

Achim Hamann

# Energieeffiziente Nichtwohngebäude

Grundlagen, Beispiele und  
Bilanzierungsansätze nach DIN V 18599



Fraunhofer IRB Verlag

Achim Hamann

Energieeffiziente Nichtwohngebäude



Achim Hamann

# Energieeffiziente Nichtwohngebäude

Grundlagen, Beispiele und Bilanzierungsansätze  
nach DIN V 18599

Fraunhofer IRB Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind  
im Internet über [www.dnb.de](http://www.dnb.de) abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-8167-9768-5  
ISBN (E-Book): 978-3-8167-9840-8

Umschlaggestaltung: Martin Kjer  
Herstellung: Andreas Preising  
Satz: Fotosatz Buck, Kumhausen/Hachelstuhl  
Druck: Bosch-Druck GmbH, Ergolding

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürfen. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© Fraunhofer IRB Verlag, 2017  
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB  
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart  
Telefon +49 711 9 70-25 00  
Telefax +49 711 9 70-25 08  
[irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)  
[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> . . . . .	11
<b>Teil I: Einführung</b>	
<b>1 Einleitung</b> . . . . .	15
<b>2 Historie der Nichtwohngebäude</b> . . . . .	18
2.1 Das vorindustrielle Zeitalter bis heute . . . . .	18
2.2 Das Industriezeitalter und die Moderne . . . . .	21
2.3 Die heutige Dienstleistungsgesellschaft . . . . .	25
2.4 Großflächige Nichtwohngebäude des Handels und Gewerbes. . . . .	27
2.5 Heutige Sanierungsprojekte . . . . .	28
2.6 Zusammenfassung zum Sammelsurium der Gebäudetypen. . . . .	29
<b>3 Von den Anfängen des Wärmeschutzes über KfW bis BIM</b> . . . . .	33
3.1 1929: Die DIN V 4701 . . . . .	34
3.2 1952: Die DIN 4108. . . . .	35
3.3 1977: Die Einführung der Wärmeschutzverordnung . . . . .	38
3.4 1978: Die Einführung der Heizanlagenverordnung . . . . .	40
3.5 2002: Die Geburtsstunde der Energieeinsparverordnung. . . . .	42
3.6 2005: Die Vornorm DIN V 18599 erblickt das Licht der Welt. . . . .	47
3.7 2009: Das Erneuerbare Energien Wärmegesetz, ein Meilenstein. . . . .	50
3.8 2015: Die KfW-Effizienzhausförderung für Nichtwohngebäude . . . . .	53
3.9 2016: Aktuelle Randbedingungen der Bilanzierung. . . . .	55
3.10 Ab 2017: Building Information Modeling und energieeffizientes Bauen .	56
<b>4 Politische Zielsetzungen, Handlungsempfehlungen für die Stadtebene</b> . . . . .	60
4.1 2019: Niedrigstenergiegebäude und klimaneutraler Gebäudebestand .	60
4.2 1990–2050: CO <sub>2</sub> -Reduzierung um 80 bis 90 % und Szenarien . . . . .	61
4.3 2010–2050: Handlungsempfehlungen für die Stadtebene. . . . .	67
4.4 2016: Das »Klima-Profit-Netzwerk« als Instrument zur Modernisierung des Nichtwohngebäudebestands . . . . .	75
4.5 Nach 2016: Übergang auf die Gebäudeebene bzw. zum Effizienzhausstandard . . . . .	76
4.6 Zusammenfassung und Überleitung zu Teil II. . . . .	77
<b>Teil II: Leitfaden</b>	
<b>5 Die wichtigsten Planungsgrundlagen und ihre Einflüsse auf die Bilanzierung</b> . . . . .	79
5.1 Exkurs: Modellgebäude zu Nichtwohngebäudetypen . . . . .	81

5.2	Planungsgrundlage EnEV . . . . .	84
5.2.1	Anrechnung von Strom und Einfluss auf die Bilanzierung . . . . .	84
5.2.2	Die Luftdichtheit und ihr Einfluss auf die Bilanzierung . . . . .	86
5.2.3	Mindestwärmeschutz und Einfluss von Wärmebrücken . . . . .	87
5.2.4	Vergleich: Energetische Verbesserung der Gebäudehülle um 20 % . . . . .	89
5.2.5	Einfluss des Warmwasserbedarfs auf die Bilanzierung . . . . .	90
5.2.6	Die Nettogrundfläche und der Einfluss auf die Bilanzierung . . . . .	91
5.2.7	Das Referenzgebäude, eine zu überwindende Hürde . . . . .	92
5.2.8	Appell zur konsequenten Fortschreibung der Unterlagen im Bauprozess .	93
5.2.9	Die Nutzungsprofile der DIN V 18599 und individuelle Ansätze . . . . .	93
5.2.10	Der Umgang mit Erdberührungen und Bauteilen gegen unbeheizte Räume .	94
5.3	Planungsgrundlage EEWärmeG . . . . .	97
5.4	Planungsgrundlage DIN 4108: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden . . . . .	103
5.4.1	DIN 4108 Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, an Wärmebrücken, an den sommerlichen Wärmeschutz und Anforde- rungen an die Luftdichtheit sowie Rollladenkästen . . . . .	103
5.4.2	DIN 4108 Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweis für Planung und Ausführung . . .	109
5.4.3	DIN 4108 Teil 4: Wärme- und Feuchteschutz, Bemessungswerte . . .	111
5.4.4	DIN V 4108 Teil 6: Sommerlicher Wärmeschutz und Wärmeverlust über das Erdreich . . . . .	112
5.4.5	DIN 4108 Teil 7: Luftdichtheit . . . . .	113
5.4.6	DIN 4108 – Beiblatt 2: Wärmebrücken . . . . .	115
5.5	Anmerkungen zur DIN 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen . . . . .	117
5.6	Planungsgrundlage DIN EN ISO 6946: Bauteile – Wärmedurchlasswi- derstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren .	117
5.7	Grundlagen und Einflüsse auf die Bilanzierung bei Anwendung der DIN EN ISO 13370: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich . . . . .	119
5.8	Anmerkungen zur DIN EN ISO 13788: Wärme- und feuchtetechni- sches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen . . . . .	127
5.9	Grundlagen nach DIN EN ISO 13789: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Spezifischer Transmissions- und Lüftungswärme- durchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren . . . . .	128
5.10	Grundlagen nach DIN EN ISO 13790: Energieeffizienz von Gebäuden – Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung . . . . .	131
5.11	Grundlagen nach DIN EN ISO 10211: Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen . . . . .	133

5.12	Einflüsse auf die Bilanz und Erläuterungen zur Bilanzierung nach DIN V 18599 Teil 1 bis 11: Energetische Bewertung von Gebäuden . . . . .	142
5.12.1	KfW-Anforderungen an ein Effizienzhaus und die Bilanzierung . . . . .	143
5.12.2	Grundlagen nach DIN V 18599-1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung, Bewertung der Energieträger . . . . .	145
5.12.3	Grundlagen nach DIN V 18599-2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen . . . . .	146
5.12.4	Einfluss von Varianten zu Lüftungsanlagen nach DIN V 18599-3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung . . . . .	149
5.12.5	Einfluss von Varianten zur Beleuchtung nach DIN V 18599-4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung . . . . .	154
5.12.6	Einfluss von Varianten zu Heizsystemen und Wärmepumpen nach DIN V 18599-5: Endenergiebedarf von Heizsystemen . . . . .	158
5.12.7	Anmerkungen zur DIN V 18599-6: Endenergiebedarf von Lüftungsanlagen, Luftheizungsanlagen und Kühlsystemen für den Wohnungsbau	170
5.12.8	Einfluss von Lüftungsanlagen in Kombination mit Heizen und Kühlen nach DIN V 18599-7: Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau . . . . .	170
5.12.9	Einfluss der Warmwasserbereitung nach DIN V 18599-8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen . . . . .	184
5.12.10	Einfluss von Blockheizkraftwerken nach DIN V 18599-9: End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen . . . . .	188
5.12.11	Erläuterungen zur DIN V 18599-10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten . . . . .	190
5.12.12	Erläuterungen zur DIN V 18599-11: Gebäudeautomation . . . . .	191
5.12.13	Anmerkungen zu DIN V 18599 Beiblatt 1: Bedarfs-/Verbrauchsabgleich	194
5.12.14	Anmerkungen zu DIN V 18599 Beiblatt 2: Beschreibung zu Kennwerten bei Nachweisen zum EEGärmeG . . . . .	194
5.13	Zusammenfassung und Überleitung zu Beispielen . . . . .	195
<b>6</b>	<b>Umsetzen des KfW-Effizienzhaus-Standards an Beispielen . . . . .</b>	<b>196</b>
6.1	Allgemeines . . . . .	196
6.2	Das Bürogebäude . . . . .	197
6.2.1	Allgemeine Gebäudebeschreibung . . . . .	197
6.2.2	Beschreibung der Gebäudehülle des Bürogebäudes . . . . .	198
6.2.3	Beschreibung der Gebäudetechnik des Bürogebäudes . . . . .	202
6.2.4	Ergebnisse . . . . .	203
6.3	Das Hotel mit Gastronomie . . . . .	205
6.3.1	Allgemeine Gebäudebeschreibung und Einteilung in Zonen . . . . .	205
6.3.2	Beschreibung der Gebäudehülle des Hotels . . . . .	205
6.3.3	Beschreibung der Gebäudetechnik des Hotels . . . . .	206

6.3.4	Ergebnisse . . . . .	207
6.4	Das Produktionsgebäude mit Verwaltung. . . . .	209
6.4.1	Allgemeine Gebäudebeschreibung und Einteilung in Zonen . . . . .	209
6.4.2	Beschreibung der Gebäudehülle des Produktionsgebäudes . . . . .	210
6.4.3	Beschreibung der Gebäudetechnik des Produktionsgebäudes . . . . .	212
6.4.4	Ergebnisse . . . . .	215
6.5	Großflächige Handelsgebäude: 17 °C Innenraumtemperatur, keine Kühlprodukte . . . . .	217
6.5.1	Allgemeine Gebäudebeschreibung und Einteilung in Zonen . . . . .	217
6.5.2	Beschreibung der Gebäudehülle. . . . .	218
6.5.3	Beschreibung der Gebäudetechnik . . . . .	219
6.5.4	Ergebnisse . . . . .	220
6.6	Großflächige Handelsgebäude: 21 °C Innenraumtemperatur, mit Kühlprodukte . . . . .	221
6.6.1	Allgemeine Gebäudebeschreibung und Einteilung in Zonen . . . . .	221
6.6.2	Beschreibung der Gebäudehülle. . . . .	222
6.6.3	Beschreibung der Gebäudetechnik . . . . .	223
6.6.4	Ergebnisse . . . . .	224
6.7	Die Logistik- und Gewerbehalle mit Verwaltung . . . . .	226
6.7.1	Allgemeine Gebäudebeschreibung und Einteilung in Zonen . . . . .	226
6.7.2	Beschreibung der Gebäudehülle. . . . .	227
6.7.3	Beschreibung der Gebäudetechnik . . . . .	227
6.7.4	Ergebnisse . . . . .	230
6.8	Zusammenfassung und Überleitung zu Teil III . . . . .	231
<b>Teil III: Immobilienökonomie und sonstige Trends mit Blick auf einen nachhaltigen Nichtwohngebäudebestand</b>		
7	<b>Modellansatz zur Abschätzung des Investitionsvolumens auf der städtischen Ebene zur energetischen Modernisierung des Nicht- wohngebäudebestands . . . . .</b>	233
7.1	Allgemeines . . . . .	233
7.2	Ausgangssituation. . . . .	234
7.3	Stand der Forschung . . . . .	235
7.4	Vorgehensweise und Zielsetzung am Beispiel Wuppertal-Vohwinkel . . . . .	236
7.5	Methodische Vorgehensweise beim Modellieren des Bestands . . . . .	238
7.6	Beschreibung des Modellansatzes für die Stadtteilebene . . . . .	245
7.7	Ergebnisse bei Anwendung des Modells auf einen Stadtteil und die Hochrechnung auf StadtEbene am Beispiel Wuppertal. . . . .	247
7.8	CO <sub>2</sub> -Szenarien bis zum Jahr 2050. . . . .	252
7.9	Nutzen für immobilienökonomische Betrachtungen. . . . .	255

---

7.10	Notwendiges Investitionsvolumen am Beispiel von Wuppertal-Vohwinkel bis 2020 . . . . .	256
<b>8</b>	<b>Trends und zukunftsfähige Lösungsansätze . . . . .</b>	<b>267</b>
8.1	Virtuelle Kraftwerke und Energiespeicher in Gebäuden . . . . .	268
8.2	Weitere geothermische Möglichkeiten. . . . .	270
8.3	Power to Gas . . . . .	272
8.4	Bauteile aus PCM – Phase Change Materials . . . . .	272
8.5	Sonstige Bilanzierungsansätze zu nachhaltigen Gebäuden . . . . .	273
8.6	Smart City . . . . .	274
<b>Teil IV: Ausblick</b>		
	<b>Abbildungsverzeichnis . . . . .</b>	<b>279</b>
	<b>Tabellenverzeichnis . . . . .</b>	<b>282</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis. . . . .</b>	<b>283</b>
	<b>Quellenverzeichnis . . . . .</b>	<b>287</b>
	<b>Liste der Normen bzw. Grundlagen im Teil »Leitfaden« . . . . .</b>	<b>292</b>
	<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>295</b>



## Vorwort

Die Transformation des Nichtwohngebäudebestands hat begonnen. Der Übergang zu einem nachhaltigen Gebäudebestand auf der Stadtebene kann nur durch drei Strategieansätze erfolgreich gelingen. Effizienz (besser), Konsistenz (anders) und Suffizienz (weniger) ist gefragt. Auf diese Ansätze bzw. auf die Grundlagen und ihre Wirkungsanteile beim Umbau des Nichtwohngebäudebestands gehe ich im Buch noch näher ein.

Auf der hier im Fokus stehenden Gebäudeebene sind die Effizienz- und die Konsistenz-Strategie relevant. Vereinfacht ausgedrückt: Der Energieverbrauch ist zu senken und die erneuerbaren Energieanteile sind zu steigern.

Das Buch soll daher auf der Gebäudeebene dazu beitragen, den zukünftigen Energieverbrauch zu senken und eine energieeffiziente Gebäudeplanung erfolgreich durchzuführen. Ebenso soll die Bewusstseinsbildung bei den verantwortlichen und mitwirkenden Akteuren unterstützt werden.

Für die Verantwortlichen auf der Gebäudeebene nutze ich gerne den allgemeinen Begriff »Planer«, wenn ich technische Akteure rund um den Nichtwohngebäudektor ansprechen möchte. Gemeint sind Architekten, Ingenieure der Gebäudeausrüstung, Bauingenieure als Objektplaner, Tragwerksplaner, Bauleiter, Kalkulatoren und Baubetriebler, Bauphysiker, Energieberater, aber auch Stadtplaner, Facility Manager, Wirtschaftsingenieure, Projektmanager, Fachleute mit Abschlüssen im Holzingenieurwesen, Bauerhaltung, Gebäude- und Immobilienmanagement, Immobilienökonomie, Baumanagement, Green Building und in der Energie- sowie Versorgungstechnik.

Die Auflistung könnte so weiter gehen, was verdeutlichen soll, dass der klassische akademische Ausbildungsweg zum Architekten oder Bauingenieur die Lebenswelt heute nicht mehr ausreichend beschreibt. Viele Disziplinen und Ausbildungen bringen insgesamt die modernen »Planer« hervor, mit spezialisierten Fachausrichtungen und Kenntnissen.

Für mich persönlich gilt jedoch immer noch, dass idealerweise ein Verantwortlicher benannt werden kann, unabhängig von der akademischen Grundausrichtung, der das Projekt zum Erfolg führt. Dieser muss rund um die Immobilie ein interdisziplinäres Know-how haben und den heutigen Ansprüchen gerecht werden. Dabei kann er sich durchaus zuarbeiten lassen. Der Verantwortliche im Hochbau wird in der Regel immer noch als Architekt bezeichnet. Dass eine Gesamtverantwortung notwendig ist, lässt sich auch nach wie vor durch das Prinzip der gesamtschuldnerischen Haftung des »Planers« verdeutlichen.

Die obige Auflistung der am Bau Beteiligten zeigt, dass der Architekt bei der Projektentwicklung, je nach Projektstruktur, heute nur eine Teilleistung beisteuert, zum Beispiel bei der allgemeinen Entwurfsgestaltung. Bei vielen Bauvorhaben wird der Architekt je nach Vergabemodus (Generalunternehmer usw.) lediglich mit der erwähnten Teilleistung beauftragt. Wer ist also bei solchen Konstellationen der Gesamtverantwortliche für die Planung und Ausführung, und wer behält die komplexen Wechselwirkungen im Blick? Wer reagiert erfolgs- und zielorientiert für das Projekt bzw. für den Bauherrn auf unvorhersagbare Einflüsse, die beim Bau infolge der Komplexität und steigenden Anforderungen weiter zunehmen?

In unserem Planungsbüro für Architektur und Bauingenieurwesen leisten wir eine große Bandbreite, die für den Planungs- und Bauprozess eines Gebäudes notwendig ist und stellen damit den von mir bezeichneten »Verantwortlichen« dar. Wir fühlen uns gesamtverantwortlich im Sinne des Projektes. Insbesondere aus technischer und wirtschaftlicher Sicht. Von daher bin ich vorgeprägt und finde mich noch nicht wirklich in dem Angebot vielzähliger Ausbildungsmöglichkeiten zurecht, die am Ende möglicherweise viele Spezialisten hervorbringen, aber keinen »Verantwortlichen«.

Dies soll keine Kritik sein, sondern eher zum Nachdenken anregen, wie die Komplexität am Bau zukünftig im Sinne der Gebäude und ihrer Eigentümer sowie Nutzer organisiert werden kann.

Der listengeführte Bauvorlageberechtigte hat eine bauordnungsrechtliche und sowie-so eine werkvertragliche Verantwortung. Listengeführte werden in aller Regel von Architekten und Bauingenieuren repräsentiert. Wie kann in Zukunft die Mitwirkung einer Vielzahl von Beteiligten und Fachplanern mit unterschiedlichen Ausbildungsschwerpunkten im Sinne der werkvertraglichen und projektspezifischen Verantwortung organisiert werden?

Diese Frage ist von Bedeutung, da nach dem jetzigen Trend die werkvertraglichen Hauptverantwortlichen unter Berücksichtigung der Komplexität und der Mitwirkenden unverhältnismäßig oder auch zu Unrecht die gesamtschuldnerische oder auch teilschuldnerische Verantwortung tragen.

Mit Blick auf die politischen und städtebaulichen Ziele sowie die Vielzahl von Bauprodukten sind auch hier Verantwortliche zu finden. Auch diese Akteure tragen eine gewisse Verantwortung dem Planungs- und Bauprozess gegenüber, da die Kunst der Gesetzgebung und die Einfachheit der Normengestaltung mit einer leicht verständlichen Sprache ein Stück weit verloren gingen. Dazu überfluteten Bauprodukte den Markt, sodass ein Überblick und ein Abgleich mit »zugelassenen Bauprodukten« für die Verantwortlichen und Handwerker in der Praxis nur noch sehr schwierig möglich ist. Langzeiterfahrungen liegen ebenso wenig vor.

Das Buch soll von daher auch dazu beitragen das Verständnis und das Know-how im Teilbereich der energieeffizienten Gebäudeplanung bei Nichtwohngebäuden zu erhöhen, damit die Planung und Umsetzung für jeden erfolgreich verläuft.

Der Planer muss die energieeffiziente Teilplanungsaufgabe rechtzeitig in den gesamten Planungsablauf integrieren – hausintern oder durch externe Fachplaner. Dies ist auch für ihn nur dann wiederum effizient möglich, wenn der Planungsbeitrag wertgeschätzt wird, rechtzeitig erfolgt und integral in Abstimmung mit der Tragwerksplanung und der Gebäudetechnik durchgeführt wird.

Viele Umplanungen und sich wiederholende Tätigkeiten können dann entfallen. Auch dies ist eine energieeffiziente Vorgehensweise, gerade unter Berücksichtigung des Kosten- und Termindrucks am Bau sowie mit Blick auf die Vermeidung von Fehlern und Mängeln.

Integrale, kommunikative und kooperative Planungs- und Bauprozesse liegen mir insbesondere auch als Lehrbeauftragter für Projektmanagement in der Bau- und Immobilienwirtschaft an der Hochschule Mainz (Bauingenieurwesen/Gebäude- und Immobilienmanagement) am Herzen.

Das Buch soll zusätzlich Stadtplaner, Klimaschutzbeauftragte und politische Akteure ansprechen, die sich nicht in der Tiefe mit der konkreten Gebäudeebene beschäftigen. Für diese Interessierten werden rund um die Nichtwohngebäude bzw. den Nichtwohngebäudebestand die Umsetzung politischer Ziele, Handlungsempfehlungen, Investitionskostenbetrachtungen und wissenswerte Trends aufbereitet.

Ich wünsche allen Planern, Projektbeteiligten und Akteuren eine energieeffiziente und agile Projektbearbeitung sowie erfolgreiche Beteiligung bei der Transformation des Nichtwohngebäudebestandes, und dass das Buch uns allen einen Nutzen bringt.

Ihr Dr.-Ing. Achim Hamann, Roxheim bei Bad Kreuznach, Juni 2016

*Gebäude, die klimaneutral existieren,  
sind als zukunftsfähig zu honorieren.*

*Nicht länger richtungsblind,  
denn Suffizienz gewinnt.*

*Ressourcen effizienter nutzen,  
die Umwelt weniger verschmutzen.*

*Die Wirtschaft kann florieren,  
ohne Gletschereis zu verlieren.*

*Kerstin Hamann*



# Teil I: Einführung

## 1 Einleitung

Die Bezeichnung »Effizienzhaus« wurde durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) geprägt.

Er ist kein bauordnungsrechtlicher Begriff, hat jedoch inzwischen einen unwiderruflichen Einzug ins Vokabular der Fachwelt und bei Immobiliennutzern gefunden. Selbst der Qualifikationsstatus der Fachleute richtet sich an diesem Begriff aus. Erst nach Erfüllung von zusätzlichen Qualifikationsvoraussetzungen wird der »Energieeffizienz-Experte« gelistet. Nur der Listeneingetragene darf sich so nennen und Unterlagen zu den Förderprogrammen des Bundes erstellen.

Bei Wohngebäuden dreht sich bereits seit Jahren alles um einen Effizienzhaus-Standard mit dem Ziel Gebäude energieeffizienter zu machen und für Bauwillige Förderanträge für Neubauten oder Sanierungsmaßnahmen stellen zu können. Welche Berechnungsmethoden und welches Fachwissen zu einem Effizienzhaus führen, ist den Antragstellern in der Regel einerlei. Im Ergebnis sollen Fördermittel bzw. günstige Darlehen fließen.

Dem Fachmann bleiben die Differenzierung und das Know-how zu den unterschiedlichen Effizienzhaus-Standards vorbehalten. Meine Erfahrungen haben mir gezeigt, dass das Interesse an der Umsetzung eines qualitativ hochwertigen Effizienzhaus-Standards bei Wohngebäuden durch die Beratungen erst geweckt werden muss.

Oftmals reicht dem Antragsteller beispielweise beim Neubau ein KfW-70-Effizienzhaus-Standard. Welche weiteren Maßnahmen, ob nur als rechnerische, detailliertere Betrachtungen oder bauliche Maßnahmen beispielsweise zum KfW-55-Effizienzhaus führen, kommen oftmals im Planungsprozess nicht zum Ansatz. Dadurch wird die Chance auf eine verbesserte Fördermittelausnutzung und eine energieeffizientere Gebäudequalität vertan, ohne relevante Mehrkosten zu verursachen.

Werden Statistiken betrachtet, kann dies belegt werden. Im Neubaubereich können etwa 80 % der Anträge einem KfW-70-Effizienzhaus zugeordnet werden, was im Grunde nur das Mindestziel beim Neubau darstellt und inzwischen dem Neubau-Standard entspricht. Lediglich rund 20 % der Neubauobjekte beziehen sich auf einen höheren Standard, den KfW-55- bzw. KfW-40-Effizienzhaus-Standard.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> vgl. IWU Darmstadt, Fraunhofer IFAM, 2013, S. 52, Tabelle 27

Im Wohnungssanierungsbereich stellen nur 16 % der Antragsteller einen Förderantrag zu einem Effizienzhaus-Standard, wobei davon wiederum nur ein sehr geringer Anteil hochwertige Effizienzhäuser hervorbringt. Demgegenüber beziehen sich jedoch 84 % der Anträge lediglich auf Einzelmaßnahmen und nicht auf eine Gesamtbetrachtung.<sup>2</sup>

Dies zeigt, dass noch viel Potenzial im Umgang mit planerischen und rechnerischen Lösungen zu einem qualitativ hochwertigen Effizienzhaus-Standard sowie bei der Umsetzung besteht.

Der Leitfaden im Buch soll helfen einen Effizienzhaus-Standard bei Nichtwohngebäuden zu erreichen und gleichzeitig den zuvor skizzierten bisherigen Entwicklungen bei den Wohngebäuden im Bereich der Nichtwohngebäude entgegenzuwirken, sprich das Potenzial zu nutzen.

Die Förderung von Nichtwohngebäuden wird erst seit dem 01.07.2015<sup>3</sup> durch die KfW (Programm 276/277/278) begünstigt. Somit sind nunmehr auch Nichtwohngebäude-Effizienzhäuser ins Leben gerufen worden. Dies erfolgte im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWI) und soll nun endlich auch die energetische Sanierung und den energieeffizienten Neubau im Nichtwohngebäudesektor beflügeln.<sup>4</sup>

Auf Grund der anvisierten politischen Klimaschutzziele bis zum Jahr 2050 und dem angestrebten klimaneutralen Gebäudebestand, wird es für diese Maßnahme »aller höchste Eisenbahn«, da die beheizten Nichtwohngebäude bisher bei den Betrachtungen stark vernachlässigt wurden.

Und das, obwohl diese bundesweit im Raumwärmebereich einen Anteil an den Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-Emissionen von etwa 42 % verursachen und im Jahr rund 105 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> durch die Beheizung der Nichtwohngebäude emittiert werden. Im Vergleich werden durch ihre Beheizung der Wohngebäude etwa 142 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> im Jahr ausgestoßen (Stand 2010).<sup>5</sup>

Dieser Leitfaden stellt zunächst einleitend in Teil I die Historie der Nichtwohngebäude in groben Zügen dar und beschäftigt sich dann zur allgemeinen Aufarbeitung mit der historischen Entwicklung der Anforderungen an den Wärmeschutz. Dabei werden aktuelle Entwicklungen zu Building Information Modeling, zwecks Verbesserung der Projektarbeit, mit betrachtet.

---

2 vgl. IWU Darmstadt, Fraunhofer IFAM, 2013, S. 14, Tabelle 5

3 vgl. KfW-Bank, 2015

4 vgl. KfW-Bank, 2015

5 vgl. Hamann Achim, 2014, Anhang, S. 74

Anschließend wird die Vielfältigkeit der Nichtwohngebäude und ihre Nutzungen vorgestellt und die politischen Klimaschutzziele vertieft, bei denen insbesondere auch die Nichtwohngebäude ihren Anteil leisten müssen. Dieses Kapitel soll den Leser gedanklich von der Gebäudeebene auf die Betrachtungen zur Stadtbene führen, damit der notwendige Handlungsfahrplan auf der Gebäudeebene erkannt wird.

In Teil II folgt der eigentliche Leitfaden. Es wird auf die wesentlichen, aktuellen Anforderungen, die bei den Berechnungen und Planungen zu einem Effizienzhaus zu beachten sind, eingegangen.

Der Leitfaden zeigt die relevanten Bereiche mit Bezug zur Gebäudehülle und Gebäudetechnik, die Vorgehensweise sowie Wechselwirkungen und Optimierungsmöglichkeiten bei der energetischen Bilanzierung von Nichtwohngebäuden auf. Insbesondere ist es für die beteiligten Planer wichtig zu wissen, wie mit den vielen Parametern und Vorgaben auf Grund der Anforderungen im Sinne der Berechnungsgrundlagen umzugehen ist. Beispielsweise werden Wärmebrückeberechnungen und deren Einfluss auf die Bilanzierung aufgezeigt.

Wie führen all diese Zusammenhänge zu einem Nichtwohngebäude-Effizienzhaus?

Zur Beantwortung dieser Frage werden Beispiele zu sechs unterschiedlichen Nichtwohngebäudetypen dargestellt, die die Vorgehensweise zum Erreichen eines Effizienzhaus-Standards verdeutlichen und den Planern Hilfestellungen liefern soll.

Der Leitfaden ersetzt nicht die Auseinandersetzung mit den Anforderungen und soll auch diese nicht umfänglich im Sinne von »copy and paste« darstellen. Der Leitfaden soll eher einen Überblick zu den wirkenden Parametern und deren Einflüssen geben. Ziel soll es sein, dass sich die Planer bzw. Beteiligten mit der Optimierung der Bilanzierung nach den derzeitigen Ansätzen und der Nachhaltigkeit von beheizten Nichtwohngebäuden beschäftigen.

In Teil III wird ein Blick auf die Immobilienökonomie in Bezug auf Bestandsmodellierung und Abschätzung von Investitionskosten zu Nichtwohngebäuden gewagt. Dies soll den Blick des Lesers wiederum auf die Stadtbene lenken und eine ganzheitliche Betrachtung anregen. Kommunen und Klimaschutzbeauftragte können mit der aufgezeigten Vorgehensweise Abschätzungen zu dem in der Regel unbekannten Nichtwohngebäudebestand durchführen. Hierdurch können wertvolle Daten für die Finanzwirtschaft, die Politik und somit auch für die gesamte Gesellschaft oder Volkswirtschaft auf einfachem Wege gewonnen werden.

Mit einigen abschließenden Trends wird die Thematik abgerundet und der Wärme- sowie Strommarkt verknüpft. Zukünftig wird kein Strommarkt ohne die Integration des Wärmemarktes und somit der Gebäude in den komplexer werdenden Systemen

sinnvoll zu betreiben sein. Die elektrische Energie (zum großen Teil aus erneuerbaren Energien) wird in Gebäuden in Form von Wärme oder Kälte gespeichert.

In Teil IV wird im Rahmen eines Ausblicks bzw. Fazits versucht die Notwendigkeit einer nachhaltigen Betrachtung auf der Gebäudeebene nochmals zu verdeutlichen, da ein Gebäude ein langlebiges Wirtschaftsgut ist und einmal gebaut für Jahrzehnte keine relevanten Veränderungen mehr möglich sind. Diese Veränderungen werden jedoch heute gebraucht, damit ein zukunftsweisender Weg eingeschlagen wird. Die KfW-Förderung zu Nichtwohngebäuden ist ein erster Ansatz.

## 2 Historie der Nichtwohngebäude

Beim Versuch sich den Nichtwohngebäuden historisch zu nähern, muss zunächst die Differenzierung »beheizt« oder »unbeheizt« unberücksichtigt bleiben. Aus heutiger Sicht interessieren uns mit Blick auf eine energieeffiziente Bau- und Betriebsweise die beheizten Gebäudetypen. Heizen konnten die Menschen früher nur mit Holz und unter Nutzung von thermalen Quellen. Erst das Industriezeitalter hat vieles verändert.

### 2.1 Das vorindustrielle Zeitalter bis heute

Betrachtet man die Entwicklung der Menschen in Bezug zur europäischen Baukunst von der Antike bis zur Gegenwart, sind als erstes die Sakralbauten zu nennen. Die Tempel der Antike waren offen gestaltet und zwangsläufig unbeheizt. Eventuell waren einzelne, heute sagen wir dezentrale Feuerstellen vorhanden. Dies kennen wir zumindest von Burgen und Schlössern. Später entstanden Kirchen und Kathedralen.

Die römische Basilika wurde als überdachter Marktplatz und später als Gerichtsgebäude genutzt. Der Markt war von zentraler Bedeutung. Bei allen Völkern hatte der Handel eine fundamentale wirtschaftliche Bedeutung. Neben der Infrastruktur mussten Bauten geschaffen werden, damit die Ware den Endkunden angeboten werden konnte. Das Forum Traianum in Rom beherbergte etwa 150 Geschäfte und Werkstätten.<sup>6</sup>

Das Stadtbild der Antike wurde ergänzt durch Gebäudetypen wie Stoa (Lehrgebäude), Theater, Gymnasium, Altar und Bibliothek. Dabei kam bereits der Stockwerksbau zum Einsatz. In späteren Jahrhunderten entstanden römische und gotische Baustile. Zentral- und Saalbauten werden unterschieden. Die Germanen kannten lediglich die Holzbauweise. Steinbauten entstanden dort erst ab dem 5. Jahrhundert. Germanien

---

<sup>6</sup> vgl. Bussagli, Marco, 2004, S. 47, 72

hatte im Mittelalter keine städtebauliche Tradition. Der Adel nutzte Burgen und ländliche Höfe. Könige und Kaiser zogen von Pfalz zu Pfalz ohne festen Wohnsitz.<sup>7</sup>

Als die Stadtbevölkerung zunahm und der Handel ein Wachstum erfuhr, wurden auch vermehrt Verwaltungsgebäude (Rathaus) und Märkte notwendig. Der Markt umfasste einen freien Platz mit umlaufenden Läden, Speichern, Kaufhäusern oder branchen-spezifischen Ansiedlungen. Natürlich entstanden auch die Stadthäuser mit einer Mischnutzung von Wohnen, Werkstatt oder Laden in einem Gebäude. Weiterhin sind die Gilde- und Zunftgebäude mit beispielsweise Zunftstube, Trinkstube und Verwaltungsräumen zu nennen. Der örtliche Bedarf wurde im Schuhhaus, im Kornhaus, in der Brotbank und der Fleischhalle gedeckt. Zurückgehend auf Klosterschulen entstanden Universitäten. Krankenhäuser und Altersheime gab es in der Stadt oder im Kloster und waren oft eine Stiftung reicher Zünfte oder Bürger. Dorfanlagen wuchsen durch Zuzug von Handel und Gewerbe schnell an.<sup>8</sup>

Auch in dieser Zeit waren das städtebauliche Bild und die Stadterweiterung unter anderem bereits vom Wirtschaftsbau geprägt. Während der Renaissance und des Barocks sollten Idealstädte entstehen. Neue Bautypen für Verwaltung, das Gericht, für das Berufsheer mit Kaserne, Stallungen und Zeughaus entstanden.<sup>9</sup>

Später im 19. Jahrhundert fand der neugotische Stil gegen den Trend des Klassizismus beispielsweise beim Parlament in London (Houses of Parliament) wieder Beachtung<sup>10</sup>, eines der weltweit bekanntesten Nichtwohngebäude neben dem Louvre in Paris und dem Reichstagsgebäude in Berlin. Natürlich sind auch die ehemaligen Zwillingstürme von New York, der mischgenutzte Burj Khalifa in Dubai als das höchste Gebäude der Welt oder das Opernhaus in Sydney, welches zeitweise als das futuristischste Gebäude der Welt<sup>11</sup> galt, als international bekannte Nichtwohngebäude mit Nichtwohnnutzung zu nennen. Viele andere könnten ergänzt werden, um die Berühmtheit und den gesellschaftlichen Stellenwert von beheizten Nichtwohngebäuden herauszustellen. Abbildung 1 zeigt Beispiele zu den erwähnten Bauwerken.

7 vgl. Koch, Wilfried, 2003, S. 25 f., 44, 56, 394

8 vgl. Koch Wilfried, 2003, S. 340, 347, 351, 357–359, 396

9 vgl. Koch Wilfried, 2003, S. 404 f.

10 vgl. Bussagli Marco, 2004, S. 330 f.

11 vgl. Bussagli Marco, 2004, S. 358



**Abbildung 1:** Berühmte Nichtwohngebäude (teils mit Mischnutzung) heute [Fotos: Achim Hamann]

Der Louvre erhielt in den 80er Jahren die bekannte Glaspypyramide, flankiert von zwei kleineren. Damit wurde der chinesische Architekt weltberühmt. Ein Vergleich sagt aus, dass nur die Spitze des Eisberges oberirdisch erkennbar ist. Der wichtigere Teil des heutigen Museums liegt unter der Erde.<sup>12</sup>

Am Beispiel des Louvre können viele Baustile und Nutzungen von der mittelalterlichen Burganlage über eine Königsresidenz oder eine militärische Nutzung bis hin zum größten Museum der Welt in der Gegenwart aufgezeigt werden. Das Beispiel soll aufzeigen, dass die Nichtwohngebäude der Vergangenheit diverse Epochen wie die Romanik, die Gotik, die Renaissance, den Barock, den Klassizismus und den Historismus erlebten, wobei sich je nach Region (zum Beispiel Frankreich, England, Italien) die Baukunst unterschiedlich entwickelte.

Mit einem abschließenden Beispiel springen wir, bevor das Zeitalter der Industrialisierung umrissen wird, in die heutige Zeit und zur gebauten Nichtwohngebäudenachhaltigkeit. Gemeint ist das Bundesumweltministerium in Berlin. Es wird als ökologisches Musterhaus bezeichnet. Der Neubauteil sollte den Passivhausstandard erreichen. Im Sinne des Energiemanagements kommen Technologien wie die Brennstoffzelle, Photovoltaik, Fernwärme und -kälte, Geothermie und die Abwasserwärmennutzung zum Einsatz.<sup>13</sup>

12 vgl. Bussagli Marco, 2004, S. 364

13 vgl. BMU, 2011, S. 10-14

## 2.2 Das Industriezeitalter und die Moderne

Wir bewegen uns nun auf unserer kleinen Zeitreise in Richtung der Moderne. In Zentraleuropa repräsentieren die Bauten aus dem Industriezeitalter das, was wir heute kennen. Das Vorindustrielle ist dagegen bis auf Sakralbauten klein in allen Verhältnissen. Das vorindustrielle Wirtschaften ist heute nicht mehr sichtbar. Dazu kommt, dass die mittlere Standzeit von Bauten stetig zurückgeht. »Je jünger ein Baubestand, desto geringer seine Aussicht auf Überleben.«<sup>14</sup> War die erste Phase der Industrialisierung noch vom Historismus geprägt, verursacht heute die vorherrschende Entwicklung im Bauwesen ein Vielfaches an Stoffumsatz und der Trend geht noch weiter. Auch der Industrialisierungsprozess als solcher ist global gesehen längst nicht abgeschlossen. Mancherorts wird dagegen von postindustriellen Gesellschaften gesprochen, in der sich die Umlaufzyklen verkürzt haben.<sup>15</sup>

Zurück zu vorindustriellen Jahrzehnten. In dieser Zeit wuchs die Wirtschaft nur langsam und das Gewerbe war handwerklich und heimgewerblich organisiert. Nach Beendigung der Feudal- und Zunftordnung und Schaffung von Gewerbe- und Niederlassungsfreiheit sowie einer verbesserten Rechtssicherheit wuchsen die privatwirtschaftlichen Initiativen an. Der Eisenbahnbau ab etwa 1840 beschleunigte die Prozesse und zog den Maschinenbau und die Stahlproduktion mit. Das Gewerbe wurde vielfach durch Großbetriebe ersetzt. Es folgte eine sprunghafte Entwicklung. Auch das Bauwesen musste sich an diese Herausforderungen anpassen. Es entstanden neue Tätigkeitsfelder, wie der Bereich der Energieversorgung und der Infrastruktur. Gleichzeitig mussten großvolumige Bauleistungen erbracht werden, wodurch industriell hergestellte Bauprodukte zum Einsatz kamen. Parallel entstanden die notwendigen Transportwege und der Versandhandel. In einer Phase der Hochindustrialisierung verlor die Textilindustrie im Vergleich zur Elektroindustrie und zur Chemischen Industrie an Bedeutung. Weiterhin etablierte sich die Automobilindustrie. Das Bauwesen beschäftigte sich mit veränderten Bauaufgaben, beispielsweise zu Ministerien, Warenhäusern, Universitäten oder Krankenhäusern. Beton kam zunehmend mehr zum Einsatz. Im Weiteren war der Prozess auch von den Weltkriegen, der Rüstungsindustrie und dem Wiederaufbau geprägt.<sup>16</sup>

Ab etwa 1900 wird von der Epoche der »Moderne« gesprochen.

Moderne Bauformen fanden sich für Angehörige einer Maschinenfabrik zum Beispiel bei einem Gasthaus in der Gartenvorstadt Werderau bei Nürnberg oder am Beispiel des Geschäftshauses B. G. Teubner in Leipzig wieder.<sup>17</sup> Diese Bauten sind in alten,

14 vgl. Hassler Uta; Kohler Niklaus, 2004, S. 7

15 vgl. Hassler Uta; Kohler Niklaus, 2004, S. 6–8, 13f.

16 vgl. Hassler Uta; Kohler Niklaus, 2004, S. 16–18

17 vgl. Moderne Baukunst, 1909, Heft 2, S. 313 und 350 sowie S. 66–67

hier zitierten Veröffentlichungen, bildhaft und mit vielen Zeichnungen abgebildet. Genauso fühlte ich mich bei der Recherche inspiriert vom Volkshaus in Bern, dem Hamburger Kontorhaus »Klosterhof«, einem Entwurf für eine Netzfabrik in Itzehoe und von Entwürfen bzw. Wettbewerbsentwürfen für eine Schule in Arnstadt, einem Kurhaus und vom Haus der Dresdener Kaufmannschaft mit Handelsschule.<sup>18</sup>

Mit dem Lehrbuch »Bauentwurfslehre« von Ernst Neufert wurden seit 1936 viele Kenntnisse zum Entwurf diverser Nichtwohngebäudetypen veröffentlicht. Ich selbst besitze eine frühe Ausgabe aus dem Jahr 1938<sup>19</sup> und aus dem Jahr 1962<sup>20</sup>. Im Vergleich zur heutigen Zeit hat sich bei den Nichtwohngebäuden nichts Wesentliches verändert. Folgende Hauptnutzungstypen werden im Sinne der Gebäudekunde (beheizte Nichtwohngebäude) in den Lehrbüchern beschrieben: Kinderheime, Schulen, Jugendherbergen, Schulheime, Gesellenheime, Hochschulen, Zeichenräume, Bürobauten, Banken, Hochhäuser, Warenhäuser, Läden, Werkstätten, Fabriken, Flughäfen, Gaststätten, Hotels, Theater, Lichtspielhäuser, Sporthallen, Hallenbäder, Krankenhäuser und Kirchen. In der Ausgabe von 1962 ähnelt sich die Auflistung.

Zu den Industrie- oder Fabrikbauten werden Flach- und Geschossbauten unterschieden. Aus eigener Erfahrung kann ich bei diesen Typen fast nur von Flachbauten berichten.

Die Nachkriegsbauphase hat ab den 50er Jahren einen Baustil ausgebildet.

Der Baustil der 50er Jahre wird beispielsweise durch das Zentrum von Vällingby bei Stockholm repräsentiert. Das Zentrum verfügt über Läden und Büros, Restaurants, Verwaltungen, Geschäftsgebäude, eine Klinik, Theater, Kino usw. Die Fassaden haben schützende, auskragende Vordächer. Die Warenanlieferung erfolgt unterirdisch. Das Zentrum sollte ein Mittelpunkt für Tausende werden, die das Landleben aufgaben. Weitere Beispiele sind die Böhmler-Passage in München, eine Zylindershedhalle für eine Gummibandweberei in St. Gallen oder eine Autoreparaturwerkstatt in Kornwestheim. Die Gebäude sind äußerlich geprägt von Fenster- und Schaufensterfassaden, Wellplatten- und Fliesenverkleidungen. Die Konstruktion besteht jeweils aus Stahlbetonstützen und -bindern. Die Schalen der Zylindershedhalle sind aus Spritzbeton hergestellt. Die Dämmung wurde mit 2 cm Korkplatten ausgeführt.<sup>21</sup>

Wird der Vor- und Nachkriegszustand im Bereich Wohn- und Nichtwohngebäudebestand verglichen, ist eine deutliche prozentuale Zunahme mit Bezug auf die Nutzfläche festzustellen. Die Überlebenswahrscheinlichkeit der jüngeren Bauten sinkt. In

18 vgl. Moderne Baukunst, 1910, Heft 5, S. 276f., 538f., 42ff.

19 vgl. Neufert Ernst, 1938

20 vgl. Neufert Ernst, 1962

21 vgl. Baumeister, 1956 S 209–211, S. 229f. und S. 236f.

den letzten 150 Jahren hat sich ein historischer Verlust von etwa 300.000 Bauten ereignet. Noch wird der Vorkriegsbestand in Deutschland auf 500.000 Nichtwohngebäude geschätzt. In 50 bis 100 Jahren sind vermutlich die alten Bestände aufgegeben.<sup>22</sup>

Insgesamt kann daher von dem Verschwinden der Bauten des Industriezeitalters gesprochen werden. Manche Bausubstanz bleibt uns als Industriedenkmal erhalten, zum Beispiel die 1873 gegründete Völklinger Hütte, die seit 1986 stillgelegt ist.



**Abbildung 2:** Weltkulturerbe Völklinger Hütte [Foto: Achim Hamann]

Das Verschwinden etlicher Bauten geht heute weiter. Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt eine Zusammenstellung von Nichtwohngebäuden, die unter eigener Beteiligung unseres Büros inzwischen abgebrochen und ersetzt wurden.

22 vgl. Hassler Uta; Kohler Niklaus, 2004, S. 68f.



Abbildung 3: Verschwundene Nichtwohngebäude [Fotos: Achim Hamann und RS-Plan AG]

Einen aktuellen Datenbestand zu den Nichtwohngebäuden gibt es nicht. Im 20. Jahrhundert wurde eine einzige Nichtwohngebäudezählung (inkl. ehemalige DDR) im Jahr 1950 durchgeführt.<sup>23</sup> Aktuell stehen jedoch Studien mit Schätzungen auf Basis unterschiedlicher Ansätze zur Verfügung.

Industrie- und Produktionsgebäude nehmen nach wie vor einen wichtigen Stellenwert ein. Dazu gesellte sich eine Vielzahl von Dienstleistungsgebäuden, die nach dem Strukturwandel an Bedeutung gewonnen. Heute können wir uns in Deutschland auf

23 vgl. Hessler Uta; Kohler Niklaus, 2004, S. 119

Grund der Verschiebungen am Arbeitsmarkt und der Beschäftigtenzahlen als Dienstleistungsgesellschaft verstehen.

## 2.3 Die heutige Dienstleistungsgesellschaft

Heute prägen Bürotürme, Verwaltungsbauten und Einkaufsmärkte das Stadtbild bzw. die Peripherie. Gleichzeitig werden zusätzlich bei sehr großen Konsumtempeln die Freizeitgestaltung und der Lifestyle gepflegt. Auch sind beispielsweise Hotels im Gebäudekomplex eingebunden.<sup>24</sup>

Ein Beispiel zur Dienstleistungsnutzung wird in der folgenden Abbildung 4 aufgezeigt. Hier ist ein zweistöckiger Bürotrakt aus Stahlbeton-Sandwichfertigteilen entstanden.



Abbildung 4: Neubau Bürotrakt [Foto: RS-Plan AG]

Mit dem sich beschleunigenden Nutzungsende im Nichtwohngebäudesektor geht der Leerstand mit einher. Dieser kann im Dienstleistungssektor am Beispiel von Bürogebäuden für das Jahr 2010<sup>25</sup> wie folgt für einige Städte aufgezeigt werden:

- Berlin 8,5 %
- Düsseldorf 11,2 %
- Frankfurt 13,9 %
- Hamburg 8,5 %
- Köln 8,1 %
- München 9,6 %
- Stuttgart 6,1 %

24 vgl. Bussagli Marco, 2004, S. 73

25 vgl. Jones, Lang & Lasalle, 2010, S. 2–14

In der folgenden Abbildung 5 wird der Leerstand verdeutlicht. Der Leerstand breitet sich auf Handelsimmobilien und sonstige Einrichtungen aus. Der Verfall ist unaufhaltbar. Die Flächen werden früher oder später gänzlich eingeebnet oder durch Ersatzneubauten umgestaltet und somit einer neuen Nutzung zugeführt. Oder es erfolgt unmittelbar im alten Bestand eine neue Nutzung, zum Beispiel eine Wohnnutzung.



**Abbildung 5:** Beispiele zum aktuellen Leerstand im Nichtwohngebäudesektor  
[Fotos: Achim Hamann]

Trotz des Leerstands werden einerseits Neubauten als Wirtschaftsgut und Investitions- bzw. Verkaufsobjekt vorangetrieben. Andererseits sind beispielsweise auf Grund von Veränderungen in der Handelslandschaft und der resultierenden notwendigen Bauweise Neubauten aus Sicht der Akteure notwendig und der Bestand wird aufgegeben. Auch führen Wachstumsaktivitäten an neuen Standorten zur Aufgabe des Bestandes und zu einem Neubau. Dazu zählen oftmals großflächige Gebäudestrukturen.

## 2.4 Großflächige Nichtwohngebäude des Handels und Gewerbes

Die Fassaden und Dächer großflächiger Gebäude werden oftmals aus Trapezblechen oder Sandwichpaneelen hergestellt. Stahlbetonbauweise, auch in Fertigteilbauweise oder Mauerwerksausfachungen kommen ebenso zum Einsatz. In Abbildung 6 sind einige Beispiele der großflächigen Bauweise aufgeführt. In der Regel sind Verwaltungseinheiten angebaut oder eingeschoben.



Abbildung 6: Beispiele zur großflächigen Bauweise [Fotos: Achim Hamann]

Die Objekte nehmen inklusive der Außenanlagen 80 % bis 90 % des Grundstückes in Anspruch. Lediglich die Restfläche steht beispielsweise als Grün- und Versickerungsfläche zur Verfügung. Der Befestigungsgrad ist demnach sehr hoch. Der natürliche Lebensraum und der Mutterboden werden durch die Ansiedlungen weiter verdrängt. Ausgleichsmaßnahmen müssen gefunden und umgesetzt werden. Für naturnahe Entwässerungseinrichtungen ist üblicherweise kein Raum vorhanden. Unterirdische, überbaute Rigolen, Kanäle oder Rückhaltebauwerke kommen zum Einsatz.

Die Objekte entstehen auch oftmals auf bereits vorbelasteten Flächen, auch wenn diese durch eine längere Zeit der Brache natürlich erscheinen. Bodenverunreinigungen werden angetroffen und im Zuge des Bauprozesses beseitigt oder zumindest verringert. Der Kampfmittelräumdienst wird ebenso oft eingeschaltet, da die zu bebauende Fläche durch die dokumentierten Bombenabwürfe entsprechend als gefährdet eingestuft wird.

## 2.5 Heutige Sanierungsprojekte

Aus wärmeenergetischer Sicht ist unser aktueller Nichtwohngebäudebestand geprägt von der Nachkriegsbauweise in den 50er bis 80er Jahren. Vielerorts sind nach außen-durchlaufende Betonkonstruktionen mit nicht gedämmten oder minimal gedämmten Bauplatten bzw. Mauerwerksausfachungen oder Mauerwerksbauten mit Baumaterialien aus dieser Zeit vorhanden. Zum Erstellungszeitpunkt war für diese Objekte die Welt noch in Ordnung. Heute stellen sie Sanierungsobjekte dar. In Abbildung 7 sind Beispiele aufgeführt.



Abbildung 7: Beispiele energetisch zu sanierende Objekte [Fotos: Achim Hamann]

Während der Erstellung waren Nachhaltigkeitsthemen, Ressourcenschonung und der Klimaschutz noch nicht in aller Munde und fand nicht annähernd Einzug in die Gebäudeplanung. Die Entwicklungen der folgenden Jahrzehnte bis hin zu den heutigen Anforderungen hatte dann ihren »revolutionären Lauf« genommen. Die alten Objekte haben aus heutiger Sicht einen hohen Energieverbrauch und einen Heizkennwert, der um mindestens den Faktor drei bis fünf<sup>26</sup> je nach Gebäudetyp gesenkt werden kann und muss.

Zur Verdeutlichung werden in nachstehender Tabelle Beispiele zu mittleren Heizkennwerten des Bestandes und in der Zukunft beabsichtigte zu einem Gebäudetyp in Abhängigkeit von Baualtersklassen gegenübergestellt.

26 vgl. Hamann Achim, 2014, S. 246, Tabelle 62

Beispiele zu Heizkennwerten, Gebäudetypen der Produktion:	
<b>Bestand:</b>	
Baualtersklasse A bis 1951	203 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Baualtersklasse B bis 1977	189 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Baualtersklasse C bis 1994	168 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Baualtersklasse D bis 2010	139 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
<b>Zukunft:</b>	
Baualtersklasse E bis 2020	76 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Baualtersklasse F bis 2030	70 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Baualtersklasse G bis 2050	50 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)

**Tabelle 1:** Beispiele zu Heizkennwerten des Bestands und in Zukunft [Quelle: Hamann Achim, 2014, S. 55 und S. 204]

Im kommunalen bzw. öffentlichen Bereich sind bereits unter dem Einfluss von Förder- und Konjunkturprogrammen etliche Sanierungsmaßnahmen realisiert worden. Da der Wirtschaftsbau jedoch zu etwa 82%<sup>27</sup> die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Beheizung der Nichtwohngebäude verursacht, wird die sehr große gesellschaftliche Aufgabe für die Zukunft mit Blick auf den Wirtschaftsbau deutlich. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass der aktuelle Bestand der Gebäude des Wirtschaftsbaus energetisch gesehen älter ist, als die öffentlichen Gebäude.<sup>28</sup> Von daher ist insbesondere in diesem Bereich der Handlungsbedarf sehr groß und der Wirtschaftsbau trägt eine Schlüsselrolle beim Erreichen der Klimaschutzziele.

## 2.6 Zusammenfassung zum Sammelsurium der Gebäudetypen

Zuvor wurden verschiedene Gebäudetypen, die auch bereits in der Antike ihren Stellenwert hatten, aufgezeigt. Bildhafte Darstellungen zu aktuelleren Gebäuden ergänzte die historische Aufarbeitung. Insgesamt wird deutlich, dass eine Vielzahl von Typen existiert und diese gerade mit Blick auf den Energieverbrauch in eine Systematik eingeordnet werden sollten. In der folgenden Abbildung wird das Sammelsurium von Typen nochmals zusammengefasst.

<sup>27</sup> vgl. Hamann Achim, 2014, S. 113

<sup>28</sup> vgl. Hamann Achim, 2014, S. 107

- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| Bürogebäude                      |  |
| Fabrikhalle                      |  |
| Werkstatt                        |  |
| Lagergebäude                     |  |
| Labor                            |  |
| Gärtnerei                        |  |
| Kirche                           |  |
| Kindergarten                     |  |
| Klinik                           |  |
| Schule                           |  |
| Universität                      |  |
| Rathaus                          |  |
| Gemeindezentrum                  |  |
| Museum                           |  |
| Theater                          |  |
| Kino                             |  |
| Sporthalle                       |  |
| Hotel                            |  |
| Bahnhof                          |  |
| Handel (Food, Non-Food)          |  |
| Logistikhalle                    |  |
| Großhandel                       |  |
| Hotel                            |  |
| Backerlebnisgastronomie          |  |
| Handel                           |  |
| Produktionsstätte mit Verwaltung |  |
| Kirche                           |  |
| Fachmarktzentrum                 |  |
| Gartencenter                     |  |
| Bürogebäude                      |  |

**Abbildung 8:** Nichtwohngebäudetypen [Fotos/Grafiken: Achim Hamann und RS-Plan AG]

Die Vielftigkeit von Nichtwohngebudetypen fndt bisher in diversen Verffentli-  
chungen ihre Aufmerksamkeit:

- IKARUS-Projekt (Forschungsprojekt zur Klimagasreduzierung)<sup>29</sup>
  - Forschungsbericht zu Gebäudegruppen und -arten zur kommunalen Erfassung von Verbrauchskennwerten.<sup>30</sup>
  - Studie zur Typologie und Bestand von Nichtwohngebäuden in Deutschland<sup>31</sup> mit Differenzierung der Haupt- und Unterkategorien als erste Entwicklungsstufe einer Typologie.
  - Nutzungen in der DIN V 18599<sup>32</sup>
  - Zusätzlich ist die unterschiedliche Gebäudetechnik (Heizen, Lüften und Kühlen) zu berücksichtigen, da sich Heiz- und Lüftungssysteme aus den Anforderungen zum Gebäudetyp und der Nutzung ergeben.<sup>33</sup>
  - Bauwerkszuordnungskatalog (BWZ<sup>34</sup> nach VDI 3807-98<sup>35</sup>), den die »ARGEBAU – Hochbauausschuss der Länder« erstellte.

29 vgl. Kolmetz Sven et al., 1995, S. 163–169

30 vgl. ages GmbH (Hrsg.), 2010, S. 4, S. 25–26 und S. 33–36

31 vgl. BMVBS, 2011, S. 21: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.)

32 vgl. DIN V 18599, T. 10, S. 22-27

33 vgl. Recknagel, Sprenger & Schramek, 2011, S. 1212–1256 und S. 1747–1916

34 vgl. VDI 3807, 1998, S. 26–35

35 VDI-Richtlinie, Energieverbrauchskennwerte für Gebäude, Heizenergie- und Stromverbrauchskennwerte, VDI 3807 Blatt 2, Juni 1998

Aus den Grundlagen, Studien und Veröffentlichungen wurde bereits eine Kategorisierung zur Nichtwohngebäudetypologie mit Blick auf energetische Unterschiede hergestellt.<sup>36</sup>

Dabei werden öffentliche Gebäude von Non-Profit-Organisationen und Wirtschaftsbauten von Profit-Organisationen unterschieden. In den nachfolgenden Tabellen werden die Gebäudetypen aufgeführt. Insgesamt werden die Nichtwohngebäude in 14 Hauptkategorien mit 38 Unterkategorien aufgeteilt. Seltene Sondergebäude wie Rechenzentren, Laborgebäude, Wäschereien oder Flughafen-Terminals werden dabei vernachlässigt bzw. können ergänzend in die Typologie eingeordnet werden.

Beheizte Nichtwohngebäude, Nichtwohnflächen			
Nr.	Hauptkategorie	Nr.	Unterkategorie
<b>Profit-Organisation</b>			
1	Bildung	1.1	Schulen
		1.2	Hochschulen/Forschung
		1.3	Kindertagesstätten/Kindergarten
		1.4	Weiterbildungsstätten
2	Verwaltung	2.1	Regierungs- und Gerichtsgebäude
		2.2	Ämter/Polizeigebäude/Bahn
3	Bereitschaftsdienste/Werkstatt		
4	Heilbehandlung	4.1	Kliniken
		4.2	Pflegeheim/Reha-Gebäude
5	Sport	5.1	Sporthallen/Tennishallen/Turnhallen
		5.2	Hallenbad/Spaßbäder
		5.3	Stadien/Vereinsheime
6	Kultur/öffentlicher Zugang	6.1	Ausstellungsgebäude/Bibliotheken
		6.2	Oper/Theater/Konzertsäle
		6.3	Veranstaltungsgebäude
7	Justizvollzugsanstalt/Kaserne		
8	kirchliche Gebäude	8.1	Pfarrheim/Gemeindezentrum/Verwaltung
		8.2	Kirchenbauten

**Tabelle 2:** Gebäudekategorien Non-Profit-Organisationen [Quelle: Hamann Achim, 2014, S. 37]

36 vgl. Hamann Achim, 2014, S. 37f.

Beheizte Nichtwohngebäude, Nichtwohnflächen			
Nr.	Hauptkategorie	Nr.	Unterkategorie
	<b>Profit-Organisation</b>		
9	Bürogebäude/Büroflächen-nutzung	9.1	Dienstleister
		9.2	Verwaltungsbau Gewerbe/Industrie/Logistik
		9.3	Banken/Versicherungen/Gesundheit
10	Produktion/Werkstatt/Lager	10.1	Produktion/Gewerbe
		10.2	Lager für Versand/Zentrellager/Logistik
		10.3	Werkstätten/Kleingewerbe
11	Heilbehandlung	11.1	Kliniken
		11.2	Pflegeheim/Reha-Gebäude
		11.3	Gesundheitswesen/Praxisgebäude
		11.4	Fitnesscenter/Sporthallen
12	Einkauf/Handel	12.1	Handel Food
		12.2	Handel Non-Food/Tankstellenshop
		12.3	Bau- und Gartenmarkt/Möbelhaus/Baustoffe
		12.4	SB-Warenhaus
		12.5	Einkaufszentrum mit Ladenpassage/Kaufhaus
		12.6	Autohaus mit Werkstatt
		12.7	Laden/Büro im Stadthaus, nur Nichtwohnfläche
13	Kino/Discothek/Spielothek (freistehend)		
14	Beherbergung	14.1	Hotel/Pension/Jugendherberge
		14.2	Restaurant/Gaststätte

**Tabelle 3:** Gebäudekategorien Profit-Organisationen [Quelle: Hamann Achim, 2014, S. 38]

Zu diesen Kategorien und in Abhängigkeit von energetischen Baualtersklassen wurden verbrauchs- und bedarfsorientierte Heizkennwerte für den deutschen Nichtwohngebäudebestand ermittelt. Mit Blick auf zukünftige Entwicklungen wurden diese um den Heizkennwert für zukünftige Baualtersklassen bis zum Jahr 2050 ergänzt (siehe auch Tabelle 1).<sup>37</sup> Diese Heizkennwerte nutzen Betrachtungen auf der Stadtebene, aber auch auf der Gebäudeebene.

37 vgl. Hamann Achim, 2014, S. 54f., S. 65f. und S. 203f.

Für die Nichtwohngebäudeebene werden nachfolgend Grundlagen und Vorgehensweisen aufbereitet, was dem einzelnen Gebäude mit dem Ziel, einen Effizienzhausstandard zu erreichen dient. Aber auch insgesamt die Ziele auf der Stadtbene unterstützen.

Im folgenden Kapitel werden dazu zunächst die normativen und gesetzlichen Anforderungen an Nichtwohngebäude aufbereitet.

### 3 Von den Anfängen des Wärmeschutzes über KfW bis BIM

Bei den folgenden Ausführungen habe ich mich selbst nicht dem Anspruch auf Vollständigkeit unterworfen. Es sollen jedoch die wesentlichen Entwicklungen der letzten Jahrzehnte zum Thema Wärmeschutz beleuchtet und in Erinnerung gerufen werden. Ich selbst bin als Bauingenieur seit 1990 tätig und kann daher eher zu den Entwicklungen seit dieser Zeit berichten. Doch auch schon viele Jahre vorher, genau gesagt 13 Jahre vor meiner Geburt, lag die Geburtsstunde des heutigen normativen Wärmeschutzes (1952, vgl. 3.2). Heute ist mir deutlicher bewusst als früher, dass sich bereits unsere »Väter« mit ähnlichen Inhalten in den Techniker- und Ingenieurschulen sowie in den Universitäten beschäftigt haben. Diese Generation, wollten wir viel Aufwand treiben, sollte befragt werden. Einzelne Interessierte haben eventuell noch die Gelegenheit Fachgespräche mit der Nachkriegsgeneration zu führen.

Das erscheint mir sehr interessant und zeigt die frühere Umgangswise mit dem Thema. Mein Vater schloss die Bautechnikerprüfung im Jahr 1959 ab. Zu diesem Zeitpunkt waren viele der heutigen Themen bereits bekannt und ich kann mich noch genau daran erinnern, dass ihm meine studentischen Erkenntnisse aus Bauphysikvorlesungen in meinem Erststudium zum Bauingenieur nicht fremd waren, bzw. viel besser noch, er entsprechend mitreden konnte. Passend zu den historischen Ausführungen zur DIN 4108 ist das »historische Dokument« des Bautechniker-Diploms von Willi Hamann von 1959, als die erste Ausgabe der DIN 4108 noch gültig war, in Abbildung 9 dargestellt.



Abbildung 9: Techniker-Diplom von 1959

### 3.1 1929: Die DIN V 4701

Vorab sei erwähnt, dass die ursprüngliche DIN 4701 viele Jahrzehnte überdauerte. Sie erschien erstmals 1929. Die DIN 4701 regelte die Wärmebedarfsberechnung (Heizlastberechnung). Mit den Ausgaben 1947, 1959 und 1983 folgten Überarbeitungen. Die Ausgabe von 1983 teilte sich in Teil 1 und Teil 2 auf. Im Jahr 1995 erschien ein letzter Entwurf als Gelbdruck zwecks Integration der neuen Bundesländer. Zu einem Weißdruck kam es nicht mehr, da parallel die europäische Norm zur Heizlastberechnung geschaffen und diese im Jahr 2003 als DIN EN 12831 eingeführt wurde.<sup>38</sup>

Dies musste ich insofern loswerden, da mich beim Lesen der Normbezeichnung »DIN V 4701-10« jedes Mal die Frage umtreibt: »Warum Teil 10 und wo ist denn eigentlich die DIN 4701 geblieben?«. Seit Jahren ist die DIN EN 12831 ein Begriff und steht für die Heizlastberechnung und dennoch sollten wir für einen Moment die Vorarbeit aus den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts würdigen und uns in Erinnerung rufen.

Die weiteren Betrachtungen beziehen sich nun auf die relevante Norm aus der Reihe 4701, die Vornorm DIN V 4701 Teil 10.

Wir steigen zu dem Zeitpunkt ein, als die EnEV 2004 eingeführt wurde. Die DIN V 4701 (Energetische Bewertung von heiz- und raumluftechnischer Anlagen) Teil 10 (Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung) war bis zur Einführung der EnEV 2007 für Nichtwohngebäude relevant. Erst mit der Einführung der EnEV 2007 wurden die Bilanzierungsansätze auf die DIN V 18599 umgestellt. Inzwischen ist sie daher für Nichtwohngebäude nicht mehr von Bedeutung. Für Wohngebäude kann sie weiterhin angewendet werden. Zusammenfassend kann folgende Historie seit 2001 aufgeführt werden:

Die Ausgabe von Februar 2001 wurde bereits durch die Ausgabe vom August 2003 ersetzt. Die DIN V 4701-10 befasst sich mit Berechnungen zur Wärmeerzeugung, Wärmespeicherung, Wärmeverteilung, Wärmeübergabe und die Anlagen-Aufwandszahl.

Parallel zur Norm existiert ein Beiblatt 1 mit Datum vom Februar 2002. Dieses Beiblatt wurde inzwischen durch die Ausgabe vom Februar 2007 ersetzt. Im Beiblatt 1 werden 78 Anlagenbeispiele zu Wohngebäuden aufgeführt. Dabei sind jeweils die Anlagensysteme zur Heizung und zur Trinkwarmwasserbereitung erläutert und der Primärenergiebedarf sowie der Endenergiebedarf in Abhängigkeit der beheizten Fläche in Diagrammen dargestellt. Weiterhin sind jeweils Wertetabellen zur Hilfsenergie und zur Anlagenaufwandszahl abgebildet. In der Vornorm selbst einschließlich ihrer

<sup>38</sup> vgl. <http://www.haustechnikdialog.de/SHKwissen/1193/Geschichte-der-Waermebedarfsberechnung-DIN-4701> [Stand 16.10.2015]

Anhänge A bis D sind die Berechnungsverfahren zur Ermittlung des Energiebedarfs von Heizungs-, Trinkwassererwärmungs- und Lüftungsanlagen aufgeführt. Im Jahr 2009 erschien eine sogenannte Änderung A1, die im Jahr 2012 überarbeitet erschien und Anpassungen zu Primärenergiefaktoren mit Bezug auf den nicht erneuerbaren Energieanteil enthält. Die Bezugsänderung wurde mit Einführung der EnEV 2007 notwendig.<sup>39</sup>

Auf Grund der heute anzuwendenden DIN V 18599 wird hier auf weitere Ausführungen zur DIN V 4701 Teil 10 und Teil 12 verzichtet und sich der Vornorm DIN V 18599 zu gewendet.

## 3.2 1952: Die DIN 4108

Bevor ich auf die DIN 4108 und ihre Entwicklungsschritte eingehe, ist zu überlegen, ob diese für unsere Nichtwohngebäude-Betrachtungen überhaupt noch eine Rolle spielt. Die Antwort ist ein Ja für Teilbereiche.

Die EnEV fordert die Anwendung der Vornormenreihe DIN V 18599 Teil 1 bis 11 bei Nichtwohngebäuden zwecks Energiebilanzierung. Die DIN 4108 kann bei Wohngebäuden noch eingesetzt werden, wobei wir hier unterschiedliche Teile der Normenreihe differenzieren müssen. Doch zu den Teilen der Norm später mehr.

Die aktuelle EnEV verweist noch immer auf die DIN 4108, wenn es im Ganzen um die Nichtwohngebäude geht und nicht nur um die Energiebilanzierung. In der aktuellen EnEV 2014/2016 ist die DIN 4108 noch immer das Maß der Dinge hinsichtlich der Einhaltung des Mindestwärmeschutzes. In § 7 (1) der EnEV wird beispielsweise das Einhalten der anerkannten Regeln der Technik beim Mindestwärmeschutz und den Wärmebrücken gefordert. § 7 (3) der EnEV fordert beim Gleichwertigkeitsnachweis das Zugrundelegen der DIN 4108 Beiblatt 2 vom März 2006.

Nach § 10 (3) der EnEV gilt auch für Nichtwohngebäude die DIN 4108-2:2013-02 beim Nachrüsten von Wärmedämmung auf den obersten Geschossdecken.

Weitere Beispiele beziehen sich auf den Sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2 auf den die EnEV in Anlage 2 unter Nummer 4 bzw. Anlage 1 Nummer 3 verweist. Auf Teil 6 der DIN 4108 wird (Bauteile 5 a und 5b) in Tabelle 1 der Anlage 3 der EnEV verwiesen. Teil 6 von 2003 wird auch bei der Luftwechselrate und der Ermittlung der solaren Gewinne unter 8.2 und 8.3, Anlage 3 der EnEV erwähnt.

39 vgl. DIN V 4701, Beiblatt 1, A1

Existierten bis zum Jahr 1952 und der Einführung der DIN 4108 normative Wärmeschutzanforderungen? Auch hier ist die Antwort: Ja

Im Jahr 1934 wurde der bauliche Wärmeschutz erstmals in der DIN 4110<sup>40</sup> thematisiert. Der Hintergrund waren hygienische Verhältnisse auf Grund zunehmender Schimmelbildung in Wohnräumen.<sup>41</sup>

Erst mit Einführung der DIN 4108 im Juli 1952 nahm die normative Geschichte, auf die hier zurückgeblickt wird, ernsthaftere Gestalt an. Zu seiner Zeit wurde das Werk »Wärmeschutz im Hochbau« genannt. Heute wird der Titel »Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden« verwendet. Die Norm war für Gebäude mit einer Innentemperatur von größer 19 °C gedacht. Die nächsten Ausgaben erschienen im Mai 1960 und im August 1969.

Ergänzende Bestimmungen folgten im Oktober 1974 und das Beiblatt »Wärmeschutz im Hochbau« im November 1975.

Die Ausgabe der DIN 4108 von August 1969 wurde durch die Ausgabe vom August 1981 mit ihren eingeführten Teilen 2 bis 5 ersetzt. Wobei der Teil 1 von 1981 sich lediglich mit »Größen und Einheiten« beschäftigte. Teil 1 wurde durch die DIN EN ISO 7345 von 1995 abgelöst. Seit 1981 folgten zu den Normenteilen weitere Entwicklungen.

Teil 2 (Titel heute: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz) erschien neben der Erstausgabe 1981-08 mit Ausgabedatum 2001-03, 2003-04 und aktuell unter 2013-02. Der Normenteil beschäftigt sich mit den Mindestanforderungen an Bauteilen und Wärmebrücken und gilt für Aufenthaltsräume in Hochbauten mit einer Innentemperatur von größer 19 °C. Für Gebäude mit niedrigeren Innentemperaturen sind tabellarische Mindestwerte einzuhalten. Teil 2 verweist auf rund 30 weitere Normen. Weiterhin ist hierin, neben dem Wärmeschutz im Winter, auch der Wärmeschutz im Sommer geregelt.

Teil 3 von 1981 wurde durch die Ausgabe 2001-07 (Berichtigung im April 2002) ersetzt und wird aktuell durch die Ausgabe 2014-11 repräsentiert. Der heutige Titel lautet »Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung«. Ende 2015 stand mir hierzu noch keine Softwareanwendung zur Verfügung, auch wenn diese bereits anzuwenden war. Dieser Teil enthält Randbedingungen und Berechnungsvorschriften für das Glaser-Verfahren, wobei der klimabedingte Feuchteschutz im Vordergrund steht.

40 DIN 4110, Technische Bestimmungen für die Zulassung neuer Bauweisen, 1934

41 vgl. Klesse Andreas, 2012, S. 1

Die Mutter des Wärmeschutzes kann als Feuchteschutz bezeichnet werden. Auf Grund von Tauwasserproblemen und Feuchteschäden hatte sich der Wärmeschutz erst entwickelt. Die Norm verweist auf nahezu 50 weitere Normen. Inhaltlich wird der Tauwasserschutz, die Wasserdampfdiffusion in Tau- und Verdunstungsperioden, die Temperaturverteilung im Bauteil, der Schlagregenschutz und die Luftdichtheit thematisiert.

Teil 4 mit dem heutigen Titel »Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte« wurde zunächst seit der Ausgabe 1981-08 zweimal überarbeitet (1985-12 und 1991-11). Danach ersetzte eine Vornorm den Teil 4. Die heutige Bezeichnung mit den Erscheinungsdaten lautet daher: DIN V 4108-4:1998-03, 1998-10, 2002-02, 2004-07, 2006-06). Die aktuelle Fassung trägt das Datum 2013-02 und verweist auf etwa 80 weitere Normen.

An dieser Stelle sei erlaubt zu erwähnen, dass ich keine Erinnerung habe, mich im Studium mit vielen Normen und schon gar nicht mit einer solchen unüberschaubaren Vielzahl beschäftigt zu haben oder dass die Normenlandschaft Vorlesungsbestandteil war.

Dieser Zustand geht zwangsläufig auf den beruflichen Alltag über und wir sind gehalten, uns autodidaktisch mit der Vielzahl der Normen, soweit das möglich ist, zu beschäftigen.

Teil 4 enthält die bauphysikalischen Kennwerte einzelner Baustoffe, insbesondere zur Wärmeleitfähigkeit und zum Wasserdampfdiffusionswiderstand.

Zum Teil 5 reicht eine kurze und knappe Ausführung. Die Ausgabe 1981-08 wurde 2001 durch Teil 3 ersetzt.

Teil 6 mit dem heutigen Titel »Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs« ist derzeit mit Ausgabedatum 2003-06 gültig und wurde im März 2004 berichtigt. Er enthält die Berechnungsvorschriften zur Ermittlung des Heizwärmebedarfs in Wohngebäuden, worauf die EnEV Bezug nimmt. Für Nichtwohngebäude ist inzwischen die Vornorm DIN V 18599 anzuwenden.

Teil 7 mit dem Titel »Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele« erschien erstmals mit dem Ausgabedatum 1996-11. Die Luftdichtheit von Gebäuden ist also auch keine Erfindung der EnEV oder von Energieexperten, sondern uns auch schon früher bekannt gewesen. Teil 7 wurde mit Datum 2001-08 und aktuell 2011-01 fortgeschrieben.

Teil 10 mit dem Titel »Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe – Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe« erschien zunächst als Vornorm mit den Ausgabedaten 2002-02 und 2004-06 (Berichtigung von 2004-09). Die aktuelle Fassung vom Juni 2008 kam nicht mehr als Vornorm, sondern als Norm heraus.

Inzwischen liegt ein Entwurf von Januar 2015 vor. Die Norm beschäftigt sich mit den Dämmstoffen, von der Mineralwolle über Polystyrole (EPS, XPS) und Polyurethan (PUR) bis hin zu Holzfasern (WF).

Das Beiblatt 1 zur DIN 4108 erschien mit Ausgabedatum 1982-04 und ist inzwischen zurückgezogen. Der Titel lautete »Wärmeschutz im Hochbau; Inhaltsverzeichnisse; Stichwortverzeichnis«. Das Beiblatt 1 beinhaltete nur Informationen zu Teil 1 bis 5 von 1981, aber keine zusätzlichen genormten Festlegungen.

Das Beiblatt 2 zu DIN 4108 erschien im August 1998 und wurde durch die Ausgabe 2004-01 ersetzt. Die aktuelle Fassung ist von März 2006. Gemäß dem Titel »Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele« dreht sich alles um Wärmebrücken. Auch die detaillierte Betrachtung von Wärmebrücken ist also nichts Neues und hat bereits eine gewisse Historie hinter sich. Dennoch steckt insbesondere bei den Nichtwohngebäuden nach meinen Erfahrungen dieser Bereich in Bezug auf die Anwendung und Optimierung noch in den Kinderschuhen. Der einfache pauschale Zuschlag von  $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  auf die Gebäudehülle ist in der Regel derzeit noch das Maß der Dinge. Zeitgemäß ist dies natürlich bei den inzwischen niedrigen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) zu den Bauteilen nicht mehr. Der pauschale Wärmebrückenzuschlag macht im Grunde einiges an Bauteilqualität wieder zunichte. Zeitgemäß ist ein detaillierter Wärmebrückennachweis oder zumindest ein Gleichwertigkeitsnachweis zur Halbierung des oben genannten pauschalen Zuschlags.

Daher kann hier auch zu Recht von einer Historie und von Entwicklungen gesprochen werden. Bis Normen entstehen oder angepasst werden, vergeht oftmals viel Zeit. Ähnlich ist es mit der Umsetzung in der Fachwelt und bei der Bauausführung. Es vergehen in der Regel mindestens 10 Jahre bis Neuerungen tatsächlich auf breiter Linie angekommen sind und angewendet werden. Nur haben wir aus klimapolitischer Sicht bis zum Jahr 2050 keine Zeit zu verschenken, da einmal gebaut oder saniert, das Gebäude für die nächsten Jahrzehnte bis zur nachfolgenden Sanierungswelle im Sinne des Lebenszyklus nicht mehr geändert wird.

### 3.3 1977: Die Einführung der Wärmeschutzverordnung

Am 1.11.1977 trat erstmals die Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV) in Kraft. Ausgangslage war das im Jahr 1976 vom Bundestag beschlossene Energieeinsparungsgesetz (EnEG). Damit wurde auf steigende Energiepreise und die Zielsetzung, den Energieverbrauch in Gebäuden zu reduzieren, reagiert.

Der Anwendungsbereich bezog sich auf Wohngebäude, Büro- und Verwaltungsbauten, Schulen, Bibliotheken, Krankenhäuser, Pflegeheime, Entbindungs- und Säuglingsheime, Aufenthaltsgebäude in Justizvollzugsanstalten, Gebäude des Gaststättengewerbes, Waren- und sonstige Geschäftshäuser, Betriebsgebäude mit einer Innentemperatur von mindestens 19 °C und Gebäude, die gemäß dieser Aufzählung eine Mischnutzung aufwiesen. Zusätzlich wurden Gebäude mit Innentemperaturen von 12 bis 19 °C (Werkstätten, Lagerhallen usw.) in der Verordnung als Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen aufgenommen. Die Verordnung galt auch explizit für das Land Berlin.

In § 3 erfolgte bereits eine Begrenzung der Wärmeverluste bei Undichtheiten. Damit waren Gebäudefugen in der wärmeübertragenden Hülle, Fenster sowie Türen gemeint. Der Wärmedurchgang wurde in § 5 begrenzt. Für Einfachverglasungen galt der Wert 5,2 W/(m<sup>2</sup>·K), für Isolierverglasung 3,5 W/(m<sup>2</sup>·K). Ansonsten erfolgte die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten (k) nach DIN 4108, Ausgabe August 1969.

In Tabelle 2 der Anlage 5 wurden maximale k-Werte für unterschiedliche Bauteile aufgeführt. Die Differenzierung erfolgte für Außenwände einschließlich Fenster und Fensertüren, Decken gegen Außenluft bzw. nicht ausgebaute Dachräume, Kellerdecken gegen unbeheizte Räume und Decken sowie Wände gegen Erdreich. Die Einhaltung des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten ( $k_m$ ) nach Anlage 1 in Abhängigkeit des Flächen/Volumen-Verhältnisses der wärmeübertragenden Hülle war nachzuweisen. In Anlage 3 wurden einzuhaltende  $k_m$ -Werte für Gebäude mit niedriger Innentemperatur aufgeführt. Die Anlage 4 bezog sich ausschließlich auf Hallenbäder.<sup>42</sup>

Am 01.01.1984 trat die erste Novelle in Kraft. Die Verordnung selbst trägt das Datum 24.02.1982. Neben Anpassungen zu den einzuhaltenden Werten wurden auch Hinweise zu Flächenheizungen, raumluftechnischen Anlagen, auch mit Kühlung, und die Begrenzung der Energiedurchgänge bei Fenstern und Fenstertüren im Sommer aufgeführt.

