

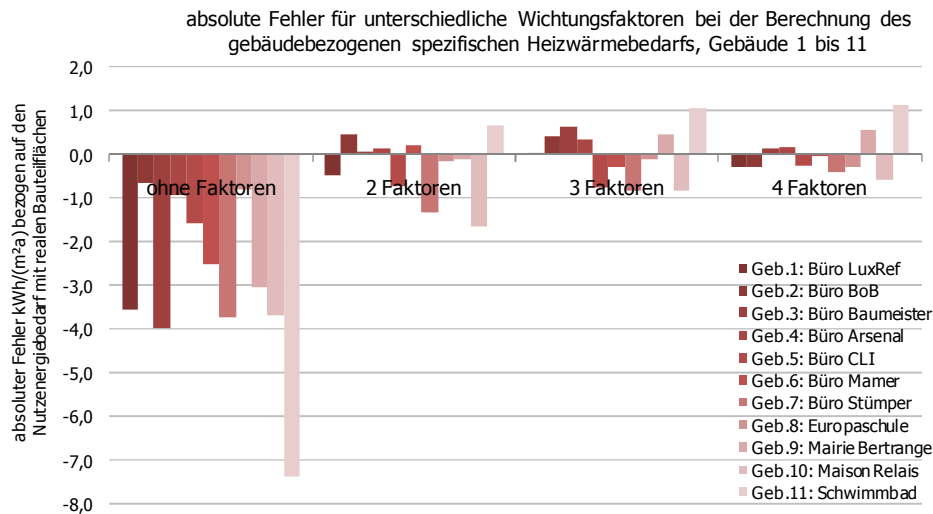


Abbildung 327: Absoluter Fehler im Heizwärmebedarf für 11 Gebäude

Analog zum absoluten Fehler wird in folgender Abbildung der relative Fehler im Heizwärmebedarf dargestellt. Der Energiebedarf wird bei einfacher Verteilung bis zu 12 % unterschätzt. Die Anwendung von zwei Zuweisungskriterien verringert den maximalen Fehler bereits auf maximal 3 %.

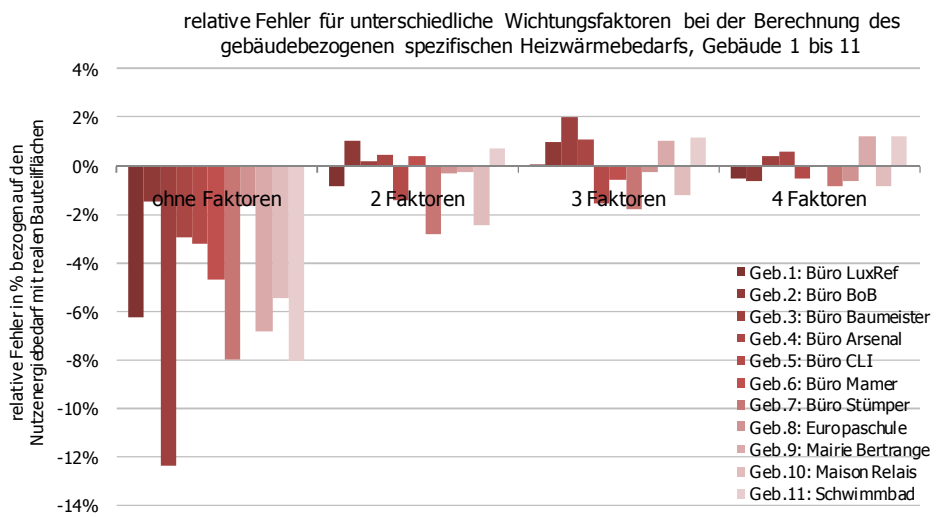


Abbildung 328: Relativer Fehler im Heizwärmebedarf für 11 Gebäude

Bei der Berechnung des Nutzkältebedarfs zeigen sich die größten Fehler im gebäudebezogenen Energiebedarf von bis zu 15 kWh/(m²a). Die Auswertung erfolgte für 9 Gebäude, da 2 Gebäude nicht klimatisiert sind. Wie auch bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs zeigt sich die Tendenz, dass bei einfacher Zuweisung der Kältebedarf unterschätzt wird. Die Analyse der Hüllflächenverteilung zeigte, dass bei einer einfachen Verteilung ohne weitere Korrektur die Hauptzonen weniger Fensterfläche erhalten und dass Zonen mit wenigen bis keinen Fenstern mehr Fensterfläche erhalten. Die betrachteten Gebäude sind alle teilklimatisiert, weshalb eine Verschiebung von Fensterflächen unter Umständen nicht kompensiert werden kann.

Auf Zonenebene treten die höchsten Fehler beim Kältebedarf für kleine Zonen auf (vgl. Abbildung 150). Auf Gebäudeebene wird der Fehler dadurch entschärft, dass die gesamte konditionierte

Zonenfläche als Bewertungsmaßstab herangezogen wird. Darauf bezogen reduziert sich der gebäudebezogene Fehler bei Gebäuden mit geringerem Teilklimatisierungsgrad. Die Anwendung einer einfachen Korrektur mit 2 Faktoren führt bereits zu einer genaueren Verteilung der Fensterflächen. Der Fehler reduziert sich auf maximal 4 kWh/(m²a). Für alle innen liegenden Zonen oder für Zonen ohne Fensterfläche werden keine Flächen bilanziert. Es zeigt sich dann der Effekt, dass der Kühlenergiebedarf tendenziell leicht überschätzt wird. Die Hauptnutzungszonen, die in der Regel auch immer gekühlt werden, erhalten dann etwas mehr Fensterfläche. Die Anwendung der Zuweisungskorrektur geht immer vom kleinsten möglichen Fehler aus. Hier kann es vorkommen, dass für mittlere bis große Zonen mit einem sehr geringen Fensterflächenanteil keine Fensterflächen bilanziert werden.

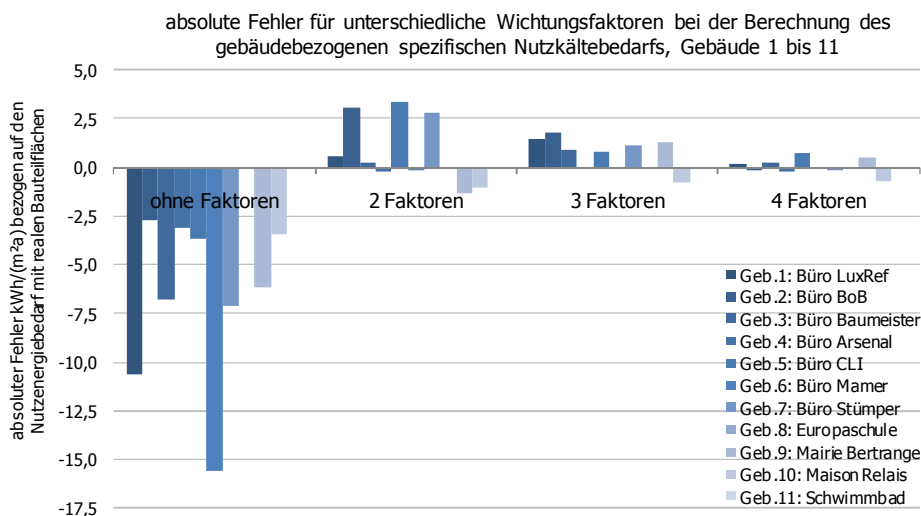


Abbildung 329: Absoluter Fehler im Kältebedarf für 11 Gebäude

Der relative Fehler im gebäudebezogenen Kältebedarf ist mit bis zu –60 % deutlich ausgeprägt. Diese hohe Abweichung wird bei Gebäude 10 (Maison Relais) erzielt, in welchem nur ein kleiner Besprechungsraum gekühlt ist. Für das Gebäude berechnet sich, mit korrekten Flächen, ein Kältekennwert von 5,8 kWh/(m²a). Der Fehler bei einfacher Flächenverteilung liegt bei 3,4 kWh/(m²a), was eine hohe relative Abweichung bei gleichzeitig niedrigem Absolutwert erklärt. Bei Anwendung von 2 Faktoren (vorhanden/nichtvorhanden) liegen die Fehler im gebäudebezogenen Kältebedarf bereits zwischen $\pm 15\%$.

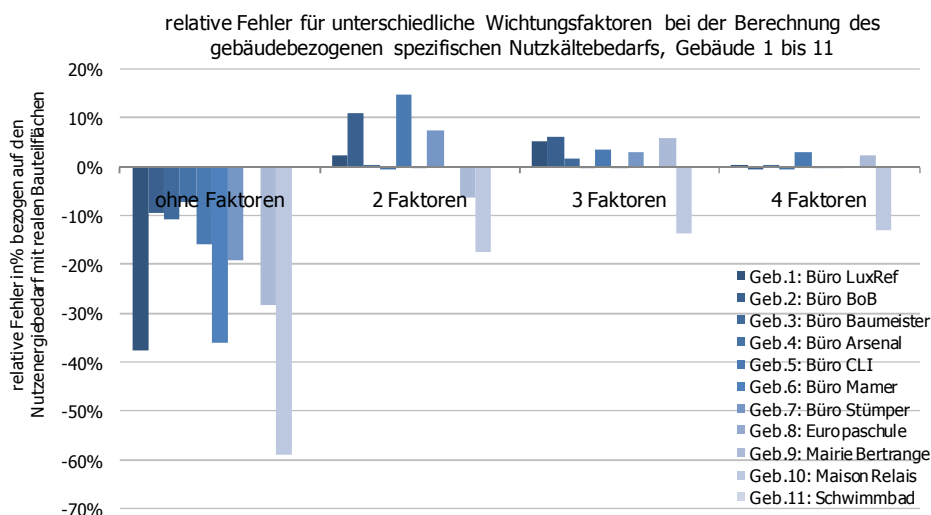


Abbildung 330: Relativer Fehler im Kältebedarf für 11 Gebäude

Für die gesetzten Randbedingungen nach Abschnitt 4.1 berechnen sich bei einfacher Verteilung der Hüllflächen sowohl positive als auch negative Fehler des Strombedarfs für Beleuchtung. Tendenziell wird der Energiebedarf jedoch eher überschätzt. Der maximale Fehler liegt bei etwa 3 kWh/(m²a). Dies hat im Rahmen der integralen Betrachtung Auswirkungen auf die Heiz- und Kältebilanz. Der für die Heizwärmebilanz tendenziell zu gering berechnete Kennwert, wird durch den Einfluss eines leicht höher bilanzierten Beleuchtungsstrombedarfs etwas reduziert. Anders beim Kältebedarf. Hier werden bei einfacher Zuweisung eher zu niedrige Energiebedarfe für Kälte berechnet, die durch einen höheren Beleuchtungsstrombedarf etwas kompensiert werden. Die Höhe des Einflusses der Beleuchtung auf die thermischen Bilanzen wurde in der Parameteranalyse gezeigt, wobei die Kältebilanz etwas stärker beeinflusst wird als die Heizwärmebilanz. Der tendenziell geringe absolute Fehler im Strombedarf für Beleuchtung wirkt sich somit sehr abgeschwächt auf die thermischen Bilanzen aus.

Auch hier zeigt die Anwendung von bereits 2 Faktoren eine deutliche Verringerung der Fehler unter 1 kWh/(m²a). Für den berechneten Beleuchtungsstrombedarf spielt nur die Zuteilung der transparenten Flächen (ggf. indirekt die Steuerung des Sonnenschutzes) eine Rolle. Ähnlich wie beim Heizwärmebedarf treten Kompensationseffekte bei einer unscharfen Zuweisung der Fensterflächen auf. Die Effekte sind für Zuweisungen zu Zonen mit stark unterschiedlichen spezifischen Leistungen (indirekt auch das Niveau der erforderlichen Beleuchtungsstärke) etwas geringer zu bewerten. Andererseits stellt die Fensterfläche an sich nicht den wesentlichen Parameter bei der Berechnung des Beleuchtungsstrombedarfs dar, sondern wirkt eher als sekundärer Einfluss. Je feiner die Korrektur erfolgt, desto geringer werden auch die Fehler im Beleuchtungsstrombedarf für alle Gebäude. Mit 4 Faktoren wird für alle Gebäude ein leicht höherer Kennwert von etwa 0,3 kWh/(m²a) berechnet.

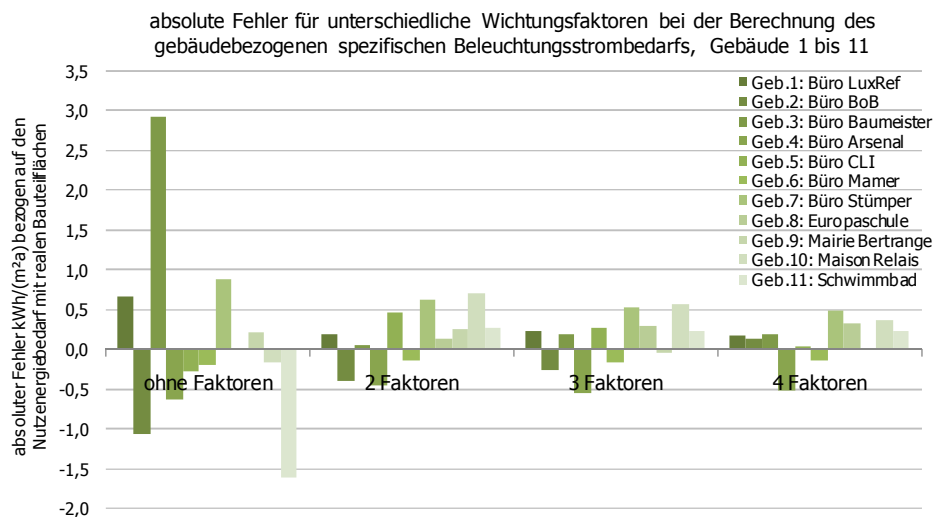


Abbildung 331: Absoluter Fehler im Beleuchtungsstrombedarf für 11 Gebäude

Der relative Fehler liegt ohne Anwendung von Korrekturfaktoren zwischen –6 und 14 % vom real berechneten Wert. Durch Anwendung von 2 Faktoren werden die relativen Fehler deutlich reduziert und verlagern sich in Bereiche unter 8 %. Bei Anwendung von 4 Faktoren reduzieren sich die Abweichungen auf unter 4 %.

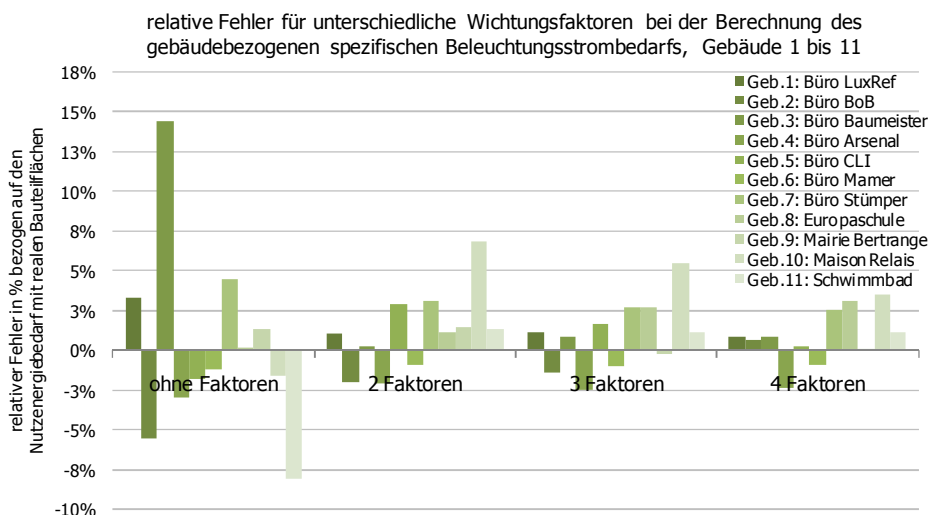


Abbildung 332: Relativer Fehler im Beleuchtungsstrombedarf für 11 Gebäude

A.9.3 Allgemeine gebäudebezogene Auswertung auf Nutzenergieebene

Zur besseren Interpretation der Fehlerausprägungen wird neben der Darstellung des mittleren Fehlers auch der maximale Fehler je Energieanwendung und je Hüllflächenzuweisung gezeigt. Diese Darstellung soll größtmögliche Abweichungen bei vereinfachter Flächenzuweisung aufzeigen. Bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren zeigt der Verlauf der maximalen Fehler ähnliche Charakteristika, wie für die Betrachtung des mittleren Fehlers. Der maximale relative Fehler entspricht jeweils dem größten Fehler für eine Energieanwendung (Heizen, Kühlen, Beleuchten), der für alle Gebäude ermittelt wird. Zur Interpretation der Ergebnisse muss beachtet werden, dass die gezeigten Fehler für die Energieanwendungen Heizen, Kühlen und Beleuchten in verschiedenen Gebäuden auftreten können. Beispielsweise kann der größte Fehler im Heizwärmebedarf in Gebäude 1, der größte Fehler im Kältebedarf aber in Gebäude 2 auftreten. Dieser Zusammenhang lässt sich auch auf die Darstellung der absoluten Fehler übertragen. Demnach erlauben die gezeigten Ergebnisse keinen direkten Vergleich zwischen absolutem und relativem Vergleich, denn Unterschiede können in unterschiedlichen Gebäuden auftreten.

Variiert man den Detaillierungsgrad bei der Flächenverteilung, so hat dies, je nach Gebäude und Zonenkonfiguration, unterschiedlich starke Auswirkungen auf die Fehlerausprägung. Das Auftreten des maximalen Fehlers, beispielsweise für Kühlung, kann bei Variation der Flächenverteilung auch in unterschiedlichen Gebäuden vorkommen. Im Kühlenergiebedarf z. B. berechnet sich der maximale absolute Fehler ohne Faktoren mit $15,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für Gebäude 1. Durch Anwendung von 2 Faktoren wird die Fensterfläche dort bereits so genau zugewiesen, dass sich anschließend für Gebäude 1 ein sehr geringer Fehler berechnet. Der maximale absolute Fehler für die Flächenzuweisung mit 2 Faktoren tritt dann mit $3,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ in Gebäude 5 auf.

Für den gebäudebezogenen Kältebedarf kann ein maximaler Fehler von $15,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ eine deutliche Fehleinschätzung bewirken. Bei Anwendung einer korrigierten Flächenverteilung reduziert sich der Fehler bei Anwendung von 2 Faktoren um rund $12 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und kann bei feinerer Zuweisung weiter verringert werden. Für den Heizwärmebedarf kann ein maximaler Fehler von etwa $7,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und für Beleuchtung einer von $2,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ermittelt werden. Auch hier reduziert eine feinere Detaillierung der Flächenverteilung die Fehler in den gebäudebezogenen Energiebilanzen, wobei die Auswirkungen im Heizwärmebedarf am geringsten sind.