Die in Anlage 1 neu definierten maximalen  $k_m$ -Werte hatten eine Reduzierung des Transmissionswärmeverlustes von etwa 17 bis 30% zur Folge. Dies war abhängig vom Flächen/Volumen-Verhältnis des Gebäudes. Auch die Anforderungen an einzelne Bauteile nach Tabelle 2 der Anlage 1 wurden deutlich erhöht, sprich die maximal zulässigen k-Werte entsprechend reduziert. Die Reduzierungen waren bei den Gebäuden mit niedrigen Innentemperaturen (Wirtschaftsbau) weniger deutlich ausgeprägt, lediglich 4 bis 7% je nach Flächen/Volumen-Verhältnis.<sup>43</sup>

Meine ersten Wärmeschutzberechnungen habe ich ab dem Jahr 1992 durchgeführt. Ein Eigenheim sollte der Anfang sein. Auch technische Betriebsgebäude mit norma-

42 vgl. WärmeschutzV 1977

43 vgl. WärmeschutzV 1984

ler Innentemperatur gehörten zu den ersten Objekten. Beim Eigenheim wurde für die Außenwand beispielsweise ein  $k$ -Wert von  $0,48 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  erreicht. Der mittlere  $k$ -Wert lag bei  $0,56 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  und somit unterhalb den interpolierten Anforderungen von  $0,70 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

Am 01.01.1995 trat die zweite Novelle in Kraft. Die Fassung der Wärmeschutzverordnung trägt das Datum 16.08.1994. Es wurde der Begriff Jahres-Heizwärmebedarf eines Gebäudes eingeführt. Dieser wurde in § 3 mit Bezug auf Anlage 1 Ziffer 1 und 6 begrenzt. Gemäß § 6 und Anlage 2 Ziffer 1 erfolgte gleichzeitig eine Begrenzung für Gebäude mit niedriger Innentemperatur. Der Jahres-Heizwärmebedarf setzte sich zusammen aus dem Transmissionswärmebedarf und dem Lüftungswärmebedarf mit oder ohne mechanisch betriebener Lüftungsanlage. Berücksichtigt wurden bereits interne und solare Wärmegewinne. In § 12 wurde der Wärmebedarfsausweis eingeführt, in dem die wesentlichen Ergebnisse der rechnerischen Nachweise zusammenzustellen waren. Die Anlage 1 definierte unter Ziffer 7 ein »Vereinfachtes Verfahren«, wonach Wohngebäude mit bis zu zwei Vollgeschossen und nicht mehr als drei Wohneinheiten alternativ die Anforderungen erfüllen konnten, wenn der maximale Wärmedurchgangskoeffizient zu den Bauteilen nach Tabelle 2 der Anlage 1 eingehalten wurde.<sup>44</sup>

Für diese sogenannten kleinen Wohngebäude kam in der Praxis der vereinfachte Ansatz zur Anwendung. Bei den üblichen Eigenheimen nutzte auch ich diese Nachweisform, zuletzt bei einem Wohngebäude mit Bauantragsdatum vom Dezember 2001 und somit unmittelbar vor Einführung bzw. Inkrafttreten der Energieeinsparverordnung Anfang 2002. Mit Einführung der Energieeinsparverordnung endete die Ära der Wärmeschutzverordnung.

### 3.4 1978: Die Einführung der Heizanlagenverordnung

In der »Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Brauchwasseranlagen (Heizungsanlagen-Verordnung – HeizAnlV)« waren Anforderungen an Zentralheizungen mit Wasser als Wärmeträger sowie an Warmwasseranlagen geregelt. Die Verordnung stellte auf der Seite der Gebäudetechnik eine Ergänzung zur Wärmeschutzverordnung dar. Die Verordnung trat am 1.10.1978 in Kraft und wurde mehrfach novelliert.

Gemäß § 1, Anwendungsbereich der Ausgabe von 1978, galt die Verordnung für heizungstechnische sowie der Versorgung mit Brauchwasser dienenden Anlagen und Einrichtungen mit mehr als 4 kW Nennwärmeleistung. Als Energieträger waren feste,

---

44 vgl. WärmeschutzV 1995

flüssige, gasförmige Brennstoffe, die Fernwärme und der elektrische Strom, mit dem Widerstandsheizungen betrieben wurden, aufgeführt. Im Weiteren wurden die Abgasverluste begrenzt, Ausführungen zum Einbau und zur Aufstellung von Wärmeerzeugern aufgenommen sowie Verluste zu Wärmeverteilungsanlagen begrenzt sowie Anforderungen an Steuerungen bzw. Regelungen und an die Brauchwasseranlagen definiert.<sup>45</sup>

Mit Datum vom 24.02.1982 erschien eine novellierte Fassung. Es wurde der Bezug zum Energieeinspargesetz vom 22.07.1976 hergestellt. Hierin wurden erstmals Niedertemperaturkesselanlagen erwähnt und in § 6 die Wärmedämmung von Wärmeverteilungsanlagen neu geregelt. In § 7 wurden unter Absatz 3 nunmehr auch Vorschriften zur Nachrüstung von Regelungseinrichtungen aufgeführt. Bei Anlagen, die vor dem 01.10.1978 in Gebäuden mit mehr als zwei Wohnungen eingebaut wurden, mussten bis zum 30.09.1987 Einrichtungen zur Steuerung und Regelung nachgerüstet werden. Dies galt nicht für Niedertemperaturkesselanalgen.<sup>46</sup>

Am 01.03.1989 trat die Novelle vom 20.01.1989 in Kraft. § 3 »Begrenzung der Abgasverluste« ist entfallen. In § 9 wurden Pflichten des Betreibers von heizungstechnischen Anlagen oder Brauchwasseranlagen aufgenommen. Dies erfolgte auf Grund der Aufhebung der Heizungsbetriebsverordnung. Betreiber von Anlagen mit mehr als 11 kW Nennwärmeleistung waren nun verpflichtet Anforderungen an die Bedienung, die Wartung und Instandhaltung einzuhalten.<sup>47</sup>

Seit 29.09.1990 war die HeizAnlV auch in den neuen Bundesländern gültig.

Die dritte Novelle trug das Datum 22.03.1994. Wärmeerzeuger mussten vom 01.01.1998 an CE-Zeichen und EG-Konfirmationserklärungen vorweisen, und Nachrüstpflichten wurden neu geregelt. Der Begriff Brennwertkessel tauchte erstmals in der HeizAnlV auf.<sup>48</sup>

Die letzte und vierte Novelle erschien als Neufassung mit Datum vom 04.05.1998 und war ab 01.05.1998 gültig. Der Begriff Brauchwasseranlage wurde in Warmwasseranlage umgetauft.<sup>49</sup> Weitere Detailanpassungen zu schildern lohnen nicht, da mit Einführung der Energieeinsparverordnung im Jahr 2002 dann auch die Ära der Heizanlagenverordnung endete.

45 vgl. HeizAnlV 1978

46 vgl. HeizAnlV 1982

47 vgl. HeizAnlV 1989

48 vgl. HeizAnlV 1994

49 vgl. HeizAnlV 1998

### 3.5 2002: Die Geburtsstunde der Energieeinsparverordnung

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) ist ein Produkt des Energieeinsparungsgesetzes (Gesetz zu Einsparung von Energie in Gebäuden – EnEG). Dieses Gesetz ist auch nicht mehr ganz neu (Einführung 1976). In meinen Berufsleben seit 1990 kann ich jedenfalls von meinem Umfeld behaupten, dass es unbekannt war, geschweige, dass sich jemand mit dem Inhalt beschäftigt hatte.

Bewusster wurde die Thematik nach meinem Dafürhalten erst mit der Einführung der Energieeinsparverordnung aus dem Jahr 2009 (EnEV 2009) und insbesondere mit der Einführung des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) ebenso im Jahr 2009, da sich seit der Einführung des EEWärmeG schlagartig der gewohnte Planungs- und Umsetzungsprozess anpassen musste.

Vorab sind in Tabelle 4 zur Verdeutlichung beispielhafte Anforderungen an die Gebäudehülle seit Einführung der WärmeschutzV 1994 bis zur Einführung der EnEV 2009 für Änderungen an Bestandsgebäuden aufgeführt. Es ist erkennbar, dass sich erst mit der Einführung der EnEV 2009 die Anforderungen an die Gebäudehülle relevant erhöht haben. Die Erhöhung der Anforderungen an den Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) bei Außenwänden von im Mittel 0,40 W/(m<sup>2</sup>·K) gemäß EnEV 2007 auf 0,24 W/(m<sup>2</sup>·K) gemäß EnEV 2009 verursachte eine Reduzierung des Wärmeverlustes um 40 %. Bei Dachflächen reduzieren die aufgeführten Anforderungen in Tabelle 4 nach EnEV 2009 im Vergleich zur EnEV 2007 den Wärmeverlust um 20 % und bei Fensterflächen um 25 %. Insofern führte mit Blick auf eine Klassifizierung des energetischen Baualters die Einführung der EnEV 2009 erst wieder zur Bildung einer neuen Baualtersklasse.<sup>50</sup>

k- bzw. U-Werte in W/(m <sup>2</sup> ·K) je Bauteil, Gebäude ab 19 °C					
Verordnung	Außenwände	Decken, Dächer	Wände gegen Erdreich	Fenster	Quelle in Verordnung
Wärmeschutz V 1994	0,40 bzw. $\leq 0,50$	$\leq 0,30$	$\leq 0,50$	$\leq 1,80$	Tab. 1, Anlage 3
EnEV 2002	0,35 bzw. 0,45	0,25 bzw. 0,30	0,40 bzw. 0,50	1,7	Tab. 1, Anhang 3
EnEV 2007	0,35 bzw. 0,45	0,25 bzw. 0,30	0,40 bzw. 0,50	1,7	Tab. 1, Anhang 3
EnEV 2009	0,24	0,20 bzw. 0,24	0,30	1,3	Tab. 1, Anhang 3

**Tabelle 4:** Vergleich Gebäudeanforderungen bei Änderungen seit 1995 [Quellen: WärmeschutzV 1994 und EnEV 2002, 2007, 2009]

50 vgl. Hamann Achim, 2014, S. 39f.

Die Erstausgabe des EnEG's ist vom 22.07.1976 (Änderung am 20.06.1980). Eine Neufassung erschien mit der Bekanntmachung in 2005, die wiederum 2009 und 2013 geändert wurde. Das EnEG setzte die europäische Richtlinie 2002/91/EG vom 16.12.2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden um. In § 1 (2) EnEG wird die Bundesregierung ermächtigt, eine Rechtsverordnung für die Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden und ihren Bauteilen zu erlassen. Die Geburtsstunde der Energieeinsparverordnung.<sup>51</sup>

Die erste Energieeinsparverordnung vom 16.11.2001 trat am 01.02.2002 in Kraft. Ziel war es, die bislang getrennt betrachteten Anforderungen an die Gebäudehülle und Heiztechnik zusammenzulegen. Die erste EnEV ersetzte die Wärmeschutzverordnung vom 16.08.1994 und die Heizanlagenverordnung vom 04.05.1998.

In der etwa 50-seitigen Begründung zur EnEV 2002 wird die Ankündigung bei der Novelle der letzten Wärmeschutzverordnung, eine 25 bis 30-prozentige Senkung des Energiebedarfs bei Neubauten zu erreichen, aufgegriffen. Bezogen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen sollte die EnEV dazu beitragen, bis zum Jahr 2005 eine Minderung von 25 % zu erreichen.<sup>52</sup>

Zusätzlich zur EnEV wurde eine Allgemeine Verwaltungsvorschrift vom 07.03.2002 zum § 13 der EnEV erlassen. Hierin wurden der Inhalt und der Aufbau des Energiebedarfsausweises bei Gebäuden mit normaler Innentemperatur und des Wärmebedarfsausweises bei Gebäuden mit niedriger Innentemperatur geregelt.<sup>53</sup>

In der Version 2002 wurden Gebäude mit normaler und niedriger Innentemperatur unterschieden. Gleches gilt für die EnEV vom 02.12.2004. Die Unterscheidung in Wohngebäude und in Nichtwohngebäude erfolgte erst später. Nach EnEV 2002 wurden Nichtwohngebäude (Gebäude mit niedriger Innentemperatur) nach Anhang 2 bewertet. In der dortigen Tabelle 1 waren Höchstwerte zum Transmissionswärmeverlust der Gebäudehülle H<sub>T</sub> (wärmeübertragende Umfassungsfläche) festgeschrieben. Diese waren abhängig vom Flächen/Volumen-Verhältnis und lagen im Bereich von 0,63 bis 1,03 W/(m<sup>2</sup>·K). Zur Ermittlung von H<sub>T</sub> war seinerzeit auch die DIN 4108-6:2000-11 anzuwenden. Für Nichtwohngebäude mit normaler Innentemperatur war der Jahres-Primärenergiebedarf, bezogen auf das Gebäudevolumen, zu bilanzieren und die H<sub>T</sub>-Werte waren nach Anhang 1, Tabelle 1 wiederum in Abhängigkeit des Flächen/Volumen-Verhältnisses einzuhalten. Die Bilanzierung war ebenso nach DIN 4108-6:2000-11 auszuführen. In Anhang 1 war auch bereits der Sommerliche Wärmeschutz und die Anrechnung von Lüftungsanlagen geregelt.<sup>54</sup>

51 vgl. Energieeinsparungsgesetz – EnEG

52 vgl. Begründung zur EnEV 2002

53 vgl. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 13 der EnEV, vom 07.03.2002

54 vgl. EnEV 2002

In der EnEV 2004 wurde der Jahres-Primärenergiebedarf (Qp) bei Nichtwohngebäuden noch immer auf das Volumen bezogen. In dieser Version erfolgten im Wesentlichen nur redaktionelle Anpassungen und neue Bezüge zu inzwischen aktualisierten Normenausgaben.

Die EnEV 2007 trat am 01.10.2007 in Kraft. Die Änderungen oder Neuerungen für Nichtwohngebäude können wie folgt zusammengefasst werden:

- Einführung Energieausweise für bestehende Gebäude.
- Regelmäßige Inspektion von Klimaanlagen.
- Für Nichtwohngebäude änderte sich die Berechnungsgrundlage. Zur Heizung, Warmwasserbereitung und Lüftung, kamen nun die Kühlung und Beleuchtung hinzu, die DIN V 18599 musste zur Bilanzierung angewendet werden.
- Der Primärenergiefaktor von Strom reduzierte sich von 3,0 auf 2,7

Die Entstehung der EnEV 2007 war von einer 29-seitigen Begründung des Bundesrates (siehe Beschluss gemäß Drucksache 282/07 vom 08.06.2007) und einer 92-seitigen Begründung des Kabinetts begleitet.

Auf die Einführung der neuen EnEV folgten die »Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand« vom 26.07.2007 und die »Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand«. Das Lesematerial für Energieberater, Architekten und Ingenieure (»Planer«) wuchs also weiter an. Ganz zu schweigen von dem über 1000-seitigen Umfang der DIN V 18599 inklusive Beiblätter.

Damit die EnEV einheitlich angewendet wird, ist inzwischen eine umfangreiche Sammlung von Antworten bzw. Festlegungen zu Auslegungsfragen entstanden. Zur EnEV 2002/2004 erschienen acht Teile der Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz. Seit der EnEV 2007 bis heute (Stand Ende 2015) kann sich die Fachwelt mit dem Lesen, Verstehen und Anwenden von 20 Teilen<sup>55</sup> beschäftigen. Hierin sind auch zu Nichtwohngebäuden wichtige Inhalte zu finden. Beispielsweise zur Festlegung einer Innentemperatur unter 19 °C für bestimmte Verkaufsstätten<sup>56</sup>.

Zur Vollständigkeit sei erwähnt, dass letztlich nun auch Klimafaktoren und Gradtagszahlen für Deutschland bei der Ausstellung von Energieausweisen in den Fokus rückten.

Die Berechnungen nach EnEV 2007 orientierten sich an den Ausführungen eines Referenzgebäudes. Es waren der Qp-Wert und der H<sub>T</sub>'-Wert, der sich nun Transmissionswärmeverlustkoeffizient nannte, nachzuweisen. Die Anwender mussten mit For-

55 siehe: <https://www.dibt.de/de/Service/Dokumente-Listen-EnEV.html> [Stand 09.10.2015]

56 vgl. Auslegung zu § 4 (2) in Verbindung mit Anlage 2 Nummer 1.1.1, 2.1.1 bis 2.1.3 EnEV 2007

mulierungen, wie zum Beispiel unter § 4 (4) zu den Anforderungen an Nichtwohngebäude umgehen:

»Die Begrenzung des Jahres-Primärenergiebedarfs nach Absatz 1 gilt nicht für Nichtwohngebäude, die überwiegend durch Heizsysteme beheizt werden, für die in der DIN V 18599-5:2007-02 keine Berechnungsregeln angegeben sind. Bei Gebäuden nach Satz 1 darf der spezifische, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmekoeffizient 76 vom Hundert des jeweiligen Höchstwertes nach Anlage 2 Tabelle 2 nicht überschreiten.«

Wohl dem, der Beratungsleistungen zu einem solchen Nichtwohngebäude erhielt. Der einfache Nachweis zum  $H_r'$ -Wert genügte. Es gab also Heizsysteme wozu keine Berechnungsregeln in dem regalfüllenden Werk der DIN V 18599 vorlagen. Generell kann ich mir zwar die Komplexität und einen Mut zur Lücke vorstellen, aber eine Orientierung an den in der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) vorherrschenden Heizsystemen war dennoch notwendig.

Mit der Anwendung der DIN V 18599 wurde auch die Zonierung ins Leben gerufen. Nun waren Bereiche mit unterschiedlicher Nutzung, technischer Ausstattung sowie mit unterschiedlichen inneren Lasten und Beleuchtungsrandbedingungen getrennt zu erfassen.

Die EnEV 2009 trat am 01.10.2009 in Kraft und damit nur zwei Jahre nach der EnEV 2007. Bis sich der Begriff EnEV 2007 in der Fachwelt herum gesprochen hatte, konnte man ihn getrost für den Transport in das Langzeitgedächtnis aus dem Erinnerungsvermögen streichen.

Da die am Bau Beteiligten von Standeswegen effektiv und effizient handeln müssen, war diese Übung relativ einfach. Im Gegensatz dazu war es, parallel zur Projektarbeit und zum sonstigen Tagesgeschäft, nicht einfach sich den Neuerungen in der EnEV 2009 zuzuwenden. Da wir jedoch zu den Leistungsträgern der Gesellschaft gehören, half kein Jammern. Nächtelang beschäftigte ich mich mit den Inhalten der EnEV, der DIN V 18599 und dazugehörenden Kommentaren sowie einschlägiger Literatur. Hinzu kam, dass das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz am 01.01.2009 in Kraft trat und beide zusammen nun zu wesentlichen Veränderungen beitragen sollten. Die zuvor aufgezeigte Tabelle 4 gibt erste Hinweise zum »Neuanfang«, was die Anforderungen und alles Weitere daraus angeht.

Es folgte eine Zeit der Überzeugungskunst bei den Bauherren, Bauherrenvertretern und Technischen Gebäudeplanern bzw. Gebäudeausrütern, die sich nun einer Änderung von bisher Gewohntem gegenübersahen. Heizsysteme wurden in Frage gestellt, die Dämmstärken bei der Gebäudehülle angepasst, Energieträger verglichen und Kosten erhöhungen diskutiert.

Die Anforderungen an Nichtwohngebäude teilten sich wieder auf zwei Parameter auf. Der Jahres-Primärenergiebedarf mit Bezug auf das Referenzgebäude war einzuhalten, wobei an dieser Stelle nicht die Anforderungen betrachtet werden, die sich aus Ersatzmaßnahmen nach dem EEWärmeG ergaben. Bezogen auf die Gebäudehülle änderte sich nun der Bezug auf den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsfläche. Der mittlere U-Wert (Ü-Wert) war jetzt einzuhalten. Da § 5 der EnEV 2009 die Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien ermöglichte, kam ein weiterer Themenkomplex hinzu. Die Baufachleute mussten sich nun mit Photovoltaik, Solarthermie, Wärmepumpensystemen, Geothermie, Wärmerückgewinnung, Kühlung, Lüftung usw. anstatt nur mit der Gebäudehülle beschäftigen.

Bis zur EnEV 2007 und vor dem EEWärmeG erfüllten eine bis dahin bekannte Bauweise und die fossile Energierägernutzung die Kriterien. Detailkenntnisse zur Luftdichtheit, zu Wärmebrücken, zur Wärmeverteilung sowie -übertragung und vieles mehr rückten nun endgültig in den Fokus.

Eine weitere erwähnenswerte Änderung ist die Unternehmererklärung gemäß § 26 a der EnEV 2009. Unternehmer haben seither die Einhaltung der EnEV nach Abschluss der Arbeiten schriftlich zu bestätigen.

Die Entstehung der EnEV 2009 wurde von folgenden politischen Abläufen begleitet:<sup>57</sup>

- Begründung der Bundesregierung zur EnEV-Novelle vom 18.04.2008
- Kabinettsentwurf der Bundesregierung zur EnEV 2009 vom 18.06.2008
- EnEV 2009 vom 08.08.2008 an Bundesrat zur Abstimmung übergeben
- Empfehlungen der Bundesrats-Ausschüsse zur Sitzung am 06.03.2009
- Erläuterung des Bundesrates zur Sitzung am 06.03.2009
- Beschluss des Bundesrates zur EnEV 2009 vom 06.03.2009

Natürlich ersetzen auch Neufassungen zu »Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand« und »Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand« mit Datum vom 30.07.2009 die alte Fassung. Ich nehme es vorweg. Am 07.04.2015 erfolgte zwangsläufig wieder eine Neufassung zu den »Regeln für Energieverbrauchskennwerte«.

Als Ergänzung erwähne ich noch die aufkommenden EnEV-Durchführungsverordnungen der Länder und das Geschäftsfeld der daraus resultierenden Prüfsachverständigen. Diese sollen nun die Vollständigkeit und Richtigkeit der Nachweise bescheinigen

---

<sup>57</sup> siehe <http://www.zukunft-haus.info/gesetze-studien-verordnungen/enev-enev-historie/enev-historie/enev-2009.html> [Stand 09.10.2015]

und die Bauausführung überprüfen sowie die energetischen Eigenschaften des fertiggestellten Gebäudes nach der EnEV bescheinigen.<sup>58</sup>

Die EnEV 2014 heißt offiziell EnEV 2013 und sollte bereits 2012 in Kraft treten. Ich nutze den Begriff EnEV 2014, da die im Oktober 2013 von der Bundesregierung verabschiedete Novelle zum 01.05.2014 in Kraft trat. Folgende Neuerungen auf einen Blick<sup>59</sup>:

- Veränderung des Bandtachos beim Energieausweis und Einführung von Energieeffizienzklassen (A+ bis H)
- Verkäufer und Vermieter müssen einen Energieausweis übergeben und energetische Kennwerte bei Anzeigen veröffentlichen.
- Öffentlich zugängliche Gebäude unterliegen einer Aushangpflicht.
- Der Primärenergiefaktor für Strom wird auf 2,4 und ab 01.01.2016 auf 1,8 gesenkt.
- Ab dem 01.01.2016 verschärfen sich die primärenergetischen Anforderungen bei Neubauten um 25 %.
- Die Wärmedämmung von Gebäuden muss in etwa um 20 % verbessert werden.
- Inzwischen aktualisierte Normen, wie die DIN V 18599, wurden aufgenommen.

Auf Grund der weiter gestiegenen Anforderungen an neu zu errichtende Gebäude ist es nun unabdingbar, sich endgültig zum Beispiel mit dem detaillierten Wärmebrückennachweis oder Kennwerten einer Luft-Luft-Wärmepumpe zu beschäftigen und somit auch mit der neuen Fassung der DIN V 18599.

Für mich persönlich ist und bleibt die EnEV der sogenannte »kleine Bruder« des Erneuerbare-Energien-Wärmegegesetzes. Das EEG als »große Schwester« verursachte durch ihre Anforderungen viel schwerer wiegende und deutlichere Veränderungen beim Hochbau.

### 3.6 2005: Die Vornorm DIN V 18599 erblickt das Licht der Welt

Die DIN V 18599 beinhaltet als Vornorm die energetische Bewertung von Gebäuden. Die Vornorm wurde von einem gemeinsamen Arbeitsausschuss, bestehend aus den Normenausschüssen Bauwesen, Heiz- und Raumlufttechnik und Lichttechnik, entwickelt. Die Berechnungsmethode dient der Beurteilung und Ermittlung aller aufzuwendenden Energiemengen eines Gebäudes. Dazu gehört der Nutz-, End-, und Primär-

58 siehe zum Beispiel <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/service/gesetzestexte/de/download/bauen/20091218EnEVDBln2009.pdf> [Stand 09.10.2015]

59 siehe <http://www.zukunft-haus.info/gesetze-studien-verordnungen/enev-enev-historie/enev-2014.html> [Stand 09.10.2015]

energiebedarf für die Beheizung, Kühlung, Beleuchtung sowie für die Warmwasserbereitung. Auf dieser Basis wird eine integrale Energiebilanzierung erstellt, die nicht nur die Gebäudehülle, sondern auch die Nutzung und die Anlagentechnik betrachtet und die Wechselwirkungen inklusive der Randbedingungen zu den Klimaregionen berücksichtigt. Die DIN V 18599 ist zur Bilanzierung von Nichtwohngebäuden anzuwenden. Bei Wohngebäuden besteht noch eine Wahlmöglichkeit. Die Vornorm kann, sie muss jedoch nicht, eingesetzt werden. Zunächst erschien die Vornorm im Jahr 2005 (Datum 07/2005) mit einem Umfang von 754 Seiten, was entsprechende Kritik von Anwenderseite verursachte. Nach dem Erscheinen einer ersten Tabellenkalkulation konnte die Anwendung vereinfacht werden, und es folgte ein bundesweiter Feldversuch. Die Ergebnisse bestätigten einerseits die Vorgehensweise hinsichtlich einer Monatsbilanzierung und zeigten andererseits Verbesserungspotentiale auf. Die Vornorm wurde daraufhin mit Datum Februar 2007 neu aufgelegt und beinhaltete folgende 10 Teile:<sup>60</sup>

- Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger
- Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen
- Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung
- Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung
- Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen
- Teil 6: Endenergiebedarf von Wohnungslüftungsanlagen und Luftheizungsanlagen für den Wohnungsbau
- Teil 7: Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau
- Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen
- Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen
- Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten

Die Vornormreihe erfüllte die Forderungen des Artikels 3 der Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Energieeffizienz von Gebäuden, die ab 2006 in allen Mitgliedsstaaten einzuhalten sind. Die Konformität mit den Europäischen Normen wurde nachgewiesen. Aufgrund dessen kann die Vornorm in Deutschland und in Europa angewendet werden.<sup>61</sup>

Die Anwendung der DIN V 18599:2007-02 zur Bilanzierung von Nichtwohngebäuden ist in Deutschland seit der Einführung der EnEV 2007 vorgeschrieben. In der EnEV 2009 wird sich ebenso auf diese Ausgabe bezogen und die Nettogrundfläche als Bezugseinheit für den Jahresenergiebedarf definiert. Bei der Berechnung wird

60 vgl. DIN V 18599:2007-02, Einführung

61 vgl. DIN V 18599:2007-02, Einführung

zunächst ein Referenzgebäude mit gleicher Geometrie, Nettogrundfläche, Ausrichtung und Nutzung betrachtet und dabei Vorgabewerte für die Bilanzierung berücksichtigt. Die Bilanzierung zum konkreten Nichtwohngebäude erfolgt dann unter Ansatz der tatsächlichen wärmetechnischen Daten zu den Bauteilen der Gebäudehülle und zur eingesetzten Gebäudetechnik. Das konkrete Objekt muss den zuvor ermittelten Referenzwert beim Jahres-Primärenergiebedarf mindestens erreichen oder unterschreiten. Die Einhaltung des zweiten Parameters, des Wärmedurchgangskoeffizienten, orientiert sich an Höchstwerten zu mittleren U-Werten, bezogen auf opake und transparente Bauteile. Bei Vorhangsfassaden und Glasdächern bzw. Lichtbändern und Lichtkuppeln gilt die gleiche Vorgehensweise. Wie die Einhaltung der beiden Parameter unter erhöhten Anforderungen eines KfW-Effizienzhauses bei Nichtwohngebäuden mit Hilfe der DIN V 18599 erreicht wird, ist Teil des Leitfadens in diesem Buch.

Mit Datum Oktober 2009 erschien der Sonderdruck (DIN V 18599-100), der Ergänzungen und Änderungen zur DIN V 18599-1 bis DIN V 18599-10 und somit zu allen Teilen beinhaltete. Nahezu parallel wurde mit Datum Januar 2010 das Beiblatt 1 (Bedarfs-/Verbrauchsabgleich) veröffentlicht. Zweck des Beiblattes war es, die Vornorm auf zwei weitere Anwendungsspunkte hin, im Sinne einer Energieberatung auf Grundlage der Vornorm bei bestehenden Nichtwohngebäuden, zu ergänzen. Zum einen wird damit der Abgleich zwischen Bedarfs- und Verbrauchswerten möglich und zum anderen können Bilanzen mit individuellen Randbedingungen erstellt werden.

Bilanzen, die für diese Anwendungsfälle erstellt werden, haben nicht den Charakter eines öffentlich-rechtlichen Nachweises nach der Energieeinsparverordnung.

Mit Datum Dezember 2011 erschien eine Neufassung der Vornorm DIN V 18599 mit nunmehr 11 Teilen und im Juni 2012 erschien ein zusätzliches Beiblatt 2. Der Umfang der Vornorm liegt nun insgesamt bei rund 1.200 Seiten. Bei den Teilen 6 und 9 wurde der Titel angepasst. Die aktualisierten Teile und der zusätzliche Teil 11 sind nachfolgend aufgeführt:

- **Teil 6:** Endenergiebedarf von Lüftungsanlagen, Luftheizungsanlagen und Kühl-systemen für den Wohnungsbau
- **Teil 9:** End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen
- **Teil 11:** Gebäudeautomation

Das Beiblatt 1 blieb unverändert mit Datum vom Januar 2010 Bestandteil der Vornorm. Das zusätzliche Beiblatt 2 trägt den Titel »Beschreibung der Anwendung von Kennwerten aus der DIN V 18599 bei Nachweisen des Gesetzes zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG)«. Es beschreibt die Anwendung von Kennwerten bei der Erstellung von Nachweisen gemäß EEWärmeG. Zum Teil 1, 5, 8 und 9 erschien mit Datum vom Mai 2013 jeweils eine Berichtigung. Damit ist

zunächst die Entwicklung der DIN V 18599 abgeschlossen (Stand Ende 2015). Weitere Entwicklungsschritte sind zu erwarten.

Es sei erwähnt, dass die DIN V 18599 unverändert den Status einer Vornorm hat, da Vorbehalte zum Inhalt bzw. gegenüber einem normabweichenden Aufstellungsverfahrens bestehen. Beispielsweise wurde vorab kein Entwurf veröffentlicht.<sup>62</sup>

Mit Inkrafttreten der EnEV 2014 wurde die DIN V 18599 vom Dezember 2011 für den öffentlich-rechtlichen Nachweis bindend und als Referenzklimazone galt von da an Potsdam<sup>63</sup>, anstelle des Referenzortes Würzburg.

Nachfolgend werden zwei Beispiele zu Änderungen, die sich zwischen der Ausgabe 2007 und 2011 vollzogen haben, aufgeführt. Zum einen wurde der Primärenergiefaktor zum Strommix von 2,7 auf zunächst 2,6 im Sonderdruck des Teils 100 und in der Ausgabe 2011 auf 2,4 gesenkt. Zum anderen fanden aktuelle Systeme zu Luft-Luft-Wärmepumpen (VRF/VRV-System, Variable Refrigerant Flow, Variable Refrigerant Volume) Berücksichtigung, womit Systeme mit variablem Kältemittelstrom oder Kältemittelvolumen gemeint sind und eine größere Anzahl von Inneneinheiten zulassen. Dabei kann bei der Aufstellung der Außeneinheit gleichzeitig eine Platzersparnis erzielt werden. Die Inneneinheiten können aus unterschiedlichen Modellen bestehen und je nach Leistungsanforderung wird der jeweilige Kältemittelvolumenstrom angepasst, was gleichzeitig die Anlageneffizienz erhöht.

### 3.7 2009: Das Erneuerbare Energien Wärmegesetz, ein Meilenstein

Nach Einführung der Energieeinsparverordnung und Novellen bis zur EnEV 2007 war noch keine wirklich relevante Änderung am System »Gebäude« notwendig geworden. Klar war, dass der Anteil der erneuerbaren Energien bei der Wärmeversorgung eine wichtige Rolle übernehmen musste. Und dieser Anteil sollte zukünftig durch die Einführung des Erneuerbare Energien Wärmegesetzes angehoben und sichergestellt werden.

Ich nehme es vorweg, es war erfolgreich. Seit Inkrafttreten des vom Bundestag beschlossenen Gesetzes am 01.01.2009 wurden zumindest bei den Neubauten die Akteure auf die erneuerbaren Energien hin sensibilisiert. Auch in meinem Projektumfeld entstand kaum noch ein neues Gebäude ohne den Einsatz von erneuerbaren Wärmeenergien. Die Deckung von mindestens 50 % des Wärmebedarfs, beispielsweise durch Einsatz von Umweltwärme, wurde bei Neubauten realisiert.

62 vgl. DIN V 18599-1:2011-12

63 vgl. DIN V 18599-10: 2011-12, Anhang E

Die nachfolgend aufgeführte Variation zum Einsatz von erneuerbaren Wärmeenergien, die Ersatzmaßnahme, war nicht unbedingt eine Alternative, da die EnEV um mindestens 15 % zu unterschreiten war. Die Unterschreitung der Anforderungen an die Gebäudehülle war rechnerisch und praktisch leicht möglich. Die Nachweisführung zum Jahres-Primärenergiebedarf (mindestens 15 % unter EnEV-Anforderungen) hatte es jedoch in sich. Insofern kam es, wie es kommen sollte. Die fossilen Energieträger wurden bei Neubauten immer öfter verdrängt.

Auch bei großen oder großflächigen Nichtwohngebäuden mit entsprechenden Gebäudehöhen kam beispielsweise die Umweltwärme immer mehr zum Einsatz. Das folgende Beispielsystem ist heute keine Einzellösung mehr.

Zur Deckung des Wärmebedarfs mit mindestens 50 % aus Umweltwärme wird ein bivalentes System eingesetzt. Luft-Wärmepumpen versorgen den Wärmespeicher bis etwa 0 °C Außentemperatur. Darunter wird mit einem Gas-Brennwertkessel geheizt. Oder Luft-Wärmepumpen versorgen die Heizregister von Lüftungssystemen und ein Gas-Brennwertkessel versorgt die Wärmeübertragung mit Hilfe von Heizkörpern. Auch der umgekehrte Einsatz der Wärmequellen oder weitere Variationen sind denkbar.

Im Februar 2011 folgte ein Änderungsbeschluss im Deutschen Bundestag und das novellierte EEWärmeG trat zum 01.05.2011 in Kraft.

In §§ 5 und 5 a EEWärmeG wird der konkrete Mindestanteil der erneuerbaren Energien (solare Strahlungsenergie, Biomasse, Geothermie und Umweltwärme) bei der Gebäudebeheizung vorgeschrieben. In § 7 EEWärmeG werden abweichend hiervon die erwähnten möglichen Ersatzmaßnahmen beschrieben. Nach § 3 Abs. 1 EEWärmeG sind Eigentümer von Gebäuden, die neu errichtet werden, verpflichtet den Wärmebedarf anteilig aus erneuerbaren Energien zu decken. Diese Pflicht ist gemäß § 7 EEWärmeG auch erfüllt, wenn der anteilige Wärmebedarf durch Abwärme gedeckt wird.

Damit besteht eine Nutzungspflicht nur für den Neubaubereich.

Im Altbaubereich besteht nach § 3 Abs. 2 und § 5 a EEWärmeG nur für die öffentliche Hand die Pflicht, erneuerbare Energien bei grundlegenden Renovierungen einzusetzen. Im Referentenentwurf war zunächst auch die Einbeziehung der Altbauten angedacht, da die Berücksichtigung der Altbauten besonders wichtig für das CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial ist. Letztlich wurde im Regierungsentwurf der Gebäudebestand hinsichtlich der Nutzungspflicht ausgeklammert.<sup>64</sup>

In § 3 Abs. 4 Nr. 2 sieht das EEWärmeG eine Öffnungsklausel für Landesregelungen vor. Demnach kann auf Landesebene der Altbaubestand zur Nutzung von erneuerbaren

64 vgl. Müller Thorsten; Oschmann & Wuustlich, 2010, S. 146f.

Energien verpflichtet werden. Dies wurde bisher in Baden-Württemberg angewendet. Gemäß § 3 Nr. 5 Erneuerbare-Wärme-Gesetz (EWärmeG BW) unterliegt in Baden-Württemberg auch der Altbaubereich der Nutzungspflicht, wenn ab dem 01.01.2010 die Heizungsanlage ausgetauscht wird.

Die Öffnungsklausel nach § 3 Abs. 4 Nr. 2 EEWärmeG verweist nicht auf den Geltungsbereich nach § 4 EEWärmeG. Auf Grund dessen sind die Länder nicht an die Beschränkung der Gebäude gebunden und können zum Beispiel auch Gebäude zu religiösen Zwecken mit einbeziehen.<sup>65</sup>

Auch im Bereich des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes können Grundsätze bzw. deren Anwendung diskutiert werden. Diese beziehen sich im Wesentlichen auf die Begriffe Abwärme bzw. Umweltwärme sowie Neubau und Bestand. Die Umweltwärme wird in § 2 Abs. 1 Nr. 2 EEWärmeG definiert. Demnach ist Umweltwärme im Sinne dieses Gesetzes eine erneuerbare Energie. Die erneuerbaren Energien sind dem Boden entnommene Wärme (Geothermie), die der Luft oder dem Wasser entnommenen Wärme (Umweltwärme) mit Ausnahme von Abwärme, durch Solarstrahlung gedeckte Wärme oder durch feste, flüssige oder gasförmige Biomasse erzeugte Wärme. Demnach ist Abwärme nach dem EEWärmeG nicht als Umweltwärme und somit auch nicht als erneuerbare Energie definiert.

Unter Abwärme fällt auch beispielsweise die Abwasserwärme. Ursprünglich sollte die Abwasserwärme nach dem Regierungsentwurf unter den Begriff der Umweltwärme fallen. Der Text des Gesetzentwurfs der Bundesregierung zum EEWärmeG vom 18.02.2008 ist als Drucksache 16/8149 online beim Deutschen Bundestag einsehbar. Hier heißt es:

*Zu § 2 (Begriffsbestimmungen)...*

*Zu Absatz 1...*

*Zu Nummer 4*

*»Umweltwärme« ist Abwärme und die Wärme, die der Luft oder Gewässern entnommen wird. Dazu gehört jede Form von erdoberflächennaher Wärme mit Ausnahme der dem Erdboden entnommenen Wärme, die das Gesetz einheitlich als Geothermie definiert (Nummer 1). Zur Umweltwärme zählen deshalb auch Abwärme, Abwasserwärme und in Fortluft enthaltene Wärme wie Wärme aus mechanischer Lüftung mit Wärmerückgewinnung und vergleichbare Wärme nicht natürlichen Ursprungs.«<sup>66</sup>*

65 vgl. Müller Thorsten; Oschmann & Wuustlich, 2010, S. 165 ff.

66 vgl. Deutscher Bundestag, EEWärmeG, Seite 21, 2008

Die wesentlichen Neuerungen im EEWärmeG können wie folgt zusammengefasst werden:<sup>67</sup>

- Die Nutzungspflicht wurde auf den Kältebedarf erweitert.
- Öffentliche Nichtwohngebäude übernehmen eine Vorbildfunktion. Bei grundlegenden Renovierungen im Altbau ist das EEWärmeG anzuwenden.

### 3.8 2015: Die KfW-Effizienzhausförderung für Nichtwohngebäude

Förderprogramme von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) für Wohneigentum, Eigenheime und Wohnhäuser gibt es bereits seit vielen Jahren und werden als KfW-Energieeffizienzprogramme bezeichnet.

Der Nichtwohngebäudebereich blieb jedoch bis 2015 unbeachtet. Nun ist ein erster Baustein, der zu einer energetisch effizienteren Bauweise führen kann, seit Juli 2015 verfügbar. Die KfW-Bank hat das Förderprogramm 276/277/278 eingeführt. Demnach werden Nichtwohngebäude-Effizienzhäuser im Sanierungs- und Neubaubereich analog zu Wohngebäuden gefördert. Diese Fördermöglichkeit muss zunächst bekannt gemacht werden und als Anreiz im Zuge von Entscheidungsprozessen bei relevanten Akteuren im Wirtschaftsbau wirken. Gemeint ist, dass das Förderangebot zu effizienteren Bauweisen führt, die die EnEV-Anforderungen übererfüllen.

Inwiefern die Entscheider im Wirtschaftsbau ihre Investitionen von diesen Förderungen abhängig machen, bleibt noch abzuwarten. Jedenfalls ist ein Schritt in die richtige Richtung getan, da Anreize für deutlich optimierte Gebäude gesetzt werden. Das Förderprogramm ist für Freiberufler, Unternehmen und Contracting-Unternehmen, die eine Dienstleistung für gewerbliche Nichtwohngebäude erbringen, gedacht.

Im Sanierungsbereich (Programm 277) wird das KfW-Effizienzhaus 70 und das KfW-Effizienzhaus 100 gefördert. Zusätzlich sind denkmalgeschützte Gebäude förderfähig. Damit soll die energetische Sanierung gewerblich genutzter Nichtwohngebäude vorangetrieben werden.

Weiterhin können Einzelmaßnahmen (Programm 278) zur Verbesserung der Energieeffizienz im Zuge von Sanierungsmaßnahmen gefördert werden. Diese Maßnahmenfelder sind Bestandteil:<sup>68</sup>

67 vgl. <http://www.zukunft-haus.info/gesetze-studien-verordnungen/gesetze-verordnungen/eewaermeg.html> [Stand 13.10.2015]

68 vgl. <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Foerderprodukte/EE-Bauen-und-Sanieren-Unternehmen-276-277-278/> [Stand 08.02.2016]

- Wärmedämmung
- Fenster, Vorhangfassade, Außentüren, Tore, Ladestellen
- Sommerlicher Wärmeschutz
- Lüftung und Klima inklusive Wärme- und Kälterückgewinnung, Abwärmenutzung (Abwärmenutzung: hierunter fällt beispielsweise die Abwasserwärmennutzung)
- Wärme- und Kälteerzeugung
- Wärme- und Kälteverteilung und -speicherung
- Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlagen
- Beleuchtung
- Mess-, Steuer- und Regeltechnik, Gebäudeautomation

Die Förderung von Sanierungsmaßnahmen beinhaltet für die Umsetzung eines KfW-Effizienzhauses 70 zinsgünstige Kredite und Tilgungszuschüsse bis zu 17,5 % der Kreditsumme bzw. in Anlehnung an Höchstbeträge je Quadratmeter. Abgestufte Tilgungszuschüsse im Zuge von Sanierungen gibt es des Weiteren für ein KfW-Effizienzhaus 100, für das Baudenkmal und Einzelmaßnahmen. Die Kredithöhe bei Neubauten oder Sanierungsmaßnahmen beträgt in der Regel bis zu 25 Millionen Euro pro Vorhaben bzw. bis zu 100 % der Investitionskosten.

Im Neubaubereich wird seit 2016 nur noch das KfW-Effizienzhaus 55 inklusive Tilgungszuschuss von 5 % (höchstens 50 €/m<sup>2</sup>) gefördert. Für das Erreichen eines KfW-Effizienzhaus 70 wird ein Kredit ohne Tilgungszuschuss angeboten, da dieser Standard seit 01.01.2016 in etwa den Neubauanforderungen entspricht (25 % besser als Referenzgebäude).<sup>69</sup>

Im Gegensatz zu Wohngebäuden werden keine KfW-Effizienzhäuser 40 und Passivhäuser in den Förderrichtlinien erwähnt.

Wie ein KfW-55-Standard bei gewerblichen Gebäuden erreicht werden kann, soll später anhand der Parameter und Beispiele im Buch besprochen werden. Unter 5.12.1 werden die KfW-Anforderungen konkreter beschrieben. Vorab kann erwähnt werden, dass sicherlich Betrachtungen zu Wärmebrücken, zur Luftdichtheit, zum Wärmeverlust über Bodenplatten usw. nunmehr genauer und detaillierter zu bewerten sind. Ziel der Förderung ist es, auch den Anteil erneuerbarer Wärmeenergien weiter zu steigern, da eine sehr gut gedämmte Gebäudehülle alleine nicht das Einhalten des Jahres-Primärenergiebedarfs gewährleisten kann.

Vor Beginn des Vorhabens muss der KfW-Kreditvorgang abgeschlossen sein. Es sind rechtzeitig zusammen mit dem Objektplaner, Architekten, Ingenieur oder Energieberater, der Sachverständiger im Sinne der KfW bzw. Expertenliste des Bundes sein

69 vgl. <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Foerder-produkte/EE-Bauen-und-Sanieren-Unternehmen-276-277-278/#2> [Stand 08.02.2015]

muss, die vielfältigen integralen Planungsparameter als Grundlage der Berechnungen zum Effizienzhausstandard festzulegen.

Die umfangreichen Festlegungen und Berechnungen sowie deren Ergebnisse stellen die Projektschnur dar, an der sich bis zur Fertigstellung des Gebäudes entlanggehangelt wird. Nachträgliche Änderungen während der Planung oder des Baus müssen zur Einhaltung des beantragten bzw. beabsichtigten Effizienzhausstandards führen und sind daher vom Energieeffizienzexperten während des gesamten Planungs- und Bauprozesses zu begleiten.

Nach der Durchführung der Maßnahmen ist der Mitteleinsatz nachzuweisen und der Sachverständige muss abschließend die Umsetzung des geförderten Vorhabens bestätigen. Das passende Leistungsbild und die Vergütung sind in der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI 2013) unter Anlage 1, Nummer 1.2 zu finden. Planungskosten für die Effizienzmaßnahmen sind ebenfalls als förderfähige Kosten ansetzbar.

### 3.9 2016: Aktuelle Randbedingungen der Bilanzierung

Gemäß EnEV 2014, Anlage 2, Tabelle 1 sind die Anforderungen bei Neubauten zum berechneten Jahres-Primärenergiebedarf an das Referenzgebäude seit 01.01.2016 mit dem Faktor 0,75 zu multiplizieren, was eine 25-prozentige Reduzierung des Höchstwertes darstellt. Dies gilt für Nichtwohngebäude bzw. Zonen mit Raum-Solltemperaturen kleiner 19 °C (bis 12 °C) und auch darüber.

Unter Ziffer 1.1.2 der Anlage 2 (EnEV 2014) wird eine Einschränkung gemacht. Diese Festlegung gilt nicht für Gebäudezonen mit mehr als vier Meter Raumhöhe und einer dezentralen Gebläse- oder Strahlungsheizung.

Die Höchstwerte zu den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten reduzieren sich ab Januar 2016 auf die angegebenen Werte in Tabelle 2 der Anlage 2 (EnEV 2014) für Zonen ab 19 °C Innenraumtemperatur wie folgt:

- Opake Bauteile: von 0,35 auf 0,28 W/(m<sup>2</sup>·K)
- Transparante Bauteile: von 1,9 auf 1,5 W/(m<sup>2</sup>·K)
- Vorhangfassaden: von 1,9 auf 1,5 W/(m<sup>2</sup>·K)
- Glasdächer/Lichtbänder/Lichtkuppeln: von 3,1 auf 2,5 W/(m<sup>2</sup>·K)

Dadurch wird eine weitere Reduzierung des Wärmeverlustes über die Gebäudehülle von etwa 20 bis 25 % erreicht.

Für Zonen mit weniger als 19 °C Innenraumtemperatur ändern sich die Anforderungen gemäß Tabelle 2 der Anlage 2 im Vergleich zur EnEV 2009 nicht. Ebenso wenig nicht

für Gebäudezonen mit mehr als vier Meter Raumhöhe und einer dezentralen Gebläse- oder Strahlungsheizung (Nummer 1.3, Anlage 2, EnEV 2014).

Unter Ziffer 2.1.8 der Anlage 2 werden Nutzungen aufgeführt, bei denen abweichend von der DIN 18599-10:2011-12 eine Innenraumtemperatur von 17 °C angesetzt werden kann, soweit die tatsächlichen Nutzungsbedingungen dies nahelegen. Dies gilt für folgende Zonen:

- 5 Schalterhalle
- 6 Einzelhandel/Kaufhaus
- 7 Einzelhandel/Kaufhaus (Lebensmittelabteilung mit Kühlprodukten)
- 18 Nebenflächen
- 19 Verkehrsflächen
- 20 Lager, Technik, Archiv
- 24 Foyer (Theater und Veranstaltungsbauten)

Für die Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes ist nunmehr die aktuelle DIN 4108-2:2013-02 (Nummer 3 Anlage 1 in Verbindung mit Nummer 4 Anlage 2, EnEV 2014) anzuwenden, was eine Verschärfung der Anforderungen bedeutet.<sup>70</sup>

Bei Änderungen und Erweiterungen im Nichtwohngebäudebestand gilt, dass die neuen Anforderungen ab Januar 2016 um nicht mehr als 40 % überschritten werden (§ 9 EnEV 2014).

Der Primärenergiefaktor zum Strommix ist seit dem 01.01.2016 mit 1,8 anzusetzen (Nummer 2.1.1 Anlage 1 in Verbindung mit Nummer 2.1.1 Anlage 2, EnEV 2014). Dadurch werden Heizsysteme (Wärmepumpen-Systeme) basierend auf elektrischem Strom weiter in den Fokus rücken.

Weiterhin sind aktualisierte Normen zu beachten und bei den Nachweisen zu energieeffizienten Gebäuden anzuwenden. Als Beispiel sei die DIN 4108-3:2014-11 zum klimabedingten Feuchteschutz oder die DIN 4108-10:2015-01 zu Anforderungen bei Wärmedämmstoffen aufgeführt.

### 3.10 Ab 2017: Building Information Modeling und energieeffizientes Bauen

Warum greife ich das Trend-Thema an dieser Stelle auf?

Mir ist wichtig klarzumachen, dass Building Information Modeling (BIM) generell als Prozess und nicht als Software-Anwendung verstanden wird. BIM ist eine Projektor-

70 vgl. Clemenz Gunnar, 2015

ganisationsform, die bestenfalls das bisherige Projektmanagement unterstützt und beispielsweise als Ziel die Kostensicherheit, die Bauqualität und die Qualität der Dokumentation steigern helfen soll, insbesondere als Grundlage für einen nach der Bauphase wirtschaftlichen Nutzungszeitraum. Nur weil ein BIM-Projekt ausgerufen wird, ist die Komplexität noch nicht beherrschbar. Dazu werden Menschen und keine Tools benötigt. Außerdem müssen diese Menschen eine agile Projektbearbeitung beherzigen.

Wenn ein Energieeffizienzgebäude im Nichtwohnungsbau entstehen soll, ist eine sehr hohe Qualitätsstufe beabsichtigt. Für dieses komplexe System muss zunächst ein Bewusstsein geschaffen werden. Viele Prozesse sind zu optimieren, Planungsabläufe genauso wie Bauabläufe und ebenso der betriebliche Umgang mit dem Objekt.

Die Planungs- und Baufehler infolge der Komplexität des Systems »Energieeffizienzgebäude« können durch BIM-Prozesse idealerweise reduziert werden. Durch den BIM-Prozess müssen sich auch Bauherren und Auftraggeber anpassen, da Entscheidungsgrundlagen und Folgen von zu späten Entscheidungen transparenter werden. Dies fördert zeitnahe Entscheidungen.

Der Auftraggeber muss sich ebenso rechtzeitig im Klaren über seine Nutzungsanforderungen und internen Abläufe werden. Genauso sollen Planer Abläufe und Anforderungen bei der Planung berücksichtigen, insofern diese vorliegen, und auf die Personen, die die Gebäude betreiben, eingehen. Dies ist ein wechselseitiger Prozess, der nur gelingt, wenn die Anforderungen aus dem Betrieb eindeutig und rechtzeitig bekannt sind.

Nachfolgend einige Stichwörter zu BIM, die ich in meiner Vorlesung zum Projektmanagement an der Hochschule in Mainz, Lehreinheit Bauingenieurwesen, Masterstudiengang Technisches Immobilienmanagement einbringe:

- BIM ist als Methode der Projektabwicklung/des Projektmanagements zu verstehen
- Bewusstsein für optimierte Abläufe im Planungs-, Bau- und Betriebsprozess schaffen
- zu schaffender Datenraum als gemeinsame und offene Plattform verstehen (Architekt, Technische Gebäudeausrüstung (TGA), Tragwerksplaner, Berechnungsprogramme, Ausstattung, Dokumentation)
- modellorientiertes Denken entwickeln und Kollisionsplanungen beachten
- in Datenpool und Datenstrukturen denken
- 3d-Modell von unten aufbauen (beispielsweise in Anlehnung an Abläufe der HOAI, Leistungsphase 1 bis 9), Daten im Zuge der Leistungsphasen verdichten
- kooperativ im Projekt- und Betriebsablauf handeln
- EDV/Software nur als Tool verstehen: Office, CAD, CAFM, 3d-Modelle usw.

- interdisziplinäres Denken entwickeln und generalistische Kompetenzen aufbauen, dabei kritisches Ingenieurdenken bewahren
- Lebenszyklusbetrachtungen von Beginn an berücksichtigen

Demnächst haben wir dann am Bau BIM-Manager, die alles richten werden und mit umfassenden Kompetenzen und Organisationsformen das Projekt zum Erfolg führen. Sie ersetzen den Facility Manager, den Projektmanager, den Projektsteuerer, den Architekt, den Ingenieur und noch so einige andere.

Zum Optimieren von Planungs- und Bauabläufen sind noch andere Dinge wichtig. Dazu gehört aus meiner Sicht beispielsweise eine Vereinfachung der Normenlandschaft als Grundlage für anwendungsorientiertes Planen und Bauen. Dadurch ließen sich einerseits der Aufbau von individuellen fachlichen Kompetenzen und andererseits die dazugehörige Kommunikationsqualität in integralen Planungsteams sicherlich verbessern.

Die Praxis zeigt jedoch, dass wir uns im Bauwesen einer Flutwelle von unüberschaubaren Normen und Vorschriften für Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken gegenübersehen, gepaart mit der Flutwelle zu Änderungen im Planungsprozess und vor allem während des Bauprozesses.

Auf diesen Flutwellen tanzend versuchen die Planer und Ausführenden nicht weg-zurutschen und am Ende ein Bauwerk zu übergeben, was sich auf diesen noch nicht ausgelaufenen Wellen im weiteren Lebenszyklus seinen Weg bahnen muss. Diese Wellen werden zum Teil durch die unüberschaubare Normenflut und vor allem auch durch Änderungen des Auftraggebers geformt. Insbesondere weil dieser bis zum Tage der Eröffnung oder Gebäudeübergabe wankelmüsig ist, Entscheidungen nicht rechtzeitig trifft oder Verantwortungen umgelagert werden sollen und letztlich dadurch bis zum Ende Änderungen entstehen.

In Kapitel 5.4 zeige ich beispielhaft und nur andeutungsweise die Verwirrung durch unsere Normenlandschaft auf, wenn ich den Versuch wage Randbedingungen für die Berechnungen zum Feuchteschutz bei Wärmebrücken aufzuzeigen. Dabei lasse ich viele Definitionen und Verweise sowie für mich Widersprüchliches weg und hoffe die richtigen und relevanten Randbedingungen gefunden zu haben.

Der Leitfaden zeigt insgesamt – aber auch nur im Ansatz – die unüberschaubare Vielfalt und Verweisstrategie der Normenlandschaft.

Aber wir blicken optimistisch in die Zukunft. Eventuell hilft uns die Normenreihe 52000 (Entwurf) weiter? Aufführen möchte ich an dieser Stelle beispielsweise folgende Normenentwürfe mit dem Haupttitel »Energieeffizienz von Gebäuden«:

DIN EN ISO 52000-2015-10<sup>71</sup> (Ersatz für DIN EN 15603:2013-05<sup>72</sup>)

DIN EN ISO 52000-2015-10, Beiblatt 1

DIN EN ISO 52016-2015-03<sup>73</sup>

DIN EN ISO 52017-2015-03<sup>74</sup>

Auf diese Entwürfe setzte ich meine ganze Hoffnung, in Hinblick auf ein effizienteres Strukturieren der Normenlandschaft. Auf die Inhalte und die Anwendung gehe ich zum jetzigen Zeitpunkt der Normenentwürfe nicht ein.

Der Bauprozess und das entstehende Bauwerk ist ein **Unikat**. Wir betreiben **keine** Produktentwicklung, testen im Vorfeld keine Prototypen und haben keine sich anschließende Massenfertigung in einer witterungsgeschützten Produktionsstraße (bei Produkten aus der Massenproduktion kommt es im Nachgang auch zu Fehlerbehebungen und Updates bzw. Verbesserungen). Wir können keine Rückholaktionen starten und im Nachgang keine Updates einspielen, wie in der IT- und EDV-Welt. Wir verkaufen keine neue Programmversion, in der einige Fehler und Mängel beseitigt wurden.

Selbst Normen bzw. Vornormen werden im Nachgang berichtigt (siehe zum Beispiel Teil 1, 5, 7 und 9 der DIN V 18599). Wir haben einen einmaligen Planungs- und Bauprozess und am Ende ein Objekt, was nach unzähligen Änderungen im Sinne der VOB und des BGB's werkvertraglich fertig gestellt wurde und mangelfrei sein soll.

Dazu kommt der immense Kosten- und Termindruck, und dass der Bauprozess der Witterung ausgesetzt ist. Wir fertigen nichts in einer klimatisierten und staubfreien Produktionshalle. Wir verwenden viele natürliche Materialien und Bauprodukte, die beispielsweise »wetterföhlig« und temperaturabhängig sind sowie ein natürliches Rissbild aufzeigen.

Wir stehen beim Bau bei Wind und Wetter auf dem Gerüst und montieren Materialien und Bauprodukte **nicht** unter Laborbedingungen.

Letztlich führen Änderungen in der Regel **nicht** zur Verschiebung des Eröffnungs- oder Übergabetermins. Der »Termin« steht über allem.

71 Festlegungen zur Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Allgemeiner Rahmen und Verfahren (ISO/DIS 52000-1:2015)

72 Gesamtenergiebedarf und Festlegung der Energiekennwerte

73 Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung, Innentemperaturen sowie der Heiz- und Kühllast in einem Gebäude oder einer Gebäudezone – Teil 1: Berechnungsverfahren (ISO/DIS 52016-1:2015)

74 Berechnung der Dynamischen Thermischen Balance in einem Gebäude oder Bauzone – Teil 1: Allgemeines Berechnungsverfahren (ISO/DIS 52017-1:2014)

Wie werden sich die bauspezifischen Prozesse durch BIM ändern? Ansätze zur Optimierung sind sicherlich möglich und am wichtigsten scheint es mir ein Bewusstsein für ein verbessertes Projekt- und Kommunikationsmanagement zu schaffen.

## 4 Politische Zielsetzungen, Handlungsempfehlungen für die Stadtbene

### 4.1 2019: Niedrigstenergiegebäude und klimaneutraler Gebäudebestand

Gemäß den politischen Zielvorstellungen (Energiekonzept der Bundesregierung) soll bis zum Jahr 2050 ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand entstanden sein, wobei der verbleibende, geringe Energiebedarf überwiegend durch erneuerbare Energien gedeckt werden soll. Dementsprechend soll in Anlehnung an die EU-Gebäuderichtlinie<sup>75</sup>, die für alle EU-Mitgliedsstaaten bindend ist, ab dem Jahr 2021 die Neubauten als sogenannte Niedrigstenergiegebäude<sup>76</sup> (nearly zero-energy buildings) realisiert werden. Öffentliche Neubauten sollen bereits ab Anfang 2019 diesen Standard einhalten. Gemeint ist damit die zuvor aufgeführte Zielstellung, dass die Gebäude einen sehr niedrigen Energiebedarf haben und der verbleibende Energiebedarf durch erneuerbare Energien gedeckt wird. Nach Artikel 2 der Neuauflage der EU-Gebäuderichtlinie ist ein Niedrigstenergiegebäude wie folgt definiert:

*»...ein Gebäude, das eine sehr hohe, nach Anhang 1, bestimmte Gesamtenergieeffizienz aufweist. Der fast bei null liegende oder sehr geringe Energiebedarf sollte zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen – einschließlich Energie aus erneuerbaren Quellen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird – gedeckt werden.«*

Eine Orientierung kann unter anderem an folgenden Standards erfolgen [vgl. 8.5]:

- Passivhaus
- Nullenergiehaus
- Plusenergiehaus
- Darüber hinaus dient der KfW-Effizienzhausstandard 40 und 55 in Anlehnung an die Energieeinsparverordnung als Orientierung.<sup>77</sup>

75 vgl. Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19.05.2010

76 vgl. Artikel 9, Richtlinie 2010/31/EU

77 vgl. Müller Hans-Stefan, 2014

In Deutschland werden die europäischen Forderungen durch das Energiespargesetz (EnEG) und die Energieeinsparverordnung (EnEV) umgesetzt. Derzeit ist die EnEV 2014 anzuwenden, die erst seit 2016 verstärkte Anforderungen im Vergleich zur EnEV 2009 vorsah.

Wie nun konkret die politischen Vorstellungen auf die Vielzahl von Gebäudetypen im Nichtwohnungsbau übertragen werden können, ist nicht weiter differenziert. In diesem Buch orientieren wir uns daher an den normativen Ansätzen, an die sich werkvertraglich gebundene Beteiligte zu halten haben. Die EnEV 2014/2016 mit ihren Anforderungen bzw. die DIN V 18599 sind hier das Maß der Dinge. Ebenso die dazugehörigen Förderrichtlinien der KfW. Andere Instrumente oder Vorgehensweisen kommen mit Blick auf das Schutzen des werkvertraglichen Erfolgs nicht in Frage. Ausgenommen sei der Passivhausstandard, wobei hier im Buch der Effizienzhausstandard mit Bezug zur EnEV im Vordergrund steht.

## 4.2 1990–2050: CO<sub>2</sub>-Reduzierung um 80 bis 90 % und Szenarien

Das Minderungsniveau der Treibhausgase wird auf das Jahr 1990 bezogen. Damit eine Bewertung der Ziele im Sektor »beheizte Nichtwohngebäude« unter Berücksichtigung der Bestandssituation und dem Referenzjahr 1990 möglich ist, ist eine umfangreiche Vorausberechnung notwendig. Im Bereich der Nichtwohngebäude umso mehr, da kaum Daten zur Bestandssituation und weitergehende Untersuchungen vorliegen. Eine eigene Untersuchung [vgl. Hamann Achim, 2014] beschäftigte sich mit dieser Thematik am Beispiel der Stadt Wuppertal bzw. dem Stadtteil Vohwinkel. Die Ergebnisse mit Blick auf die angestrebten Minderungen des Treibhausgases Kohlendioxid um mindestens 80 % werden nachfolgend für die beheizten Nichtwohngebäude auf der Stadtebene aufgezeigt.

### Bestandssituation am Beispiel der Stadt Wuppertal

Zur Abschätzung der Bestandssituation auf der Stadtebene wurden eine Vorgehensweise und ein Berechnungsmodell entwickelt. Nach Anwendung der Methode bzw. des Modells, wobei ergänzend auch die Wohngebäude auf der Stadtteilebene berücksichtigt wurden, können für Wuppertal-Vohwinkel folgende drei Merkmale zum beheizten Nichtwohngebäudebestand für das Ausgangsjahr 1990 und für den Betrachtungszeitraum 2010 zusammengefasst werden:

#### 1. Vergleich CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 1990 und in 2010:

- Veränderungen in Vohwinkel (absolut): -4,8 %
- Veränderungen in Vohwinkel (pro Kopf): +5,6 % (Rückgang Bevölkerung)

Infolge der rückläufigen Einwohnerzahl stiegen, bezogen auf eine Pro-Kopf-Betrachtung, die CO<sub>2</sub>-Emissionen etwas an. Absolut betrachtet sind sie etwas gefallen. Unterm Strich kann festgestellt werden, dass bei den Nichtwohngebäuden (Raumwärme Sektor) bisher nur geringe Veränderungen eingetreten sind.

## 2. Vergleich Flächenveränderungen zwischen 1990 und 2010:

- flächenbezogene Zuwachsrate: ca. 0,5% pro Jahr
- flächenbezogene Sanierungsrate: ca. 0,6% pro Jahr

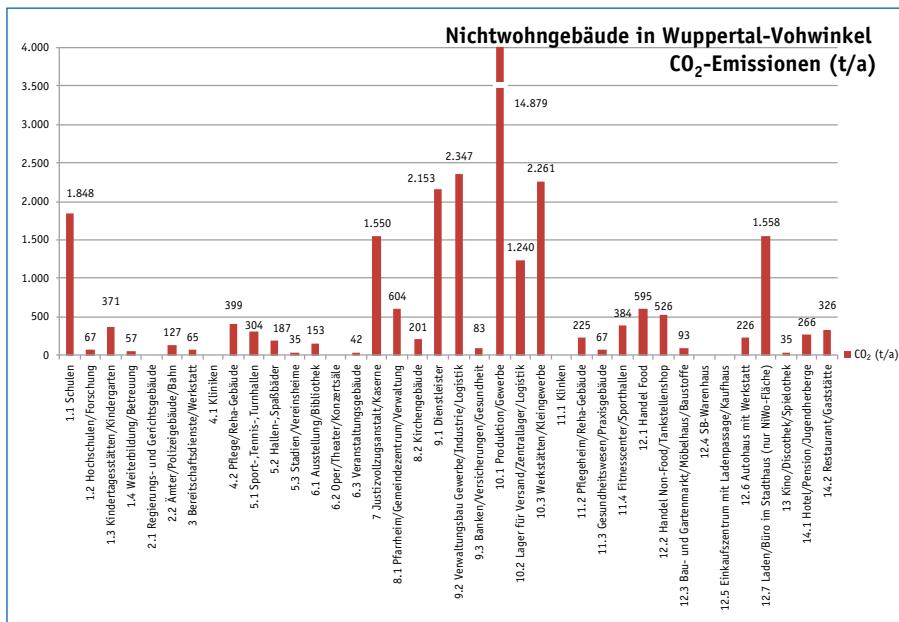
Die Sanierungsrate lag bisher deutlich unter einem Prozent pro Jahr und insgesamt wuchs die zu beheizende Fläche trotz eines Einwohnerrückgangs um etwa 0,5% pro Jahr weiter an. Der Anteil der Bruttogrundfläche der beheizten Nichtwohngebäude am gesamten Gebäudebestand inklusive Wohngebäude betrug im Jahr 2010 rund 37%. Der mittlere Heizkennwert aller Gebäudetypen lag 2010 trotz bisheriger Sanierungs- und Neubaumaßnahmen bei etwa 150 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Dies ist mit den realisierten älteren energetischen Standards begründbar, wobei die Wirtschaftsbauten, bezogen auf die Heizkennwerte, im Schnitt energetisch älter als öffentliche Gebäude sind.

## 3. Bezogen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2010 sind folgende Kennwerte von Interesse:

- CO<sub>2</sub>-Anteil beheizter Nichtwohngebäude = **41,5%** (Wohngebäude = 58,5%)
- CO<sub>2</sub>-Anteil Wirtschaftsbauten (innerhalb Nichtwohngebäudebestand) = **82%**
- CO<sub>2</sub>-Anteil Non-Profit-Organisationen = 18%, (städtische Gebäude = 7%)
- Anteil Raumwärmeversorgung der Nichtwohngebäude an den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Stadtgebiet Wuppertal = **13%**
- Die pro-Kopf-Emissionen liegen bei **1,1 t CO<sub>2</sub>/(E·a)**.

Es stellte sich heraus, dass bis zum Jahr 2010 noch keine relevante Größenordnung hinsichtlich CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungen bei der Beheizung der Nichtwohngebäude erreicht werden konnte. Weiterhin stellt sich auf Grund des etwa 42-prozentigen Anteils, bezogen auf den gesamten Gebäude Sektor, das CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial durch energetische Veränderungen des Nichtwohngebäudebestandes als sehr groß dar. Weiterhin wird deutlich, dass bereits die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Beheizung der Nichtwohngebäude dem politischen Pro-Kopf-Ziel zu den Gesamtemissionen für das Jahr 2050 entsprechen.

Werden die Ergebnisse zu den unterschiedenen Gebäudetypen näher betrachtet, zeigt sich die in Abbildung 10 aufgeführte CO<sub>2</sub>-Emissionsverteilung. Insbesondere wird erkennbar, dass die größten Emissionen bei den Gebäudetypen des Wirtschaftsbaus entstehen.



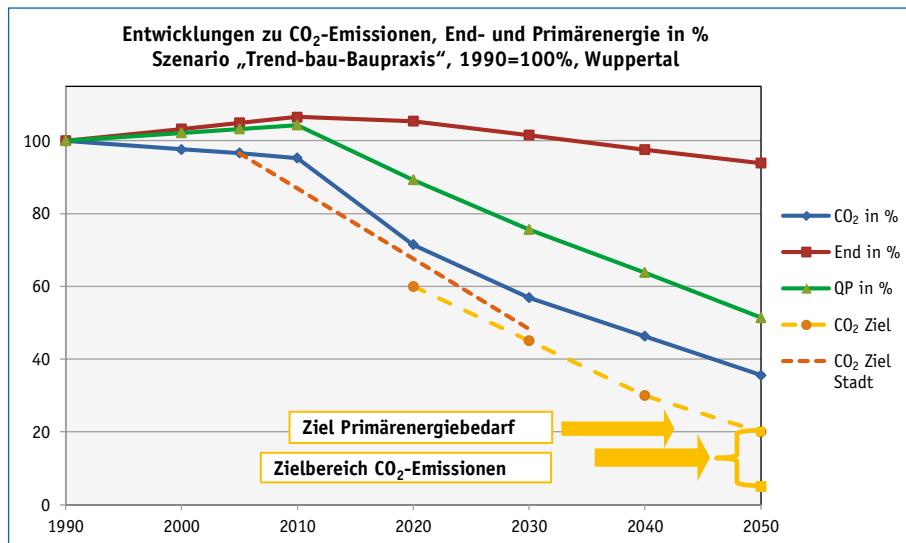
**Abbildung 10:** Gebäudetypen, Bestandssituation 2010, Wuppertal-Vohwinkel [Quelle: Hamann Achim, 2014, S. 108]

### CO<sub>2</sub>-Minderungs-Szenarien

Damit der Entwicklungsbereich der Nichtwohngebäude bis 2050 unter Variation von Schlüsselfaktoren aufgezeigt werden konnte, wurden mehrere Forecasting-Szenarien und ein Backcasting-Szenario erstellt. Diese basieren auf unterschiedlichen Veränderungen zu den Gebäudeflächen je Gebäudetyp, zu den Energieträgern und bei der jeweiligen Gebäudehülle je Gebäudetyp auf dem energetischen Baustandard. Dazu wurden die vier Baualtersklassen des Bestandes (A bis D) um drei zukünftige Baualtersklassen ergänzt (E bis G, siehe auch Tabelle 1). Das sogenannte Trend-Szenario spiegelt die Entwicklungen wider, die sich einstellen, wenn sich der abzeichnende Trend fortgesetzt. Beim Beispiel Wuppertal wurde für das Trend-Szenario von folgenden Schlüsselfaktoren ausgegangen:

- Sanierungsrate: 0,65 % pro Jahr
- Flächenzuwachs: 0,5 % pro Jahr
- Anteil erneuerbarer Wärmeenergien im Jahr 2020 11 % und im Jahr 2050 31%:
  - feste Biomasse: 7,6 %
  - Solarthermie: 7,2 %
  - Geothermie/Umweltwärme: 14,4 %
  - Tiefengeothermie/Abwasserwärmevernutzung: 1,8 %
  - Anteil Fernwärme: 18,7 %
- Die Heizkennwerte werden von im Mittel 150 kWh/(m<sup>2</sup>·a) im Jahr 2010 auf 30 bis 60 kWh/(m<sup>2</sup>·a) im Jahr 2050 je nach Gebäudetyp gesenkt.

Das Trend-Szenario für Wuppertal bis zum Jahr 2050 wird in Abbildung 11 aufgezeigt. Hierin wird der Verlauf, ausgehend von 100 % im Jahr 1990 bis zum Jahr 2050, zum Heizenergieverbrauch (End), zum Primärenergieverbrauch (QP) und zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich. Gleichzeitig wird der allgemeine Zielverlauf des Bundes bis 2050 und nach der städtischen Beschlusslage bis 2030 aufgezeigt.

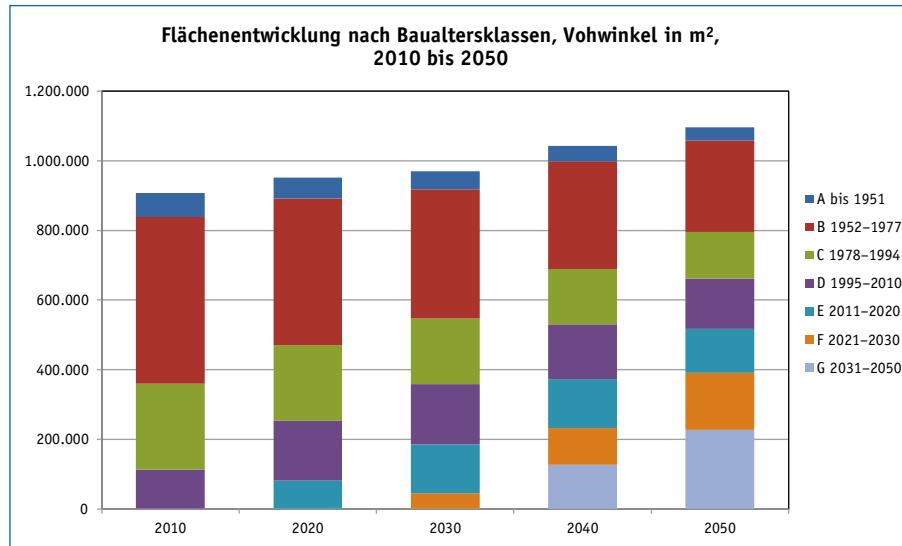


**Abbildung 11:** Trend-Szenario für Wuppertal, Beheizung Nichtwohngebäude [Quelle: Hamann Achim, 2014, S. 226]

Demnach wird in Wuppertal eine CO<sub>2</sub>-Reduzierung im beheizten Nichtwohngebäude-sektor bis 2050 von etwa minus 64 % erreicht. Ohne die Nutzung von Fernwärme, wie es im Stadtteil Vohwinkel erfolgt, liegt die Reduzierung lediglich bei minus 50 %. Die Pro-Kopf-Minderung liegt für das Stadtgebiet Wuppertal bei minus 49 %. Damit wird deutlich, dass das Ziel von mindestens minus 80 % nicht ohne Weiteres erreichbar ist.

Ebenso wird erkennbar, dass die Zwischenziele in den Jahren 2020, 2030 und 2040 nicht erreichbar werden.

Abbildung 12 zeigt die dazugehörige Flächenentwicklung der Baualtersklassen A bis G. Die alten Baualtersklassen A bis D des Bestandes (2010) werden gemäß Trendverlauf im Jahr 2050 immer noch einen Anteil von rund 50 % aufweisen. Gemäß Abbildung 12 wird es auch in Zukunft zu einem Flächenzuwachs kommen, was den Minderungsansätzen entgegenwirkt. Demnach ist die Sanierungs-, die Abriss- und die Neubaurate so zu verändern, dass diese Einflüsse die Klimaschutzabsichten strategisch unterstützen.



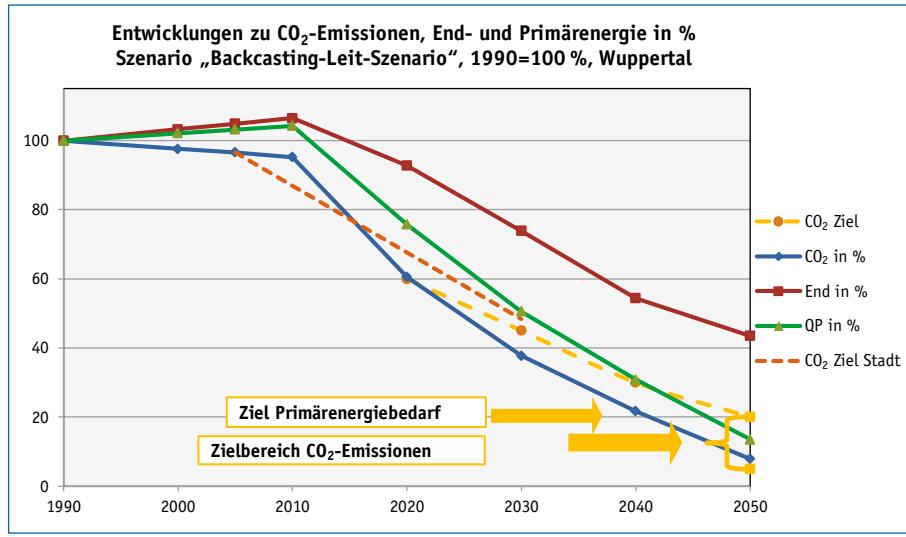
**Abbildung 12:** Flächenentwicklungen beim Trend-Szenario, Wuppertal-Vohwinkel [Quelle: Hamann Achim, 2014, S. 222]

Infofern sind Leitparameter für die strategische Korrektur beim Trend bzw. für Strategieansätze zu entwickeln. Die notwendigen Leitparameter, die strategische Ansätze widerspiegeln, lauten für den beheizten Nichtwohngebäudesektor am Beispiel von Wuppertal wie folgt:

- Die Sanierungsrate muss kurzfristig auf mindestens 2 % pro Jahr angehoben werden.
- Die Neubaurate muss durch die Abrissrate (jeweils 1 % pro Jahr) ausgeglichen werden. Ein weiterer Flächenzuwachs ist zu vermeiden.

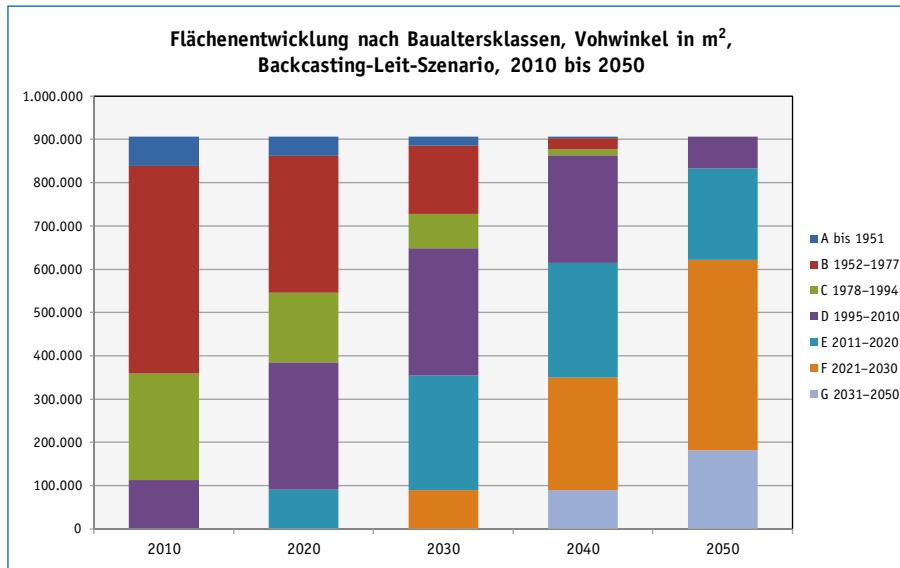
- Die Anteile der erneuerbaren Wärmeenergien müssen auf insgesamt 54 % bis 2050 gesteigert werden. Die Anteile der einzelnen Energieträger sollten betragen:
  - feste Biomasse: 12 %
  - Solarthermie: 14 %
  - Geothermie/Umweltwärme: 25 %
  - Tiefengeothermie/Abwasserwärmevernutzung: 3 %
- Der Anteil Fernwärme ist auf 21% zu steigern.
- Die Heizkennwerte sind wiederum von im Mittel 150 kWh/(m<sup>2</sup>·a) im Jahr 2010 auf 30 bis 60 kWh/(m<sup>2</sup>·a) im Jahr 2050 je nach Gebäudetyp zu senken.

Das daraus resultierende Leitszenario bis zum Jahr 2050 am Beispiel von Wuppertal ist in Abbildung 13 dargestellt. Absolut betrachtet wird eine CO<sub>2</sub>-Minderung von minus 92% erreicht (Pro-Kopf: minus 88%). Der Stadtteil Vohwinkel, der auch zukünftig auf Fernwärme verzichten muss, wird ein Minus von 80% erreichen, was einer Punktlandung entspricht.



**Abbildung 13:** Leitszenario für Wuppertal, Beheizung Nichtwohngebäude [Quelle: Hamann Achim, 2014, Anhang S. 193]

Die Wirkung des strategischen Ansatzes bei der Flächenentwicklung wird in Abbildung 14 deutlich. Im Jahr 2050 werden demnach die alten Baualtersklassen A bis C verschwunden sein. Lediglich die noch relativ junge Baualtersklasse D (Baustandard 1995 bis 2010) ist noch geringfügig vertreten. Somit ist die alte Bausubstanz bis zum Jahr 2050 verschwunden oder energetisch hochwertig saniert.



**Abbildung 14:** Flächenentwicklungen beim Leitszenario, Wuppertal-Vohwinkel [Quelle: Hamann Achim, 2014, S. 239]

## 4.3 2010–2050: Handlungsempfehlungen für die Stadt ebene

### Handlungsempfehlungen auf Basis von CO<sub>2</sub>-Szenarien

Aus den Erkenntnissen der Szenarien lassen sich Klimaschutzstrategien für die Stadt ebene definieren. Es sind drei Strategieansätze notwendig. Die Verfolgung nur eines Ansatzes führt nicht zur beabsichtigten CO<sub>2</sub>-Minderung im Raumwärmesektor der Nichtwohngebäude. Die Klimaschutzstrategieansätze lauten allgemein formuliert wie folgt:

- Effizienz / Besser – Strategie
- Konsistenz / Anders – Strategie
- Suffizienz / Weniger – Strategie

Dahinter verbergen sich einerseits Effizienzmaßnahmen an der Gebäudehülle je Gebäudetyp und andererseits beim Planungs- sowie Bauprozess. Die Gebäudehüllen sind energetisch so effizient zu gestalten, dass die Heizkennwerte um den Faktor 3 bis 5 verbessert werden und somit von etwa 150 kWh/(m<sup>2</sup>·a) bis auf 30 kWh/(m<sup>2</sup>·a) fallen. Dies kann beispielweise durch Optimierungen im Bereich der Wärmebrücken, der Luftdichtheit, der Wandstärken und Dämmstoffqualität sowie durch effizientere Heiz- und Lüftungstechnik erreicht werden.

Ebenso ist die Planungs- und Bauqualität durch Aus- und Weiterbildungsprogramme zu verbessern, um der anwachsenden Häufigkeit von Baumängeln entgegenzuwirken. Diese entstehen infolge der inzwischen größeren Gesamtkomplexität und dem bekannten wirtschaftlichen sowie terminlichen Druck am Bau.

Des Weiteren ist die jährliche Sanierungsrate und Sanierungstiefe deutlich zu steigern und bis 2050 beizubehalten. Die Sanierungsrate muss mindestens 2 % pro Jahr betragen, was bei aktuellen etwa 0,65 % pro Jahr ebenso einem Faktor von 3 entspricht. Da die Sanierungsrate von 2 % laut den Szenarien noch nicht erreicht wurde, ist die Sanierungsrate für die verbleibenden Jahre zu erhöhen.

Die Anteile bei den erneuerbaren Wärmeenergien sind auf 54 % und der Fernwärmean teil, falls vorhanden, bis auf 21 % zu steigern, was im Sinne der Konsistenz-Strategie zu deutlichen Veränderungen führen muss. Damit der genannte Anteil der erneuerbaren Wärmeenergien bis 2050 erreicht wird, ist eine Steigerungsrate beim Einsatz von erneuerbaren Wärmeenergien von etwa 1,4 % pro Jahr bis 2050 erforderlich. Elektrische Wärmepumpen sind dabei von Strom anzutreiben, der bis zum Jahr 2050 etwa zu 70 % aus erneuerbaren Energien produziert wird.

Letztlich ist der weitere Flächenzuwachs im Sinne einer Suffizienz-Strategie zu vermeiden. Die Neubaurate für Neu- und Ersatzbauten ist durch die Abrissrate auszugleichen. Die Raten sollten bei 1 % pro Jahr liegen.

In Tabelle 5 werden die strategischen Maßnahmen und ihre Wirkungsanteile am Beispiel von Wuppertal aufgeführt. Zusammengefasst stellt sich das Ergebnis wie folgt dar:

- Effizienz / Besser – Strategie → 45 % Anteil
- Konsistenz / Anders – Strategie → 45 % Anteil
- Suffizienz / Weniger – Strategie → 10 % Anteil

Für den Stadtteil Vohwinkel ergeben sich ohne die Nutzung von Fernwärme folgende Wirkungsanteile:

- Effizienz / Besser – Strategie → 53 % Anteil
- Konsistenz / Anders – Strategie → 35 % Anteil
- Suffizienz / Weniger – Strategie → 12 % Anteil

### **Zusammenfassung**

1. Die energetische Sanierungsrate ist kurzfristig von 0,65 % auf über 2 % pro Jahr (Faktor 3) zu steigern und bis 2050 beizubehalten.
2. Die baupraktischen Einflüsse sollten nicht weiterhin zu höheren Verbräuchen führen, als diese planmäßig angedacht sind (Verbesserung der Ausführungsqualität durch Weiterbildung und Sensibilisierung der Planer, Handwerker und Bauleiter).

3. Der Heizenergieverbrauch muss je nach Gebäudekategorie mindestens um den Faktor 3 bis 5 durch Verbesserung der Gebäudehülle und Heiztechnik reduziert werden.
4. Die erneuerbaren Wärmeenergien sind bis 2050 in Bereichen ohne Fernwärme auf 56 % anzuheben, zuzüglich 8,5 % Heizstrom für Wärmepumpen aus etwa 70 % erneuerbaren Energien.
5. Der Flächenneubau ist mit einer gleichgroßen Abrissrate auszugleichen, ein weiterer Flächenzuwachs ist zu vermeiden.

Maßnahmen zu einer zukunftsfähigen Stadtentwicklung: Wuppertal 2050		
Strategie	Maßnahme	Wirkungsanteil (%)
Effizienz: Besser!	Reduzierung der <b>Heizkennwerte (Gebäudehülle)</b> : von im Mittel 146,61 kWh/(m <sup>2</sup> ·a) in 2010 auf im Mittel mindestens 44,5 kWh/(m <sup>2</sup> ·a) bei Neubauten und auf mindestens 59 kWh/(m <sup>2</sup> ·a) bei Sanierungen ( <b>mindestens Faktor 3 bis 5</b> ), Sanierungsrate = 0,65 %/a	rd. 20 %
	Steigerung der <b>Sanierungsrate</b> auf mindestens 2 %/a	rd. 22 %
	Vermeidung von baupraktischen Effekten auf den Raumwärmeenergieverbrauch	rd. 3 %
Konsistenz: Anders!	Steigerung der Anteile der erneuerbaren Wärmeenergien ( <b>Heiztechnik</b> ) auf mindestens 31 % zzgl. 4,7 % Stromanteil für Wärmepumpen und 18,7 % Fernwärme	rd. 34 %
	Weitere Steigerung des Anteils erneuerbarer Wärmeenergien ( <b>Heiztechnik</b> ) auf mindestens 54 % (1,4 %/a) zzgl. 8 % Stromanteil für Wärmepumpen und 21 % Fernwärme	rd. 11 %
Suffizienz: Weniger!	Vermeidung eines weiteren Flächenzuwachses: <b>Abrissrate = Neubaurate (1 %/a)</b>	rd. 10 %

**Tabelle 5:** Klimaschutzstrategien und ihre Wirkungsanteile, Wuppertal [Quelle: Hamann Achim, 2014, S. 248]

Mit Hilfe dieser Klimaschutzstrategien sind nicht nur die anvisierten absoluten CO<sub>2</sub>-Minderungen bis zum Jahr 2050 erreichbar, sondern auch die Reduzierung der Pro-Kopf-Emission von 1,1 t CO<sub>2</sub>/(a·E) auf 0,12 t CO<sub>2</sub>/(a·E). Da die Beheizung der Nichtwohngebäude derzeit etwa 13 % der Gesamtemissionen verursacht, kann auch

bei einer Pro-Kopf-Betrachtung von der Zielerreichung mit Hilfe der aufgezeigten Leitparameter und Strategien ausgegangen werden.

### **Handlungsempfehlungen auf Basis einer Akteursbefragung**

Für die Zielerreichung hinsichtlich CO<sub>2</sub>-Minderungen sind die Akteure bzw. die Entscheider im Nichtwohngebäudesektor zu Handlungen nach den zuvor aufgeführten Strategieansätzen zu bewegen. Wie die Akteure sich bisher mit der Thematik beschäftigt haben und wie sie dazu stehen, hat eine Befragung in Wuppertal-Vohwinkel aufgezeigt [vgl. Hamann Achim, 2014]. Salopp ausgedrückt kann die Situation so beschrieben werden: »Die Akteure/Entscheider müssen ganz vorne abgeholt werden.« Diese Formulierung wird durch folgende Erkenntnisse aus der Befragung unterstützt:

- Die Akteure wissen wenig über die Klimaschutzziele.
- Die Akteure sind jedoch sehr interessiert.
- Das Tagesgeschäft verhindert Eigeninitiativen.
- Ein Anschub von außen ist notwendig.
- Es erfolgen keine Investitionen in innerstädtische Bestandslagen, da kein Erweiterungspotenzial am Standort absehbar ist.
- Die Notwendigkeit einer Energieberatung als Initialberatung wird von den Akteuren erkannt. Unsicherheiten bestehen jedoch beim Ansprechpartner Handwerker, Architekt/Ingenieur oder Energieberater, was für den Prozess selbst hinderlich ist.
- Bisher wurden keine relevanten Maßnahmen ergripen.
- Förderprogramme werden im Wirtschaftsbau nicht genutzt.
- Eigene Verbrauchswerte zum Einordnen der energetischen Bestandsituation sind unbekannt.

Auf Grund der Zusammenfassung der Ergebnisse und weiterer Erkenntnisse können Handlungsfelder definiert werden, die insbesondere den Entscheidern im Wirtschaftsbau näher gebracht werden müssen und zu zielorientierten Investitionsentscheidungen beitragen können. Nachfolgend werden insgesamt sechs Handlungsfelder mit stichwortartigen Inhaltsbeschreibungen aufgezeigt, bei denen insbesondere Stadtplaner entscheidend mitwirken können:

#### **Handlungsfeld 1: »Marketing« (Interesse der Akteure wecken)**

- Klimaschutzziele bekannter machen, Stellenwert Nichtwohngebäude verdeutlichen, werben für energetische Sanierung bzw. Ersatzneubauten.
- Energieberaterleistungen für Nichtwohngebäude stärker in den Fokus rücken (für Maßnahmen am Gebäude, insbesondere Effizienzhausstandard).
- Das Zusammenbringen von Fachleuten und Entscheidern muss von außen initiiert werden mit Hilfe einer Initialberatung (Entscheider sind durch Tagesgeschäft abgelenkt, sind jedoch interessiert).

## Handlungsfeld 2: Wirtschaftlichkeit (Interesse der Akteure wecken)

- Wirtschaftliche Einsparpotenziale aufzeigen, Beispielkatalog zu Maßnahmen an der Gebäudehülle und der Gebäudetechnik als Hilfestellung anlegen.
- Vergleichskatalog zu flächenspezifischen Heizkennwerten zu Gebäudetypen im Bestand und nach der Sanierung bzw. dem Neubau als Argumentationshilfe anlegen.
- Förderprogramme aufzeigen, zum Beispiel:
  - Marktanreizprogramm MAP (für Ausbau erneuerbarer Wärmeenergien)
  - Energieberater KMU und für Effizienzhausstandard
  - KfW-Effizienzhaus-Förderung

## Handlungsfeld 3: Sanierungsrate und Sanierungstiefe

Die Befragung hat gezeigt, dass im Wesentlichen nur eine Sanierungswelle bis zum Jahr 2050 genutzt werden kann. In Abbildung 15 wird dies am Beispiel von Büroflächen verdeutlicht. Betrachtet wurden Sanierungen im Bereich Heiztechnik, Lüftung, Fassaden, Fenster und Dach. Ebenso wurde der Einsatzzeitraum der erneuerbaren Wärmeenergien betrachtet, die demnach verstärkt erst mit der zweiten Heiztechnikerneuerungswelle ab 2040 zum Einsatz kommen. Daher lassen sich folgende Schwerpunkte für das Handlungsfeld beschreiben:

- Die anstehende Sanierungswelle zur Gebäudehülle ist optimal zu nutzen (hohen Neubau-/Sanierungsstandard fördern, in Anlehnung an »Passivhausbauweise« bzw. Effizienzhausbauweise).
- Auf frühestmöglichen Umstieg auf erneuerbare Wärmeenergien ist hinzuwirken.
- Die Bauqualität durch Prüfvollzug des Bauamtes sicherstellen (wird in Zukunft infolge höheren Anforderungen und Komplexität am Bau wieder wichtig).

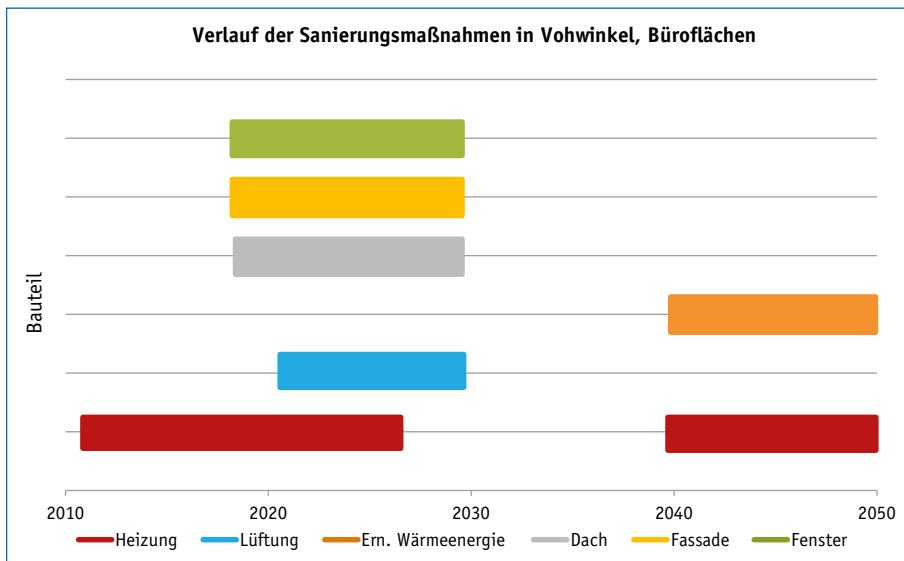


Abbildung 15: Sanierungszyklen bis 2050 [Quelle: Hamann Achim, 2014, S. 175]

#### Handlungsfeld 4: Städtebauliche Konzepte

- Städtebauliche Konzepte für innerstädtische Bestandslagen entwickeln, damit Erweiterungspotenziale für Wirtschaftsbauten entstehen. Dies schafft Planungssicherheit, unternehmerisches Potenzial und löst den Investitionsstau bei Nichtwohngebäuden auf.
- vorhandene Hilfsmittel nutzen und sogenannte »Schrottimmobilien« in den Fokus nehmen (§§ 177/179 BauGB, Modernisierungs-/Instandsetzungsgebot, Rückbaugebot, Vollzug durchführen).

#### Handlungsfeld 5: Energiequellen

- Das Wärme-Contracting ist bekannter zu machen.
- Die Fernwärmeversorgung ist zu modernisieren und der Anteil regenerativer Energien ist zu erhöhen.
- Wärmenetze (Prozesswärme) und Ressourcenausnutzung fördern (Beispiel Abwasserwärmevernutzung, die Grundlagen zur Realisierung von Projekten sind in einem Leitfaden zusammengestellt [vgl. Hamann Achim, 2015].
- Abwärme-, Prozesswärme-, Kälte- und Solarkataster erstellen
- Wärme- und Kältespeicher berücksichtigen
- »Energiequartiere« bzw. energieeffiziente Gewerbegebiete fördern, bzw. bei der Bauleitplanung bereits auf energetische Konzepte hinwirken.

### Handlungsfeld 6: Suffizienz (Effizienz und Konsistenz reichen nicht aus!)

Ein absoluter Flächenzuwachs sollte zukünftig vermieden werden. Dazu ist die Abrissrate zu steigern und Ersatzneubauten sind zu fördern. Hierzu kann wiederum als Hilfsmittel auf §§ 177/179 BauGB zurückgegriffen werden (Modernisierungs-/ Instandsetzungsgebot, Rückbaugebot).

Damit die Akteure des Nichtwohngebäudebestands und insbesondere die des Wirtschaftsbau bei den notwendigen Veränderungen zielorientiert mitwirken, müssen diese auf der Ebene der Entscheidungsträger gewonnen werden. Dabei stellt sich zunächst die Frage: **Wer kann was tun?**

In Abbildung 16 ist der mögliche Kreis derer aufgezeigt, die generell am Gesamtprozess mitwirken können. Im Grunde sind alle gesellschaftlichen Gruppen zu beteiligen, damit sich der zukünftige Gebäudebestand im Nichtwohngebäudebereich zielorientiert bzw. energetisch verbessert.

Ähnliche Zusammenstellungen zu Akteuren wurden bereits in kommunalen Klimaschutzkonzepten aufgezeigt.<sup>78</sup>



**Abbildung 16:** Wer kann was tun? [Quelle: Hamann Achim, 2014, S. 252]

78 vgl. zum Beispiel Steinfurt, 2013, S. 11ff.

Mit Blick auf die Abbildung 16 wird deutlich, dass für den Erfolg des Gesamtprozesses eine Art Managementsystem geschaffen werden sollte, das die Akteure im Sinne eines Klimaschutznetzwerkes zusammenbringt.

Generell gilt, dass Netzwerke<sup>79</sup> auch für die Umsetzung von Strategien im Nichtwohngebäudesektor ein Ansatz sind, da die Ziele mit reinem Ingenieurwissen nicht umgesetzt werden können. Die Akteure müssen erreicht werden. Dabei drängen sich zwei weitere Fragen auf:

- Wer ist der Vernetzer?
- Wo liegt der Nutzen?

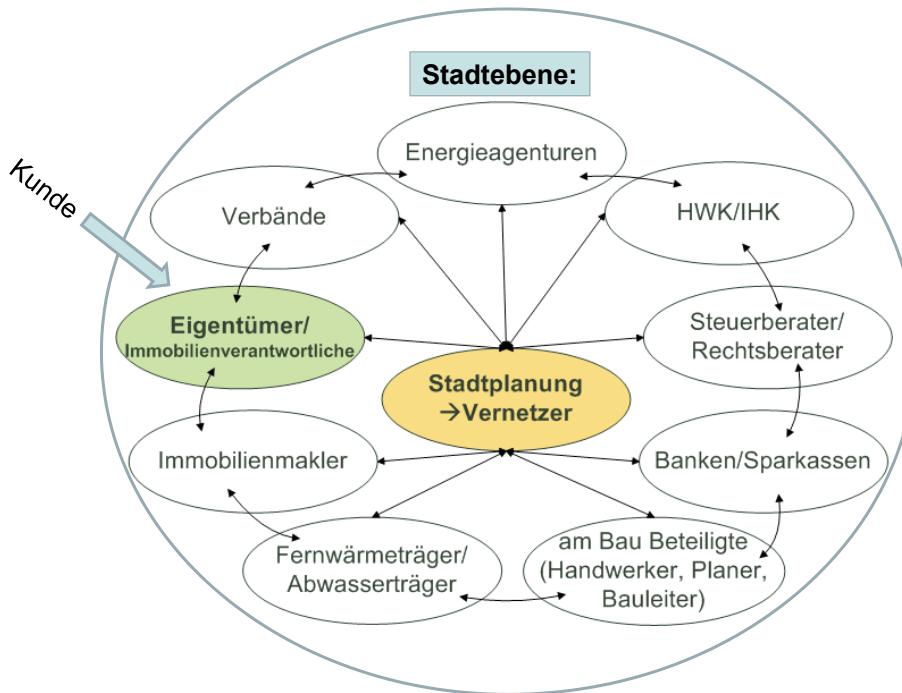
Die Stadtplanung, die zentral den städtischen Klimaschutz im Visier hat, könnte die Schaltstelle als Vernetzer übernehmen und die von außen notwendigen Initiativen steuern sowie die Beteiligten zu zielgerichteten Aktivitäten ermuntern. Dabei hat sie immer den Blick auf den »Kunden« gerichtet, der durch die Entscheider/Eigentümer im Nichtwohngebäudebestand und insbesondere im Bereich des Wirtschaftsbaus charakterisiert ist.

Abbildung 17 zeigt das Zusammenwirken des Netzwerkes mit der zentralen Stelle, die die Stadtplanung einnehmen könnte. Ein zusätzlicher Monitoring-Ansatz für die Überprüfung der Veränderungen bis 2050 ist empfehlenswert.

Ebenso wird in Abbildung 17 der »Endkunde«, der Maßnahmen am Gebäudebestand veranlasst, als Zielpersonenkreis hervorgehoben.

---

79 vgl. DIfu, 2008, S. 6 ff. und ZIRP, 2012, S. 253 ff.



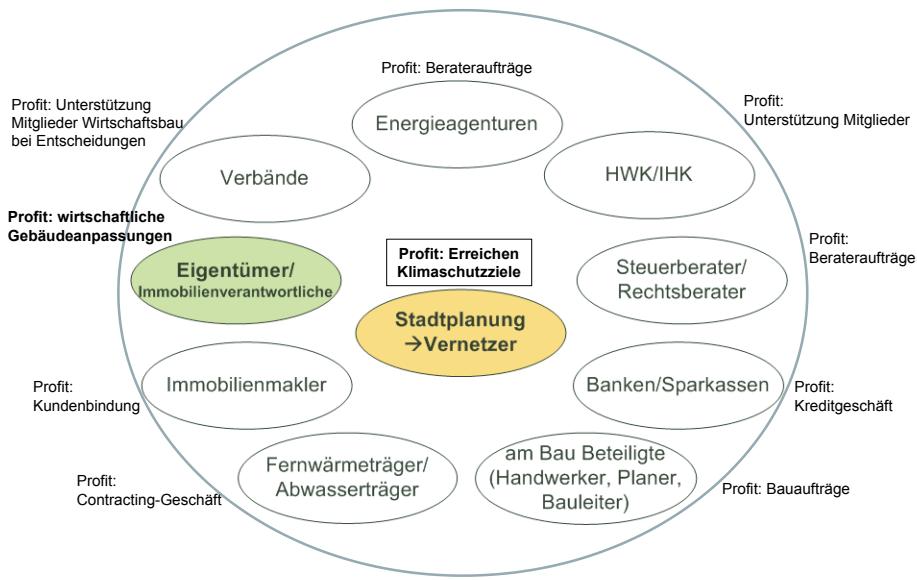
**Abbildung 17:** Netzwerkbildung und der Stadtplaner als Vernetzer [Quelle Hamann Achim, 2016, S. 36]

Damit die Beteiligten im Netzwerk aktiv werden und auch aktiv bleiben, ist insbesondere das Aufzeigen des jeweiligen Nutzens sehr wichtig. Ein profitorientiertes bzw. nutzenorientiertes Denken stellt die Motivation für die Vernetzung und das erfolgreiche Umsetzen der Klimaschutzstrategien dar. Das Netzwerk wird daher als »Klima-Profit-Netzwerk« bezeichnet.

#### 4.4 2016: Das »Klima-Profit-Netzwerk« als Instrument zur Modernisierung des Nichtwohngebäudebestands

Jeder der beteiligten Akteure kann beim anstehenden Stadterneuerungsprozess seinen Nutzen definieren und auf dieser Basis seine Motivation beim Mitwirken zur Modernisierung des Nichtwohngebäudebestands begründen. In Abbildung 18 sind beispielhafte Nutzen den Akteuren zugeordnet. Im Vordergrund stehen das Klimaschutzziel und die wirtschaftliche Anpassungen der Nichtwohngebäude. Die mitwirkenden Akteure im Netzwerk realisieren darüber hinaus ihren eigenen Nutzen bzw. Profit.

Zusammengehalten und organisiert wird der Stadterneuerungsprozess beispielsweise durch städtische und/oder freiberufliche Stadtplaner, die sich der Herausforderung stellen, das Beschäftigungsfeld für sich zu entdecken und den Gesamtprozess über einen längeren Zeitraum begleiten wollen. Ohne ein langfristig angelegtes strategisches Managementsystem auf der Stadtebene mit einem zentralen Vernetzer wird diese Aufgabe bis zum Jahr 2050 nicht zu schaffen sein. Dies wird durch die zuvor aufgezeigten notwendigen Leitparameter, Strategieansätze und Handlungsfelder deutlich.



**Abbildung 18:** Profit/Nutzen im »Klima-Profit-Netzwerk« [Quelle: Hamann Achim, 2016, S. 37]

#### 4.5 Nach 2016: Übergang auf die Gebäudeebene bzw. zum Effizienzhausstandard

Zuvor wurden mit Hilfe von Szenarien und Befragungen bzw. Interviews Handlungsempfehlungen für die Stadtebene abgeleitet. Diese können nur zum Ziel führen, wenn es gelingt diese Ansätze auf die Gebäude- und Entscheiderebene zu übertragen.

Es liegt nun an jedem Akteur selbst – insbesondere im Wirtschaftsbau – Maßnahmen im Rahmen seines eigenen unternehmerischen und wirtschaftlichen Wirkens zu ergreifen und damit seinen Anteil an den Klimaschutzz Zielen und der Stadterneuerung beizutragen.

Konkret bedeutet dies auf der Gebäudeebene einen energetischen hochwertigen Baustandard mit der anstehenden Sanierungs- und Neubauwelle umzusetzen, der dem Effizienzhausgedanken genügt. Das Effizienzhaus orientiert sich dabei an Normen, Verordnungen und Gesetzen, die als Grundlage dienen und umzusetzen sind.

Für Sanierungsfälle ist derzeit als Maßstab das KfW-100- bzw. KfW-70-Gebäude anzusetzen. Im Neubau- und Ersatzbaubereich ist als Standard ein KfW-55-Gebäude anzustreben. Höhere Ziele, wie KfW-40-Gebäude, sind sicherlich vereinzelt auch denkbar, jedoch ist zur Zielerreichung hierfür hauptsächlich die eingesetzte Energiequelle verantwortlich. Zum Beispiel ist dies mit Hilfe von regenerativer Fernwärme oder Biomasse möglich.

Bei elektrisch angetriebenen Wärmepumpen wird dies eher schwieriger zu erreichen sein, da der Primärenergiefaktor für den Strommix bis zum 31.12.2015 (EnEV 2014) noch bei 2,4 lag und ab 2016 mit 1,8 anzusetzen ist. Damit führt der Primärenergiefaktor von 1,8, trotz einer Jahresarbeitszahl von 4 bei einer Wärmepumpe noch zu höheren Primärenergieverbräuchen als beim Einsatz von Biomasse. In Zukunft wird der Primärenergiefaktor und der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor gemäß dem zuvor beschriebenen Leit-Szenario bei Strom noch weiter fallen müssen, damit der Primärenergiebedarf und die resultierenden Emissionen ebenso noch weiter sinken.

Der Primärenergiefaktor für den Strommix muss dabei für den nicht erneuerbaren Anteil unter eins fallen. Der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor muss eine Größenordnung (derzeit rund 600 g/kWh) von 130 g/kWh erreichen. Diverse Untersuchungen und Studien sehen diese Größenordnung bei den Zukunftsbildern vor, was die Steigerung des erneuerbaren Anteils bei der Stromproduktion von 70 bis 85 % voraussetzt.<sup>80</sup>

Zum jetzigen Zeitpunkt ist daher, insbesondere bei großflächigen Nichtwohngebäuden, das Erreichen eines KfW-55-Standards nach normativen Ansätzen bereits ein großer Erfolg für den Klimaschutz.

Welche Planungsansätze zu berücksichtigen sind, wie die Gebäudehülle die KfW-Standards erreicht und welche Energieträger bzw. Technische Gebäudeausrüstung welchen Einfluss haben, wird im nachfolgenden Leitfaden aufbereitet.

## 4.6 Zusammenfassung und Überleitung zu Teil II

Teil I soll den Leser zunächst in die Vergangenheit zurückführen und ihn in der Welt unserer Fachkollegen bzw. der Nichtwohngebäude aus früheren Zeiten abholen.

80 vgl. Hamann Achim, 2014, S. 211–213

Die neuzeitlichere Betrachtungsweise beschäftigt sich dann mit den wesentlichen Grundlagen, hinsichtlich Normen sowie Verordnungen und Gesetzen. Einerseits wird dabei die Historie beleuchtet und andererseits die Gegenwart der Normenlandschaft betrachtet, auf die wir unser aktuelles Handeln aufbauen und rechtfertigen. Ein Ausflug in die Gebäudedatenmodellierung (BIM) durfte als Blick in die Zukunft nicht fehlen.

Auch ein Exkurs zum städtebaulichen und politischen Rahmen wurde eingestreut, da die Immobilienwirtschaft einen sehr großen Anteil am Endenergieverbrauch (ca. 35 % durch Raumwärme und Warmwasser) und an den CO<sub>2</sub>-Emissionen beträgt. Dies ist notwendig, damit ein Bewusstsein zum Verständnis für das, was wir auf der Gebäudeebene umsetzen sollen und wollen, entsteht. Insofern war das Aufzeigen von Handlungsempfehlungen als Beitrag zur Entwicklung einer zukunftsfähigen Gesellschaft und nachhaltigen Immobilienwirtschaft am Beispiel der Nichtwohngebäude eine logische Konsequenz.

Global betrachtet zeigen aktuelle Szenarien<sup>81</sup>, dass Anpassungsprozesse notwendig sind und große Herausforderungen angenommen werden müssen. Nur so wird ein nachhaltiges globales Weltsystem entstehen. Die Nichtwohngebäude und die wirkenden Akteure müssen ihren Teil dazu beitragen.

Daher wird im Folgenden die energieeffiziente Planungs- und Bauweise in Anlehnung an vielfältige Normen und an KfW-Bewertungsmaßstäbe aufgezeigt.

In Teil II wird sich den aktuellen Planungs- und Bewertungswerkzeugen konkreter zugewendet und Einflüsse der Parameter auf die Bilanzierung aufgezeigt.

Dabei verfolge ich den textformulierten Ansatz und werde nur vereinzelt Berechnungsgrundlagen als mathematische Gleichung darstellen. Die Gleichungen und Formeln können in den Normen nachgeschlagen werden. Auf der Textebene sollen vielmehr die Grundlagen für ein Verständnis der wirkenden Parameter erzeugt werden.

Abschließend wird das Bilanzieren und Umsetzen von Energieeffizienzhäusern im Nichtwohngebäudesektor an sechs Beispielen aufgezeigt. Es werden jeweils die Gebäudehülle, die Gebäudetechnik und weitere Bilanzierungsgrundlagen beschrieben. Letztlich werden die Bilanzierungsergebnisse auf Basis der EnEV 2016-Anforderungen verdeutlicht.

---

<sup>81</sup> vgl. Randers Jorgen, 2012

# Teil II: Leitfaden

## 5 Die wichtigsten Planungsgrundlagen und ihre Einflüsse auf die Bilanzierung

Der Leitfaden soll die wirkenden Parameter und Einflüsse von Anlagenkombinationen auf das Bilanzierungsergebnis aufzeigen. Zusätzlich werden Erläuterungen zu den Grundlagen gegeben.

Für den Nachweis des Effizienzhaus-Standards sind dabei im Wesentlichen Normen zur energetischen Bilanzierung und Berechnung bzw. Bewertung von Wärmebrücken, Wärmeverluste über das Erdreich und zur Luftdichtheit relevant. Darüber hinaus sind generell Mindestanforderungen an den Wärme- und Feuchteschutz zu beachten. Schlussendlich spielt auch der Sommerliche Wärmeschutz in die Betrachtungen hinein.

Bei der Bearbeitung eines Projektes oder auch dieses Leitfadens wird deutlich, dass oftmals mehrere Normen für einen Sachverhalt relevant sind. Dadurch ist kein Leitfaden, der sich inhaltlich an einer Norm orientiert, möglich. Ein Leitfaden, der sich an den Sachverhalten orientiert, führt jedoch zum Hin- und Her-Springen zwischen Normen, Verweisen und Ergänzungen.

Nach einer Abwägung habe ich mich dazu entschieden, den Leitfaden zunächst unter Kapitel 5 normen- und vorschriftenorientiert aufzubauen. In Kapitel 6, zwecks Auswahl der geeigneten Parameter zur Erreichung eines Energieeffizienzhausstandards, führe ich den Leitfaden sachverhaltsorientiert anhand von Beispielen weiter.

Bei der Bilanzierung selbst werden die Bereiche Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser und Beleuchtung berücksichtigt, wobei Photovoltaikanlagen und Kraft-Wärme-Kopplung ebenso von Bedeutung sein können.

Die DIN V 18599 ist der Dreh- und Angelpunkt der Betrachtungen und ich versuche gebührend, im Sinne eines Leitfadens, darauf einzugehen. Da die Norm aus meiner Sicht keine oder wenige Erklärungen abgibt, sondern nur die Fakten zu Berechnungen liefert, fällt es je nach Vorkenntnissen nicht unbedingt leicht, damit umzugehen. Das Verständnis und das Wissen sind jedoch aufzubauen, damit der Anwender versteht, was die Software von mir möchte und was sie liefert, insbesondere vor dem Hintergrund, dass die Bilanzierung und die damit verbundene Auswahl der Gebäudetechnik nicht nur für den Ergebnisausdruck gedacht ist und anschließend in einem Ordner abgelegt wird, sondern das Gebäude tatsächlich dem Ziel der Bilanzierung auf Basis der gültigen Anforderungen oder auch darüber hinaus (Energieeffizienzgebäude) ent-

sprechend erstellt wird bzw. die Bilanzierung dem erstellten Gebäude entspricht. Diese Aufgabe ist nicht einfach, gerade in der Modellierung der Gebäudetechnik.

Bei den Normen sind die Begriffe DIN, EN und ISO zu unterscheiden. Die Normen mit der ausschließlichen Bezeichnung DIN-Norm (Deutsches Institut für Normung e. V.) sind nationale Normen. Diese werden inzwischen weitestgehend von internationalen und europäischen Normen abgelöst. ISO-Normen (International Organization for Standardization) werden von über 150 Mitgliedsländern erstellt.

Deutschland wird dabei durch das Deutsche Institut für Normung e. V. vertreten. Die ISO-Normen dienen einer weltweiten Vereinheitlichung von technischen Regeln. Mit den Europäischen Normen (EN) wird eine Harmonisierung der technischen Regeln innerhalb Europas angestrebt. Dabei sollen ISO-Normen unverändert als EN-Normen übernommen werden. Eine EN-Norm ist nach Beschluss des Europäischen Rates unverändert und unmittelbar als nationale Norm zu übernehmen und einzuführen. Gleichzeitig wird die bis dahin gültige nationale Norm ungültig.

Begrifflich und formal ist die sogenannte Vornorm (DIN V) noch zu erwähnen. Bei einer Vornorm bestehen Vorbehalte zum Inhalt bzw. auf Grund des abweichenden Aufstellungsverfahrens im Vergleich zu einer Norm.

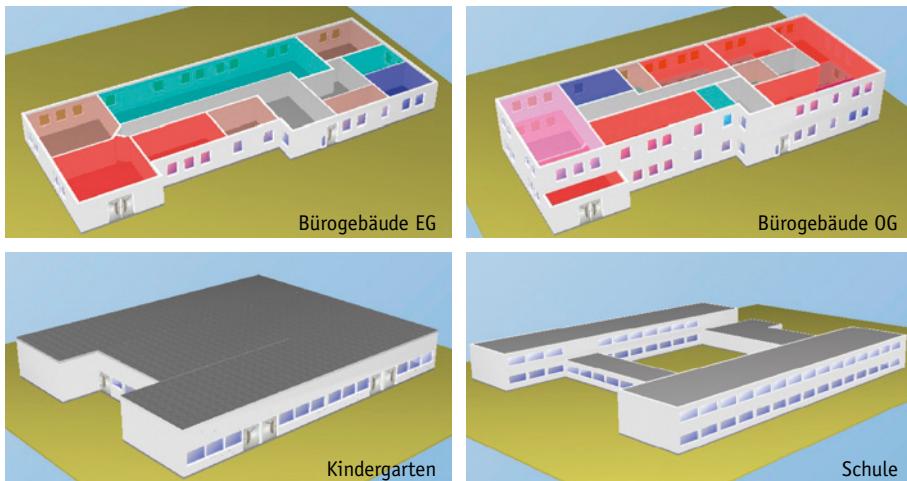
Die im Folgenden aufgeführten Normengrundlagen tragen die Bezeichnungen DIN, DIN V oder DIN EN ISO und sind für die Bilanzierung von Nichtwohngebäuden sowie öffentlich-rechtliche Nachweise für Nichtwohngebäude von Bedeutung. Die wesentlichen Inhalte, die für Betrachtungen zum Effizienzhaus-Standard wichtig sind, werden aufgezeigt.

## 5.1 Exkurs: Modellgebäude zu Nichtwohngebäudetypen

Bei der Bilanzierung von Nichtwohngebäuden sind viele Parameter zu betrachten. Diese nehmen Einfluss auf das Berechnungsergebnis und somit auf das Erreichen des gewünschten Effizienzhausstandards. Wie sich der Einfluss beispielsweise auf Grund normativer Vorgaben und planerischer Wahlmöglichkeiten darstellt, wird im Leitfaden mit Hilfe von Modellgebäuden<sup>82</sup> und den jeweils betrachteten Einzelparametern aufgezeigt.

Dazu erfolgt ein Rückgriff auf Modellgebäude, die für Betrachtungen zur Gesamtheit des Nichtwohngebäudebestands auf der Stadtebene entwickelt wurden. Auf Basis der insgesamt 38 definierten Nichtwohngebäudekategorien<sup>83</sup> werden für die Berechnung nach DIN V 18599 beispielhafte Gebäudetypen ausgesucht und Vergleichsberechnungen mit Hilfe der Modellgebäude angestellt.

In Abbildung 19 sind ausgewählte Modellgebäude zum Typ Schule, Kindergarten und Büro sowie teilweise die Zoneneinteilung gemäß DIN V 18599 farblich aufgeführt.



**Abbildung 19:** Beispiele zu Modellgebäuden [Quelle: Hamann Achim, 2014, S. 62]

Die Modellgebäude wurden ursprünglich für vier unterschiedliche Baualtersklassen und Nutzungsansätze entwickelt. Für die hier beabsichtigte Darstellung wird von Parametern ausgegangen, die einem Neubaustandard im Zeitraum 1995 bis 2010<sup>84</sup> entsprechen.

82 vgl. Hamann Achim, 2014, S. 56–64 und Anhang 1.4–1.7

83 vgl. Hamann Achim, 2014, S. 37–38

84 vgl. Hamann Achim, 2014, S. 40

Tabelle 6 beinhaltet die wesentlichen Modellparameter zu den gewählten Nichtwohngebäudekategorien. Darüber hinaus wurden weitere Modellansätze zu den gewählten Bestandsgebäudetypen angenommen, die beispielsweise das tatsächliche Lüftungsverhalten mit Hilfe der Fensterlüftung eher widerspiegeln sollen. Für Schulen und Kindergärten wurde daher in der Zone 8 (Klassenzimmer, Gruppenraum) nach DIN V 18599-10 der flächenabhängige bzw. personenspezifische Mindestaußenluftvolumenstrom von  $10 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$  auf  $5 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$  bzw. von  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  auf  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  reduziert.<sup>85</sup>

Die Vergleichsberechnungen auf Basis der gewählten Modellparameter zeigen den Einfluss des jeweils variierten Parameters auf, der gemäß Vorschrift bzw. Norm betrachtet werden soll. Die Ergebnisse sind nicht als absolute Zahlenwerte zu interpretieren. Sie sollen helfen ein »Gefühl« für die Modellparameter zu vermitteln und die Wirkungsweise und Einflüsse auf die Bilanzierung zu erkennen. Der prozentuale Unterschied, und somit der tendenzielle Einfluss auf die einzuhaltenden Randbedingungen bei der Bilanzierung, wird jeweils grafisch aufbereitet. Die Berechnungen erfolgten zum Zeitpunkt der Bearbeitung mit der Software »Energieberater«, Version 8.07.

---

85 vgl. Hamann Achim, 2014, Anhang 1.6

Kategorie	Bauart	Baualters-klasse Bkl	Bkl D: Neubau	Bkl 1995-2010 $\wedge$ UWB = 0,05 W/(m <sup>2</sup> · K)	Bauteilflächen in m <sup>2</sup>		tägliche Raum-höhe in m, Temperatur in °C, Nut-zungprofil nach DIN V 18599, Geschosse	Heiztechnik (statische Heizflächen, Heizkessel)	Lüftung (ohne Kühlung)
					Wärmedurchgangskoeffizient U in W/(m <sup>2</sup> · K)				
Schulen, Weiterbildungssitze	Dach/Decke	0,23	Dach, Boden	1.338,00	Wand 2 Osten		Fenster Westen	285,00	3,25
	Wand	0,37	Lichtband		Wand 2 Norden		Fenster Süden	100,00	21
	Wand g. Erdreich	0,47	Wand 1 Osten	630,00	Wand 2 Westen		Tür Osten		8
	Boden	0,46	Wand 1 Norden	330,00	Wand 2 Süden		Tür Norden		2
	Fenster/Lichtband	1,60	Wand 1 Westen	630,00	Fenster Osten	285,00	Tür Westen		
	Türen	3,50	Wand 1 Süden	330,00	Fenster Norden	100,00	Tür Süden		
	Dach/Decke	0,23	Dach, Boden	856,36	Wand 2 Osten	109,65	Fenster Westen	74,00	3,07
	Wand	0,37	Lichtband	32,00	Wand 2 Norden		Fenster Süden	12,00	21
	Wand g. Erdreich	0,47	Wand 1 Osten		Wand 2 Westen		Tür Osten		
	Boden	0,46	Wand 1 Norden	94,04	Wand 2 Süden		Tür Norden		1
Kindergärten	Fenster/Lichtband	1,60	Wand 1 Westen	109,65	Fenster Osten	78,00	Tür Westen		
	Türen	3,50	Wand 1 Süden	94,04	Fenster Norden	21,00	Tür Süden		
	Dach/Decke	0,23	Dach, Boden	414,87	Wand 2 Osten		Fenster Westen	15,16	2,8
	Wand	0,37	Lichtband		Wand 2 Norden		Fenster Süden	15,15	21
	Wand g. Erdreich	0,47	Wand 1 Osten	87,50	Wand 2 Westen		Tür Osten		1, 2, 4, 18, 20
Dienstleister (Büros), Verwaltung für Gewerbe, Industrie, Logistik	Boden	0,46	Wand 1 Norden	213,57	Wand 2 Süden		Tür Norden		2
	Fenster/Lichtband	1,60	Wand 1 Westen	87,50	Fenster Osten	4,55	Tür Westen		
	Türen	3,50	Wand 1 Süden	207,34	Fenster Norden	34,09	Tür Süden		
									9,58

**Tabelle 6:** Parameter der ausgewählten Modellgebäude [Quelle: Hamann Achim, 2014, Auszug aus Anhang 1.7]

## 5.2 Planungsgrundlage EnEV

### 5.2.1 Anrechnung von Strom und Einfluss auf die Bilanzierung

In § 5 der EnEV wird die Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien auf den berechneten Endenergiebedarf explizit erlaubt und an Randbedingungen geknüpft. Wesentlich dabei ist, dass höchstens die Strommenge angerechnet werden kann, die dem berechneten Strombedarf der jeweiligen Nutzung entspricht. Dies ist gemäß § 9 Absatz 2 Satz 1 auch bei Änderungen, Erweiterungen und dem Ausbau von Nichtwohngebäuden möglich.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt: Wird an Gebäuden nichts geändert und nur eine Photovoltaikanlage errichtet, ist eine Berücksichtigung nicht möglich.

Der Strombedarf ist nach Anlage 2 Nummer 2 oder 3 als Monatswert zu bestimmen. Der dem Bedarf gegenüberstehende monatliche Ertrag (Nennleistung) ist auf Grundlage der DIN V 18599-9:2011-12<sup>86</sup>, berichtet mit Datum Mai 2013, zu berechnen. Als Referenzklimazone ist Potsdam für Strom aus solarer Strahlung oder Windenergie maßgebend. Monatliche Erträge aus Wasserkraftanlagen können ebenso angerechnet werden.

Gemäß dieser Definition wird deutlich, dass in der Regel der berechnete Strombedarf im Nichtwohngebäude in Abhängigkeit der Nutzungen die limitierende Größe darstellt und je nach Vorteil für das Berechnungsergebnis zum Effizienzhaus eine Anpassung der Nutzungen im Rahmen der Möglichkeiten in Erwägung gezogen werden kann. Inwiefern sich eine Anpassung der Nutzungen (Zonen) relevant bemerkbar macht, wird in Abbildung 20 deutlich.

Der Energieertrag aus Photovoltaikanlagen kann auch alternativ nach DIN EN 15316-4-6:2009-07<sup>87</sup> ermittelt werden.<sup>88</sup> Die Einstrahlungswerte für Deutschland sind in DIN V 15899-10 aufgeführt.<sup>89</sup>

In naher Zukunft rückt sicherlich auch der Einsatz von Stromspeichern (Akkus) in den Vordergrund, sodass der Strom bis zum Gebrauch zwischengespeichert werden kann. Dadurch kann ein Ungleichgewicht zwischen Ertrag und Bedarf in gewissem Umfang ausgeglichen werden.

86 vgl. DIN V 18599-9:2011-12, Punkt 5.3, S. 26 ff.

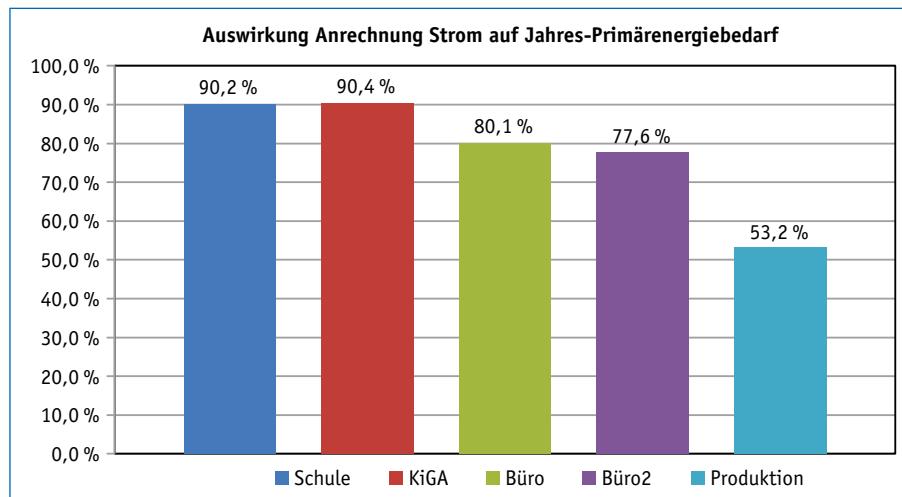
87 DIN EN 15316-4-6:2009-7: Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzunggrade der Anlagen – Teil 4-6: Wärmeerzeugungssysteme, photovoltaische Systeme; Deutsche Fassung EN 15316-4-6:2007

88 vgl. DIBt, Auslegungsfragen zur EnEV-Teil 11, S. 16 f.

89 vgl. DIN V 18599-10:2011-2, Anhang E.3, S. 86 ff.

In Abbildung 20 sind beispielhaft die Ergebnisse nach EnEV 2014 unter Anwendung der Modellgebäude und Nutzungen dargestellt. Das Potenzial zur Reduzierung des Jahres-Primärenergiebedarfs fällt je nach Nutzung unterschiedlich aus. Bei den vier Vergleichsrechnungen betrug die Anrechnung des Stromertrages zwischen 76 und 100 % (Variante »Büro2«). Der Jahres-Primärenergiebedarf kann unter den gewählten Randbedingungen auf etwa 90 bis 77 % reduziert werden. Eine zusätzliche Vergleichsrechnung zu einem Fertigungsgebäude (Produktion) mit einem höheren Strombedarf und einer entsprechenden Photovoltaikanlage, die etwa 63 % des Bedarfs deckt, zeigt, dass der Jahres-Primärenergiebedarf auf rund 53 % reduziert werden kann. Auf den mittleren U-Wert hat die Anrechnung von Strom keinen Einfluss.

Die Veranschaulichung zeigt, dass das Reduktionspotenzial unter dem Blickwinkel, ein Energieeffizienzhaus erreichen zu wollen, je nach Strombedarf des Gebäudes ein wesentlicher Faktor sein kann und im Einzelfall immer geprüft werden sollte.



**Abbildung 20:** Auswirkungen bei Anrechnung des Stroms durch Photovoltaik

In der folgenden Abbildung werden beispielhaft die Monatserträge einer Photovoltaikanlage auf einer Dachfläche aufgezeigt. Die Anrechnung der Erträge kann, wie erwähnt, nur auf Grund des Stromverbrauches gemäß dem oder den Nutzungsprofilen zum konkreten Nichtwohngebäude erfolgen.

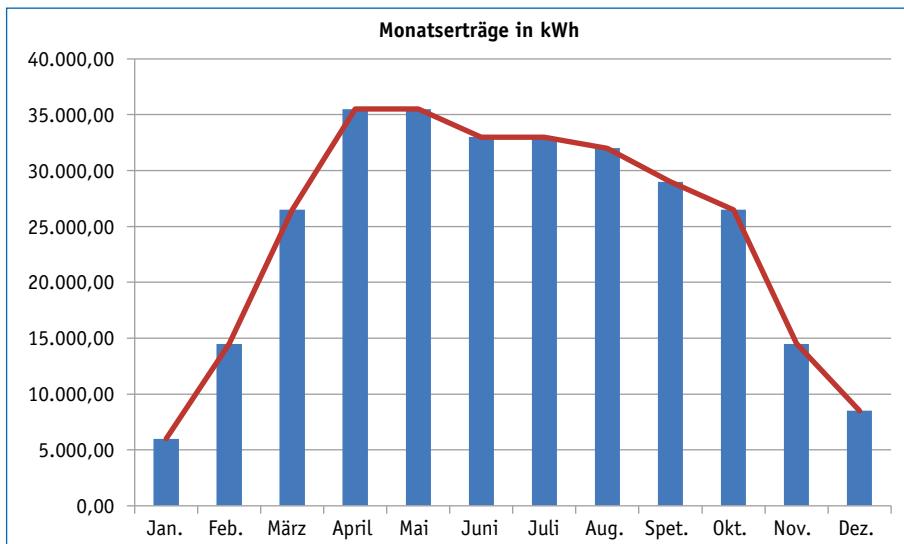


Abbildung 21: Beispiel zu Monatserträgen aus einer Photovoltaikanlage

### 5.2.2 Die Luftpichtigkeit und ihr Einfluss auf die Bilanzierung

Wird gemäß § 6 der EnEV die Dichtigkeit überprüft (Blower-door-Test), kann unter Einhaltung der Anforderungen in Anlage 4 der EnEV die Luftpichtigkeit des Gebäudes im Nachweis berücksichtigt werden.

Grundlage nach Anlage 4 der EnEV ist eine Dichtigkeitsprüfung nach DIN EN 13829:2001-02<sup>90</sup> (Verfahren B) bzw. seit Ende 2015 nach DIN EN ISO 9972:2015-12<sup>91</sup>, da diese die DIN EN 13829 inzwischen ersetzte. Das Verfahren B<sup>92</sup> der DIN EN 13289 wurde in der DIN EN ISO 9972 durch das Verfahren 2<sup>93</sup> ersetzt. Hier erfolgt die Prüfung der Gebäudehülle unter Verschluss aller absichtlich vorhandenen Öffnungen in der Gebäudehülle.

Generell ist es möglich die Dichtigkeit nicht für das gesamt Gebäude, sondern nur für einzelne Zonen<sup>94</sup> nachzuweisen und in der Berechnung entsprechend zu berücksichtigen.

- 
- 90 DIN EN 13829:2001-02: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren (ISO 9972:1996, modifiziert); Deutsche Fassung EN 13829:2000
- 91 DIN EN ISO 9972:2015-12: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren (ISO 9972:2015); Deutsche Fassung EN ISO 9972:2015
- 92 vgl. DIN EN 13892:2001-02, S. 6
- 93 vgl. DIN EN ISO 9972:2015-12, S. 12f.
- 94 vgl. DIBt, Auslegungsfragen zur EnEV-Teil 14, S. 2f.

Inzwischen hat die eigene Erfahrung gezeigt, dass Dichtheitsprüfungen auch von großen Gebäudevolumina technisch und wirtschaftlich möglich sind, sodass die Dichtheitsprüfung beim Nachweis zu einem Effizienzhaus eingesetzt werden sollte, insbesondere, weil beim Referenzgebäude als Vergleichsmaßstab nach Tabelle 1, Anlage 2 der EnEV die Kategorie I (mit Dichtheitsprüfung<sup>95</sup>) bereits berücksichtigt ist. Durch den Ansatz der beabsichtigten Dichtheitsprüfung wird der Lüftungsverlust verringert.

Der Einfluss einer erfolgreichen Dichtheitsprüfung, und somit des Nachweises der Luftdichtheit auf das Ergebnis der Bilanzierung anhand der Modellgebäude, wird in Abbildung 22 aufgezeigt. Bei den gewählten Modellgebäuden wird eine Reduzierung des Jahres-Primärenergiebedarfs auf etwa 85 bis 88 % erreicht. Auf den mittleren U-Wert hat der Nachweis der Luftdichtheit wiederum keinen Einfluss.

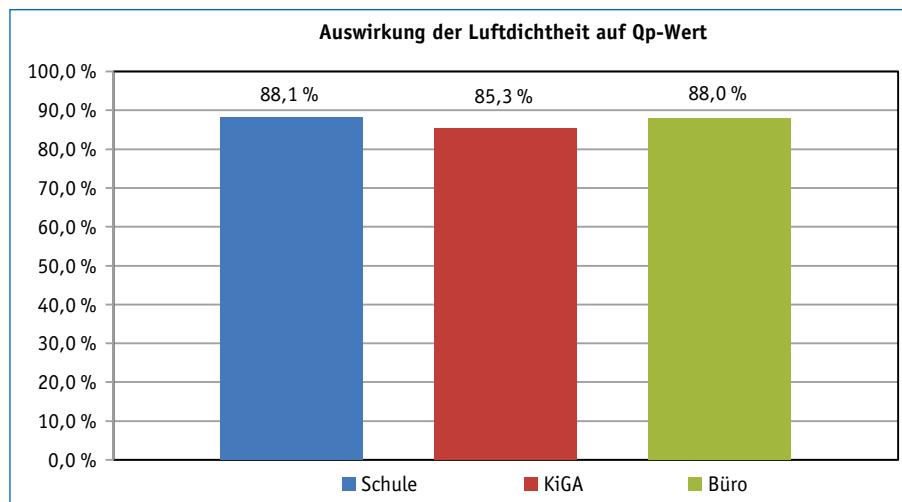


Abbildung 22: Auswirkungen bei Nachweis der Luftdichtheit

### 5.2.3 Mindestwärmeschutz und Einfluss von Wärmebrücken

In § 7 der EnEV wird zunächst die Einhaltung des Mindestwärmeschutzes gefordert, was hier nur am Rande von Interesse ist, da an ein Effizienzhaus höhere Anforderungen gestellt werden. Aber auch diese Gesichtspunkte sind zu überprüfen und die Einhaltung zu gewährleisten.

95 vgl. DIN V 18599-2:2011-2, Tabelle 6, S. 53 in Verbindung mit DIN 4108-7

Wesentlicher ist die klare Aufforderung, dass konstruktive Wärmebrücken mit vertretbaren wirtschaftlichen Maßnahmen so gering wie möglich gehalten werden müssen.

Die Wärmebrücken können bei vereinfachter Betrachtung mit höheren pauschalen Ansätzen berücksichtigt werden, was einer Effizienzhausplanung jedoch nicht gerecht wird. Im Einzelfall kann der pauschale Ansatz von  $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ohne rechnerischen Nachweis auch beim Effizienzhaus noch möglich sein, ist jedoch generell nicht empfehlenswert, da beispielsweise unnötige Dämmstärken durch Berücksichtigung des detaillierten Nachweises vermieden werden können. Auch wird häufig der Gleichwertigkeitsnachweis und der damit verbundene pauschale Aufschlag von  $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  nicht der zielführende Ansatz sein, wenn bei mehr Planungsaufwand bzw. Nachweisaufwand ein Aufschlag von beispielweise nur  $0,025 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  erreichbar ist und der Wert zum Nachweis eines Effizienzhauses benötigt wird.

Der detaillierte Wärmebrückennachweis verhilft bei Nichtwohngebäuden zur Minimierung des Jahres-Primärenergiebedarfs. Der mittlere U-Wert bleibt davon jedoch unberührt. Wird zusätzlich der  $H_T'$ -Wert betrachtet, geht der Aufschlag durch Wärmebrücken wiederum mit ein.

In Abbildung 23 werden die Auswirkungen auf die Modellgebäude, ausgehend von einem Aufschlag von  $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  als 100 %-Wert, auf den  $Q_p$ - und  $H_T'$ -Wert (Jahres-Primärenergiebedarf und Transmissionswärmeverlust) verdeutlicht.

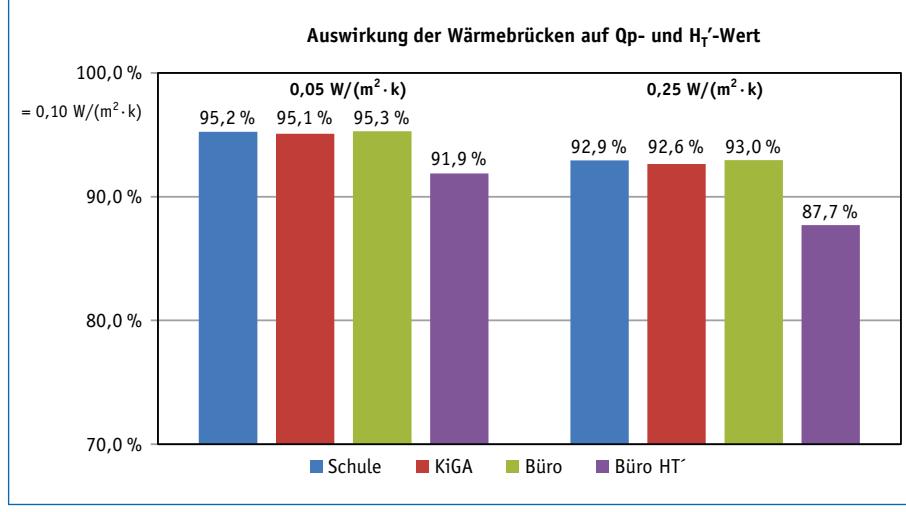


Abbildung 23: Auswirkungen der Wärmebrücken auf  $Q_p$ - und  $H_T'$ -Wert

Die Reduzierungen beim  $Q_p$ -Wert betragen etwa 5 % bei  $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  bzw. etwa 7 % bei  $0,025 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  als Wärmebrückenzuschlag. Der  $H_T'$ -Wert kann beim gewähl-

ten Beispiel bis etwa 13 % reduziert werden. Weitere Erläuterungen zu den Wärmebrücken sind in der Auslegungsstaffel 19<sup>96</sup> zur EnEV enthalten.

### 5.2.4 Vergleich: Energetische Verbesserung der Gebäudehülle um 20 %

Die U-Werte werden für diesen Vergleich bei den gewählten Modellgebäuden um 20 % reduziert und die Auswirkungen auf den Jahres-Primärenergiebedarf dargestellt.

In Abbildung 24 wird deutlich, dass die Verbesserung der U-Werte der opaken und transparenten Bauteile um 20 % den Jahres-Primärenergiebedarf zwischen 9 und 12 % reduziert.

Ein großer Teil würde beim Ansatz eines pauschalen Wärmebrückenzuschlages von 0,10 W/(m<sup>2</sup>·K) wieder aufgebraucht, daher ist es wesentlich die Gebäudehülle durch eine Optimierung der Dämmwerte und eine nachweisliche Optimierung der Wärmebrücken energetisch zu verbessern.

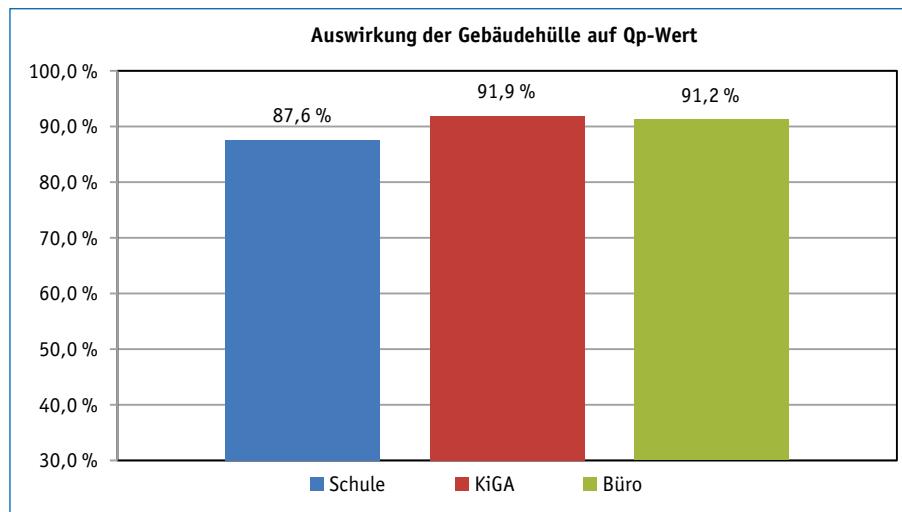


Abbildung 24: Auswirkungen auf Qp-Wert bei 20 % verbesserter Gebäudehülle

Sind aus technischer oder wirtschaftlicher Sicht die Grenzen der U-Werte für die Gebäudehülle erreicht, können weitere Energieeffizienzsteigerungen nur durch den Einsatz von erneuerbaren Wärmeenergien, der Photovoltaik oder effizientere Lösungen bei sonstigen gebäudetechnischen Anlagenkomponenten erreicht werden. Durch

96 vgl. DIBt, Auslegungsfragen zur EnEV-Teil 19, S. 3f.

die Gebäudehülle und somit die bautechnische Ausführung alleine kann ein Effizienzhausstandard nicht sinnvoll erreicht werden.

### 5.2.5 Einfluss des Warmwasserbedarfs auf die Bilanzierung

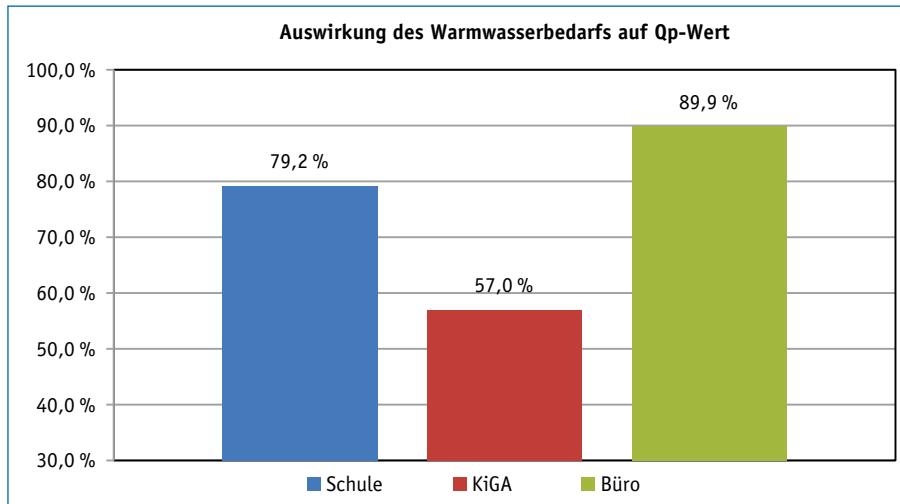
Nach Anlage 2, Nr. 2.1.2 (d) der EnEV ist Warmwasser nur zu bilanzieren, wenn der durchschnittliche tägliche Nutzenergiebedarf wenigstens 0,2 kWh/d und Person bzw. Beschäftigten beträgt.

Die folgenden beispielhaften Vergleichsrechnungen zeigen den grundsätzlichen Einfluss der Warmwasserbereitung auf den Jahres-Primärenergiebedarf, sofern Warmwasserbereitung mit den Randbedingungen der Nutzungsprofile tatsächlich anzusetzen ist. Dabei wird bei den Beispielen Warmwasser über die Kesselanlage (Gas-Brennwert) erzeugt. Weiterhin wird beim Modellgebäude zur Schule der Bedarf ohne Dusche mit 0,13 kWh/d je m<sup>2</sup> Klassenraum angesetzt und beim Modellgebäude des Kindergartens auf 0,5 kWh/d (inklusive Duschen) erhöht, was jeweils dem Nutzungsprofil 8 (Schule, Kindergarten) entspricht. Dadurch wird gleichzeitig der Einfluss der Warmwasserbereitung für das Duschen deutlich. Beim Modellgebäude zum Büro wurden für Warmwasser 0,03 kWh/d je m<sup>2</sup> Bürofläche angesetzt.

Insgesamt reduziert sich der Primärenergiebedarf gemäß Abbildung 25 deutlich, wenn keine Warmwasserbereitung erforderlich ist bzw. angesetzt werden muss.

Dies gilt jedoch nahezu im gleichen Maße auch für das *Referenzgebäude*, sodass für Betrachtungen, die zum Effizienzhaus führen sollen, die generelle Nicht-Berücksichtigung von Warmwasserbereitung keinen relevanten Faktor darstellt.

Ein Potenzial in Bezug auf den Vergleich mit dem Referenzgebäude ist nicht abzuleiten. Ein Potenzial ergibt sich nur durch den Einsatz von erneuerbaren Energien, die für die Warmwasserbereitung eingesetzt werden, wobei das Referenzgebäude nach Tabelle 1 der Anlage 2 (EnEV) bei zentralen Systemen bereits eine Solaranlage berücksichtigt.



**Abbildung 25:** Auswirkungen auf Qp-Wert bei Verzicht auf Warmwasserbedarf

Das Beispiel soll zeigen, dass nicht alle energiesparenden Maßnahmen nach EnEV zum effizienteren Standard führen, da immer der Bezug zum Referenzgebäude zu betrachten ist. Im nächsten Beispiel wird dies ebenso deutlich.

### 5.2.6 Die Nettogrundfläche und der Einfluss auf die Bilanzierung

Die Nettogrundfläche stellt die Energiebezugsgröße dar. Die Erhöhung der Nettogrundfläche als Bezugsgröße zum Energiebedarf kann sinnvoll sein und beispielsweise durch Zurechnung eines Treppenhauses (beheizt) oder Schließung einer Gebäudeinnenecke planerisch realisiert werden. Dies ist in Anlehnung an die Auslegungsstafel 9 zur EnEV nur möglich, wenn die Flächen tatsächlich thermisch konditioniert werden.<sup>97</sup>

Gemäß Abbildung 26 führt dieser Gedanke bei den Modellgebäuden zu Reduzierungen beim Qp-Wert von etwa 4 %, wobei hier die Vergleichsrechnungen von einer 5-prozentigen Erhöhung der Nettogrundflächen ausgehen.

Das Reduzierungspotenzial entsteht jedoch nahezu im gleichen Maße beim Referenzgebäude, so dass diese Überlegungen den Effizienzhausstandard durch deutliche Unterschreitung der Ergebnisse zum Referenzgebäude nicht wirklich unterstützen.

97 vgl. DIBt, Auslegungsfragen zur EnEV-Teil 9, S. 39 f., Punkt 5

Dies kann bestenfalls zum Ziel führen, wenn sich gleichzeitig die wärmeverlierende Umfassungsfläche verringert, wobei sich auch dies im Referenzgebäude widerspiegeln wird.

Im Einzelfall ist diese Möglichkeit der Optimierung zu prüfen und der Spielraum hinsichtlich Nettogrundfläche, Gebäudehüllfläche und evtl. auch Raumhöhe zu nutzen, damit ein etwas kompakteres Gebäude im Vergleich zum Ausgangsentwurf als Grundlage für die Berechnungen entsteht.

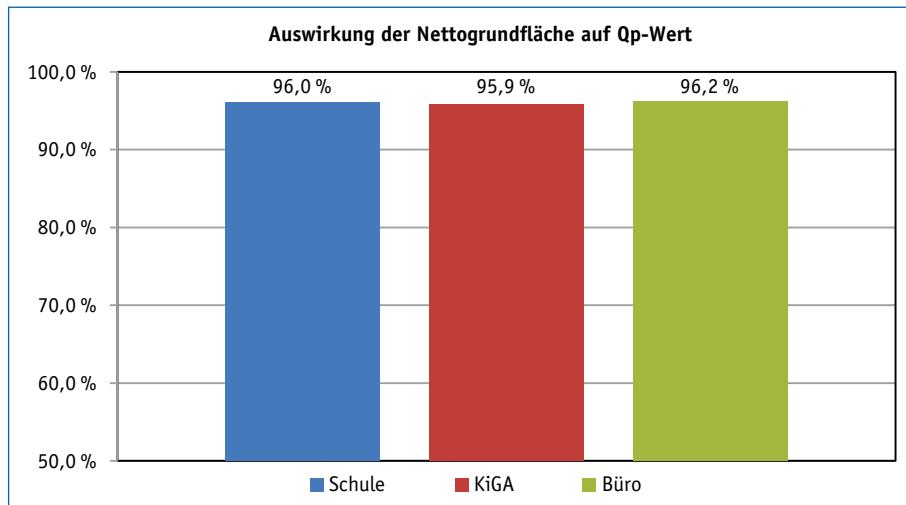


Abbildung 26: Auswirkungen der Nettogrundfläche auf den Qp-Wert

### 5.2.7 Das Referenzgebäude, eine zu überwindende Hürde

Das Referenzgebäude ist das Maß der Dinge bei der Bilanzierung und stellt die 100 %-Anforderung dar. Diese Anforderungen müssen deutlich übererfüllt werden. Nur dann kann die 100 %-Messlatte ebenso deutlich, zum Beispiel in Richtung KfW-70-Haus, unterschritten werden. Dies ist nicht immer ein leichtes Vorhaben.

In Tabelle 1, Anlage 2 der EnEV sind die Referenzausführungen zur Gebäudehülle und Gebäudetechnik bei Nichtwohngebäuden aufgeführt. Werden beispielsweise bei der Planung Unterschreitungen der U-Werte-Anforderungen vorgesehen, wird das Bilanzierungsergebnis zum geplanten Gebäude die EnEV-Anforderungen unterschreiten. Dies ist eine erste Voraussetzung, damit sich das Berechnungsergebnis dem Effizienzhausstandard annähert.

Weiterhin sind wirkungsvolle Planungsansätze bei der Gebäudetechnik im Vergleich zu den Referenzgebäudevorgaben planerisch vorzusehen. Dies betrifft beispielsweise

die Vorgaben zur Warmwasserbereitung, zur Raumlufttechnik und zur Raumkühlung. Zur Erreichung des gewünschten Standards müssen viele Parameter berücksichtigt und hinsichtlich ihres Einflusses bewertet werden.

Einige Parameter und ihre Auswirkungen auf die Bilanzierung wurden bereits aufgezeigt.

### **5.2.8 Appell zur konsequenten Fortschreibung der Unterlagen im Bauprozess**

Die angesetzten Berechnungsgrundlagen und somit die Planungsgrundlagen sind bei der Realisierung umzusetzen. Dies wird erwähnt, da die Überwachung zur Einhaltung der Ansätze und gegebenenfalls die Fortschreibung der Berechnung den Bauprozess begleiten müssen. Nur dann wird das Erreichen des Planungsziels gewährleistet.

Es ist unbedingt darauf zu achten, dass die Fortschreibung des rechnerischen Nachweises zum Effizienzgebäude bis zur Fertigstellung des Objektes den gewünschten Effizienzhausstandard widerspiegelt und einer Prüfung durch Sachverständige oder durch die KfW standhält. Der Planer ist in der Pflicht, die Berechnungen, die Ausführungsdetails zur Gebäudehülle und zur Gebäudetechnik strikt im Blick zu haben und bei nicht zielführenden Fehlentwicklungen entsprechend Einfluss zu nehmen.

Insbesondere mit Blick auf die gesamte Gebäudetechnik ist dies eine umfassende Projektmanagementaufgabe, die keinesfalls durch Zufälle gesteuert werden kann. Permanente Abstimmungen zur Einhaltung der Planungsvorgaben sind zu führen und zu dokumentieren.

Die möglichen Fehlerquellen der umrissenen komplexen Planungs- und Bauaufgabe steigen ansonsten an und somit auch das Haftungsrisiko des Planers und Bauleiters. Daher ist der Appell mit Blick auf den werkvertraglichen Erfolg bei der Umsetzung von Effizienzhäusern im Nichtwohngebäudebereich an dieser Stelle angebracht.

### **5.2.9 Die Nutzungsprofile der DIN V 18599 und individuelle Ansätze**

Unter 2.1.8, Anlage 2 der EnEV werden Zonen aufgeführt (5 bis 7, 18 bis 20 und 24), die abweichend von den Nutzungsprofilen mit einer Raumtemperatur von 17 °C bilanziert werden können, wenn dies die tatsächlichen Nutzungsbedingungen nahelegen. Damit sind Schalterhallen, Einzelhandelsflächen, Nebenflächen, Verkehrsflächen, Lagerräume, Archivräume, Technikräume und Foyers gemeint. In der DIN V 18599-10:2011-12 sind die Nutzungsprofile und Raum-Solltemperaturen aufgeführt. Der Standardheizfall wird dabei mit 21 °C Raummittentemperatur angesetzt.

Der Spielraum, niedrigere Raumtemperatur nutzen zu können, sollte jedenfalls bei der Berechnung von Energieeffizienzhäusern bedacht werden, da eigene Variantenberechnungen einen positiven Effekt auf das Ergebnis der Bilanzierung zeigen.

Im Rahmen der EnEV-Auslegungsfragen hat man sich mit dieser Thematik bereits in Staffel 10 und 11<sup>98</sup> beschäftigt. Die Thematik floss dann in die überarbeitete DIN V 18599-10:2001-12 und somit in Nutzungsprofile ein. Die alte DIN V 18599-10:2005-07 sah in Tabelle 5<sup>99</sup> noch die Raum-Solltemperatur für alle Nutzungen mit 21 °C vor.

Die Anwendung von individuellen Nutzungsrandbedingungen und somit die Erstellung eigener Nutzungsprofile ist grundsätzlich nach 2.2.2, Anlage 2 der EnEV möglich, was das Erreichen eines Effizienzhausstandards unterstützen kann. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass das Referenzgebäude ebenso unter diesen Randbedingungen berechnet wird und sich daher der Aufwand evtl. nicht lohnt. Im Einzelfall sind die Prüfung und Vergleichsberechnungen mit selbst erstellten Nutzungsprofilen durchaus sinnvoll und öffentlich rechtlich zulässig. Im Einzelfall ist dies zu prüfen. Unter welchen Randbedingungen dies zulässig ist und wie abweichende Profile unter Anwendung eines gesicherten allgemeinen Wissensstands erstellt werden, wird in der Auslegungsstaffel 10, 11 und 20 zur EnEV behandelt.<sup>100</sup>

### 5.2.10 Der Umgang mit Erdberührung und Bauteilen gegen unbeheizte Räume

Gemäß 2.3 der Anlage 2 der EnEV ist der U-Wert von Bauteilen gegen unbeheizte Räume oder Erdreich mit dem Faktor 0,5 bei der Ermittlung des mittleren U-Wertes zu gewichten. Zusätzlich werden bei Bodenplatten nur die Flächen mit einem Abstand von 5 Metern vom äußeren Rand berücksichtigt (Randstreifen).

Diesem Sachverhalt hat man sich in der Auslegungsstaffel 15 zur EnEV gewidmet und die ausschließliche Berücksichtigung der Randflächen als »Kann-Bestimmung«<sup>101</sup> definiert.

Der Umgang mit Bodenplatten bei der Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs wird in der EnEV nicht weiter aufgeführt. Wie mit einer gedämmten, randgedämmten oder ungedämmten Bodenplatte umzugehen ist, wurde einer Kommentierung zur EnEV entnommen, wobei generell zu beachten ist, dass der Wärmeverlust über das Erdreich geringer ist als gegen Außenluft, da sich unter großen Bodenplatten ein

98 vgl. DIBt, Auslegungsfragen zur EnEV-Teil 10, S. 6 f. und Teil 11, S. 12 f.

99 vgl. DIN V 18599-10:2005-7, S. 18, Tabelle 5 in Verbindung mit Tabelle 4

100 vgl. DIBt, Auslegungsfragen zur EnEV-Teil 10, S. 2 f., Teil 11, S. 9 ff., Teil 20, S. 20 f.

101 vgl. DIBt, Auslegungsfragen zur EnEV-Teil 15, S. 6 f., Punkt 6 und 7

Wärmesee einstellt und der entscheidende Wärmeverlust lediglich im Randbereich erfolgt.

Bei den folgenden Ausführungen wird davon ausgegangen, dass der Wärmeverlust über das Erdreich mit Hilfe des vereinfachten Ansatzes unter Nutzung von Temperatur-Korrekturfaktoren ( $F_x$ -Werte nach DIN V 18599-2:2011-12, Tabelle 5) ermittelt wird. Ein alternativer Ansatz nach DIN EN ISO 13370 wird unter Kapitel 5.7 näher betrachtet.

### **Vollgedämmte Bodenplatte:<sup>102</sup>**

Bodenplatten, die vollflächig gedämmt werden, sind bei der Ermittlung des  $F_x$ -Wertes wie Bodenplatten ohne Randdämmung zu betrachten. Zu Beginn ist das Bodenplattenmaß  $B'$ <sup>103</sup> zu berechnen:

$$B' = \frac{A_G}{0,5 \cdot P}$$

$A_G$  = Grundfläche der Bodenplatte  
 $P$  = Umfang der Bodenplatte

Mit Hilfe des Bodenplattenmaßes und dem Wärmedurchlasswiderstand  $R$  wird der  $F_x$ -Wert gemäß Tabelle 5 der DIN V 18599-2 bestimmt. Der  $F_x$ -Wert wird Tabelle 5, Zeile 11 (ohne Randdämmung) unter Beachtung der Fußnote c zu etwaig fließendem Grundwasser entnommen. Je nach Bodenplattenmaß  $B'$  und Wärmedurchlasswiderstand  $R$  liegt der  $F_x$ -Wert zwischen 0,25 und 0,6. Der Wärmeverlust durch die Bodenplatte wird dann um den  $F_x$ -Wert abgemindert. Die Berechnung des Wärmeverlustes erfolgt für die gesamte Bodenplattenfläche.

Bei der Berechnung des mittleren U-Wertes wird der U-Wert der Bodenplatte um den Faktor 0,5 abgemindert. Generell kann gleichzeitig nur die Randfläche innerhalb der ersten fünf Meter angesetzt werden, was jedoch bei einer gut gedämmten Bodenplatte und Unterschreitung der Anforderungen des U-Wertes von 0,35 W/(m<sup>2</sup>·K)<sup>104</sup> an das Referenzgebäude im Sinne des Ziels (Effizienzhausstandard) kontraproduktiv wäre. Demnach wird die gesamte Bodenplattenfläche angesetzt. Der U-Wert von beispielsweise 0,3 W/(m<sup>2</sup>·K) beträgt demnach 0,15 W/(m<sup>2</sup>·K).

102 vgl. Friedl Werner, 2014, Punkt 3.1.2 S. 1ff., S. 15 und S. 20

103 vgl. DIN V 18599-2:2011-2, Tabelle 5

104 vgl. EnEV, Anlage 2, Tabelle 1, Zeile 1.3

### Bodenplatten mit Randdämmung:<sup>105</sup>

Bei Bodenplatten mit einer waagerechten Randdämmung von 5 m Breite verbessert sich der U-Wert der Bodenplatte in diesem Bereich. Die Randdämmung ist bei Gebäuden mit Innenraumtemperaturen ab 19 °C mit einem Wärmedurchlasswiderstand von größer 2 (m<sup>2</sup>·K)/W<sup>106</sup> auszuführen, was einer 8 cm dicken Dämmung mit einer Wärmeleitgruppe (WLG) 040 entspricht.

Weiterhin ist bei erstmaligem Einbau, Ersatz oder Erneuerungen von Bauteilen mit Bezug zum §§ 8–9 der EnEV ab einer Raumtemperatur von 19 °C für den Fußboden und somit auch für den Randstreifen mindestens ein U-Wert von 0,5 W/(m<sup>2</sup>·K) definiert. Dies entspricht den zuvor aufgeführten 2 (m<sup>2</sup>·K)/W. Bei Gebäuden oder Gebäudeteilen mit einer Raumtemperatur unter 19 °C bestehen keine Anforderungen an die Ausführung des Fußbodenbaus<sup>107</sup> und somit an den Randstreifen. Anforderungen an den Mindestwärmeschutz bleiben davon unabhängig bestehen.

Für die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs ist zunächst wieder das Bodenplattenmaß B' und dann der F<sub>x</sub>-Wert gem. Tabelle 5 der DIN V 18599-2 zu bestimmen. Der F<sub>x</sub>-Wert wird in diesem Fall Tabelle 5, Zeile 12 (mit waagerechter Randdämmung, 5 m breit) unter Beachtung der Fußnote c zu etwaig fließendem Grundwasser und Fußnote d zum Wärmedurchlasswiderstand der Randdämmung größer 2 (m<sup>2</sup>·K)/W entnommen. Je nach Bodenplattenmaß B' beträgt der F<sub>x</sub>-Wert 0,2 bis 0,3 (in der Regel 0,2).

Der Wärmedurchlasswiderstand R der Bodenplatte im Feld (ohne Dämmung) spielt für die Bestimmung des F<sub>x</sub>-Wertes keine Rolle. Die Randdämmung ist gemäß den Vorgaben zum Wärmedurchgangswiderstand (größer 2 (m<sup>2</sup>·K)/W, mindestens 8 cm Dämmung, WLG 040) auszuführen. Der Wärmeverlust durch die Bodenplatte wird in der Regel um den Faktor 0,2 abgemindert, wobei dieser unter Ansatz der gesamten Bodenplattenfläche und des U-Wertes des ungedämmten Feldes berechnet wird.

Bei der Berechnung des mittleren U-Wertes wird der U-Wert der Bodenplatte um den Faktor 0,5 abgemindert und gleichzeitig wird nur die Randfläche innerhalb der ersten fünf Meter angesetzt. Auch hier ist bei randgedämmten Bodenplatten der U-Wert für das ungedämmte Feld maßgebend. Der U-Wert von beispielsweise 3 W/(m<sup>2</sup>·K) beträgt demnach 1,5 W/(m<sup>2</sup>·K), und die relevante Bodenplattenfläche reduziert sich beispielsweise je nach Größenordnung des Gebäudes auf 30%. Somit wird der U-Wert der Bodenplatte für die Berechnung des mittleren U-Wertes bei den hier gewählten Randbedingungen um die Faktoren 0,5 und 0,3 gemindert ( $0,5 \times 0,3 = 0,15$ ).