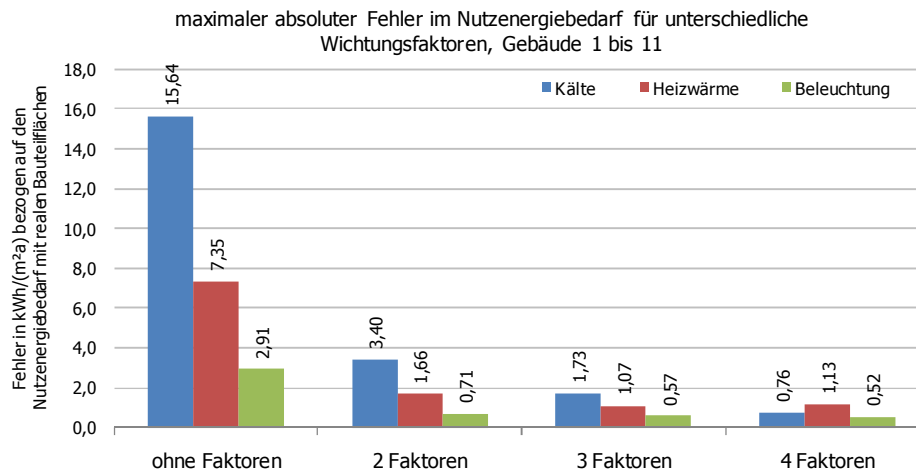


Abbildung 333: Darstellung des maximalen Fehlers in kWh/(m²a) im Nutzenergiebedarf bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren, alle Gebäude 1 bis 11

Große relative Fehler treten oft bei Gebäuden mit geringem Energiebedarf auf. Dies ist insbesondere bei Gebäuden der Fall, die einen geringen Klimatisierungsgrad und demnach einen geringen gebäudebezogenen Kältebedarf haben. Meist sind nur geringe Teilbereiche gekühlt, und es ergeben sich wenige Kompensationsmöglichkeiten bei unscharf verteilten Fensterflächen mit anderen Zonen. In Abschnitt 2.9.8 wurde gezeigt, dass der Fehler bei der Verteilung von Fensterflächen insbesondere bei kleinen Fensterflächen bzw. kleinen Zonen am größten ist. Dieser Zusammenhang wird bei Gebäude 10 deutlich. Der absolute Fehler im Kältebedarf ist mit 3,5 kWh/(m²a) vom Zahlenwert her gering, verursacht aber den maximalen relativen Fehler mit knapp 60 %, da der gebäudebezogene Vergleichswert bei nur 5,8 kWh/(m²a) liegt. Der maximale relative Fehler korrespondiert nicht mit dem maximalen absoluten Fehler aus Abbildung 333.

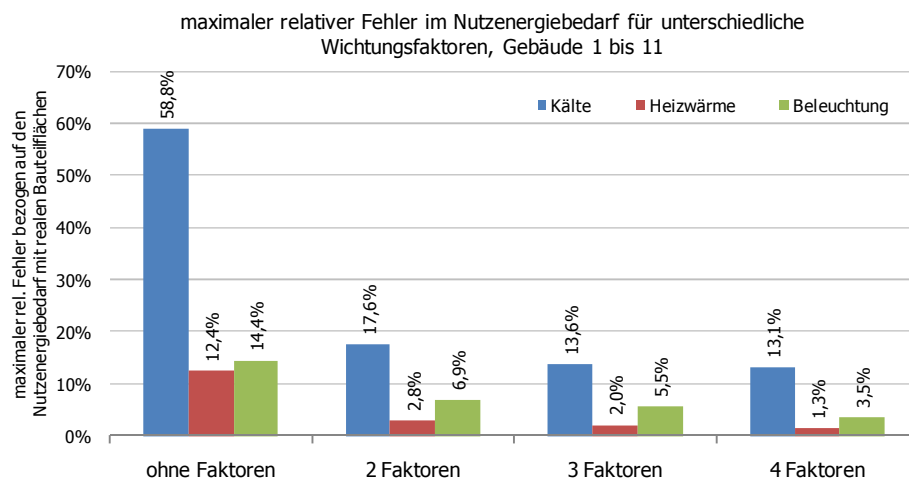


Abbildung 334: Darstellung des maximalen relativen Fehlers im Nutzenergiebedarf bei Anwendung unterschiedlicher Wichtungsfaktoren, alle Gebäude 1 bis 11

A.9.4 Primärenergetische Kurzbewertung

Die primärenergetische Betrachtung erlaubt einen direkten Vergleich der Energieanwendungen. Man muss jedoch beachten, dass diese Energiekennwerte nur für die im Kurzverfahren definierten Randparameter gelten. Bei anderer Art der Erzeugung, Verteilung und Übergabe oder gar Nutzung regenerativer Energieträger kann sich das Verhältnis zwischen den primärenergetischen Kennwerten verschieben. Dies ist insbesondere im Bereich der Wärmeversorgung relevant, wenn z. B. regenerative Energieträger oder aber elektrischer Strom eingesetzt werden.

Berechnungsrandbedingungen:

- Der Ermittlung der Übergabeverluste liegen folgende Randbedingungen nach DIN V 18599-5 zugrunde: Raumtemperaturregelung P-Regler (2 K), Übertemperatur 42,5 K ($\vartheta_1 = 20^\circ \text{C}$, 70/55°C), Heizkörperanordnung an normaler Außenwand sowie ein intermittierender Betrieb.
- Die Verluste für Verteilung und die Erzeugeraufwandszahl werden in Anlehnung an die Bekanntmachungen im Wohngebäudebestand ermittelt. Es gelten folgende Randbedingungen: Bei einer zentralen Verteilung mit einer Heizkreistemperaturpaarung von 70/55° C ergeben sich auf die Gebäudenutzfläche bezogene, nicht nutzbare Wärmeverluste von 4,1 kWh/(m²a), die vereinfacht für alle Gebäude angesetzt werden [133].
- Bei der Bestimmung der heizwärmebedarfsabhängigen Aufwandsfaktoren wird ein durchschnittlicher Heizwärmebedarf von 51,4 kWh/(m²a) für alle Gebäude berücksichtigt; die durchschnittliche Bezugsfläche beträgt 4.786 m².
- Die Aufwandszahl der Verteilung und Übergabe wird für ein Kaltwassersystem mit einer Temperaturpaarung von 8/14° C gewählt. Die Kälteabgabe der Verteilung für das Raumkühlsystem berechnet sich nach DIN V 18599, Teil 7 über Pauschalwerte mit $Q_{c,d} = (1 - \eta_{c,d}) \cdot Q_{c,b}$ mit $\eta_{c,d} = 0,9$. Die Kälteabgabe der Übergabe für das Raumkühlsystem nach DIN V 18599-7 mit $Q_{c,ce} = \left((1 - \eta_{c,ce}) + (1 - \eta_{c,ce,sens}) \right) \cdot Q_{c,b}$ mit $\eta_{c,ce} = 1,0$ und $\eta_{c,ce,sens} = 0,9$.
- Die Aufwandszahl wird für eine luftgekühlte Kompressionskältemaschine mit einer Nennkälteleistungszahl EER von 3,2 ermittelt. Zur Bestimmung des Teillastkennwerts wird pauschal das Nutzungsprofil 2 (Gruppenbüro) angesetzt. Der mittlere Teillastfaktor PLV_{av} entspricht damit 1,32 für eine Zweipunktregelung (Ein/Aus-Betrieb) ein luftgekühltes System.
- Der Pumpenstrom wird nach [40] und [20] vereinfacht für eine praxisnah ausgelegte Pumpe mit einer intermittierenden Betriebsweise mit 0,08 kWh Hilfsenergiebedarf für Pumpenstrom je kWh Erzeugernutzkälteabgabe bilanziert. Dies deckt sich mit den Angaben im Leitfaden zur Berechnung des elektrischen Energieaufwands der Kühl- und Kaltwasserverteilung nach [47], in welchem der Strombedarf vereinfacht je installierte Kälteleistung ermittelt wird; für den Fall 2, jedoch ohne Berücksichtigung eines RLT-Kreises.

Für die Ermittlung des Endenergiebedarfs der Kälteversorgung sind einerseits die Nennkälteleistungszahl *EER* (en: energy efficiency ratio, früher COP coefficient of power) sowie der mittlere Teillastfaktor PLV_{AV} (en: part load value) maßgebend. Der Teillastfaktor *PVL* übt den entscheidenden Einfluss auf die energetische Effizienz der Kälteerzeugung zur RLT-Kühlung aus. Der

Einfluss der Nennkälteleistungszahl EER ist zwar ebenfalls zu beachten, jedoch überwiegt bei gleichen Systemrandbedingungen (Temperaturniveau Kalt- und Kühlwasser) der Einfluss des Teillastverhaltens. Verantwortlich dafür ist die große Häufigkeit der Teillastbetriebsstunden bei der Kühlung und dabei insbesondere die hohe Betriebsstundenzahl mit extrem starkem Teillastverhalten. Insgesamt sind die primärenergetischen Auswirkungen unterschiedlicher Systeme der Kälteerzeugung als weniger stark einzuschätzen als beim Heizenergiebedarf.

Bei der Bilanzierung des Beleuchtungsstrombedarfs entspricht der Nutzenergie- dem Endenergieaufwand. Der Einfluss hängt demnach nur vom Bewertungsfaktor für elektrischen Strom ab, welcher nach DIN V 18599 mit 2,7 für den nicht erneuerbaren Anteil definiert ist.

A.10 Zu Abschnitt 5.2: Fehler im Nutzenergiebedarf, detaillierte Auswertung

Analog zu den Auswertungen in Abschnitt 4.4 erfolgt die Fehleranalyse bei Anwendung der praktischen Umsetzungsempfehlungen im Bereich des Heizwärme-, Kühlenergie- und Beleuchtungsstrombedarfs. Folgende Abbildungen zeigen die berechneten absoluten und relativen Fehler in einer Positiv-negativ-Abweichung für alle Gebäude. Bei dieser Darstellung lassen sich die Tendenzen erkennen, ob der Energiebedarf bei Anwendung der Vereinfachungen eher über- oder unterschätzt wird.

A.10.1 Fehler im Heizwärmebedarf

Abbildung 335 und Abbildung 336 zeigen den Fehler im Heizwärmebedarf für unterschiedliche Zuweisungskonzepte für alle untersuchten Gebäude.

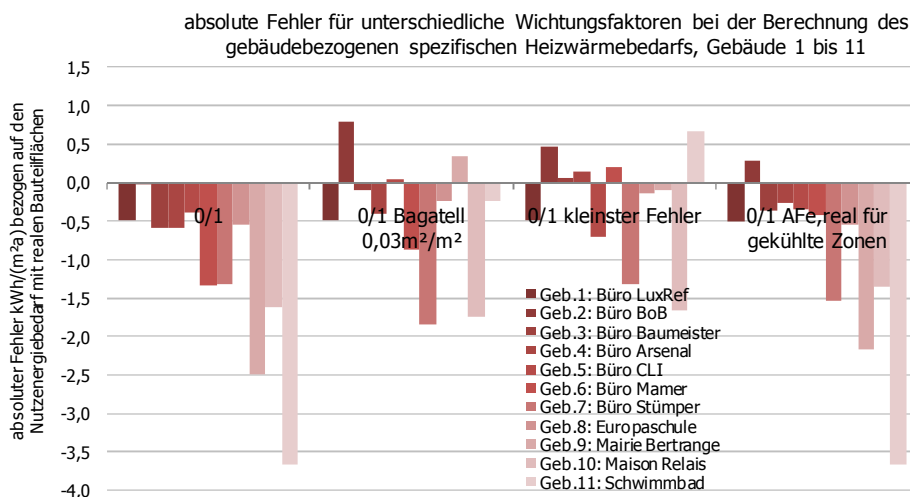


Abbildung 335: Absoluter Fehler im Heizwärmebedarf für 11 Gebäude

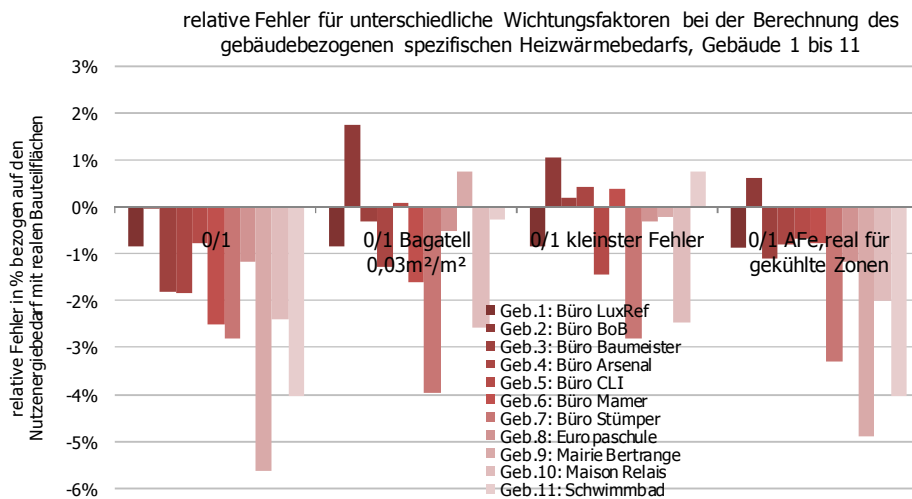


Abbildung 336: Relativer Fehler im Heizwärmebedarf für 11 Gebäude

Betragsfehler für Mittelwertbildung

Zur Bestimmung des mittleren Fehlers werden die Abweichungen im Heizwärmebedarf als absolute und relative Betragsfehler dargestellt (Abbildung 337 und Abbildung 338).

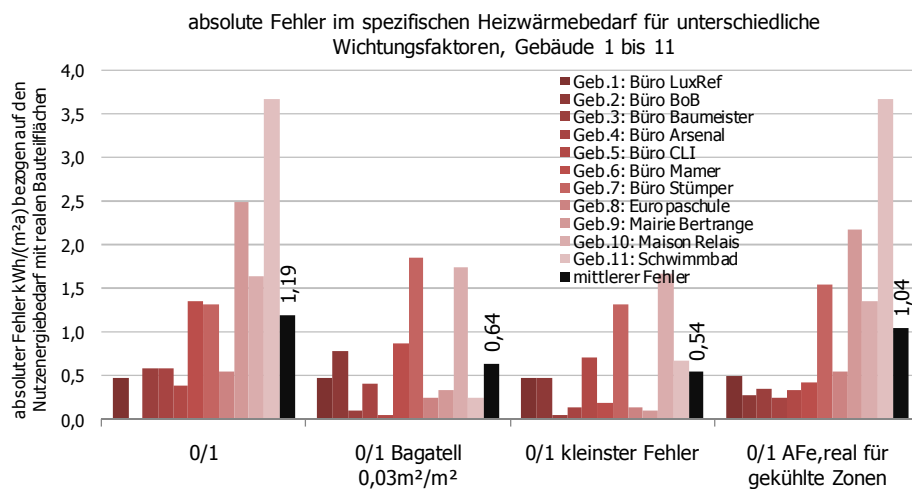


Abbildung 337: Mittlerer absoluter Fehler im Heizwärmebedarf für 11 Gebäude. Der letzte Balken einer jeden Säulengruppe zeigt den Mittelwert der Fehler über alle Gebäude.

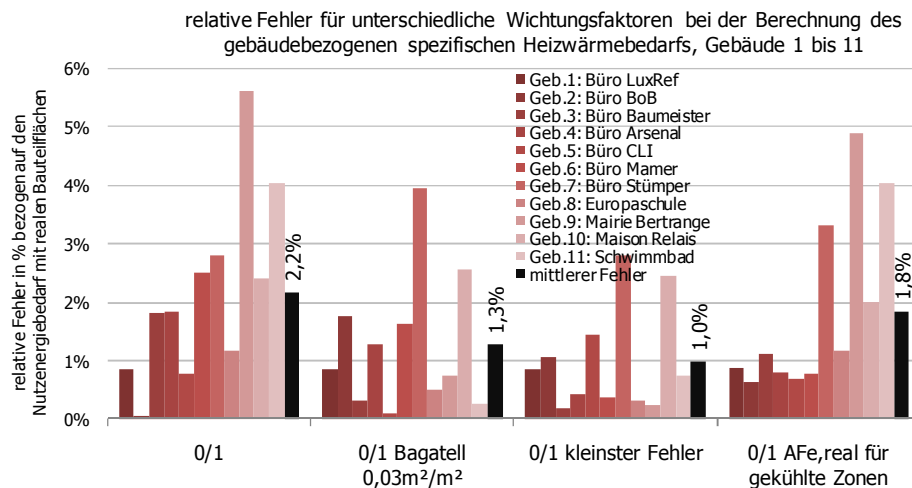


Abbildung 338: Relative Fehler im Heizwärmebedarf für 11 Gebäude. Der letzte Balken einer jeden Säulengruppe zeigt den Mittelwert der Fehler über alle Gebäude.

A.10.2 Fehler im Kühlenergiebedarf

Der absolute und relative Fehler im Kühlenergiebedarf wird für die unterschiedlichen Anwendungskonzepte in folgenden Abbildungen dargestellt (Abbildung 339 und Abbildung 340).

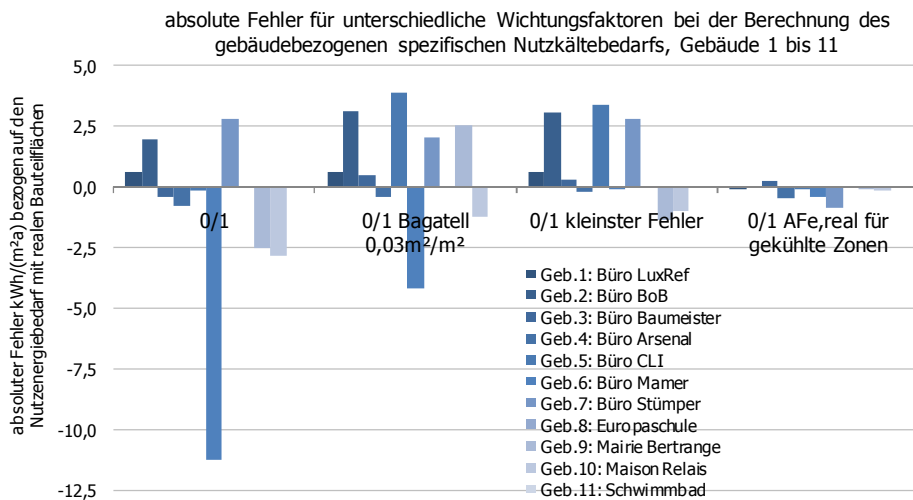


Abbildung 339: Absoluter Fehler im Kältebedarf für 11 Gebäude

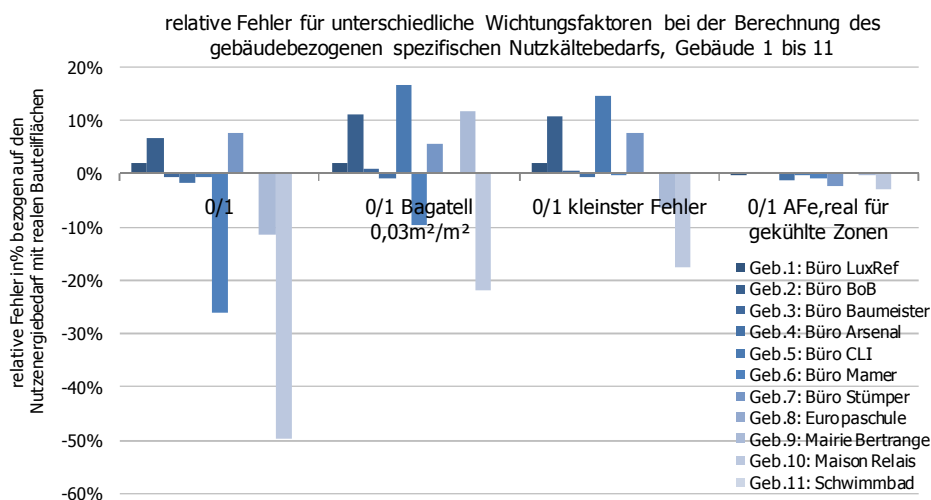


Abbildung 340: Relativer Fehler im Kältebedarf für 11 Gebäude

Betragsfehler für Mittelwertbildung

Analog zur Analyse beim Heizwärmebedarf werden in Abbildung 341 und Abbildung 342 für die Mittelwertbildung die absoluten und relativen Betragsfehler aufgezeigt.