105 vgl. Friedl Werner, 2014, Punkt 3.1.2 S. 1ff. und S. 15

106 vgl. DIN V 18599-2:2011-02, Tabelle 5, Fußnote d

107 vgl. EnEV, Anlage 3, Tabelle 1, Zeile 5b

### Ungedämmte Bodenplatten:<sup>108</sup>

Unabhängig davon, ob diese Planungslösung für den Effizienzhausstandard eingesetzt werden sollte, wird auch diese Variante auf Grund ihrer weiten Verbreitung bei großflächigen Gebäuden aufgezeigt.

Für die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs ist zunächst wiederum das Bodenplattenmaß  $B'$ , der Wärmedurchgangswiderstand der Bodenplatte  $R$  und dann der  $F_x$ -Wert gemäß Tabelle 5 der DIN V 18599-2 zu bestimmen. Der  $F_x$ -Wert wird wiederum Tabelle 5, Zeile 11 (ohne Randdämmung) unter Beachtung der Fußnote c zu etwaig fließendem Grundwasser entnommen.

Da bei einer Bodenplatte ohne Dämmung der U-Wert etwa bei  $3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  liegt und sich somit  $R$  als Kehrwert auf unter  $1 \text{ (m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$  beziffert, beträgt beispielsweise der  $F_x$ -Wert bei  $B'$  größer 10 m demnach 0,35. Der Wärmeverlust durch die Bodenplatte wird somit um den Faktor 0,35 abgemindert, wobei die gesamte Bodenplattenfläche und der U-Wert der ungedämmten Bodenplatte angesetzt werden.

Im Vergleich zur Bodenplatte mit Randdämmung ( $F_x$ -Wert = 0,20) erfolgt hier auf Grund des  $F_x$ -Wertes von 0,35 eine geringere Abminderung des Wärmeverlustes durch das Erdreich, was der Optimierung durch die Variante mit Randdämmung geschuldet ist.

Bei der Berechnung des mittleren U-Wertes wird der U-Wert der Bodenplatte wiederum um den Faktor 0,5 abgemindert und nur die Randfläche innerhalb der ersten fünf Meter angesetzt. Somit wird der U-Wert der Bodenplatte bei den hier gewählten Randbedingungen und zu berücksichtigenden 30 % Randfläche wie im Fall mit randgedämmter Bodenplatte um den Faktor  $0,5 \times 0,3 = 0,15$  reduziert.

## 5.3 Planungsgrundlage EEWärmeG

Gemäß § 3 Abs. 1 EEWärmeG beschränkt sich die Nutzungspflicht zum Einsatz von erneuerbaren Energien zur Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfs auf neu zu errichtende Gebäude mit Ausnahme der Gebäudetypen nach § 4 EEWärmeG (zum Beispiel Unterirdische Bauten). Bei Änderungen und Erweiterungen entfällt die Nutzungspflicht ebenso wie bei Sanierungsfällen. Im Weiteren wird geregelt, dass bei bereits errichteten, öffentlichen Gebäuden im Zuge von grundlegenden Renovierungen erneuerbare Energien zum Einsatz kommen. Je nach erneuerbarer Energieart sind dabei nach § 5 a in Verbindung mit Anlage I bis IV 15 bis 25 % des Wärmebedarfs durch erneuerbare Energien zu decken.

108 vgl. Friedl Werner, 2014, Punkt 3.1.2 S. 1ff., S. 13f. und S. 17f.

In § 3 Abs. 4 Nummer 2 ist eine Öffnungsklausel für Länderregelungen hinsichtlich bereits errichteter Gebäude, die keine öffentlichen Gebäude sind, enthalten. Dies spielt jedoch in der Praxis bei den Nichtwohngebäuden bisher keine Rolle.

In § 5 EEG wird für neu zu errichtende Gebäude in Abhängigkeit von der Nutzung von Biomasse, Geothermie, Umweltwärme oder Solarstrahlung der jeweils nachzuweisende Mindestanteil bei der Deckung des Wärmeenergiebedarfs durch erneuerbare Energien aufgeführt. Beim Einsatz von Umweltwärme muss diese beispielsweise eine Deckung des Wärmeenergiebedarfs von mindestens 50% gewährleisten. Gleches gilt für den Kälteenergiebedarf.

Beim Einsatz von Wärmepumpen muss die Anlage III eingehalten werden, die Anforderungen an die Jahresarbeitszahl (JAZ), an Umwelt- oder Prüfzeichen und den Einsatz von Stromzählern stellt. Die Jahresarbeitszahl muss beim Einsatz von elektrischem Strom mindestens zwischen 3,3 und 4,0 liegen, je nach Art der Wärmepumpe und zusätzliche Warmwasserbereitung durch die Wärmepumpe. Beim Einsatz von fossilen Brennstoffen zum Antrieb von Wärmepumpen muss die Jahresarbeitszahl mindestens 1,2 betragen.

Das EEG und die EnEV sind aus formaler Sicht als eine Art Gleichklang zu verstehen, insbesondere mit Bezug auf Ersatzmaßnahmen nach § 7 EEG. Nach § 7 sind die Anforderungen auch eingehalten, wenn die Energieeinsparverordnung in der jeweils gültigen Fassung um mindestens 15% unterschritten wird. Dies ist in Anlage VII, Nummer 1 geregelt. Hierunter fallen zulässige Maßnahmen, die nach der EnEV zur Reduzierung des Jahres-Primärenergiebedarfs und des Wärmeverlustes durch die Gebäudehülle (Nachweis mittlerer U-Wert) führen.

Bei der Errichtung von öffentlichen Gebäuden muss abweichend hiervon der Transmissionswärmekoeffizient um mindestens 30% (Anlage VII, Nummer 2) unterschritten werden. Zusätzlich sind Regelungen für den Sanierungsfall von öffentlichen Gebäuden aufgeführt.

Als Ersatzmaßnahmen kommen beispielsweise ausschließlich eine wärmeenergetisch verbesserte Ausführung der Gebäudehülle und auch die Anrechnung von Strom durch erneuerbare Energien mit Hilfe von Photovoltaikanlagen in Betracht. Dazu gehören alle Maßnahmen (außer dem Einsatz von erneuerbaren Wärmeenergien), die zur Unterschreitung der EnEV-Anforderungen von mindestens 15% bzw. 30% führen.

Im Sinne des Ziels, ein Energieeffizienzgebäudestandard erreichen zu wollen, stellt der Gleichklang der beiden Vorschriften im Wirtschaftsbau nur bedingt einen relevanten Sachverhalt dar, da in der Regel ein deutlich effizienteres Gebäude angestrebt wird. Bis zum 31.12.2015 (EnEV 2014) waren zur Erreichung eines KfW-Effizienzhauses die EnEV-Neubau-Anforderungen zu unterschreiten. Zur Erfüllung des Erneu-

erbare-Energien-Wärmegesetzes waren als der Bezug ebenso wie die EnEV-Neubau-Anforderungen relevant.

Seit dem 01.01.2016 (EnEV 2016) ist für das Effizienzhaus das Referenzgebäude maßgebend. Beim Effizienzhausstandard KfW-55 werden die Anforderungen mit Blick auf Ersatzmaßnahmen nach EEWärmeG übererfüllt.

Für das Nichtwohngebäude-Effizienzhaus sind der Einsatz von erneuerbaren Energien oder Ersatzmaßnahmen im Sinne des EEWärmeG ebenso nachzuweisen. Auf die Erfüllung der Anforderungen ist insbesondere beim KfW-70-Gebäude zu achten. Die erneuerbaren Energien werden beim Energieeffizienzgebäude auf der Strom- oder Wärme-ebene eingesetzt bzw. auch in Kombination realisiert.

Weiterhin gilt nach § 7 und Anlage VIII EEWärmeG der Einsatz von Fernwärme oder Fernkälte als Ersatzmaßnahme. Jedoch müssen durch das Fernwärme- oder Kältenetz diverse Kriterien eingehalten werden. Diese beziehen sich auf den Anteil der erneuerbaren Energien, die Nutzung von Abwärme, den Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) oder auf Kombinationen aus den drei genannten Kriterien.

Der unmittelbare Einsatz von Abwärme bzw. KWK-Anlagen für das Gebäude gilt ebenso nach § 7 in Verbindung mit Anlage V bzw. Anlage VI EEWärmeG als Ersatzmaßnahme. Dabei muss bei der Abwärmenutzung durch Wärmepumpen wiederum die Anlage III eingehalten werden, die Anforderungen an die Jahresarbeitszahl, an Umwelt- oder Prüfzeichen und den Einsatz von Stromzählern stellt. Unter Abwärmenutzung fällt auch die Abwasserwärmennutzung<sup>109</sup>, was durch § 2 Abs. 2 Nummer 1 EEWärmeG begründbar ist. Bei der Abwärmenutzung durch raumluftechnische Anlagen ist ein Wärmerückgewinnungsgrad von mindestens 70 % einzuhalten. Zusätzlich muss die Jahresarbeitszahl im Verhältnis zur eingesetzten Stromenergie für die Wärmerückgewinnung mindestens 10 betragen.

Nach § 8 EEWärmeG sind auch Kombinationen aus den zuvor beschriebenen Möglichkeiten zum Einsatz von erneuerbaren Energien und Ersatzmaßnahmen möglich.

In § 10 EEWärmeG sind die Nachweisführungen zur Einhaltung der Anforderungen aufgelistet, wonach beispielsweise verschiedene Unterlagen nach Inbetriebnahme des Gebäudes bzw. der Heizung der zuständigen Behörde vorzulegen sind. Die Behörden müssen nach § 11 EEWärmeG die Erfüllung der Pflichten und die Richtigkeit der Nachweise und Unterlagen stichprobenartig kontrollieren.

Teil 3 des EEWärmeG beschreibt die finanzielle Förderung von Maßnahmen beim Einsatz von erneuerbaren Energien zur Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfs.

109 vgl. Hamann Achim, 2015, S. 24f.

Aus eigener Erfahrung kann ich berichten, dass seit Inkrafttreten des EEWärmeG im Januar 2009, inzwischen im Wirtschaftsbau keine Überzeugungskraft mehr für den Einsatz von erneuerbaren Wärmeenergien notwendig ist. Das Anschwimmen gegen den Strom, der bis dahin geltenden Gewohnheiten ist inzwischen beendet.

In den ersten Jahren war dieser Prozess als Planer und Berater energieraubend und hat vermutlich meinen persönlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoß durch die Atemluft extrem erhöht. Zusätzlich wurde ich als Planer – zumindest so gefühlt – für steigende Investitionskosten und das Verlassen des Weges mit bisher bekannten Systemen (herkömmliche Kesselanlagen) verantwortlich gemacht.

Da der Mensch von Natur aus Neues und Fremdes scheut, gehe ich davon aus, dass Kollegen, die sich mit großem persönlichen Einsatz um die Umsetzung der von Menschen gemachten Gesetzestexte und politischen Zielvorgaben »kümmerten«, ähnliche Erfahrungen mit Blick auf ihre persönliche Energiebilanz verbuchen können.

Inzwischen sind die Dinge vom Grundsatz her einfacher, da das Thema Energiebilanzierung nicht mehr nur hochschulintern, sondern auch in der Praxis seine Runde gemacht hat. Jedoch bleibt der persönliche Energieverbrauch beim Finden der richtigen Variante oder Kombination hoch.

In nachfolgender Tabelle 7 ist beispielhaft eine Zusammenstellung von Varianten für ein Neubauprojekt aufgeführt. Diese, mit einem gewissen Detaillierungsgrad, untersuchten zwölf Varianten waren Grundlage vieler Gespräche zur Findung der Ausführungsvariante bei einem Projekt mit rund 10.000 m<sup>2</sup> Grundfläche und einem zusätzlichen Verwaltungstrakt.

Hierbei ging es um die Einhaltung in Kombination mit der EnEV und einer zeitgemäßen Kombination aus Gebäudehülle und Gebäudetechnik. In der Tabelle sind ebenso Aussagen zur Einhaltung eines KfW-70-Effizienzhauses aufgeführt.

Meine persönlich geführten Beratungsgespräche hinsichtlich KfW-Effizienzhausstandard mit Förderanspruch stießen bisher auf wenig bzw. kein Interesse. Auch hier müssen vermutlich zunächst einige Jahre des Umdenkens vergehen.

Bezogen auf ein konkretes Projekt habe ich noch Hoffnung, da wir uns in der Ausführungsplanungsphase befinden und der Baubeginn noch bevorsteht. Ich gebe daher noch nicht auf, was wiederum meine persönliche Energiebilanz durch die Überzeugungsarbeit an der Bauherrenfront zur Realisierung eines Nichtwohngebäude-KfW-Effizienzhauses beeinflusst.

Randbedingungen/ Bewertung	V1, Gas-BW-Kessel	V2, Gas-BW-Kessel, - 15 %	V3, Gas-BW-Kessel, Solar (HZ+WW)	V4, Gas-BW-Kessel, Photo-voltaik	V5, Biomassen-Kessel	V6, BHKW, Gas-BW-Kessel
<b>U-Werte in W/(m<sup>2</sup>·K)</b>						
Dach	0,27	0,16	0,24	0,22	0,27	0,22
Wand	0,22	0,14	0,22	0,19	0,22	0,19
Fenster	1,4	0,9	1,4	1,4	1,4	1,4
Bodenplatte Halle	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt
Wärmebrücken-zuschlag	pausch. 0,1 W/ (m <sup>2</sup> K)	pausch. 0,05 W/ (m <sup>2</sup> K)	pausch. 0,1 W/ (m <sup>2</sup> K)	pausch. 0,1 W/ (m <sup>2</sup> K)	pausch. 0,1 W/ (m <sup>2</sup> K)	pausch. 0,1 W/ (m <sup>2</sup> K)
Luftdichtheitsprüfung	nein	ja	nein	nein	nein	nein
Berechnung Erdreich	F <sub>x</sub> -Wert	detailliert	F <sub>x</sub> -Wert	F <sub>x</sub> -Wert	F <sub>x</sub> -Wert	F <sub>x</sub> -Wert
Warmwasser	Strom	Strom	Solarthermie	Strom	Strom	Strom
Lüftung	vollständig in Halle mit WRG, WC-Abluft					
Brennstoffbedarf pro Jahr in €/a	<b>70.597</b>	<b>53.366</b>	<b>60.684</b>	<b>37.438</b>	<b>62.914</b>	<b>43.587</b>
Bewertung	<b>plus 15 %</b>	minus 15 %	minus 4 %	minus 31 %	minus 39 %	minus 30 %
EnEV eingehalten	<b>nein</b>	ja	ja	ja	ja	ja
EEWärmeG	<b>nein</b>	ja	ja	ja	ja	ja
Solarthermie	nein	nein	ja	ja	nein	nein
KfW 70-Effizienzhaus	nein	nein	nein	ja	ja	ja

**Tabelle 7:** Beispiel zum Variantenvergleich bei der energetischen Gebäudeplanung

Randbedingungen/ Bewertung	V7, Sole- Wärme- pumpe	V8, Sole- WP und Gas BW- Kessel	V9, Luft- Wasser-WP und Gas BW-Kessel	V10, Luft- Luft-WP und Gas BW-Kessel	V11, Luft- Luft-WP	V12, Luft- Luft-WP, Photo- voltaik
<b>U-Werte in W/(m<sup>2</sup>·K)</b>						
Dach	0,22	0,22	0,27	0,22	0,22	0,22
Wand	0,22	0,22	0,22	0,19	0,19	0,19
Fenster	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Bodenplatte Halle	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt
Wärme- brücken- zuschlag	pausch. 0,1 W/ (m <sup>2</sup> K)	pausch. 0,1 W/ (m <sup>2</sup> K)	pausch. 0,1 W/ (m <sup>2</sup> K)	pausch. 0,05 W/ (m <sup>2</sup> K)	pausch. 0,05 W/ (m <sup>2</sup> K)	pausch. 0,05 W/ (m <sup>2</sup> K)
Luftdicht- heitsprü- fung	nein	nein	ja	ja	ja	ja
Berechnung Erdreich	F <sub>x</sub> -Wert	F <sub>x</sub> -Wert	F <sub>x</sub> -Wert	detailliert	detailliert	detailliert
Warmwasser	Strom	Strom	Strom	Strom	Strom	Strom
Lüftung	vollständig in Halle mit WRG, WC- Abluft					
Brennstoff- bedarf pro Jahr in €/a	<b>73.842</b>	<b>66.236</b>	<b>71.164</b>	<b>67.579</b>	<b>71.207</b>	<b>34.739</b>
Bewertung	ca. 0 %	minus 8 %	minus 1 %	minus 3 %	minus 1 %	minus 52 %
EnEV einge- halten	ja	ja	ja	ja	ja	ja
EEWärmeG	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Solarthermie	nein	nein	nein	nein	nein	ja
KfW 70-Effi- zienzhaus	nein	nein	nein	nein	nein	ja

**Tabelle 7:** (Fortsetzung) Beispiel zum Variantenvergleich bei der energetischen Gebäudeplanung

## 5.4 Planungsgrundlage DIN 4108: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden

Diese Norm ist für Nichtwohngebäude in mehrerer Hinsicht noch immer relevant. Die wesentlichen Aspekte, die die Energieeffizienz eines Nichtwohngebäudes beeinflussen, werden nachfolgend vorgestellt. Dabei werden zum Beispiel auch Ausführungen zu Wärmebrücken vorweg behandelt, wobei hier insbesondere deutlich wird, dass mehrere Normen relevant sind und hier der normenorientierte Leitfaden letztlich, wie die Normen selbst, auf verschiedene weitere Normen [vgl. 5.11] verweisen muss.

### 5.4.1 DIN 4108 Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, an Wärmebrücken, an den sommerlichen Wärmeschutz und Anforderungen an die Luftdichtheit sowie Rolladenkästen

#### Anforderungen an den Mindestwärmeschutz und an Wärmebrücken

Die Anforderungen zum Mindestwärmeschutz (Gebäudehülle) sind generell einzuhalten. Jedoch werden diese infolge des beabsichtigten Effizienzhausstandards in der Regel übererfüllt, sodass die Werte gemäß Tabelle 3 der DIN 4108-2:2013-02 in der Praxis nicht mehr von Bedeutung sind. Im Bereich von Treppenräumen und Bauteilen zwischen beheizten Räumen, ist nach wie vor auf die Einhaltung der Mindestanforderungen zu achten. Die allgemeinen Hinweise zu Mindestanforderungen im Bereich von Wärmebrücken, wie die Einhaltung des Temperaturfaktors ( $f_{Rsi}$ ) von mindestens 0,70 und einer Oberflächentemperatur von mindestens  $12,6^{\circ}\text{C}$  ( $\theta_{si}$ ), werden in der Regel durch die detaillierte Wärmebrückenplanung ebenso deutlich eingehalten. Dennoch sind die Nachweise je Wärmebrücke zu führen und auf die Einhaltung des Feuchteschutzes strikt zu achten. Für wohnähnliche Nutzungen<sup>110</sup> sind die Nachweise unbedingt zu führen. Wohnähnliche Nutzungen sind zum Beispiel freiberufliche und freiberufsähnliche gewerbliche sowie sonstige Nutzungen, die in Wohnräumen stattfinden können.<sup>111</sup>

Darüber hinaus entspricht ein Feuchteschaden bei sonstigen Nichtwohngebäudetypen natürlich immer einem Mangel mit entsprechenden Ansprüchen und Beseitigungspflichten und ist generell zu vermeiden. Da das Energieeffizienzhaus sehr luftdicht sein wird, ist die Feuchteschutzthematik nach bauphysikalischen Randbedingungen jedenfalls parallel zu den Randbedingungen eines Energieeffizienzgebäudes zu untersuchen. Generell gelten jedoch gemäß Anwendungsbereich der Norm<sup>112</sup> die Anforderungen an Wärmebrücken nicht bei niedrig beheizten Räumen (Innentemperaturen

<sup>110</sup> vgl. DIN 4108-2:2013-02, S. 18

<sup>111</sup> vgl. Auslegungsstaffel 11 zur EnEV, S. 53

<sup>112</sup> vgl. DIN 4108-2:2013-02, S. 6

von 12 bis <19 °C). Im Zuge einer Effizienzhausplanung werden diese Anforderungen bei einer beabsichtigten Reduzierung des pauschalen Wärmebrückenzuschlages zwangsläufig auch bei niedrig beheizten Räumen durch Wärmebrückendetails planerisch betrachtet.

Die Feuchteschutzthematik wird im Weiteren konkreter bei den Hinweisen zur DIN 4108 Teil 3 erläutert.

### Anmerkung:

Anhand der Randbedingungen zum Feuchteschutznachweis werden beispielhaft der Zustand unserer Normenlandschaft und die skizzierte Verweissituation zu diversen mitgeltenden Normen deutlich. Dadurch ist die Verwirrung vorprogrammiert und der Anwender muss viele Normen bzw. Teile aus Normen zum gleichen Sachverhalt prüfen. Es fällt dem Anwender schwer, auf Grund dessen sein Wissen strukturiert aufzubauen und die tatsächlich relevanten Grundlagen zusammenzutragen. Das Zusammenführen der jeweiligen Sachverhalte in einer einzigen Norm würde vieles vereinfachen. Auch diese Verbesserung gehört zu Voraussetzungen eines Building Information Modeling – Prozesses (BIM), der heute in aller Munde ist und zu verbesserten Abläufen führen soll. Wir haben nur eine Chance das Gebäude integral zu planen und zu realisieren. Daher der Appell an die Verantwortlichen der Normenlandschaft, diese zu reformieren.

Ich wage nun nachfolgend den Versuch, die wesentlichen Randbedingungen für die meisten zu betrachtenden Fälle bei der Bewertung einer ausreichenden Innentemperatur zur Vermeidung der Gefahr von Schimmelpilzbildung aufzuzeigen.

Die Randbedingungen sind im Wesentlichen der DIN 4108 Teil 2<sup>113</sup> und dem Beiblatt 2<sup>114</sup> entnommen. Weitere Vorschriften, wie die DIN EN ISO 10211:2008-04<sup>115</sup>, wurden zusätzlich beachtet. Auf die DIN EN ISO 10211 wird insgesamt nochmals unter Kapitel 5.11 eingegangen:

- Innenlufttemperatur  $\theta_i = 20^\circ\text{C}$
- Außenlufttemperatur  $\theta_e = -5^\circ\text{C}$
- Außenlufttemperatur  $\theta_e = -5^\circ\text{C}$ , auch bei Tiefgaragen und unbeheiztem Dachraum
- Außenlufttemperatur  $\theta_e = 10^\circ\text{C}$ , bei Angrenzung an unbeheizte Pufferzonen/Keller
- Außenlufttemperatur  $\theta_e = 10^\circ\text{C}$ , bei Angrenzung an das Erdreich (die untere Modellgrenze liegt ein bis drei Meter unterhalb der Bodenplatte)<sup>116</sup>

113 vgl. DIN 4108-2:2013-02, S. 18f.

114 DIN 4108 Beiblatt 2:2004-01, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele

115 DIN EN ISO 10211:2008-04, Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen (ISO 10211:2007); Deutsche Fassung EN ISO 10211:2007 (inzwischen liegt Ausgabe 2015-06 vor)

116 vgl. DIN 4108 Beiblatt 2:2006-03, S. 62-64 und DIN V 4108-6:2003-06, S. 79

- relative Luftfeuchte innen  $\phi_i = 50\%$
- kritische Luftfeuchte für Schimmelpilzbildung  $\phi_{si} = 80\%$
- Wärmeübergangswiderstand raumseitig  $R_{si} = 0,25 \text{ (m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$
- Wärmeübergangswiderstand unbeheizter Keller  $R_{si} = 0,17 \text{ (m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}^{117}$
- Wärmeübergangswiderstand außenseitig  $R_{se}$  nach DIN EN ISO 6946<sup>118</sup> [vgl. 5.6]  $= 0,04 \text{ (m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}^{119}$
- Wärmeübergangswiderstand außenseitig  $R_{se}$  bei erdberührten Bauteilen  $= 0 \text{ (m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$  (unter Bodenplatte/Fundamente)<sup>120</sup>
- Wärmeübergangswiderstand außenseitig  $R_{se}$  unendlich groß (adiabatisch, kein Wärmeaustausch) im seitlichen Bereich (vertikale Schnittebene) der Gründung mit mindestens der dreifachen Wanddicke<sup>121</sup> als Abstand zur Außenkante des Gebäudes.
- Wärmeübergangswiderstand außenseitig  $R_{se}$  oberhalb der Erdanschüttung ist  $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ , gilt auch bei Berücksichtigung von unbeheizten Räumen/Keller,  $R_{se}$  in diesem Bereich beträgt wiederum  $= 0,04 \text{ (m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}^{122}$

Alternativ können Sie sich auf Softwareprogrammierer verlassen und übernehmen die Randbedingungen mit der Hoffnung, dass diese beim Wellenritt durch die Normenlandschaft eine bessere Figur machen bzw. die Normen richtig interpretieren und in der Software umgesetzt haben. Aber auch dann müssen Sie bei der Berechnung – je nach Softwareprodukt mehr oder weniger – die Randbedingungen selbstständig wählen oder bestätigen. Des Weiteren haften wir für das eingesetzte Softwareprodukt im Sinne einer mangelfrei geschuldeten Leistung gleich mit, sodass es ratsam ist, vorgegebene Randbedingungen jedenfalls zu prüfen. Spannend wird es insbesondere, wenn Wärmebrücken im Bereich der Erdberührung betrachtet werden.

Der Nachweis des Temperaturfaktors  $f_{Rsi}$  ist wie folgt zu führen:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

Beim Wärmebrückennachweis wird die Oberflächentemperatur  $\theta_{si}$  unter den zu wählenden Randbedingungen an der kritischen Stelle berechnet und muss über  $12,6^\circ\text{C}$  liegen. Dann ist der Temperaturfaktor  $f_{Rsi}$  von mindestens 0,70 eingehalten. Liegt die Oberflächentemperatur unterhalb von  $12,6^\circ\text{C}$ , ist nachzubessern. Auf Grund eigener

<sup>117</sup> vgl. DIN 4108, Beiblatt 2, S. 64–67

<sup>118</sup> DIN EN ISO 6946, Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren (ISO 6946:2007); Deutsche Fassung EN ISO 6946:2007, Tabelle 1, S. 9

<sup>119</sup> vgl. DIN 4108, Beiblatt 2, S. 62ff.

<sup>120</sup> vgl. DIN 4108, Beiblatt 2, S. 62ff.

<sup>121</sup> vgl. DIN EN ISO 10211:2008-04, Tabelle 1, S. 17

<sup>122</sup> vgl. DIN 4108, Beiblatt 2, S. 62ff.

Erfahrung zu Wärmebrückeberechnungen kann ich von Oberflächentemperaturen auf der Innenseite an kritischen Stellen von mindestens 15 °C berichten.

Die Mindest-Oberflächentemperatur auf der Innenseite der Bauteile, unter dem Ansatz die Luftfeuchte auf 80 % zu begrenzen, kann umgekehrt aus der zuvor aufgeführten Formel unter Vorgabe des Temperaturfaktors von 0,70 berechnet werden.

Die Oberflächentemperatur kann auch in Abhängigkeit des tatsächlichen Bauteil-Wärmedurchgangswiderstandes ( $R_T$ ) nach DIN EN ISO 6946 [vgl. 5.6] wie folgt bestimmt werden:<sup>123</sup>

$$\theta_{si} = \theta_i - \frac{\theta_i - \theta_e}{R_T} \cdot R_{si}$$

Oder mit Hilfe folgender Formel:<sup>124</sup>

$$R_{si} = \theta_i - \frac{R_{si}}{R_{si} + \sum R + R_{se}} \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Demnach ergibt sich der Grenz-Wärmedurchgangswiderstand ( $R_T$ ) bzw. Grenz-Wärmedurchgangskoeffizient ( $U$ ) für ein Bauteil, ab dem Schimmel auf der ungestörten Wand unter den Randbedingungen von 12,6 °C und 80 % Luftfeuchte auf der Innenoberfläche entsteht kann, wie folgt:

$$R_T = \frac{\theta_i - \theta_e}{\theta_i - \theta_{si}} \cdot R_{si}$$

$$R_T = \frac{20 - (-5)}{20 - 12,6} \cdot 0,25 = 0,845 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) / W}$$

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{\theta_i - \theta_{si}}{R_{si}}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{\frac{20 - 12,6}{20 - (-5)}}{0,25} = 1,184 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$$

123 vgl. Duzia, Thomas; Bogusch, Norbert 2014, S. 135

124 vgl. Willems Wolfgang M., 2013, S. 191

## Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz

Der sommerliche Wärmeschutz wird von dem Gesamtenergiedurchlassgrad der transparenten Außenbauteile beeinflusst. Hierbei sind Fenster und feststehende Verglasungen zu betrachten. Deren Sonnenschutz, den Anteil an der Außenfläche, die Orientierung bezüglich der Himmelsrichtungen und die Neigung bei Fenstern in Dachflächen, sind zu berücksichtigen. Die Beeinflussung dieser Parameter führt zu einer effizienteren Planungslösung. Weiterhin sind die Lüftung in den Räumen, die Wärmekapazität der innen liegenden Bauteile und die Wärmeleiteigenschaften der nichttransparenten Außenbauteile zu bewerten.

Es ist nachvollziehbar, dass große Fensterflächen ohne Sonnenschutzmaßnahmen und geringe Anteile, insbesondere innenliegender, wärmespeichernder Bauteile im Sommer zu einer Überhitzung der Räume führt. Es sind Bauteile mit einer großen Wärmespeicherfähigkeit bzw. großen spezifischen Wärmekapazität zu bevorzugen. Dies wird durch schwere Bauteile besser erfüllt als durch leichte. Der Sonnenschutz für transparente Außenbauteile kann wirksam durch eine bauliche Gestaltung, beispielsweise mit auskragenden (davor montierten) Dächern oder Balkonen, realisiert werden. Weiterhin sind außen- oder innenliegende Sonnenschutzeinrichtungen, wie Fensterläden, Rollläden, Jalousien, Markisen denkbar oder es können Sonnenschutzgläser vorgesehen werden. Fassaden und Dachflächenfenster mit einer Ost-, Süd- und Westorientierung sind mit einem wirksamen Sonnenschutz auszustatten. Bevor über den Einsatz einer erhöhten oder hohen Nachtlüftung mit Hilfe einer Lüftungsanlage oder einer passiven Kühlung nachgedacht wird, sind Sonnenschutzeinrichtungen zu betrachten, die den Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases inklusive Sonnenschutz ( $g_{tot}$ ) auf einen Wert von unter 0,4 abmindern. Die Norm gibt zusätzlich Hinweise auf die Einhaltung der Tageslichtsituation und etwaige Ergänzungen durch Tageslichtbeleuchtung bei Büro- und Verwaltungsgebäuden sowie ähnlichen Gebäuden, wenn der Sonnenschutz zur Abdunkelung führt. Die Tageslichtbeleuchtung sollte zur Vermeidung einer Überhitzung jedenfalls geregelt werden.<sup>125</sup>

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes ist mindestens für den Raum mit den höchsten Anforderungen zu führen, dabei ist zunächst die Klimaregion zu bestimmen, die von sommerheiß (Region C) bis sommerkühl (Region A) vorherrschen kann. Ob ein Nachweis auch entfallen kann, ist mit Hilfe der Tabelle 6 der DIN 4108-2 zu klären. Beispielsweise kann bei einer Fensterneigung bis 90° und einer Südausrichtung darauf verzichtet werden, wenn der Fensterflächenanteil weniger als 10% von der Grundfläche des Raumes beträgt. Der Nachweis des vorhandenen Sonneneintragskennwertes ( $S_{vorh}$ ) wird von den Faktoren Nettogrundfläche ( $A_G$ ) des Raumes, Fensterfläche ( $\sum A_{W,j}$ ) des Raumes und dem Faktor für die Sonnenschutzeinrichtung

125 vgl. DIN 4108-2:2013-02, S. 13f.

beeinflusst. Eine große Nettogrundfläche, eine kleine Fensterfläche und der Faktor  $g_{tot,j}$  zu den Schutzvorrichtungen wirken sich auf den Nachweis zum sommertlichen Wärmeschutz aus. Der Sonneneintragskennwert bestimmt sich wie folgt:<sup>126</sup>

$$S_{vorh} = \frac{\sum A_{w,j} \cdot g_{tot,j}}{A_G}$$

Unter Berücksichtigung des Gesamtenergiedurchlassgrades des Glases bei 90° Strahlungseinfall ( $g$ )<sup>127</sup> und den Abminderungsfaktoren in Abhängigkeit der Schutzvorrichtungen ( $F_c$ )<sup>128</sup> sowie der baulichen Verschattung durch Überhänge ( $F_s$ )<sup>129</sup> ergibt sich der Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases einschließlich Sonnenschutz ( $g_{tot,j}$ ).<sup>130</sup>

Ergänzende Erläuterungen werden in diesem Kapitel unter den Ausführungen zur DIN V 4108, Teil 6 [vgl. 5.4.4] aufgeführt.

$$g_{tot,j} = g \cdot F_c \cdot F_s$$

Der vorhandene Sonneneintragskennwert wird mit dem zulässigen Sonneneintragskennwert ( $S_{zul} = \sum S_x$ ) verglichen, wobei der zulässige Wert im Vergleich zum vorhandenen Wert immer mindestens gleich groß sein muss ( $S_{vorh} \leq S_{zul}$ ). Die anteiligen Sonneneintragskennwerte ( $S_x$ )<sup>131</sup> hängen bei Nichtwohngebäuden von der Art der Nachtlüftung, der grundflächenbezogenen Fensterflächenanteile, vom Einsatz von Sonnenschutzglas, von der Fensterneigung, der Fensterorientierung und einem Einsatz von passiver Kühlung ab.

Alternativ kann eine thermische Gebäudesimulation durchgeführt werden, auf die hier im Detail nicht weiter eingegangen wird. Dies kann bereits notwendig werden, wenn das beschriebene vereinfachte Verfahren nicht anwendbar ist.

### Anforderungen an die Luftdichtheit

Zur Luftdichtheit wird allgemein geregelt, dass die Außenbauteile, Fenster und Türen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik luftdicht auszuführen sind. Im Gegenzug ist jedoch aus hygienischen Gründen, zur Begrenzung der Raumluftfeuchte oder auch wegen der Zufuhr von Verbrennungsluft, auf einen ausreichenden Luftwechsel zu achten.<sup>132</sup>

126 vgl. DIN 4108-2:2013-02, S. 24f.

127 vgl. DIN V 4108-6:2003-06, Tabelle 6, S. 31

128 vgl. DIN 4108-2:2013-02, Tabelle 7, S. 25 und DIN V 4108-6:2003-06, Tabelle 7, S. 32

129 vgl. DIN V 18599-2:2011-12, A2

130 vgl. DIN 4108-2:2013-02, S. 24f.

131 vgl. DIN 4108-2:2013-02, Tabelle 8, S. 26

132 vgl. DIN 4108-2:2013-02, S. 12f.

### Anmerkung:

Mit den Anforderungen zur Luftdichtheit haben wir das Gebäude zwar energetisch verbessert, doch aus Sicht des Projektmanagements oder BIM-Managements gleichzeitig wieder ein neues Kapitel hinsichtlich möglicher Fehlerquellen im Planungs- und Bauprozess aufgeschlagen. Die Feuchteproblematik wird beispielsweise insbesondere durch das Wechselspiel von Sommer und Winter deutlich. Im Sommer holen wir durch die Lüftung große, in der warmen Luft enthaltene Wassermassen, ins Gebäude, die an erdberührten Bauteilen und Wärmebrücken kondensieren können. Im Winter ist die Außenluft absolut gesehen wesentlich trockener, was aus gesundheitlicher Sicht viele Menschen beeinflusst. Es gibt also keinen Idealzustand. Durch Technik, Investitionsaufwand und betriebliche Aufwendungen inklusive des dazu notwendigen Know-how sollen nun physikalische Sachverhalte beeinflusst werden.

Kann dies immer der richtige Weg sein? In diesem Dilemma steckt der Bau und muss sich den Dingen stellen. Insbesondere bei einem Energieeffizienzgebäude.

### Berücksichtigung von Rollläden

Auf Basis von Teil 2 der DIN 4108 ist noch abschließend die Berücksichtigung von Rollladenkästen im wärmeschutztechnischen Nachweis erwähnenswert. Demnach können Einbau- oder Aufsatzkästen als flächiges Bauteil mit ihrem U-Wert betrachtet werden. Alternativ können die Rollläden durch die Wandflächen übermessen werden, wobei die Wandflächen bei Einbau- und Aufsatzkästen bis zur Unterkante des Rolladenkastens und bei Vorsatz- und Miniaufsatzkästen bis zur lichten Fensteröffnung gemessen wird.<sup>133</sup> Der Rolladen wird dann als Wärmebrücke berücksichtigt.

## 5.4.2 DIN 4108 Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweis für Planung und Ausführung

Dieser Teil der Norm ist nur indirekt im Zuge einer Effizienzhausplanung von Interesse. Relevante energetische Randbedingungen werden hier nicht betrachtet bzw. sind uns bei der Planung nicht direkt von Nutzen. Auch können hieraus keine Optimierungsansätze abgeleitet werden. Dennoch ist sie ein wichtiges Planungswerkzeug und verdient Beachtung. Insbesondere, da wir uns als Planer und Baubegleiter dem Feuchteschutz als ursprüngliche »Mutter« des Wärmeschutzes immer zuwenden sollten und normativ müssen. Im Einzelfall kann sich aus den Feuchteschutzbetrachtungen eine Vorgabe zum Wärmeschutz beim Effizienzhaus ergeben, wenn die Oberflächentemperatur zur Verhinderung von Tauwasser nicht eingehalten wird.

Die DIN 4108 Teil 3 ergänzt im Sinne des Feuchteschutzes den Teil 2 der DIN 4108.

133 vgl. DIN 4108-2:2013-02, Anhang A, S. 32f.

Allgemein gilt: Teil 3 der Norm ist nicht bei klimatisierten wohnähnlichen Nutzungen anzuwenden. Der Begriff Nichtwohnen ist generell nicht in der Norm enthalten, was nicht bedeutet, dass sich bei Nichtwohngebäuden Feuchteschäden und Schimmelbefall breit machen dürfen. Das Berechnungsverfahren der Norm ist nicht bei erdberührten Bauteilen und Gründächern anwendbar. Ebenso wenig gilt dies für Betrachtungen zum natürlichen Austrocknungsprozess durch Abgabe von Baufeuchte. Die Norm regelt, dass unter bestimmten Umständen kein Tauwasser-Nachweis erforderlich ist. Die gilt bei:<sup>134</sup>

- Erdberührten Kellerwänden mit Abdichtungen nach DIN 18195, Teil 4 bis 6<sup>135</sup> und einer Perimeterdämmung
- Bodenplatten mit Perimeterdämmung inklusive Abdichtungen nach DIN 18195, Teil 4, wenn die raumseitigen Schichten maximal 20% des Gesamtwärmedurchlasswiderstands der Bodenplatte betragen.

Ein Hoch auf die Norm, die uns sagt für welchen Fall kein Nachweis zu führen ist. Ob dies im Schadensfall vor Gericht Bestand hat? Oder müssten wir im Zweifel ein anderes, instationäres Verfahren nutzen bzw. dafür notwendige Spezialisten einschalten, beispielsweise wenn wir gerade bei erdberührten Bauteilen ein Feuchteproblem erwarten? Wenn wir den erdberührten Bereich aus Sicht des Feuchteschutzes unter die Lupe nehmen wollen, lässt uns die Norm 4108 Teil 3 im Regen bzw. in der Feuchte stehen.

Vielleicht hilft hier die DIN EN ISO 13788:2013-05<sup>136</sup> weiter, die ich an dieser Stelle einstreue und unter Kapitel 5.8 auf diese Norm weiter eingehe, ohne jedoch dabei in die Tiefe gehen zu wollen. In Abschnitt 7 der DIN EN ISO 13788 ist beispielsweise der Trocknungsvorgang von Bauteilen aufgenommen.

Dies scheint insbesondere notwendig, da der Bauprozess immer dem Regen und der Witterung ausgesetzt ist und nicht nur die herstellungsbedingte Bauteilfeuchte aus dem Beton oder Mauerwerk entweichen muss. Zusätzlich ist Feuchte wieder abzugeben, da die Bauteile nicht vollständig vor Regen geschützt werden können. Auch können die Dämmmaterialien nicht vollständig beim Einbau vor Regen geschützt werden.

134 vgl. DIN 4108-3:2014-11, S. 6 und S.15 f.

135 DIN 18195:2015-06, Abdichten von Bauwerken – Begriffe und DIN 18195 Teil 1 bis 10, Bauwerksabdichtungen

136 DIN EN ISO 13788:2013-05, Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren (ISO 13788:2012); Deutsche Fassung EN ISO 13788:2012

Stellen Sie sich tausende Quadratmeter Dach- oder Fassadenflächen vor, die zu jeder Jahreszeit und ohne einen Terminverzug zu verursachen, gedämmt werden. Da kommt viel Baufeuchte zusammen, die schadensfrei trocknen bzw. nach außen diffundieren soll.

Die DIN EN ISO 13788 beschreibt ein Berechnungsverfahren zur Wasserdampfdiffusion bzw. zur Verdunstung und zur Tauwasserbildung, welches den Prozess monatsweise zur Beurteilung darstellt.

Die DIN 4108 Teil 3 betrachtet dagegen eine Tau- und eine Verdunstungsperiode. In Softwareprodukten sind in der Regel beide Verfahren (nach DIN 4108-3 und DIN EN ISO 13788) enthalten. Je nach Anwendungsbereich der jeweiligen Norm können diese zur Beurteilung der Wasserdampfdiffusion herangezogen werden.

Abschließend sei angemerkt, dass die aktualisierte Norm DIN 4108, Teil 3 mit Datum November 2014 erschien und naturgemäß einiges an Zeit verging bis auch aktualisierte Software vorlag, ohne die eine praktische Anwendung während der Projektarbeit sinnlos erscheint. Anwenden muss der Planer jedoch die Norm seit dem Tag des Erscheinens, was mich mit Blick auf die gewollte digitalisierte Welt (Industrie 4.0) mit digitalen Datenmodellen, Softwareschnittstellen und BIM-Prozessen im Bausektor wieder einmal zum Nachdenken anregt.

Stoppen wir in Zukunft den Planungsprozess bis die aktualisierte Software vorliegt? Wer haftet für die Nicht-Nutzung aktualisierter Normen, die nur mit Hilfe von Software anwendbar sind?

Ergänzend sei die DIN EN 15026<sup>137</sup> zum Thema Feuchteschutz genannt. Sie beinhaltet ein numerisches Verfahren zum tatsächlichen Feuchte- und Wärmetransport. Die Vorgesichte besteht aus Datenerhebungen zum tatsächlichen Wärme- und Feuchtetransport, einer daraus erstellten dynamischen Simulation und einer Validierung durch Versuche. Die numerische Simulation berücksichtigt instationäre Vorgänge, die die DIN 4108 Teil 3 nicht abbildet. Der Planer muss im Einzelfall die Anwendung in Betracht ziehen.

### 5.4.3 DIN 4108 Teil 4: Wärme- und Feuchteschutz, Bemessungswerte

Der Teil 4 der DIN 4108 dient ausschließlich zur Festlegung der wärme- und feuchteschutztechnischen Bemessungswerte für Baustoffe. Zusätzlich kann die DIN EN ISO

<sup>137</sup> DIN EN 15026:2007-07, Wärme- und feuchtechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation; Deutsche Fassung EN 15026:2007

10456<sup>138</sup> mit weiteren Tabellenwerten oder bauaufsichtlichen Zulassungen zur Festlegung der Bemessungswerte herangezogen werden. Die Tabellen der Norm enthalten die Bemessungswerte zur Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) und Richtwerte zum Wasserdampf-Diffusionswiderstand ( $\mu$ ) je aufgeführter Baustoff. Zusätzlich werden U-Werte für Mehrscheiben-Isolierglas, Dachoberlichter und Bemessungswerte für Tore aufgeführt.

In Tabelle 15 der DIN 4108-4 sind die Dämmstoffdicken für Rohrleitungen zur Einhaltung der Mindestanforderungen nach EnEV, was den 100%-EnEV-Anforderungen entspricht, enthalten.

Bei der Effizienzhausplanung und der Bilanzierung sind die Bemessungswerte anzusetzen.

#### 5.4.4 DIN V 4108 Teil 6: Sommerlicher Wärmeschutz und Wärmeverlust über das Erdreich

Generell ist diese Vornorm bei Wohngebäuden und Gebäuden, die auf bestimmte Innentemperaturen beheizt werden, anzuwenden. Für Nichtwohngebäude ist sie nur beschränkt von Interesse.

Im Zusammenhang mit den Betrachtungen zum sommerlichen Wärmeschutz ergänzt der Teil 6 (Vornorm) den Teil 2 der DIN 4108. Nach Teil 2<sup>139</sup> kann der Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases einschließlich Sonnenschutz ( $g_{tot}$ ) alternativ nach DIN V 4108-6, Anhang B berechnet werden. Gleichzeitig wird als Instrument die DIN EN 13363 Teil 1 und 2<sup>140</sup>, die DIN EN 410<sup>141</sup> und der Nutzen von zugesicherten Herstellerangaben als Möglichkeiten für Festlegungen zu  $g_{tot}$  aufgelistet.

In Anhang B sind vereinfachte rechnerische Verfahren zur Bestimmung von  $g_{tot}$  aufgeführt. Diese werden in Anhang B in außen- und innenliegende Sonnenschutzmaßnahmen unterschieden. Werden Sonnenschutzvorrichtungen und Sonnenschutzverglasungen in Kombination vorgesehen, ist das detaillierte Verfahren nach DIN EN 410 heranzuziehen.<sup>142</sup>

138 DIN EN ISO 10456:2010-04, Baustoffe und Bauprodukte – Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte

139 vgl. DIN 4108-2:2013-02, S. 24

140 DIN EN 13363 Teil 1 und 2, Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen – Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades – Teil 1: Vereinfachtes Verfahren; Deutsche Fassung EN 13363-1:2003+A1:2007, Teil 2: Detailliertes Berechnungsverfahren; Deutsche Fassung EN 13363-2:2005

141 DIN EN 410:2011-04, Glas im Bauwesen – Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen; Deutsche Fassung EN 410:2011

142 vgl. DIN V 4108-6:2003-06, Anhang B, S. 61

Im Allgemeinen kann der sommerliche Wärmeschutz durch Einsetzen von Materialen mit einer höheren Wärmespeicherkapazität verbessert werden. Wird beispielsweise als Dachdämmung Holzwolle mit einer etwa siebenfach größeren Wärmespeicherkapazität eingebaut im Vergleich zu Mineralwolle, ist ein Effekt durchaus spürbar.

Weitere Verbesserungen können durch den Aufbau des gesamten Bauteils erreicht werden, beispielsweise durch eine Innenbeplankung des Daches mit einer wärmespeichernden Schicht aus Holzwerkstoffplatten und einer Lage Gipskartonplatten.

Entscheidend für den sommerlichen Wärmeschutz ist der zeitliche Versatz zwischen Wärmeaufnahme und Wärmeabgabe von Bauteilen. Der Versatz wird als Phasenverschiebung bezeichnet und ist dann optimal, wenn die Abgabe der Wärme erst in den Nachtstunden erfolgt. Leichte Bauteile reagieren bei Hitzeeinwirkung dabei direkter als schwere Bauteile. Zumindes sollten im Inneren des Gebäudes massive Bauteile, wie Betonbodenplatten und Betondecken vorhanden sein, damit die Wärmespeicherung erfolgen kann.

Zwecks Berechnung des anzuwendenden Temperaturkorrekturfaktors ( $F_x$ ) enthält Anhang E der Norm weiterhin detaillierte Ausführungen zum Wärmeverlust über das Erdreich. Dabei wird der Wärmeverlust über die Bodenplatte (ohne Keller), bei einem beheizten Keller sowie bei teil- oder unbeheiztem Keller unterschieden.<sup>143</sup>

In Kapitel 5.7 gehe ich in diesem Zusammenhang zusätzlich auf die DIN EN ISO 13370 ein, die ebenso die Wärmeübertragung auf das Erdreich beinhaltet.

#### 5.4.5 DIN 4108 Teil 7: Luftdichtheit

Der Teil 7 der Norm beschäftigt sich mit Anforderungen und Planungs- sowie Ausführungsempfehlungen hinsichtlich der Luftdichtheit von Gebäuden. Dabei werden Fugen, Anschlüsse, Luftdichtheitsschichten wie Bahnen und Platten sowie die Verarbeitung der Materialien betrachtet.

Die Norm ist auf alle Gebäude, die beheizt und/oder klimatisiert werden, anzuwenden. Die Winddichtheit ist nicht Gegenstand der Norm. Funktionsbedingte Fugen und Öffnungen in der wärmeübertragenden Gebäudehülle, wie beispielsweise Gurtdurchführungen bei Rollladenkästen, werden ebenso wenig behandelt.<sup>144</sup>

Die Luftdichtheit von Gebäuden ist bei Lüftungsanlagen oder beim Ansatz einer erhöhten Luftdichtheit in der Bilanzierung mit dem Verfahren B nach DIN EN 13829:2001-02 nachzuweisen.<sup>145</sup>

143 vgl. DIN V 4108-6:2003-06, Anhang E, S. 79-86

144 vgl. DIN 4108-7:2011-01, S. 6

145 vgl. EnEV 2014, Anlage 4 zu § 6 Absatz 1, S. 70

Die Anforderungen an die Luftdichtheit erhöhen sich beim Einsatz einer Lüftungsanlage hinsichtlich der maximal zulässigen Luftwechselrate ( $n_{50}$ ) bei 50 Pascal Druckdifferenz. Als Zahlenwert ausgedrückt halbiert sich die zulässige Luftwechselrate  $n_{50}$  von  $3,0 \text{ h}^{-1}$  auf  $1,5 \text{ h}^{-1}$ . Beträgt das Gebäudevolumen mehr als  $1.500 \text{ m}^3$ , wird die Luftdurchlässigkeit ( $q_{50}$ ) ergänzend zur Beurteilung herangezogen. Sie darf maximal  $3,0 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$  betragen.<sup>146</sup>

Aus eigener Erfahrung kann ich von Luftdichtheitsprüfungen für Gebäude bzw. einer Prüfzone mit einem Innenvolumen bis  $25.000 \text{ m}^3$  berichten. Die Luftwechselrate betrug bei 50 Pascal zum Beispiel 1,3 je Stunde und unterschritt damit die in dem Fall geforderte Luftwechselrate von 1,5 je Stunde. Dennoch können im Bericht zur Dichtheitsprüfung Empfehlungen abgegeben werden, wie die Gebäudehülle nachgebessert werden kann. Die Empfehlungen können sich beispielsweise auf folgende Bereiche beziehen:

- Wand- und Deckendurchführungen (Rohre) sind noch nicht fertig abgedichtet
- Anschlüsse von Vordächern an die Fassade (Hilfsmittel Rauchprobe: Rauch wird bei Unterdruck eingezogen)
- Kabdurchführungen sind noch nicht dicht
- Verkleidungen von Rohren sind noch nicht dicht
- Offene, nicht benötigte Durchbrüche sind noch nicht abgedichtet
- Attikaabdeckungen sind noch nicht vollständig hergestellt

Die Norm gibt Hinweise, dass auch beim Einhalten der Luftdichtheitsanforderungen lokale Feuchteprobleme auftreten können. Von daher ist auf den Feuchteschutz ein besonderes Augenmerk zu legen. Bei erhöhten Anforderungen wegen des Einsatzes von Lüftungsanlagen sind meist Fenster mit einer Klassifizierung der Luftdurchlässigkeit von mindestens der Klasse 3 nach DIN EN 12207<sup>147</sup> notwendig.<sup>148</sup>

Dies sollte bei der Planung und Ausschreibung von Bauleistungen berücksichtigt werden, ebenso die weiteren Empfehlungen der DIN 4108 Teil 7. Insbesondere ist in der Planungsphase die umlaufende Luftdichtheitsebene zu betrachten und sich mit Hilfe eines Luftdichtheitskonzeptes die einzelnen Maßnahmen zur Erreichung der Luftdichtheit zu verdeutlichen. Dies unterstützt den Planungsprozess, die Bewusstseitsbildung für die Thematik und letztlich die Umsetzung in Ausschreibungen und während des Bauprozesses. Ausreichende Hilfestellungen und bildhafte Musterlösungen sind in der DIN 4108-7 enthalten.

---

146 vgl. DIN 4108-7:2011-01, S. 8

147 DIN EN 12207:2000-06, Fenster und Türen – Luftdurchlässigkeit – Klassifizierung; Deutsche Fassung EN 12207:1999

148 vgl. DIN 4108-7:2011-01, S. 8

## 5.4.6 DIN 4108 – Beiblatt 2: Wärmebrücken

Das Beiblatt 2 zur DIN 4108 enthält wichtige Planungs- und Ausführungsbeispiele zu Wärmebrückendetails im Hochbau. Die Details beziehen sich dabei lediglich auf Aspekte des Wärmeschutzes. Andere Anforderungen werden nicht betrachtet. Die im Beiblatt aufgeführten längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ( $\psi$ ) sind als Referenzwerte zu verstehen und nicht als die jeweiligen  $\psi$ -Werte der abgebildeten Details. Sie dienen lediglich dem Nachweis der Gleichwertigkeit. Die bauteil- und materialspezifischen  $\psi$ -Werte können Wärmebrückenkatalogen entnommen werden. Neben dem  $\psi$ -Wert wird ergänzend die Tauwasserproblematik und somit der Feuchtschutz im Beiblatt 2 berücksichtigt. Dazu wird der Temperaturfaktor ( $f_{Rsi}$ ) angegeben.<sup>149</sup>

Die Baustoffindustrie stellt Kataloge zu Wärmebrückendetails zur Verfügung, beispielsweise für Betonkonstruktionen oder Baustoffe aus Porenbeton, Kalksandstein oder Ziegelprodukten. Diese Kataloge geben Abmessungen, Materialeigenschaften sowie Randbedingungen an und stellen  $\psi$ -Werte und  $f_{Rsi}$ -Werte zu den jeweiligen Details zur Verfügung.

Dabei stehen je nach Katalog Details zur Verfügung, die eher im Wohnungsbau oder im Nichtwohnungsbau Anwendung finden. Eine Unterscheidung ist jedoch nicht wirklich von Bedeutung, da die Wärmebrückendetails von der Bauweise und somit von der Materialspezifikation und der Anschlussausbildung abhängen und nicht unbedingt von der allgemeinen Einordnung hinsichtlich einer Gebäudenutzung.

Möchte der Planer die Wärmebrückendetails selbst nach DIN EN ISO 10211 [vgl. 5.11] berechnen, so kann er beispielsweise die kostenlose 2d-Software »Therm 6.3« von Lawrence Berkeley National Laboratory aus den USA einsetzen.

Im Beiblatt 2 wird die alternative Möglichkeit eines Gleichwertigkeitsnachweises aufgezeigt. Wie ein Gleichwertigkeitsnachweis konkret geführt werden muss, wird nachfolgend unter Punkt 1 bis 4 skizziert.

Für eine Effizienzhausplanung ist in der Regel je nach Zielstellung mindestens der Gleichwertigkeitsnachweis zu führen, damit als Grundlage der Bilanzierung der pauschale Ansatz von  $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  gewählt werden kann. Wenn dies zum Erreichen eines Effizienzhauses nicht genügt oder keine Details in Katalogen oder im Beiblatt 2 zur Verfügung stehen, die für die konkrete Planung und angedachte Bauweise genutzt werden können, ist der detaillierte Wärmebrückennachweis zu führen. In diesen Fällen wird der detaillierte Nachweis nach DIN EN ISO 10211 [vgl. 5.11] notwendig.

<sup>149</sup> vgl. DIN 4108 Beiblatt 2:2006-03, S. 4

Für die Durchführung des Gleichwertigkeitsnachweises<sup>150</sup> stehen zusammenfassend mehrere Methoden zur Verfügung:

1. Eindeutige Zuordnung des geplanten Details zum konstruktiven Grundprinzip zum Detail im Beiblatt 2. Dabei ist eine Übereinstimmung der Bauteilabmessungen und Baustoffeigenschaften tabellarisch aufzuzeigen. Wenn die Übereinstimmung vorliegt, ist die Gleichwertigkeit gegeben.
2. Stimmen die Details aus der Planung mit dem Beiblatt 2 bis auf Unterschiede zur Wärmeleitfähigkeit überein, erfolgt der Nachweis der Gleichwertigkeit über den Vergleich des Wärmedurchgangswiderstands (R) zur jeweiligen Schicht. Der Nachweis zur abweichenden Schicht ist erfüllt, wenn der Wärmedurchgangswiderstand des geplanten Details mindestens so groß ist wie beim Detail gemäß Beiblatt 2.
3. Kann mit Hilfe der beiden zuvor benannten Methoden keine Gleichwertigkeit nachgewiesen werden, bleibt die detaillierte Wärmebrückennberechnung nach DIN EN ISO 10211. Hierbei sind die Randbedingungen nach Abschnitt 7 des Beiblattes 2 anzuwenden. Die berechneten längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten werden mit den angegebenen Referenzwerten in den Details des Beiblattes 2 verglichen. Der berechnete  $\psi$ -Wert darf maximal dem Referenzwert entsprechen. Die dabei anzuwendenden Temperatur-Korrekturfaktoren ( $F_x$ ) bzw. Temperaturfaktoren ( $f_x$ ) sind der DIN V 18599-2<sup>151</sup> zu entnehmen, wobei  $F_x = 1 - f_x$  ist. Demnach ergibt sich beispielsweise eine korrigierte Außentemperatur als Grundlage für die Berechnung wie folgt:<sup>152</sup>

Bauteilangrenzung			Differenz D	Temperaturdifferenz in °C	korrigierte Außentemperatur in °C
	F	f			
Außenluft	1	0	1	25	-5
Erdreich	0,6	0,4	0,6	15	5
unbeh. Raum	0,5	0,5	0,5	12,5	7,5

**Tabelle 8:** Beispiele zur Berechnung der Außentemperatur für Wärmebrücken

4. Bereits berechnete  $\psi$ -Werte zu Details werden von den Baustoffherstellern in den Wärmebrückenkatalogen angegeben. Diese  $\psi$ -Werte können ebenso mit den Referenzwerten gemäß Beiblatt 2 verglichen werden. Es gilt wiederum, dass der berechnete  $\psi$ -Wert maximal dem Referenzwert entsprechen darf.

<sup>150</sup> vgl. DIN 4108 Beiblatt 2:2006-03, S. 6 und Schoch Torsten, 2013, S. 108ff.

<sup>151</sup> vgl. DIN V 18599-2:2011-12, S. 43-44

<sup>152</sup> vgl. Schoch Torsten, 2013, S. 115

## 5.5 Anmerkungen zur DIN 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen

Die DIN 4701-10 von August 2003 wird im Zusammenhang mit Nichtwohngebäuden nur der Vollständigkeit halber aufgeführt, da sie für die Bilanzierung nicht angewendet wird. Bilanziert wird auf Basis der Vornorm DIN V 18599 und ihren 11 Teilen.

Ich erinnere an dieser Stelle lediglich, dass bis zur EnEV 2004 die DIN 4701-10 anzuwenden war, was sich im Anwendungsbereich der Norm wiederfindet. Hier heißt es:

*»Diese Norm gilt für Gebäude mit normalen Innentemperaturen im Sinne der Energieeinsparverordnung, die baulich und anlagentechnisch den Anforderungen dieser Verordnung genügen. Dies sind nach der dort gegebenen Definition solche Gebäude, die nach ihrem Verwendungszweck auf eine Innentemperatur von 19 °C oder mehr und jährlich mehr als vier Monate beheizt werden. Wesentliche Untergruppe dazu sind die Wohngebäude; das sind solche Gebäude, die ganz oder deutlich überwiegend zum Wohnen genutzt werden.«<sup>153</sup>*

Zwecks Bilanzierung von Wohngebäuden kann die DIN 4701-10 weiterhin als Alternative zur DIN V 18599 angewendet werden.

## 5.6 Planungsgrundlage DIN EN ISO 6946: Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren

Die Berechnung von U-Werten ist uns spätestens seit unserer ersten Vorlesung zur Bauphysik bekannt. Mein erster Kontakt zu dieser Materie fand bereits in der Berufsschule während der Ausbildung zum Bauzeichner statt. Dennoch lohnt ein aktueller Blick auf normative Grundlagen und Anwendung der Berechnungsweise unter bestimmten Randbedingungen und Bilanzierungsaspekten.

Im aufgeführten Anwendungsbereich in der Norm wird der Sinn und Zweck der Norm wie folgt beschrieben:

*»Diese Internationale Norm legt das Verfahren zur Berechnung des Wärmedurchlasswiderstandes und des Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauteilkomponenten und Bauteilen fest. Davon ausgenommen sind Türen, Fenster und andere verglaste Einheiten, Vorhangsfassaden, an das Erdreich grenzende Bauteilkomponenten und Lüftungselemente. Das Berechnungsverfahren beruht auf den Bemessungswerten der Wärmeleitfähigkeit oder Wärmedurchlasswiderstände der*

153 DIN 4701-10:2001-02, S. 9

*Baustoffe und Produkte für die jeweilige Anwendung. Das Verfahren gilt für Bauteilkomponenten und Bauteile aus thermisch homogenen Schichten (die auch Luftsichten enthalten können). Diese Norm gibt auch ein Näherungsverfahren für Bauteile mit inhomogenen Schichten an. Die Wirkung von mechanischen Befestigungselementen wird durch den in Anhang D angegebenen Korrekturfaktor berücksichtigt. Andere Fälle, in denen die Wärmedämmung von einer metallischen Schicht durchdrungen wird, sind nicht Gegenstand dieser Norm.«*

Zu beachten ist, dass die U-Werte erdberührter Bauteile nicht nach dieser Norm zu berechnen sind, wobei die DIN V 18599-2:2011-12 die Anwendung der DIN EN ISO 6946 für definierte Umstände im Rahmen der Bilanzierung zulässt.

In Teil 2 der DIN V 18599 (6.2.4) wird mit Bezug zur Transmission über das Erdreich der Berechnungsansatz nach DIN EN ISO 6946 für die Bilanzierung ermöglicht, wenn das Gebäude nur beheizt wird. Nur unter dieser Randbedingung kann der sogenannte vereinfachte Ansatz für Transmissionswärmesenken über das Erdreich oder Kellergeschosse unter Zuhilfenahme von Temperatur-Korrekturfaktoren angewendet werden. Kapitel 6.2.4 des Teils 2 verweist dabei auf Kapitel 6.2.2 des Teils 2 in dem wiederum für opake Bauteile auf den U-Wert nach DIN EN ISO 6946 verwiesen wird.<sup>154</sup>

Dabei ist der Wärmeübergangswiderstand außenseitig  $R_{se}$  bei erdberührten Bauteilen mit 0 ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )/W anzusetzen.<sup>155</sup>

In der Praxis wird durchaus die DIN EN ISO 6946 auch für erdberührte Bauteile angesetzt, auch wenn die Randbedingungen nicht erfüllt sind. Zu empfehlen ist, dass ein Augenmerk auf die Randbedingungen gelegt und der normativ korrekte Berechnungsweg als Grundlage der Bilanzierung nach DIN V 18599 gewählt wird.

Unter anderen Umständen sind die U-Werte der erdberührten Bauteile (Bodenplatten, Wände gegen Erdreich) nach DIN EN ISO 13370 [vgl. 5.7] als Grundlage der Bilanzierung nach DIN V 18599 zu berechnen.

In der DIN EN ISO 6946:2008-04 wird im Weiteren der Umgang mit Luftsichten beschrieben und die Parameter für ruhende, schwach belüftete und stark belüftete Luftsichten aufgeführt.

Der Wärmedurchlasswiderstand bei unbeheizten Räumen wird ebenso dargelegt. Dabei geht es um die Wahl bzw. Berechnung der Wärmedurchlasswiderstände.

Die Betrachtungen zu Bauteilen werden um homogene und inhomogene Schichten abgerundet. In Anhang A und C wird zusätzlich der Umgang mit ebenen und nicht-

<sup>154</sup> vgl. DIN V 18599-2:2011-2, S. 50 in Verbindung mit S. 48f.

<sup>155</sup> vgl. DIN 4108, Beiblatt 2, S. 62ff. und DIN V 18599-2:2011-2, S. 44

ebenen Oberflächen sowie mit keilförmigen Schichten beschrieben. Keilförmige Schichten werden beispielsweise auf Dachterrassen zur Herstellung eines Gefälles zu Entwässerungszwecken realisiert.

Im Anhang D werden U-Wert-Korrekturen wegen eines Luftspalts, Befestigungs-elementen und bei Umkehrdächern betrachtet. Beispielsweise sind Korrekturen für Befestigungselemente, die die Dämmschicht durchdringen, zu berücksichtigen.

Der U-Wert in  $W/(m^2 \cdot K)$  ohne Korrekturen nach DIN EN 6946 ergibt sich für homogene Schichten unter Berücksichtigung der Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ), der Materialdicken (d) und des inneren sowie äußeren Wärmeübergangswiderstands ( $R_{Si}$ ,  $R_{Se}$ ) wie folgt:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{Si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + R_{Se}}$$

Generell gilt: Je kleiner der U-Wert und somit energieeffizienter das Bauteil ist, desto kleiner ist der zu bilanzierende Wärmestrom. Wobei nicht um jeden Preis nur der U-Wert reduziert werden sollte, sondern insbesondere die Wärmebrücken detailliert betrachtet werden sollten. Nur so werden unnötig große pauschale Zuschläge und überflüssige Investitionen in das ungestörte Bauteil vermieden. Sinnvoller und wirtschaftlicher ist eine Bauteilausführung, die konstruktiv und materialtechnisch vertretbar ist und gleichzeitig nur ein geringer Wärmeverlust über entsprechend gewählte und berechnete Wärmebrückendetails erfolgt.

## 5.7 Grundlagen und Einflüsse auf die Bilanzierung bei Anwendung der DIN EN ISO 13370: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich

Zu Beginn der DIN EN ISO 13370 wird Folgendes erläutert:

*»Im Gegensatz zu ISO 6946, das ein Verfahren zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauwerksteilen festlegt, die sich in Kontakt mit der Außenluft befinden, behandelt die vorliegende Norm Bauteile, die sich in wärmetechnischem Kontakt mit dem Erdreich befinden. Die Schnittstelle dieser beiden internationalen Normen liegt bei Bodenplatten auf Erdreich, aufgeständerten Bodenplatten sowie unbeheizten Kellergeschossen in Höhe der raumseitigen Bodenoberfläche und bei beheizten Kellergeschossen in Höhe der Oberkante der Erdoberfläche. Im Allgemeinen wird beim Nachweis des Gesamtwärmeverlusts*

*tes eines Gebäudes nach Verfahren wie zum Beispiel ISO 13789 ein Faktor zur Berücksichtigung der mit der Verbindungsstelle zwischen Wand und Bodenplatte verbundenen Wärmebrücken hinzugezogen.«*

Weiterhin heißt es, dass der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) nach DIN EN ISO 6946 von Bodenplatten ein nützlicher Vergleichswert für die Wärmedämmeigenschaften ist und einige Länder diesen zur Begrenzung der Wärmeverluste durch Bodenplatten anwenden. Bei Bauteilen zur Außenluft hin ergeben sich tägliche Schwankungen des Wärmestroms in die Speichermasse und aus der Speichermasse. Der mittlere tägliche Wärmeverlust kann aus dem U-Wert und dem Tagesmittel der Temperaturdifferenz von innen und außen berechnet werden. Dagegen führt die große Wärmespeicherträchtigkeit des Erdreiches bei erdberührten Bauteilen zu periodischen Wärmeströmen in Abhängigkeit des Jahrgangs hinsichtlich der Innen- und Außentemperatur. Die Wärmeübertragung muss mit einer der vier aufgeführten Möglichkeiten erfolgen. Beispielsweise wird nach DIN EN ISO 10211<sup>156</sup> und definierten Randbedingungen eine zweidimensionale Berechnung durchgeführt. Die Berechnung der Wärmeströme erinnert demnach an die Teilbetrachtung zu Wärmebrücken.<sup>157</sup>

Beide Normen, die DIN EN ISO 6946 und die DIN EN ISO 13370 und somit beide Ansätze werden in der Vornorm DIN V 18599 als Grundlagen der Bilanzierung aufgeführt und können angewendet werden.<sup>158</sup>

Der Transmissionswärmeverlustkoeffizient ( $H_{T,D}$  bzw.  $H_{T,iu}$ ) nach DIN V 18599-2 kann unter anderem auch mit Hilfe des U-Wertes nach DIN EN ISO 6946 berechnet werden. Die mittlere Temperatur ( $\theta_u$ ), beispielsweise der unbeheizten Gebäudezone, wird vereinfacht mit dem Temperatur-Korrekturfaktor ( $F_x$ ) berechnet. Die Ermittlung der Transmissionswärmeverluste bzw. – quellen nach DIN V 18599 Teil 2 nach außen bzw. bei unbeheizten oder ungekühlten Zonen ( $Q_{T,e}$  bzw.  $Q_{T,u}$ ) innerhalb der Zeiteinheit ( $t$ ) wird folgendermaßen durchgeführt.<sup>159</sup>

$$\theta_u = \theta_i - F_x \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

$$H_{T,D} = \sum (U_j \cdot A_j) + \sum \text{Wärmebrückenverluste}$$

$$Q_{T,e} = H_{T,D} \cdot (\theta_e - \theta_i) \cdot t$$

<sup>156</sup> DIN EN ISO 10211:2008-04, Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen (ISO 10211:2007); Deutsche Fassung EN ISO 10211:2007

<sup>157</sup> vgl. DIN EN ISO 13370:2008-04, S. 5 und S. 9

<sup>158</sup> vgl. DIN V 18599-2:2011-2, S. 42ff.

<sup>159</sup> vgl. DIN V 18599-2:2011-2, S. 42 und S. 46–48, Fx-Werte siehe auch DIN V 4108-6:2003-06, Anhang E, S. 81

$$Q_{T,u} = H_{T,iu} \cdot (\theta_u - \theta_i) \cdot t$$

Zurück zur Norm DIN EN ISO 13370. In der Norm werden weiterhin die wärmetechnischen Eigenschaften des Erdreiches aufgeführt. Beispielsweise ist die Wärmeleitfähigkeit im Allgemeinen 2,0 W/(m·K) anzusetzen. Ist der Boden bekannt, können differenzierte Werte hinsichtlich Eigenschaften der Tabelle 1 der Norm zum Beispiel für Ton oder Kies entnommen werden.

Der Einfluss von Grundwasser ist in aller Regel vernachlässigbar, es sei denn der Grundwasserspiegel liegt hoch und das Grundwasser hat eine hohe Fließgeschwindigkeit. In diesem Fall wird der stationäre Wärmeübertragungskoeffizient ( $H_g \approx U$ -Wert multipliziert mit Bauteilfläche) mit dem Faktor  $G_w$  multipliziert.<sup>160</sup>

Die Berechnung der Wärmeströme ist nach Kapitel 8 und 9 der DIN EN ISO 13370 für ungedämmte oder gleichmäßig über die Fläche gedämmte Bodenplatten von folgenden Beziehungen abhängig:

Charakteristisches Bodenplattenmaß  $B'$  in Meter, vgl. 5.2.10:

$$B' = \frac{A_g}{0,5 \cdot P}$$

$A_g$  = Grundfläche der Bodenplatte,  $m^2$

$P$  = Umfang der Bodenplatte (Außenmaß), m

Wirksame Dicke ( $d_t$ , Dicke des Erdreichs mit identischem Wärmedurchlasswiderstand wie Bodenplatte oder Wand) in Meter:

$$d_t = w + \lambda \cdot (R_{si} + R_f + R_{se})$$

$\lambda$  = Wärmeleitfähigkeit des ungefrorenen Erdreichs, zum Beispiel 2,0 W/(m·K)

$R_f$  = Wärmedurchlasswiderstand der Bodenplattenkonstruktion, inklusive möglicher vollflächiger Dämmsschichten und Bodenbelag, ( $m^2 \cdot K$ )/W

$R_{si}$  = Innerer Wärmeübergangswiderstand, ( $m^2 \cdot K$ )/W

$R_{se}$  = Äußerer Wärmeübergangswiderstand, ( $m^2 \cdot K$ )/W

$W$  = Gesamtdicke der Außenwand, m

Ist die wirksame Dicke  $d_t$  kleiner als das Bodenplattenmaß  $B'$  (ungedämmte oder leicht gedämmte Bodenplatte, Kapitel 9, DIN EN ISO 13370) gilt für den Wärmedurchgangskoeffizienten in W/(m<sup>2</sup>·K):

160 vgl. DIN EN ISO 13370:2008-04, S. 12 und Anhang H

$$U = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln \left( \frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right)$$

Ist die wirksame Dicke  $d_t$  größer als das Bodenplattenmaß  $B'$  (gut gedämmte Bodenplatte) gilt für den U-Wert:

$$U = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t}$$

Wärmedurchgangskoeffizienten für Bodenplatten mit einer waagerechten oder senkrechten Randdämmung werden nach Anhang B berechnet.

Weitere U-Wert-Berechnungen zu Keller-Bodenplatten ( $U_{bf}$ ) und zu Kellerwänden ( $U_{bw}$ ) sind in der Norm DIN EN ISO 13370 für aufgeständerte Bodenplatten (Kapitel 9.2, DIN EN ISO 13370), Bodenplatten von beheizten Kellern, Kellerwänden und der daraus resultierenden Gesamtwärmevertragung sowie unbeheizten Kellergeschossen (Kapitel 9.3 bis 9.5, DIN EN ISO 13370) dargestellt.

Zur Berechnung der stationären Wärmeübertragung (Kapitel 4, DIN EN ISO 13370) wird der U-Wert mit der Bauteilfläche multipliziert. Hieraus ergibt sich der stationäre Wärmeübertragungskoeffizient auf das Erdreich ( $H_g$  in W/K) auch unter Berücksichtigung der Wärmebrückenverluste bzw. des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ( $\psi$ ):

$$H_g = (A_G \cdot U) + (P \cdot \psi)$$

Die stationäre Wärmeübertragung aus dem gesamten beheizten Keller ( $U_{bf}$  = U-Wert Keller-Bodenplatte,  $U_{bw}$  = U-Wert Kellerwand,  $z$  = Tiefe Bodenplatte unter Erdoberfläche) berechnet sich beispielsweise nach Kapitel 9.3.4 der DIN EN ISO 13370:2008-04 näherungsweise wie folgt:

$$H_g = (A_G \cdot U_{bf}) + (z \cdot P \cdot U_{bw}) + (P \cdot \psi)$$

mit  $U_{bf}$  bei ungedämmter oder leicht gedämmter Bodenplatte

$$U_{bf} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z} \cdot \ln \left( \frac{\pi \cdot B'}{d_t + 0,5 \cdot z} + 1 \right)$$

bzw. bei gut gedämmter Bodenplatte

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z}$$

und mit  $U_{bw}$ , sofern die wirksame Gesamtdicke der Kellerwand  $d_w = \lambda \cdot (R_{si} + R_f + R_{se})$  größer ist, als die wirksame Dicke der Bodenplatte  $d_t$ . Falls dies nicht der Fall ist, sollte in der folgenden Gleichung  $d_t$  durch  $d_w$  ersetzt werden.<sup>161</sup>

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot z} \cdot \left( 1 + \frac{0,5 \cdot d_t}{d_t + z} \right) \cdot \ln \left( \frac{z}{d_w} + 1 \right)$$

Der wirksame U-Wert ( $U'$ ) zum gesamten erdberührten Kellergeschoss wird wie folgt beschrieben und hier ergänzend aufgeführt:<sup>162</sup>

$$U' = \frac{(A_g \cdot U_{bf}) + (z \cdot P \cdot U_{bw})}{A_g + (z \cdot P)}$$

Der stationäre Wärmetransferkoeffizient (Bezeichnung aus DIN V 18599-2) in W/K nach DIN EN ISO 13370 (stationärer Wärmeübertragungskoeffizient  $H_g$ ) kann bei großen Wärmeausträgen über das Erdreich zu einer Überschätzung der monatlichen Wärmesenken führen. Dann ist zu prüfen, ob das Verfahren nach DIN EN ISO 13370 Anhang A.1 zur Berechnung des Wärmestroms über das Erdreich einzusetzen ist. Nach Anhang A.1 kann anstelle des jährlichen Wärmestroms ein detaillierterer Ansatz mit Hilfe des monatlichen Gesamtwärmestroms berechnet werden.<sup>163</sup>

Grundlage der Wärmestromberechnung bei monatlichen Mittelwerten sind nach Anhang A.3 die mittleren Innen- und Außentemperaturen, die harmonischen thermischen Leitwerte ( $H_{pi}$ ,  $H_{pe}$ ) nach Anhang F und der stationäre Wärmeübertragungskoeffizient  $H_g$ .

Erfolgt die Bilanzierung zum mittleren jährlichen Wärmestrom ( $\bar{\emptyset}$  in W) ergibt sich dieser nach der Methode in Anhang A.5 der DIN EN ISO 1370:2008-04 durch Multiplikation von  $H_g$  mit der mittleren jährlichen Temperaturdifferenz zwischen innen und außen.

$$\bar{\emptyset} = H_g \cdot (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e)$$

Anhang E beschäftigt sich mit einer Belüftung unter aufgeständerten Bodenplatten, Anhang F mit harmonischen thermischen Leitwerten (Anwendung, wenn Bodenplattenkonstruktion über gesamter Fläche gleich ist).

161 vgl. DIN EN ISO 13370:2008-04, S. 20

162 vgl. DIN EN ISO 13370:2008-04, S. 20

163 vgl. DIN V 18599-2:2011-12, S. 50

Anhang G zeigt detaillierte Angaben zu wärmetechnischen Eigenschaften des Erdreichs auf. In Anhang H wird der Einfluss des fließenden Grundwassers rechnerisch und tabellarisch beschrieben.

Anhang I beschäftigt sich mit erdberührten Bodenplatten und gleichzeitig eingebetteten Heizungssystemen. Anhang J behandelt Kühlräume. Anhang K enthält Beispielberechnungen.

Die Anwendung der DIN EN ISO 13370 anstelle der DIN EN ISO 6946 bringt bei der Bilanzierung in der Regel Vorteile und erleichtert den Nachweis als Energieeffizienzgebäude. Dies wird nachfolgend erläutert und beispielhaft aufgezeigt.

Damit die Einflüsse auf den U-Wert und somit auf den Wärmeverlust etwas deutlich werden, werden nachfolgend auf Basis von Objekten mit einer ungedämmten Bodenplatte auf Erdreich bzw. U-Wert-Berechnungen für ungedämmte Bodenplatten die Parameter variiert und die Ergebnisse aufgezeigt. Dieser Vergleich entspricht im Grunde einer Sensitivitätsanalyse:

1. Der Grundriss bzw. Länge und Breite des Gebäudes werden bei gleicher Fläche variiert, da  $B'$  bei länglicheren Gebäudegrundrissen kleiner wird, was durch den größeren Umfang verursacht wird. Als Ergebnis ist festzuhalten, dass der U-Wert größer wird, wenn das charakteristische Bodenplattenmaß kleiner wird. Hier spielt der Einfluss des größeren Randbereiches bei ungünstiger Gebäudeform eine Rolle. Demnach ist auch der Wärmeverlust bei länglicheren Grundrissen größer. Abbildung 27 zeigt die berechneten U-Werte je Bodenplattenmaß.

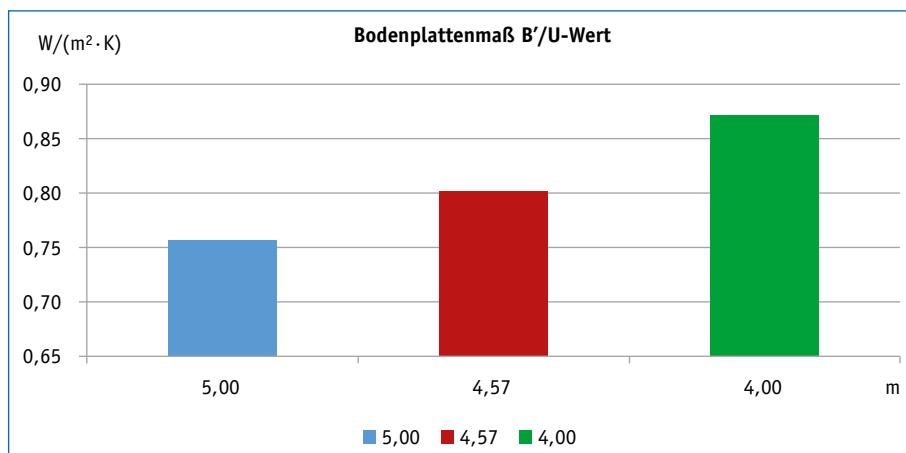


Abbildung 27: U-Werte nach DIN EN ISO 13370 bei Variation der Gebäudeform

2. Die Fläche des Grundrisses wird vergrößert, wobei die Form (hier beispielsweise quadratisch) gleich bleibt. Als Ergebnis ist festzuhalten, dass der U-Wert kleiner wird, wenn das charakteristische Bodenplattenmaß größer wird. Dies wird dem geringeren Wärmeverlust durch den kleiner werdenden Einfluss der Randflächen gerecht. In Abbildung 28 sind die berechneten U-Werte dargestellt.

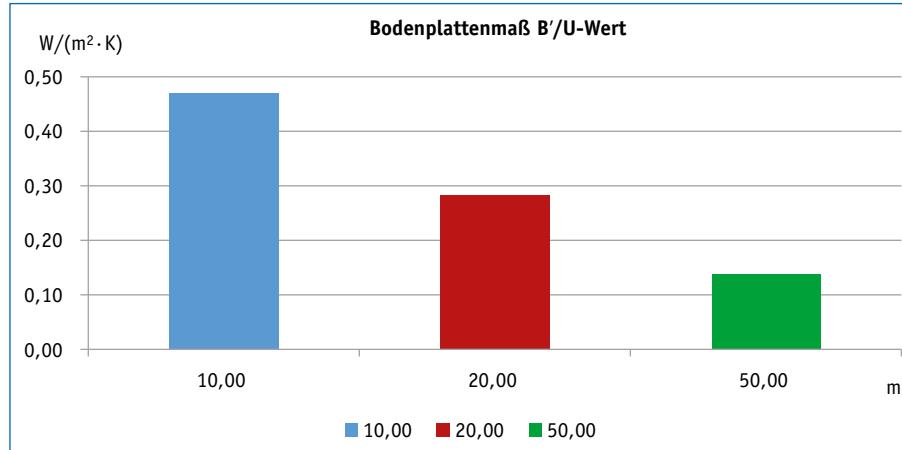


Abbildung 28: U-Werte nach DIN EN ISO 13370 bei Variation der Grundfläche

3. Die Bodenart und somit die Wärmeleitfähigkeit wird variiert und das Ergebnis zu den berechneten U-Werten in Abbildung 29 dargestellt:

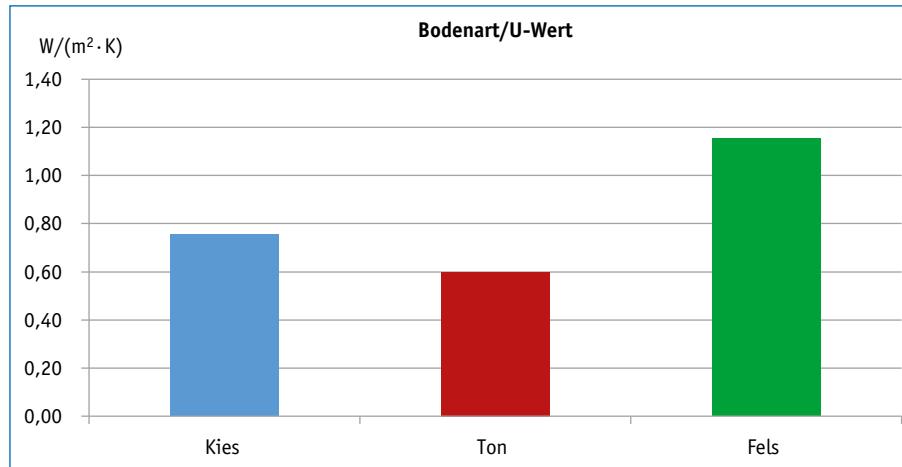


Abbildung 29: U-Werte nach DIN EN ISO 13370 bei Variation der Bodenart

4. Wird die Außenwanddicke variiert, zeigen sich die Ergebnisse zu den berechneten U-Werten gemäß Abbildung 30:

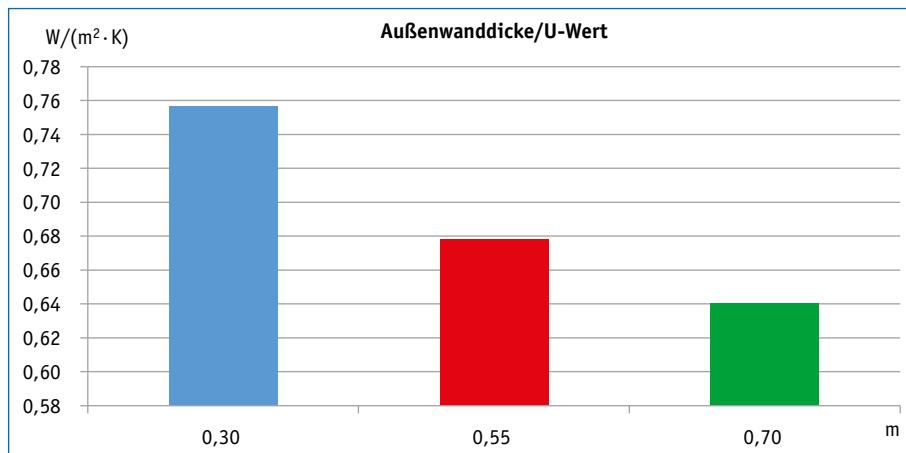


Abbildung 30: U-Werte nach DIN EN ISO 13370 bei Variation der Wanddicke

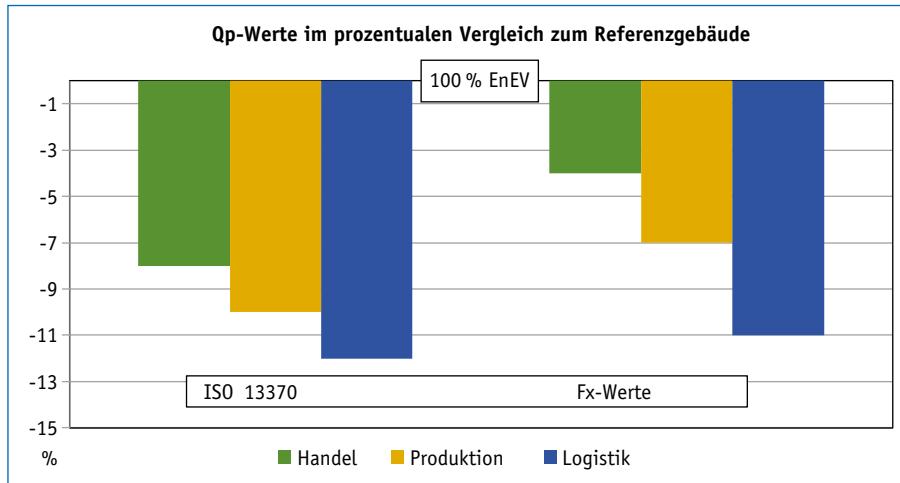
Die Abbildungen 27 bis 30 geben Hinweise, welche Parameter den U-Wert der Bodenplatte verringern und damit den Wärmeverlust durch die Bodenplatte. Bei gut gedämmten Bodenplatten verhalten sich die Ergebnisse zu den U-Werten analog zu den aufgeführten Beispielen zu einer ungedämmten Bodenplatte.

Vorteil für das Erreichen eines Energieeffizienzgebäudes sind folgende Parameter in Bezug auf die DIN EN ISO 13370:

- größere Außenwanddicken
- Bodenart Ton/Schluff
- quadratische Grundrisse (längliche Grundrisse verursachen größeren Randbereich)

Zusätzlich durchgeführte Vergleichsberechnung zur Gesamtbilanzierung von ausgewählten Bestandsobjekten und Neubauten zeigen parallel den Vorteil des Ansatzes nach DIN EN ISO 13370 im Vergleich zum vereinfachten Verfahren mit  $F_x$ -Werten auf. Unter Anwendung der DIN EN ISO 13370 sinkt rechnerisch der Jahres-Primärenergiebedarf ( $Q_p$ ) im prozentualen Vergleich zum Referenzgebäude. In Abbildung 31 sind für gewählte Beispiele zu Neubauten, die die EnEV erfüllen, die Abweichungen und somit die Einflüsse auf die Bilanzierung aufgeführt. Bei den Neubauten lagen die Differenzen bei bis zu 4 %, bezogen auf 100 %-EnEV-Anforderungen. Am Beispiel des gewählten Handelsgebäudes wird der Unterschied bzw. das Verhältnis bei der Unterschreitung der EnEV-Anforderungen verdeutlicht:

- Qp im Vergleich zum Referenzgebäude mit DIN EN ISO 13370: -8 bis -12 %
- Qp im Vergleich zum Referenzgebäude mit vereinfachten Verfahren: -4 bis -11 %



**Abbildung 31:** Qp-Werte im prozentualen Vergleich zum Referenzgebäude bei Ansatz der DIN EN ISO 13370 bzw. des vereinfachten Verfahrens ( $F_x$ -Werte)

Nachdem die Wärmeübertragung über das Erdreich näher beleuchtet wurde, schließt sich nun das Berechnungsverfahren zum wärmetechnischen Verhalten des gesamten Gebäudes an [vgl. 5.9]. Zunächst wird der Vollständigkeit halber auf die DIN EN ISO 13788 eingegangen.

Hinsichtlich des Transmissionswärmedurchgangskoeffizienten über das Erdreich wird auf die erläuterte Norm DIN EN ISO 13370 verwiesen.

## 5.8 Anmerkungen zur DIN EN ISO 13788: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen

Die DIN EN ISO 13788:2013-05 ist zusätzlich zur DIN 4108 Teil 3 und Teil 4 mit Blick auf den Feuchteschutz zu betrachten. Die Berechnungen dienen der Beurteilung der Tauwasserbildung, der Verdunstung und den Trocknungsvorgängen. Die Bauteil-Oberflächentemperatur ist dabei generell das wichtigste Kriterium bei der Vermeidung von Feuchteschäden in oder an Bauteilen.

Der Feuchteschutz stellt, zwecks Erhaltung des Bauwerks, den Dreh- und Angelpunkt bei der Gebäudequalität und der Vermeidung von Schadensbildern dar. Meine

Ausführungen behandeln schwerpunktmäßig den Wärmeschutz und die resultierende Energieeffizienz bzw. Bilanzierung von Gebäuden. Daher wird auf die DIN EN ISO 13788 nicht weiter eingegangen. Ich möchte dennoch empfehlen, dass im praktischen Projektalltag der Feuchteschutz betrachtet wird, unabhängig davon, ob die dazu notwendigen Leistungen werkvertraglich geschuldet sind. Insbesondere bei den Neubauten und Modernisierungen in Kombination mit den heutigen Ansprüchen an Komfort, Mangelfreiheit usw. treten auf Grund der Feuchteproblematik Schadensbilder auf. Zukünftige Instandsetzungskosten während des Lebenszyklus werden ansonsten sehr hoch sein. Bei der Planung und Umsetzung eines Nichtwohngebäude-Energieeffizienzhauses ist (je nach Gebäudetyp) äußersten Wert auf den Feuchteschutz zu legen. Insgesamt soll nicht nur ein energetisch nachhaltiges, sondern auch ein wirtschaftlich nachhaltiges Gebäude entstehen.

## **5.9 Grundlagen nach DIN EN ISO 13789: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Spezifischer Transmissions- und Lüftungswärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren**

An dieser Stelle kann ich zunächst wieder nur auf eine andere Norm verweisen, nicht um der Logik der Normenverantwortlichen zu folgen, sondern um die Norm zumindest vorzustellen.

Gemeint ist die DIN EN ISO 7345<sup>164</sup>. Hierin werden die physikalischen Größen und Definitionen zum Wärmeschutz aufgeführt. Daher müsste, bildhaft gesprochen, diese Norm in der Liste der Normen als einführendes Element ganz oben stehen. Ansonsten müssen wir uns an dieser Stelle nicht weiter damit beschäftigen.

Der Vollständigkeit halber ist ebenso die DIN EN ISO 13791<sup>165</sup> zu nennen, die jedoch für den praktischen Anwender nicht von Bedeutung ist. Die Norm ist für Spezialisten vorgesehen, die Berechnungsverfahren für die stundenbezogenen Innentemperaturen in Einzelräumen entwickeln und validieren. Die Verfahren sollen beispielsweise eine Beurteilungsgrundlage für das Risiko der inneren Überwärmung darstellen.<sup>166</sup>

---

<sup>164</sup> DIN EN ISO 7345:1995 (Januar 1996), Wärmeschutz – Physikalische Größen und Definitionen (ISO 7345:1987) Deutsche Fassung EN ISO 7345:1995

<sup>165</sup> DIN EN ISO 13791:2012-08, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik – Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren (ISO 13791:2012); Deutsche Fassung EN ISO 13791:2012

<sup>166</sup> vgl. DIN EN ISO 13791:2012-08, S. 7

Ebenso sei auf die DIN EN 13947<sup>167</sup> verwiesen. Die Norm beschäftigt sich mit dem wärmetechnischen Verhalten von Vorhangfassaden und der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten. Wärmetechnisch werden bei Pfosten-Riegelkonstruktionen die Verglasung, Paneel-Füllungen, Rahmen, Pfosten, Riegel, Verbindungsgebiete und der resultierende Wärmedurchgangskoeffizient für die gesamte Konstruktion der Vorhangfassade inklusive der Wärmebrücken ( $U_{CW}$ ) betrachtet.

In diesem Zusammenhang ist letztlich die DIN EN ISO 10077 Teil 1 und Teil 2<sup>168</sup> zu nennen. Hierin wird die Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenster und Türen behandelt. Dabei werden unterschiedliche Fenstertypen, Verglasungsarten und Rahmenmaterialien sowie Wärmebrücken berücksichtigt. Weiterhin wird auf Rolladenkästen eingegangen.

Die zuvor genannten Normen sollten bekannt sein, damit diese bei der Gebäudeplanung und der baulichen Umsetzung Anwendung finden. Beispielsweise wird es notwendig, die U-Werte der Fenster oder der Vorhangfassade selbst zu bestimmen oder die Berechnungen und Angaben von Herstellern, Anbietern und einbauenden Firmen zu prüfen und gegebenenfalls zu hinterfragen.

Die hier betrachtete DIN EN 13789:2008-04 stellt eine Grundlage für die Berechnungen nach DIN V 18599 Teil 2 dar.<sup>169</sup> Es werden die Berechnungsverfahren zu den spezifischen Transmissions- ( $H_T$ ) und Lüftungswärmedurchgangskoeffizienten ( $H_V$ ) aufgezeigt. Der spezifische Transmissionswärmedurchgangskoeffizient in W/K setzt sich dabei aus verschiedenen Faktoren zusammen:<sup>170</sup>

$$H_T = H_D + H_g + H_U + H_A$$

$H_D$ : Transmission zwischen Innenräumen und Außenumgebung

$H_g$ : Transmission über das Erdreich nach DIN EN ISO 13370

$H_U$ : Transmission durch unkonditionierte Räume

$H_A$ : Transmission zu angrenzenden Gebäuden

Der Transmissionswärmeverlust kann nur durch verbesserte U-Werte der Bauteile und durch Optimierung der Wärmebrückenverluste eingeschränkt werden.

<sup>167</sup> DIN EN 13947:2007-07, Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangfassaden – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten; Deutsche Fassung EN 13947:2006 (ersetzt durch DIN EN ISO 12631:2013-01)

<sup>168</sup> DIN EN ISO 10077-2010-05, Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten Teil 1: Allgemeines (ISO 10077-1:2006 + Cor. 1:2009); Deutsche Fassung EN ISO 10077-1:2006 + AC:2009 Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen (ISO 10077-2:2012); Deutsche Fassung EN ISO 10077-2:2012

<sup>169</sup> vgl. DIN V 18599-2:2011-12, S. 28ff.

<sup>170</sup> vgl. DIN EN ISO 13789:2008-04, S. 7

Der spezifische Lüftungswärmedurchgangskoeffizient ( $H_v$ ) in W/K ergibt sich in Abhängigkeit des Luftvolumenstroms ( $\dot{V}$ ) in m<sup>3</sup>/h, der Wärmekapazität der Luft und der Luftdichte und somit wie folgt.<sup>171</sup>

$$H_v = \dot{V} \cdot 0,33 \text{ Wh} / (\text{m}^3 \cdot \text{K})$$

Der Luftvolumenstrom ist bei einer natürlichen Lüftung nach der Mindestluftwechselrate ( $\dot{V}_{\min}$ ) bzw. der Bemessungsluftwechselrate ( $\dot{V}_d$ ) festzulegen. Relevant ist dabei der größere Wert. Für Wohngebäude werden in der Norm Luftwechselraten angegeben. Auf andere Gebäudetypen wird nicht eingegangen bzw. es wird ein typischer Wert von 30 m<sup>3</sup>/h je Person (während der Nutzungszeit) bei Gebäuden, die keine Wohngebäude sind, aufgeführt.<sup>172</sup>

### **Exkurs Heizlastberechnung nach DIN EN 12831:2003-08<sup>173</sup>:**

Auch in dieser Norm spielt der  $H_v$ -Wert<sup>174</sup>, hier Norm-Lüftungswärmeverlust-Koeffizient genannt, eine gewichtige Rolle. Je nach Nichtwohngebäudetyp erfolgt bei nicht richtiger Bewertung der Lüftungsverluste in Gebäuden bzw. Zonen ohne lufttechnische Systeme, die Ermittlung einer zu großen Heizlast. Dies führt wiederum zu überdimensionierten Heizanlagen, was keiner nachhaltigen Bauweise entspricht.

Auch hier ist die Luftwechselrate als Mindestluftwechsel von Bedeutung. Je nach Gebäudetyp oder Zone, zum Beispiel bei großen Hallen, ist der Standardansatz von 0,5 h<sup>-1</sup> keinesfalls der relevante Wert. Auf Grund der Angaben in Beiblatt 1<sup>175</sup> der Norm wird oft die Luftwechselrate zu hoch angesetzt.

Ingenieurmäßig ist ein sinnvoller Ansatz zu wählen, sonst haben beispielweise bei einer geschlossenen Logistikhalle ohne Lüftungsanlage und einer ermittelten Heizlast die Lüftungsverluste einen Anteil von etwa 65 %. Die Transmissionsverluste können dann fast vernachlässigt werden, was doch eher fragwürdig erscheinen sollte.

Das Beispiel ist aus meiner Praxis gewählt. Werden verschiedene Fachingenieure zu dem Thema befragt, ergibt sich eine angeregte Diskussion. Überwiegend wird der übliche Ansatz der Luftwechselrate bei solchen Nichtwohngebäudetypen als zu hoch bewertet.

In Anhang B der DIN EN 12831 wird explizit auf hohe Räume und große Bauten eingegangen. Es wird erläutert, dass die allgemeinen Annahmen bei Räumen ab 5 m

171 vgl. DIN EN ISO 13789:2008-04, S. 11

172 vgl. DIN EN ISO 13789:2008-04, S. 18-20

173 DIN EN 12831:2003-08: Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast, Deutsche Fassung EN 12831:2003 und Beiblatt 1, 2

174 vgl. DIN EN 12831:2003-08, S. 23f.

175 vgl. DIN EN 12831:2003-08, Bbl. 1, S. 26

Höhe nicht mehr gelten. Es wird normativ ein Korrekturfaktor eingeführt, der den Norm-Wärmeverlust, wegen den Wärmeverlusten durch das Dach, weiter erhöht.

Fachingenieure haben mir berichtet, dass die Temperaturunterschiede und Wärmeverluste in hohen Räumen durch das Dach nicht unbedingt so eintreten, wie die Norm es gerne hätte. Bei modernen Bauten, mit sehr gut gedämmten Dachaufbauten ist daher, wie bereits erwähnt, ein ingenieurmäßiges Denken notwendig, um den konkreten Fall beurteilen zu können. Möglicherweise helfen Simulationsprogramme weiter, die lediglich als Instrument oder Methode anzuwenden sind. Auch hier sollten die Ergebnisse kritisch bewertet werden.

Ergo: Bei der natürlichen Lüftung ist eine Optimierung durch einen sinnvollen Ansatz der Mindestluftwechselrate und der Bemessungsluftwechselrate zu erreichen.

Bei einer maschinellen Lüftung wird der durchschnittliche Luftvolumenstrom, den der Ventilator erzeugt ( $\dot{V}_f$ ) und ein zusätzlicher Luftvolumenstrom, da Windeffekte den Betrieb des Ventilators ( $\dot{V}_x$ ) beeinflussen, berücksichtigt. Dabei werden ergänzend die Abschirmungsfaktoren (e und f) in Abhängigkeit der windbeeinflussten Gebäudelage und Fassaden betrachtet. Soll eine maschinelle Lüftung nur zeitweise erfolgen, wird der Luftvolumenstrom ( $\dot{V}$ ) mit Hilfe des natürlichen Lüftungsanteils und des maschinellen Lüftungsanteils in Abhängigkeit des Zeitanteils ( $\beta$ ) bei eingeschaltetem Ventilator berechnet. Erfolgt ein Wärmeaustausch zwischen Abluft und Zuluft wird der Luftvolumenstrom ( $\dot{V}_f$ ) mit Hilfe des globalen Nutzungsgrades ( $n_v$ ) der Wärmerückgewinnungsanlage unter Berücksichtigung der Verluste reduziert  $\dot{V}_f(1-n_v)$ .<sup>176</sup>

Ist die maschinelle Lüftung nur zeitweise in Betrieb, ergibt sich ein entsprechend reduzierter spezifischer Lüftungswärmedurchgangskoeffizient und somit ein geringerer Lüftungswärmeverlust. Ebenso sinken die Wärmeverluste, wenn die Lage des Gebäudes weniger windexponiert ist.

## 5.10 Grundlagen nach DIN EN ISO 13790: Energieeffizienz von Gebäuden – Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung

Die DIN EN ISO 13790:2008-09 wird innerhalb der DIN V 18599 in Teil 2, 3, 5 und 9 genannt bzw. unter den Literaturhinweisen aufgeführt. Sie ersetzt die DIN EN 832:2003-06 (Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden). Sie enthält Berechnungsverfahren für die Ermittlung des Jahresenergiebedarfs für die Raumhei-

176 vgl. DIN EN ISO 13789:2008-04, S. 20-22

zung und -kühlung eines Wohn- oder Nichtwohngebäudes. Dieses Verfahren umfasst die Berechnung:<sup>177</sup>

- a) der Wärmeübertragung der Gebäudezone durch Transmission und Lüftung, wenn die Gebäudezone so geheizt bzw. gekühlt wird, dass eine konstante Innentemperatur beibehalten wird;
- b) des Beitrages der inneren und solaren Wärmeeinträge zur Wärmebilanz des Gebäudes;
- c) des jährlichen Energiebedarfs für Heizung und Kühlung zur Aufrechterhaltung der festgelegten Solltemperaturen im Gebäude, ohne Berücksichtigung von latenter Wärme;
- d) des jährlichen Energiebedarfs für Heizung und Kühlung des Gebäudes, unter Anwendung der Eingangsdaten der entsprechenden Systemnormen, auf die in dieser internationalen Norm verwiesen wird und in Anhang A festgelegt sind.

Es wäre zu schön, wenn ich Ihnen nun die wesentlichen Parameter im Sinne eines Energieeffizienzhauses aufzeigen könnte. Diesen Anspruch habe ich bei der Planung zu diesem Buch an mich selbst gerichtet. Nun steigen wir immer tiefer in den Berechnungsdschungel ein, und ich muss den Anspruch lockern. Erstens, weil die Berechnungen zu vielfältig sind und das Abschreiben von Normen keinesfalls mein Ziel ist und zweitens, weil es für den Leser interessanter sein sollte, die wichtigsten mitgeltenden Normen überhaupt einmal kennenzulernen. Nur so kann sich der Leser einen Überblick zu den Vorschriften verschaffen.

Mit diesem Überblick fällt ein etwaiges vertieftes Studium der Sachverhalte leichter. Der Überblick soll helfen ein Energieeffizienzhaus sicher planen und berechnen zu können und dabei die Hintergründe, Normenverweise und Zusammenhänge besser einzuordnen. Insbesondere wenn sich im Planungs- und Bauprozess Änderungen ergeben, was bekanntlich immer der Fall ist.

Zum Hintergrund noch eins: Diese Norm ist eine internationale Norm zur Erstellung einer Energiebilanz, die sich ausschließlich mit der Raumwärme und -kühlung beschäftigt und auf nationaler Ebene Festlegungen zulässt. Bei der Bilanzierung der Wärmeenergie auf der Gebäudeebene werden der Transmissionswärmetransfer und der Lüftungswärmetransfer zwischen der Außenumgebung und etwaiger Zonen betrachtet. Weiterhin werden die inneren und solaren Wärmeeinträge, die Wärmesenken, die Wärmespeicherung, der Heizwärmebedarf und der Kühlbedarf berücksichtigt. Auf der Ebene der technischen Anlagen wird ebenso eine Energiebilanz berücksichtigt.

---

<sup>177</sup> DIN EN ISO 13790:2008-09, S. 9

Anlagen zur Beleuchtung, erneuerbare Energien, Klimatisierung und Warmwasserbereitung werden in zusätzlichen Normen behandelt.

Da wir in Deutschland die DIN V 18599 zur Gesamtbilanzierung bei Nichtwohngebäuden nutzen, wird auf die DIN EN ISO 13790 nicht weiter eingegangen.

## 5.11 Grundlagen nach DIN EN ISO 10211: Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen

Auch an dieser Stelle möchte ich Ihnen eine weitere Norm, hier zum Thema Wärmebrücken, vorstellen. Die DIN EN ISO 14683:2008-04<sup>178</sup>. Die Norm behandelt vereinfachte Verfahren zur Bestimmung der Wärmeströme durch linienförmige Wärmebrücken, die vom längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ( $\psi$ ) und der Länge der Wärmebrücken ( $l$ ) abhängen.

In der Norm wird darauf hingewiesen, dass im Allgemeinen punktförmige Wärmebrücken ( $\chi$ ) vernachlässigt werden können. Signifikante punktförmige Wärmebrücken sollen jedoch mit Hilfe der DIN EN ISO 10211 berechnet werden. Bei der Berechnung des spezifischen Transmissionsdurchgangskoeffizienten sind die Wärmebrücken gemäß nachstehender Formel enthalten, sodass sich eine Auseinandersetzung mit dem Thema Wärmebrücken, insbesondere aus Sicht eines rechnerischen Nachweises für ein Energieeffizienzgebäude, lohnt:<sup>179</sup>

$$H_D = \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_k l_k \cdot \psi_k + \sum_j \chi_j$$

Bei den Betrachtungen zu Wärmebrücken ist zu beachten, dass ein Innen- oder Außenmaßbezug anwendbar ist. Hier wird der Außenmaßbezug favorisiert, da die Gebäudehülle ebenso mit ihren Außenmaßen erfasst wird.

In Anhang B.3 der DIN EN ISO 14683 wird beispielhaft die tabellarische Aufstellung der Wärmeverluste durch die Wärmebrücken mit Außenmaßbezug und die Summierung zum Gesamtverlust aufgezeigt. Dabei wird im Beispiel deutlich, dass der  $\psi$ -Wert je nach Wärmebrückendetail auch einen negativen Wert annehmen kann.

Dies lässt sich auf Grund eines Außenmaßbezugs dadurch erklären, dass beispielsweise der Wärmeverlust einer Gebäudeecke bei der Berechnung der Wärmeströme über die ungestörten Außenflächen ( $\sum U \cdot A$ ) größer ist, als der sich ergebene Wärmestrom

<sup>178</sup> DIN EN ISO 14683:2008-04, Wärmebrücken im Hochbau – Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient – Vereinfachte Verfahren und Anhaltswerte (ISO 14683:2007); Deutsche Fassung EN ISO 14683:2007

<sup>179</sup> vgl. DIN EN ISO 14683:2008-04, S. 7

nach den Berechnungen gemäß DIN EN ISO 10211 für das betrachtete Detail. Die Korrektur erfolgt dann über einen negativen  $\psi$ -Wert.

Letztlich interessiert uns beim Thema Wärmebrücken der jeweilige  $\psi$ -Wert und die Oberflächentemperatur an der kritischen Stelle mit Blick auf eine mögliche Tauwasserbildung. Um den konkreten  $\psi$ -Wert für ein geplantes Detail zu erhalten bzw. den detaillierten Nachweis zu Wärmebrücken bei der Gebäudeplanung führen zu können, müssen wir uns mit der Berechnung des  $\psi$ -Wertes auseinandersetzen.

Die DIN EN ISO 10211 legt zunächst die Spezifikationen für die geometrischen zwei- oder drei-dimensionalen Modelle zu Wärmebrücken für die numerische Berechnung fest. Dabei wird der Gesamtwärmeverlust eines Gebäudeteils (Wärmebrückendetail) berechnet. Die Norm geht davon aus, dass sich im Bauteil keine Wärmequellen befinden.<sup>180</sup>

In Kapitel 7 der Norm wird auf Berechnungsverfahren zur Lösung der Fragestellungen nach der Temperaturverteilung und den Wärmeströmen eingegangen. Es wird ausgeführt, dass die Unterteilung des Modells in Zellen mit Knotenpunkten erfolgt und dabei das Gesetz der Energieerhaltung<sup>181</sup> sowie das Fouriersche Gesetz<sup>182</sup> Anwendung findet. Weiter wird beschrieben, wenn Randbedingungen berücksichtigt werden, erhält man das daraus resultierende Gleichungssystem als Funktion der Temperaturen in den Knotenpunkten. Zur Lösung dieses Problems kommen direkte Lösungsverfahren oder Iterationsverfahren zum Einsatz. Von daher versuche ich an dieser Stelle einen Exkurs zur Finite-Element-Methode in kurzer und knapper Ausführung darzustellen.

### Exkurs: Die Finite-Element-Methode in aller Kürze

Neben der Finiten-Element-Methode (FEM) existieren noch weitere Verfahren. Jedoch ist die FEM inzwischen weit verbreitet und wird auch zur Wärmebrückberechnung eingesetzt.

Abbildung 32 zeigt zunächst ein Beispiel zur Vorgehensweise bei der Berechnung zu Wärmeleitungsvorgängen. Nach Definition der Konstruktion und Randbedingungen wird die Vernetzung gebildet und der Temperaturverlauf mit der FEM berechnet.

180 vgl. DIN EN ISO 10211:2008-04, S. 6

181 vgl. Schoch Torsten, 2013, S. 23, div  $\dot{q} = \frac{\delta_q}{\delta_t} = 0$ , die Summe aus den Abweichungen bzw. der Divergenz des Wärmestroms und die Ableitung der Wärmeenergiendichte ( $q$ ) nach der Zeit ist null.

182 vgl. Schoch Torsten, 2013, S. 22 f.,  $\dot{q} = -\lambda \text{ grad } \theta$ , der Wärmetransport wird durch die Wärmestromdichte ( $\dot{q}$ ) beschrieben und ist abhängig von der entgegengesetzten Temperaturgradienten, wobei die Temperaturdifferenz in mehrere Richtungen vorliegen kann (negatives Vorzeichen gemäß zweiter Hauptsatz der Thermodynamik)

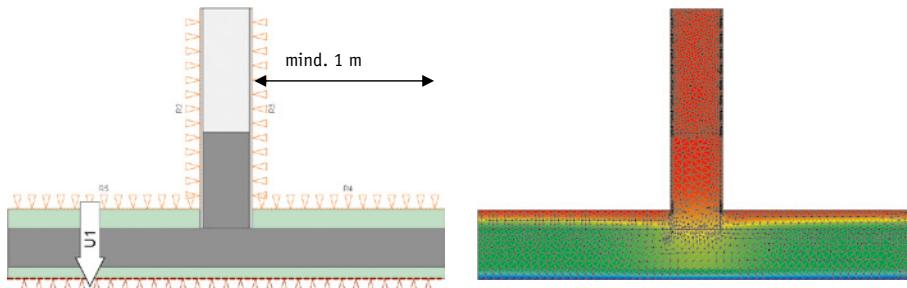


Abbildung 32: Beispiel Wärmebrücke: Berechnungsnetz und Temperaturverlauf

Ein physikalisch-mathematischer umfänglicher Exkurs ist hier nicht beabsichtigt und könnte ich selbst auch nicht leisten. Ziel des Exkurses ist es, eher die groben Zusammenhänge, die sich hinter dem Begriff FEM verbergen, zu beleuchten. Erwähnenswert ist mir der Exkurs deswegen, weil wir als Anwender kritisch mit Berechnungsergebnissen und den Softwareprogrammen umgehen sollten. Wir sollten uns mit den Randbedingungen, der Vernetzung und den Ausgabewerten auseinandersetzen, da wir die Berechnung selbst nicht nachvollziehen können. Als Anwender bleibt uns am Ende der Berechnung, dass wir den ermittelten  $\Psi$ -Wert und die weiteren Ergebnisse nicht ohne kritische Betrachtung akzeptieren sollten.

Unser Schwerpunkt liegt nicht auf den mathematischen Grundlagen und numerischen Verfahren sowie auf programmiertechnischer Umsetzung, sondern auf der:

- konstruktiven Planung des Details und Modellierung,
- Wahl und Definition der Materialeigenschaften,
- Festlegung der Randbedingungen und Schnittebenen,
- Überprüfung der Netzgenerierung für die Knoten,
- Prüfung der Ergebnisse auf Plausibilität mit Hilfe der resultierenden Wärmestrom- und Isothermenbilder und
- Gegenüberstellung bzw. dem Vergleich mit dem ungestörten Bereich.

Wenn ein Leser tieferes Interesse zeigt, kann er sich beispielsweise mit folgender Literatur zum Thema FEM und Wärmeleitung beschäftigen:

- Schoch Torsten, Wärmebrückeberechnung, Beuth Verlag 2013 (hier sind zusätzlich zum Überblick ein Beispiel und die Randbedingungen aufgeführt)
- Larsson S., Thomée V., Partielle Differentialgleichungen und numerische Methoden, Springer Verlag, 2005
- Müller Günter, Groth Clemens, FEM für Praktiker, Grundlagen: Basiswissen und Arbeitsbeispiele zur Finite-Element-Methode mit dem Programm ANSYS, Expert Verlag, 2007

- Müller Günter, Groth Clemens, FEM für Praktiker, Band 3 Temperaturfelder, Basiswissen und Arbeitsbeispiele, Expert Verlag, 2009

Die FEM beschreibt einen Lösungsansatz zur numerischen Lösung von Differenzialgleichungen. Grundlage ist die Differenzialgleichung von Fourier zur Beschreibung der instationären Wärmeleitung in festen Körpern.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

Mit:

T = Temperatur (K)

t = Zeit (s)

$\lambda$  = Wärmeleitfähigkeit (W/(m · K))

$\rho$  = Rohdichte (kg/m<sup>3</sup>)

c = spezifische Wärme (J/Kg · K)

x,y,z = Raumkoordinaten (m)

Der Näherungsansatz wird bei Wärmebrückeneberechnungen durch Einteilen des betrachteten Details in endliche (finite) Teilgebiete angewendet. Dabei werden vor allem Dreiecke zur Vernetzung mit möglichst kleinteiligen Elementen eingesetzt, um mit einfachen Funktionen den Temperaturverlauf ausreichend abbilden zu können.

Dazu werden Stützstellen betrachtet, die die Knoten der Vernetzung abbilden. Für die Knoten wird näherungsweise die Berechnung des Temperaturverlaufs durchgeführt. Bei der FEM wird versucht, das Problem über sogenannte Ansatzfunktionen zu beschreiben und zu lösen. Diese sind einfache Funktionen als Polynome ersten und zweiten Grades und beinhalten somit möglichst wenig Parameter. Analytisch wird das sogenannte »Minimumprinzip« angewendet, wobei hier an allen Knoten des Gesamtsystems die Summe aller Wärmeströme null sein muss. Bei den Randknoten werden die Wärmeströme über die Randbedingungen vorgegeben. Das FEM-Programm löst die Aufgabenstellung in der Regel iterativ, und als Ergebnisse werden für alle Knoten Temperaturen ermittelt und im jeweiligen Element der Wärmestrom.<sup>183</sup>

Nun zurück zum Ablauf bei der Berechnung von 2-dimensionalen, linienförmigen Wärmebrücken nach DIN EN ISO 10211.

Zunächst werden Schnittebenen festgelegt. Sie dienen dem Abtrennen des Details von der restlichen Konstruktion. Bildhafte Darstellungen zur Verdeutlichung sind in der Norm aufgeführt. Die Schnittebenen sind mit einem Abstand von mindestens

183 vgl. Schoch Torsten, 2013, S. 22–39

einem Meter oder das Dreifache der Dicke des flankierenden Bauteils festzulegen. Der größere Wert ist entscheidend.<sup>184</sup>

Die Vermaßung in Abbildung 32 verdeutlicht die Vorgehensweise. Ziel dabei ist es, den Einfluss der Wärmebrücke bis zur gewählten Schnittebene ausschließen zu können und somit einen ungestörten Zustand zu erreichen. Ist dies nach der ersten Berechnung nicht der Fall, was an der Vernetzung des Modells und an dem Verlauf der Isothermen bis zur jeweiligen Schnittebene erkennbar ist, ist die Schnittebene weiter entfernt vom flankierenden Bauteil zu legen.

Die Schnittebenen im Erdreich sind abweichend festzulegen. Der vertikale Mindestabstand der horizontal verlaufenden Schnittebene unter Erdbodenniveau beträgt im Allgemeinen drei Meter, wobei als Temperatur-Randbedingung nach Tabelle 3 der DIN EN ISO 10211:2008-04 ein adiabatischer Zustand (kein Wärmeaustausch) anzusetzen ist. Der Grund dafür liegt darin, dass keine Beeinflussung durch das tieferliegende Erdreich mehr erfolgt.

In Abhängigkeit des Zwecks der Berechnung und der Richtung der Schnittebene sind in Tabelle 1 der DIN EN 10211:2008-04 die Randbedingungen zu den Schnittebenen im Erdreich aufgeführt.

Die Norm beinhaltet noch weitere Themen und Schwerpunkte, die hier nicht wiedergegeben werden. Angestrebt wird hier die Darstellung der wesentlichen Grundlagen und Vorgehensweise bei Wärmebrückeberechnungen zu zweidimensionalen Problemstellungen.

Die Wärmebrückeberechnung<sup>185</sup> basiert auf der Ermittlung des thermischen Leitwertes ( $L_{2D}$  in  $W/(m \cdot K)$ ) zur betrachteten Detailkonstruktion. Er ist im Grunde genommen der längenbezogene Kehrwert des Widerstandes ( $R$ ). Der längenbezogene Wärmestrom ( $\Phi$  in  $W/m$ ) bei zweidimensionalen Berechnungen mit zwei Temperatur-Randbedingungen errechnet sich wiederum aus dem längenbezogenen Leitwert multipliziert mit der Temperaturdifferenz zwischen Innenraum ( $\theta_i$ ) und Außenbereich ( $\theta_e$ ) wie folgt:

$$\Phi_i = L_{2D} \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Anders ausgedrückt lässt sich somit der thermische Leitwert aus dem Wärmestrom, der sich aus der FEM-Berechnung ergibt, ermitteln:

$$L_{2D} = \frac{\Phi_i}{(\theta_i - \theta_e)}$$

<sup>184</sup> vgl. DIN EN ISO 10211:2008-04, S. 13f.

<sup>185</sup> vgl. DIN EN ISO 10211:2008-04, S. 30f.

Der gesuchte längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient ( $\psi$  in  $W/(m \cdot K)$ ) drückt die Differenz zwischen dem numerisch berechneten zweidimensionalen Leitwert  $L_{2D}$  (Wärmeverlust) des Konstruktionsdetails und des eindimensionalen, ungestörten (ohne Einfluss der Wärmebrücke) Wärmeverlustes ( $\sum_j^n U_j \cdot A_j$ ) aus. Er ergibt sich dann

unter Ansatz der U-Werte ( $U_j$ ) und Flächen ( $A_j$ ) des ungestörten, außenmaßbezogenen Konstruktionsdetails wie folgt, wobei der Wärmebrückenverlust immer auf eine Temperaturdifferenz von 1 Kelvin bezogen wird:

$$\psi = L_{2D} - \sum_j^n U_j \cdot A_j$$

Neben dem  $\psi$ -Wert stellen der Leitwert und die Oberflächentemperatur eine Beurteilungsrundlage zum Wärmebrückendetail dar. Die Temperatur an der Innenoberfläche der Konstruktion aus zweidimensionalen Berechnungen ergibt sich beispielsweise unter Ansatz einer Zwei-Temperatur-Randbedingung wie folgt:<sup>186</sup>

$$f_{Rsi}(x, y) = \frac{\theta_{si}(x, y) - \theta_e}{(\theta_i - \theta_e)}$$

Mit:

- $f_{Rsi}(x, y)$  Temperaturfaktor am Ort  $(x, y)$  der Innenoberfläche,  
 $\theta_{si}$  Temperatur am Ort  $(x, y)$  der Innenoberfläche,  
 $\theta_i$  Innenlufttemperatur,  
 $\theta_e$  Außenlufttemperatur.

Die vereinfachte eindimensionale Betrachtung, die für den Anwender zwecks eigener Berechnungen ohne Softwareunterstützung möglich ist, ist bereits in Kapitel 5.4.1 einschließlich der Randbedingungen aufgeführt.

Zur Einhaltung der Feuchteschutzbedingungen ist der Faktor  $f_{Rsi}$  mindestens mit 0,7 einzuhalten, was bei einer Innentemperatur von 20 °C und einer Außentemperatur von -5 °C eine Innenoberflächentemperatur von 12,6 °C sicherstellt. Rechnerisch ergibt sich folgender Nachweis, wobei die Formel auch nach der Temperatur auf der Innenoberfläche umgestellt werden kann:

$$0,704 = \frac{12,6 - (-5)}{(20 - (-5))}$$

$$12,6 \text{ °C} = 0,704 \cdot (20 - (-5)) + (-5)$$

186 vgl. DIN EN ISO 10211:2008-04, S. 36

Das dreidimensionale Problem unter Ansatz von zwei Temperatur-Randbedingungen wird wie folgt nach DIN EN ISO 10211 beschrieben:

$$f_{Rsi}(x, y, z) = \frac{\theta_{si}(x, y, z) - \theta_e}{(\theta_i - \theta_e)}$$

Bei drei Temperatur-Randbedingungen werden Temperaturgewichtungsfaktoren ( $\psi$ ) eingeführt. Die DIN EN ISO 10211 beschreibt in Anhang C.3 das Verfahren zur Berechnung der Gewichtungsfaktoren.<sup>187</sup>

In DIN EN ISO 10211:2008-04 wird u.a. weiterhin die  $\psi$ -Wert-Berechnung für Anschlusspunkte an erdberührte Bauteile vorgestellt. Verdeutlicht wird der Sachverhalt für Bauteile, die an Erdreich angrenzen, beispielsweise in »Schoch Torsten«.<sup>188</sup>

Zusätzlich wird auf die Berechnung des thermischen Leitwertes und den Temperaturverlauf von dreidimensionalen Modellen, auch mit mehr als zwei Temperaturrandbedingungen und auf die Berechnung von punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ( $\chi$ ) eingegangen. Der punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizient<sup>189</sup> errechnet sich beispielsweise mit Hilfe einer dreidimensionalen Betrachtungsweise und des resultierenden thermischen Leitwertes ( $L_{3D}$ ) nach Abzug der ungestörten und durch längenbezogene Wärmebrücken verursachten Wärmeverluste folgendermaßen:

$$\chi = L_{3D} - \sum_i^n U_i \cdot A_i - \sum_i^m \psi_j \cdot l_j$$

Auf dem Softwaremarkt lassen sich diverse Produkte zur Wärmebrückeberechnung mit Ergebnisdarstellung zum  $\psi$ - und  $f_{Rsi}$ -Wert, zur Finite-Elemente-Vernetzung, zu den Isothermen sowie zum Temperaturverlauf finden.

Beispielsweise kann »Therm«, ein kostenloses zweidimensionales FEM-Programm des Lawrence Berkeley National Laboratory, USA, eingesetzt werden [vgl. 5.4.6]. Es wurde, wie viele Wärmebrückeprogramme, ursprünglich für Fensterberechnungen entwickelt. »Therm« kann für Berechnungen nach DIN EN ISO 10211 und DIN EN ISO 10077 (detaillierter U-Wertberechnung für Fenster) eingesetzt werden. Für das englischsprachige Programm steht ein deutsches Handbuch zur Verfügung.<sup>190</sup>

<sup>187</sup> vgl. DIN EN ISO 10211:2008-04, S. 36f.

<sup>188</sup> vgl. Schoch Torsten, 2013, S. 92–105 und S. 182–209

<sup>189</sup> vgl. DIN EN ISO 10211:2008-04, S. 31

<sup>190</sup> vgl. [http://www.waermebrueckenportal.de/index.php?option=com\\_content&view=article&id=45&Itemid=35](http://www.waermebrueckenportal.de/index.php?option=com_content&view=article&id=45&Itemid=35) [Stand 21.12.2015]

Um letztlich den Wärmebrückenzuschlag ( $\Delta U_{WB}$  in  $W/(m^2 \cdot K)$ ) aus der detaillierten Wärmebrückeberechnung zu allen relevanten Konstruktionsdetails angeben zu können, ist die Summierung der Wärmebrückenverluste und der Bezug auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche des Gebäudes ( $A$  in  $m^2$ ) notwendig. Die Gleichung kann wie folgt dargestellt werden:

$$\Delta U_{WB} = \frac{\sum \psi \cdot l}{A}$$

In einigen Fällen ist der spezifische Transmissionsdurchgangskoeffizient ( $H_{D,WB}$  in  $W/K$ ), verursacht durch die Wärmebrücken, von Interesse bzw. in Softwareprodukten einzugeben. In diesen Fällen entfällt der Bezug auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche des Gebäudes:

$$H_{D,WB} = \sum \psi \cdot l$$

Die Ermittlung des Wärmebrückenzuschlags auf Basis der detaillierten Wärmebrückebetrachtung wird am Beispiel eines Bürogebäudes und mit Hilfe einer tabellarischen Aufstellung in Kapitel 6.2 aufbereitet.

**Negativbeispiel zum Umgang mit Wärmebrücken bei einem Wohngebäude:** Ein Beispiel möchte ich Ihnen nicht vorenthalten, wie es immer noch häufig, ich spreche vom Jahr 2016 und nicht von beispielsweise dem Jahr 1988, am Beispiel eines Wohngebäudes zu sehen ist.

Dem Übergang von der tragenden Bodenplatte (kein Keller) zur Außenwand wird gemäß Abbildung 33 eine zu geringe Beachtung geschenkt. Im Jahr 2016 sollte dies zumindest im Wohnungsbau nicht mehr vorkommen, insbesondere mit Blick auf den bekannten Passivhaus-Standard. Eine Bauausführung für einen Neubau sollte zumindest in Anlehnung an diesen Standard erfolgen.

Der pauschale Ansatz von  $0,10 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$  reicht zwar oftmals aus, um den Nachweis (Bilanzierung) auf dem Papier zu befriedigen. Ein zukunftsähniges und nachhaltiges Gebäude entsteht jedoch bei einer Bauweise nach Abbildung 33 von Beginn an nicht. Ohne großen Mehraufwand wäre eine Dämmung der Bodenplatte gegen das Erdreich, insbesondere bei den geringen statischen Lasten, möglich gewesen. Mit einer annähernd wärmebrückenfreien Konstruktion, wie es sein sollte, hat die Konstruktion im Beispiel nichts zu tun, da auch die Innenwände die Wärme über die Bodenplatte ableiten werden.

Am Beispiel eines eingeschossigen Wohngebäudes wird die geringe seitliche Dämmung der Bodenplatte durch den Wärmestrom unterlaufen. Die Wärme wird über das Außenmauerwerk durch die Bodenplatte ins Erdreich und in Richtung der unmittelbar

anstehenden Außenluft abgegeben. Wenn nun im Bereich der Traufe ähnliche Wärmeverluste entstehen, da beispielsweise das Dach nur bis zur innenbündigen Fußpfette gedämmt wird, wird das geschosshohe Mauerwerk (hier ohne WDVS) die Wärme nach oben und gleichzeitig nach unten verlieren.

Das Mauerwerk wird bis auf den mittleren Bereich, welcher Fensteröffnungen mit weiteren Wärmebrücken haben wird, auf der Innenseite merklich kalt. Die Raumtemperatur wird zwangsläufig von den Nutzern höher betrieben, damit ein behagliches Raumklima entsteht. Dazu wird dann zusätzliche elektrische Energie für den Antrieb einer Luft-Wärmepumpe eingesetzt. Eine zeitgemäße Planung und Ausführung sieht sicherlich anders aus.



**Abbildung 33:** Aktuelles Negativbeispiel Wärmebrücken Bodenplatte/Wände [Foto: Achim Hamann, Aufnahmedatum 07.02.2016]

## 5.12 Einflüsse auf die Bilanz und Erläuterungen zur Bilanzierung nach DIN V 18599 Teil 1 bis 11: Energetische Bewertung von Gebäuden

Die Bilanzierung nach DIN V 18599 ist das sogenannte Herzstück zum Nachweis der Anforderungen nach EnEV, EEWärmeG und zum Effizienzhaus-Standard. Die zuvor betrachtete Auswahl zu den mitgeltenden Normen findet im Zuge der Bilanzierung ihre Anwendung. Daher wurden bereits bei der konkreteren Vorstellung der ausgewählten Normen Verweise zur DIN V 18599 aufgezeigt. Dies betraf die Anrechnung von Strom [vgl. 5.2.1], den Ansatz von tatsächlichen Nutzungsrandbedingungen [vgl. 5.2.9], den Umgang mit erdberührten Bauteilen und solche gegen unbeheizte Räume [vgl. 5.2.10], der Umgang mit Wärmebrücken [vgl. 5.4.6], die U-Wert-Berechnung [vgl. 5.6], die Wärmeübertragung über das Erdreich [vgl. 5.7] und die Berechnung des Transmissions- und Lüftungswärmekoeffizienten [vgl. 5.9].

In diesem Kapitel wird der Versuch unternommen, die rund 1.200 Seiten umfassende Vornorm entsprechend ihren Teilen und Beiblättern so zusammenzufassen, dass der Leser die wesentlichen Bilanzierungshintergründe und somit »Stellschrauben« zum Erreichen eines Effizienzhaus-Standards erkennt.

Tiefgründige Erläuterungen zum Inhalt der DIN V 18599 oder tiefergehende Hintergrundinformationen sind hier nicht beabsichtigt. Die Vornorm selbst leistet keinen Beitrag zu Erläuterungen und Hintergründen.

Auffällig ist, dass sehr gute Vorkenntnisse zur Gebäudetechnik (Elektrotechnik, Kältetechniken, Wärmepumpen, Heizsysteme, Lüftungssysteme usw.) mit all ihren Komponenten und vielfältigen Variationsmöglichkeiten vorausgesetzt werden. Darüber hinaus muss der Energieberater oder Objektplaner zu einem Zeitpunkt, zu dem unter Umständen noch kein Fachplaner zur Verfügung steht, die Gebäudetechnik je nach Objekttyp, Zielstellung, Betriebsanforderungen usw. bereits für erste Berechnungen selbst definieren. Dabei sollte er auch visionär sowie ingenieurmäßig im Sinne der Zielstellung denken. Im weiteren Projektlauf muss er gegebenenfalls Einfluss auf die Fachplaner und Gewerke nehmen, damit keine Standardlösungen entstehen und die Gebäudetechnik mit der Zielsetzung der Bilanzierung korrespondiert.

Das alles soll der Bilanzaufsteller im Idealfall ableisten, obwohl zumindest mir noch keine Personen begegnet sind, die von sich behaupten können, dass sie die Wissensbereiche Elektrotechnik, Heizung-, Lüftung- und Kältetechnik, Erneuerbare Energietechnik, Bauphysik, Baurecht, Architektur, Bauingenieurwesen, Facility-Management, Immobilienökonomie abbilden können.

### Wanted: Der »Allround-Energieberater«

Ich kann zwar behaupten, dass ich mir infolge meiner vielfältigen Ausbildungen, Weiterbildungen, Tätigkeiten in der Immobilienwelt, der Verfahrenstechnik und als Lehrbeauftragter ein umfangreiches Wissen angeeignet habe. Dennoch maße ich mir nicht an zu sagen, dass ich den Inhalt der DIN V 18599 in Bezug auf das komplexe System Gebäude vollumfänglich verstehe, inhaltlich präsent habe oder alle Vorkenntnisse dazu mitbringe. Gleichermaßen gilt für die mitgeltenden Normen.

Der Umgang mit den interdisziplinären Sachverhalten wird noch durch mangelnde Erläuterungen in der DIN V 18599 und das fehlende Aufzeigen verständlicher Beispiele zur Definition der Gebäudetechnik erschwert. Natürlich gibt es Voraussetzungen für »Energieberater« hinsichtlich Ausbildung, Erfahrung und Weiterbildung. Es wird jedoch deutlich, dass eine Weiterbildung oder jährliche Auffrischung nicht das oben skizzierte interdisziplinäre Wissen in der Tiefe abbilden kann. Gerade deswegen versuche ich Ihnen und mir selbst eine Hilfestellung zum Umgang mit der DIN V 18599 und der Gebäudetechnik an die Hand zu geben, in der Hoffnung, dass dieser Leitfaden uns allen einen großen Nutzen bringt.

Ich gehe in Anlehnung an die Teile der Vornorm schrittweise vor und präsentiere Ergebnisse aus Vergleichsberechnungen zu Varianten. In Kapitel 6 werde ich mit Hilfe von Beispielen zu unterschiedlichen Nichtwohngebäudetypen die Gebäudegrundlagen inklusive der Gebäudetechnik und die Abbildung nach DIN V 18599 die jeweilige Bilanzierung für einen Effizienzhausstandard vorstellen.

Einleitend sei noch erwähnt, dass die Vornorm auf bereits bestehenden Bilanzierungsansätzen, wie zum Beispiel nach DIN V 4108-6, DIN V 4701-10 und nach DIN EN ISO 13790 [vgl. 5.10], basiert.

Das Bilanzierungsverfahren der DIN V 18599 wurde im Grunde darauf aufbauend weitergeführt und verbessert. Beispielsweise ist damit die Bilanzierung der Nutzenergie für Heizen und Kühlen und Berücksichtigung aller Wärmequellen und Wärmesenken möglich.

#### 5.12.1 KfW-Anforderungen an ein Effizienzhaus und die Bilanzierung

Bevor ich auf die Vornorm eingehe, sollen zunächst die Anforderungen an die Planung und Umsetzung von Effizienzhäusern aufgezeigt werden. Dabei sind die KfW-Anforderungen maßgebend.

In Anlehnung an KfW-Bezeichnungen für den betrachteten Wirtschaftsbau, die gemäß Förderprogramm 276/277 im Sanierungsbereich als KfW-Effizienzhaus 70 und KfW-Effizienzhaus 100 sowie im Neubaubereich als KfW-Effizienzhaus 70 und KfW-

Effizienzhaus 55 definiert sind, sind folgende Randbedingungen für Kredite und Tilgungszuschüsse nach Tabelle 9 einzuhalten.

Einerseits ist als Bewertungsmaßstab die prozentuale Unterschreitung des Jahres-Primärenergiebedarfs im Vergleich zum EnEV-Referenzgebäude nach Anlage 2, Tabelle 1 der EnEV zu beachten. Andererseits sind Anforderungen an die Gebäudehülle je nach Innentemperatur zu erfüllen. Die Anforderungen beziehen sich auf den mittleren U-Wert zur opaken ( $U_{\text{opak}}$ ) und transparenten Außenhülle ( $U_{\text{transparent}}$ ), wobei zur transparenten Hülle auch Vorhangsfassaden zählen. Zusätzlich werden Anforderungen an Glasdächer und Lichtbänder sowie Lichtkuppeln ( $U_{\text{Licht}}$ ) gestellt.<sup>191</sup>

Die EnEV-Referenzgebäuderandbedingungen sind als Vergleich in der Tabelle 9 ergänzt, wobei je nach Bauteil unterschiedliche Referenzwerte in der EnEV aufgeführt werden. Bei Dächern beträgt der U-Wert zum Beispiel  $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  und bei erdberührten Bauteilen  $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

KfW-Effizienzhaus	55	70	100	Referenzausführung nach EnEV, Anlage 2, Tabelle 1
Qp in Prozent von Qp Referenzgebäude	55 %	70 %	100 %	
$T \geq 19 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
mittl. $U_{\text{opak}}$	0,22	0,26	0,34	0,2 bis 0,35
mittl. $U_{\text{transparent}}$	1,2	1,4	1,8	1,3 bis 1,4
mittl. $U_{\text{Licht}}$	2,0	2,4	3,0	2,4 bis 2,7
$T < 19 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
mittl. $U_{\text{opak}}$	0,35	0,43	0,58	0,35
mittl. $U_{\text{transparent}}$	2,2	2,4	3,2	1,9
mittl. $U_{\text{Licht}}$	2,2	2,6	3,6	2,4 bis 2,7

**Tabelle 9:** Effizienzhausanforderungen an Nichtwohngebäude gemäß KfW [Quellen: KfW und EnEV]

Die Technischen Mindestanforderungen der KfW beziehen im Weiteren ein Lüftungskonzept zwecks Feuchteschutz, eine wärmebrückenminimierte Ausführung, die Umsetzung eines Luftdichtheitskonzeptes und den hydraulischen Abgleich bei

<sup>191</sup> vgl. Technische Mindestanforderungen der KfW, [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Förderprogramme-\(Inlandsförderung\)/PDF-Dokumente/6000003418\\_M\\_217\\_218\\_219\\_220\\_276\\_277\\_278\\_EBS\\_NWG-TMA.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Förderprogramme-(Inlandsförderung)/PDF-Dokumente/6000003418_M_217_218_219_220_276_277_278_EBS_NWG-TMA.pdf) [Stand 08.02.2016]

wassergeführten Systemen mit ein. Bei Gebäudeerweiterungen ohne Raumabschluss (offener Raumverbund) wird ein Nachweis zum gesamten Gebäudekomplex verlangt.

Unabhängig davon, ob Kredite und Tilgungszuschüsse der KfW beantragt werden sollen, sollte ein Effizienzhausstandard anvisiert werden. Das Gebäude kann auch ohne eine Inanspruchnahme von Fördermitteln die entsprechende Bezeichnung (zum Beispiel Effizienzhaus 55) je nach Ergebnis der Bilanzierung nach DIN V 18599 tragen.

Die Vorgehensweise der Bilanzierung wird nun nachfolgend unter der Zielsetzung »Effizienzhausstandard« verdeutlicht.

Die Reduzierung von Energiestromen und Wärme- sowie Kälteverlusten sind konsequent zu verfolgen, damit nicht nur die öffentlich-rechtlichen Nachweise zur EnEV und zum EEGWärmeG erfüllt werden, sondern darüber hinaus auch ein Effizienzhausstandard in Anlehnung an die KfW-Definitionen erreicht wird. Wiederholt sei der Hinweis, dass die gewünschte Unterschreitung der EnEV nur durch effizientere Ansätze, als die vorgegebenen Referenzwerte der EnEV, zu erreichen ist.

### 5.12.2 Grundlagen nach DIN V 18599-1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung, Bewertung der Energieträger

Teil 1 stellt zunächst eine Übersicht zu den Berechnungen hinsichtlich Nutz-, End- und Primärenergiebedarf für die Heizung, Kühlung, Beleuchtung und Warmwasserbereitung dar. Hier wird bereits deutlich, auf welche Verluste zu achten und welche Energieträger von Vorteil sind. Die allgemeine Aufbereitung in Teil 1 kann wie folgt zusammengefasst werden:

Bei der Endenergieberechnung erfolgte inzwischen eine Erweiterung auch für die Darstellung der Umweltenergien. In der Bilanz wird weiter zwischen Energien, die dem Gebäude zugeführt, bzw. solchen, die vom Gebäude geliefert werden, unterschieden. Die vom Gebäude gelieferten Energien können verrechnet werden. Beim Nachweis mit Blick auf die EnEV ist dabei die Verrechnung von Strom nur bis zur Höhe des berechneten Strombedarfs möglich.

Die Bilanzierung beruht auf der Ermittlung aller inneren und anlagentechnischen Wärmesenken (Wärmeverluste) und Wärmequellen (Wärmegewinne) und stellt diese gegenüber. Die aufzubringende Nutzenergie muss die Differenz zwischen den Wärmesenken und den Wärmequellen decken.

Die Nutzenergie für Heizen und Kühlen wird dabei iterativ bestimmt, da anlagen-spezifische Wärmequellen und Wärmesenken von der Nutzenergie selbst abhängen. Andere Senken (zum Beispiel Transmission) und Quellen (zum Beispiel durch Personen) können einmalig berechnet werden. Die Nutzenergie wird bei Vorhandensein

von Zonen auf diese aufgeteilt und die zusätzlichen Verluste durch Übergabe, Verteilung und Speicherung addiert. Die oder der Erzeuger muss die summierte Nutzenergiemenge zur Verfügung stellen.

Die Berücksichtigung der Erzeugerverluste und des Einsatzes von regenerativen Energien führt zur Bewertung der Endenergie, welche auch die elektrischen Hilfsenergien<sup>192</sup> enthält. Die zur Beleuchtung notwendige Endenergie wird mit Ausnahme bei Abluftleuchten<sup>193</sup> wiederum in voller Höhe als innere Wärmequelle wirksam.

Wird zur Wärmeerzeugung eine nutzbar gemachte regenerative Energie eingesetzt, wird diese an der Endenergie abgezogen. Beispielhaft wird aufgeführt, dass bei Nutzung einer thermischen Solaranlage als einziger Wärmeerzeuger, die Endenergie im Sinne der Bilanzierung null ist, wobei auch die Erzeugerverluste mit null definiert sind. Die eingesetzte Umweltenergie wird gesondert aufgeführt.<sup>194</sup>

Der jährliche Primärenergiebedarf ergibt sich abschließend durch Ansatz der Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbare Anteile) je eingesetzter Energieart.<sup>195</sup>

Ziel ist es demnach die resultierende, zur Verfügung zu stellende Nutzenergie auf Grund der Transmission, der Lüftung, der Kühlung, der Trinkwassbereitung, durch die Beleuchtung und durch Verluste der Übergabe, der Verteilung sowie durch die Speicherung zu minimieren. Dies stellt keine neuen Erkenntnisse dar, jedoch werden sie durch den Algorithmus zur Bedarfsberechnung bewusst gemacht und aufgezeigt.

In den folgenden Darstellungen zu den weiteren Teilen der Vornorm DIN V 18599 werden die Stellschrauben bzw. planerischen Ansätze weiter deutlich.

### 5.12.3 Grundlagen nach DIN V 18599-2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen

Dieser Teil widmet sich der Nutzenergiebedarfsberechnung für den Heiz- und Kühlfall mit Blick auf die betrachteten Gebäudezonen. In Teil 10 der Vornorm sind vorgegebene Randbedingungen zu den Nutzungszenen aufgeführt. Eine davon abweichende ingenieurmäßige Energiebedarfsbilanzierung lässt frei wählbare Randbedingungen zu.<sup>196</sup>

Die Berechnungen zum Heizwärme- und Kühlbedarf<sup>197</sup> basieren auf Wärmequellen und Wärmesenken sowie auf deren Ausnutzungsgrad und Einflussgrößen. Weiterhin

<sup>192</sup> vgl. DIN V 18599-1:2011-12, S. 43

<sup>193</sup> vgl. DIN V 18599-1:2011-12, S. 38

<sup>194</sup> vgl. DIN V 18599-1:2011-12, S. 39, zum Beispiel verdeutlicht in Gleichung 14

<sup>195</sup> vgl. DIN V 18599-1:2011-12, S. 25

<sup>196</sup> vgl. DIN V 18599-2:2011-12, S. 9

<sup>197</sup> vgl. DIN V 18599-2:2011-12, S. 24 ff.

sind Werkstage getrennt von geänderten Nutzungsbedingungen an Wochenenden oder Ferientagen zu bilanzieren. Dazu werden mittlere Tageswerte zu Monats- und Jahreswerten summiert. Die Wärmesenken sind:

- Transmissionswärmeverluste
- Lüftungswärmeverluste
- interne Wärmeverluste in der jeweiligen Gebäudezone
- Wärmeverluste durch Abstrahlung und Berücksichtigung von solarer Einstrahlung
- und gespeicherte Wärme während normaler Heiztage, die an Tagen mit reduziertem Betrieb genutzt wird.

Die Stellschrauben beim Transmissionswärmeverlust bestehen im Wesentlichen aus der energetischen Qualität der Außenbauteile, der angrenzenden Bauteile zu beheizten bzw. gekühlten und unbeheizten Zonen, der Bauteile gegen Erdreich sowie der Bilanz-Innentemperatur der Gebäudezonen. Die Bilanz-Innentemperatur steht im Zusammenhang mit den Nutzungstagen und den täglichen Nutzungsstunden. Sie wird getrennt für die reduzierte Betriebszeit betrachtet. Dabei geht ein Korrekturfaktor infolge eines Absenkbetriebes oder einer Heizungsabschaltung ein. Bei der Abschaltung wird die jeweilige Bilanz-Innentemperatur stärker nach unten korrigiert, was zu einem geringeren Heizwärmebedarf führt. Ebenso erfolgt eine Reduzierung der Bilanz-Innentemperatur beim Einsatz eines Einzelraumregelungssystems. Wenn Bauteile an unbeheizte oder ungekühlte Zonen bzw. ans Erdreich angrenzen, können vereinfacht der jeweilige Temperatur-Korrekturfaktor ( $F_x$ ) zur Reduzierung der relevanten »Außentemperatur« angesetzt werden (nur im Heizfall). Liegt auch ein Kühlfall vor, ist dagegen auf die detaillierte Berechnung nach DIN EN ISO 13789 zurückzugreifen. Die so berechnete mittlere Temperatur ersetzt dann die durchschnittliche Außentemperatur bei der Berechnung der Transmissionsverluste. Wärmeströmungen zu angrenzenden beheizten oder gekühlten Zonen sind dabei nur zu berücksichtigen, wenn die Temperaturdifferenz mehr als 4 K beträgt.<sup>198</sup>

Die Lüftungswärmeverluste je Zone ergeben sich durch die Infiltration von Außenluft (Fugen und Undichtigkeiten), durch Fensterlüftung, durch den nutzungsbedingten Mindestluftwechsel, durch mechanische Lüftungsanlagen und durch Luftaustausch zu anderen Zonen. In Abhängigkeit der Lufttemperatur handelt es sich entweder um eine Wärmesenke oder Wärmequelle. Die Verluste durch Infiltration sind vom Infiltrationsluftwechsel ( $n_{inf}$ ) abhängig. Dieser wiederum ist von der Qualität der Gebäude-dichtheit, der Nutzung einer mechanischen Lüftung, dem Vorhandensein von Außenluftdurchlässen, einem Fassadenabschirmkoeffizienten und dem Luftwechsel bei 50 Pascal Druckdifferenz abhängig.

198 vgl. DIN V 18599-2:2011-12, S. 46

Interne Wärmesenken können durch Kühl- und Kaltwasserleitungen, durch Kaltluftkanäle, durch Kühltheken oder eingebrachte kalte Stoffe/Gegenstände, wie zum Beispiel in Produktions- und Lagerbereichen, verursacht werden. Wärmequellen/-senken durch Stofftransporte in die Gebäudezone sind dann gesondert zusätzlich zu den aufgeführten Standardwerten nach Teil 10 der Vornorm zu ermitteln.

Abstrahlungsverluste entstehen durch langwellige Strahlungen. Diese werden mit solarer Einstrahlung verrechnet, sodass je Bauteil entweder eine Wärmesenke oder Wärmequelle unter Berücksichtigung der jeweiligen Ein- und Abstrahlung entsteht.

Bei normalen Nutzungstagen wird die Wärme in den Bauteilen gespeichert, die dann während eines reduzierten Heizbetriebes, zum Beispiel an Wochenenden, an die Zonen wieder abgegeben wird. Dadurch entsteht an Nutzungstagen eine Wärmesenke. Dazu wird die wirksame Wärmespeicherkapazität der Bauteile berücksichtigt. Diese kann vereinfacht (10-cm-Regel) nur angewendet werden, wenn die Speichermassen nicht thermisch abgedeckt sind. Dann ist die Wärmespeicherkapazität nach DIN EN ISO 13786:2008-04<sup>199</sup> zu berechnen. Die Wärmequellen nach Teil 2 sind:

- solare Einstrahlung
- Transmissionswärmequellen
- Lüftungswärmequellen
- und interne Wärmequellen in der jeweiligen Gebäudezone.

Die solaren Wärmequellen treten durch Einstrahlung auf alle transparenten und opaken Außenbauteile sowie durch Einstrahlung bei Glasvorbauten auf. Bei transparenten Bauteilen wird die Sonnenstrahlung direkt in der Zone absorbiert. Dem entgegen wirken Beschattungen und der Energiedurchlassgrad des Glases. Bei opaken Bauteilen erfolgt dies indirekt über die Wärmeleitung in Richtung Gebäudezone und ist von der Bauteilloberfläche bzw. von dem Material durch Ansatz eines Strahlungsabsorptionsgrades abhängig.

Transmissionswärme- und Lüftungswärmequellen treten nur auf, wenn die mittlere Temperatur des angrenzenden Bereiches über der Innentemperatur der Gebäudezone liegt. Diese stellen dann gegebenenfalls eine Kühllast dar. Interne Wärmequellen sind beispielsweise Personen, eine künstliche Beleuchtung, der Wärmeeintrag durch Maschinen oder Heizungsverteilungsleitungen. Die internen Wärmequellen sind in den jeweiligen Nutzungsprofilen des Teils 10 hinterlegt. Der Wärmeeintrag durch die künstliche Beleuchtung wird durch den elektrischen Energiebedarf beschrieben.

---

<sup>199</sup> DIN EN ISO 13786:2008-04, Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische Kenngrößen – Berechnungsverfahren (ISO 13786:2007); Deutsche Fassung EN ISO 13786:2007

## 5.12.4 Einfluss von Varianten zu Lüftungsanlagen nach DIN V 18599-3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung

Der Teil 3 der Vornorm beschäftigt sich mit dem Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung. Die Infiltration und die Fensterlüftung, auch zur Realisierung des nutzungsbedingten Mindestluftwechsels, wurden bereits in Teil 2 der Vornorm erwähnt [vgl. 5.12.3].

Da es an dieser Stelle besser passt, sei ergänzt, dass in Teil 2 die mechanische Lüftung in Lüftungsanlagen unterschieden wird, die nur einen Teil des notwendigen Mindestluftwechsels und solche, die eine vollständige Belüftung sicherstellen.<sup>200</sup>

Teil 3 ergänzt den Nutzenergiebedarf zur thermischen Luftaufbereitung, falls eine Raumlufttechnische Anlage (RLT) eingesetzt wird. Hierunter werden Vorgänge zum Heizen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten bis zum gewünschten Zuluftzustand verstanden. Zusätzlich werden die elektrischen Hilfsenergien bilanziert. Teil 7 betrachtet im Weiteren den dazugehörigen Endenergiebedarf.

Die Vorgehensweise in Teil 3 der Vornorm beschreibt ein Kennwertverfahren:<sup>201</sup> Dazu wurden in der Vornorm insgesamt 46 RLT-Systeme mit unterschiedlichen Komponenten aufgenommen und eine Variantenmatrix erstellt. Zu den Varianten wurde jeweils der Nutzenergiebedarf, vorab für einen festgelegten Basisfall, in stündlichen Schritten berechnet. Die Ergebnisse hieraus liegen als Kennwerte normiert und tabellarisch vor. Die Varianten stellen je nach Wahl der Feuchteanforderungen, des Typs des Luftbefeuchtungssystems, des Typs der Wärmerückgewinnung und die prozentuale Größe der Rückwärmeszahl für die Nutzungszone, die Grundlage der Bilanzierung dar. Weiterhin werden Anlagen mit konstanten und variablen Volumenströmen unterschieden.

Auf Grund der gewählten planerischen Ausgangsgrößen wird mit Hilfe der Variantenmatrix das RLT-System zur Bilanzierung bestimmt und die Energiekennwerte nach Anhang A des Teils 3 der Vornorm angesetzt. In Tabelle 5 des Teils 3 ist die Variantenmatrix zusammengefasst. Generell sind auch frei wählbare Rückwärmeszahlen zum eingesetzten Wärmerückgewinnungssystem möglich. In solchen Fällen werden die Energiekennwerte interpoliert.

Eigene Vergleichsberechnungen zu einem Beispiel sollen den Einfluss der thermischen Luftaufbereitung durch Lüftungsanlagen auf den Nutz-, End- und Primärenergiebedarf ( $Q_p$ ) verdeutlichen. Dies erfolgt, neben absoluten Energiebedarfswerten in kWh/a, insbesondere mit Blick auf prozentuale Abweichungen zum EnEV 2014-Ref-

<sup>200</sup> vgl. DIN V 18599-2:2011-12, S. 60

<sup>201</sup> vgl. DIN V 18599-3:2011-12, S. 20 ff.

renzwert der Varianten als Bewertungsmaßstab für Effizienzgebäude. Daher ist der Primärenergievergleich von Interesse, auch wenn sich Teil 3 der Vornorm mit dem Nutzenergiebedarf beschäftigt, der jedoch wiederum die wesentliche Grundlage darstellt. Die untersuchten neun Varianten unterscheiden sich bei sonst gleichen Annahmen wie folgt, wobei die erste Variante mit Fensterlüftung (keine RLT-Anlage) den 100 %-Bezug darstellt:

- Erreichen des Mindestaußenluftwechsels durch Fensterlüftung (keine RLT-Anlage), Gas-Brennwert-Kessel, keine Kühlung (*Referenzvariante*)
- Lüftung ohne Kühlung erfolgt teilweise durch RLT-Anlage (etwa 25 % des Luftwechsels), Gas-Brennwert-Kessel (siehe DIN V 18599-2, S. 60 i.V. mit DIN V 18599-6)
- Lüftung ohne Kühlung erfolgt vollständig durch RLT-Anlage, Gas-Brennwert-Kessel
- Lüftung und Kühlung erfolgt vollständig durch RLT-Anlage, Gas-Brennwert-Kessel, wassergekühlte Kompressionskälteanlage, Verdunstungsrückkühlung
- Lüftung und Kühlung erfolgt vollständig durch RLT-Anlage, inklusive geregelter Befeuchtung, Gas-Brennwert-Kesselanlage, wassergekühlte Kompressionskälteanlage, Verdunstungsrückkühlung
- Lüftung und Kühlung erfolgt vollständig durch RLT-Anlage, inklusive ungeregelter Befeuchtung, Gas-Brennwert-Kessel, Kälteerzeugung wie vor
- Lüftung erfolgt vollständig durch RLT-Anlage, keine Kühlung, Sole-Wasser-Wärmequelle ohne elektrische Nachheizung, Standardwerte Wärmepumpe ab 2010 nach Tabelle A.4, Anhang A, DIN V 18599-5:2011-12, Pufferspeicher
- Lüftung erfolgt vollständig durch RLT-Anlage, keine Kühlung, Luft-Wasser-Wärmequelle bis 3 °C, darunter Gas-Brennwertkessels (bivalente Anlage), Standardwerte Wärmepumpe nach Tabellen A.1-A.3, Anhang A, DIN V 18599-5:2011-12, Pufferspeicher
- Lüftung und Kühlung erfolgt vollständig durch RLT-Anlage, Gas-Brennwert-Kessel, U-Werte der Gebäudehülle um 30 % verbessert

Bei drei der beschriebenen Varianten wurde ergänzend die Kühlung über die RLT-Anlage vorgesehen, damit in Abbildung 35 auch der Einfluss der Kühlung bzw. der gewählten Komponenten auf den Vergleich zum definierten Referenzwert erkennbar wird.

Im Heizfall wird bei den Varianten ein Heizregister der RLT-Anlage versorgt, was hier einen Heiz-Wasserkreislauf voraussetzt. Bei den Varianten mit Kühlung über die RLT-Anlage wird ein Kühlregister ebenfalls über einen Wasserkreislauf versorgt. Die Auslegungstemperaturen für den Wasserkreislauf betragen beispielsweise 8 °C/14 °C.

In Kapitel 5.12.8 wird zum Teil 7 der Vornorm noch genauer auf die Auslegungstemperaturen eingegangen.

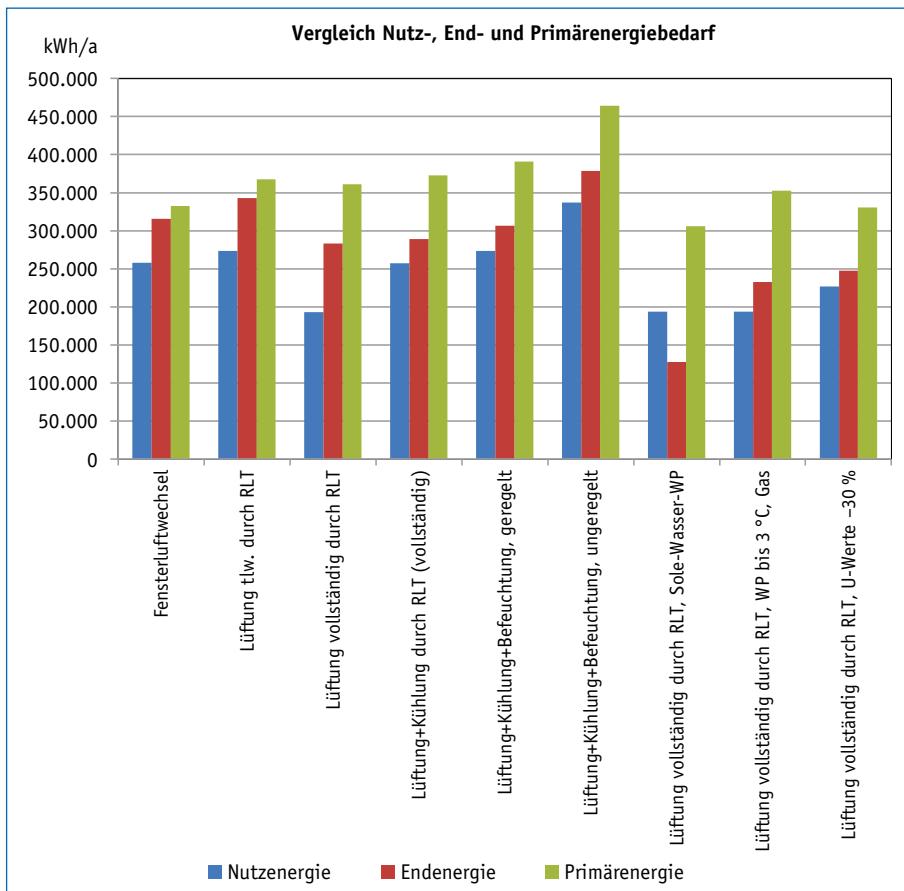
Die Varianten wurden für das Modellgebäude »Schule« mit Anpassung der U-Werte auf Neubau-Referenzanforderungen der EnEV 2014 berechnet. Dazu wurde das Nutzungsprofil Nummer 8 unverändert angewendet und die Wärmerückgewinnung der RLT-Anlagen jeweils mit 65 % angenommen. Der flächenabhängige bzw. personenspezifische Mindestaußenluftvolumenstrom beträgt  $10 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$  bzw.  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  gemäß Nutzungsprofil der DIN V 18599-10. Der Primärenergiefaktor des Strommixes beträgt bei EnEV 2014-Berechnungen 2,4 (für Wärmepumpe und Hilfsenergien). Die Berechnungen erfolgten mit der Software »Energieberater«, Version 8.07.

In Abbildung 34 sind zunächst je Variante die Ergebnisse zum Nutz-, End- und Primärenergiebedarf aufgeführt.

Die erste Variante (Fensterluftwechsel ohne RLT-Anlage) ist, wie erwähnt, als Modell-Referenzkonfiguration für das Beispiel zu verstehen und stellt den 100 %-Bezug dar. Auf Grund des 100 %-Bezugs werden die Unterschiede der Varianten und die Veränderungen zum jeweiligen Energiebedarf je nach Anlagenkomponenten des RLT-Systems und des Energieträgers erkennbar. Der absolute Primärenergiebedarf steigt mit der Anzahl der Systemkomponenten (Kühlung, Befeuchtung, Entfeuchtung) bzw. infolge von fossiler Brenntechnik.

Die Systemvarianten mit einer monovalenten Wärmepumpe und bivalenten Anlage (Wärmepumpe und Gas-Brennwertkessel) sowie die Verbesserung der U-Werte um 30 % zeigen, dass nur eine exakte TGA-Abstimmung in Kombination mit den energetischen Kennwerten zur Gebäudehülle zu einem deutlich effizienteren Gesamtergebnis führen können. Wird zum Beispiel die Lüftung vollständig durch eine RLT-Anlage sichergestellt, muss trotz Wärmerückgewinnung im Gegenzug die Gebäudehülle um etwa 30 % verbessert werden, damit die gleiche Größenordnung des Primärenergiebedarfs-Verhältnisses (Modell-Referenzwert zu EnEV-Referenzgebäude) erreicht wird, wie bei der Variante mit Fensterlüftung.