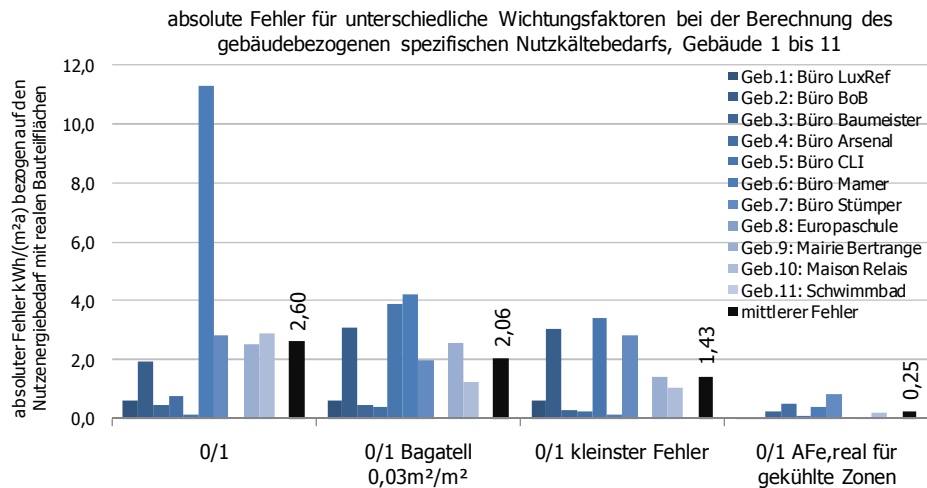


Abbildung 341: Absolute Fehler im Kältebedarf für 11 Gebäude. Der letzte Balken einer jeden Säulengruppe zeigt den Mittelwert der Fehler über alle Gebäude.

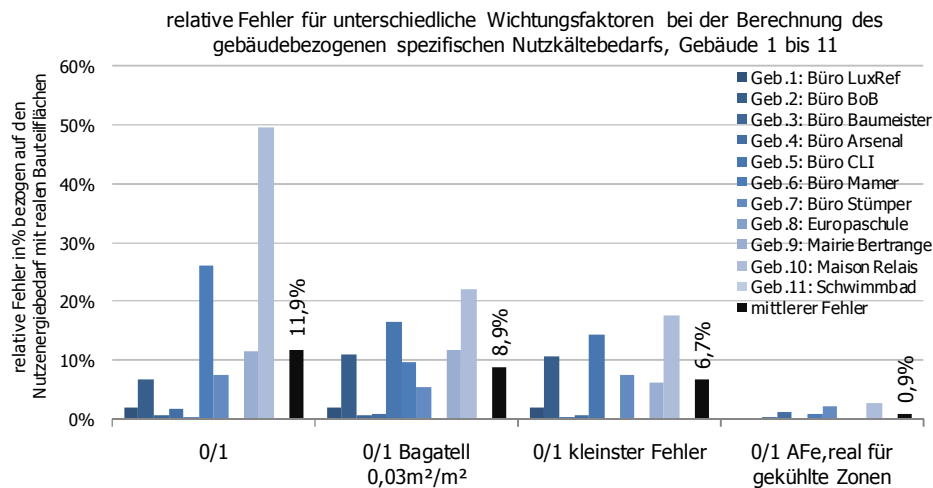


Abbildung 342: Relative Fehler im Kältebedarf für 11 Gebäude. Der letzte Balken einer jeden Säulengruppe zeigt den Mittelwert der Fehler über alle Gebäude.

A.10.3 Fehler im Beleuchtungsstrombedarf

Die relativen und absoluten Fehler im Beleuchtungsstrombedarf, die bei Anwendung der Verteilungskonzepte entstehen, werden in Abbildung 343 und Abbildung 344 dargestellt. Verglichen mit der Heizwärme- oder Kühlenergiebilanz zeigt sich bei Anwendung der betrachteten Verteilungskonzepte keine eindeutige Verringerung des Fehlers. Die Anwendung des Verteilungskonzepts „0/1 Bagatell“ führt zu einer größeren Streuung der Fehler im Energiebedarf. Dies lässt sich vor dem Hintergrund erklären, dass insbesondere bei kleinen Fensterflächenanteilen der Einfluss auf die Tageslichtversorgung groß ist und bei Anwendung der Bagatellgrenze in Zonen mit sehr wenig Fenstern die Fläche zu null gesetzt wird.

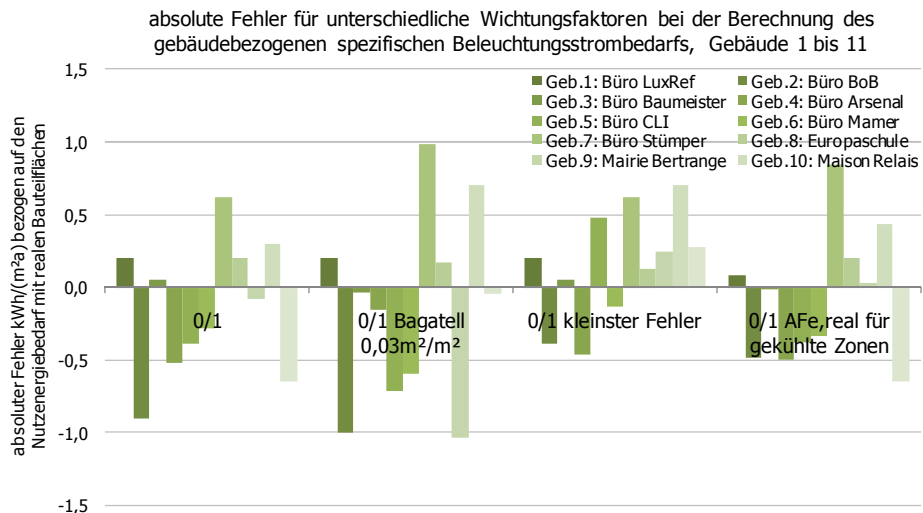


Abbildung 343: Absoluter Fehler im Beleuchtungsstrombedarf für 11 Gebäude

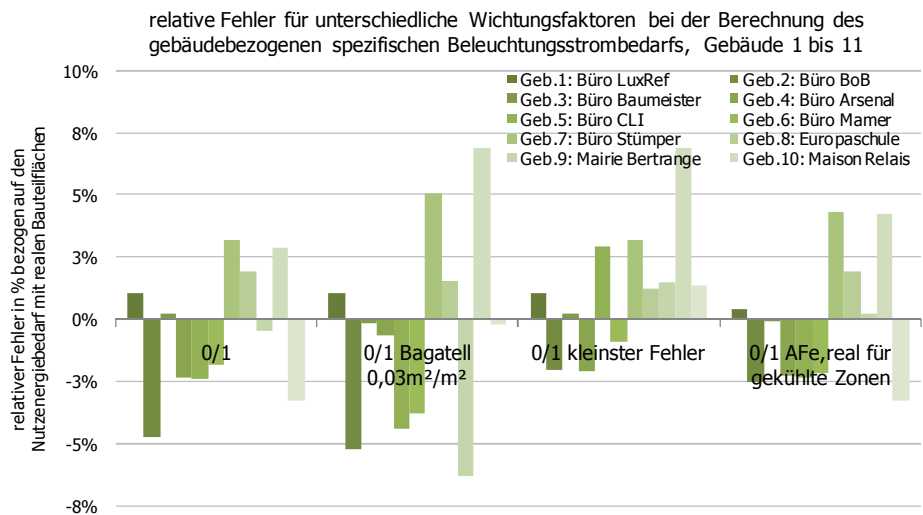


Abbildung 344: Relativer Fehler im Beleuchtungsstrombedarf für 11 Gebäude

Betragsfehler für Mittelwertbildung

Für die Mittelwertbildung sind die Betragsfehler von Interesse, da die Fehler im Energiebedarf positiv oder auch negativ sein können und sich bei einer einfachen Mittelwertbildung Kompensationseffekte einstellen. Die absoluten und relativen mittleren Fehler sind in Abbildung 345 und Abbildung 346 dargestellt.

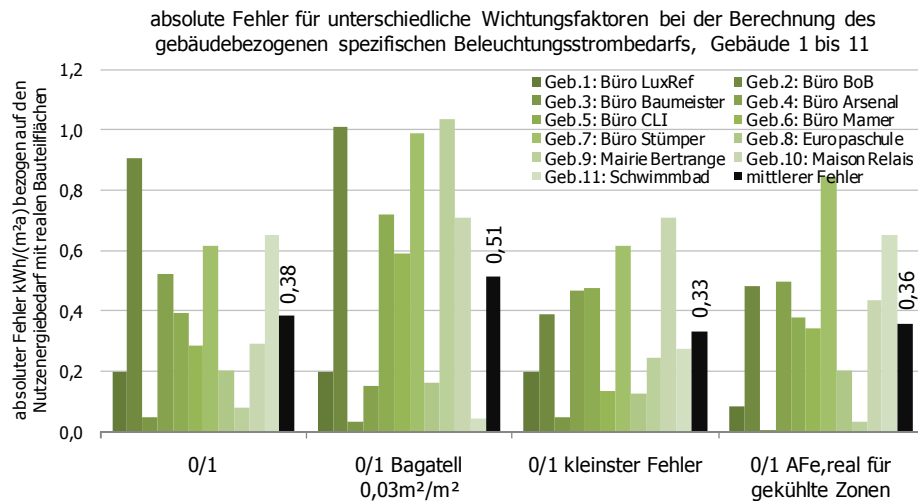


Abbildung 345: Absolute Fehler im Beleuchtungsstrombedarf für 11 Gebäude. Der letzte Balken einer jeden Säulengruppe zeigt den Mittelwert der Fehler über alle Gebäude.

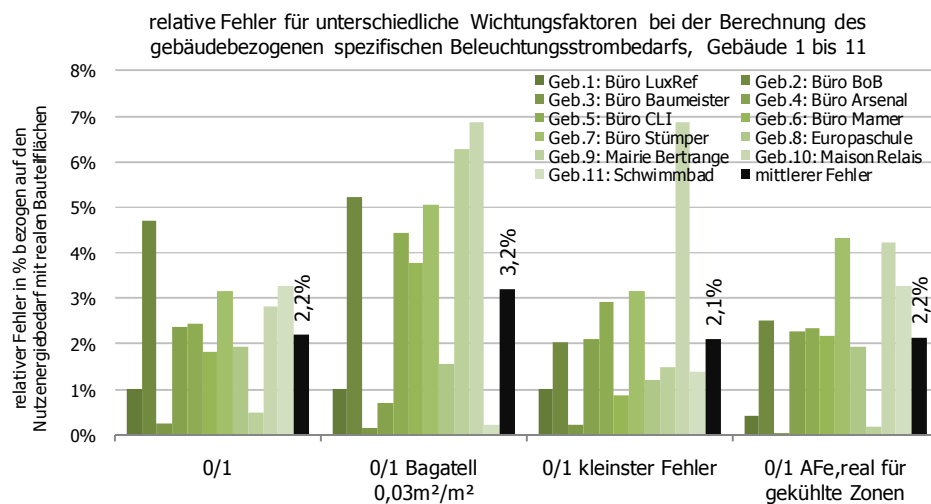


Abbildung 346: Relative Fehler im Beleuchtungsstrombedarf für 11 Gebäude. Der letzte Balken einer jeden Säulengruppe zeigt den Mittelwert der Fehler über alle Gebäude.

A.11 Zu Abschnitt 5.4: Primärenergiebedarf, detaillierte Auswertung

Neben den Abweichungen im Bereich der Nutzenergie sind die Auswirkungen im Primärenergiebedarf interessant. Folgende Abbildungen zeigen die berechneten Primärenergiebedarfe für Heizen, Kühlen und Beleuchten als Gebäudewert.

A.11.1 Primärenergiebedarf für Heizen

Betrachtet man den spezifischen Heizenergiebedarf auf Primärenergieebene, zeigt sich, dass die Konzepte keinen wesentlichen Einfluss auf die Höhe des Energiekennwertes haben. Die jeweils linke Säule bei der Gebäudeauswertung zeigt den primärenergetischen Heizenergiebedarf bei Anwendung der detaillierten Berechnung. Bei Anwendung der Bagatellgrenze und beim kleinsten möglichen Fehler zeigt sich, dass der reale Gesamtkennwert gut abgebildet werden kann.

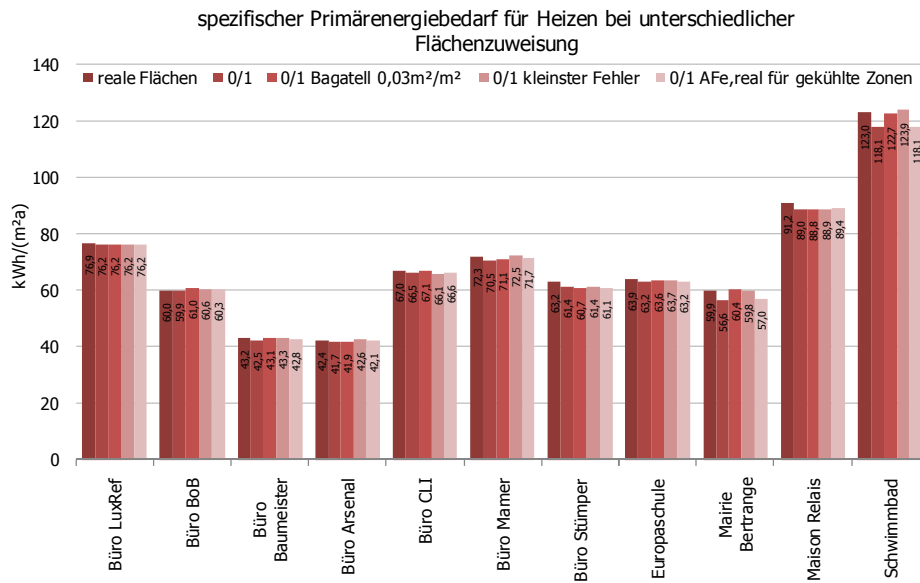


Abbildung 347: Spezifischer Primärenergiebedarf für Heizen bei unterschiedlicher Flächenzuweisung

A.11.2 Primärenergiebedarf für Kühlen

Abbildung 348 zeigt den spezifischen primärenergiebewerteten Kühlenergiebedarf bei Anwendung unterschiedlicher Zuweisungskonzepte. Die linke Säule einer Säulengruppe stellt jeweils den Kühlenergiebedarf bei detaillierter Berechnung dar. Durch Anwendung der beiden Verfahren (Bagatellgrenze mit 0,03 m²/m² und korrekte Zuweisung der Fensterflächen in gekühlten Zonen) kann der Kühlenergiebedarf gut abgebildet werden. Beim Konzept mit einer Zuweisung der Fensterflächen nur nach dem generellen Vorhandensein (0/1) ergeben sich die größten Abweichungen im Kühlenergiebedarf.

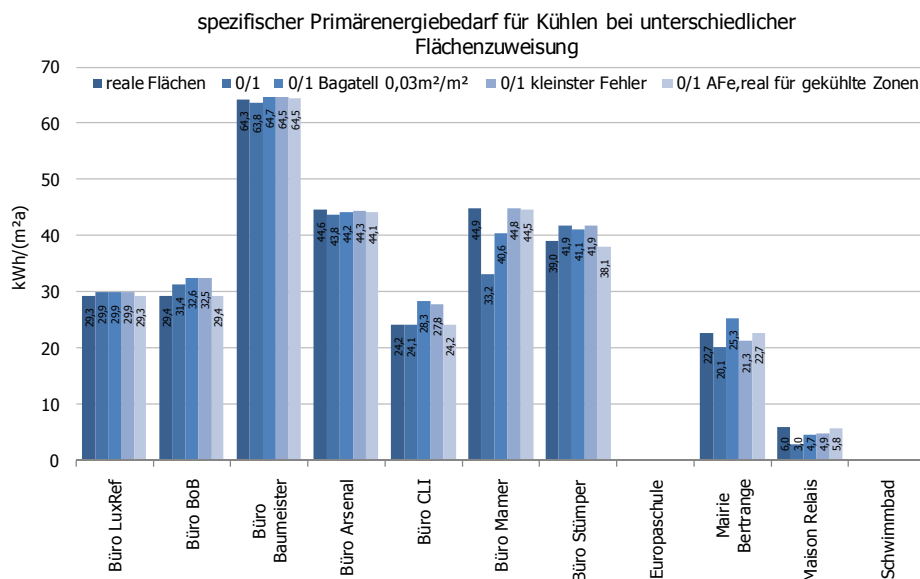


Abbildung 348: Spezifischer Primärenergiebedarf für Kühlen bei unterschiedlicher Flächenzuweisung

A.11.3 Primärenergiebedarf für Beleuchten

Bei der Beleuchtung zeigt sich auch im Gesamtenergiekennwert keine eindeutige Verbesserung bei Anwendung eines der Verfahren. Über alle Varianten liefert die Zuweisung nach dem Kriterium eines generellen Vorhandenseins (0/1) bereits gute Übereinstimmungen.

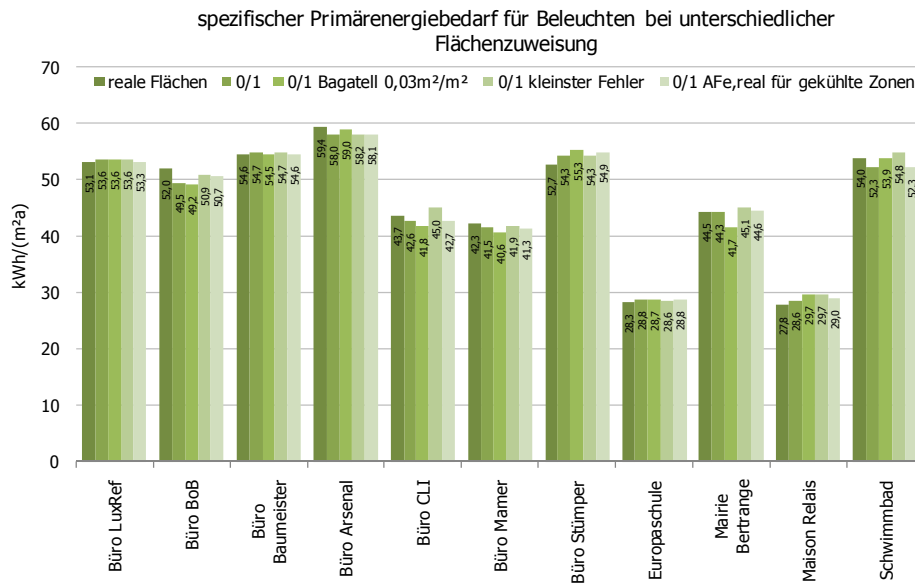


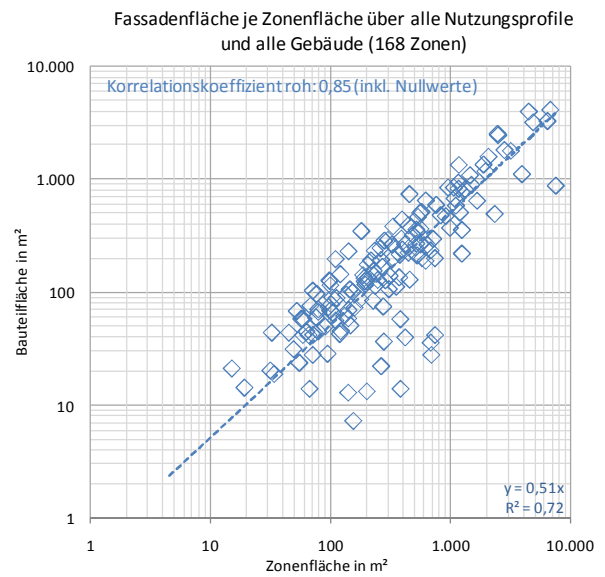
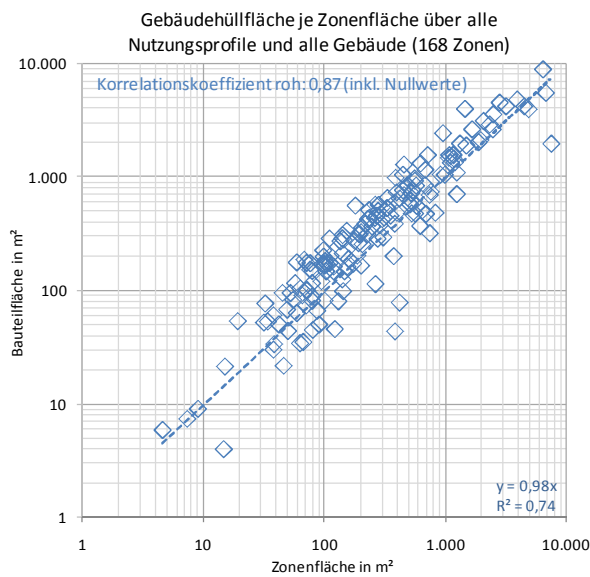
Abbildung 349: Spezifischer Primärenergiebedarf für Beleuchten bei unterschiedlicher Flächenzuweisung

A.12 Zu Abschnitt 6.2: Hüllflächenanteile der Gebäude

A.12.1 Zu Abschnitt 6.2.3: Zonenbezogene Auswertungen

Folgende Abbildungen zeigen die grafische Auswertung der Hüllflächenanalyse auf Zonenebene für 168 Gebäudezonen. Dargestellt wird die Bauteilfläche in Abhängigkeit von der Zonengröße. Es erfolgt eine Differenzierung nach Gebäudehüll-, Fassaden-, Fenster-, Wand-, Dach- und Bodenfläche. Zonen ohne Bauteilfläche sind in den Abbildungen nicht aufgeführt.