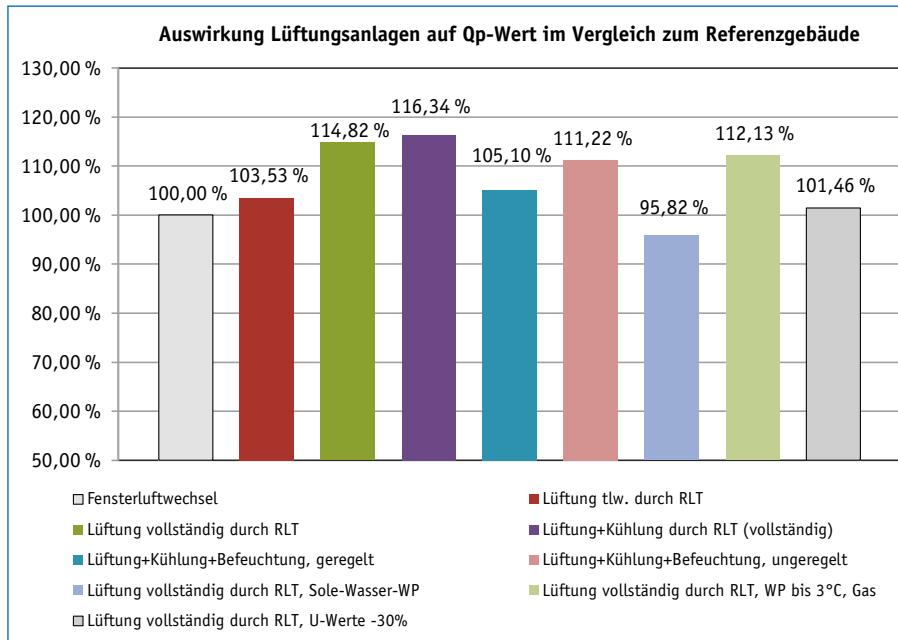
Die Varianten verdeutlichen weiterhin den Einfluss von erneuerbaren Energien durch den Einsatz von Wärmepumpen.



**Abbildung 34:** Einfluss von Lüftungsanlagen auf den Nutz-, End- und Primärenergiebedarf am Beispiel Modellgebäude Schulneubau

In Abbildung 35 wird dies konkret durch den prozentualen Vergleich der erreichten Qp-Verhältnisse je Variante (Qp-Wert zu EnEV-Referenzgebäude-Qp-Wert) mit den Ansätzen zum Modell-Referenzgebäude (Fensterlüftung) als 100 %-Bezug deutlich.

Trotz zum Teil ähnlichem oder geringerem Nutzenergiebedarf gemäß Abbildung 34, führt der primärenergetische Vergleich nach Abbildung 35 zu größeren Anstrengungen hinsichtlich eines Energieeffizienzstandards beim Einsatz von RLT-Anlagen. RLT-Anlagen sind je nach Nutzung nicht wegzudenken. Die Vergleiche sollen jedoch die Auswirkungen auf die Energiebilanz bewusst machen.



**Abbildung 35:** Einfluss von Lüftungsanlagen auf EnEV 2014-Referenzwert am Beispiel des Modellgebäudes Schule für einen Neubau

Seit 01.01.2016 ist der Primärenergiebedarfsanteil für elektrisch angetriebene Komponenten gesunken, da der Primärenergiefaktor für den Strommix auf 1,8 reduziert wurde. Im Gegensatz dazu sind die Anforderungen nach der EnEV gestiegen. Die Beispiele zu den Effizienzgebäuden in Kapitel 6 werden auf Grundlage der aktuellen Ansätze nach »EnEV 2016« berechnet.

### Ergänzende Anmerkungen

Lüftungskonzepte sehen unter anderem die Ansaugung der Außenluft über Erdkanäle zwecks Vorrwärmung der Luft vor. Diese Kanäle können im Gebäude integriert oder beispielsweise separat als Betonrohre in der Baugrube verlegt sein. Durch den Einsatz von Erdkanälen, kann die Vorrwärmung im Winter 5 bis 10 °K und die Abkühlung im Sommer ca. 5 °K betragen. In der Übergangszeit kann auf den Erdkanal wegen unerwünschter Abkühlung und Nachheizung verzichtet und die Luft direkt zum Lüftungsgerät geführt werden.<sup>202</sup>

In Teil 3 der Vornorm ist kein Hinweis auf den Umgang mit vorerwärmter Luft, beispielsweise durch Erdreichwärmeübertragung (Luft-Erd-Wärmetauscher) oder Luft-

202 vgl. Hausladen Gerhard, 2001, S. 40–41 und S. 56–60

Wasser-Wärmetauscher zu finden, dafür in Teil 6<sup>203</sup>, der jedoch lediglich für Wohngebäude anzuwenden ist. Gleichzeitig findet Teil 6 bei Nichtwohngebäuden Anwendung hinsichtlich des Zuluft-Luftwechsels, wenn nur eine teilweise Belüftung<sup>204</sup> durch eine Lüftungsanlage stattfindet [vgl. 5.12.7].

In Teil 5 der Vornorm ist ein Hinweis zur Luftvorwärmung in Verbindung mit Wärmepumpen und anderen Wärmequellen als die Außenluft (Erdreich, Grundwasser, Abluft) enthalten.<sup>205</sup> Demnach kann diese Konstellation (Erdreich-Zuluft-Wärmeübertrager, Lüftungsgerät) nur über die Systemkomponente Wärmepumpe als Wärmeerzeuger simuliert werden. Dies legt die Vermutung nahe, dass im Sinne der Bilanzierung die Anlagenkomponente Erdkanal nur in Verbindung mit Wärmepumpen relevant ist. Inwiefern auch die Nutzung einer Vorwärmung bei der Versorgung einer Lüftungsanlage durch Kesselanlagen Sinn macht bzw. nach DIN V 18599 eine Variante darstellt, kann ich an dieser Stelle nicht abschließend darlegen. Eine Vorwärmung würde aus Sicht des Autors auch hier eine Energieeinsparung verursachen, jedoch kann ich hierzu keinen Hinweis in der Vornorm finden.

Eventuell kommt der Ansatz mit Luftvorwärmung aus TGA-Sicht in Kombination mit anderen Wärmeerzeugern nicht in Frage. Im Rahmen dieses Buches konnte ich diese Frage nicht klären. Eine erste Literaturrecherche zu TGA-Systemen hatte keine Ergebnisse geliefert.

Generell wollte ich Ihnen die Thematik »Vorwärmung« der Außenluft durch Erdkanäle oder mit Hilfe von Luftleitungen, die durch Wasserspeicher geführt werden, nicht vorenthalten. Gedanken zur sinnvollen Anwendung sind jedem frei überlassen. Mir scheint es im Allgemeinen, unabhängig von der Heiztechnik, ein nachhaltiger Ansatz zu sein.

### 5.12.5 Einfluss von Varianten zur Beleuchtung nach DIN V 18599-4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung

Der Endenergiebedarf der Beleuchtung<sup>206</sup> ergibt sich aus den spezifischen elektrischen Bewertungsleistungen in W/m<sup>2</sup> je Bereich, den Flächen der Tageslichtbereiche und nicht mit Tageslicht versorgten Bereichen sowie den jeweiligen effektiven Betriebszeiten. Die effektiven Betriebszeiten werden durch Teilbetriebsfaktoren zur Berücksichtigung der Tageslichtversorgung, der Präsenz und der Konstantlichtkontrolle (Dimmen zum Ausgleich der Überinstallation durch Wartungsfaktor) beeinflusst, wobei zwischen Tageslicht- und Nachtlichtversorgung unterschieden wird.

---

203 vgl. DIN V 18599-6:2011-12, S. 37-39

204 vgl. DIN V 18599-2:2011-12, S. 60

205 vgl. DIN V 18599-5:2011-12, S. 81f.

206 vgl. DIN V 18599-4:2011-12, S. 19ff.

Für die Teilflächen der Tageslichtbereiche werden diese in Bezug auf Fassaden und Dächer berechnet.

Der Faktor zur Berücksichtigung der Konstantlichtkontrolle reduziert den Endenergiebedarf für die Beleuchtung. Dieser Faktor kann nur angesetzt werden, wenn das Beleuchtungssystem dimmbar ist und über eine Konstantlichtkontrolle verfügt. Ein weiterer Faktor beschreibt die Effizienz des Konstantlichtkontrollsysteams.

Der Teilbetriebsfaktor zur Berücksichtigung der Tageslichtversorgung wird durch den Tageslichtversorgungsfaktor und den Faktor für ein tageslichtabhängiges Beleuchtungskontrollsystem bestimmt. Dazu sind die geografische Lage, klimatische Randbedingungen sowie bauliche Verhältnisse zur Raumorientierung und zu Fassaden- bzw. Raumparametern von Bedeutung. Der Teilbetriebsfaktor zur Präsenz bzw. zur Belegung der betrachteten Bereiche wird von der relativen Abwesenheit nach DIN V 18599-10 und von der Effizienz der Präsenzkontrolle beeinflusst und reduziert ebenso den Endenergiebedarf.

Zur Ermittlung der spezifischen elektrischen Beleuchtungsleistungen können drei Verfahren bei Neubauten zur Anwendung kommen:

- Tabellenverfahren
- vereinfachtes Wirkungsgradverfahren
- detaillierte Fachplanung

Beim Tabellenverfahren wird die Bewertungsleistung durch die Beleuchtungsart (direkt, direkt/indirekt, indirekt), den Wartungswert und dessen Anpassungsfaktor, der wiederum den Alterungsprozess berücksichtigt, berechnet. Zusätzlich wird ein Minderungsfaktor für den Bereich der Sehauflage, der Anpassungsfaktor für nicht stabförmige Leuchtstofflampen (Lampenart) und für den Raum berücksichtigt. Liegt beispielsweise eine indirekte Beleuchtungsart vor, verdoppelt sich die spezifische elektrische Bewertungsleistung gegenüber einer direkten Beleuchtungsart.

Der Wartungsfaktor beeinflusst die zu installierende Beleuchtungsstärke, da Verunreinigungen der Leuchten und die Wartung berücksichtigt werden.

LED-Leuchten erreichen die Effizienz von stabförmigen Leuchtstofflampen nach Tabelle 6 der DIN V 18599-4:2011-12 noch nicht. Bezogen auf den Referenzwert 1,0 für stabförmige Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) beträgt der Faktor für LED-Produkte 1,1 bzw. für »LED Ersatzlampen« 1,5. Der Anpassungsfaktor beträgt bei abweichenden Lampenarten beispielsweise bei Halogenleuchtlampen 5,0, bei Natriumdampf-Hochdrucklampen 0,8 und bei stabförmigen Leuchtstofflampen mit konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) 1,24.

Der Anpassungsfaktor für den Raum kann bei konkreteren Kenntnissen aus der Geometrie (Tiefe, Breite und Differenz Leucht- und Nutzebene) ermittelt werden.

Beim vereinfachten Wirkungsgradverfahren gehen zur Bestimmung der flächenspezifischen elektrischen Bewertungsleistung anstelle des Anpassungsfaktors zur Lampenart und zum Raum, Herstellerangaben zur Systemlichtausbeute und zum Betriebswirkungsgrad des eingesetzten Leuchtmittels ein. Zusätzlich wird ein Raumwirkungsgrad berücksichtigt. Der Raumwirkungsgrad kann vereinfacht von der Beleuchtungsart (direkt, direkt/indirekt, indirekt) aus Tabelle 8 der DIN V 18599-4:2011-12 abgelesen werden.

Mit Hilfe einer detaillierten Fachplanung kann eine genauere elektrische Bewertungsleistung für die betrachteten Bereiche bzw. Zonen vorgegeben werden. Die Werte werden von dem Fachplaner der Elektrotechnik ermittelt. Zum Teil kann die spezifische elektrische Bewertungsleistung je nach Nutzung und Raumsituation auf Grund einer Fachplanung zu geringeren Ansätzen führen, was den Endenergie- bzw. Primärenergiebedarf verringert und das Verhältnis zum Referenzgebäude verbessert.

Im Bestand kann die tatsächliche installierte Systemleistung umgerechnet auf die betrachtete Fläche als spezifische elektrische Bewertungsleistung angesetzt werden.

Nachfolgend sind die Berechnungsergebnisse zu unterschiedlichen Beleuchtungsvarianten aufgeführt. Als Bezugsvariante wird wiederum die Referenzvariante nach Kapitel 5.12.4 (Mindestaußenluftwechsel durch Fensterlüftung, Gas-Brennwert-Kessel, direkte Beleuchtung, stabförmige Leuchtstofflampen mit EVG, einfaches Tabellenverfahren, ohne Regelung der Beleuchtung) zum Modellgebäude »Schule« angenommen.

Der Jahres-Primärenergiebedarf-Referenzansatz zum Modellgebäude »Schule« (Tabellenverfahren, direkte Beleuchtung, stabförmige Leuchtstofflampen mit EVG) als 100 %-Wert wird mit acht weiteren Varianten in Abbildung 36 verglichen und die prozentualen Abweichungen aufgeführt. Neben der erwähnten Bezugsvariante wurden folgende Ansätze beispielhaft untersucht:

- Wirkungsgradverfahren, direkte Beleuchtung, Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG,
- Wartungsfaktor = 0,67, Systemlichtausbeute = 80 lm/W, Betriebswirkungsgrad = 0,8
- Fachplanung, direkte Beleuchtung, Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG,
- Bewertungsleistung = 6,5 W/m<sup>2</sup> anstatt 7,3 W/m<sup>2</sup> gemäß Tabellenverfahren
- Tabellenverfahren, direkte Beleuchtung, Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG und
- Präsenzmelder, Tageslichtabhängigkeit: stufenweise ein/aus
- Fachplanung, direkte Beleuchtung, Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG und
- Präsenzmelder, Tageslichtabhängigkeit: gedimmt-aus, manuell-ein,

- Konstantlichtkontrolle
- Tabellenverfahren, direkte Beleuchtung, LED-Ersatzleuchten
- Tabellenverfahren, direkte Beleuchtung, Leuchtstofflampe mit KVG
- Tabellenverfahren, Halogenglühlampen

Insgesamt ist in Abbildung 36 erkennbar, dass beim gewählten Beispiel der Einfluss der Beleuchtung bei einer Wahl von Parametern zu einer effizienteren Beleuchtung bzw. in Anlehnung an die EnEV-Referenzwerte der Einfluss auf das Gesamtergebnis nicht unbedingt groß ist. Der Unterschied in der Bilanz kann jedoch über das Einhalten von Anforderungen entscheidend sein, wenn andere Parameter bereits grenzwertig ausgenutzt sind.

Wird zunächst nur das Berechnungsverfahren für die spezifische elektrische Beleuchtungsleistung variiert, ergeben sich beim Beispiel kaum relevante Abweichung (Variante 1 bis 3 in Abbildung 36). Werden mit der Variante 4 und 5 Regelungen zur Beleuchtung installiert (tageslichtabhängig, Präsenzkontrolle) sind Verbesserung im Beispiel von etwa 4,5% im Vergleich zum gewählten Referenzansatz erreichbar.

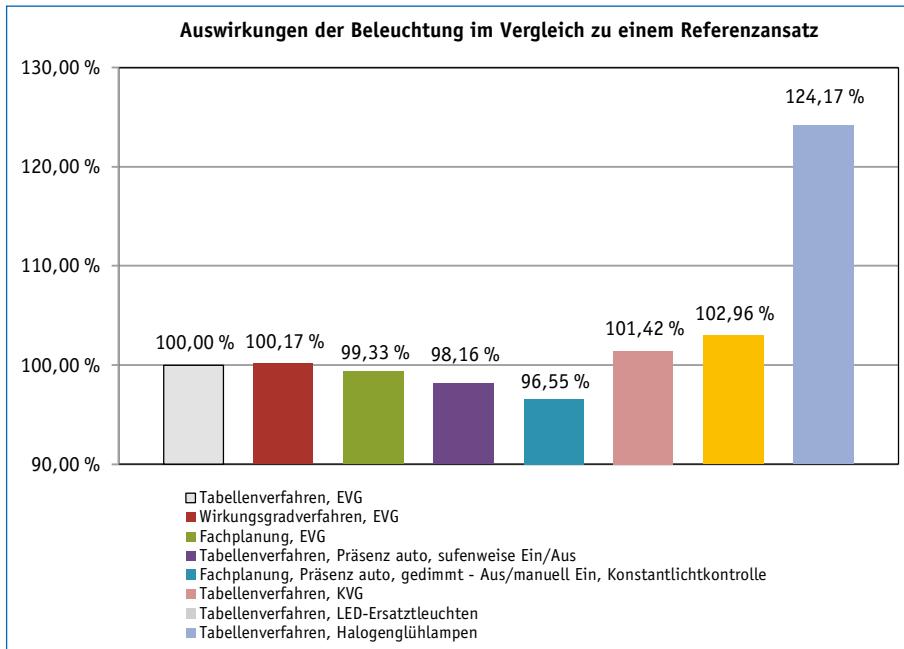
Aus eigener Erfahrung kann ich ergänzen, dass je nach Nutzungen ein größerer Unterschied zwischen dem einfachen Tabellenverfahren und der externen Fachplanung liegen kann und daher oftmals Werte aus der Fachplanung mit Blick auf das Erreichen des Energieeffizienzhausstandards zu bevorzugen sind.

Gleiches gilt bei der Wahl der Regelungen zum Tageslicht, zur Präsenzkontrolle und zur Konstantlichtkontrolle. Daher ist es wichtig sich der Beleuchtung genauer zu widmen, damit effizientere und wirtschaftlich vertretbare Lösungen entstehen und die Beleuchtung ihren Anteil bei der Bilanzierung zum Effizienzhausstandard entsprechend leisten kann.

Wie eine weniger effiziente Beleuchtungsvariante das Ergebnis negativ beeinflusst, ist mit Hilfe der Variante 6 bis 8 erkennbar, wobei mit der Variante 8 so große Abweichungen entstehen, dass andere Bemühungen zum Erreichen des Effizienzhausstandards (Wärmebrücken, Luftdichtheit usw.) zunichte gemacht werden bzw. zunächst die Beleuchtung effizienter zu planen ist, damit kein Potenzial verschenkt wird.

Die EnEV sieht in Anlage 2, Tabelle 1 für das Referenzgebäude bereits eine hochwertige Beleuchtungsart (stabförmige Leuchtstofflampe mit EVG) und je nach Zone zusätzlich Regelungen zur Beleuchtung vor. Demnach ist eine deutliche Verbesserung im Vergleich zum Referenzgebäude nur bei einer entsprechenden Kombination von energieeffizienter Beleuchtung und Regelung je Zone erreichbar.

Dieses Bewusstsein sollte an Hand der aufgeführten Beispiele geschaffen werden.



**Abbildung 36:** Einfluss von Beleuchtungsparametern auf einen Referenzwert am Beispiel des Modellgebäudes Schulneubau

### 5.12.6 Einfluss von Varianten zu Heizsystemen und Wärmepumpen nach DIN V 18599-5: Endenergiebedarf von Heizsystemen

Der Teil 5 beschäftigt sich mit dem Heizsystem und betrachtet dabei die Übergabe, die Verteilung, die Speicherung und die Erzeugung der Wärme. Eine Beeinflussung durch eine Warmwasseraufbereitung oder durch RLT-Analgen ist zusätzlich gegeben. Dazu erfolgt eine Kopplung zu anderen Teilen der Vornorm. Auf den Nutzwärmebedarf, der Bestandteil der Betrachtungen ist, wurde in Kapitel 5.12.3 zu Teil 2 der Vornorm eingegangen.

Der Endenergiebedarf ist im Allgemeinen vom Nutzwärmebedarf, von den Verlusten bei der Wärmeübergabe an den Raum, von der Wärmeverteilung und der Wärmepeicherung sowie von den Verlusten durch die Erzeugung an den Aufstellraum abhängig. Zusätzlich wirkt sich ein Faktor für die Art und Weise eines integrierten Pumpenmanagements erhöhend und der Einsatz von regenerativen Wärmeenergien reduzierend auf den Endenergiebedarf aus. Beim integrierten Pumpenmanagement wird eine höhere Kesseltemperatur durch die kürzere Pumpenlaufzeit berücksichtigt. Der Faktor liegt bei 1,03 bzw. 1,06. Der hydraulische Abgleich dagegen wirkt sich wiederum senkend auf den Endenergiebedarf aus. Je höher die mittlere Vorlauftem-

peratur ist, desto höher wird der Endenergiebedarf. Wird die Heizungsanlage nachts ausgeschaltet, statt abgesenkt oder läuft sie durch, wirkt sich dies ebenfalls auf den Endenergiebedarf aus. Gleiches gilt für die Wochenendabsenkung.<sup>207</sup>

Diese Stellschrauben haben im Allgemeinen jedoch nur kleine Auswirkungen. Sie sind jedoch je nach Konstellation nicht zu vernachlässigen, insbesondere dann nicht, wenn die letzten Prozentpunkte benötigt werden, damit rechnerisch der Effizienzhausstandard nachweisbar ist. Jedoch sind die Randbedingungen so zu wählen, dass sie technisch und funktional sinnvoll sind und nicht ausschließlich den Wunsch nach einer optimierten Bilanzierung befriedigen. Darüber hinaus werden die Hilfsenergien, die für das gesamte Heizsystem benötigt werden, bilanziert.

Die einzelnen Formeln mit den relevanten Faktoren werden hier nicht aufgezeigt. Dafür wird der Einfluss der Faktoren direkt mit Hilfe von Berechnungsbeispielen und Vergleichen verdeutlicht. Zum einen wird ein Vergleich zu den Auswirkungen in Bezug auf die aufgeführten Stellschrauben dargestellt. Zum anderen wird ein Vergleich zu unterschiedlichen Energieträgern und Heizsystemen aufbereitet, damit der Einfluss deutlich wird. Die Auswirkungen werden immer auf einen Referenzwert bezogen. Dies erfolgt analog zur Vorgehensweise bei der Beurteilung eines Energieeffizienzstandards mit Bezug zum EnEV-Referenzwert, wobei der prozentuale Unterschied zum Jahres-Primärenergiebedarf als relevante Größe verglichen wird.

Der Einfluss ausgewählter allgemeiner Parameter auf die Ergebnisse der Berechnungen bzw. auf den Energieeffizienzhausstandard wird durch Variation dieser Parameter untersucht. In Tabelle 10 sind die prozentualen Abweichungen zu zwei bzw. drei Variantenberechnungen je Parameter am Beispiel des Modellgebäudes »Schule« zum definierten Referenzwert aufgeführt.

Die Berechnungen erfolgten mit der inzwischen aktualisierten Version 8.3.0 des »Energieberaters«, wobei weiterhin von EnEV 2014-Randbedingungen hinsichtlich des Qp-Wertes beim Referenzgebäude ausgegangen wurde.

Bei der Berechnung des Modell-Referenzwertes (100 %) zum Jahres-Primärenergiebedarf (Qp) werden beim Beispiel folgende Randbedingungen angenommen:

- Erdgas E, Brennwertkessel
- Regelung Heizflächen: P-Regler (siehe Tabelle 7, DIN V 18599-5)
- Vorlauf- und Rücklauftemperatur: 55/45 °C
- Heizungsumwälzpumpe: bedarfsgeregelt,  $\Delta p$  variable (siehe Tabelle 24, DIN V 18599-5)
- Hydraulischer Abgleich: vorhanden (siehe Tabelle 6, DIN V 18599-5)

207 vgl. DIN V 18599-5:2011-12, S. 28-38

- Wochenend- und Nachtbetrieb: Temperaturabsenkung
- Pufferspeicher: nicht vorhanden
- Aufstellung Wärmeerzeuger: in der Zone
- Heizungsleitungen: in der Zone verlegt
- Länge Rohrnetz: Standardlängen nach Tabelle 22, DIN V 18599-5
- Dämmung Heizungsrohre: EnEV-Standard nach Tabelle 23, DIN V 18599-5
- Wärmeübergabe: Heizkörper
- kein integriertes Pumpenmanagement
- kein intermittierender Betrieb (ohne zeitabhängige raumweise Temperaturabsenkung)
- Heizsystem für Räume bis vier Meter

Die alternativen Ansätze für die Variantenberechnungen sind ebenso in Tabelle 10 erkennbar. Es wird deutlich, dass bei der Nachtabschaltung- bzw. beim Dauerbetrieb, bei der Regelungsart, bei der Lage der Heizungsrohre, beim hydraulischen Abgleich, bei der Wärmeübergabe und beim Pumpenmanagement nennenswerte Abweichungen festzustellen sind.

Je nach Kombination der Faktoren werden die Abweichungen im Einzelfall durch Überlagerungen größer oder auch geringer. Einige Parameter verhelfen mit Blick auf ein Energieeffizienzgebäude nicht wirklich zur Effizienzsteigerung, da beispielsweise der hydraulische Abgleich bereits eine grundsätzliche Voraussetzung beim Referenzgebäude darstellt.

Die Ergebnisse in Tabelle 10 sollen zeigen, dass im Bereich der Wärmeübergabe, Wärmeverteilung und Wärmespeicherung je nach Technik nicht unbedingt ein großes Potenzial zum Erreichen des Energieeffizienzhausstandards zur Verfügung steht.

Im Einzelfall ist dies natürlich zu prüfen, da beispielsweise eine Luftheizung andere Ergebnisse als eine Bauteilaktivierung aufzeigen wird bzw. höhere Räume (ab 4 m) je nach Gebäudetyp zu bewerten sind und zusätzlich noch eine RLT-Anlage Einfluss nehmen kann.

Letztlich wird die Wahl der Technik jedoch in den seltensten Fällen alleine wegen der Optimierung des Bilanzierungsergebnisses getroffen. Als Entscheidungsgrundlage wirken zusätzlich die betrieblichen und technischen Notwendigkeiten sowie Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen mit.

Variationen zu allgemeinen Faktoren des Heizsystems	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Regelung Heizflächen: P-Regler / PI-Regler / PI-Regler mit Optimierung	100,00 %	98,35 %	95,89 %
Temperatur Vorlauf/Rücklauf: 55/45 °C / 70/55 °C / 35/28 °C	100,00 %	100,57 %	100,33 %
Heizpumpe: bedarfsgeregelt / überdimensioniert und ungeregelt	100,00 %	100,98 %	
Hydraulischer Abgleich: ja/nein	100,00 %	105,43 %	
Wochenende-Nachtbetrieb: Absenken / Abschaltung / Dauer	100,00 %	91,91 %	113,18 %
Pufferspeicher: nein/ja (stehend, in keiner Zone, 1.900 Liter)	100,00 %	100,47 %	
Aufstellung Wärmeerzeuger: in Zone / im Unbeheizten	100,00 %	100,27 %	
Lage Heizungsleitungen: in Zone / im Unbeheizten	100,00 %	104,27 %	
Länge Rohrnetz: Standardlängen / 50 % / 25 % der Längen	100,00 %	ca. 100 %	ca. 100 %
Heizungsrohre gedämmt: EnEV / doppelte EnEV	100,00 %	ca. 100 %	
Übergabe: Heizkörper / Fußbodenheizung 35/28 °C – Nasssystem, Mindestdämmung / doppelte Dämmung und PI-Regler mit Optimierung (siehe Tabelle 8, DIN V 18599-5)	100,00 %	102,81 %	96,86 %
integriertes Pumpenmanagement: ohne / mit und außentemperaturgeführt / mit und raumtemperaturgeführt	100,00 %	102,60 %	105,18 %
intermittiernder Betrieb: ohne / mit	100,00 %	97,28 %	

**Tabelle 10:** Einfluss der Modellparameter zum Heizsystem auf Qp-Referenzwert hinsichtlich gewählter Randbedingungen

Die Abweichungen gemäß Tabelle 10 bestätigen, dass nicht alle gewählten Faktoren das Erreichen eines Energieeffizienzhausstandards wesentlich beeinflussen. Die Wahl der optimalen Randbedingungen kann dennoch wiederum den letzten, noch fehlenden Prozentpunkt in der Gesamtbilanzierung realisieren. Ein genauer Blick auf die Randbedingungen zur Übergabe, zur Verteilung und zur Speicherung der Wärme sowie Variationen zu den Berechnungen sollte sich daher lohnen.

Für die folgende beabsichtigte Betrachtungsweise hinsichtlich eines Vergleiches der Energieträger und der Heizsysteme (Erzeugung der Wärme) werden die zuvor aufge-

führten Randbedingungen festgesetzt, da ansonsten die Variantenvielfalt unüberschaubar groß wird. Abweichungen davon werden bei den Varianten beschrieben.

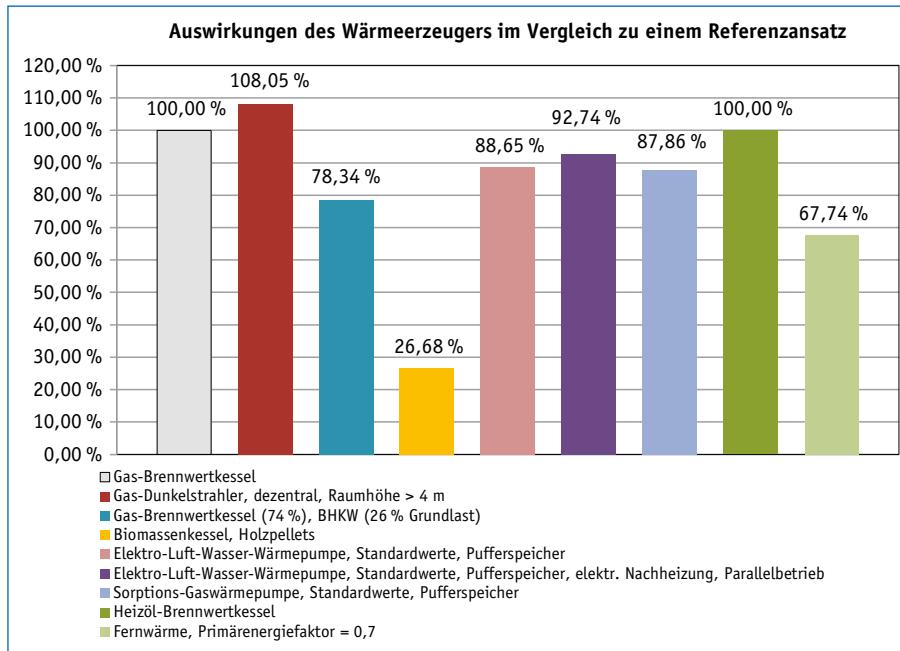
Der Referenzwert (100 %) zum Jahres-Primärenergiebedarf (Qp) ist daher von den zuvor aufgeführten Randbedingungen am Beispiel des Modellgebäudes »Schule« abhängig.

Es werden Varianten zur Wärmeerzeugung, zur allgemeinen Veranschaulichung der Ergebnisse und deren Einflüsse verglichen, unabhängig davon, ob jede gewählte Variante für den Gebäudetyp im Beispiel sinnvoll ist und eingesetzt würde. Der Einsatz und die Verrechnung von Photovoltaikanlagen wurden hierbei nicht berücksichtigt.

Im Einzelnen kamen folgende Varianten zur Wärmeerzeugung zum Ansatz:

- Gas-Brennwertkessel
- Gas-Dunkelstrahler, dezentral, Raumhöhe > 4 m
- Biomassenkessel, Holzpellets
- Elektro-Außenluft-Wasser-Wärmepumpe (Luft-Wasser-Wärmepumpe), Standardwerte nach Tabellen A.1-A.3, Anhang A, DIN V 18599-5:2011-12, Pufferspeicher
- Elektro-Luft-Wasser-Wärmepumpe, Standardwerte nach Tabellen A.1-A.3, Anhang A, DIN V 18599-5:2011-12, Pufferspeicher, elektr. Nachheizung, Parallelbetrieb
- Sorptions-Gaswärmepumpe, Standardwerte nach Anhang A.4, DIN V 18599-5:2011-12, Pufferspeicher
- Heizöl-Brennwertkessel
- Fernwärme, Primärenergiefaktor = 0,7 (Kraftwärmekopplung und fossile Energieträger)

Auch diese Berechnungen erfolgten mit der aktualisierten Version 8.3.0 des »Energieberaters« und den EnEV 2014-Randbedingungen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 37 aufgeführt.



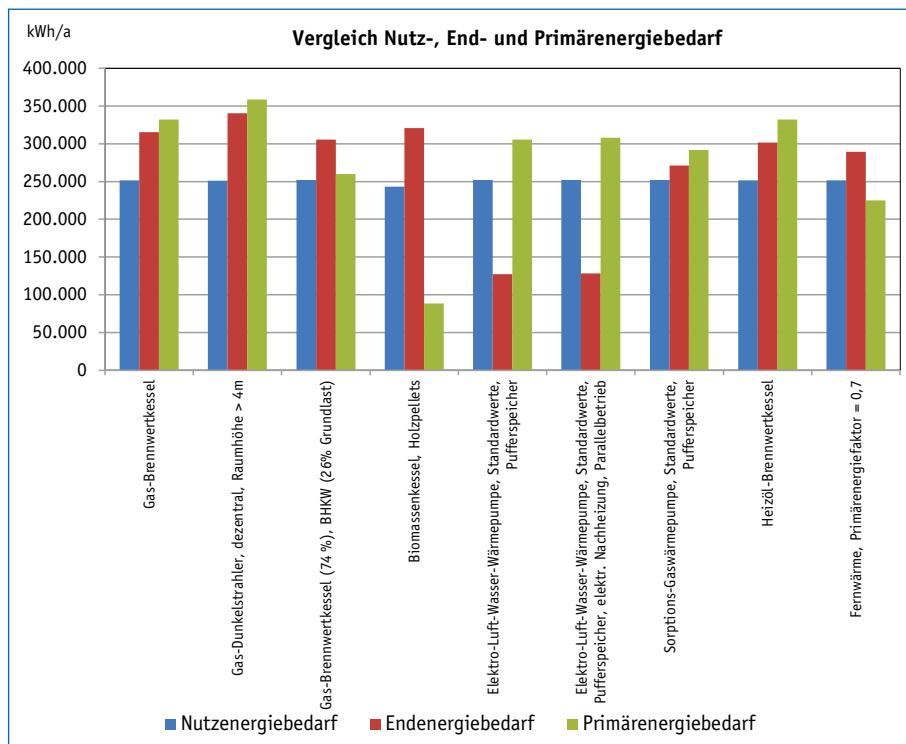
**Abbildung 37:** Einfluss des Wärmeerzeugers auf einen Referenzwert am Beispiel des Modellgebäudes Schulneubau

In vielen Fällen wird keine Fernwärme mit mehr oder weniger regenerativen Anteilen oder einer Kraft-Wärmekopplung zur Verfügung stehen. Genauso wenig wird womöglich der Wille oder der Platzbedarf vorhanden sein, eine Pelletsbevorratung für einen Biomassenheizkessel oder ein Blockheizkraftwerk (BHKW) bauen und betreiben zu wollen. Jedoch zeigen die Ergebnisse, unabhängig von den jeweils zu untersuchenden technisch sinnvollen Einsatzgrenzen, dass diese Wärmeerzeugung aus Sicht des Primärenergiebedarfs zu favorisieren wären.

Wärmepumpen und Kombinationen zu bivalenten Anlagen müssen mit Blick auf ein Energieeffizienzhaus nach EnEV-2016-Maßstäben sicherlich konkret betrachtet werden. Bei elektrisch angetriebenen Wärmepumpen sollte die Reduzierung des Primärenergiefaktors von 2,4 auf 1,8 zum 01.01.2016 helfen, auch wenn im Gegenzug die EnEV-Anforderungen zum Jahres-Primärenergiebedarf um den Faktor 0,75 gesenkt wurden. Der Referenzwert blieb jedoch unverändert.

Wie am Beispiel von sechs unterschiedlichen Nichtwohngebäudetypen (zum Beispiel Bürogebäude, Gewerbehalle, Handelsgebäude) mit einer Raum-Solltemperatur von unter bzw. über 19 °C ein Energieeffizienzhausstandard nach EnEV 2016 erreicht werden kann, wird unter Kapitel 6 aufgezeigt.

Die Abbildung 38 zeigt den Vergleich zwischen den absoluten Werten zum Nutz-, End- und Primärenergiebedarf zu den Wärmeerzeugervarianten auf. Die bis zum Gebäude gelieferte Endenergie ist nur bei elektrisch angetriebenen Wärmepumpen deutlich reduziert. Generell wird bei der Berechnung des Endenergiebedarfs nach DIN V 18599-5:2011-12 nur der regenerative Energieertrag aus der Umweltwärme und der Solarstrahlung<sup>208</sup> zum Abzug gebracht.



**Abbildung 38:** Vergleich Nutz-, End- und Primärenergiebedarf auf Grund der Wärmezeugung am Beispiel des Modellgebäudes Schulneubau

Beim Beispiel wurde auf die Varianten mit einer Elektroheizung oder solaren Unterstützung verzichtet. Die solare Unterstützung ist nach der Vornorm nur mit Hilfe einer Kombianlage (Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung) möglich.<sup>209</sup>

Variationsmöglichkeiten zur Trinkwassererwärmung [vgl. 5.12.9] sind an dieser Stelle nicht beabsichtigt, da die Variationsvielfalt zu sehr ansteigt und hier die Wärmeer-

208 vgl. DIN V 18599-5:2011-12, S. 29f.

209 vgl. DIN V 18599-5:2011-12, S. 67-75

zeugung für den Heizbetrieb im Vordergrund steht. Im konkreten Einzelfall sollte diese Variante jedoch immer mit bedacht werden. Hier wurden die Berechnungen ohne eine Warmwassererwärmung durchgeführt.

Wie unter 5.12.4 bereits aufgezeigt, wird die Thematik Luftvorerwärmung bei Lüftungsanlagen für Nichtwohngebäude und die damit verbundene Heizenergie in Verbindung mit Wärmepumpen in Teil 5 der Vornorm (Abschnitt 6.5.3.2.3) behandelt. Jedoch wird dies als Anlagenkomponente bei den Beispielen nicht weiter berücksichtigt.

Die Varianten mit Wärmepumpen sehen als Quelle die Außenluft mit Standardwerten<sup>210</sup> zu den Außentemperaturen -7 °C, 2 °C und 7 °C vor. Wenn keine Standardwerte vorgesehen werden sollen, können Herstellerangaben angesetzt werden, was beim konkreten Objekt jedenfalls zu berücksichtigen bzw. zu bevorzugen ist. Die Kennwerte zur relativen Heizleistung und zur Leistungszahl (COP) der tatsächlich einzusetzenden Wärmepumpe beeinflussen die Ergebnisse entsprechend. Tatsächliche Herstellerdaten (höhere COP-Werte) wirken sich in der Regel positiv auf das Bilanzierungsergebnis aus.

Bei Sole-Wasser-Wärmepumpen sind die Kennwerte auf die Temperaturen -5 °C, 0 °C und 5 °C festzulegen. Für Wasser-Wasser-Wärmepumpen sind die Kennwerte für 10 °C und 15 °C relevant.

Bei dem Begriff Wärmepumpen stellt sich mir immer die Frage, warum im Zuge der Wärmerzeugung der Begriff Wärmepumpe verwendet wird und im Zuge der Kälteerzeugung der Begriff Kältemaschine. Auf den ersten Blick ergibt dies natürlich Sinn. Jedoch ist je nach Anlagenkonstellation die gleiche Maschine gemeint, die die Wärme oder wahlweise je nach Witterung oder Jahreszeit die Kälte erzeugt.

Der Teil 5 der Vornorm behandelt Wärmepumpen mit unterschiedlicher Ausführung bzw. in Abhängigkeit der Wärmequelle und Wärmeübertragung. Es ist beispielsweise von einem Luft-Luft-, Luft-Wasser-, Wasser-Wasser- oder Sole-Wasser-System, von einem reversiblen Klimagerät und von einem VRF-System die Rede.<sup>211</sup>

In Anhang B des Teils 5 wird im Zusammenhang mit einem Teillastbetrieb weiter zwischen elektrisch angetriebenen Außenluft-Raumluft-Wärmepumpen mit Direktverdampfung unterschieden. Gemeint sind:

- Kompaktgeräte
- Split- und Simultan-Multi-Systeme
- Multi-Split-Systeme
- VRF-Systeme

<sup>210</sup> vgl. DIN V 18599-5:2011-12, S. 82, S. 85, S. 97 und Anhang A

<sup>211</sup> vgl. DIN V 18599-5:2011-12, S. 75 und S. 77

Erst jetzt wird dem weniger anlagenorientierten Effizienzgebäudeplaner klar, was mit Luft-Luft-Wärmepumpen für den Heizfall gemeint ist.

Der begriffliche Gleichklang zwischen Kälteerzeugern und Wärmepumpen mit Kühlfunktion wird in der DIN V 18599 mit Blick auf Direktverdampfer-Systeme auch in Anlehnung an Tabelle 23 des Teils 7<sup>212</sup> als Kompaktklimagerät, Split-Gerät, Multi-Split-Gerät oder VRF-System hergestellt.

Eine weitere, eher versteckte Information, ist aus Tabelle 11 des Teils 5 der Vornorm ableitbar. Hier werden Nutzungsgrade für die Luftheizung (RLT-Anlage) aufgelistet. Unter dem Begriff Umluftheizung werden Induktionsgeräte, Ventilatorkonvektoren und DX-Systeme aufgeführt. Hier möchte ich ergänzen, dass mit DX-Geräte die Direktverdampfersysteme gemeint sind, die ich zuvor aufgeführt habe.

Weiter werden Wärmepumpen mit Heizwasserverteilung sowie Konvektoren/Radiatoren bzw. Flächenheizung unterschieden.<sup>213</sup>

Für die Anwendung erscheint es mir einfacher, wenn hier die Begriffe und Ansätze zum Heizen und Kühlen, sprich die Teile 5 und 7 der Vornorm für Wärmepumpen mit Heiz- und Kühlfunktion, zusammengeführt werden.

Die Norm DIN EN 14511 Teil 1 bis 4<sup>214</sup> führt Wärmepumpensysteme für die Raumheizung und -kühlung auch im Sinne einer zusammenhängenden Betrachtungsweise auf. Die DIN V 18599 Teil 5 verweist auf die DIN EN 14511 Teil 1 bis 4, wobei es hierin um Begriffe, Prüfbedingungen, Prüfverfahren und Mindestbetriebsbedingungen geht und nicht um die energetische Bilanzierung.

Aktuell muss der Anwender der DIN V 18599 für die Wärmerzeugung eine Wärmepumpanlage nach Teil 5 mit entsprechenden Kennwerten definieren und für die Kühlung muss er im Grunde eine »zweite Anlage« mit Kennwerten und Kreisläufen nach Teil 7 erstellen. Und das obwohl je nach Anlagenkomponenten die gleiche Maschine gemeint ist. Ihr Kreislaufsystem soll einerseits heizen und andererseits kühlen. Die Berechnungsansätze gehen dabei im Heizfall von der Außenluft als eine mögliche Quelle und im Kühlfall von der Raumluft als Quelle aus.

Es stellt sich nun die Frage, wie das passende Kühlsystem bei den vorgenannten Wärmepumpen oder umgekehrt im Sinne der Bilanzierung nach DIN V 18599 aufgebaut wird. Weiter stellt sich die Frage warum die Vornorm hierzu keine Vorgaben und Lösungsbeispiele präsentiert. Oder habe ich in der Vornorm etwas übersehen?

212 vgl. DIN V 18599-7:2011-12, S. 52

213 vgl. DIN V 18599-5:2011-12, Anhang B, S. 150 f.

214 DIN EN 14511 Teil 1 bis 4, Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumheizung und -kühlung

Bei getrennten Anlagenkomponenten, das heißt bei einem vom Heizsystem unabhängigen Kühlsystem und beispielsweise der Differenzierung in einen Kaltwassersatz bzw. in eine Direktverdampfung, erscheint mir der Aufbau der Vornorm ausreichend plausibel. Schwerer fällt der Umgang mit Wärmepumpen, die gleichzeitig zum Heizen und Kühlen eingesetzt werden.

In Tabelle 23 des Teils 7<sup>215</sup> sind die Kälteerzeugungssysteme übersichtlich dargestellt. Der Begriff Wärmepumpe ist nicht dabei. Bei luftgekühlten Systemen wird in Tabelle 23 des Teils 7 in indirekte (Wasserkühlmaschinen) und direkten Systemen (Direktverdampfer, Raumklimasysteme) unterschieden.

Den direkten Systemen werden die zuvor erwähnten Kompaktgeräte, Split-Geräte, Multi-Split-Geräte und VRF-Systeme zugeordnet.

Den indirekten Systemen mit einem Wasserkreislauf werden zum einen die Kompakt- und Split-Bauweise und zum anderen Kolben-, Scroll- und Schraubenverdichteranlagen zugeordnet.

#### **Anmerkungen des Autors:**

Diese Vorgehensweise zu Wärmepumpen mit Heiz- und Kühlfunktion erscheint mir nachbesserungswürdig bzw. könnte vereinfacht werden. Insbesondere da in der Regel die Kenntnisse zur Bautechnik stärker ausgeprägt sind als zur Anlagentechnik. Ich hoffe, dass sich die Mehrheit der Leser bzw. der Effizienzhausplaner damit identifizieren kann. Ich möchte niemandem eine nicht ausreichende Anlagenkenntnis unterstellen, jedoch ist der Bezug zur Bautechnik doch eher dominant. Umgekehrt muss sich der reine Anlagenplaner auch nicht mit dem baulichen Feuchteschutz, den Wärmebrücken, der Materialvielfalt, der sonst anstehenden baulichen Themen und auch nicht prophylaktisch mit etwaigen Mängelbildern und Schäden am Gebäude beschäftigen. In der Regel ist der Anlagenplaner auch nicht vollumfänglich für das Gebäude verantwortlich.

Nachfolgend sind einige Beispiele zu Komponenten bei Wärmepumpenanlagen mit Heiz- und Kühlfunktion als Diskussionsgrundlage und zur weiteren Anregung im Umgang mit Wärmepumpen aufgeführt. Die Anlagenkomponenten in den Beispielen sind in Anlehnung an die DIN V 18599 und die angewendete Software so gewählt, wie der Autor sie als sinnvoll erachtete. Möglicherweise kommen auch andere Ansätze in Betracht.

215 vgl. DIN V 18599-7:2011-12, S. 52

Beispiel 1, Luft-Wasserwärmepumpe mit Flächenheizung, keine RLT-Anlage:

*Heizfall:*

- Wärmeerzeuger: Luft-Wasser-Wärmepumpe, keine Nachheizung
- Pufferspeicher
- Wärmequelle: Außenluft
- Wärmeverteilsystem: Flächenheizung

*Kühlfall:*

- Luftgekühlte Kompressionskältemaschine, indirektes System
- Kolben- und Scrollverdichter
- Auslegungstemperatur für Bauteilaktivierung, 18 °C/20 °C

Beispiel 2, Abwasserwärmepumpe mit Flächenheizung, keine RLT-Anlage:

*Heizfall:*

- Wärmeerzeuger: Wasser-Wasser- oder Sole-Wasser-Wärmepumpe
- Pufferspeicher
- Wärmeverteilsystem: Flächenheizung

*Kühlfall:*

- Wassergekühlte Kompressionskältemaschine (Kolben- und Scrollverdichter), indirektes System oder als Ersatzsystem geothermische Kühlung (Grundwasser)
- Rückkühlkreis: Der Verflüssiger wird mit einem Wasserkreislauf gekühlt. Hierzu kann lediglich ein Nass- bzw. Verdunstungs- oder Trockenrückkühler gewählt werden, wobei beide Systeme für die Wärmeabgabe an die Luft gedacht sind. Eine Wärmeübertragung von einem Wassersystem auf ein weiteres Wassersystem (hier Abwasser oder zum Beispiel Grundwasser/Gewässer) kann aus Sicht des Autors nach DIN V 18599 über die geothermische Kühlung simuliert werden. Es ist daher eine ingenieurmäßige Aufgabe die Komponenten im Sinne der DIN V 18599 auszuwählen. Bei der Wahl der geothermischen Kühlung als Ersatzmaßnahme für die Berechnung, entfällt der Antrieb für den Rückkühlkreis, wobei dies in Bezug auf das Gesamtergebnis eher vernachlässigbar ist [vgl. Abbildung 39, 5.12.8].

Beispiel 3, Luft-Wasser-Wärmepumpe, RLT-Anlage:

*Heizfall:*

- Wärmeerzeuger: Luft-Wasser-Wärmepumpe, keine Nachheizung
- Pufferspeicher
- Wärmequelle: Außenluft
- Wärmeverteilersystem: Wasser

- Übergabekomponente: Luftheizung
- Art der Heizung: Nachheizung der Zuluft

*Kühlfall:*

- Luftgekühlte Kompressionskältemaschine, indirektes System
- Kolben- und Scrollverdichter
- Art der Übergabe: Ventilatorkonvektor mit Lüftungsfunktion (Brüstungs- oder Deckengerät)
- Auslegungstemperatur 14 °C/18 °C (Ventilatorkonvektor/Induktionsgerät)

Beispiel 4, Luft-Luft-Wärmepumpe/VRF-System (DX-System), keine RLT-Anlage:

*Heizfall:*

- Wärmeerzeuger: Luft-Luft-Wärmepumpe, keine Nachheizung
- kein Pufferspeicher
- Wärmequelle: Außenluft
- Auch wenn keine Verluste für die Wärmeverteilung entstehen, ist in der Software ein Ansatz zu wählen:
  - Übergabekomponente: Luftheizung
  - Art der Luftheizung: Umluftheizung (Ventilatorkonvektor/Induktionsgerät)

*Kühlfall:*

- Direktverdampfersystem
- als VRF-System mit variablem Kältemittelmassenstrom
- Teillastregelung: beispielsweise stetige Regelung für Mehrzonensystem
- direktes System, keine Verteilung
- Übergabe: Inneneinheit – Deckenkassetten

Unter 5.12.8 werden verschiedene Varianten zwecks Vergleiches mit Blick auf das prozentuale Verhältnis des Jahres-Primärenergiebedarfs ( $Q_p$ ) zum Referenzwert am Beispiel eines Modellgebäudes dargestellt und erläutert, daher verweise ich auf 5.12.8.

Zu VRF-Systemen und ihre modellhafte Nachbildung in der Bilanzierung nach EnEV bzw. nach DIN V 18599 sei Folgendes ergänzt: Im Oktober 2009 wurden im Teil 100 als Änderungs- und Ergänzungsteil der Vornorm VRF-Systeme in das Rechenverfahren für Wärmepumpen mit Außenluft als Wärmequelle aufgenommen. In der aktuellen Fassung ging dieser Sachverhalt in Teil 5 der DIN V 18559 ein.<sup>216</sup>

216 vgl. Daikin, 2015, S. 1

### 5.12.7 Anmerkungen zur DIN V 18599-6: Endenergiebedarf von Lüftungsanlagen, Luftheizungsanlagen und Kühlsystemen für den Wohnungsbau

Dieser Teil der Vornorm ist für unsere Betrachtungen zu Nichtwohngebäuden nahezu unbedeutend, da sich der Teil mit dem Wohnungsbau beschäftigt.

In Teil 2 der Vornorm wird jedoch für den Fall, dass Lüftungsanlagen nur einen Teil des notwendigen Mindestluftwechsels übernehmen, auf den Teil 6 (Abschnitt 5.3.2) verwiesen. Dann ist die Zuluft-Wechselrate nach Teil 6 der Vornorm zu verwenden.<sup>217</sup>

In der Bilanzierung werden demnach für RLT-Anlagen, die nur teilweise den Mindestaußenluftwechsel erfüllen, die Zuluft-Wechselrate gemäß Teil 6 angesetzt.

Die Zuluft-Wechselrate beeinflusst wiederum den Energiebedarf zum Heizen der Außenluft.

In Teil 6 wird ebenso die regenerative Luftvorwärmung beispielsweise durch Erdkanäle in Verbindung mit Wärmepumpen behandelt. Jedoch ist der Teil 6 für Lüftungsanlagen von Nichtwohngebäuden nicht von Belang [vgl. 5.12.4 und 5.12.7]. Hier kommt der Teil 7 der Vornorm ins Spiel.

### 5.12.8 Einfluss von Lüftungsanlagen in Kombination mit Heizen und Kühlen nach DIN V 18599-7: Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau

In Teil 2 und 3 der Vornorm [vgl. 5.12.3 und 5.12.4] wird der Nutzenergiebedarf für Heizen, Kühlen und die energetische Luftaufbereitung behandelt. Teil 5 beschäftigt sich mit der Endenergie von Heizsystemen, wobei im Unterschied zur Nutzenergiebetrachtung auch die Wärmeübergabe, -verteilung und -erzeugung von großer Bedeutung ist. Der Primärenergiebedarf lässt sich schließlich auf Grund der Energiequellen mit Hilfe des Endenergiebedarfs berechnen.

Der Teil 7 rundet nun die Betrachtungen im Sinne der Vornorm zum Endenergiebedarf und somit auch zum Primärenergiebedarf ab und geht entsprechend auf die Anlagenkomponenten zur Luftaufbereitung inklusive Heizen und Kühlung sowie auf Klimakältesysteme ein. Zunächst wird versucht den Teil 7 der Vornorm für die anwendungsorientierte Bilanzierung aufzubereiten und Beispiele aufzuzeigen. Erst nach der Darstellung von Beispielen und den Einflüssen wird ein Versuch unternommen, die Gesamtsystematik zu Heizen, Kühlen und Lüften in einer Abbildung zu verdeutlichen.

<sup>217</sup> vgl. DIN V 18599-2:2011-12, S. 60

Auf Grund der aufgeführten Beispiele soll das Verständnis zur Gesamtsystematik unterstützt werden.

Beim nachfolgenden Versuch auf den Teil 7 einzugehen, erfolgt dies aus Sicht der Anwendung der Vornorm und des Effizienzhausplaners, der kein Anlagenspezialist bzw. TGA-Fachplaner ist und ihm einige Anlagenkomponenten und Anlagenkombinationen möglicherweise nicht so verständlich sind, wie dem TGA-Spezialisten.

Auf der anderen Seite kann der Effizienzhausplaner Anlagenkombinationen und Varianten betrachten sowie Empfehlungen liefern, die nicht nur dem Blickwinkel eines TGA-Planers entsprechen. Dadurch kann er insgesamt an der energieeffizienten Gebäudeplanung und Umsetzung mitwirken und diese Planung beeinflussen.

In Teil 7 der Vornorm spielen der Wärmeverlust durch Luftführung, Lufttransport, Luftverteilung und Speicherung für das Heiz- und Kühlregister der RLT-Anlage oder Heizen und Kühlen mit Hilfe sonstiger Komponenten, auch unter Berücksichtigung der außerhalb des Gebäudes liegenden Luftkanalflächen und der monatlichen Heiz- und Kühlzeit eine Rolle.

In die Berechnung fließen Ansätze für eine bedarfsabhängige Luftvolumenstromregelung ein, wodurch sich im Mittel geringere Außenluftvolumenströme ergeben. Ebenso fließt das Kältesystem (zum Beispiel Kaltwassersystem 6 °C/12 °C oder Direktverdampfung) ein.<sup>218</sup>

Bei einer Raumkühlung, die nicht über eine RLT-Anlage gewährleistet wird, die alternativ beispielsweise durch eine Kühldecke oder die Bauteilaktivierung erfolgen soll, werden Faktoren für Nutzungsgrade berücksichtigt. Die Hilfsenergie für die Raumkühlung in Abhängigkeit der Übergabesysteme (zum Beispiel Inneneinheit als Deckenkassette) sowie der Nutzenergiebedarf für Dampfbefeuchtung werden ebenso berücksichtigt.

Die Befeuchtung mit Wasser wird hingegen bereits in Teil 3 der Vornorm betrachtet.<sup>219</sup> Bei einer Raumkühlung zum Beispiel mit Hilfe einer Kühldecke entfällt die Be- und Entfeuchtung.

Hinzu kommen Energieaufwendungen für die hydraulische Verteilung von Wasserkreisläufen mit Hilfe von Pumpen. Dabei werden Kaltwassernetze und Kühlwassernetze unterschieden. Das Kaltwassernetz versorgt von der Kältemaschine aus die Verbraucher, und das Kühlwassernetz dient der Rückkühlung der Kälteanlage und stellt beispielsweise eine Verbindung zum Kühlturn her.

218 vgl. DIN V 18599-7:2011-12, Tabelle 11 und 12, S. 31-34

219 vgl. DIN V 18599-7:2011-12, S. 36 f. und S. 31

Die Hilfsenergie der Pumpen ist wiederum von etlichen Faktoren abhängig, beispielsweise von den hydraulischen Verhältnissen bzw. den Druckverlusten, den Pumpenbetriebszeiten auf Grund einer Regelung und einem Pumpeneffizienzfaktor. Nebenantriebe, wie der Motoreneinsatz für Kreislaufverbundsysteme im Zuge der Wärmerückgewinnung, der Antrieb eines Rotationswärmetauschers oder der Pumpe für die Wasserbefeuchtung werden ebenfalls, je nach System, berücksichtigt.

Die Vornorm unterscheidet auf der Verflüssigerseite wassergekühlte von luftgekühlten Kompressionskältemaschinen, die wiederum auf der Verdampferseite Wärme mit Hilfe eines Kältemittelkreislaufs aus einem Wasserkreislauf abgeben. Alternativ wird die Wärme direkt über einen Kältemittelkreislauf übertragen. In Tabelle 23 des Teils 7 der Vornorm sind die Varianten zu indirekten Systemen und Direktverdampfersystemen zusammengestellt.

Werden in Teil 7 Wärmepumpen betrachtet, werden die Begriffe Luft-Luft,- Luft-Wasser- und Wasser-Wasser-Wärmepumpe benutzt. In Tabelle 23 des Teils 7 ist ergänzend die Absorptionskältemaschine aufgeführt.

In den Tabellen 25 bis 28 der Vornorm werden die Arten der Teillastregelungen und die Nennkälteleistungszahlen für wasser- und luftgekühlte Kompressionskältemaschinen in Abhängigkeit des Kältemittels, der Kühlwasser- und Kaltwassertemperaturen aufgeführt. Für Raumklimasysteme (Kompaktklimageräte, Split- und Multi-Split-System sowie VRF-Systeme) folgen die Angaben in Tabelle 29 bis 31 der Vornorm (Teil 7).

Das Konzept bzw. die Systematik nach DIN V 18599 insgesamt und die einzelnen Kennwerte müssen für die endgültige Bilanzierung in Abstimmung mit der TGA-Planung oder mit Ausrütern festgelegt werden. Für erste Berechnungen sind jedoch eigene Annahmen zu Systemkomponenten ausreichend, wobei sich auch hierbei der bautechnisch orientierte Effizienzgebäudeplaner/Energieberater sehr tiefgründig mit der Gebäudetechnik beschäftigen muss.

Für die Annahmen, die er während des Planungs- und Genehmigungsprozesses bis zur Realisierung des Gebäudes treffen muss, empfehlen sich Variantenberechnungen. Nur dadurch entsteht ein Erfahrungszugewinn im Umgang mit Bilanzierungsergebnissen und mit den relevanten Einflüssen infolge der angenommenen Randbedingungen.

Aus meiner Erfahrung muss der Bilanzaufsteller auch dann noch Annahmen treffen, wenn ein TGA-Fachplaner beratend bzw. mitwirkend zur Verfügung steht und insbesondere dann, wenn die Gebäudetechnik sehr komplex und vielschichtig ist. Letztlich bleibt die Abbildung der Gebäudetechnik nach DIN V 18599 eine ingenieurmäßige Aufgabe. Dieser Aufgabe muss sich derjenige stellen, der die Energiebilanzierung aufstellt und zu vertreten hat.

Welchen Einfluss Randbedingungen und Systemkomponenten auf das Bilanzierungsresultat haben, wird auch hier mit Hilfe von ausgewählten Beispielen aufgezeigt. Nachfolgend werden drei Vergleiche aufgeführt, die auf einem Modellgebäude basieren. Das angenommene, vereinfachte Modellgebäude zu einem Schulneubau besitzt jeweils, bis auf die beschriebenen Unterschiede, die gleichen Randbedingungen.

Je nach Nutzungsart (hier Zone 8: Klassenzimmer) wählt die angewendete Software in Abhängigkeit der Zone automatisch die in der DIN V 18599 hinterlegten Randbedingungen. Beispielsweise werden Freikühlfaktoren für Rückkühlwerke im Alternativbetrieb je Zone in Tabelle 38 der DIN V 18599-7 aufgeführt, die die Software in relevanten Fällen automatisch verwendet.

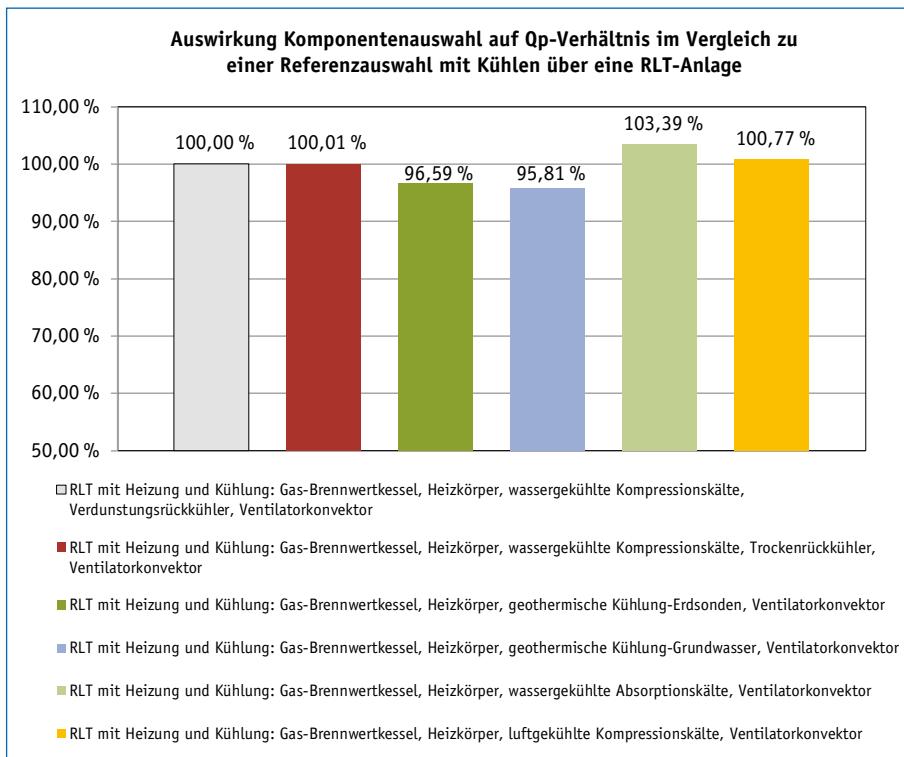
Als weiteres Beispiel sind die Standardwerte zur Nennkälteleistungszahl für wassergekühlte Kompressionskältemaschinen nach Tabelle 26 der DIN V 18599 Teil 7 in Abhängigkeit des Kältemittels und Kühlwassertemperaturen aufgeführt.

In Abbildung 39 werden Varianten zur Kühltechnik mit Hilfe des Modellgebäudes »Schule« verglichen. Die Heizung erfolgt mit Hilfe eines Gas-Brennwertkessels. Statistisch wird über Heizkörper und zusätzlich über ein Heizregister der RLT-Anlage (Wärmerückgewinnungsgrad = 65 %) geheizt. Weiterhin ist über das zentrale RLT-Gerät<sup>220</sup> eine Luftkühlung geplant. Die Varianten unterscheiden sich in der Wahl der Kälteerzeuger<sup>221</sup>, wobei die erste Variante die Referenzvariante mit dem prozentualen Ausgangsbezug von 100 % zum Qp-Wert-Verhältnis zwischen Qp-Wert Gebäude und Qp-Referenzwert des Gebäudes darstellt. Nachfolgend sind die Varianten beschrieben:

- wassergekühlte Kompressionskältemaschine mit Verdunstungsrückkühler gemäß DIN V 18599-7:2011-12, S. 54–56
- wassergekühlte Kompressionskältemaschine mit Trockenrückkühler gemäß DIN V 18599-7:2011-12, S. 54–56
- geothermische Kühlung mittels Erdsonden gemäß DIN V 18599-7:2011-12, S. 77
- geothermische Kühlung mittels Grundwasser gemäß DIN V 18599-7:2011-12, S. 76
- wassergekühlte Absorptionskältemaschine, Rückkühlung: gewählt als Verdunstungsrückkühler gemäß DIN V 18599-7:2011-12, S. 62–64
- luftgekühlte Kompressionskältemaschine gemäß DIN V 18599-7:2011-12, S. 57–59

220 vgl. DIN V 18599-7:2011-12, S. 53, Tabelle 24

221 vgl. DIN V 18599-7:2011-12, S. 52, Tabelle 23



**Abbildung 39:** Vergleich Qp-Verhältnis von Varianten mit Kühlung über RLT-Anlage zu einer Referenztechnik am Beispiel des Modellgebäudes Schulneubau

Es wird gemäß Abbildung 39 erkennbar, dass die Komponentenauswahl keine deutlichen Auswirkungen auf das Ergebnis haben. Die Abweichungen zur Absorptionsmaschine (plus 3 %) und zur geothermischen Kühlung (minus 5 %) sind etwas größer. Auch wenn diese Verfahren in der Regel selten zum Einsatz kommen, war hier das Aufzeigen der Auswirkungen an einem Beispiel beabsichtigt.

Wenn der angedachte Effizienzhausstandard im Einzelfall nur mit Hilfe einer geothermischen Kühlung realisierbar ist, sollte ergänzend die Wirtschaftlichkeit und die betrieblichen Randbedingungen betrachtet werden.

Beim zweiten Vergleich kommt wiederum eine RLT-Anlage (Wärmerückgewinnungsgrad = 65 %), jedoch ohne Kühlfunktion zum Einsatz. Die Heizleistung wird nun mit Hilfe erneuerbarer Energien und Wärmepumpen sichergestellt bzw. durch eine bivalente Betriebsweise in Kombination mit einer Gas-Brennwertkesselanlage.

Der Heizwasserkreislauf wird jeweils durch die Wärmepumpen bzw. bivalente Anlage versorgt. Die Kennwerte zu den Wärmepumpen wurden gemäß DIN V 18599 Teil 5, Anhang A in Abhängigkeit des Typs gewählt (Standardwerte). Die Heizungsanlage versorgt eine Flächenheizung und das Heizregister der RLT-Anlage. Es ist ein Pufferspeicher vorgesehen. Die Kühlung erfolgt jeweils statisch über die Bauteilaktivierung bzw. über Kühldecken, was einem Raumsystem entspricht.<sup>222</sup> Die Varianten unterscheiden sich in der Definition der Heiz- und Kühlsysteme nach DIN V 18599 wie folgt, wobei wiederum die erste Variante den 100%-Bezug zum Qp-Wert des Beispiels darstellt (Verhältnis Qp-Wert Gebäude zum Qp-Referenzwert des Gebäudes):

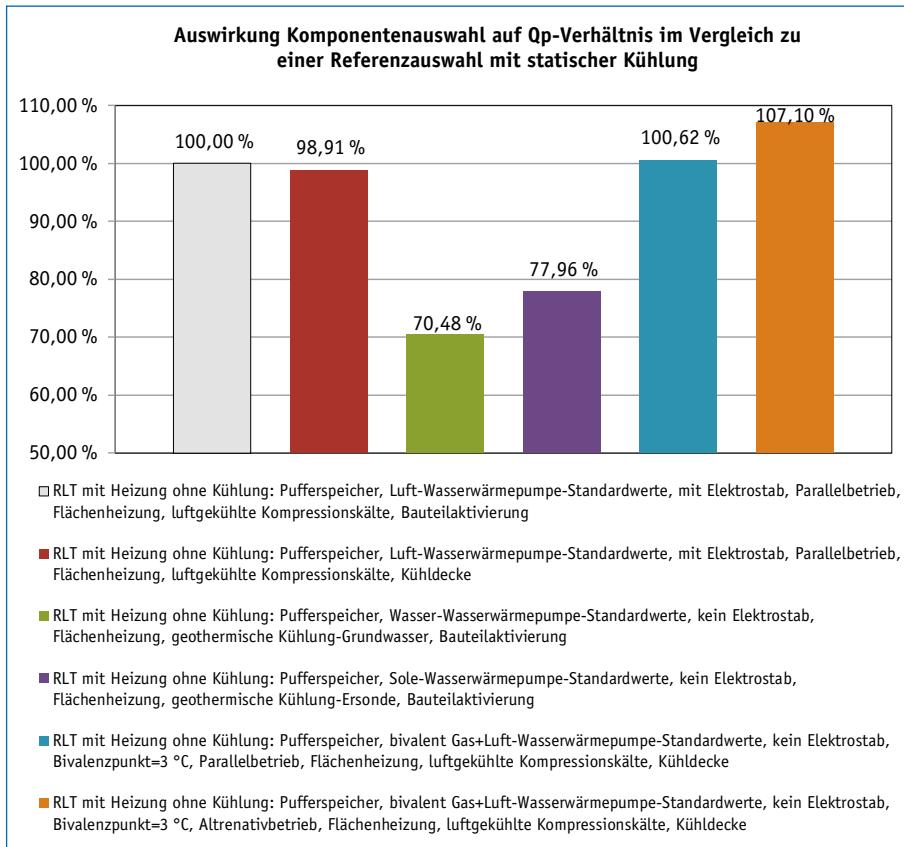
- Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Elektronachheizung, Parallelbetrieb, luftgekühlte Kompressionskältemaschine, Bauteilaktivierung
- Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Elektronachheizung, Parallelbetrieb, luftgekühlte Kompressionskältemaschine, Kühldecke
- Wasser-Wasser-Wärmepumpe ohne Elektronachheizung, geothermische Kühlung-Grundwasser, Bauteilaktivierung
- Sole-Wasser-Wärmepumpe ohne Elektronachheizung, geothermische Kühlung-Grundwasser, Bauteilaktivierung
- bivalente Anlage: Gas-Brennwertkessel und Luft-Wasser-Wärmepumpe ohne Elektronachheizung, Parallelbetrieb, Bivalenzpunkt 3 °C, luftgekühlte Kompressionskältemaschine, Kühldecke
- bivalente Anlage: Gas-Brennwertkessel und Luft-Wasser-Wärmepumpe ohne Elektronachheizung, Alternativbetrieb, Bivalenzpunkt 3 °C, luftgekühlte Kompressionskältemaschine, Kühldecke

Gemäß Abbildung 40 sind die Abweichungen zu den Varianten mit einer Kühldecke bzw. der Bauteilaktivierung beim Betrieb einer Luft-Wasser-Wärmepumpe bzw. als bivalente Anlage im Parallelbetrieb unerheblich.

Ist ein Alternativbetrieb (ab Bivalenzpunkt wird nur Gaskessel betrieben) geplant, wird das Verhältnis zum Referenzwert im Beispiel um rund 7 % ungünstiger.

Bei der geothermischen Kühlung mit Hilfe des gewählten statischen Systems der Bauteilaktivierung (im Heizfall: Flächenheizung) werden deutlichere Vorteile als bei der Kühlung über eine RLT-Anlage erzielt [vgl. Abbildung 39], da das Medium Wasser im Vergleich zum Medium Luft ein effizienterer Wärme- bzw. Kälteträger ist. Je nach Verfahren reduziert sich das Verhältnis zum betrachteten Referenzbezug um bis zu etwa 30 %.

222 vgl. DIN V 18599-7:2011-12, S. 53, Tabelle 24



**Abbildung 40:** Vergleich Qp-Verhältnis von Varianten mit statischer Kühlung zu einer Referenztechnik am Beispiel des Modellgebäudes Schulneubau

Der letzte Vergleich betrachtet direkte Systeme (Direktverdampfung) ohne Einsatz von Wasserkreisläufen. Dafür wird beim Modellgebäude »Schulneubau« auf eine RLT-Anlage verzichtet, auch wenn die Direktverdampfung im Zusammenhang mit zentralen RLT-Anlagen ebenso eingesetzt werden kann.

In Abbildung 41 wird als bildhaftes Beispiel eine außen aufgestellte zentrale Lüftungsanlage während der Endmontage gezeigt, die ausschließlich durch Luft-Luft-Wärmepumpen (Direktverdampfung) im Heiz- sowie im Kühlbetrieb versorgt wird. Der Außenluftvolumenstrom wird nach Bedarf zugemischt. Der größere Anteil des Luftvolumenstroms wird durch einen Umluftbetrieb erzeugt. Ergänzend ist der Radialventilator abgebildet.



**Abbildung 41:** Lüftungsanlage mit Luft-Luft-Wärmepumpe (Direktverdampfung) [Fotos: Achim Hamann]

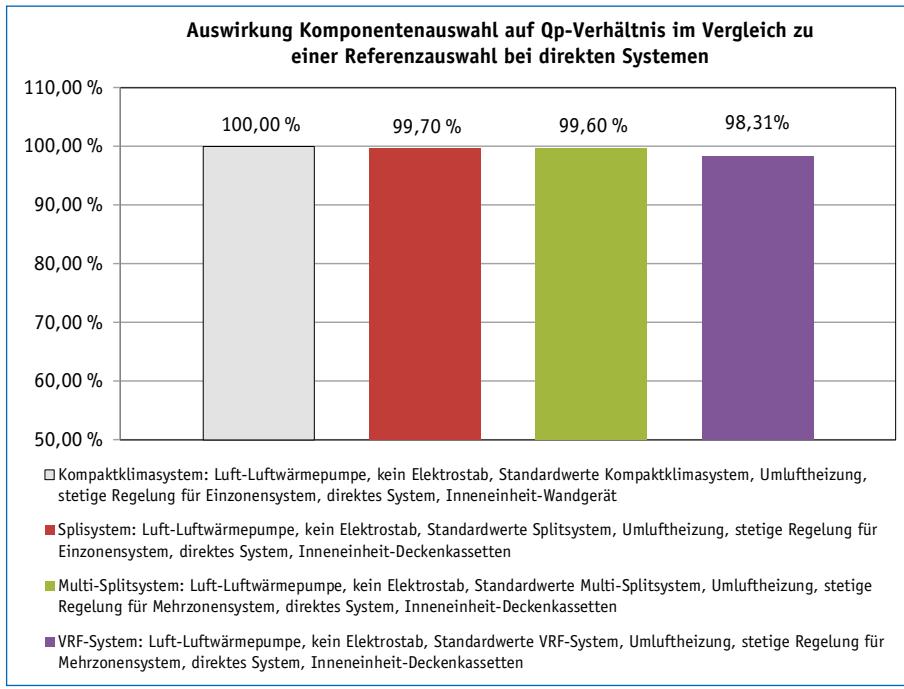
Beim nächsten Bilanzierungsbeispiel werden vier Varianten zur Heizung und Kühlung untersucht. Der Wärmeerzeuger wird nach DIN V 18599 jeweils mit einer Luft-Luft-Wärmepumpe (ohne Elektronachheizung) abgebildet, wobei eine Umluftheizung und keine Nachheizung der Zuluft angenommen wird. Die Kennwerte zur Wärmepumpe werden nach Anhang A der DIN V 18599 Teil 5 je nach Typ des Direktverdampfersystems angewendet (Standardwerte).

Der Ansatz zum Kälteerzeuger wird je nach Verfahren variiert. Die erste Variante stellt den 100 %-Bezug zum QP-Wert (Verhältnis Qp-Wert Gebäude zum Qp-Referenzwert des Gebäudes) dar.

- Kompaktklimasystem gemäß DIN V 18599-7:2011-12, S. 59–60, stetige Regelung für Einzonensystem, Inneneinheit: Wandgerät
- Split-System, stetige Regelung für Einzonensystem, Inneneinheit: Deckenkassetten
- Multi-Split-System, stetige Regelung für Mehrzonensystem, Inneneinheit: Deckenkassetten
- VRF-System nach DIN V 18599-7:2011-12, S. 65, stetige Regelung für Mehrzonensystem, Inneneinheit: Deckenkassetten

Abbildung 42 zeigt den prozentualen Vergleich zum 100 %-Bezug der Ausgangsvariante und somit den Einfluss der jeweiligen Anlagenkomponenten auf das Verhältnis »Qp-Wert Gebäude zum Qp-Referenzwert des Gebäudes«.

Die Unterschiede sind bei direkten Systemen beim Beispiel vernachlässigbar. Das VRF-System zeigt geringfügige Vorteile mit Blick auf die Gesamtbilanzierung des Modellgebäudes.



**Abbildung 42:** Vergleich Qp-Verhältnis von Varianten mit direkter Heizung und Kühlung zu einer Referenztechnik am Beispiel des Modellgebäudes Schulneubau

Ein zusammengefasster Vergleich des Einflusses auf das Verhältnis des Qp-Wertes des Gebäudes zum Qp-Referenzwert des Gebäudes war nicht für alle untersuchten Varianten gemäß der Abbildungen 39, 40 und 42 sinnvoll darstellbar, da sich je nach Konfiguration der Gebäudetechnik der berechnete Qp-Wert des EnEV-Referenzgebäudes als Grundlage verändert.

Der Referenzgebäude-Bezug nach EnEV stellt jedoch immer die Basis zur Beurteilung eines Effizienzgebäudes dar, es sei denn, es werden freie Berechnungen durchgeführt, und es wird kein Abgleich mit der EnEV beabsichtigt.

Innerhalb einer gleichen Basis zum Qp-Referenzwert konnte der Einfluss der unterschiedlichen Ansätze zur Gebäudetechnik am Beispiel »Schulneubau« aufgezeigt werden. Gleichzeitig wurde mit den Varianten deutlich, wie Wärmepumpen als Wärme- oder Kälteerzeuger nach DIN V 18599 modelliert werden können.

Ergänzend zu den aufgeführten Beispielen sind noch viele weitere Anlagenkombinationen denkbar, die im konkreten Fall in Abstimmung mit dem Fachplaner, dem Bauherrn und in Anlehnung an die Vornorm bilanziert werden können. Ziel ist es

immer ein energieeffizientes (Bezug: KfW-Anforderungen, EnEV und EEWärmeG) und nachhaltiges Gebäude zu schaffen.

Beispielsweise ist eine RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung und einzelnen Raumgeräten (Induktionsgeräte, Ventilatorkonvektoren, aktive Deckenkühlkonvektoren mit Induktionseinrichtung) mit Wasser- und Luftanschluss möglich. Auch passive Geräte ohne Luftanschluss sind einsetzbar. In Tabelle 5 des Teils 7 der Vornorm sind diverse Systemvarianten dargestellt.

Unter die Kombinationsvielfalt fallen im Allgemeinen zunächst RLT-Anlagen als Luft-Wasser-Anlagen mit Induktionsgeräten oder Ventilatorkonvektoren. Weiterhin gehören zu den Luft-Wasser-Systemen die Kühldecken und die Bauteilaktivierung, auch wenn die Raumkühlung ohne Einsatz der Außenluft<sup>223</sup> erfolgt.

Bei Nur-Luft-Anlagen sind zunächst 1-Kanal- und 2-Kanal-Anlagen zu unterscheiden. Bei 1-Kanal-Anlagen wiederum werden diese mit konstantem oder variablem Volumenstrom vorgesehen. Der variable Volumenstrom wird realisiert, wenn mit Hilfe der Erhöhung des vorkonditionierten Außenluftvolumenstroms die Raumkühlung<sup>224</sup> geplant ist. Letztlich sind Raumklimasysteme als Direktverdampfersysteme zu nennen.

Generell wird die zentrale und dezentrale Außenluftaufbereitung unterschieden. Bei der dezentralen Außenluftaufbereitung wird raumweise ohne Luftkanalsystem konditioniert.

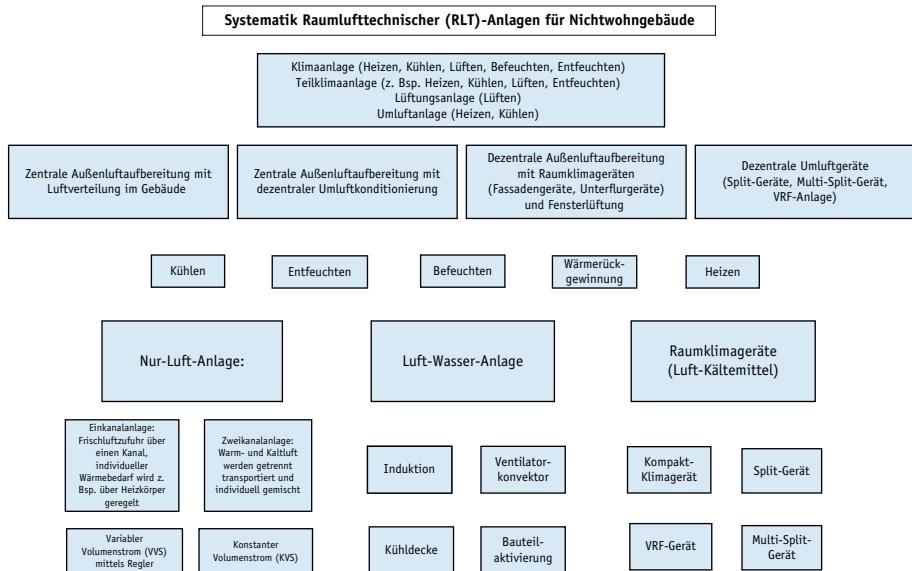
Die folgende Abbildung 43 versucht die vielfältigen Möglichkeiten zu veranschaulichen, wobei je nach Funktion der Raumlufttechnischen Anlage zwischen einer Lüftungsanlage, einer Teilklimaanlage und einer Klimaanlage unterschieden wird.

Die Abbildung führt auch die zentrale Außenluftaufbereitung in Kombination mit dezentralen Umluftgeräten auf. Ergänzend ist die Anlagenkombination für reine Umluftgeräte mit aufgenommen. Je nach Gebäudetyp werden für die unterschiedlichen Bereiche oder zur Erfüllung eines Gesamtkonzeptes Kombinationen von zentralen und dezentralen Einheiten zur Konditionierung der Luft bzw. der Räume oder eines großen Raumes, wie beispielsweise bei einer Handelsfläche, eingesetzt.

Insgesamt ist es die Aufgabe des Energiebilanzaufstellers im Rahmen der EnEV, der DIN V 18599, des EEWärmeG und evtl. auf Basis der Grundlage von KfW-Bedingungen die Technik zum Heizen, Kühlen und Lüften mit Hilfe von Softwareprodukten nach DIN V 18599 abzubilden. Weitere Normen und projektspezifische Randbedingungen sind ebenso zu beachten. Insbesondere ist dabei ein freies und ingenieurmäßiges Denken mit Hang zur Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit gefordert.