Die beste Korrelation ergibt sich für die gesamte Gebäudehüllfläche. Im Bereich der Fensterflächen sind die größten Streuungen vorhanden, bei den Boden- und Dachflächen tritt am häufigsten der Fall auf, dass keine Bauteilfläche in einer Zone vorkommt.



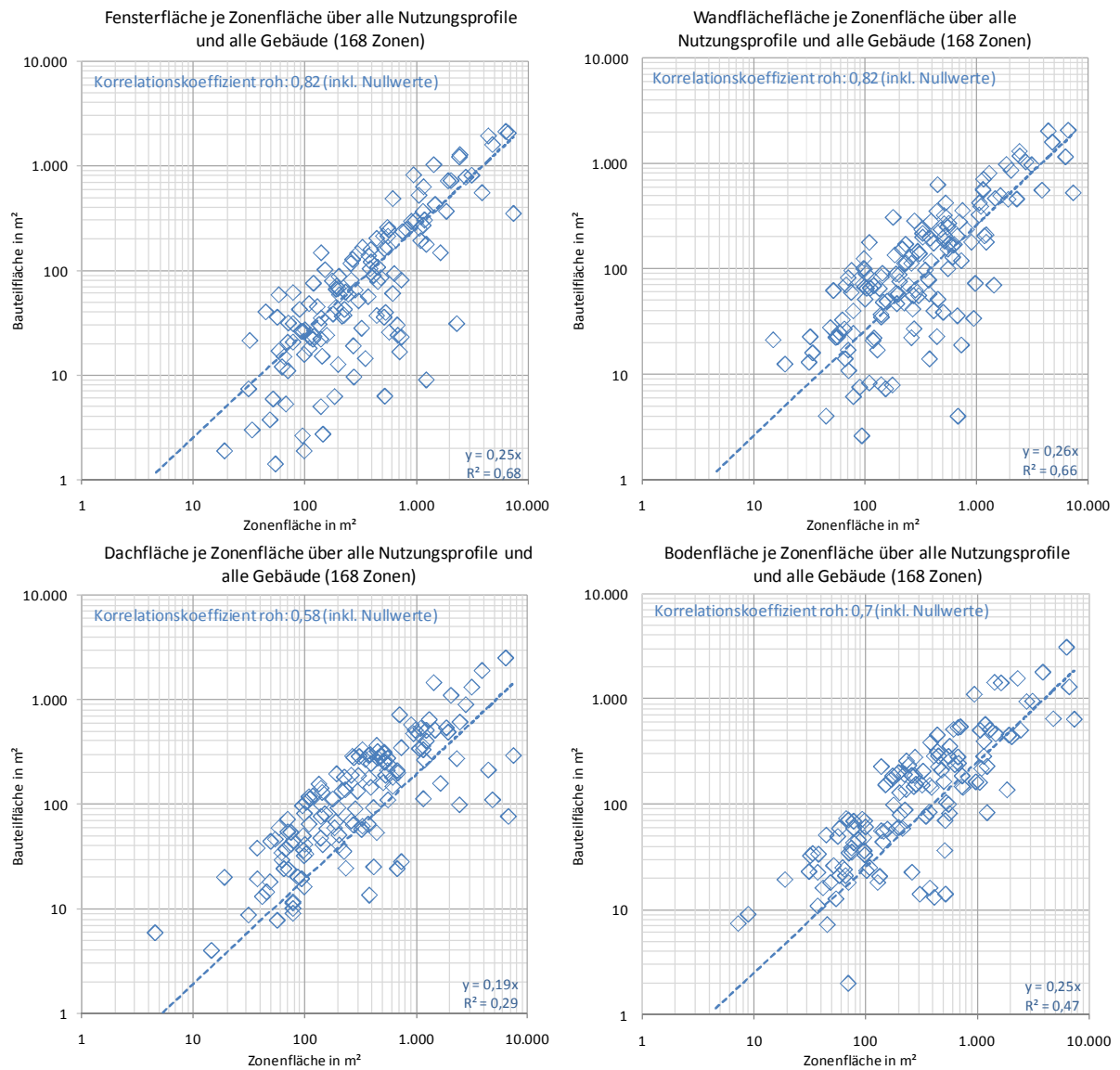
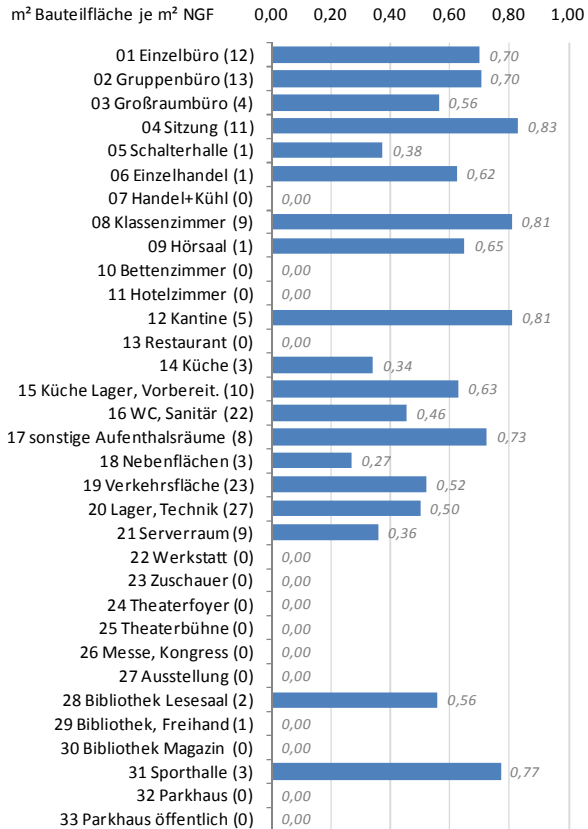


Abbildung 350: Zonenbezogene Auswertung der Gebäudehülldaten

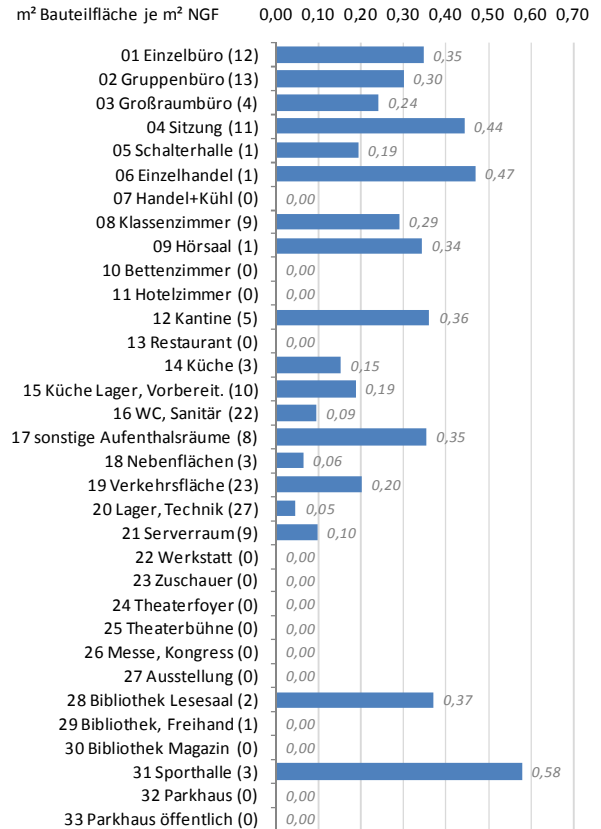
Die zonenbezogenen Hüllflächen der Gebäudestichprobe mit 169 Zonen werden den 33 Nutzungsprofilen nach DIN V 18599 zugeordnet. Die Auswertung erfolgt differenziert nach folgenden Bauteiltypen:

- Fassadenfläche,
- Fensterfläche,
- Wandfläche,
- Dachfläche,
- Bodenfläche,
- Wandfläche gegen ungeheizt,
- gesamte Hüllfläche.

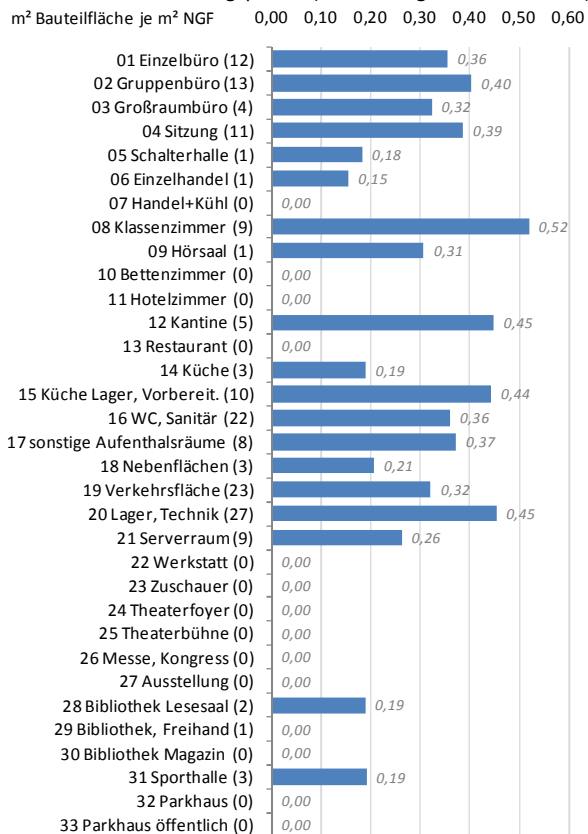
Durchschnittliche Fassadenfläche bezogen auf die Zonengrundfläche für unterschiedliche Nutzungsprofile (Auswertung für alle Gebäude)



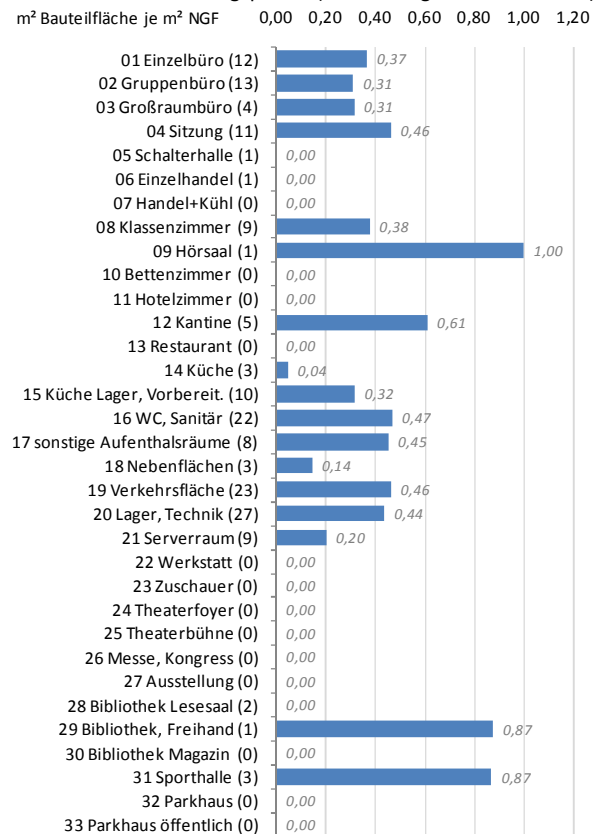
Durchschnittliche Fensterfläche bezogen auf die Zonengrundfläche für unterschiedliche Nutzungsprofile (Auswertung für alle Gebäude)



Durchschnittliche Wandfläche bezogen auf die Zonengrundfläche für unterschiedliche Nutzungsprofile (Auswertung für alle Gebäude)



Durchschnittliche Bodenfläche bezogen auf die Zonengrundfläche für unterschiedliche Nutzungsprofile (Auswertung für alle Gebäude)



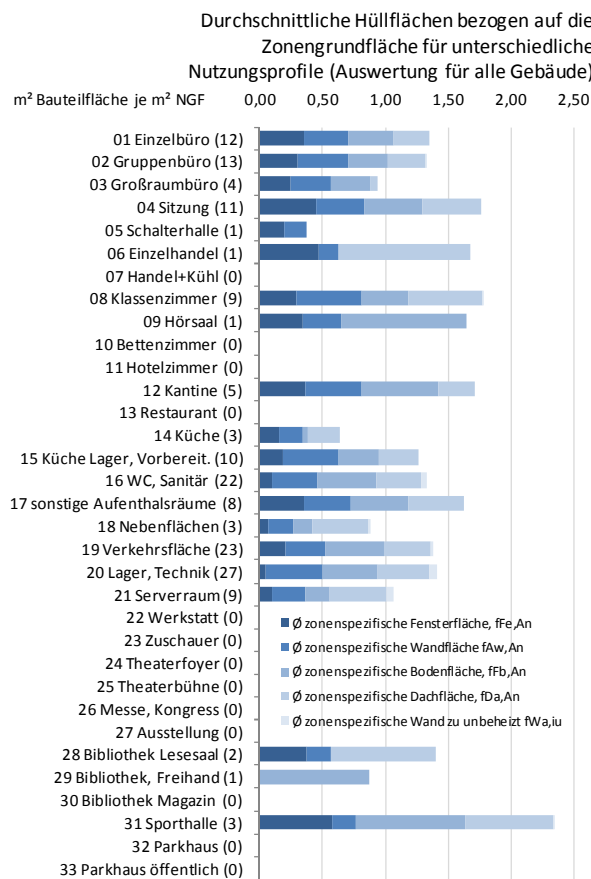
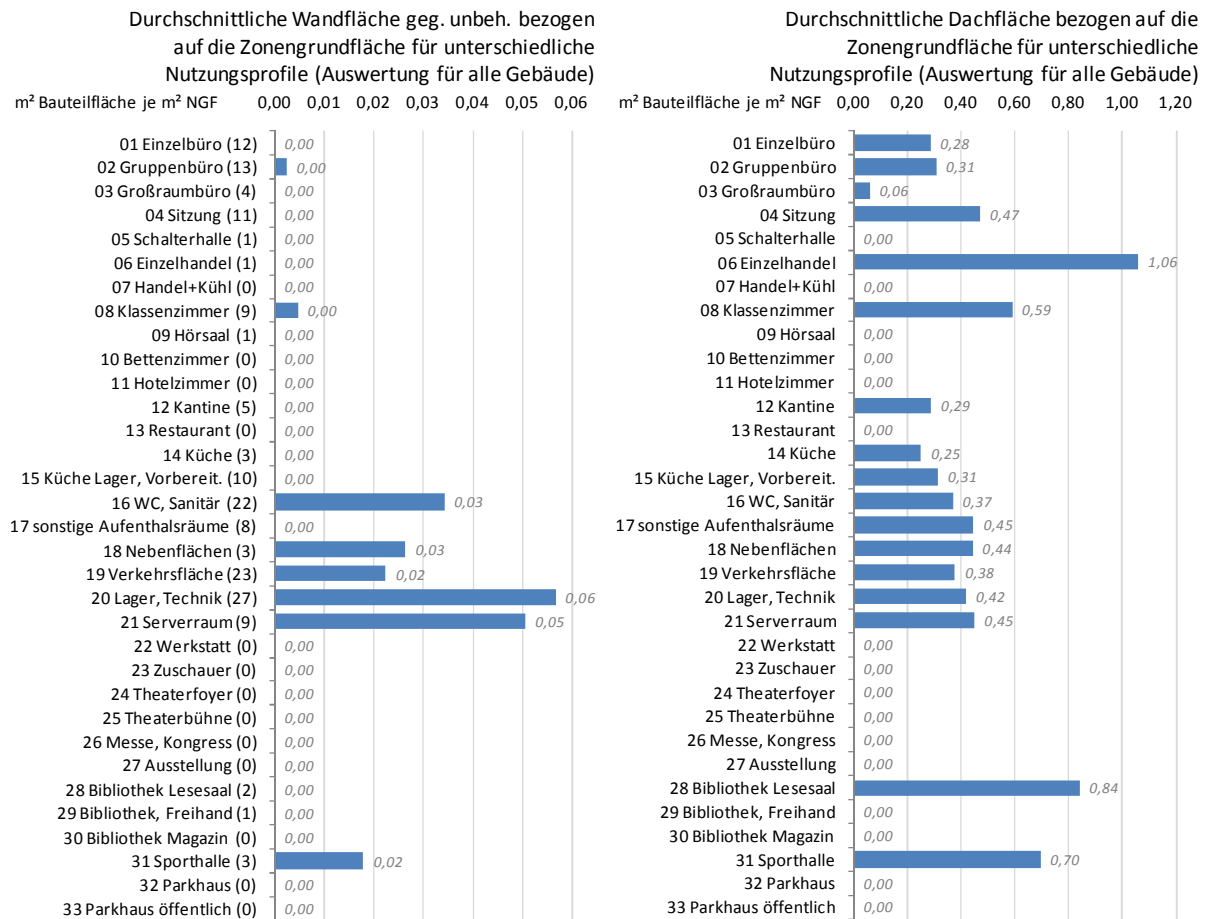


Abbildung 351: Auswertung zonenbezogener Hüllflächen, geordnet nach Nutzungsprofilen

A.12.2 Zu Abschnitt 6.2.2: Gebäudebezogene Auswertungen

In folgendem Abschnitt werden Ergebnisse der gebäudebezogenen Auswertung der Stichprobe (159 Gebäude) dargestellt (Abbildung 352, Abbildung 353, Abbildung 354, Abbildung 355, Abbildung 356 und Abbildung 357). Gezeigt werden für die Bereiche Gebäudehülle, Fassaden-, Dach- und Bodenfläche sowie für Wandfläche gegen unbeheizt die folgenden Abhängigkeiten:

- Bauteilfläche je Nettogrundfläche,
- spezifische Bauteilfläche in Abhängigkeit vom A/V-Verhältnis,
- NGF-spezifische Bauteilfläche je Nettogrundfläche des Gebäudes.