223 vgl. DIN V 18599-3:2011-12, S. 9

224 vgl. DIN V 18599-3:2011-12, S. 9



**Abbildung 43:** Systematik zu Raumlufttechnischen Anlagen (RLT)

Die folgenden Abbildungen zeigen zwecks Veranschaulichung einige Anlagenkomponenten. In Abbildung 44 werden ein zentrales, außen aufgestelltes Lüftungsgerät und ein Kreuzstromwärmetauscher gezeigt.



**Abbildung 44:** Außen aufgestellte Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Kreuzstromwärmetauscher bei der Montage [Fotos: Achim Hamann]

Abbildung 45 zeigt ein kompaktes, innen aufgestelltes Lüftungsgerät mit Kreuzstromwärmetauscher und Heizregister. Es versorgt das Untergeschoss und den Wellnessbereich eines Hotels mit Frischluft und saugt die Abluft an.



**Abbildung 45:** Kompaktlüftungsgerät, Wärmerückgewinnung und Heizregister [Foto: Achim Hamann]



**Abbildung 46:** Deckenventilator bei hohen Hallen zur Rückführung des Wärmepolsters im Deckenbereich in den Aufenthaltsbereich [Fotos: Achim Hamann]

In Abbildung 46 wird ein Beispiel zur Rückführung der Wärme aus dem Deckenbereich in den Aufenthaltsbereich bei hohen Hallenkonstruktionen gezeigt. Im Beispiel ist die Halle bis 18 Meter hoch. Die Frischluftführung ist deutlich unterhalb zu erkennen.

Abbildung 47 veranschaulicht ein Kompaktlüftungsgerät, welches im Beispiel an der Decke installiert ist. Es verfügt über einen Doppel-Rotationswärmetauscher und

versorgt Hotelzimmer auf verschiedenen Etagen mit Frischluft, wobei gleichzeitig die Abluft angesaugt wird. Ergänzend dazu sind zur Vervollständigung der Anlagenkonfiguration in Abbildung 48 die Außeneinheit (Luft-Luft-Wärmepumpe) und ein Innengerät in einem Hotelzimmer während der Bauphase dargestellt. Die Inneneinheit ist als kompaktes Flachgerät mit Anschlüssen an das Lüftungsgerät oberhalb der abgehängten Decke eingebaut. Erkennbar sind die Revisionsöffnung, die Luftsaugöffnung und der Luftauslass. Die Außen- und Inneneinheit stellt ein VRF-System dar und sorgt im Hotelzimmer für die Nachheizung bzw. die Kühlung. Zwischen der Außen- und der Inneneinheit sind Kältemittelleitungen verlegt.



**Abbildung 47:** Kompaktlüftungsgerät mit Doppel-Rotationswärmetauscher [Fotos: Achim Hamann]



**Abbildung 48:** Luft-Luft-Wärmepumpe als Außeneinheit und eingebautes Deckeninnengerät mit Frischluftzufuhr zum Heizen und Kühlen (VRF-System) [Fotos: RS-Plan AG]

In Abbildung 49 sind Komponenten einer Luft-Wasseranlage dargestellt. Der sogenannte Luftheizer im linken Bild saugt die Frischluft zusammen mit der Umluft im Mischluftbetrieb an. Im rechten Bild ist die Variante als dezentrale Umluftkonditionierung mit Anschluss an den Heizkreis dargestellt. Die Geräte können generell als Heiz- oder Kühlgeräte ausgelegt werden. Je nach System und Bedarf wird der Wasserkreislauf als Heiz- oder Kühlkreislauf betrieben.



**Abbildung 49:** Luftheizer mit Mischluft- und Heizkreisanschluss bzw. als Umluftvariante nur mit Heizkreisanschluss [Fotos: Achim Hamann]

Abschließend werden noch einige Punkte zum Inhalt des Teils 7 der Vornorm aufgeführt, die die Endenergieberechnung beeinflussen. Bei den Direktverdampfersystemen entfällt beispielsweise der Endenergieaufwand<sup>225</sup> für den Rückkühler.

In der Praxis liegen bei RLT-Anlagen oftmals Teile des Luftkanalnetzes und der Geräte außerhalb der thermischen Hülle. In diesen Fällen ist die Oberfläche der außerhalb liegenden Teile zu berücksichtigen. Dies gilt für den Heiz- sowie für den Kühlfall. Die jeweiligen Oberflächen der Komponenten sind zu betrachten. Eine Dämmung der Anlagenteile wird dabei vorausgesetzt.<sup>226</sup>

Für Kältespeicher, die als Wasser- oder Eisspeicher herstellbar sind, wird in Teil 7 ein Speicherfaktor eingeführt. Dieser erhöht oder reduziert je nach Ausführung die Jahreskälteleistungszahl des Kälteerzeugers.<sup>227</sup>

225 vgl. DIN V 18599-7:2011-12, S. 67–69

226 vgl. DIN V 18599-7:2011-12, S. 27 und S. 29

227 vgl. DIN V 18599-7:2011-12, S. 81, Tabelle 45

Im Kapitel 8.2 der DIN V 18599-7 werden regenerative Energien für die Rückkühlung elektrischer Kälteerzeuger aufgeführt und rechnerisch abgebildet. Die regenerativen Wärmesenken zur Rückkühlung können sein:

- Außenluft
- Erdreich
- Grundwasser

In Anhang A sind in Abhängigkeit der Nutzungsarten und der Anlagenkomponenten zur Kälteerzeugung die Teillast-Kennwerte zusammengestellt. Diese Werte sind in den EDV-Programmen hinterlegt.

Sollen individuelle Teillast-Kennwerte für Kälteerzeuger und Rückkühler berechnet werden, kann das Verfahren nach Anhang B angewendet werden. Dies wird notwendig, wenn Kälteerzeuger zum Einsatz kommen, die nicht in der Vornorm abgebildet sind.

Auf der anderen Seite ist ingenieurmäßig zu entscheiden, mit welchen Ansätzen nach der Vornorm die Gebäudetechnik ausreichend genau im Sinne der Bilanzierung abgebildet werden kann.

Die zuvor aufgeführten Beispiele und Vergleiche sollen als Hilfestellung verstanden werden, insbesondere bei der Wahl der Komponenten zum Lüften, Heizen und Kühlen. Insgesamt sind bei der energetischen Bilanzierung das eigentliche Ziel und der Aufwand zu berücksichtigen. Ich wiederhole gerne, dass das ingenieurmäßige Denken des Bilanzaufstellers insgesamt gefordert und bei der Wahl der Ansätze zu bautechnischen und gebäudetechnischen Randbedingungen hilfreich ist.

### 5.12.9 Einfluss der Warmwasserbereitung nach DIN V 18599-8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen

Die Vornorm betrachtet die Erzeugernutzwärmeabgabe an das Trinkwassersystem, die Endenergie für die Trinkwassererzeuger, die notwendige Hilfsenergie und den unge Regelten Wärmeeintrag in die Zone durch das Trinkwassersystem.

Auf Basis des allgemein gültigen Zusammenhangs

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

wird in Teil 8 der monatliche Nutzenergiebedarf für das Warmwasser berechnet. In der Formel<sup>228</sup> des Teils 8 wird die Masse (m) durch die Dichte des Wassers und das

228 vgl. DIN V 18599-8:2011-12, S. 25

Wasservolumen ersetzt. Die Temperaturdifferenz ( $\Delta T$ ) wird unter Berücksichtigung der mittleren Zapftemperatur und mittleren Kaltwasserzulauftemperatur abgebildet.

Hinzu kommen Wärmeverluste für die Verteilung im Rohrnetz (mit bzw. ohne Zirkulationsleitung). Wenn keine Rohrnetzplanung vorliegt, können die Wärmeverluste durch Standardansätze zur Rohrleitungsnetzlänge ermittelt werden. Die Ansätze sind je nach Netztyp und Gebäudegruppe (Tabelle 6 und 7 des Teils 8) in Tabelle 8 des Teils 8 aufbereitet, wobei zwischen zentraler und dezentraler Trinkwasserversorgung zu unterscheiden ist. Hier sind nur zentrale Systeme als Einzonen- oder Mehrzonengebäude relevant.

Die Hilfsenergie (Stromaufwand) für das Umwälzen des erwärmten Wassers ergibt sich aus dem hydraulischen Energiebedarf und der Aufwandszahl der Zirkulationspumpe. Hierin gehen die hydraulische Leistung der Pumpe und die monatliche Betriebsdauer ein.<sup>229</sup>

Im Weiteren werden Verluste durch die Speicherung berücksichtigt. Die Vornorm differenziert zwischen folgenden Verfahren:

- Indirekt beheizte Trinkwasserspeicher (auch bivalente Solarspeicher)
- elektrisch beheizte Trinkwasserspeicher
- gasbeheizte Trinkwasserspeicher

Der Energieeintrag für die Trinkwassererwärmung durch Solaranlagen wird bei der Wärmeerzeugung von der Erzeugernutzwärmeabgabe zum Abzug gebracht, ebenso die genutzte Umweltwärme. Bei Solaranlagen gehen die unterschiedlichen Monatsanteile zum Jahresertrag, die Neigung und Ausrichtung der Solaranlage sowie unter anderem die Speicherverluste mit ein.

Wenn für Solaranlagen die benötigten Werte nicht bekannt sind, kann der solare Deckungsanteil vereinfacht nach Tabelle 15 der DIN V 18599-8:2011-12 berechnet werden. Tabelle 15 stellt Randbedingungen und Formeln für Flach- und Röhrenkollektoren zur Verfügung. Mit deren Hilfe werden die Kollektorfläche und das Volumen des Speicheranteils berechnet. Ergänzend wird der elektrische Hilfsenergiebedarf für die Solarpumpe ermittelt.

Zur Warmwassererzeugung können auch mit Motoren angetriebene Wärmepumpen (elektrisch oder gasmotorisch) eingesetzt werden, wobei unterschiedliche Wärmequellen (Außenluft, Abluft, Erdreich, Grundwasser) analog zu Heizsystemen zum Einsatz kommen können. Je nach Temperatur der Quelle haben diese entsprechenden Einfluss auf den Energiebedarf.

229 vgl. DIN V 18599-8:2011-12, S. 33-35

Ist eine Nachheizung angedacht, wird ab einer Temperaturgrenze bis zu der die Wärmepumpe die Energie liefern kann, die Wärme von dem zweiten Wärmeerzeuger geliefert. Die Tabellen 17, 18 und 19 des Teils 8 der Vornorm verdeutlichen die Abhängigkeiten hinsichtlich der unterschiedlichen Quellentemperaturen und somit den unterschiedlichen Energieaufwand beim Einsatz von Wärmepumpenverfahren.

Letztlich geht die Vornorm auch auf Elektro-Durchlauferhitzer, Sorptions-Gaswärmepumpen, direkt beheizte Speicher (Gas), Fernwärme, Kraft-Wärmekopplung [vgl. 5.12.10] und Heizkessel zur Trinkwassererwärmung ein. Die Heizkessel können mit fossilen Brennstoffen oder auch mit Biomasse betrieben werden.

Um einen ersten Überblick zu Auswirkungen verschiedener Wärmeerzeuger aufzuzeigen, wurden folgende Varianten berechnet:

- Gas-Brennwertkessel mit Solarthermie in Anlehnung an EnEV-Referenzansätze
- Gas-Brennwertkessel (indirekt)
- Direktbefeuerung eines Warmwasserspeichers mit Erdgas
- Sole-Wasser-Wärmepumpe
- Luft-Wasser-Wärmepumpe mit elektrischer Nachheizung
- Fernwärme, Primärenergiefaktor = 0,7, ohne Speicher
- eigener Gas-Brennwertkessel zur Warmwasserbereitung

Die Wärmeverluste des Rohrleitungsnetzes wurden nicht variiert, da das gleiche Modellgebäude (Schulneubau) betrachtet wurde. Bis auf die Variante »Fernwärme« kam jeweils ein Speicher zum Ansatz. Die Solaranlage besteht aus Flachkollektoren, die nach Standardwerten der Vornorm berechnet wurde.

Die Ergebnisse der Vergleichsberechnungen sind in Abbildung 50 dargestellt. Der Vergleich basiert wiederum auf dem Verhältnis der berechneten Qp-Werte je Variante zum Qp-Referenzwert, wobei die erste Variante als 100%-Bezug angenommen wird.

Damit die Varianten vergleichbar sind, sind alle sonstigen Parameter zur Gebäudehülle bzw. zur Gebäudetechnik gleich angesetzt.

Wird das Warmwasser durch die Kombination Gas-Brennwertkessel mit Solarthermie bzw. durch die hier gewählten Fernwärmerandbedingungen erzeugt, zeigen sich keine relevanten Unterschiede.

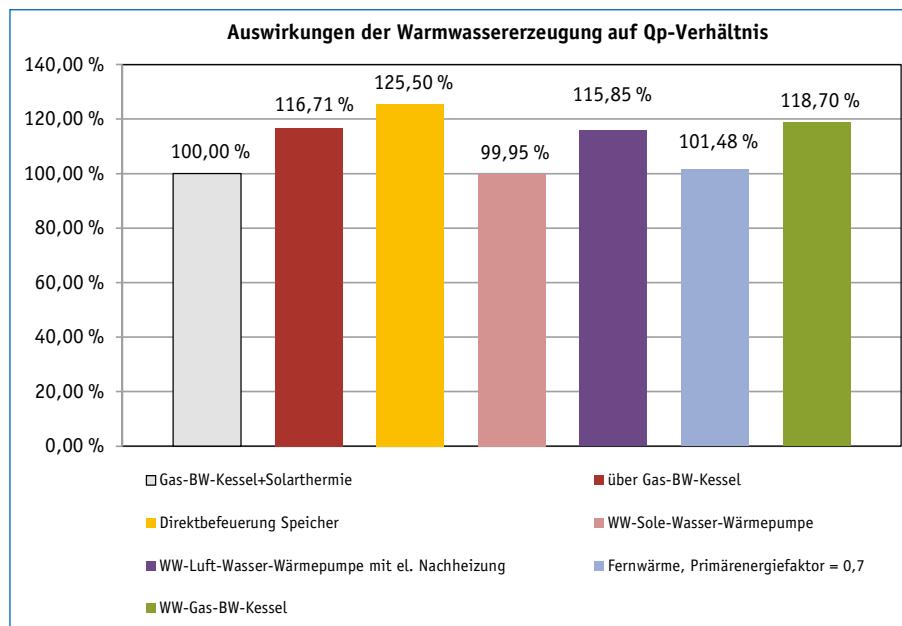
Gemäß der Vergleichsberechnung ist auch die Variante »Sole-Wasser-Wärmepumpe« gleichwertig, wobei keine Nachheizung angesetzt wurde. Da die Grenztemperatur 45 °C beträgt, wäre die Nachheizung jedoch für höhere Warmwassertemperaturen notwendig. Der Vergleich ist so gewollt, damit auch dieser Denkansatz deutlich wird.

Bei der Variante Luft-Wasser-Wärmepumpe ist eine elektrische Nachheizung ab 45 °C vorgesehen. Das Qp-Verhältnis liegt dadurch etwa 16 % über der Bezugsvariante.

Die übrigen Varianten, die jeweils ausschließlich Gas einsetzen, führen zu höheren Qp-Verhältnissen von bis zu rund 25 %.

Insgesamt zeigt dieser Vergleich, dass das Verhältnis des Jahres-Primärenergiebedarfs im Vergleich zum relevanten Referenzwert für das Objekt auch wesentlich von der Warmwasserbereitung abhängig ist und diesem Bereich daher ebenso eine entsprechende Aufmerksamkeit gewidmet werden muss. Insbesondere gilt dies mit Blick auf eine deutliche Reduzierung des Qp-Wertes im Vergleich zum relevanten Referenzwert, als Voraussetzung eines Energieeffizienzstandards. Die Beispiele in Abbildung 50 verdeutlichen einen umgekehrten Effekt. Die Qp-Verhältnisse liegen höher und verbessern die Aussichten auf das Erreichen eines Energieeffizienzstandards durch die bereits eingepreisten Anlagenkomponenten beim EnEV-Referenzgebäude nicht.

Auch mit einer standardisierten Auslegung einer Solaranlage wird nach EnEV gerade ein Verhältnis von (100 %) erreicht und keine deutliche Minderung des Verhältnisses. Wenn die Solaranlage größer oder effektiver ist und der Deckungsanteil damit theoretisch anwächst, muss eine solche Anlage in der Praxis auch sinnvoll betrieben werden können.



**Abbildung 50:** Vergleich Qp-Verhältnis von Varianten zur Warmwassererzeugung am Beispiel des Modellgebäudes Schulneubau

### 5.12.10 Einfluss von Blockheizkraftwerken nach DIN V 18599-9: End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen

Der Teil 9 der Vornorm beschäftigt sich mit stromproduzierenden Anlagen<sup>230</sup> und deren Einbindung in die Bilanzierung. Gemeint sind Anlagen, die in unmittelbarem, räumlichem Zusammenhang mit dem betrachteten Gebäude stehen. Unter stromproduzierenden Anlagen werden Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung in beliebiger Größe (KWK, auch Mikro-KWK-Anlagen), Photovoltaikanlagen und Wind-Energie-Anlagen verstanden.

Die Beschreibungen zu Windkraftanlagen beziehen sich nur auf kleine Anlagen, die der Energieerzeugung und Nutzung von Strom im Zusammenhang mit dem Gebäude dienen. Der Berechnungsansatz zu Photovoltaikanlagen geht von verschattungsfreien Standorten aus. Sollte eine Verschattung beim konkreten Fall vorliegen, ist eine Fachplanung notwendig.

Die bei KWK-Anlagen erzeugte Wärme, beispielsweise durch Blockheizkraftwerke (BHKW), wird innerhalb der Vornorm an die Teile 5 bis 8 übergeben bzw. die Anlagen werden als zusätzlicher Wärmeerzeuger in die Berechnungen eingebunden.

Ein BHKW wird in der Regel zur Deckung der Grundlast eingesetzt. Ein Spitzenlastwärmeerzeuger deckt die jahreszeitlichen Spitzen ab. Im gewählten Beispiel deckt das BHKW 26 % der Wärmeleistung ab. Die Spitzenlast wird mit 74 % durch einen Gas-Brennwertkessel abgedeckt. Mit Blick auf den Vergleich des Jahres-Primärenergiebedarfs des Gebäudes mit dem Referenzgebäude ist die Berechnung des Primärenergiefaktors für den verwendeten Brennstoff<sup>231</sup> nach Verfahren B für das gesamte Erzeugersystem die wesentlichste Größe. Auf Grund dessen errechnet sich ein reduzierter Jahres-Primärenergiebedarf, da der erzeugte Strom gutgeschrieben wird.

Der Einfluss der Wärmeerzeugung auf den Jahres-Primärenergievergleich ist bereits in Abbildung 37 [vgl. 5.12.6] dargestellt. Zur Verdeutlichung mit Blick auf KWK-Anlagen wird der Vergleich mit ausgesuchten Varianten an dieser Stelle noch einmal aufgezeigt. Abbildung 51 zeigt folgende Varianten bei sonst gleichen Gebäudedaten:

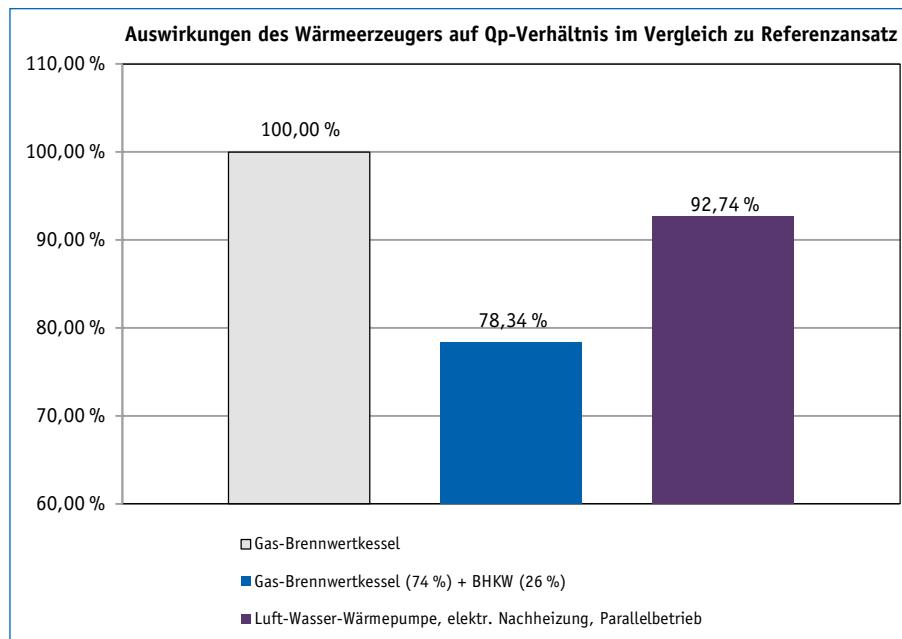
- Gas-Brennwertkessel
- Gas-Brennwertkessel mit BHKW (Lastanteil 26 %)
- Luft-Wasser-Wärmepumpe mit elektrischer Nachheizung im Parallelbetrieb

Die Gas-Brennwertkessel-Variante stellt den 100 %-Bezug dar. Die gewählte Kombination mit dem BHKW liegt bei einem Qp-Verhältnis von etwa 78 % und nähert

230 vgl. DIN V 18599-9:2011-12, S. 7

231 vgl. DIN V 18599-9:2011-12, S. 23

sich somit einem KfW-70-Effizienzhaus an. Dies wird durch den Einfluss der Stromkennzahl und des Deckungsanteils verursacht. Beim Verfahren B<sup>232</sup> wird die vom BHKW gelieferte Wärme bilanziert und daher der oben bereits erwähnte zugehörige Primärenergiefaktor (fp) berechnet. Beim Verfahren A<sup>233</sup> wird der produzierte Strom verrechnet. Das ergänzende Beispiel zu einer Wärmepumpe als Wärmeerzeuger liegt bei rund 93 % und rundet den Vergleich ab. Aus bilanztechnischer Sicht lohnt es nach Abbildung 51 über den Einsatz eines BHKW's im konkreten Fall nachzudenken. Im Detail ist bei wärmegeführten Anlagen auf die Betriebszeiten und die damit verbundene Stromproduktion und auf die Gesamtwirtschaftlichkeit zu achten. In der Regel soll sich die Anlage einerseits durch die Deckung eines anteiligen Stromeigenbedarfs und durch die Stromeinspeisung refinanzieren.



**Abbildung 51:** Vergleich Qp-Verhältnis unter Einsatz eines BHKW's am Beispiel des Modellgebäudes Schulneubau

Der photovoltaisch erzeugte Strom kann nach § 5 der EnEV zum teilweisen oder vollständigen Decken des elektrischen Gesamtendenergiebedarfs, der sich aus den Teilen 4 bis 8 der Vornorm ergibt, angesetzt werden. Der in der Regel positive Einfluss einer Photovoltaikanlage auf die Bilanzierung wurde bereits unter Kapitel 5.2.1 verdeutlicht.

232 vgl. DIN V 18599-9:2011-12, S. 22-23

233 vgl. DIN V 18599-9:2011-12, S. 22

Der erzeugte Strom mit Hilfe von Wind-Energie-Anlagen kann bei freien Berechnungen zu einer ingenieurmäßigen Energiebilanzierung herangezogen werden. Auf Grund dessen wird hier nicht näher darauf eingegangen wird.

### **5.12.11 Erläuterungen zur DIN V 18599-10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten**

In Teil 10 der Vornorm werden die Nutzungsrandbedingungen für Nichtwohngebäude aufgeführt. Dabei werden die Randbedingungen zu jeder der 43 definierten Nutzungen gelistet.

Generell sind die aufgeführten Randbedingungen als Richtwerte zu verstehen, die der energetischen Bilanzierung zugrunde gelegt werden können, wenn keine genaueren Werte bekannt sind. Soll heißen, die Richtwerte sind immer dann anzuwenden, falls keine Werte aus Fachplanungen oder aus Betriebsinformationen vorliegen oder messtechnisch bestimmt wurden. Die Konditionierung durch technische Gewerke ist je Nutzung nur vorzusehen, wenn diese auch tatsächlich vorhanden ist oder geplant wird. Zu Nutzungen, die nicht in Teil 10 definiert sind, können eigene Festlegungen getroffen werden. Hierbei können die Angaben zu den Nutzungen gemäß Anhang A des Teils 10 als Grundlage dienen. Die eigenen Festlegungen sind dann zu dokumentieren. Dazu kann das Formblatt in Anhang C zu Dokumentationszwecken angewendet werden. Werden Zonen zusammengelegt, sind die Werte der Randbedingungen flächenanteilig zu einem Gesamtwert zu mitteln.<sup>234</sup>

Ingenieurmäßig ist jedenfalls zu entscheiden, ob die Randbedingungen zu den Nutzungsprofilen beim konkreten Projekt zwecks Vereinfachung übernommen werden oder Anpassungen vorzunehmen sind. Anpassungen können nicht nur innerhalb eines Nutzungsprofils einer Zone notwendig werden, sondern auf Grund der Gebäudenutzung insgesamt. Hier ein Beispiel:

In Tabelle A.43 des Teils 10 der Vornorm sind die Randbedingungen zur Nutzung »Lagerhallen, Logistikhallen« aufgeführt. Das Nutzungsprofil sieht beispielsweise eine 24-Stundennutzung für 365 Tage im Jahr vor. Dieser Ansatz beeinflusst die energetische Bilanzierung, auch wenn die Raum-Solltemperatur nur mit 12 °C als Randbedingung definiert ist. Ob diese Ansätze für ein konkretes Objekt, welches sich bauordnungsrechtlich oder auf Grund der betrieblichen Nutzung Logikhalle nennt, passen, ist zunächst zu überprüfen.

---

234 vgl. DIN V 18599-10:2011-12, S. 18

Je nach Nutzung und betrieblichen Abläufen innerhalb der Zone »Logistikhalle« sind evtl. die Randbedingungen nach Tabelle A.20 (Nutzung: Lager) oder Tabelle A.24 (Nutzung: Gewerbliche und industrielle Halle – leichte Arbeit) eher zutreffend. Dies kann beispielweise mit den Randbedingungen zu Nutzungszeiten und Raumtemperaturen begründet werden.

In Anhang B des Teils 10 ist ein Berechnungsansatz enthalten, der die Bestimmung der Nutzungszeiten für die Beleuchtung unterstützen kann. Anhang F beschreibt ergänzend einen Ansatz zur Bestimmung der Abwesenheits-Randbedingungen, die für die Beleuchtung und für RLT-Anlagen eines beliebigen Nutzungsprofils relevant sind.

In Anhang D wird an einem Beispiel beschrieben, wie ein eigenes Nutzungsprofil erstellt werden kann. Die Wahl der Randbedingungen ist immer zu dokumentieren.

Die Nutzungsrandbedingungen werden nach Teil 10 der Vornorm in folgende Bereiche unterteilt:

- Nutzungs- und Betriebszeiten
- Beleuchtung
- Raumklima
- Wärmequellen
- Trinkwarmwasser
- Gebäudeautomation
- Sonstiges

Auf den Bereich »Wärmequellen«, die sich in Personenwärme und Arbeitshilfen unterscheiden lassen, möchte ich am Beispiel von Verkaufsstätten näher eingehen. Das Nutzungsprofil 6 und 7 beinhaltet jeweils die Randbedingungen zu Verkaufsstätten »Einzelhandel/Kaufhaus«. Die Tabellen A.6 und A.7 (Lebensmittelabteilung mit Kühlprodukten) unterscheiden sich lediglich in den Randbedingungen zu den Arbeitshilfen, da auf Grund der Kühlprodukte (A.7) die Arbeitshilfen als Wärmesenken wirken und daher die Werte negativ sind.

Der Teil 10 der Vornorm beinhaltet zugleich die Klimadaten des Referenzstandortes Potsdam und liefert in Anhang E meteorologische Daten für die 15 Klimaregionen in Deutschland. Diese Daten sind nicht für eine bauordnungsrechtliche Nachweisführung nach EnEV gedacht, sondern für eine Energieberatung, die die konkrete Klimazone berücksichtigt.

### 5.12.12 Erläuterungen zur DIN V 18599-11: Gebäudeautomation

In Teil 11 der Vornorm werden Automationsklassen A bis D unterschieden (Automation: energy management system). Dabei stehen für den Betrieb des Gebäudes viel-

fältige Gebäude- und Raumautomations- bzw. Managementfunktionen zur Verfügung. Diese sind in den übrigen Teilen der Vornorm bereits berücksichtigt und werden in Tabelle 3 des Teils 11 den zuvor genannten Automationsklassen zugeordnet. Die Automationsklasse A entspricht der effizientesten Klassifizierung.

In Teil 10 sind den Nutzungsprofilen die Faktoren je Automationsgrad zugewiesen und gehen entsprechend in die Bilanzierungsberechnung mit ein. Generell wirkt sich die Gebäudeautomation auf den Energiebedarf bzw. auf die Bilanz-Innentemperatur durch die Berücksichtigung von Faktoren in den übrigen Teilen der Vornorm aus.

Teil 1 der Vornorm beschreibt zunächst den jeweiligen Endenergiebedarf und führt unter Verlusten bei der Erzeugung der Heizwärme, Kälte, Dampf, Trinkwarmwasser und der benötigten Hilfsenergien die Berücksichtigung der Gebäudeautomation in Teil 5, 7 und 8 auf.<sup>235</sup>

Teil 2 berücksichtigt die Gebäudeautomation, in dem der Summand<sup>236</sup> zur Gebäudeautomation ( $\Delta\theta_{EMS}$ ) und der Faktor für adaptiven Betrieb<sup>237</sup> ( $f_{adapt}$ ) in die Ermittlung der Bilanz-Innentemperatur eingehen. Die Faktoren sind bei Einstufung in eine bessere Automationsklasse (A oder B) entweder negativ bzw. größer als 1,0, sodass beide eine entsprechende Minderung der Bilanz-Innentemperatur nach Gleichung 27<sup>238</sup> des Teils 2 bewirken. Der Faktor für einen adaptiven Betrieb erhöht die tägliche Dauer des reduzierten Heizbetriebes.

Als konkretes Beispiel für einen Beitrag der Gebäudeautomation nach DIN V 18599 wird die Einzelraumregelung genannt. Bei der Endenergiebedarfsberechnung für Heizsysteme mit Einzelraumregelung und freien Heizflächen erfolgt die Einordnung in die Automationsklasse B, wodurch die Bilanz-Innentemperatur um 0,5 K verringert wird. Gleichzeitig wird der Faktor für einen adaptiven Betrieb in Abhängigkeit des Informationsverbundes erhöht.<sup>239</sup> In Teil 2 der Vornorm wird ebenso auf die Verringerung der Bilanz-Innentemperatur bei Einzelraumregelungen verwiesen.<sup>240</sup>

Ein weiteres Beispiel ist die Temperaturadaption (PI-Regler mit Optimierungsfunktion<sup>241</sup>). Wird eine Vorlauftemperaturadaption im Heizkreis realisiert, sind die Heizkreistemperaturen mit Faktoren zu reduzieren, und der Faktor für den Nutzungsgrad zur Raumtemperaturregelung ( $\eta_c$ ) wird entsprechend gewählt. Dies führt zu einem

235 vgl. DIN V 18599-1:2011-12, S. 39-43

236 vgl. DIN V 18599-10:2011-12, S. 17

237 vgl. DIN V 18599-10:2011-12, S. 17

238 vgl. DIN V 18599-2:2011-12, S. 39

239 vgl. DIN V 18599-5:2011-12, S. 41

240 vgl. DIN V 18599-2:2011-12, S. 41

241 vgl. DIN V 18599-5:2011-12, Tabelle 7, Fußnote c und Tabelle 8, Fußnote a

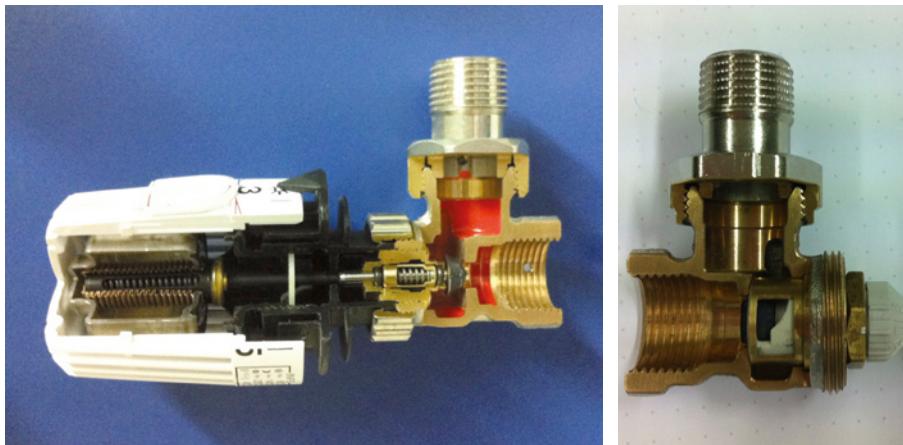
höheren Gesamtnutzungsrad ( $\eta_{c,ce}$ ) und nach Gleichung 33<sup>242</sup> des Teils 5 zu niedrigeren Verlusten bei der Wärmeübergabe. Bei intermittierender Betriebsweise wird der Einfluss einer adaptiven Regelung ebenso berücksichtigt.<sup>243</sup>

Diese Ansätze finden sich letztlich in der Berechnung der monatlichen Verluste der Wärmeübergabe nach Gleichung 33<sup>244</sup> des Teils 5 der Vornorm wieder.

In Teil 7 der Vornorm wird beispielsweise die Gebäudeautomation bei der Betriebszeit der Pumpe im Kühlkreislauf von RLT-Anlagen berücksichtigt.<sup>245</sup>

In Anhang C des Teils 11 ist ein Übersichtsschema zur Verdeutlichung der Regelverfahren bei Heizanlagen aufgeführt. Zu den Einflussgrößen gehören die Regler-Systeme, die Pumpenregelung, der hydraulische Abgleich, die Zeitprofile und der Informationsverbund.

In Abbildung 52 ist ein Beispiel für die einfachste Form einer Einzelraumregelung abgebildet (P-Regler = Proportionalregler) und ein Ventilunterteil mit stufenloser Voreinstellung für den Heizwasserdurchfluss zwecks hydraulischem Abgleich.



**Abbildung 52:** P-Regler und Ventilunterteil mit Voreinstellung für hydraulischen Abgleich  
[Fotos: Achim Hamann]

Der Anhang D des Teils 11 beinhaltet alle Einflussgrößen und zeigt tabellarisch deren Berücksichtigung in den Teilen der DIN V 18599:2011-12 auf.

242 vgl. DIN V 18599-5:2011-12, S. 39

243 vgl. DIN V 18599-5:2011-12, S. 34, S. 42–43 und S. 159

244 vgl. DIN V 18599-5:2011-12, S. 39–40

245 vgl. DIN V 18599-7:2011-12, S. 43–44, Tabelle 18

In Teil 11 werden ebenso die Auswirkungen der Regelungen auf den Hilfsenergiebedarf beschrieben, beispielsweise bei der Anwendung der Pumpenkonstanten ( $C_{P1}$ ,  $C_{P2}$ ) in Abhängigkeit der Pumpenregelung. Beim gewählten Beispiel ist auf Teil 5, Tabelle 24 und Gleichung 58 der Vornorm zu verweisen. Je nach Regelungsart der Pumpen sind die Pumpenkonstanten nach Tabelle 24 des Teils 5 zu wählen und beeinflussen entsprechend die Aufwandszahl ( $e_{h,d,aux}$ ) für das Betriebsverhalten der Pumpe.

Beim Beispiel des intermittierenden Betriebes<sup>246</sup> der Heizung wird der Faktor ( $f_{int}$ ) von 1,0 auf 0,97<sup>247</sup> zum Einsetzen in Gleichung 33 des Teils 5 gesenkt. Dadurch reduziert sich der monatliche Verlust bei der Wärmeübergabe.

In Teil 11 wird letztlich aufgeführt, dass der elektrische Hilfsenergiebedarf für den Betrieb von Steuer-, Regel- und Automationsgeräten generell zu berücksichtigen ist und dies »häufig«<sup>248</sup> in den Berechnungsverfahren der DIN V 18599 eingeschlossen ist. Die Tabelle 4 des Teils 11 stellt als Übersicht die berücksichtigten Hilfsenergien zusammen. Je nach Kombinationen zur Betriebsweise und dem Einsatz von Hilfsenergien zur Gebäudeautomation ist es denkbar, dass sich Effekte neutralisieren bzw. das Bilanzierungsergebnis einen etwas höheren Primärenergiedarf ausweist. Dieser Effekt wurde auch bei den Vergleichsrechnungen zu Tabelle 10 (vgl. 5.12.6) erkennbar.

### 5.12.13 Anmerkungen zu DIN V 18599 Beiblatt 1: Bedarfs-/Verbrauchsabgleich

Das Beiblatt 1 ist für die bauordnungsrechtliche Bilanzierung bzw. für öffentlich-rechtliche Nachweise nach der EnEV zu einem Nichtwohngebäude nicht von Bedeutung. Es kommt zur Anwendung, wenn eine Energieberatung bei bestehenden Gebäuden beabsichtigt ist. Dann dient das Beiblatt 1 dem Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich. Ebenso kann das Beiblatt 1 zur Erstellung einer realistischen Bilanz mit individuellen Randbedingungen herangezogen werden. Diese Bilanzierung kann die Grundlage einer konkreten Wirtschaftlichkeitsberechnung, einer Beratung oder einer Energieanalyse darstellen.

### 5.12.14 Anmerkungen zu DIN V 18599 Beiblatt 2: Beschreibung zu Kennwerten bei Nachweisen zum EEG

Das Beiblatt 2 kommt bei den Nachweisen für Neubauten zum EEG zum Einsatz. Hierin wird die Vorgehensweise bei der Berechnung der nachzuweisenden Kennzahlen erläutert. Dabei werden die Solarnutzung, die Nutzung der gasförmigen Biomasse

246 vgl. DIN V 18599-11:2011-12, S. 33

247 vgl. DIN V 18599-7:2011-12, S. 43-44, Tabelle 18

248 vgl. DIN V 18599-5:2011-12, S. 42

oder anderer Energieträger mit KWK, die Nutzung von fester oder flüssiger Biomasse mit Kesselanlagen, Wärmepumpen, Wärmerückgewinnung und die regenerative Kühlung berücksichtigt.

## 5.13 Zusammenfassung und Überleitung zu Beispielen

Zunächst stellt der Leitfaden die Planungsgrundlagen im Umgang mit der Gebäudehülle und der Gebäudetechnik vor. Dies erfolgt mit Blick auf die Bilanzierung nach EnEV. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf den Grundlagen zur Bilanzierung nach DIN V 18599. Es werden Erläuterungen an die Hand gegeben, ohne das etwa 1.200-seitige Werk der Vornorm in der gesamten Tiefe wiedergeben zu können. Wichtiger war es mir mit Hilfe etlicher Vergleichsberechnungen beispielhaft die Auswirkungen von Parametern und Ansätzen aufzeigen zu können.

Ergänzend zu den aufgezeigten Normen existieren viele weitere Planungsgrundlagen zum Beispiel zur Heizlastberechnung oder zur Rohrnetzhydraulik. Auch hier ist freies ingenieurmäßiges Denken notwendig. Eine Norm ausschließlich wie ein fest vorgegebenes Schema anzuwenden, ohne sich ernsthaft Gedanken zum System und die Parameter zu machen, bedarf keiner fachmännischen Ausbildung. Damit ein nachhaltiges Nichtwohngebäude entsteht, ist jedoch gerade der fachmännische und kritische Verstand gefordert.

Zur Heizlastberechnung sei beispielsweise nochmals angemerkt, dass die zu wählenden Parameter – ingenieurmäßig begründet – anzuwenden sind. Als Beispiel hatte ich die Wahl der Luftwechselrate für den Mindestluftwechsel genannt. Der Standardwert von  $0,5 \text{ h}^{-1}$  ist nicht für jede Nutzung und Gebäudegröße der korrekte Wert. Bei einer Logistikhalle mit  $150.000 \text{ m}^3$  Rauminhalt würde dieser Wert einen Lüftungswärmeverlust verursachen, der etwa 65 % der Heizlast verursacht. Dieser Luftwechsel ist je nach Nutzung und Betriebsweise völlig überzogen, in der Realität nicht vorhanden und führt nicht zu einer effizienten und nachhaltigen Gebäudetechnik.

Ansonsten sind diverse VDI-Richtlinien zu beachten, die nicht direkt bei der energetischen Bilanzierung des Gebäudes berücksichtigt werden.

Nachfolgend zeige ich abschließend im Teil zum Leitfaden Beispiele zu energieeffizienten Nichtwohngebäuden auf. Insgesamt werden sechs unterschiedliche Nichtwohngebäudetypen mit entsprechenden Nutzungen und Raumtemperaturen dargestellt (Bürogebäude, Hotel mit Gastronomie, Produktionsgebäude mit Verwaltung, zwei Varianten zu Handelsgebäuden und Gewerbe-/Logistikgebäude). Es werden die Grundlagen der energetischen Bilanzierung mit dem Ziel ein Energieeffizienzhausstandard zu erreichen – angelehnt an KfW-Begriffe – aufgezeigt. Die jeweiligen Ergebnisdarstellungen runden die Ausführungen ab.

## 6 Umsetzen des KfW-Effizienzhaus-Standards an Beispielen

### 6.1 Allgemeines

Die Berechnungen erfolgten mit der Version 8.3.0 des »Energieberaters«. Dabei wurden die EnEV 2016-Randbedingungen angesetzt.

Seit 01.01.2016 haben sich zwar die Anforderungen an den EnEV-Neubau-Standard durch Berücksichtigung des Faktors in Höhe von 0,75 (Tabelle 1, Anlage 2 der EnEV) erhöht, der Jahres-Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes als Bezug zu Effizienzhaus-Bewertungen bleibt im Vergleich zur EnEV 2014 (bis zum 31.12.2015 gültig) unverändert.

Die Anforderungen an die mittleren U-Werte haben sich dagegen beim EnEV-Neubau-Standard und dem Referenzgebäude nach Tabelle 2, Anlage 2 der EnEV erhöht.

In den Technischen Mindestanforderungen zum KfW-Programm 276/277/278 sind die Anforderungen an die KfW-Effizienzhaus-Standards zusammengefasst. Für den Jahres-Primärenergiebedarf und die mittleren U-Werte gilt Folgendes:<sup>249</sup>

KfW-Effizienzhaus	EH 55	EH 70
Qp in % von Qp Referenzgebäude $\geq 19^{\circ}\text{C}$	55 %	70 %
Opake Bauteile ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ )	0,22	0,26
Transparante Bauteile ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ )	1,20	1,40
Vorhangfassaden ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ )	1,20	1,40
Glasdächer/Lichtbänder/Lichtkuppeln: $\leq 19^{\circ}\text{C}$	2,00	2,40
Opake Bauteile ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ )	0,35	0,43
Transparante Bauteile ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ )	2,20	2,40
Vorhangfassaden ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ )	2,20	2,40
Glasdächer/Lichtbänder ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ )	2,20	2,60

**Tabelle 11:** KfW-Mindestanforderungen an Effizienzhäuser

Nachfolgend werden sechs Neubau-Beispiele zu KfW-Effizienzhaus-Nichtwohngebäude aufgezeigt. Dabei werden vier KfW-70-Effizienzhäuser und zwei KfW-55-Effizienzhäuser betrachtet.

<sup>249</sup> vgl. [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Förderprogramme-\(Inlandsförderung/PDF-Dokumente/6000003418\\_M\\_217\\_218\\_219\\_220\\_276\\_277\\_278\\_EBS\\_NWG-TMA.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Förderprogramme-(Inlandsförderung/PDF-Dokumente/6000003418_M_217_218_219_220_276_277_278_EBS_NWG-TMA.pdf) [Stand 10.02.2016]

Bei den Beispielen werden keine Photovoltaikanlagen berücksichtigt und somit keine resultierende Stromproduktion verrechnet. Wenn dies im konkreten Projekt berücksichtigt werden kann, verbessert sich die Bewertung. Dies wird beispielhaft an einem Objekt dargestellt.

Als Nichtwohngebäudetypen wurden folgende Nutzungen gewählt:

- Bürogebäude
- Hotel mit Gastronomie und Konferenzräumen
- Produktionshalle mit Verwaltungseinheit
- Großflächiger Einzelhandel, Innenraumtemperatur Verkaufsfläche 18 °C, ohne Kühlprodukte, mit Gastronomie und Lager sowie Kalthalle
- Großflächiger Einzelhandel, Innenraumtemperatur Verkaufsfläche 21 °C, mit Kühlprodukten, Thekenbereich, Vorbereitungsräumen und Lager
- Logistik-/Gewerbehalle mit Büroflächen

Je Beispiel werden die relevanten Eingangsgrößen zur Gebäudehülle und Gebäudetechnik sowie die Ergebnisse aufbereitet. Auf Grund des inzwischen vielfachen Einsatzes, der Systemvarianten, der Kombinationen mit Kühlmöglichkeiten und der zukünftig weiter steigenden Anteile der regenerativen Stromproduktion stehen in den Beispielen Wärmepumpen im Vordergrund. Zusätzlich werden die Fernwärmeversorgung, die Solarthermie und eine Variante zum Biomasseneinsatz berücksichtigt.

## 6.2 Das Bürogebäude

### 6.2.1 Allgemeine Gebäudebeschreibung

Beim gewählten Beispiel liegen die Nebenflächen bis auf das zentrale Treppenhaus im Kaltbereich. Ein thermisch getrennter Laubengang ermöglicht je Geschoss den Zugang zu den einzelnen Büroeinheiten. Das Gebäude kann verschiedene Büroflächennutzer, wie Steuerberater, Ingenieurbüros, Vertriebsbüros, IT-Unternehmen oder zum Beispiel auch Arztpraxen beherbergen.

Auf der Rückseite sind Balkone als Freisitzmöglichkeiten angeordnet. Die Balkone sind ebenso thermisch über eine separat dargestellte Konstruktion vom Gebäude getrennt. Im obersten Geschoss sind beidseitig Außenterrassen geplant. Das Gebäude besteht aus drei Bürgeschossen und auf Erdgeschoss Höhe aus ebenerdigen Unterstellplätzen mit Abstellräumen im unbeheizten Bereich. Da bis auf das beheizte Treppenhaus keine inneren Verkehrsflächen vorhanden sind, wird vereinfacht das Einzonenmodell angewendet. Die Fläche des Treppenhauses wird zur Vereinfachung den Büroflächen zugeschlagen, da die Flächen bis auf die Lüftung ähnlich konditioniert sind. In Abbildung 53 verdeutlicht die Zeichnung die Ansicht von der Unterfahrtseite.

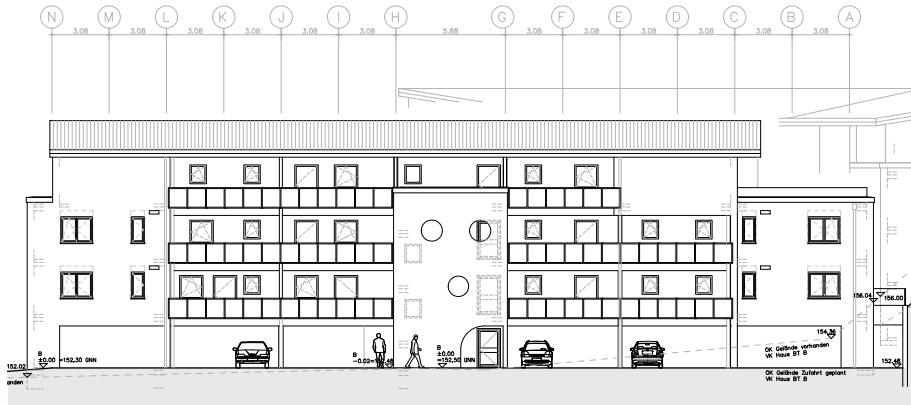


Abbildung 53: Ansicht Bürogebäude [Quelle: RS-Plan AG]

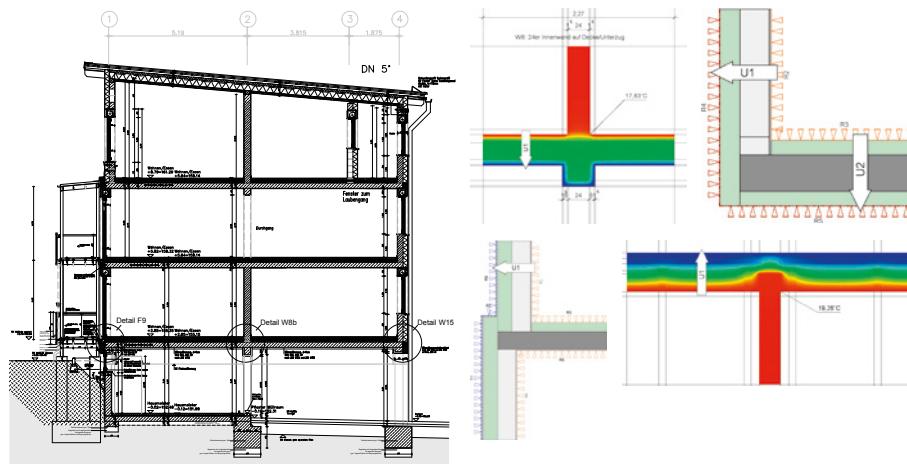
### 6.2.2 Beschreibung der Gebäudehülle des Bürogebäudes

Erdberührte Bauteile sind lediglich als Bodenplatte des Treppenhauses vorhanden. Die seitlichen Wände des Treppenhauses grenzen gegen unbeheizten Raum ab. Die Erdgeschossdecke wird wärmetechnisch als Bauteil gegen den unbeheizten Keller bzw. gegen Außenluft im Unterstellbereich bewertet. Im Bereich der Dachterrassen wird auf Grund der Konstruktionshöhen eine Vakuumdämmung eingesetzt. Die Fassade erhält ein 16 cm dickes Wärmedämmverbundsystem auf Kalksandsteinmauerwerk mit horizontalen A1-Brandriegeln. Dadurch werden die objektspezifischen Schall-, Wärme- und Brandschutzrandbedingungen eingehalten. Das Dach ist mit 24 cm Zwischen- und 12 cm Untersparrendämmung geplant. Der untere Deckenabschluss zum Erdgeschoss sieht eine 12 cm Dämmung im Estrichaufbau und 6 cm Dämmung unterhalb der Decke vor. Der rechnerische U-Wert der Fenster lautet  $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

Die Konstruktion wurde insgesamt auf Wärmebrücken hin untersucht und optimiert. Dabei stehen die konstruktiven Randbedingungen im Vordergrund. Auf dieser Grundlage erfolgte eine energetische Optimierung. In Tabelle 12 ist die Gebäudehülle mit U-Werten aufgelistet. Tabelle 13 beinhaltet die Aufstellung der berechneten Wärmebrückendetails.

Die Wärmebrückenverluste liegen gemäß Tabelle 13 bei  $0,029 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  und konnten somit im Vergleich zum pauschalen Ansatz von  $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  auf etwa 30 % reduziert werden. In Abbildung 54 sind ein Gebäudeschnitt und Beispiele zu den betrachteten Wärmebrücken aufgezeigt. Insgesamt wurden 33 Wärmebrückendetails im Rahmen der Effizienzhausplanung konstruiert, optimiert und mit PSI-Therm berechnet.

Das Gebäude wird zentral belüftet. Da keine Kühlung vorgesehen ist, werden die Temperatur-Korrekturfaktoren ( $F_x$ ) angesetzt. Für das Gebäude bzw. für die einzelnen Büroeinheiten wurden Dichtheitsprüfungen geplant und in der Bilanz berücksichtigt.



**Abbildung 54:** Schnitt Bürogebäude und Auswahl Wärmebrückendetails [Quelle: Eigene Details, eigene Berechnungen und RS-Plan AG]

Nr.	Ausrichtung und Bauteil	Fläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]
1	N – Dach 2. OG, Dampfdruckausgleich	81,13	0,167
2	N – Dach 2. OG Vakuumdämmung	33,15	0,167
3	N – Dach 3. OG	321,93	0,116
4	N – Dach 3. OG Aufzug, WP	23,26	0,167
5	SO – Wand SO	355,18	0,185
6	SO – Wand SO Baustoffklasse A1	11,00	0,228
7	NW – Wand NW	331,91	0,185
8	NW – Wand NW Baustoffklasse A1	11,00	0,228
9	SW – Wand SW	102,25	0,185
10	SW – Wand SW Baustoffklasse A1	43,00	0,228
11	SW – Wand SW EG-Außen	4,64	0,185
12	NO – Wand NO	99,33	0,185
13	NO – Wand NO Baustoffklasse A1	43,00	0,228
14	SO – Wand SO unbeheizter Keller	1,19	0,184
15	N – Dachfenster/Kuppel	1,44	0,900
16	SO – Fenster/Fenstertüren SO	89,77	0,900
17	NW – Fenster/Fenstertüren NW	32,10	0,900
18	NW – Fenster F30	2,09	1,600
19	SW – Fenster/Fenstertüren SW	15,08	0,900
20	NO – Fenster/Fenstertüren NO	11,91	0,900
21	N – Dachaustieg Jet	0,81	0,960
22	SO – Tür SO F30	2,85	1,600
23	NW – Türen NW	17,65	1,300
24	NW – Türen NW F30	11,39	1,600
25	SW – Türen SW	8,73	1,300
26	NO – Türen NO	8,73	1,300
27	Decke gegen unbeheizten Keller	104,80	0,181
28	Bodenplatte Treppenhaus	31,20	0,179
29	Unterfahrt gegen Außenluft	325,74	0,185
	Σ	2126,26	

Tabelle 12: Hüllfläche und U-Werte der Bauteile [Quelle: Eigene Berechnungen]

Berechnung des Wärmebrückenzuschlags $\Delta U_{WB,vorh.}$ :			WDVS	
Nr.	Beschreibung der Wärmebrücke	Länge	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	Produkt
i		$l_i$	$\psi_i$	$l_i * \psi_i$
		[m]	[W/(mK)]	[W/K]
B2a	Sockel-Streifenfundament gegen Außenluft	11,00	0,164	1,803
B2b	Sockel-Streifenfundament gegen Außenluft, Dämmung waagerecht	11,00	0,170	1,869
B3	Sockel-Bodenplatte gegen unbeheizte Räume	1,53	0,130	0,199
B4	Innenwand auf Bodenplatte, 24 cm, Kimmstein	10,66	0,052	0,554
D1	Aussenwand / Traufe	38,08	-0,062	-2,361
D2	Ortgang	35,20	-0,006	-0,211
D3	Innenwand an Dach	26,19	0,071	1,857
D4	First (hier wie Traufe, D1 angenommen)	38,08	-0,062	-2,361
F1	Fensterbrüstung	50,66	0,049	2,482
F2	Fensterlaibung	220,92	0,017	3,756
F3	Fenstersturz / Rollladen	87,91	0,160	14,066
F4	Eingangstürsturz	22,68	0,004	0,091
F5	Türlaibung	82,66	0,003	0,248
F6	Türschwelle Terrasse	4,78	0,012	0,057
F8	Eingangstür EG in Dämmebene	2,52	-0,090	-0,227
W2	Geschossdeckenanschluss an Wand	228,16	0,001	0,228
W3	Außenecke an Außenluft	113,04	-0,057	-6,443
W4	Innenecke an Außenluft	68,32	0,024	1,640
W5	Außenwand auf Kellerwand gegen Außenluft	63,20	0,132	8,342
W6	Außenwand auf Kellerwand	13,00	0,352	4,576
W7	Innenwand 24 cm auf Decke / Kellerwand zu unbeheizten Raum	35,09	0,129	4,527
W8	Innenwand 24 cm auf Unterzug zu unbeheizten Raum	10,00	0,097	0,970

Tabelle 13: Detaillierte Wärmebrückeberechnung [Quelle: Eigene Berechnungen]

Berechnung des Wärmebrückenzuschlags $\Delta U_{WB,vorh}$ :			WDVS	
Nr.	Beschreibung der Wärmebrücke	Länge	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	Produkt
W9	Innenwand 11,5 cm auf Decke zu unbeheizten Raum	51,05	0,051	2,604
W10	Terrasse	18,00	0,007	0,126
W10a	Wandanschluss 3. OG	6,00	-0,028	-0,168
W11	Decke/Wand über 2. OG ohne Attika (Vakuumdämmung)	18,00	-0,020	-0,360
W11a	Decke/Wand über 2. OG ohne Attika	14,00	-0,051	-0,714
W12	Attika über Technik	25,08	0,050	1,254
W14	Außenwand auf Decke/Luft gedämmmt, 16 cm (3.0G)	8,51	0,026	0,221
W15	Außenwand auf Decke/Luft gedämmmt, 5 cm (EG)	45,74	0,169	7,729
W16	Innenwand 24 cm auf Überzug gegen Keller	20,00	0,146	2,920
W16a	Innenwand 24 cm auf Überzug gegen Außenluft	15,00	0,197	2,955
W17	Staffelgeschoss	35,00	0,261	9,135
			$\sum(l_i \cdot \psi_i) [W/K] =$	61,363
			Hüllfläche A [m <sup>2</sup> ] =	2.126,300
			$\Delta U_{WB,vorh} =$	0,029

**Tabelle 13:** (Fortsetzung) Detaillierte Wärmebrückeberechnung [Quelle: Eigene Berechnungen]

### 6.2.3 Beschreibung der Gebäudetechnik des Bürogebäudes

Der Wärmebedarf wird mit Hilfe einer bivalenten Anlage gedeckt. Dazu sind eine Luft-Wasser-Wärmepumpe und eine solarthermische Anlage mit rund 39 m<sup>2</sup> Kollektorfläche aus Röhrenkollektoren vorgesehen.

Für die Luft-Wasser-Wärmepumpen wurden die Standardkennwerte zur Bilanzierung berücksichtigt. Als Quelle ist ausschließlich Außenluft vorgesehen. Weiterhin ist der Parallelbetrieb berücksichtigt.

Die Wärmeerzeuger speisen einen Pufferspeicher. Von dort aus werden die Heizkörper in den Büroeinheiten und das Heizregister der Lüftungsanlage versorgt. Das innenliegende Lüftungsgerät wird zur teilweisen Belüftung ausgelegt und verfügt über eine Wärmerückgewinnung mit einer Rückwärmeszahl von 80 %.

Die Rohrleitungslängen wurden aus der Gebäudegeometrie berechnet. Ein hydraulischer Abgleich und eine bedarfssausgelegte, leistungsgeregelte Pumpe ist vorgesehen.

Der Warmwasserbedarf für die Büroflächen wird ebenso über die bivalente Heizungsanlage gedeckt. Hierbei sind eine Zirkulation und ein zentraler Steigestrangtyp berücksichtigt.

Die Beleuchtungsart ist direkt, und als Lampenart sind stabförmige Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten vorgesehen. Zusätzlich sind Präsenzmelder und eine tageslichtabhängige Beleuchtungskontrolle (gedimmt aus/wiedereinschaltend) geplant.

Diese Randbedingungen flossen in die Bilanzierung nach DIN V 18599 ein. Die Ergebnisse sind nachfolgend aufbereitet.

## 6.2.4 Ergebnisse

Mit Blick auf das EEWärmeG sind die Anforderungen durch Nutzung der erneuerbaren Energien und durch die Gebäudequalität erreicht. Die Deckung des Wärmeenergiebedarfs verteilt sich wie folgt:

- 15,4 % durch Solaranlage
- 84,6 % durch Umweltwärme

In Abbildung 55 und 56 sind die Ergebnisse aufbereitet. Zum einen werden der Nutzenergie-, Endenergie- und Primärenergiebedarf aufgezeigt und zum anderen die Bewertungen nach EnEV und KfW.

Abbildung 56 zeigt die erreichten Ist-Werte zum Jahres-Primärenergiebedarf und die mittleren U-Werte im Vergleich zu EnEV-Neubau-Anforderungen. Zusätzlich werden die Anforderungen zu einem KfW-70- und KfW-55-Energieeffizienzgebäude aufgezeigt. Das Bürogebäude erreicht beim Beispiel den KfW-55-Standard.

	Gesamt [kWh/a] [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]	Heizung [kWh/a] [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]	Kühlung [kWh/a] [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]	Lüftung [kWh/a] [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]	Beleuchtung [kWh/a] [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]	Warmwasser [kWh/a] [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]
Nutzenergie	76738	53606	0	0	14542	8590
	67,00	46,81	0	0	12,70	7,50
Endenergie	44410	25994	0	3764	14542	111
	38,78	22,70	0	3,29	12,70	0,10
Primärenergie	79938	46789	0	6774	26175	199
	69,80	40,85	0	5,92	22,85	0,17

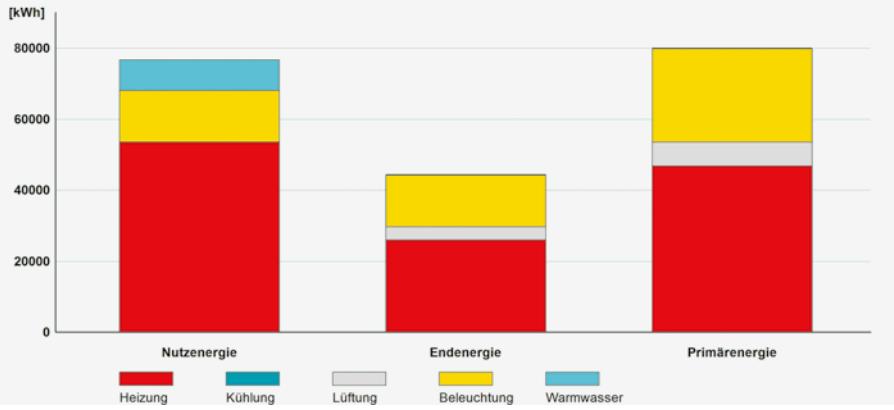


Abbildung 55: Energiebilanz Bürogebäude [Quelle: Eigene Berechnungen]

#### EnEV-Anforderungen(EnEV 2016)

	Ist-Wert	mod. Altbau	EnEV-Neubau	- 15 %	- 30 %	- 50 %	Neubau %
Jahres-Primärenergiebedarf $q_p$ [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]	<b>69,80</b>	200,01	<b>107,15</b>	91,08	75,01	53,58	-35%
Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]							
- Opake Außenbauteile	<b>0,168</b>	0,490	<b>0,280</b>	0,238	0,196	0,140	-40 %
- Transparente Außenbauteile	<b>0,910</b>	2,660	<b>1,500</b>	1,275	1,050	0,750	-39 %
- Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	<b>0,900</b>	4,340	<b>2,500</b>	2,125	1,750	1,250	-64 %

#### KfW-Anforderungen "Energieeffizienzprogramm - Energieeffizient Bauen"

	Ist-Wert	Referenzgebäude (EnEV)	KfW-EH 55 (EnEV)	KfW-EH 70 (EnEV)
Jahres-Primärenergiebedarf $q_p$ [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]	<b>69,80</b>	142,87 <sup>1)</sup>	<b>78,58</b>	<b>100,01</b>
Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]				
- Opake Außenbauteile	<b>0,168</b>	0,28	<b>0,22</b>	<b>0,26</b>
- Transparente Außenbauteile	<b>0,910</b>	1,5	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>
- Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	<b>0,900</b>	2,5	<b>2,0</b>	<b>2,4</b>

Gültig ab 01.07.2015 für KfW Energieeffizienzprogramm 276.

Gültig ab 01.10.2015 für KfW Energieeffizienzprogramm 217 und 220.

<sup>1</sup> Jahres-Primärenergiebedarf für das entsprechende Referenzgebäude nach EnEV Anlage 2 Tabelle 1.

<sup>2</sup> Höchstwert(e) der Wärmedurchgangskoeffizienten nach EnEV Anlage 2 Tabelle 2.

Abbildung 56: EnEV- und KfW-Bewertung Bürogebäude [Quelle: Eigene Berechnungen]

## 6.3 Das Hotel mit Gastronomie

### 6.3.1 Allgemeine Gebäudebeschreibung und Einteilung in Zonen

In Abbildung 57 ist die hangseitige Ansicht dargestellt. Die Geschosse sind ab dem Untergeschoss bis zum vierten Obergeschoss erkennbar. Insgesamt sind 98 Hotelzimmer, ein Restaurant mit Küche und sonstige Aufenthaltsräume (Konferenzräume und Nebenräume) untergebracht. Dementsprechend sind Bereiche unterschiedlich konditioniert und wie folgt in Zonen eingeteilt.

- Hotelzimmer
- Restaurant
- Küche, Vorbereitung
- Sonstige Aufenthaltsräume
- Lager, Technik, Archiv
- Foyer



Abbildung 57: Ansicht Hotelgebäude [Quelle: RS-Plan AG]

### 6.3.2 Beschreibung der Gebäudehülle des Hotels

Die Bodenplatte ist 10 cm im Estrichaufbau gedämmt. Ein Teilstück der Decke im Erdgeschoss wird gegen Außenluft zusätzlich mit 10 cm Dämmung versehen. Der obere Dachabschluss erhält eine 18 cm starke Dämmebene. Die Wandkonstruktion aus Beton wird mit einem 16 cm starken Wärmedämmverbundsystem verkleidet. Erdberührte Wände im Untergeschoss erhalten eine 10 cm starke Dämmung. Der U-Wert der Fenster lautet  $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

Die Wärmebrücken werden pauschal mit  $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  angesetzt. Ein Gleichwertigkeitsnachweis wurde geführt.

Die Wärmeverluste durch ans Erdreich angrenzende Bauteile werden durch Anwendung der DIN EN ISO 13370 in die Bilanzierung eingebracht. Letztlich ist für das Bauwerk eine Dichtheitsprüfung vorgesehen und erfolgreich umzusetzen.

### 6.3.3 Beschreibung der Gebäudetechnik des Hotels

Die eingesetzte Gebäudetechnik ist vielfältig und muss in den Rahmen der DIN V 18599 zwecks Bilanzierung eingeordnet werden. Nachfolgend werden die wesentlichen Fakten aufgezeigt.

Ein innenliegendes Lüftungsgerät versorgt die 98 Hotelzimmer mit je  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  (rund  $5.000 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Bilanztechnisch wurden nach DIN V 18599 beim Ansatz einer vollständigen Belüftung rund  $10.000 \text{ m}^3/\text{h}$  berechnet und angesetzt. Das Lüftungsgerät ist im vierten Obergeschoss unter der Decke im Technikraum untergebracht. Es verfügt über einen Rotationswärmetauscher mit 80 % Wärmerückgewinnung.

In den Hotelzimmern sind Innengeräte mit Umluftfunktion und Frischluftbeimischung über das Lüftungsgerät untergebracht. Abluft wird über das Bad angesaugt. Die Innengeräte sind über Kältemittelleitungen an eine Luft-Luft-Wärmepumpenanlage angeschlossen. Die angenommenen Kennwerte der Wärmepumpenanlage liegen zwischen  $-7^\circ\text{C}$  bei  $\text{COP} = 2,0$  und  $10^\circ\text{C}$  bei  $\text{COP} = 2,9$ .

Die Kältemittelleitungen und Lüftungsleitungen werden in den Fluren unterhalb der Decken und durch Schächte in die Etagen verteilt. Auf der Kühlungsseite wird die Anlage als VRF-System bezeichnet. Die Innengeräte dienen somit zum Heizen und Kühlen.

Für das Restaurant ist ein außen aufgestelltes Lüftungsgerät mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 80 % (Kreuzstromwärmetauscher) vorgesehen. Der Wärmebedarf des Lüftungsgerätes und alle übrigen Übergabekomponenten werden mit Hilfe von Fernwärme versorgt. Der Primärenergiefaktor beträgt nach Angaben des Versorgers 0,39. Die Kühlleistung im Restaurant wird über Innengeräte und eine Multi-Splitt-Anlage gedeckt.

Ebenso wird das Foyer und die sonstigen Aufenthaltsräume über die Multi-Splitt-Anlage gekühlt. Das Foyer und die Aufenthaltsräume erhalten eine Flächenheizung.

Die Aufenthaltsräume werden belüftet, wobei wegen Platzmangel keine Wärmerückgewinnung realisiert werden kann. Der Lagerbereich wird über Heizkörper versorgt.

Für die Küche ist ein separat außen aufgestelltes Lüftungsgerät mit 80 % Wärmerückgewinnung (Kreuzstromwärmetauscher) vorgesehen. Das Heizregister wird ebenso über die Fernwärme versorgt. Eine Kühlung der Küche erfolgt nicht.

Ansonsten ist der hydraulische Abgleich vorgesehen und alle Leitungslängen sind aus der Gebäudegeometrie ermittelt. Die Pumpen sind leistungsgeregt und bedarfssausgelegt berücksichtigt.

Der Warmwasserbedarf für die Hotelzimmer, das Restaurant und die Küche wird über einen Speicher und den Fernwärmeanschluss gedeckt.

Für die Bilanzierung der Beleuchtung sind stabförmige Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten, das einfache Tabellenverfahren und die direkte Beleuchtung angesetzt. Weiterhin sind je Zone folgende Beleuchtungskontrollen berücksichtigt:

- Hotelzimmer, automatisch mit Präsenzmelder
- Restaurant, tageslichtabhängig, gedimmt – aus/manuell ein
- Küche, manuell
- Sonstige Aufenthaltsräume, automatisch mit Präsenzmelder
- Lager, Technik, Archiv, automatisch mit Präsenzmelder
- Foyer, tageslichtabhängig, gedimmt – aus/wiedereinschaltend

### 6.3.4 Ergebnisse

Auf Grund der gewählten Ansätze nach DIN V 18599 und den Flächen zur Warmwasserversorgung ergibt sich ein dominanter Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung. In Abbildung 58 wird dies deutlich. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Bedarf standardmäßig mit 0,35 kWh/d je Quadratmeter Hotelzimmer gewählt wurde, obwohl Hotels in der Regel keine 100-prozentige Belegung der Zimmer haben. In der Realität ist sicherlich die Warmwasserbereitung ein wesentlicher Energiefaktor, ob jedoch eine solche Dominanz den tatsächlichen Verhältnissen nahe kommt, ist ingenieurmäßig zu entscheiden und zu recherchieren.

Der Ansatz für Warmwasser ist dann beim konkreten Projekt anzupassen und die Wahl der Randbedingungen zu dokumentieren.

Auf Grund der hier gewählten Randbedingungen soll insbesondere dieser Effekt und die Auswirkungen verdeutlicht werden. Mit einem reduzierten Ansatz für die Warmwasserbereitung kann das Gebäude durchaus den KfW-55-Standard erreichen.

Unter den beschriebenen Randbedingungen erreicht das Hotel im Beispiel einen KfW 70-Standard. In Abbildung 59 sind die Ergebnisse dargestellt. Die Gebäudehülle erreicht bereits den KfW-55-Standard.

Der Jahres-Primärenergiebedarf kann unabhängig von der Warmwasserthematik beispielsweise durch Berücksichtigung einer Holzpellets-Anlage, anstelle der FernwärmeverSORGUNG, weiter reduziert werden. Auch mit dieser Maßnahme kann der KfW-

55-Standard erreicht werden. Ob dies infolge der zusätzlichen Investitionskosten von der Bauherrschaft gewünscht ist, kann durch Aufzeigen von betrieblichen Einsparungen im Vergleich zur Fernwärme beeinflusst werden.

Unter der Annahme, dass die Wärmepumpenanlage effizienter ist, das heißt die zuvor angegebenen Kennwerte zu COP höher sind, reduziert sich ebenso der Jahres-Primärenergiebedarf im Verhältnis zum Referenzwert.

	Gesamt [kWh/a] [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Heizung [kWh/a] [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Kühlung [kWh/a] [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Lüftung [kWh/a] [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Beleuchtung [kWh/a] [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Warmwasser [kWh/a] [kWh/(m <sup>2</sup> a)]
Nutzenergie	832569	165635	173353	0	32982	460599
	171,81	34,18	35,77	0	6,81	95,05
Endenergie	958217	190605	19449	122602	32982	592579
	197,74	39,33	4,01	25,30	6,81	122,29
Primärenergie	673312	126133	35008	220684	59368	232119
	138,95	26,03	7,22	45,54	12,25	47,90

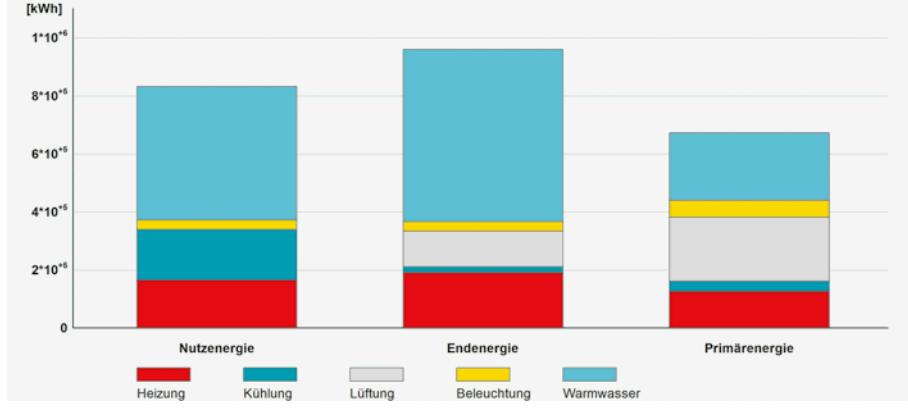


Abbildung 58: EnEV- und KfW-Bewertung Hotel mit Gastronomie [Quelle: Eigene Berechnungen]

**EnEV-Anforderungen(EnEV 2016)**

	Ist-Wert	mod. Altbau	EnEV-Neubau	-15 %	-30 %	-50 %	Neubau %
Jahres-Primärenergiebedarf $q_p$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	<b>138,95</b>	278,21	149,04	126,69	104,33	74,52	-7%
Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]							
- Opake Außenbauteile	<b>0,216</b>	0,490	<b>0,280</b>	0,238	0,196	0,140	-23 %
- Transparente Außenbauteile	<b>1,200</b>	2,660	<b>1,500</b>	1,275	1,050	0,750	-20 %

**KfW-Anforderungen "Energieeffizienzprogramm - Energieeffizient Bauen"**

	Ist-Wert	Referenzgebäude (EnEV)	KfW-EH 55 (EnEV)	KfW-EH 70 (EnEV)
Jahres-Primärenergiebedarf $q_p$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	138,95	198,72 <sup>1)</sup>	<b>109,30</b>	<b>139,11</b>
Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]				
- Opake Außenbauteile	<b>0,216</b>	0,28	<b>0,22</b>	<b>0,26</b>
- Transparente Außenbauteile	<b>1,200</b>	1,5	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>

Gültig ab 01.07.2015 für KfW Energieeffizienzprogramm 276.

Gültig ab 01.10.2015 für KfW Energieeffizienzprogramm 217 und 220.

<sup>1)</sup> Jahres-Primärenergiebedarf für das entsprechende Referenzgebäude nach EnEV Anlage 2 Tabelle 1.

2) Höchstwert(e) der Wärmeverlustkoeffizienten nach EnEV Anlage 2 Tabelle 2.

**Abbildung 59:** EnEV- und KfW-Bewertung Hotel mit Gastronomie [Quelle: Eigene Berechnungen]

## 6.4 Das Produktionsgebäude mit Verwaltung

### 6.4.1 Allgemeine Gebäudebeschreibung und Einteilung in Zonen

Abbildung 60 vermittelt einen Eindruck zum gewählten Nichtwohngebäude. In dem Bauwerk werden Teile für die Automobilindustrie produziert. Angegliedert sind eine dreigeschossige Verwaltung und sonstige Nutzflächen innerhalb der Halle. Der hintere Bereich des Gebäudes beherbergt das Lager und die innerhalb der wärmeverlierenden Hülle integrierte Anlieferung. Zwischen der Anlieferung und der Fertigung verlaufen Kranbahnen zum Materialtransport. Auf Grund der Nutzung und der Konditionierung können folgende Zonen mit ihren Flächen und Innenraumtemperaturen, sofern vom Nutzungsprofil abweichend, eingeteilt werden. Ergänzend ist die relevante Höhe der Fertigungshalle aufgeführt:

- Einzelbüros, 774 m<sup>2</sup>
- Fertigung, 18 °C, 4,706 m<sup>2</sup>, Höhe = 10 m
- Anlieferung/Lager, 15 °C, 468 m<sup>2</sup>
- WC, Sanitärräume Büro, 86 m<sup>2</sup>
- Nebenflächen, 364 m<sup>2</sup>
- Technik, 57 m<sup>2</sup>
- Serverraum, 28 m<sup>2</sup>
- Gruppenbüros Fertigung, 350 m<sup>2</sup>
- WC Fertigung, 22 m<sup>2</sup>
- Schleuse, 18 °C, 51 m<sup>2</sup>



Abbildung 60: Produktionsgebäude mit Verwaltung [Foto: Achim Hamann]

#### 6.4.2 Beschreibung der Gebäudehülle des Produktionsgebäudes

Die Flachdachkonstruktion ist im Beispiel planerisch mit 20 cm Dämmung versehen. Die Fassaden sollen aus 12 cm starken Sandwich-Paneele (PUR-Material,  $\lambda=0,025 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) hergestellt werden. Die Stahlbeton-Sandwichbauteile der Verwaltung sind zwischen der Trag- und Vorsatzschale 14 cm gedämmt.

Die Bodenplatte der Verwaltung ist 12 cm oberhalb in der Estrichebene und 6 cm unterhalb gedämmt. In der Halle ist eine Randdämmung als 5 m-Streifen vorgesehen. Die Randdämmung ist in Abbildung 61 während der Bauzeit dargestellt.



Abbildung 61: Randdämmung [Foto: Achim Hamann]

Die geplanten Büroeinheiten innerhalb der Produktionsfläche sind unterhalb der Bodenplatte 14 cm stark gedämmt. In Abbildung 62 sind die eingeschobenen Flächen in der Fertigungshalle erkennbar.

Auf Grund der Innenraumtemperaturdifferenzen zwischen der Produktionshalle und der Verwaltung erhält die Trennwand zur Verwaltung mit den angrenzenden Nebenflächen eine 6 cm starke Dämmplatte. Eine innere Abtrennung zwischen Fertigung und Anlieferung bzw. Lager erfolgt in gleicher Bauweise.

Das Durchlaufen der Kranbahnen zwischen Fertigung und Anlieferung bzw. Lager wird mit Hilfe einer Kunststofflamellen-Abtrennung vorgesehen und wird energetisch nicht gesondert berücksichtigt. Wie hierzu die Berechnungsgrundlagen mit Hilfe der DIN V 18599 zu definieren sind, ist im konkreten Fall ingenieurmäßig zu klären. Auch muss der Planer entscheiden, ob die Berücksichtigung dieser baulichen Situation bei der Bilanzierung überhaupt notwendig ist.

In Abbildung 62 ist ergänzend die Lamellenabtrennung im oberen Bereich der Trennwand erkennbar. Der Materialtransport durch den Kran verläuft durch kurzzeitig geöffnete Schiebetoranlagen.



**Abbildung 62:** Büroflächen innerhalb Halle [Foto: Achim Hamann]

Die U-Werte der Fenster sind mit  $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  angesetzt. Ein gesonderter Wärmebrückennachweis ist auf Grund der Konstruktion (Sockelausbildung, Blechfassade, Vordächer, Durchdringungen usw.) nicht vorgesehen. Es wird der pauschale Ansatz von  $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  gewählt. Der Wärmedurchgang durch die Bodenplatten wird nach DIN EN ISO 13370 berechnet. Eine Dichtheitsprüfung wird nicht vorgesehen.

In Abbildung 63 wird ein Beispiel zu einer konstruktiven Undichtigkeit bei einer Fertigteilbauweise im Bereich eines Treppenhauses mit schräg verlaufenden Außen-

wänden aufgezeigt. Dies kann sich durch die komplexe Konstruktion und auf Grund von Versätzen, Stößen und Anschlüssen ergeben. Die Undichtigkeit ist in der zweidimensionalen oder auch dreidimensionalen Planungsumgebung nicht unbedingt erkennbar.

Bei der Montage ist daher auf solche Schwachstellen zu achten, und im Nachgang sind diese energetisch und winddicht zu schließen.

Dieses Beispiel soll generell sensibilisieren, insbesondere wegen Wärmebrücken und der Luftdichtheit. Bei der Effizienzhausplanung ist auf Bauteilanschlüsse zu achten.



Abbildung 63: Unplanmäßige Öffnung in einer Fertigteilkonstruktion [Foto: Achim Hamann]

#### 6.4.3 Beschreibung der Gebäudetechnik des Produktionsgebäudes

Die Gebäudetechnik wurde wie folgt nach DIN V 18599 angesetzt.