Gebäudehüllfläche

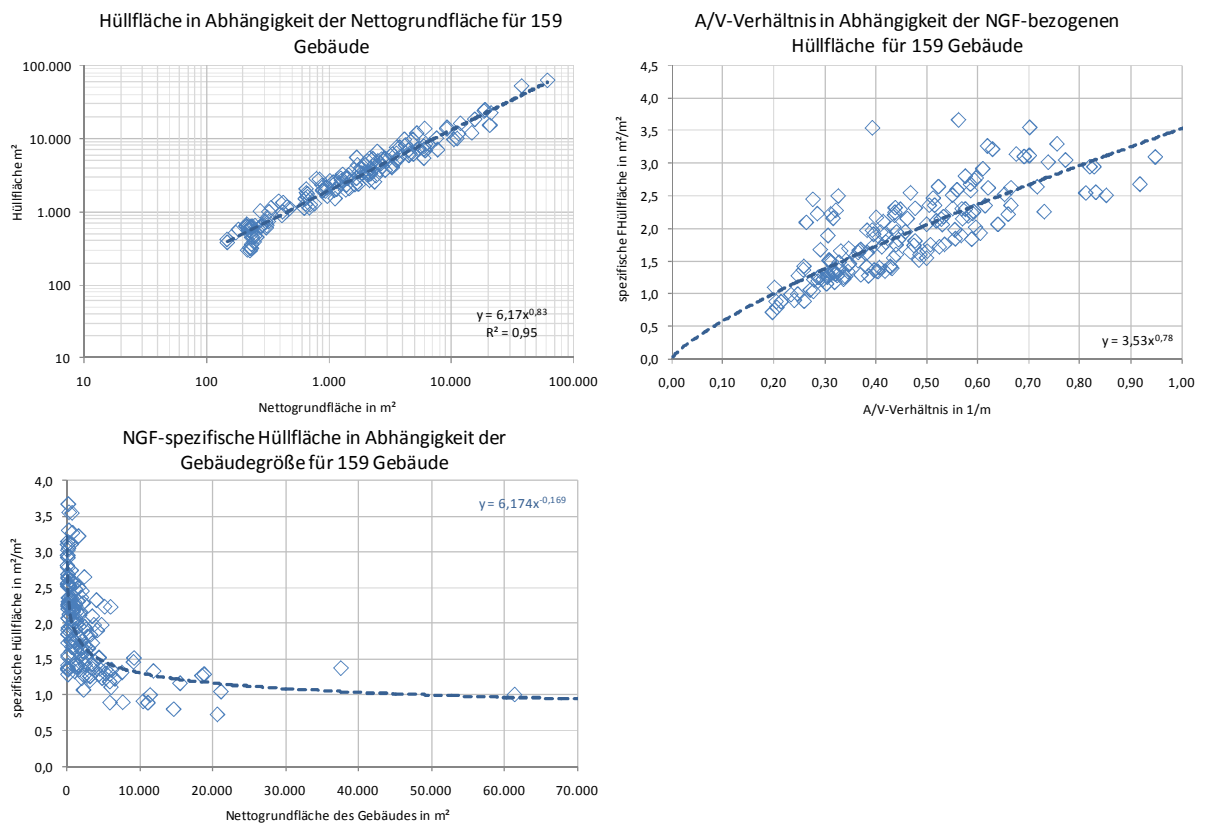


Abbildung 352: Gebäudebezogene Auswertung für die Bauteilkategorie Gebäudehüllfläche

Fassadenfläche

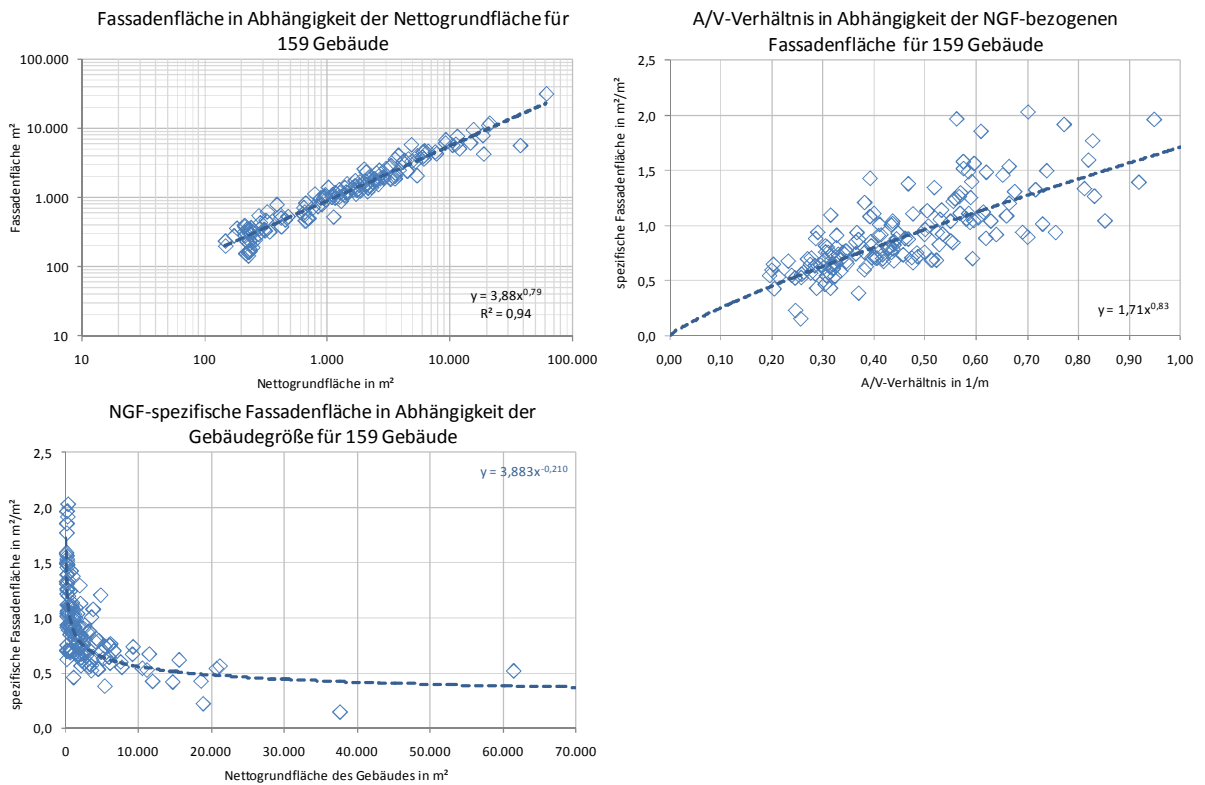


Abbildung 353: Gebäudebezogene Auswertung für die Bauteilkategorie Fassadenfläche

Fensterfläche

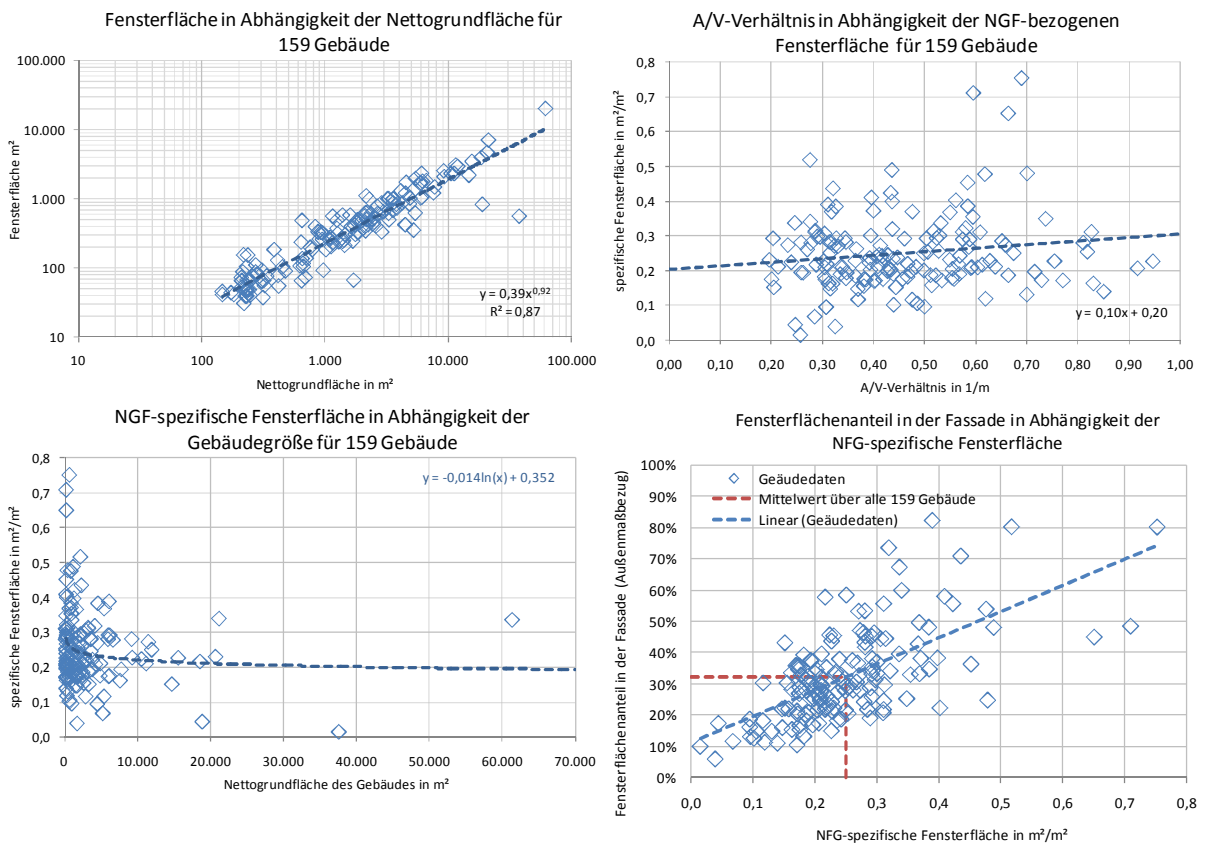


Abbildung 354: Gebäudebezogene Auswertung für die Bauteilkategorie Fensterfläche

Dachfläche

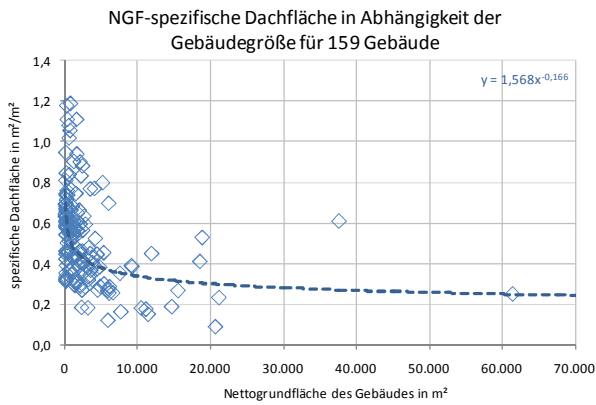
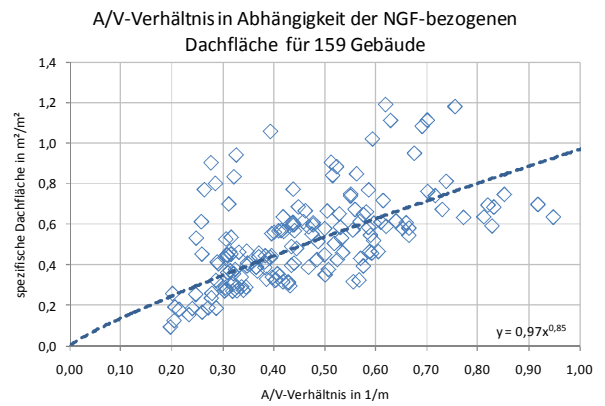
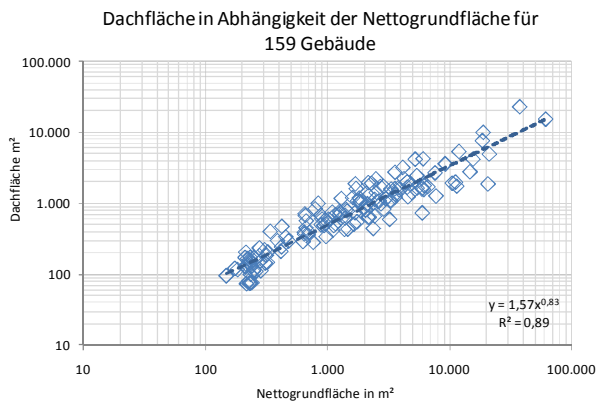


Abbildung 355: Gebäudebezogene Auswertung für die Bauteilkategorie Dachfläche

Bodenfläche

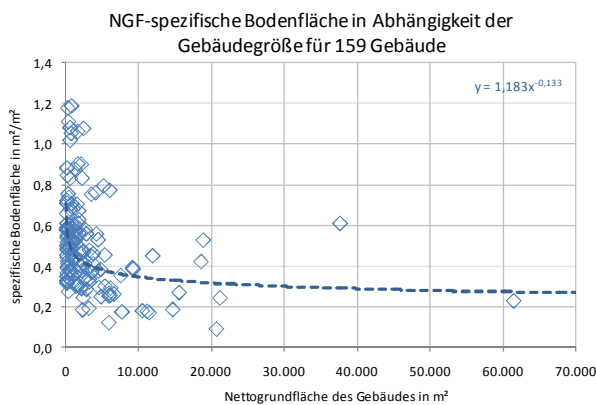
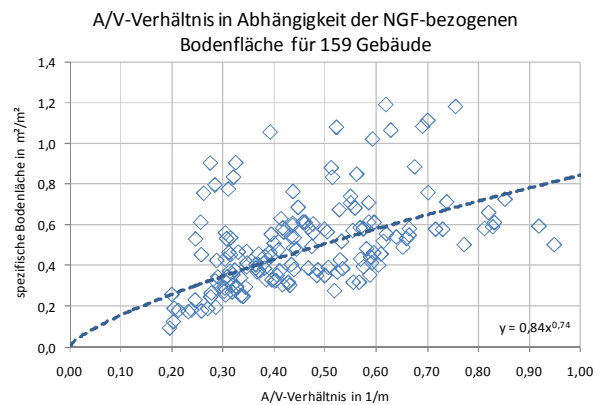
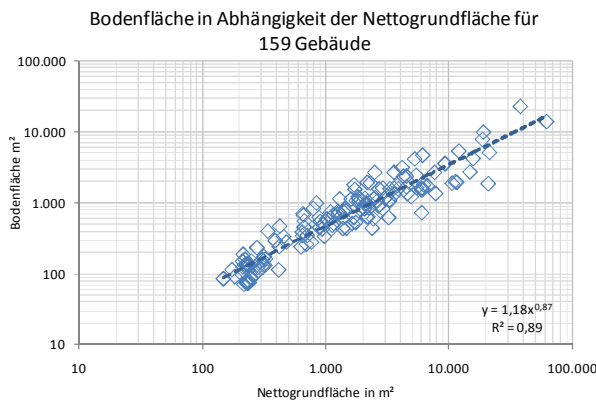


Abbildung 356: Gebäudebezogene Auswertung für die Bauteilkategorie Bodenfläche

Wandflächen gegen unbeheizt

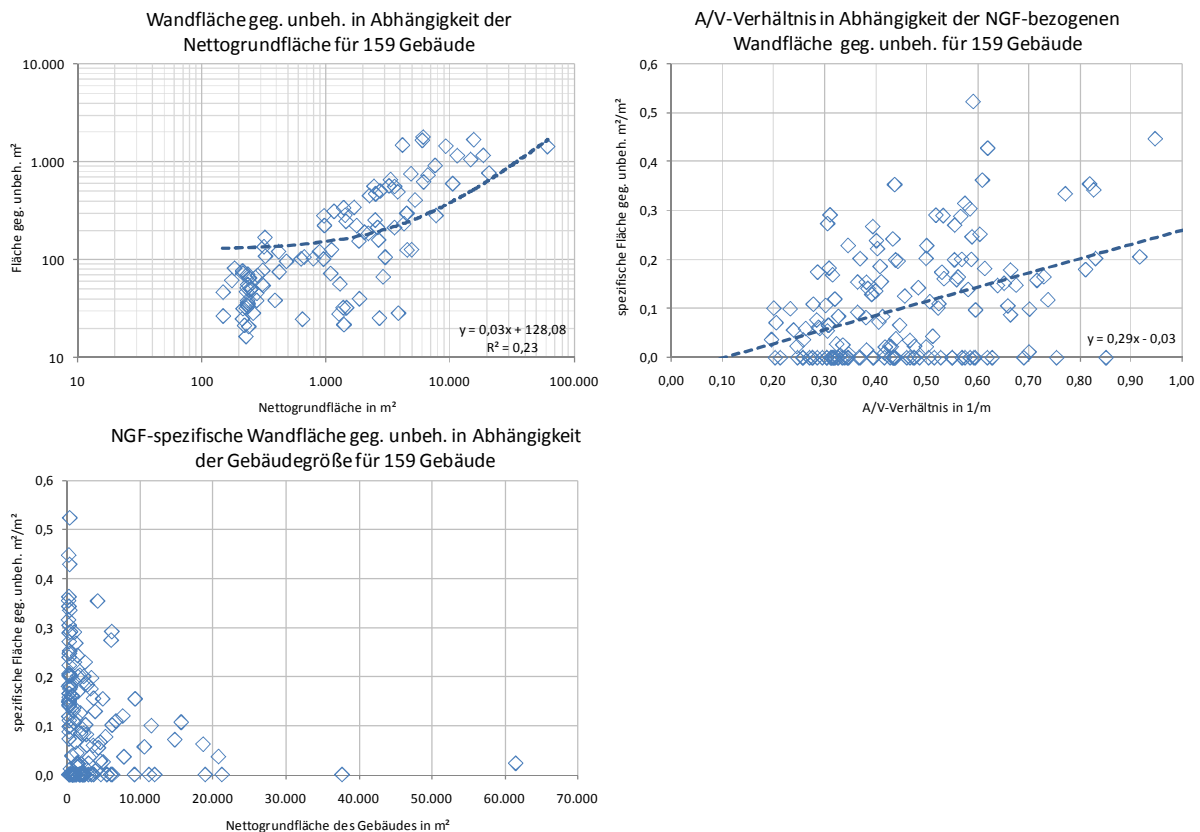


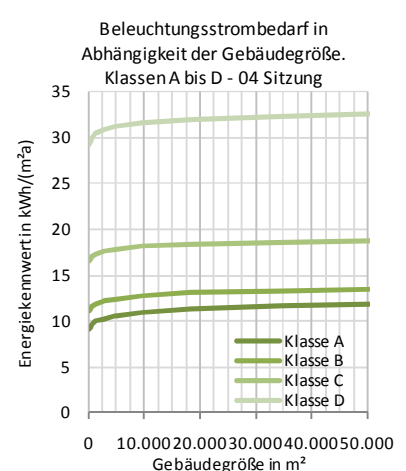
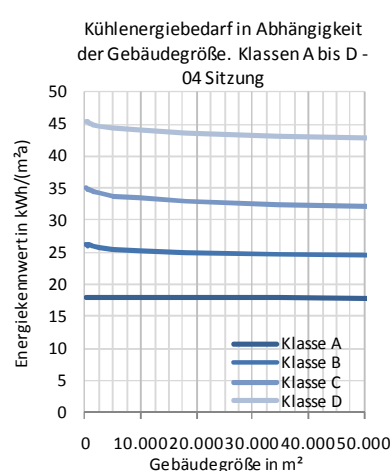
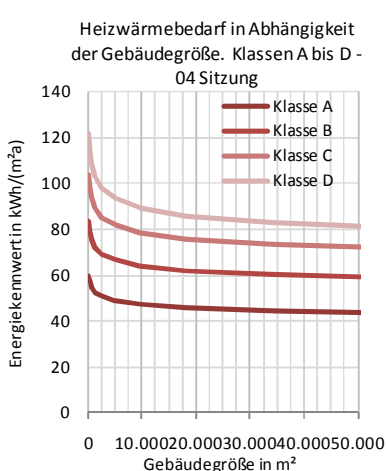
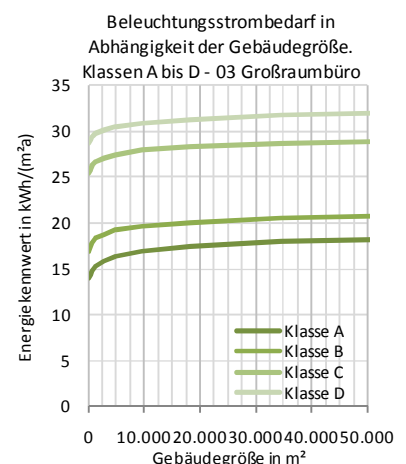
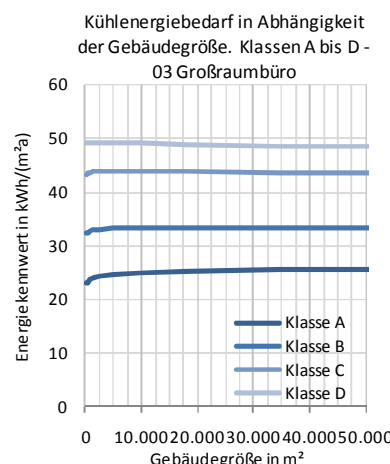
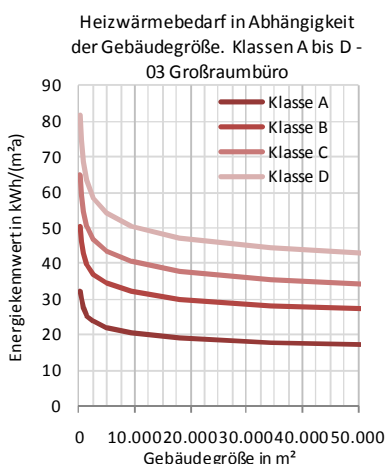
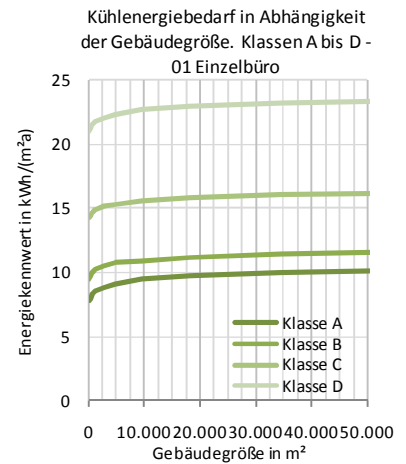
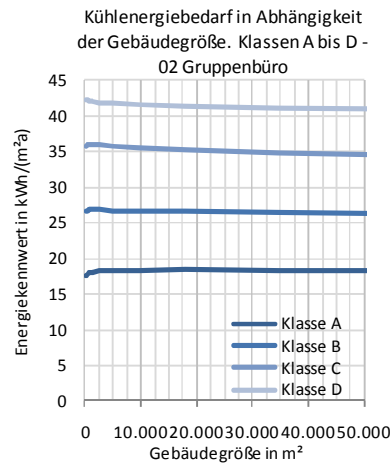
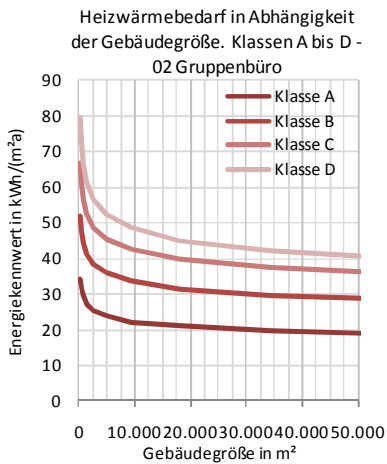
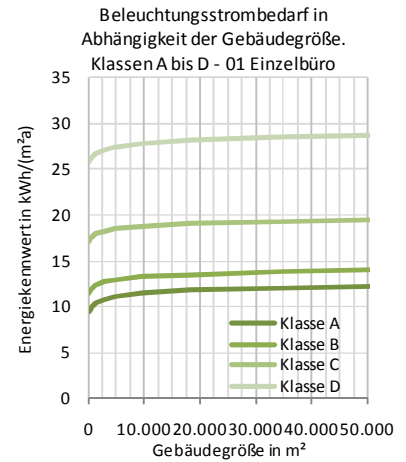
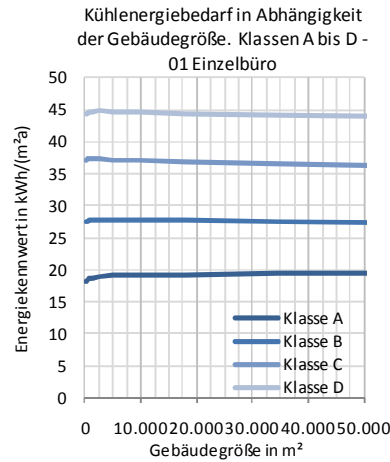
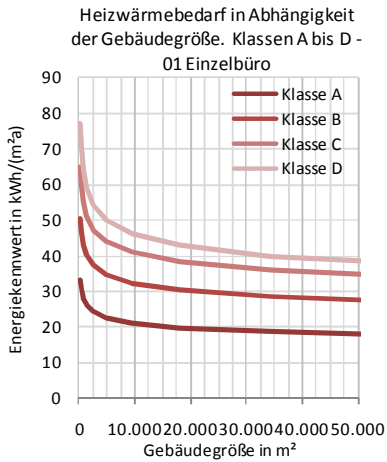
Abbildung 357: Gebäudebezogene Auswertung für die Bauteilkategorie Wandfläche gegen unbeheizt

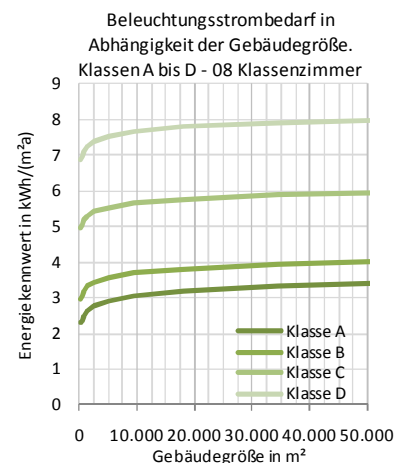
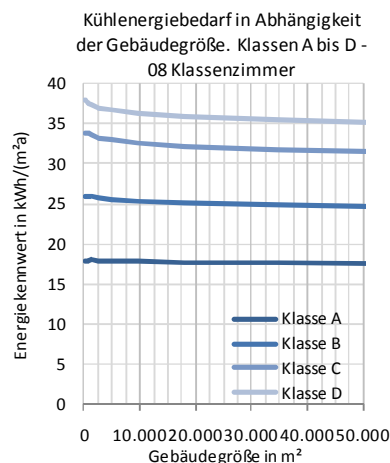
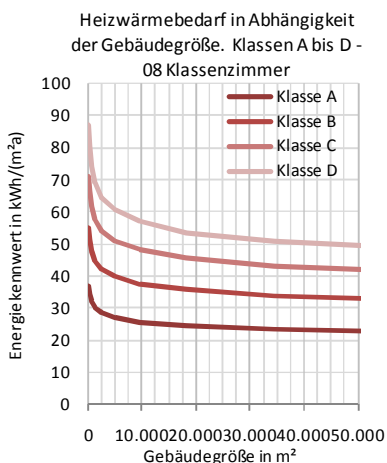
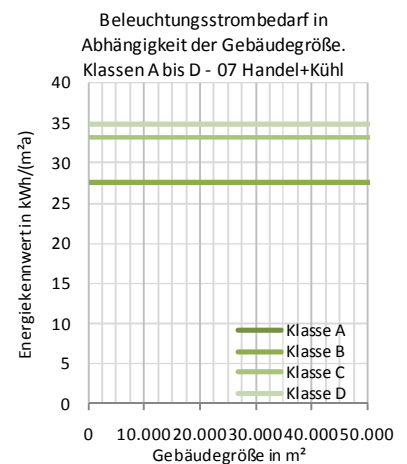
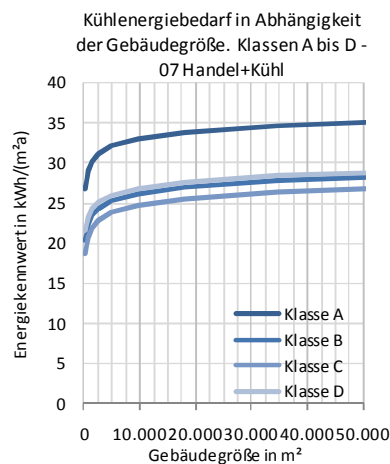
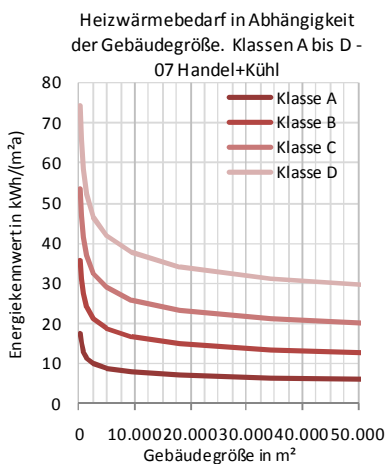
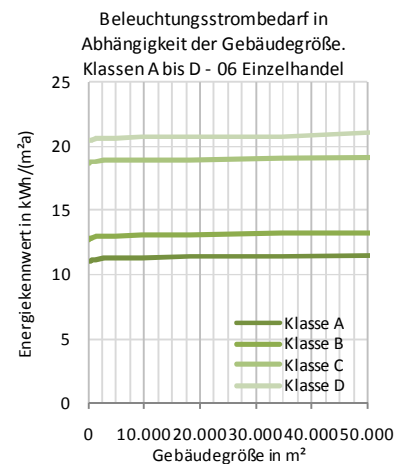
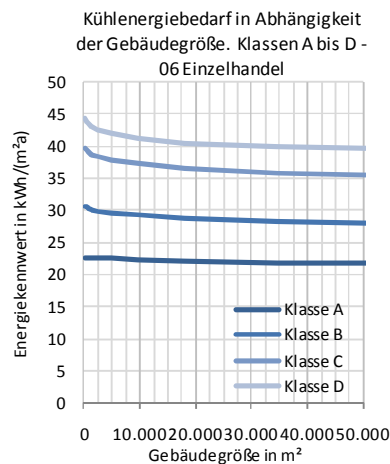
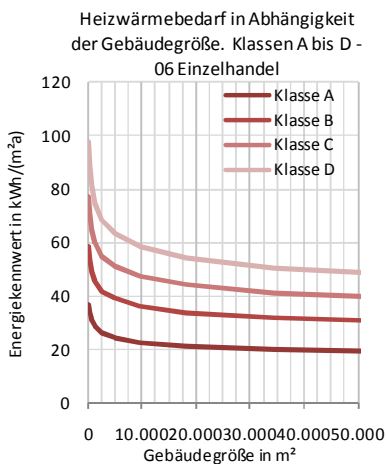
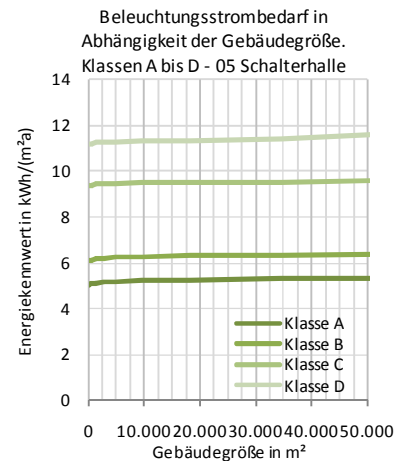
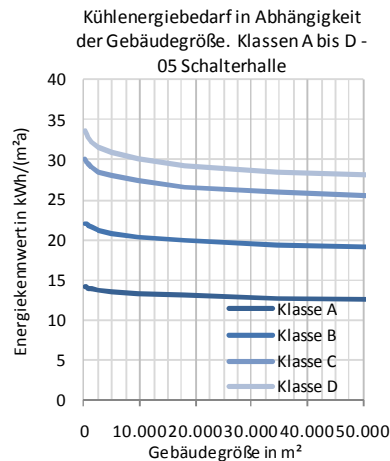
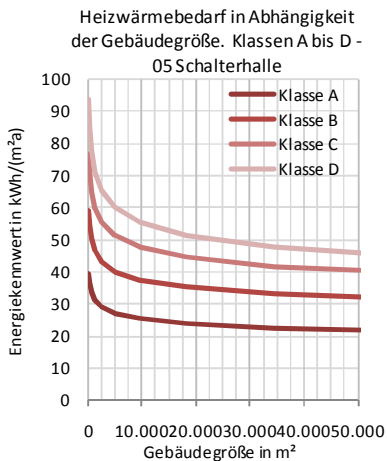
A.13 Zu Abschnitt 6.3.4: Berechnete Kennwerte

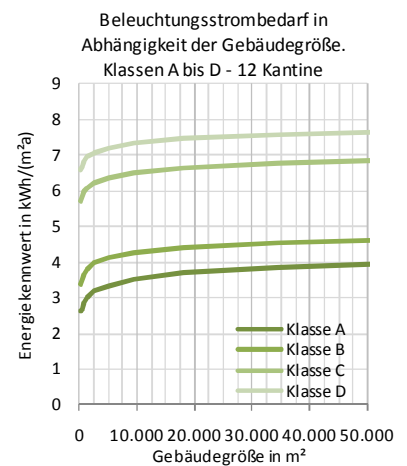
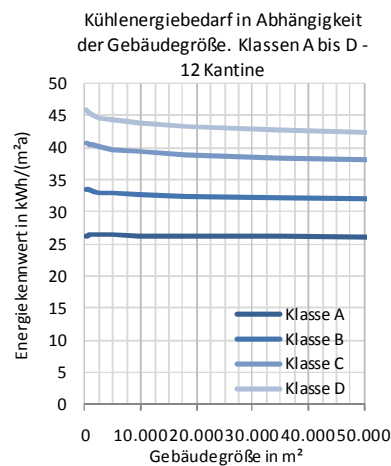
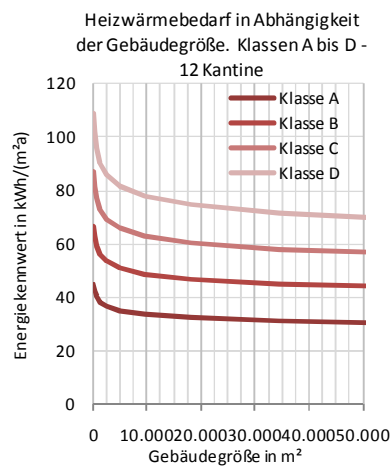
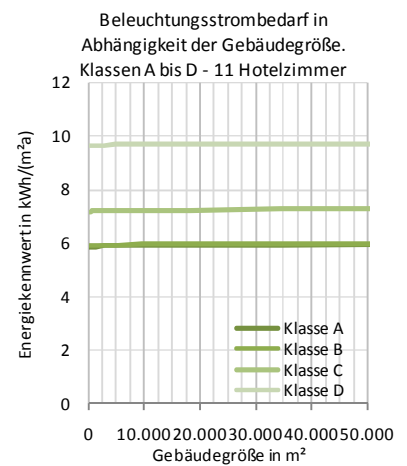
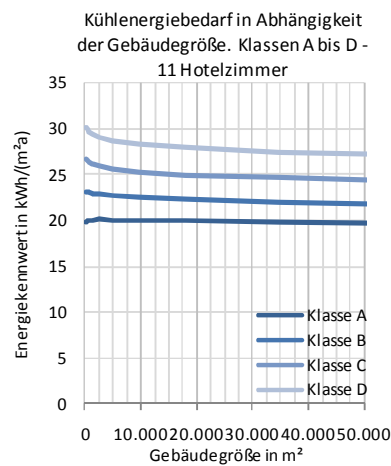
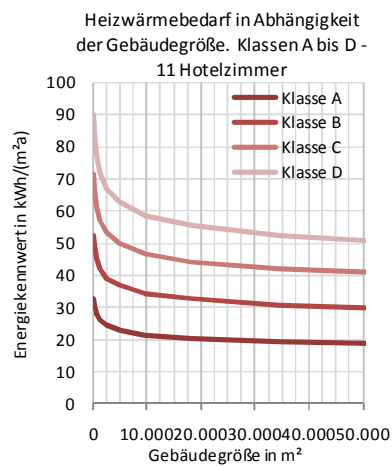
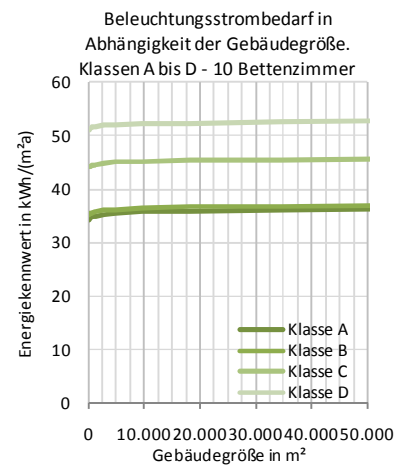
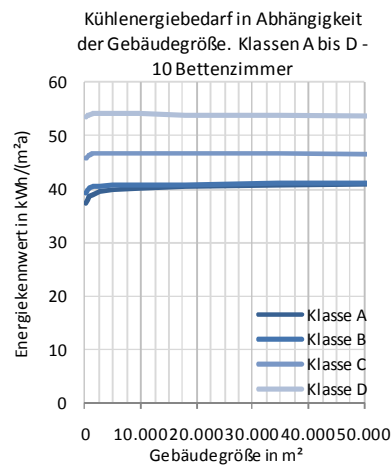
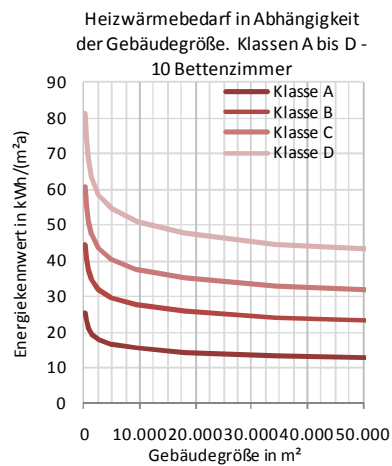
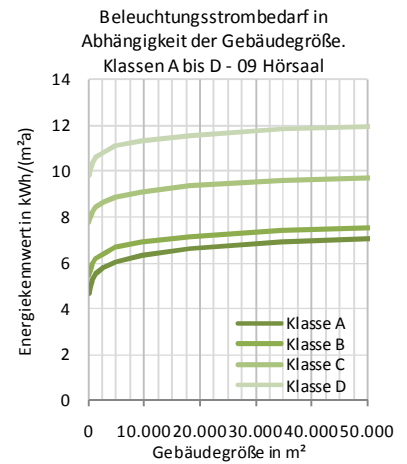
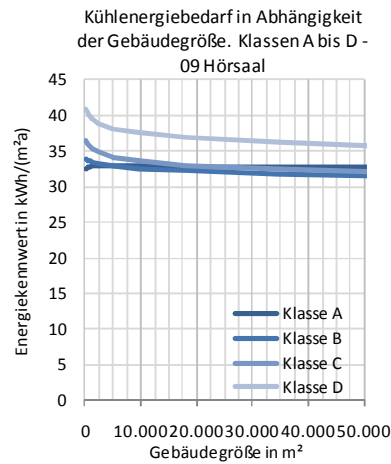
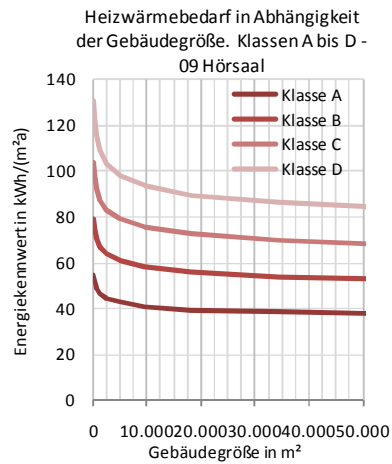
Die Energiekennwerte werden für unterschiedliche Gebäudegrößen ermittelt, um die Auswirkungen sich ändernder Gebäudehüllflächen nach Abschnitt 6.2 auf die Energiebilanzen zu überprüfen. Als Berechnungsrandbedingungen werden die in Tabelle 58 aufgeführten Standards angesetzt.

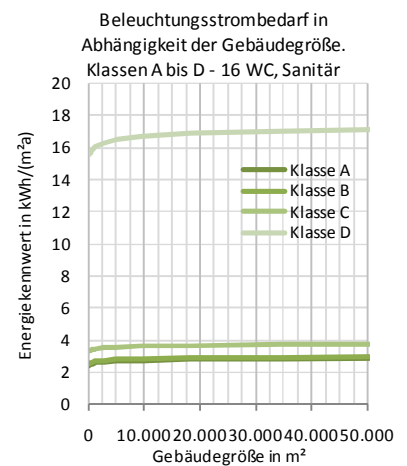
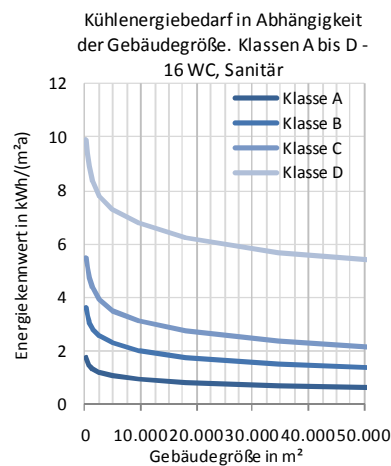
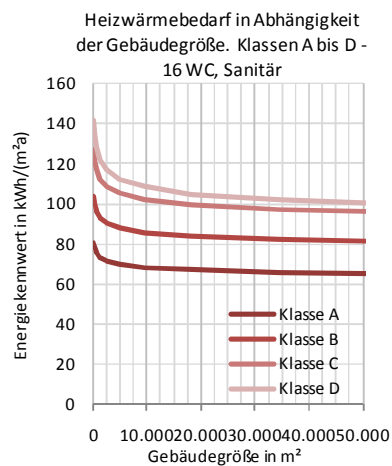
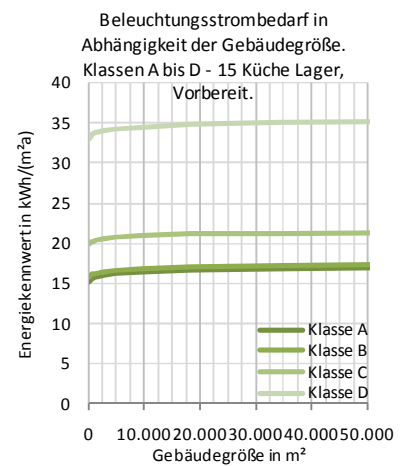
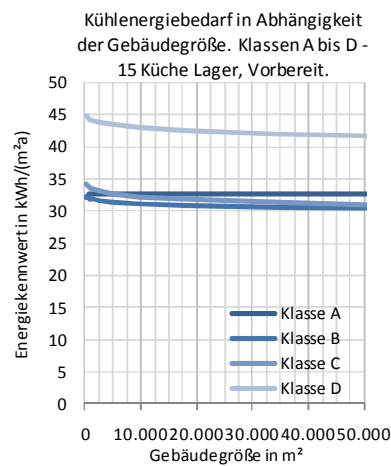
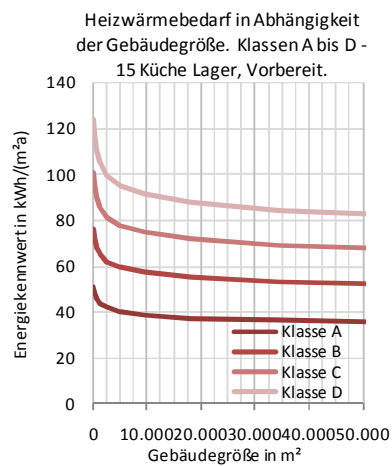
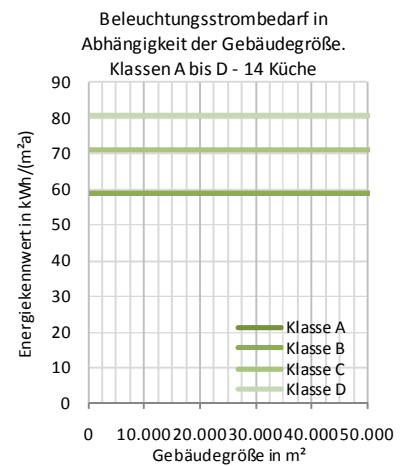
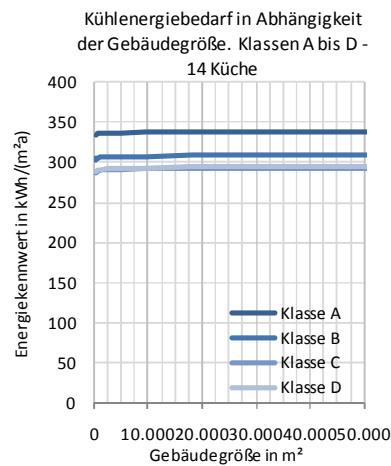
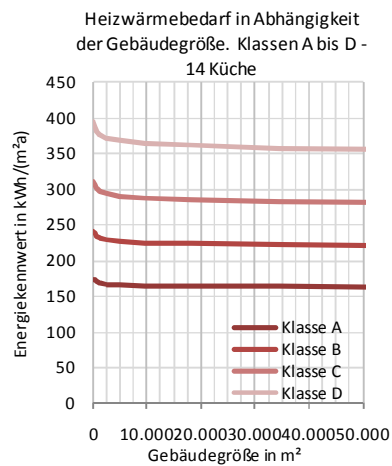
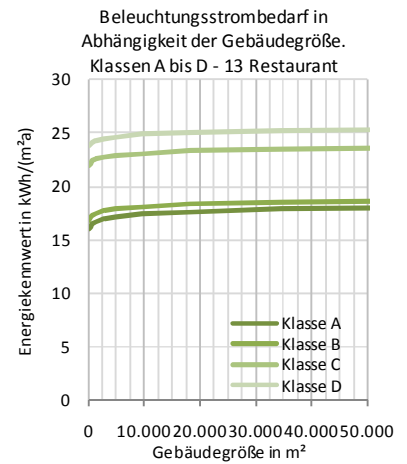
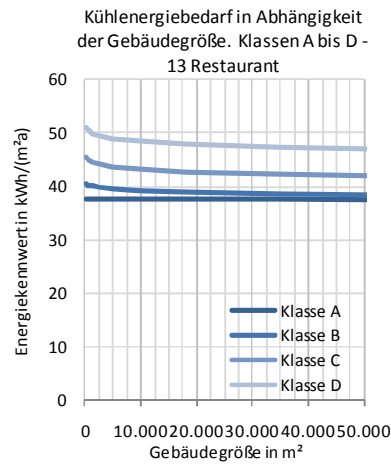
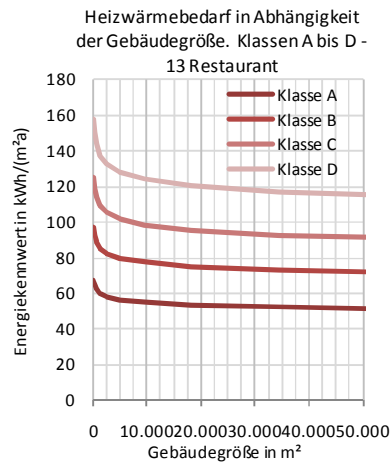
Der Kühlenergiebedarf und der Beleuchtungsstrombedarf sind im Wesentlichen von den Fensterflächen abhängig (vgl. Parameterstudie, Abschnitt 3). Da die spezifischen Fensterflächen nicht so stark mit der Größe des Gebäudes skalieren, sind keine großen Unterschiede für unterschiedlich große Gebäude zu erwarten. Der Kühlenergiebedarf wird auch durch die Transmissions- und Lüftungsverluste beeinflusst (Auswirkung auf den Ausnutzungsgrad der Wärmegevinne bzw. auf die nicht zu Heizzwecken nutzbaren Gewinne). Wie aus der Parameterstudie hervorgeht, ist die Beeinflussung jedoch sehr gering. Insbesondere bei kleinen Gebäuden zeigen sich Auswirkungen, da hier die Transmissionsverluste aufgrund hoher A/V-Verhältnisse stärker beeinflusst werden.

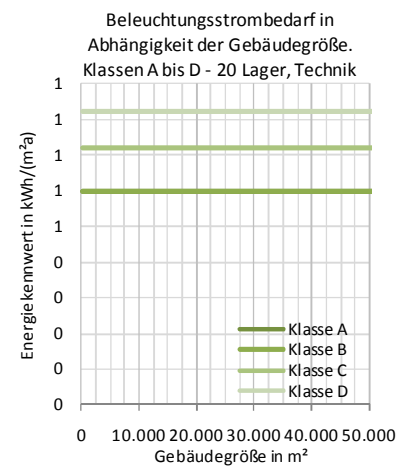
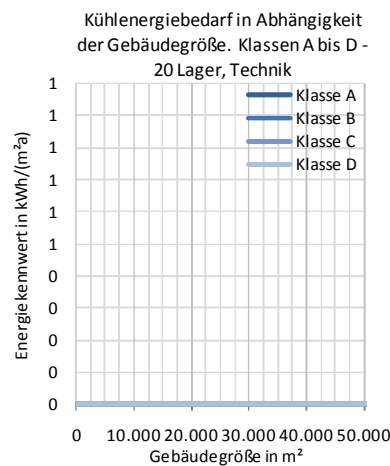
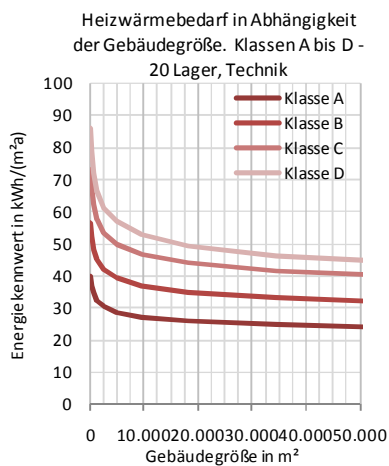
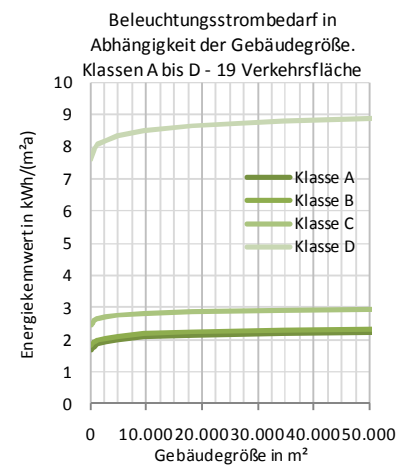
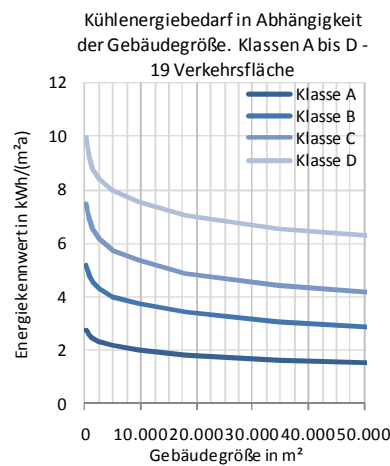
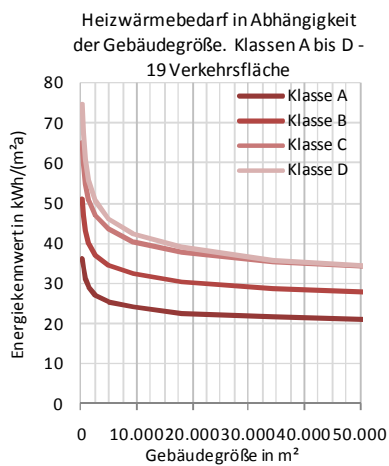
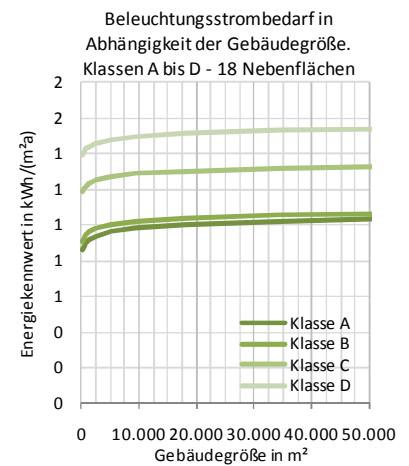
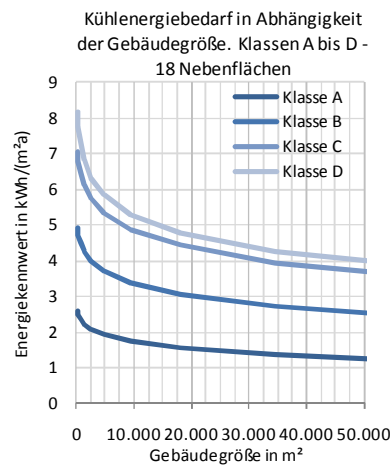
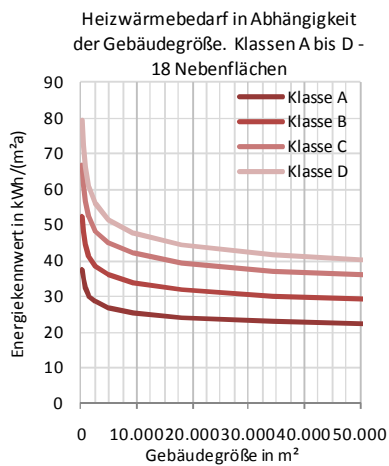
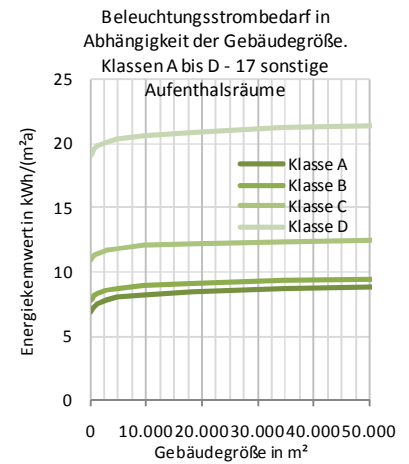
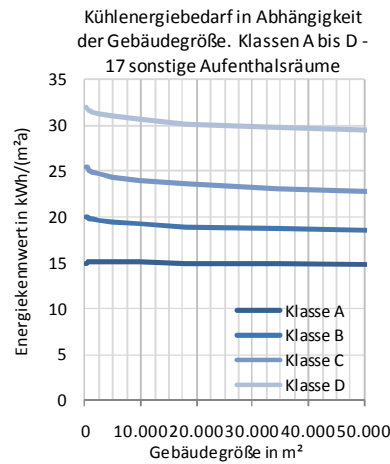
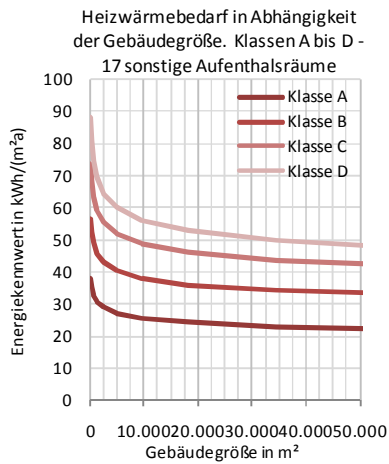
Der relative und absolute Einfluss des Strombedarfs durch Beleuchtung ist abhängig von der Höhe des berechneten Kühlenergiebedarfs. Bei geringen Kühlenergiebedarfen (bei geringen internen Lasten und/oder geringen Fensterflächenanteilen) ist die Beeinflussung durch Beleuchtung am höchsten.

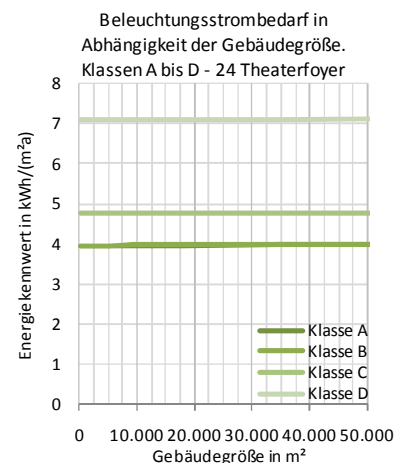
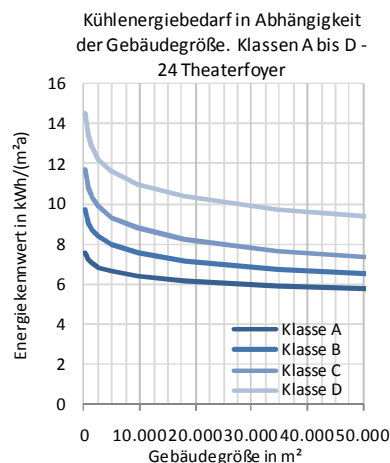
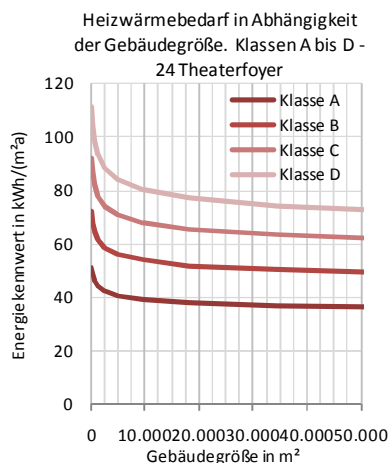
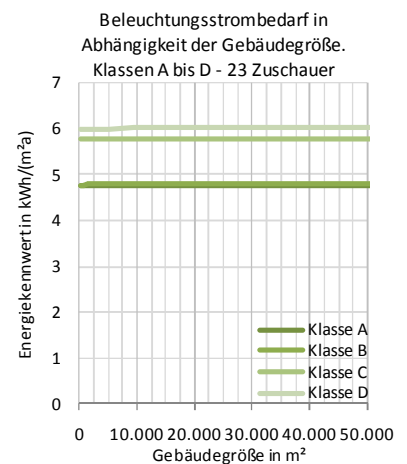
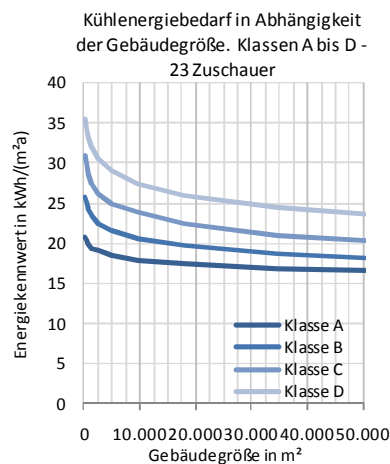
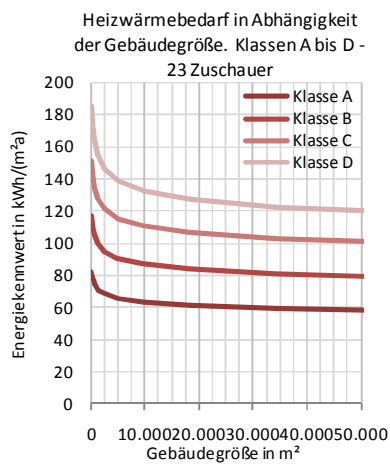
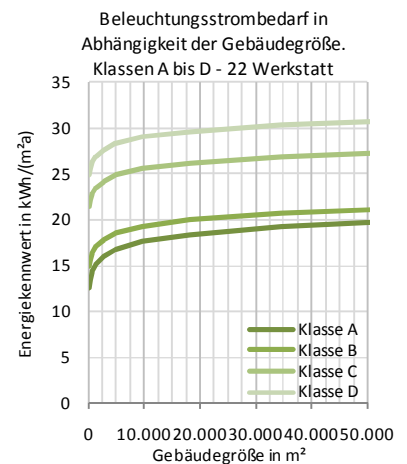
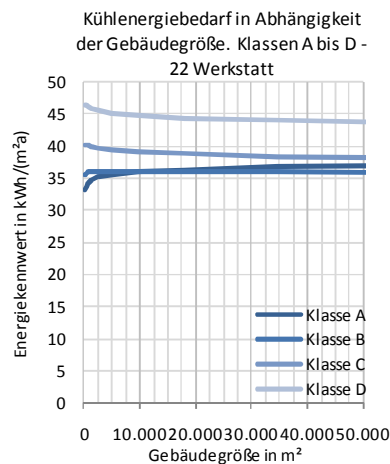
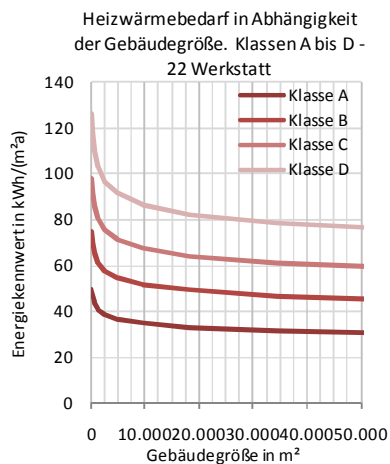
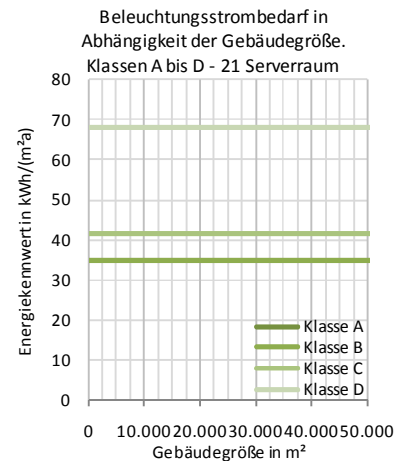
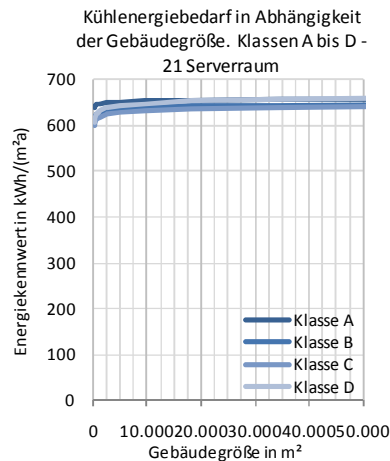
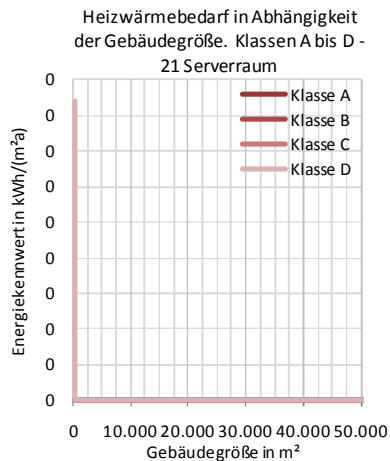


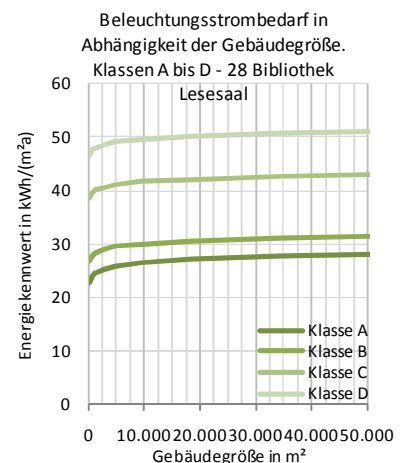
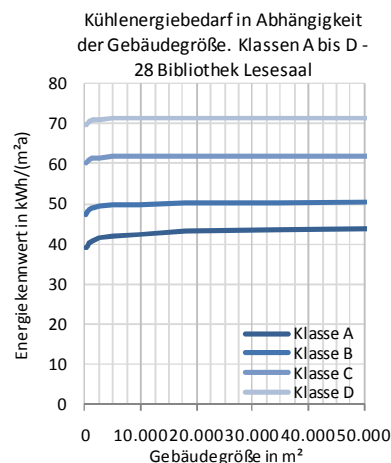
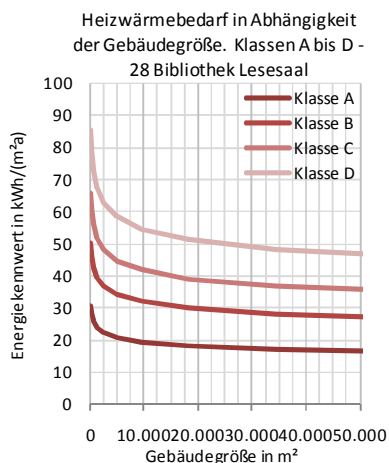
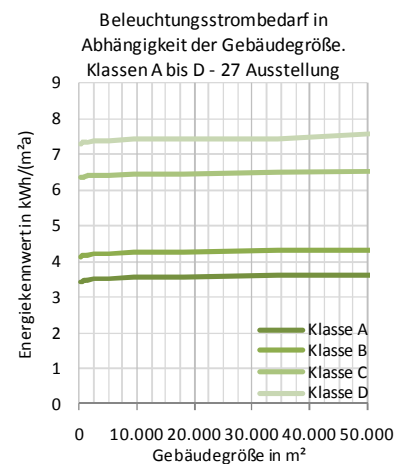
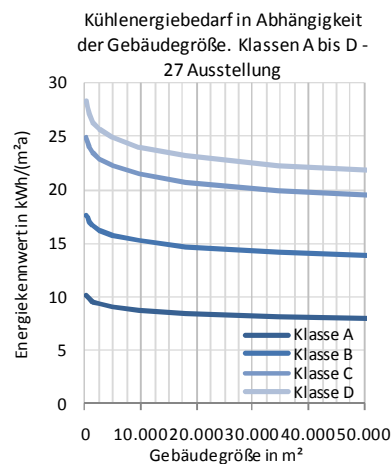
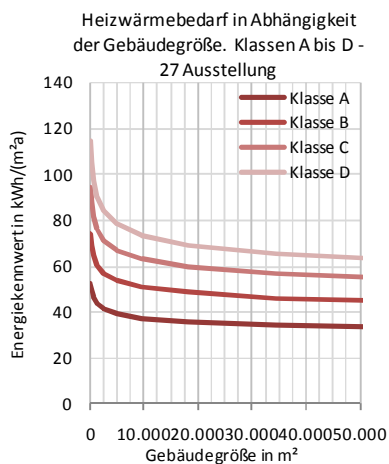
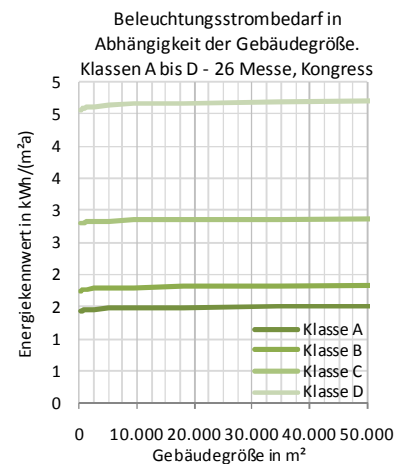
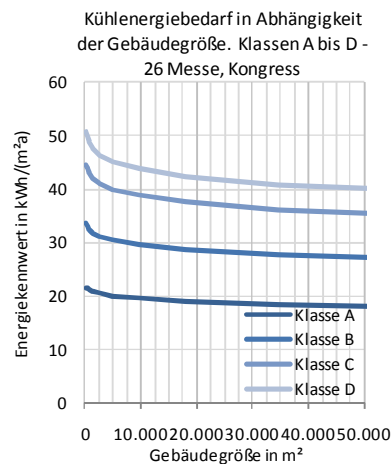
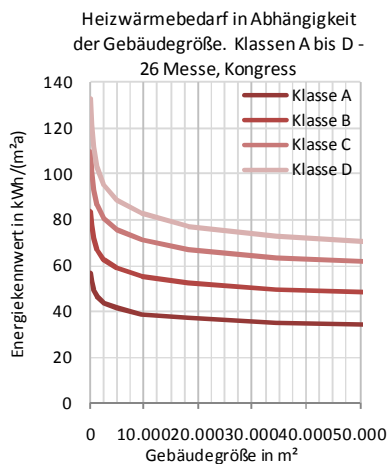
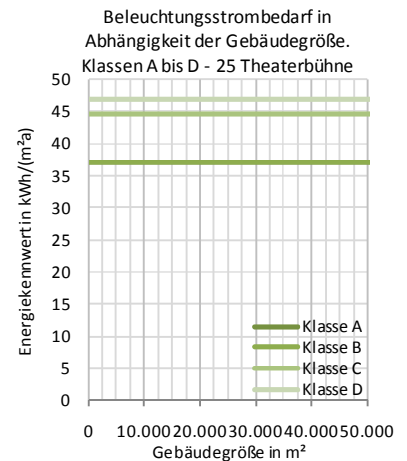
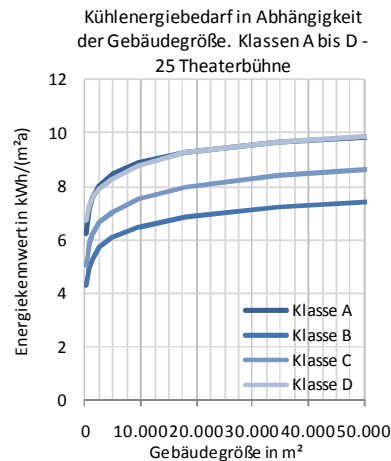
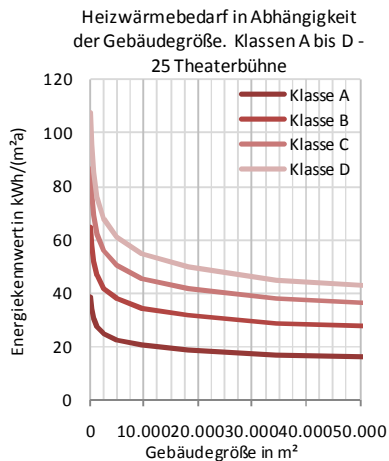


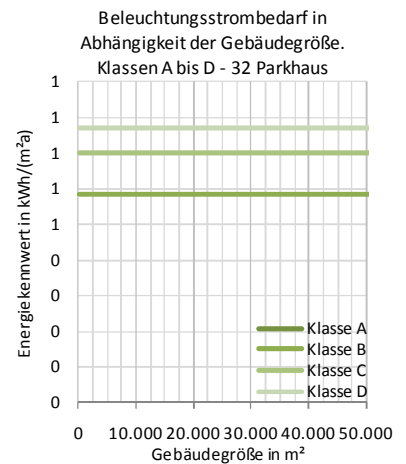
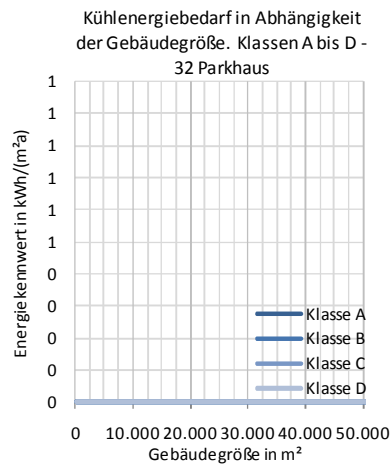
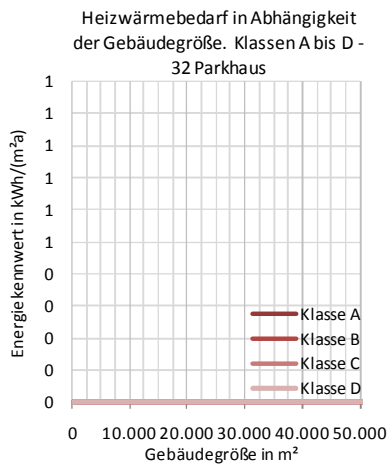
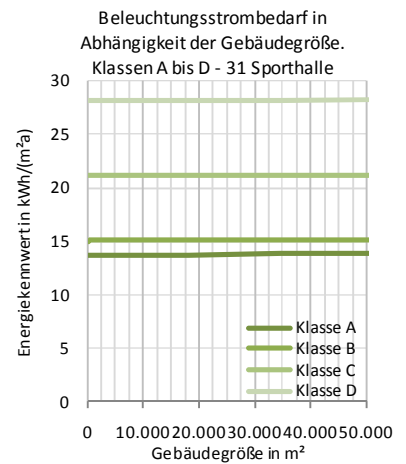
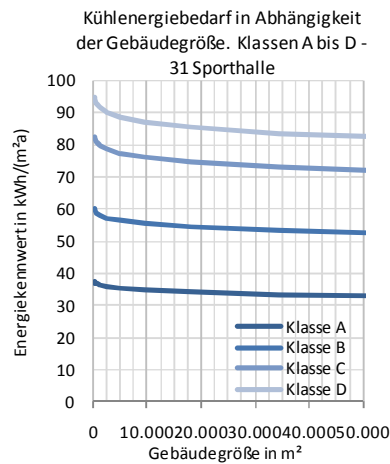
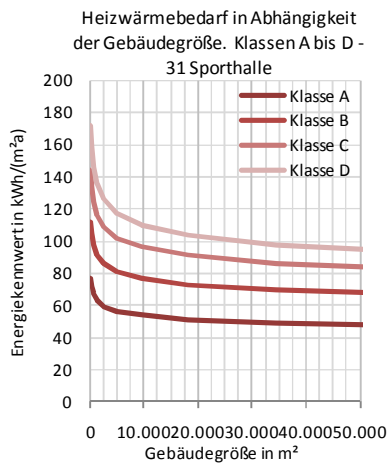
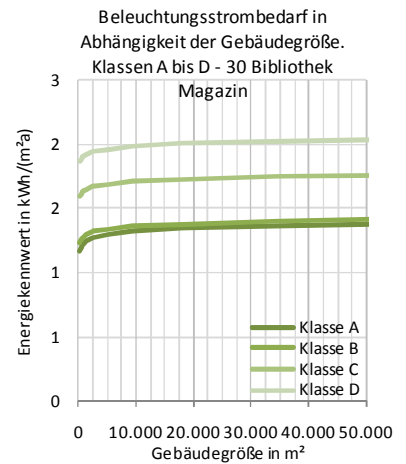
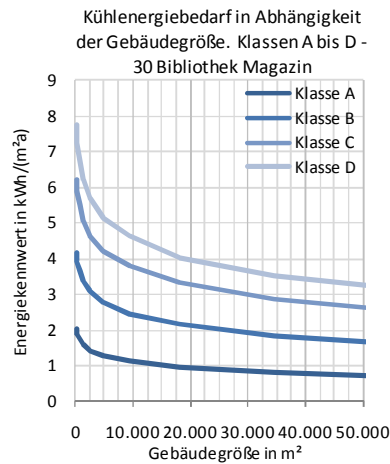
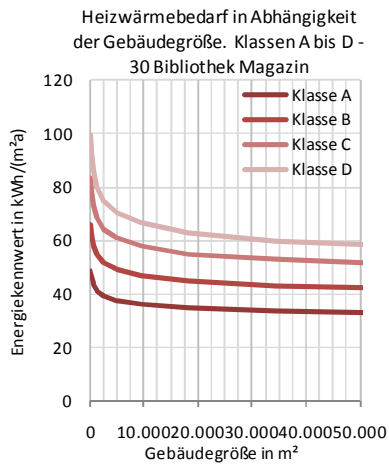
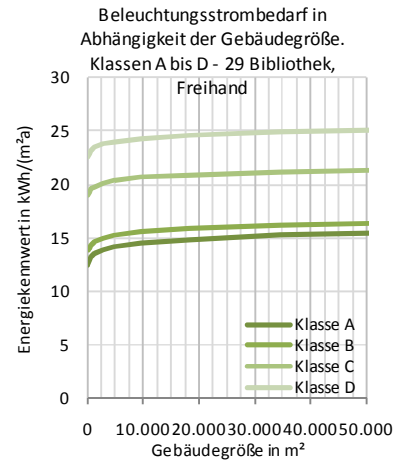
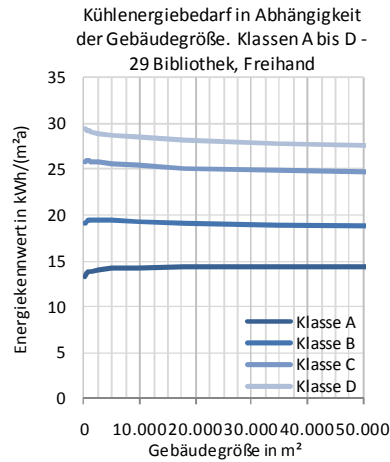
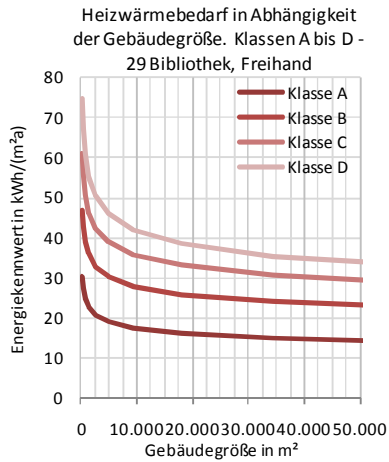












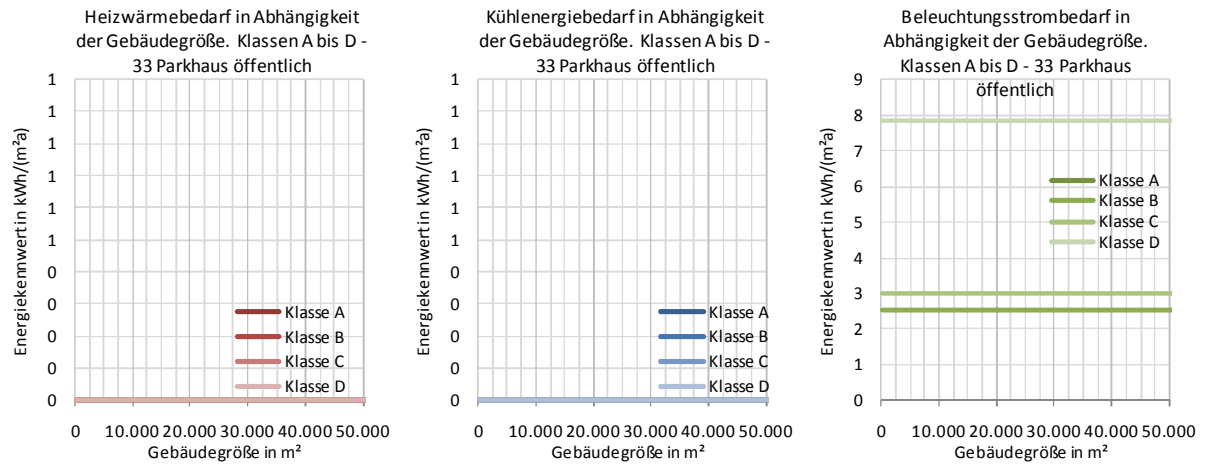


Abbildung 358: Berechnete Energiekennwerte für Heizwärme, Kühlen und Beleuchten nach DIN V 18599 für alle 33 Nutzungsprofile und für jeweils vier Energieklassen.