##### Beleuchtung:

Beleuchtungsart: direkt

Lampenart: Leuchtstofflampen stabförmig, EVG

Gemäß externer Fachplanung lagen die elektrischen Bewertungsleistungen je Zone vor:

- Einzelbüros, gedimmt – aus/manuell ein,  $15,2 \text{ W/m}^2$
- Fertigung, gedimmt – aus/wiedereinschaltend,  $11,4 \text{ W/m}^2$
- Anlieferung/Lager, Präsenzmelder,  $4,26 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
- WC, Sanitärräume Büro, Präsenzmelder,  $10,08 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
- Nebenflächen, Präsenzmelder,  $8,17 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

- Technik, keine Beleuchtungskontrolle,  $10,08 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Serverraum, keine Beleuchtungskontrolle,  $10,08 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Gruppenbüros Fertigung, gedimmt – aus/manuell ein,  $13,52 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- WC Fertigung, Präsenzmelder,  $10,08 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Schleuse, Präsenzmelder,  $16,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

### **Lüftungstechnik:**

Der Fertigungsbereich wird mit einer Lüftungsanlage ausgestattet, hierbei wurde auf Grund des sonstigen Luftaustauschs bilanztechnisch eine teilweise Belüftung angenommen, wobei der Volumenstrom auf Grund der Fachplanung auf  $60.000 \text{ m}^3/\text{h}$  manuell in der Software erhöht wurde. Dies entspricht jedoch noch keiner vollständigen Lüftung. Hier würde der Volumenstrom nach DIN V 18599 rund  $95.000 \text{ m}^3/\text{h}$  betragen. Der Wärmerückgewinnungsgrad beträgt gemäß Fachplaner 61%.

Das Heizregister wird über einen Pufferspeicher versorgt, der wiederum von einer Luft-Wasser-Wärmepumpe als Wärmeerzeuger gespeist wird. In Abbildung 64 und 65 sind die außen aufgestellte Lüftungsanlage und die Wärmepumpen erkennbar. Zusätzlich ist ein Rückkühler aufgestellt, der einen Wasserkreislauf im Zuge des Produktionsprozesses kühlt. Diese prozesstechnischen Anlagen und resultierenden energetischen Verhältnisse werden jedoch in der Bilanzierung nach DIN V 18599 nicht berücksichtigt.

Die WC-Bereiche erhalten eine vollständige Lüftung. Der Wärmerückgewinnungsgrad beträgt hier 80%.



**Abbildung 64:** Lüftungsanlage [Foto: Achim Hamann]



**Abbildung 65:** Wärmepumpenanlage und Rückkühler für Prozesskälte [Foto: Achim Hamann]

**Heiztechnik:**

Die Rohrlängen sind aus der Gebäudegeometrie berechnet. Die Auslegungstemperaturen lauten 55/45 °C. Ein hydraulischer Abgleich und leistungsgeregelte, bedarfsausgelegte Pumpen sind angesetzt. Die Wärmequelle der Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage ist ausschließlich die Außenluft. Für die Bilanzierung wurden für die Wärmepumpe die Standardkennwerte angenommen.

Die konkreten Kennwerte nach Vergabe der Anlagenkomponenten und Ausführungsplanung können zu einem effizienteren Betrieb führen. Die Wärmepumpenanlage versorgt folgende Zonen über einen Pufferspeicher:

- Fertigung, Lüftungsgerät und Flächenheizung
- Schleuse, Hallenheizung – Luftheritzer
- WC Fertigung, Heizkörper
- Gruppenbüros Fertigung, Flächenheizung
- Anlieferung/Lager, Flächenheizung

Des Weiteren kommt ein Gas-Brennwertkessel für folgende Zonen und Übergabekomponenten zum Einsatz:

- Einzelbüros, Heizkörper
- Serverraum, Heizkörper
- WC Sanitärraum Büro, Heizkörper
- Technik, Heizkörper
- Nebenflächen, Heizkörper

**Kühlung:**

Eine Kühlung wird lediglich für den Serverraum und die Einzelbüros in der Verwaltung vorgesehen. Der Serverraum wird durch ein Split-System gekühlt, die Einzelbüros durch eine Multi-Split-Anlage. Die Übergabe wird durch Deckengeräte realisiert. Der Kaltwassersatz für die Produktionsprozesse einschließlich der Rückkühlung wird im Zuge der EnEV-Betrachtung nicht bilanziert.

**Warmwasserbereitung:**

Der Wärmebedarf wird auf Basis der Flächen der Zonen »Gruppenbüros Fertigung« und »Einzelbüros« in der Verwaltung ermittelt. Die erforderliche Wärme wird über den Gas-Brennwertkessel abgedeckt. Zusätzlich ist ein Warmwasserspeicher vorgesehen.

#### 6.4.4 Ergebnisse

Das EEWärmeG wird durch den Einsatz der Umweltwärme erfüllt. 79,9 % des Wärmeenergiebedarfs wird über die Wärmepumpenanlage zur Verfügung gestellt.

Das Gebäude erreicht einen KfW-70-Standard. Die Ergebnisse zum Jahres-Primärenergiebedarf und den mittleren U-Werten werden in Abbildung 66 verdeutlicht. Zusätzlich werden in Abbildung 66 die Anforderungen zum EnEV-Neubau-Standard, zum Referenzgebäude und zu den KfW-Effizienzhaus-Anforderungen aufgezeigt.

Zum Erreichen eines KfW-55-Standards müsste der Jahres-Primärenergiebedarf nochmals deutlich, beispielsweise durch Verrechnung einer Stromproduktion (Photovoltaikanlage) oder durch den Einsatz einer Biomassenheizung, gesenkt werden. Der mittlere U-Wert der opaken Außenhülle müsste ebenso weiter reduziert werden, was durch eine stärkere und/oder qualitativ höherwertigere Dämmung erreichbar ist. Die transparenten Bauteile bzw. die Bauteile in den Zonen unter 19 °C erreichen bereits den KfW-55-Standard.

#### EnEV-Anforderungen(EnEV 2016)

	Ist-Wert	mod. Altbau	EnEV-Neubau	-15 %	-30 %	-50 %	Neubau %
Jahres-Primärenergiebedarf $q_p$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	150,34	311,41	166,82	141,80	116,78	83,41	-10%
Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]							
- Opake Außenbauteile	0,259	0,490	0,280	0,238	0,196	0,140	-7 %
- Transparente Außenbauteile	1,100	2,660	1,500	1,275	1,050	0,750	-27 %
Zonen mit Temperatur unter 19°C :							
- Opake Außenbauteile	0,345	0,700	0,500	0,425	0,350	0,250	-31 %
- Transparente Außenbauteile	1,100	3,920	2,800	2,380	1,960	1,400	-61 %
- Glastächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	1,900	4,340	3,100	2,635	2,170	1,550	-39 %

#### KfW-Anforderungen "Energieeffizienzprogramm - Energieeffizient Bauen"

	Ist-Wert	Referenzgebäude (EnEV)	KfW-EH 55 (EnEV)	KfW-EH 70 (EnEV)
Jahres-Primärenergiebedarf $q_p$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	150,34	222,43 <sup>1)</sup>	122,34	155,70
Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]				
- Opake Außenbauteile	0,259	0,28	0,22	0,26
- Transparente Außenbauteile	1,100	1,5	1,2	1,4
Zonen mit Temperatur unter 19°C :				
- Opake Außenbauteile	0,345	0,50	0,35	0,43
- Transparente Außenbauteile	1,100	2,8	2,2	2,4
- Glastächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	1,900	3,1	2,2	2,6

Gültig ab 01.07.2015 für KfW Energieeffizienzprogramm 276.

Gültig ab 01.10.2015 für KfW Energieeffizienzprogramm 217 und 220.

<sup>1</sup> Jahres-Primärenergiebedarf für das entsprechende Referenzgebäude nach EnEV Anlage 2 Tabelle 1.

2 Höchstwert(e) der Wärmedurchgangskoeffizienten nach EnEV Anlage 2 Tabelle 2.

**Abbildung 66:** EnEV- und KfW-Bewertung Produktionsgebäude mit Verwaltung [Quelle: Eigene Berechnungen]

## 6.5 Großflächige Handelsgebäude: 17 °C Innenraumtemperatur, keine Kühlprodukte

### 6.5.1 Allgemeine Gebäudebeschreibung und Einteilung in Zonen

Beim gewählten Beispiel handelt es sich um einen Baumarkt mit großflächigem Verkaufsbereich, Lager, Holzzuschnitt, Technik- und Verwaltungseinheiten sowie einer Gastronomie.

Im Dachbereich sind Lichtbänder vorgesehen. Der Eingangsbereich ist als großzügiger Windfang gestaltet, der jedoch einen Kaltbereich darstellt. Ein angrenzender Hallenbereich ist ebenso als Kalthalle zu bewerten, da keine Heizung erfolgt bzw. ein frostfreier Betrieb weit unterhalb von 12 °C vorgesehen ist.

Die gewählte Gebäudestruktur und Nutzung ist zum Beispiel bei Möbelhäusern oder Fachmärkten ähnlich und steht von daher als Beispiel für großflächige Handelsgebäude. In Abbildung 67 ist das Objekt visualisiert dargestellt. Im Jahr 2016 befindet sich das Gebäude einschließlich der notwendigen Infrastruktur noch in der Bauphase.



**Abbildung 67:** Baumarkt mit Lager und Verwaltung [Quelle: RS-Plan AG]

Auf Grund der Nutzung und Konditionierung können die Zonen mit ihren Flächenangaben, Innenraumtemperaturen (unter 21 °C) und Höhen wie folgt angegeben werden:

- Verwaltung, 364 m<sup>2</sup>
- Markt (Verkaufsfläche), 9.921 m<sup>2</sup>, Höhe = 9,5 m, 17 °C
- Gastronomie-Küche, Vorbereitung, 195 m<sup>2</sup>, 17 °C
- Lager/Holzzuschnitt, 648 m<sup>2</sup>, Höhe = 9,5 m, 17 °C
- WC-Gastronomie, 72 m<sup>2</sup>
- Technik, 319,2 m<sup>2</sup>, 17 °C
- WC-Verwaltung, 72,8 m<sup>2</sup>
- Gastronomie Sitzbereich, 108 m<sup>2</sup>, Höhe = 9,5 m
- Schleieranlage-Markt, 300 m<sup>2</sup>, Höhe = 9,5 m, 17 °C
- unbeheizte VK-Fläche (Markt einseitig gegen Kalthalle), 2.500 m<sup>2</sup>

Die Beheizung der Verkaufsfläche, des Lagers und des zum Markt hin offenen Gastronomiebereiches erfolgt nach Baubeschreibung der Handelskette für Temperaturen unter 19 °C. Entsprechend werden die Heiz- und Lüftungsanlagen ausgelegt und betrieben.

### 6.5.2 Beschreibung der Gebäudehülle

Die Gebäudehülle beststeht aus Beton-Sandwich-Wänden, befestigt an Betonfertigteil-Stützen und die Dacheindeckung aus Trapezblechen mit Folienabdichtung. Im Fassadenbereich kommen ebenso Trapezblechkonstruktionen bzw. Sandwichpaneelen und Verglasungen zum Einsatz. Die Betonfertigteile sind mit einer 10 cm starken Kerndämmung ( $\lambda = 0,028 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) versehen. Die Blechfassade ist 14 cm stark gedämmt und die Dachdämmung hat eine Dicke von 18 cm. Auf Grund der Großflächigkeit ist die Dachfläche das dominante Hüllenbauteil.

Einseitig grenzt der Markt an einen unbeheizten Kalthallenbereich an. Die Bodenplatte der Verkaufsfläche ist vollständig ungedämmt. Der Bauherr verzichtet infolge des Wärmesees unter dem Feld der Bodenplatte bewusst auf eine Randdämmung. Eine 60 cm ins Erdreich einbindende, umlaufende »Frostschürze« in kerngedämmter Betonfertigteilbauweise grenzt das Gebäude seitlich zum Erdreich bzw. zur Außenluft ab.

Die Bodenplatte der Verwaltung ist 12 cm oberhalb der Konstruktion in der Estrichebene gedämmt.

Als Wärmebrückenzuschlag wird die Pauschale von 0,05  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  für die Bilanzierung angenommen und somit ein Gleichwertigkeitsnachweis einschließlich der konstruktiven Anpassung von Details vorausgesetzt. Eine eigene Vergleichsrechnung hat gezeigt, dass der Wert bei einem detaillierten Wärmebrückennachweis unter 0,05  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  liegt. Infolge der eingesetzten Materialien und der Bauausweise sowie auf Grund von Befestigungspunkten der Tragschalen wird jedoch nach ingeniermäßiger Einschätzung der reduzierte pauschale Wert von 0,05  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  als sinnvoll erachtet und ein Gleichwertigkeitsnachweis geführt.

Insgesamt ist für das Gebäude eine Dichtheitsprüfung vorgesehen. Bei Vergleichsprojekten hat die Luftdichtheitsprüfung beispielsweise für den Verwaltungsbereich eine Luftwechselrate ( $n_{50}$ ) von 0,93  $\text{h}^{-1}$  ergeben. Somit konnten die Vorgaben eingehalten werden.

Der Wärmeverlust über das Erdreich wird nach DIN EN ISO 13370 berechnet, da die Verkaufs- und Gastronomiefläche zusätzlich gekühlt werden soll.

### 6.5.3 Beschreibung der Gebäudetechnik

Die Gebäudetechnik gemäß Baubeschreibung wurde wie folgt in der Bilanzierung nach DIN V 18599 abgebildet:

#### **Beleuchtung:**

Für alle Zonen kommt eine direkte Beleuchtungsart mit stabförmigen Leuchtstofflampen (EVL) zum Ansatz. Die elektrischen Bewertungsleistungen werden nach dem einfachen Tabellenverfahren ermittelt. Es wird keine Beleuchtungskontrolle angesetzt.

Je nach Zone liegen die Tageslichtbereiche zwischen 0 % (Technik, WC-Gastronomie) bis 100 % (WC-Verwaltung). Für die Verkaufsfläche (Zone Markt) wird beispielsweise der Flächenanteil mit Tageslicht auf Grund der Lichtbänder in der Dachkonstruktion und Verglasungen in der Fassade mit 60 % angesetzt.

#### **Lüftungstechnik:**

Für den Verkaufsraum sind zwei Lüftungsgeräte vorgesehen. Diese werden im Wesentlichen als Umluftgeräte betrieben. Die Umluftmenge liegt bei 40.000 m<sup>3</sup>/h. Der Frischluftanteil wird auf Grund einer CO<sub>2</sub>-Messung beigemischt und liegt etwas unter 4.000 m<sup>3</sup>/h. Zur Bilanzierung wird daher der Volumenstrom gemäß Angaben des Fachplaners mit 3.800 m<sup>3</sup>/h angesetzt. Der Hilfsstrom für die Ventilatoren ist demnach nicht korrekt bilanziert, jedoch sieht der Autor derzeit keine alternative und sinnvolle Modellierung für diese Anlagenkonfiguration in Anlehnung an die DIN V 18599. Für Anregungen bin ich sehr dankbar.

Die Lüftungsanlagen haben auf Grund des kleinen Frischluftanteils keine Wärmerückgewinnung. Zusätzliche Frischluft strömt in der Praxis durch Kunden- und Warenverkehr in das Gebäude. Dieser Umstand wird nach DIN V 18599 nicht gesondert modelliert oder berücksichtigt. Ob dieser Umstand mit einer sinnvollen Wahl des nutzungsbedingten Mindestluftwechsels gemäß Standard-Nutzungsprofil (Einzelhandel/Kaufhaus ohne Kühlprodukte) berücksichtigt werden sollte, muss wiederrum ingenieurmäßig entschieden und dokumentiert werden. Heizungstechnisch werden an den Öffnungen Türschleieranlagen betrieben. Damit wird dem Kälteeintrag begegnet.

Die beiden Lüftungsanlagen werden über Wärmepumpen versorgt, die je nach Betriebsweise die Umluft mit geringem Frischluftanteil heizen oder kühlen.

Im Bereich der Gastronomie wird eine dritte Lüftungsanlage mit Heiz- und Kühlfunktion eingesetzt. Der Volumenstrom beträgt 6.000 m<sup>3</sup>/h. Der Wärmerückgewinnungsgrad des Kreuzstromwärmetauschers liegt bei 80 %.

## Heiz- und Kühltechnik:

Für alle Zonen wird ein hydraulischer Abgleich realisiert. Die Leitungen sind aus der Gebäudegeometrie ermittelt. Die Pumpen sind leistungsgeregt und bedarfssausgelegt. Ein Gas-Brennwertkessel versorgt folgende Zonen und Übergabekomponenten:

- Verwaltung, Heizkörper
- Gastronomie-Küche, Vorbereitung, Heizkörper
- Lager/Holzzuschnitt, Hallenheizung (Lufterhitzer)
- WC-Gastronomie, Heizkörper
- Technik, Heizkörper
- WC-Verwaltung, Heizkörper
- Gastronomie Sitzbereich, Flächenheizung
- Schleieranlagen-Markt, Hallenheizung (Lufterhitzer)

Die Verkaufsfläche (Zone Markt) und die Gastronomie werden über Lüftungsanlagen beheizt und gekühlt. Dazu werden bilanztechnisch Luft-Luft-Wärmepumpen (bereits erwähnt) auf der Heizseite und VRF-Systeme auf der Kühlseite angesetzt. Die Auslegungstemperatur ist mit 14/18 °C (zum Beispiel Ventilatorkonvektor/Induktionsgeräte) angenommen.

Die Luft-Luft-Wärmepumpen nutzen nach Angaben des Fachplaners ausschließlich die Außenluft als Wärmquelle und die relevanten Kennwerte lauten:

• Temperatur	COP
• -7 °C	3,54
• 2 °C	3,89
• 7 °C	4,91
• 10 °C	5,00

## Warmwasserbereitung:

Der Warmwasserbedarf wird über die Gas-Brennwertkesselanlage in Kombination mit einer Solaranlage gedeckt. Dazu sind Flachkollektoren mit rund 45 m<sup>2</sup> Fläche vorgesehen. Ein Pufferspeicher ist zwischengeschaltet. Die Leitungslängen sind aus der Geometrie berechnet. Für das Verteilernetz wurde eine Zirkulation berücksichtigt.

### 6.5.4 Ergebnisse

Das EEWärmeG wird durch den Einsatz der Luft-Luft-Wärmepumpen und die Nutzung der Umweltwärme erfüllt. Der bilanzierte Anteil beträgt 70,3% am Wärmeenergiebedarf.

Das Gesamtergebnis wird in Abbildung 68 aufgezeigt. Die erreichten Ist-Werte im Vergleich zu den EnEV-Neubau-Werten, zu Referenzwerten und den KfW-Anforderungen werden deutlich. Beim Beispiel wird der KfW-70-Standard erreicht.

## EnEV-Anforderungen(EnEV 2016)

	Ist-Wert	mod. Altbau	EnEV-Neubau	+ 15 %	- 30 %	- 50 %	Neubau %
Jahres-Primärenergiebedarf $q_p$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	<b>80,57</b>	165,34	<b>88,57</b>	75,29	62,00	44,29	-9%
Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]							
- Opake Außenbauteile	<b>0,237</b>	0,490	<b>0,280</b>	0,238	0,196	0,140	-16 %
- Transparente Außenbauteile	<b>1,300</b>	2,660	<b>1,500</b>	1,275	1,050	0,750	-13 %
Zonen mit Temperatur unter 19°C :							
- Opake Außenbauteile	<b>0,427</b>	0,700	<b>0,500</b>	0,425	0,350	0,250	-15 %
- Transparente Außenbauteile	<b>1,300</b>	3,920	<b>2,800</b>	2,380	1,960	1,400	-54 %
- Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	<b>1,899</b>	4,340	<b>3,100</b>	2,635	2,170	1,550	-39 %

## KfW-Anforderungen "Energieeffizienzprogramm - Energieeffizient Bauen"

	Ist-Wert	Referenzgebäude (EnEV)	KfW-EH 55 (EnEV)	KfW-EH 70 (EnEV)
Jahres-Primärenergiebedarf $q_p$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	80,57	118,10 <sup>1)</sup>	<b>64,95</b>	<b>82,67</b>
Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]				
- Opake Außenbauteile	0,237	0,28	<b>0,22</b>	<b>0,26</b>
- Transparente Außenbauteile	1,300	1,5	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>
Zonen mit Temperatur unter 19°C :				
- Opake Außenbauteile	0,427	0,50	<b>0,35</b>	<b>0,43</b>
- Transparente Außenbauteile	1,300	2,8	<b>2,2</b>	<b>2,4</b>
- Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	1,899	3,1	<b>2,2</b>	<b>2,6</b>

Gültig ab 01.07.2015 für KfW Energieeffizienzprogramm 276.

Gültig ab 01.10.2015 für KfW Energieeffizienzprogramm 217 und 220.

<sup>1)</sup> Jahres-Primärenergiebedarf für das entsprechende Referenzgebäude nach EnEV Anlage 2 Tabelle 1.<sup>2)</sup> Höchstwert(e) der Wärmedurchgangskoeffizienten nach EnEV Anlage 2 Tabelle 2.

Abbildung 68: EnEV- und KfW-Bewertung Baumarkt [Quelle: Eigene Berechnungen]

## 6.6 Großflächige Handelsgebäude: 21 °C Innenraumtemperatur, mit Kühlprodukte

### 6.6.1 Allgemeine Gebäudebeschreibung und Einteilung in Zonen

In Abbildung 69 ist ein beispielhafter Grundriss zu einem solchen Objekttyp dargestellt. Erkennbar sind der Verkaufsraum, die Nebenräume, die Anlieferung und die vorgelagerten, gesondert vermieteten Shops. Zusätzlich ist in der Regel eine Imbiss- oder Bäckertheke mit Sitzbereich enthalten. Im gewählten Beispiel werden folgende Zonen mit 21 °C Innenraumtemperatur bilanziert:

- Einzelhandel, 3.506 m<sup>2</sup>
- Gruppenbüros, 485 m<sup>2</sup>
- Küche/Vorbereitung, 100 m<sup>2</sup>
- Shops, 139 m<sup>2</sup>

Zusätzlich werden rund 68 m<sup>2</sup> Kühlräume bilanziert. Hier sind nur die Beleuchtung und die Kühlung angesetzt. Im Bereich der Zone »Einzelhandel« und »Küche/Vorbereitung« wird neben dem Heizen und Lüften zusätzlich die Kühlung vorgesehen.

Das Gebäude basiert auf einem ausgekernten Altbestand aus den 60er Jahren. Teilbereiche wurden abgerissen und verschiedene Anbauten ergänzt. Weiter genutzte Bauenteile wurden energetisch ertüchtigt, sodass insgesamt das Gebäude wie ein Neubau behandelt wird und im Zuge der Bilanzierung ebenso von einem Neubau ausgegangen wird.



Abbildung 69: Grundriss Handelsfläche mit Kühlprodukten [Quelle: RS-Plan AG]

### 6.6.2 Beschreibung der Gebäudehülle

Für das Gebäude ist eine Dichtheitsprüfung vorgesehen. Diese wurde beim realen Projekt erfolgreich durchgeführt. Die Wärmebrücken werden pauschal mit  $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  angesetzt. Dazu ist ein Gleichwertigkeitsnachweis unter Anwendung des Beiblatts 2 der DIN 4108 und Wärmebrückenkatalogen von Baustoffherstellern zu führen.

Da die wesentlichen Flächen im Gebäude auch gekühlt werden, ist der Wärmeverlust durch das Erdreich nach DIN EN ISO 13370 zu berechnen.

Die Bodenplatte ist im Bereich des Bestands ohne Randdämmung ausgeführt. Die Anbauflächen erhalten eine Randdämmung. Im Bereich der Kühlräume ist eine 12 cm starke Dämmung unter der Bodenplatte vorgesehen. Sämtliche Dachflächen, ob Bestand oder Neubau, werden 20 cm stark gedämmt.

Die Außenwände bestehen zum Teil aus einer Stahlbetontragschale mit 16 cm Dämmung oder aus bestehenden Leichtbetonwänden mit einer zusätzlich aufzubringenden 18 cm dicken Dämmung.

Die neuen Fenster sind mit einem U-Wert von 0,9 W/(m<sup>2</sup>·K) geplant.

### 6.6.3 Beschreibung der Gebäudetechnik

Im Beispiel wird die Gebäudetechnik wie folgt nach DIN V 18599 zwecks Bilanzierung angesetzt:

In allen Zonen werden stabförmige Leuchtstofflampen (EVG) und eine direkte Beleuchtung angesetzt. Die elektrische Bewertungsleistung wird nach dem einfachen Tabellenverfahren ermittelt. Es sind keine Beleuchtungskontrollen vorgesehen.

Es wird ein Lüftungsgerät für die Verkaufsfläche inklusive des Thekenbereiches für die Bilanzierung angenommen, auch wenn im Thekenbereich ein zusätzliches Umluftgerät platziert ist. Dies erscheint vereinfacht möglich, da die Flächen gegenseitig offen sind und der Luftraum über der Theke mit gelüftet wird. In der Bilanz fehlt bei dieser Vorgehensweise der Hilfsstrom für das Umluftgerät. Für das Lüftungsgerät wird eine teilweise Belüftung angesetzt und mit dem Kundenstrom sowie dem resultierenden Frischluftanteil begründet. Der Wärmerückgewinnungsgrad des Kreuzstromwärmetauschers beträgt 80 %.

Das Heizen erfolgt ausschließlich über eine Luft-Wasser-Wärmepumpe und die Wärmequelle Außenluft. Es erfolgt keine elektrische Nachheizung. Die Heizwasserverteilung erfolgt über einen Pufferspeicher.

Die Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage hat nach Angaben des Fachplaners folgende Kennwerte:

• Temperatur	COP
• -5 °C	3,70
• 0 °C	4,30
• 5 °C	4,90

Der Verkaufsraum (Zone Einzelhandel) wird über Deckengeräte, die Umluft und Frischluft mischen, geheizt. Die Deckengeräte sind an die Lüftungs- und die Vor- sowie Rücklaufleitungen angeschlossen. Die Übergabekomponente lautet Luftheizung, und die Art der Luftheizung wurde als Umluftheizung (Induktionsgerät, Ventilatorkonvektoren) gewählt.

Die Shops und die Büroflächen erhalten eine Flächenheizung. Der hydraulische Abgleich ist vorgesehen, und alle Leitungslängen sind aus der Gebäudegeometrie ermittelt. Die Pumpen sind leistungsgeregt und bedarfssausgelegt.

Die Kühlräume werden mit Hilfe einer separaten Splitt-Anlage gekühlt. Die Zonen »Einzelhandel« und »Küche/Vorbereitung« werden über eine Multi-Splitt-Anlage als direktes System gekühlt. Dazu sind Inneneinheiten als Deckengeräte vorgesehen.

Der Warmwasserbedarf wird in Abhängigkeit der Verkaufsfläche mit 0,01 kWh/d je m<sup>2</sup> und der Bürofläche mit 0,03 kWh/d je m<sup>2</sup> berechnet.

Der Warmwasserbedarf wird über die Wärmepumpe und einer 17,5 m<sup>2</sup> Solaranlage mit Röhrenkollektoren sichergestellt.

#### 6.6.4 Ergebnisse

Die EnEV- und KfW-Bewertung ist in Abbildung 70 dargestellt. Das Gebäude erfüllt die KfW-70-Anforderungen. Da die mittleren U-Werte auch den KfW-55-Standard erfüllen, drängt sich die Frage auf, welche Änderungen sind insgesamt zur Erreichung des KfW-55-Standards notwendig.

##### EnEV-Anforderungen(EnEV 2016)

	Ist-Wert	mod. Altbau	EnEV-Neubau	-15 %	-30 %	-50 %	Neubau %
Jahres-Primärenergiebedarf $q_p$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	126,50	258,21	138,33	117,58	96,83	69,16	-9%
Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]							
- Opake Außenbauteile	0,204	0,490	0,280	0,238	0,196	0,140	-27 %
- Transparente Außenbauteile	0,900	2,660	1,500	1,275	1,050	0,750	-40 %
- Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	1,900	4,340	2,500	2,125	1,750	1,250	-24 %

##### KfW-Anforderungen "Energieeffizienzprogramm - Energieeffizient Bauen"

	Ist-Wert	Referenzgebäude (EnEV)	KfW-EH 55 (EnEV)	KfW-EH 70 (EnEV)
Jahres-Primärenergiebedarf $q_p$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	126,50	184,44 <sup>1)</sup>	101,44	129,11
Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]				
- Opake Außenbauteile	0,204	0,28	0,22	0,26
- Transparente Außenbauteile	0,900	1,5	1,2	1,4
- Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	1,900	2,5	2,0	2,4

Gültig ab 01.07.2015 für KfW Energieeffizienzprogramm 276.

Gültig ab 01.10.2015 für KfW Energieeffizienzprogramm 217 und 220.

<sup>1</sup> Jahres-Primärenergiebedarf für das entsprechende Referenzgebäude nach EnEV Anlage 2 Tabelle 1.

<sup>2</sup> Höchstwert(e) der Wärmedurchgangskoeffizienten nach EnEV Anlage 2 Tabelle 2.

**Abbildung 70:** EnEV- und KfW-Bewertung Handelsfläche mit Kühlprodukte [Quelle: Eigene Berechnungen]

Bei dem Beispiel soll daher der Einfluss einer Photovoltaikanlage auf einem großflächigen Gebäude nochmals [vgl. 5.2.1] verdeutlicht werden. Dazu wird eine Fläche von 1.500 m<sup>2</sup> mit dem Zelltyp »Monokristallines Silizium« und einer stark belüfteten oder freistehenden Modulbauweise angesetzt und nach DIN 18599-9 berechnet. In Abbildung 71 wird beispielhaft eine freistehende Photovoltaikanlage auf einer Dachfläche aufgezeigt.

Der jährliche Ertrag beziffert sich auf 173.533 kWh. Der jährliche Strombedarf des Gebäudes liegt bei 302.093 kWh. Nach § 5 der EnEV sind 150.413 kWh jährlich anrechenbar.

Mit diesem Ansatz kann die Effizienz weiter gesteigert und ein KfW-55-Standard erreicht bzw. mit Blick auf den Jahres-Primärenergiebedarf deutlich unterschritten werden. Das Bilanzierungsergebnis dieser Variante ist in Abbildung 72 aufgeführt.



**Abbildung 71:** Photovoltaikanlage auf Dachfläche eines Handelsgebäudes [Foto: Achim Hamann]

#### EnEV-Anforderungen(EnEV 2016)

	Ist-Wert	mod. Altbau	EnEV-Neubau	- 15 %	- 30 %	- 50 %	Neubau %
Jahres-Primärenergiebedarf $q_p$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	<b>63,52</b>	258,21	138,33	117,58	96,83	69,16	-54%
Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]							
- Opake Außenbauteile	<b>0,204</b>	0,490	0,280	0,238	0,196	0,140	-27 %
- Transparente Außenbauteile	<b>0,900</b>	2,660	1,500	1,275	1,050	0,750	-40 %
- Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	<b>1,900</b>	4,340	2,500	2,125	1,750	1,250	-24 %

#### KfW-Anforderungen "Energieeffizienzprogramm - Energieeffizient Bauen"

	Ist-Wert	Referenzgebäude (EnEV)	KfW-EH 55 (EnEV)	KfW-EH 70 (EnEV)
Jahres-Primärenergiebedarf $q_p$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	63,52	184,44 <sup>1)</sup>	101,44	129,11
Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]				
- Opake Außenbauteile	0,204	0,28	<b>0,22</b>	<b>0,26</b>
- Transparente Außenbauteile	0,900	1,5	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>
- Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	1,900	2,5	<b>2,0</b>	<b>2,4</b>

Gültig ab 01.07.2015 für KfW Energieeffizienzprogramm 276.

Gültig ab 01.10.2015 für KfW Energieeffizienzprogramm 217 und 220.

<sup>1)</sup> Jahres-Primärenergiebedarf für das entsprechende Referenzgebäude nach EnEV Anlage 2 Tabelle 1.

<sup>2)</sup> Höchstwert(e) der Wärmedurchgangskoeffizienten nach EnEV Anlage 2 Tabelle 2.

**Abbildung 72:** EnEV- und KfW-Bewertung Handelsfläche mit Photovoltaikanlage [Quelle: Eigene Berechnungen]

## 6.7 Die Logistik- und Gewerbehalle mit Verwaltung

### 6.7.1 Allgemeine Gebäudebeschreibung und Einteilung in Zonen

In diesem Beispiel wird eine Logistikhalle als Umschlags- und Lagerplatz für den Anlagenbau betrachtet. Konkret sind folgende Nutzungen in der Halle beabsichtigt:

- Bodenblocklager, Palettenlager
- Materiallager, Verpackungsbereich
- Fachbodenlager, Sperrlager
- Wareneingang und Warenausgang
- Büro und WC-Bereich in der Halle
- Verwaltung mit Anschluss an Bestandsverwaltung (thermisch abgeschlossen)

In Abbildung 73 ist das Gebäude als Visualisierung dargestellt. Die Hallenhöhe ist mit 13,75 m zu berücksichtigen. Die Halle wird dem Nutzungsprofil »Gewerbliche Halle – einfache Arbeit« zugeordnet, da die tatsächliche Nutzung den Nutzungsdaten gemäß Nutzungsprofil nahekommt. Das Nutzungsprofil »Lagerhalle, Logistikhalle« entspricht dagegen nicht der tatsächlichen Nutzung. Hier passen beispielsweise die 365 Nutzungstage und die täglichen 24 Nutzungsstunden nicht mit der tatsächlichen Nutzung überein. Die Wahl des Nutzungsprofils ist wiederum ingenieurmäßig zu entscheiden und zu dokumentieren.



Abbildung 73: Logistik- und Gewerbehalle mit Verwaltung [Quelle: RS-Plan AG]

Die nach DIN V 18599 angesetzten Zonen mit Innenraumtemperaturen (sofern niedriger als 21 °C) und Flächen lauten beim Beispiel wie folgt:

- Einzelbüros, 233,05 m<sup>2</sup>
- Gewerbliche Halle, 9.705,0 m<sup>2</sup>, 18 °C
- WC Verwaltung, 89,35 m<sup>2</sup>

- Nebenflächen, 186,42 m<sup>2</sup>
- Technik, 101,74 m<sup>2</sup>
- Serverraum, 13,38 m<sup>2</sup>
- Gruppenbüro Wareneingang, 65,52 m<sup>2</sup>
- WC Wareneingang, Blocklager, 32,0 m<sup>2</sup>
- Gruppenbüro Blocklager, 73,02 m<sup>2</sup>

### 6.7.2 Beschreibung der Gebäudehülle

Der Wärmebrückenzuschlag wird für alle Zonen pauschal mit 0,10 W/(m<sup>2</sup>·K) festgelegt. Ein detaillierter Nachweis entfällt, zumal der erhöhte Aufwand zum Nachweis der Wärmebrücken bei dem hier erreichten Ergebnis [KfW-55-Standard, vgl. 6.7.4] nicht erforderlich ist. Unabhängig davon sollten beispielsweise die Anschlüsse im Bereich Sockel, Traufen und Tore energieeffizient konstruiert sein.

Der Wärmeverlust durch das Erdreich wird nach DIN EN ISO 13370 berechnet, da auch hier gekühlte Zonen geplant sind und dieser Ansatz in der Regel zu besseren Ergebnissen führt. Eine Vergleichsrechnung zum gewählten Beispiel hat gezeigt, dass der Ansatz von F<sub>x</sub>-Werten (Temperatur-Korrekturfaktoren) dazu führt, dass der KfW-55-Standard nicht erreicht wird.

Eine Luftpichtigkeitsprüfung wird im Zuge der Bilanzierung nicht vorgesehen.

Das Flachdach wird 20 cm und das Trapezblech der Fassade 22 cm stark gedämmt. Der Neubau der Verwaltung erhält ein 14 cm dickes Wärmedämmverbundsystem auf einem Kalksandsteinmauerwerk. Die Bodenplatte der Halle wird randgedämmt ausgeführt, die Bürobereiche und Nebenflächen erhalten über der Bodenplatte eine 12 cm dicke Dämmung. Die Fenster sind mit dem U-Wert von 0,9 W/(m<sup>2</sup>·K) geplant.

Alternative und optimierte Dämmstärken und U-Werte unter Berücksichtigung des detaillierten Wärmebrückennachweises sind zur Erlangung eines KfW-55-Effizienzhauses möglich. Im Beispiel wurden die aufgeführten Ansätze verwendet.

### 6.7.3 Beschreibung der Gebäudetechnik

Die geplante Gebäudetechnik wurde zusammen mit dem TGA-Planer hinsichtlich des energetischen Bilanzierungsziels und der notwendigen Technik für die Nutzung des Gebäudes festgelegt. Dazu wurden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen aufgestellt und mit dem Bauherrn besprochen. Auch bei der Technik sind alternative Ausstattungen möglich. Beim gewählten Beispiel kommt folgende nach DIN V 18599 bilanzierte Gebäudetechnik zum Ansatz:

### **Beleuchtung:**

Die Beleuchtungsart wurde als »direkt und indirekt« festgelegt. Als Lampenart kommen »LED in LED Leuchten« zum Einsatz. Die elektrische Bewertungsleistung und die Beleuchtungskontrollen je Zone ergaben sich aus der Fachplanung wie folgt:

- Einzelbüros, 9,23 W/m<sup>2</sup>, tageslichtabhängig gedimmt – aus in Standby-Funktion/ wiedereinschaltend
- Gewerbliche Halle, 1,87 W/m<sup>2</sup>, Präsenzmelder, stufenweise ein/aus
- WC Verwaltung, 4,62 W/m<sup>2</sup>, Präsenzmelder
- Nebenflächen, 5,56 W/m<sup>2</sup>, Präsenzmelder, stufenweise ein/aus
- Technik, 5,3 W/m<sup>2</sup>, manuell
- Serverraum, 5,3 W/m<sup>2</sup>, manuell
- Gruppenbüro Wareneingang, 5,33 W/m<sup>2</sup>, Präsenzmelder, stufenweise ein/aus
- WC Wareneingang, Blocklager, 4,62 W/m<sup>2</sup>, manuell
- Gruppenbüro Blocklager, 9,23 W/m<sup>2</sup>, Präsenzmelder, stufenweise ein/aus

### **Lüftungstechnik:**

Eine Lüftungstechnik wird nur in den WC-Bereichen geplant. Die Halle bleibt mechanisch unbelüftet, da nur wenige Mitarbeiter auf der Fläche beschäftigt sind und dies in Abstimmung mit den Bauherrenvertretern eine planerische Vorgabe darstellte. Unter dem Aspekt, dass durch einzelne Wareneingänge und Warenausgänge zwangsläufig Frischluft zuströmt und durch die Gebäudehöhe ein sehr großes Raumvolumen besteht, ist eine Lüftungsanlage nicht notwendig.

- WC Verwaltung, vollständige Belüftung, WRG 60 %
- WC Wareneingang, Blocklager, Abluftanlage

### **Heiztechnik:**

Eine Luft-Luft-Wärmepumpe versorgt die Zone »Einzelbüros« und somit den Bürobereich der neuen Verwaltung. Als Wärmequelle kommt ausschließlich die Außenluft zum Ansatz. Es wird nicht elektrisch nachgeheizt. Die Wärmeübergabe erfolgt über Deckengeräte als Umluftheizung. Die Kennwerte der Wärmepumpe lauten wie folgt:

• Temperatur	COP
• -7 °C	3,0
• 2 °C	3,3
• 7 °C	3,5
• 10 °C	3,7

Des Weiteren ist eine bivalente Anlage, bestehend aus einem Gas-Brennwertkessel und einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage vorgesehen. Für die Bilanzierung werden die Standard-Kennwerte angesetzt. Als Wärmequelle steht die Außenluft ohne elektrische Nachheizung zur Verfügung.

Der Bivalenzpunkt der Wärmepumpe wurde mit 5 °C festgelegt. Bis dahin wird der Wärmebedarf nur durch die Wärmepumpe gedeckt. Bei kälteren Temperaturen wird der Wärmebedarf durch Parallelbetrieb von der Wärmepumpe und dem Gas-Brennwertkessel gedeckt. Eine zusätzliche Anlagenkomponente stellt der Pufferspeicher dar. Die Wärmeübergabe und Verteilung ist wie folgt geplant:

- Gewerbliche Halle, 15 % der Fläche über Hallenheizung, Luftheritzer im Bereich der Tore, 85 % der Fläche über Hallenheizung, Strahlungsheizung (Deckenplatten), P-Regler
- WC Verwaltung, Heizkörper, P-Regler
- Nebenflächen, Heizkörper, P-Regler
- Technik, Heizkörper, P-Regler
- Serverraum, Heizkörper, P-Regler
- Gruppenbüro Wareneingang, Heizkörper, P-Regler
- WC Wareneingang, Blocklager, Heizkörper, P-Regler
- Gruppenbüro Blocklager, Heizkörper, P-Regler

Die Rohrleitungslängen sind aus der Geometrie des Gebäudes bestimmt. Ein hydraulischer Abgleich wird realisiert und die Pumpen sind leistungsgeregt und bedarfssausgelegt. Es ist kein integriertes Pumpenmanagement vorgesehen.

### **Kühlung:**

Gekühlt werden die Büroflächen und der Serverraum. Die Luft-Luft-Wärmepumpe für die Zone »Einzelbüros« wird für den Kühlfall als VRF-System modelliert. Die Zone »Gruppenbüro Wareneingang« und »Serverraum« wird von dem VFR-System mit versorgt. Die Kühlung der Zonen lässt sich demnach für das Gebäude wie folgt beschreiben:

- Einzelbüros, VRF-System, Deckenkassetten, direktes System
- Gruppenbüro Wareneingang, Deckenkassetten, direktes System
- Serverraum, Deckenkassetten, direktes System

### **Warmwasserbereitung:**

Die Warmwasserbereitung erfolgt auf Grund der Gebäudegröße dezentral für den WC-Bereich der Verwaltung und des Wareneingangs. Dazu sind jeweils elektrische Durchlauferhitzer ohne Warmwasserspeicher vorgesehen.

Die Rohrleitungslängen wurden wiederum aus der Gebäudegeometrie bestimmt, was zu große Längen und Verluste ergibt, jedoch für die Gesamtbilanzierung akzeptiert werden kann. Bei Bedarf sind konkrete Längen zu ermitteln. Im Zuge dieser Bilanzierung erfolgte jedoch keine Anpassung der Längen. Der Warmwasserbedarf wurde auf Basis der jeweiligen Büroflächen ermittelt. Die Zonen mit Warmwasserbereich lauten:

- WC Verwaltung
- WC Wareneingang, Blocklager

### 6.7.4 Ergebnisse

Das Gebäude erreicht gemäß Abbildung 74 den KfW-55-Standard. Sicherlich könnten Optimierungen erfolgen, die zum energetischen Ausreizen der Grenzwerte führen. Beispielsweise können die Fenster einen größeren U-Wert von 1,2 W/(m<sup>2</sup>·K) erhalten und die opaken Bauteile in den Zonen mit 21 °C etwas schwächer gedämmt werden.

Die Vorgehensweise bzw. Möglichkeiten zur Optimierung sollten dem Bauherrn aufgezeigt werden. Im Beispiel waren die gewählten Randbedingungen und Ergebnisse für den Bauherrn zufriedenstellend, da insgesamt ein nachhaltiges Gebäude gewünscht war. Diese Vorgabe an die energetische Planung war unabhängig von KfW-Definitionen bzw. von Energieeffizienzhaus-Standards die Zieldefinition. An diesen Anforderungen ist jedoch eine Orientierung und Einordnung möglich. Des Weiteren können bei Bedarf Förderprogramme genutzt werden.

#### EnEV-Anforderungen(EnEV 2016)

	Ist-Wert	mod. Altbau	EnEV-Neubau	- 15 %	- 30 %	- 50 %	Neubau %
Jahres-Primärenergiebedarf $q_p$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	<b>65,92</b>	187,87	<b>100,64</b>	85,55	70,45	50,32	-35%
Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]							
- Opake Außenbauteile	<b>0,208</b>	0,490	<b>0,280</b>	0,238	0,196	0,140	-26 %
- Transparente Außenbauteile	<b>0,910</b>	2,660	<b>1,500</b>	1,275	1,050	0,750	-39 %
Zonen mit Temperatur unter 19°C :							
- Opake Außenbauteile	<b>0,350</b>	0,700	<b>0,500</b>	0,425	0,350	0,250	-30 %
- Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	<b>1,900</b>	4,340	<b>3,100</b>	2,635	2,170	1,550	-39 %

#### KfW-Anforderungen "Energieeffizienzprogramm - Energieeffizient Bauen"

	Ist-Wert	Referenzgebäude (EnEV)	KfW-EH 55 (EnEV)	KfW-EH 70 (EnEV)
Jahres-Primärenergiebedarf $q_p$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	<b>65,92</b>	134,19 <sup>1)</sup>	<b>73,81</b>	<b>93,93</b>
Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]				
- Opake Außenbauteile	<b>0,208</b>	0,28	<b>0,22</b>	<b>0,26</b>
- Transparente Außenbauteile	<b>0,910</b>	1,5	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>
Zonen mit Temperatur unter 19°C :				
- Opake Außenbauteile	<b>0,350</b>	0,50	<b>0,35</b>	<b>0,43</b>
- Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	<b>1,900</b>	3,1	<b>2,2</b>	<b>2,6</b>

Gültig ab 01.07.2015 für KfW Energieeffizienzprogramm 276.

Gültig ab 01.10.2015 für KfW Energieeffizienzprogramm 217 und 220.

<sup>1</sup> Jahres-Primärenergiebedarf für das entsprechende Referenzgebäude nach EnEV Anlage 2 Tabelle 1.

<sup>2</sup> Höchstwert(e) der Wärmedurchgangskoeffizienten nach EnEV Anlage 2 Tabelle 2.

**Abbildung 74:** EnEV- und KfW-Bewertung Gewerbe- und Logistikhalle mit Büro [Quelle: Eigene Berechnungen]

## 6.8 Zusammenfassung und Überleitung zu Teil III

Teil II ist der Hauptteil des Buches und soll den Leser und Anwender durch den Normen-Dschungel führen und einen Einblick in die energetische Bilanzierung von Nichtwohngebäuden geben.

Die wesentlichen Normen und Grundlagen werden angesprochen und in Teilen erläutert. Mit Hilfe von Vergleichsberechnungen werden die Einflüsse von Parametern verdeutlicht.

Die gewählten Beispiele zu sechs unterschiedlichen Nichtwohngebäudetypen sollen dem Leser helfen, sein jeweiliges Gebäude-Unikat im Rahmen der energetischen Bilanzierung abzubilden und die notwendigen Planungs- und Umsetzungsschritte zum Erreichen eines Energieeffizienzhausstandards durchzuführen.

Ingenieurmäßige Überlegungen sind dabei unerlässlich. Die Festlegungen, insbesondere bei der Modellierung der Gebäudetechnik, sind zu dokumentieren.

Unabhängig von einem konkreten Projekt (Gebäudeebene) sind Betrachtungen auf der städtischen und bauwirtschaftlichen Ebene relevant, insbesondere, da die Bauwirtschaft einen großen Anteil an der Volkswirtschaft hat.

Die Immobilienökonomen und Bankenwirtschaftler haben ebenso ein großes Interesse an Aussagen zu notwendigen Investitionen. Des Weiteren sind solche Aussagen für politische Entscheidungen und die Ausgestaltung von Förderprogrammen eine wesentliche Grundlage. Von daher beschäftigt sich der Teil III mit der Abschätzung von Investitionsvolumina auf der städtischen Ebene und zeigt einen vereinfachten Ansatz auf Basis von kommunalen Daten aus dem Geografischen Informationssystem (GIS) auf.

Abschließend runden energiewirtschaftliche und gebäudetechnische Trends das Thema ab und münden in einer gesellschaftlichen, zukunftsfähigen und nachhaltigen Zielstellung, die wir beispielsweise als SMART CITY bezeichnen könnten.



# Teil III: Immobilienökonomie und sonstige Trends mit Blick auf einen nachhaltigen Nichtwohngebäudebestand

## 7 Modellansatz zur Abschätzung des Investitionsvolumens auf der städtischen Ebene zur energetischen Modernisierung des Nichtwohngebäudebestands

### 7.1 Allgemeines

Neben technischen Randbedingungen und Ingenieurmethoden interessiert aus Sicht der Immobilienwirtschaft (Projektentwickler, Kaufleute, Immobilienökonom, Banken, Volkswirte, Politik, Klimaschutzbeauftragte, KfW usw.) die monetäre Seite. Diese kann für das einzelne Projekt oder für den gesamten Nichtwohngebäudebestand auf städtischer Ebene oder mittels Hochrechnung auf Bundesebene betrachtet werden.

Das konkrete Projekt wird von den beteiligten Planern und Immobilien-Betriebswirten mit Beginn der Projektentwicklung oder Portfoliobetrachtung wirtschaftlich bewertet und als Investitionsentscheidung ins Leben gerufen.

Soll nun darüber hinaus das Investitionsvolumen zur Modernisierung des Bestands auf städtischer Ebene aus Sicht der Politik und Bankenwelt oder aus Sicht der Volkswirtschaft beurteilt werden, fehlen Grundlagen zum aktuellen Gebäudebestand und Ansätze zur Ermittlung des Investitionsvolumens. Einzelne Forschungsarbeiten und ministerial initiierte Forschungsprojekte haben sich daher mit dem Themenfeld beschäftigt.

Mein Ziel ist es eine einfache Methode für erste Abschätzungen aufzuzeigen, die auf städtischer Ebene angewendet werden kann, damit erste Investitionssummen zur Realisierung der notwendigen Modernisierung vorliegen. Das Investitionsvolumen richtet sich dabei nicht nach definierten Effizienzhausstandards, sondern nach klimapolitischen Zielen, die bis zum Jahr 2050 umgesetzt sein sollen.

Zunächst wird das Modell zur Abschätzung der Bestandssituation und als Grundlage für das Leit-Szenario bis 2050 beschrieben. Auf Basis des Leit-Szenarios wird nachfolgend die Ermittlung des Investitionsvolumens in den Nichtwohngebäudebestand aufgezeigt.

## 7.2 Ausgangssituation

Betrachtungen zu Klimaschutzzieilen sind inzwischen beim Nichtwohngebäudebestand angekommen. Das resultierende jährliche Investitionsvolumen ist dabei immobilienökonomisch ebenso von Interesse, wie die Leitparameter zur Erreichung der CO<sub>2</sub>-Minderungen beim Nichtwohngebäudebestand bis zum Jahr 2050. Damit Antworten geliefert werden können, ist zunächst die lückenhafte Datengrundlage bei den beheizten Nichtwohngebäuden zu verbessern. Ein Modell für die Stadtteil- und Stadtbene auf Basis örtlich überprüfter Liegenschaftsdaten aus einem Geografischen Informationssystem wird dazu vorgestellt. Dabei steht der Energieaufwand zur Erzeugung der Raumwärme im Mittelpunkt.

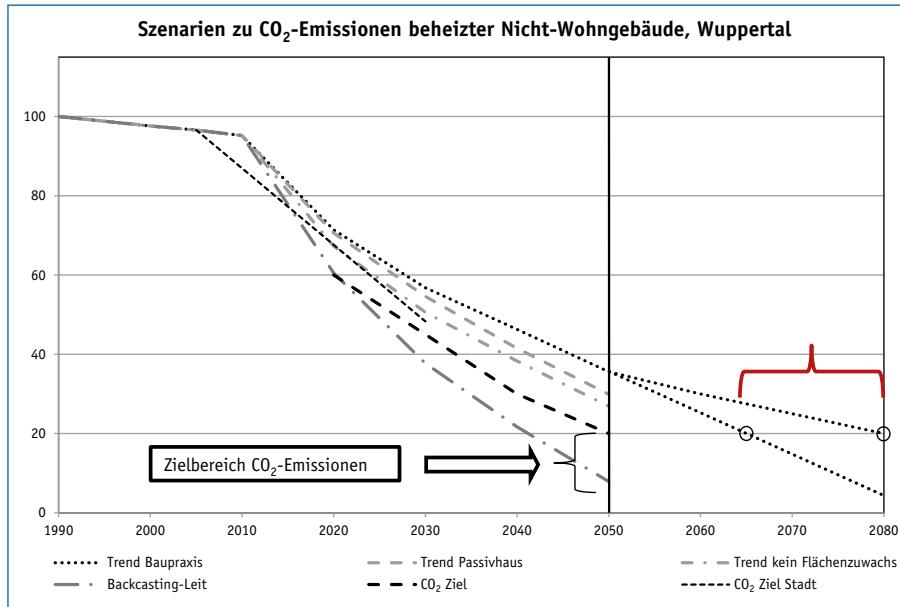
Bezogen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Erzeugung der Raumwärme für Nichtwohngebäude wurde für den beispielhaften Untersuchungsraum Wuppertal [vgl. 4.2] festgestellt, dass der Anteil etwa 13 % der CO<sub>2</sub>-Gesamtemissionen beträgt.

Als politisches Ziel wurde bis zum Jahr 2050 eine Reduzierung des Primärenergiebedarfs bei Gebäuden um 80 %, bezogen auf den Bedarf im Jahr 1990, definiert.<sup>250</sup>

Auf Grundlage der ermittelten Bestandsdaten für das Jahr 2010 wurden CO<sub>2</sub>-Minderungs-Szenarien zum gesamten Nichtwohngebäudebestand gemäß Abbildung 75 bis zum Jahr 2050 aufgezeigt. Mit Hilfe der Szenarien konnten die Verläufe der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2050 analysiert und Leitparameter zur Zielerreichung bis zum Jahr 2050 abgeleitet werden [vgl. 4.2, Abbildung 11 und 13].

---

<sup>250</sup> vgl. BMU, 2011, S. 22-23



**Abbildung 75:** Szenarien am Beispiel Wuppertal [Quelle: Hamann Achim, 2014, Anhang, S. 195]

Das Ergebnis zum Leit-Szenario zur Zielerreichung stellt die Grundlagen zu ersten Abschätzungen des jährlich notwendigen Investitionsvolumens zur energetischen Modernisierung des Nichtwohngebäudebestands dar.

Abbildung 75 zeigt zugleich die resultierende Zeitschiene am Beispiel Wuppertal, wenn das Leit-Szenario nicht umgesetzt wird und das Trend-Szenario eintritt. Dann werden die Ziele in etwa erst in der Dekade 2070 bis 2080 erreichbar sein.

### 7.3 Stand der Forschung

Der Raumwärmebereich verursachte in Deutschland im Jahr 2007 einen anteiligen Endenergieverbrauch von 32,8%.<sup>251</sup> Gemäß Datenbasis zum Jahr 2009 existieren etwa 40 Millionen Wohnungen bzw. etwa 18 Millionen Wohngebäude mit rund 3,4 Milliarden Quadratmetern Wohnfläche.<sup>252</sup> Die Datengrundlage zum Nichtwohngebäudebestand basiert auf groben Schätzungen und ist sehr unvollständig. Es gibt keine offiziellen Zahlen zum aktuellen Nichtwohngebäudebestand.<sup>253</sup> Die letzte Erhebung

251 vgl. UBA, 2007, S. 25

252 vgl. BMVBS, 2011b, S. 15

253 vgl. Hotze, Kaiser & Tiller, 2011, S. 6

erfolgte 1950.<sup>254</sup> Aktuelle bundesweite Schätzungen gehen für den Nichtwohngebäudebestand von etwa 2,5 bis 3,7 Millionen Gebäuden und ca. 2,2 bis 3,9 Milliarden Quadratmetern Nutzfläche aus, wobei der beheizte Anteil auf etwa 1,26 bis 1,89 Millionen Gebäude geschätzt wird.<sup>255</sup>

Die Verwendung von Daten aus einem Geografischen Informationssystem (GIS) auf der Stadtteilebene mit örtlicher Überprüfung zur Steigerung der Genauigkeit der Hochrechnung auf die Stadtebene wurde bisher ebenso wenig erforscht. Auf Grund dieser Ausgangslage und der bisher geringen Würdigung im Vergleich zum Wohngebäudebestand, insbesondere mit Blick auf die Zielerreichung im Jahr 2050, ergibt sich die Relevanz, den Nichtwohngebäudebestand näher zu betrachten.

Dazu gehören auch erste Ansätze zu notwendigen Investitionen zwecks energetischer Modernisierung des Nichtwohngebäudebestandes auf der Stadtteil- sowie Stadtebene. Bisherige Untersuchungen zu Investitionen beziehen sich hauptsächlich auf Wohngebäude oder einzelne Nichtwohngebäudenutzungen. Untersuchungen zu bundesweiten Investitionen in den Nichtwohngebäudebestand, basieren auf Fach- und Umsatzsteuerstatistiken.<sup>256</sup>

Einzelne Kostenstrukturen sind infolge der unterschiedlichen Bauweisen, Bauteilaufbauten und Materialwahl nicht mit Wohngebäuden vergleichbar. Die hier angesetzten spezifischen Kosten dienen als Grundlage zu einer ersten Abschätzung und sind weiter zu verifizieren. Das Themenfeld weist insgesamt noch einen großen Forschungsbedarf aus.

## 7.4 Vorgehensweise und Zielsetzung am Beispiel Wuppertal-Vohwinkel

Zunächst wird ein Modell zur Beurteilung der Bestands situation und insbesondere zu direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Raumwärme auf der städtischen Ebene vorgestellt. Des Weiteren werden Szenarien zur Beurteilung der energetischen Bestandsveränderungen bis zum Jahr 2050 aufbereitet. Das Modell basiert auf GIS-Daten mit Bezug zum Jahr 2010, wobei für den Untersuchungsraum auch die konkrete Startbilanz zum Jahr 1990 als Ausgangssituation erstellt wird. Dies erfolgt durch Berücksichtigung der Flächenentwicklungen von 1990 bis 2010 für Wuppertal-Vohwinkel und durch Anpassung der Brennstoffdaten sowie des Energiemixes.

254 vgl. Gülec; Kolmetz & Rouvel, 1994, S. 71

255 vgl. BMVBS, 2011, S. 6 und S. 100–107

256 vgl. BMVBS, 2011c, S. 7

Ziel des Modells ist es, ein städtisches Teilgebiet detailliert mit Hilfe örtlich überprüfter GIS-Daten zu betrachten und mit Hilfe dieser Erkenntnisse und mit wenig Aufwand Schätzungen mit größerer Genauigkeit zum gesamten Stadtgebiet (zum Nichtwohngebäudebestand) durchführen zu können.

Dabei werden auf Grund unterschiedlicher Nutzungen und Akteure die beheizten Nichtwohngebäude in Wirtschaftsbauten (Profit-Organisationen) und in Gebäuden von Non-Profit-Organisationen differenziert. Dies erscheint sinnvoll, da gewinnstrebende und nichtgewinnstrebende Akteure ihre Gebäude unterschiedlich im Fokus haben und sich dieser Umstand auch auf die energetische Modernisierung auswirkt. Gewinnstrebende Organisationen kümmern sich verstärkt um ihr Kerngeschäft. Die energetische Gebäudemodernisierung von Zweckbauten spielt im Alltagsgeschäft bisher keine relevante Rolle. Dagegen werden beispielsweise kommunale Gebäude energetisch modernisiert, da das Themenfeld eher als Kerngeschäft verstanden wird und auch Fördermittel beschafft werden. Im untersuchten Stadtteil Vohwinkel sind zum Beispiel etliche Schulgebäude und Kindergärten bereits energetisch saniert. Der Wirtschaftsbau hat dagegen bisher keine relevanten Maßnahmen umgesetzt. Dies belegen die Ergebnisse der durchgeführten Befragungen und örtlichen Begehungen in Vohwinkel.

Mischgenutzte Gebäude werden mit ihrem Nichtwohnflächenanteil im Modell berücksichtigt. Die Vorgehensweise wird mit Hilfe von GIS-Daten auf den Stadtteil Vohwinkel (ca. 30.000 Einwohner) und die Stadt Wuppertal (ca. 350.000 Einwohner) angewendet. Die Wahl fiel auf den Stadtteil Wuppertal-Vohwinkel auf Grund eines Workshops mit der Stadt und den Stadtwerken unter Mitwirkung des Wuppertal-Instituts.

Die CO<sub>2</sub>-Minderungs-Szenarien sollen bis zum Jahr 2050 die Fortentwicklung zum Wärmeenergieverbrauch und zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen des Nichtwohngebäudebestands aufzeigen. Daraus werden die Leitparameter zum Erreichen der politischen Ziele abgeleitet. Aus den Ergebnissen der Szenarien werden ebenso die Sanierungsrate, die Neubau- und Abrissrate, die Umstiegsraten auf erneuerbare Heizenergien sowie die notwendigen zukünftigen Heizkennwerte (Verbrauchskennwerte) abgeleitet.

Damit liegen Erkenntnisse zum Bestand und zu notwendigen Veränderungen zur Zielerreichung bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Anwendung in Klimaschutzkonzepten auf der Stadtebene vor. Ebenso können daraus Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Die gewonnenen Erkenntnisse werden abschließend als Ausgangsdaten für erste grobe Abschätzungen zu Investitionen für die Modernisierung des Nichtwohngebäudebestands auf der Stadtebene aufbereitet.

## 7.5 Methodische Vorgehensweise beim Modellieren des Bestands

Die Schaffung einer Datengrundlage muss generell unter Abwägung des Aufwandes, der Kosten und Datengenauigkeit erfolgen. Eine detaillierte Erhebung zum Nichtwohngebäudebestand ist extrem aufwendig, zumal auch Daten zur Gebäudetechnik zu erheben sind. Ziel sollte es daher sein, ein vereinfachtes Bestandsmodell zu entwickeln, das auf aufwendige Gebäudeerhebungen vor Ort verzichten kann. Hierbei werden zunächst die Stadtteilebene und anschließend die Stadtebene betrachtet. Die Vorgehensweise liefert Ergebnisse hinsichtlich Gebäudeanzahl, zu Flächen, zum End- und Primärenergieverbrauch bzw. -bedarf und zu CO<sub>2</sub>-Emissionen infolge der Raumbeheizung.

Das Modell berücksichtigt Daten aus einem Geografischen Informationssystem für das Jahr 2010, die für die detaillierten Betrachtungen auf der Stadtteilebene vor Ort auf Plausibilität überprüft werden. Die überprüften GIS-Daten liefern eine vertretbare Genauigkeit, lassen sich als Grundlage zu energetischen Einschätzungen urbaner Flächen verwerten und erlauben Hochrechnungen von der ausgesuchten Stadtteilebene auf die Stadtebene. Damit die Bestandssituation zu beheizten Nichtwohngebäuden mit den Wohngebäuden verglichen werden konnte, wurde das Modell um einen Ansatz für Wohngebäude ergänzt.

Als Grundlage für das Modell werden neben den GIS-Daten Nichtwohngebäudekategorien, energetische Baualtersklassen und verbrauchsorientierte und zum Vergleich sowie Bewertung der Bandbreite bedarfsorientierte Heizkennwerte aufbereitet.

Die Nichtwohngebäudekategorien werden zur Differenzierung in verschiedene Profit- und Non-Profit-Organisationen aufgeteilt. Den Gebäudekategorien und Baualtersklassen werden beim Top-down-Modell verbrauchsorientierte Heizkennwerte und beim Bottom-up-Modell bedarfsorientierte Heizkennwerte zugewiesen. Die Verbrauchswerte basieren auf einer Literaturrecherche [vgl. Hamann Achim, 2014, S. 42–55], wobei die jeweilige Gebäudekategorie in der Literatur unabhängig von Baualtersklassen nur mit einem Kennwert zur Gebäudeebene berücksichtigt wird. Die Verbrauchswerte wurden daher auf die Baualtersklassen umgerechnet. Das Top-down-Modell betrachtet die Gebäudeebene allgemein mit wenigen Ausgangsdaten. Für das Bottom-up-Modell wurden Modellgebäude<sup>257</sup>, bestehend aus der jeweiligen Gebäudehülle und Gebäude-technik, definiert. Dadurch wird die Gebäudeebene detailliert mit vielen Parametern betrachtet. Die Berechnungen zu den Bedarfswerten je Kategorie und Baualtersklasse erfolgte nach DIN V 18599. Im Weiteren wird das Top-down-Modell vorgestellt und die Grundlagen zum Bestandsmodell aufgezeigt.

---

257 vgl. Hamann, Achim, 2014, S. 56–66

## Nichtwohngebäudekategorien

Die Erstellung der Nichtwohngebäudekategorien orientiert sich an den wesentlichen privaten und öffentlichen Nutzungen (Profit (P)- und Non-Profit-Organisationen (NP)). Dabei erfolgt eine Unterteilung in Haupt- und Unterkategorien. Ziel ist es dabei, die Gebäudegruppen ausreichend zu differenzieren. Eine zu detaillierte Gebäudeinteilung ist bei der hier vorgesehenen aufwandsorientierten Vorgehensweise nicht zielführend.

Eine zu grobe Unterteilung wird dagegen der Bandbreite der Nutzungen, und den damit verbundenen unterschiedlichen Heizenergieverbräuchen, nicht gerecht. Es erfolgte eine Anlehnung an die Einteilungen gemäß »Forschungsbericht zu Verbrauchskennwerten«<sup>258</sup>.

In diesem Forschungsbericht sind diverse Gebäudearten zu Gebäudegruppen zusammengefasst. Insgesamt wurden auf dieser Basis 38 Gebäudekategorien festgelegt, die in 14 Hauptkategorien eingeteilt sind und durch Unterkategorien repräsentiert werden.

In Tabelle 14 ist die gewählte Gebäudekategorisierung (Haupt- und Unterkategorien) für Profit-Organisationen (P) ausschnittsweise dargestellt.

Beheizte Nichtwohngebäude, Nichtwohnflächen			
Nr.	Hauptkategorie	Nr.	Unterkategorie
9	Bürogebäude/Büroflächen-nutzung	9.1	Dienstleister
		9.2	Verwaltungsbau Gewerbe/Industrie/Logistik
		9.3	Banken/Versicherungen/Gesundheit
10	Produktion/Werkstatt/Lager	10.1	Produktion/Gewerbe
		10.2	Lager für Versand/Zentrallager/Logistik
		10.3	Werkstätten/Kleingewerbe
11	Heilbehandlung	11.1	Kliniken
		11.2	Pflegeheim/Reha-Gebäude
		11.3	Gesundheitswesen/Praxisgebäude
		11.4	Fitnesscenter/Sporthallen

**Tabelle 14:** Nichtwohngebäudekategorien Profit-Organisationen [Quellen: Eigene Festlegungen, vgl. Hamann Achim, 2014, S. 38]

258 vgl. ages GmbH (Hrsg.), 2010, S. 4 und Anhang 2

## Baualtersklassen bis zum Jahr 2010

Die Baualtersklassen zum Bestand der Nichtwohngebäude orientierten sich zum einen an älteren Einteilungen gemäß IKARUS-Projekt<sup>259</sup> (Forschungsprojekt 1990 bis 2003: Abkürzung für »Instrumente für Klimagasreduktionsstrategien«) und zum anderen an einer eigenen Fortentwicklung zwecks Aktualisierung der Baualtersklasse D. Diese wurde in einer Veröffentlichung<sup>260</sup> zu IKARUS von 1994 noch als Neubau bezeichnet. Aktualisiert bildet sie den Zeitraum 1995 bis 2010 ab.

Grundsätzlich ist es mit Hilfe einer Klassifizierung zum Alter bzw. energetischem Alter möglich, eine Einstufung durch Heizkennwerte vorzunehmen, da sich der Heizenergieverbrauch altersabhängig infolge der Bauweise, der eingesetzten Baumaterialien und der Heiztechnik sowie aus der Nutzung ergibt. Das tatsächliche Alter ist dabei durch das sogenannte energetische Alter infolge von bereits durchgeführten Modernisierungsmaßnahmen, angelehnt am energetischen Standard, zu ersetzen und die Baualtersklasse entsprechend zu wählen.

Die ältere Systematik wurde bei der eigenen Fortentwicklung unter Berücksichtigung der im Jahr 1995 eingeführten Wärmeschutzverordnung von 1994 (WärmeschutzV 1994<sup>261</sup>) ergänzt.<sup>262</sup>

Zusätzlich wird die Einführung der Energieeinsparverordnung (EnEV) im Jahr 2002 berücksichtigt. Es ist dabei festzuhalten, dass erstmals die im Jahr 2009 eingeführte EnEV 2009 und bei Neubauten das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)<sup>263</sup> deutlich höhere Anforderungen an die Gebäudehülle und die Gebäudetechnik bzw. die einzusetzende Heizenergie stellen.

Da Planungs- und Genehmigungsprozesse zu zeitlichen Verschiebungen führen, wirkt sich die Einführung der EnEV 2009 und das EEWärmeG jedoch nicht auf den untersuchten Bestand des Jahres 2010 aus. Die Nichtwohngebäude wurden mit Hilfe der Vor-Ort-Plausibilisierung den Baualtersklassen gemäß Tabelle 15 zugeordnet, wobei bereits durchgeführte, erkennbare Sanierungsarbeiten Berücksichtigung fanden.

259 IKARUS: Instrumente für Klimagasreduktionsstrategien, mit Modell für Raumwärme im Gebäudesektor, Forschungsprogramm wurde 2003 eingestellt

260 vgl. Gülec, Kolmetz, Rouvel, 1994, S. 68

261 Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV) vom 16.8.1994.

262 vgl. Schmid, Brakhage & Radgen., 2003, S. 47

263 Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG) vom 7.8.2008 (BGBl. I S. 1658); zuletzt geändert durch Art. 2 Abs. 68, Gesetz vom 22.12.2011 (BGBl. I S. 3044)

Baualtersklasse	Jahreszahlen	Anmerkung
A	bis 1951	relevante energetische Baualtersklassen für Ist-Situation in 2010, angelehnt an Jahreszahlen
B	1952 bis 1977	
C	1978 bis 1994	
D	1995 bis 2010	

**Tabelle 15:** Baualtersklassen zum Bestand bis zum Jahr 2010 [Quellen: Eigene Festlegungen auf Basis von Gülec, Kolmetz & Rouvel, 1994, S. 68 und Schmid; Brakhage & Radgen, 2003, S. 47, vgl. Hamann Achim, 2014, S. 40]

### Bezugsgröße Bruttogrundfläche

Der Wärmeenergiebedarf wird bei Nichtwohngebäuden gemäß Berechnungen nach EnEV<sup>264</sup> auf die Nettogrundfläche (NGF) bezogen. Verbrauchswerte sind in der Literatur [vgl. Hamann Achim, 2014, S. 41] dagegen mit Bezug auf die Bruttogrundfläche beispielsweise in einem Forschungsbericht<sup>265</sup> zu finden.

Insgesamt ist demnach eine einheitliche Bezugsgröße zu definieren. Insbesondere, da hier Untersuchungen beabsichtigt waren, die sich auf digitale Kataster- bzw. Liegenschaftsdaten aus einem Geografischen Informationssystem beziehen.

Da die digitalen Liegenschaftsdaten die Gebäudegrundflächen als äußeren Umriss beinhalten, ist als Bezugsgröße die Bruttogrundfläche (BGF) vorgesehen. Die Heizkennwerte mit Nettogrundflächenbezug können demnach unter Berücksichtigung eines Flächenumrechnungsfaktors bei Anwendung von GIS-Daten auf eine Bruttogrundfläche bezogen werden. Die Flächenumrechnung in Bruttogrundfläche ist beispielsweise in Anlehnung an die Ziffern des Bauwerkszuordnungskataloges möglich [vgl. Hamann Achim, 2014, S. 36–38].

Der Faktor zur Umrechnung von Bruttogrundflächen in Nettogrundflächen liegt hier zwischen 0,83 und 0,91.<sup>266</sup> In einer Benchmarkstudie<sup>267</sup> wird anhand von Beispielgebäuden eine lineare Funktion der Form  $NGF = 0,9052 \cdot BGF$  mit einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,9994$  angegeben. Zusätzlich wird in der genannten Studie darauf hingewiesen, dass die Flächenumrechnung kein vordringliches Problem darstellt und eine detailliertere Umrechnung nicht sinnvoll ist. Demnach erfolgt für alle Gebäudekategorien, bei denen verbrauchsorientierte Heizkennwerte mit der Bezugsfläche NGF recherchiert wurden, eine Umrechnung der Heizkennwerte auf BGF mit Hilfe eines gerundeten Umrechnungsfaktors von 0,9.

264 vgl. Energieeinsparverordnung, EnEV 2009, § 2, Satz 15 und § 4 Abs. 1

265 vgl. ages GmbH (Hrsg.), 2010

266 vgl. BMVBS, 2009b, S. 20–21

267 vgl. BMVBS, 2009, S. 26–28

## Verbrauchsorientierte Heizkennwerte

Zunächst mussten verbrauchsorientierte Heizkennwerte aus Datenerhebungen gemäß Literaturauswertung [vgl. Hamann Achim, 2014, S. 42–55] auf die vier Baualtersklassen A bis D nach Tabelle 15 umgerechnet werden. Damit ist eine wärmeenergetische Differenzierung der Gebäude nach Alter möglich. Die Umrechnung ergibt sich aus der Gewichtung der Datensätze und in Anlehnung an Bedarfswerte [vgl. Hamann Achim, 2014, S. 52] je Baualtersklasse wie folgt:

$$HK_{v,j} = \overline{HK_{v,v}} \cdot BK_{A-D} = \frac{\sum_{v=1}^y AZ_v \cdot HK_{v,v}}{\sum_{v=1}^y AZ_v} \cdot \frac{HK_{B,b}}{\frac{1}{n} \cdot \sum_{b=1}^z HK_{B,b}}$$

Folgende Parameter kommen dabei zum Ansatz:

- $HK_{v,j}$  = berechneter Heizkennwert je Gebäudekategorie (j) und Baualtersklasse (j) aus gewichtetem Mittel der Verbrauchskennwerte sowie Baualtersklassenfaktor aus Bedarfswerten je Baualtersklasse A bis D
- $HK_{v,v}$  = gewichteter Mittelwert zum Heizkennwert je Gebäudekategorie aus Verbrauchswerten
- $BK_{A-D}$  = berechneter Baualtersklassenfaktor aus Bedarfswerten der Baualtersklasse A bis D je Gebäudekategorie
- $HK_{v,v}$  = Heizkennwert Gebäudekategorie gemäß Literaturrecherche
- $AZ$  = Anzahl der Datensätze gemäß Literaturrecherche
- $v, y$  = Zähler zur Anzahl der Stichprobenumfänge
- $b, z$  = Zähler zu baualtersklassenspezifischen Heizkennwerten aus Bedarfsberechnungen gebäudetypspezifischer Heizkennwerte
- $HK_{B,b}$  = Heizkennwert je Gebäudekategorie und Baualtersklasse aus Bedarfsberechnungen, aus Literatur

Die Ergebnisse der Literaturrecherche zu den Verbrauchswerten sind ausschnittsweise in Tabelle 16 in den Spalten »Anzahl Daten« und »gewichtetes Mittel« dargestellt. Die eigenen Umrechnungsergebnisse der Verbrauchswerte je Gebäudekategorie auf die Baualtersklassen sind mit Bezug auf Bruttogrundflächen (BGF) für die Gebäudekategorien der Non-Profit-Organisationen ebenfalls in Tabelle 16 ausschnittsweise aufgeführt.

Beheizte Nichtwohngebäude, Nichtwohnflächen				Anzahl Daten	gew. Mittel	A bis 1951	B 52-77	C 78-94	D 95-2010
				Baualtersklassen					
Nr.	Hauptkategorie	Nr.	Unterkategorie	kWh/(m <sup>2</sup> ·a) BGF					
Non-Profit-Organisation									
1	Bildung	1.1	Schulen	4437	95,96	121,50	121,50	86,90	53,91
		1.2	Hochschulen/ Forschung	380	118,49	150,04	150,04	107,32	66,58
		1.3	Kindertagesstätten/ Kindergarten	2154	120,89	160,11	160,11	112,08	51,24
		1.4	Weiterbildungsstätten	35	122,00	154,48	154,48	110,49	68,55
2	Verwaltung	2.1	Regierungs- und Gerichtsgebäude	2675	138,52	171,12	159,27	127,31	96,39
		2.2	Ämter/Polizeigebäude/Bahn	5425	115,56	142,92	132,89	106,12	80,31
3	Bereitschaftsdienste			944	126,16	156,03	145,07	115,85	87,67

**Tabelle 16:** Heizkennwerte je Gebäudekategorie und Baualtersklasse, Non-Profit-Organisationen [Quelle: Eigene Berechnungen, vgl. Hamann Achim, 2014, S. 54]

### Datenaufbereitung aus dem Geografischen Informationssystem am Beispiel von Wuppertal-Vohwinkel

Die Datenaufbereitung bezieht sich auf die im GIS hinterlegten Daten zu Gebäudeflächen, Geschosszahlen und Gebäudenutzungen. Die GIS-Daten wurden vor Ort abgeglichen (Plausibilitätsprüfung). Dazu fanden örtliche Begehungen für den Stadtteil Vohwinkel statt. Unterstützend wurden internetbasierende Luftbilder hinzugezogen, die Einblicke in vom öffentlichen Straßenraum nicht einsehbare Bereiche zuließen.

Der örtliche Abgleich zur Gebäudenutzung erfolgte in Anlehnung an die erstellten Gebäudekategorien. Durch die Plausibilitätsprüfung und Anpassung verschiedener GIS-Datensätze nach Abgleich mit der örtlichen Situation, konnte ein vereinfacht anwendbares Modell zur Bestandssituation unter Nutzung der ungeprüften Original-GIS-Daten für die Stadtbene geschaffen werden, was zu einer erheblichen Aufwandsersleichterung und einem entsprechenden Zeitvorteil führt. Historische Luftbilder der Stadt Wuppertal unterstützten die Bewertungen zu den einzelnen Gebäuden bezüglich ihrer Baualtersklasse.

Für den Stadtteil Vohwinkel lagen insgesamt 15.323 Gebäudedatensätze vor. Hierin waren neben Wohn- und Nichtwohngebäuden auch beispielsweise unbeheizte landwirtschaftliche Gebäude, Schuppen, Garagen und Überdachungen enthalten. Die wesentlichen Schritte zur Aufbereitung dieser GIS-Daten lassen sich für Vohwinkel wie folgt beschreiben:

1. Wohngebäude und nicht relevante Nichtwohngebäude (zum Beispiel Schuppen, Garagen, Tiefgaragen, Carports, Überdachungen) wurden eliminiert. Aus den insgesamt 15.323 Datensätzen konnten in Verbindung mit der örtlichen Überprüfung 1.057 als beheizte Nichtwohngebäude inklusive Stadthäuser mit Nichtwohnflächennutzungen ermittelt werden.
2. Diese wurden in 155 Gebäudedatensätze für Non-Profit-Organisationen und 902 Gebäudedatensätze für Profit-Organisationen (davon 161 Datensätze zu mischgenutzte Stadthäuser) unterschieden.
3. Den Datensätzen wurden energetische Baualtersklassen und somit Heizkennwerte mit Hilfe der Ortsbegehungen, historischen Luftbildern und internetbasierten Luftbildern zugewiesen.
4. Zusätzlich wurde die jeweilige Nutzung gemäß Gebäudekategorisierung ergänzt und, falls gemäß örtlicher Überprüfung erforderlich, die Geschosszahl korrigiert.

Auf Grund der örtlichen GIS-Daten-Überprüfung zu den beheizten Nichtwohngebäuden kann folgende summierte Abweichung bei der relevanten Bruttogrundfläche zwischen den Originaldaten ( $BGF_{GIS}$ ) und nach der Überprüfung ( $BGF_{NP,P}$ ) festgestellt werden:

$$BGF_{GIS} = 1.162.499 \text{ Quadratmeter}$$

$$BGF_{NP,P} = 906.843 \text{ Quadratmeter}$$

Dies bedeutet, dass die örtliche Plausibilitätsprüfung der GIS-Daten in Vohwinkel eine Verbesserung der Flächengrundlage zum beheizten Nichtwohngebäudebestand um 22 % ( $0,78 = 906.843 / 1.162.499$ ) liefert. Diese Erkenntnis kann für die Steigerung der Genauigkeit bei der Übertragung auf die Stadtbene genutzt werden.

### Allgemeines zum Modellansatz für die Stadtteil- und Stadtbene

Der Modellansatz berücksichtigt zunächst die einzelnen Datensätze, unterschieden in Gebäudekategorien und Baualtersklassen. Aus den Grundflächen und Geschosszahlen der überprüften GIS-Daten ergeben sich die Bruttogrundflächen. Mit Hilfe von verbrauchsorientierten Heizkennwerten können zusätzlich für jede Gebäudekategorie und Baualtersklasse die Endenerieverbräuche berechnet werden.

Weiterhin werden unter Anwendung von Faktoren zum Leerstand, zu klimatischen Anpassungen und zum Energieträgermix die  $CO_2$ -Emissionen ermittelt. Die Ergebnisse sind je Baualtersklasse, Gebäudekategorie und Organisationsform darstellbar.

Die energetischen Werte liefern nicht nur Aussagen zum energetischen Zustand des Nichtwohngebäudebestands, sondern sind im Weiteren Grundlage für Zukunftsbe- trachtungen, die wiederum die Basis für das Investitionsvolumen darstellen.

Aus den Ergebnissen zum Stadtteil kann eine lineare Gleichung als vereinfachter Modellansatz für den betrachteten Stadtteil definiert werden. Mit dieser Gleichung ist es ohne Vor-Ort-Überprüfung auf Grundlage der Original-GIS-Daten möglich, den Bestand der beheizten Nichtwohngebäude auf der Stadtebene abzuschätzen. Alternativ kann eine Hochrechnung erfolgen. Die Hochrechnung basiert hierbei auf dem Verhältnis der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten mit Bezug zur Stadtteil- und Stadtebene.

## 7.6 Beschreibung des Modellansatzes für die Stadtteilebene

Zu den in Vohwinkel ermittelten 1.057 relevanten Datensätzen werden aus den Geschossflächen (GF) und der Anzahl der Geschosse (AN) die Bruttogrundflächen (BGF in Quadratmeter) je Gebäudekategorie (i) und Baualtersklasse (j) berechnet und eine Verknüpfung zu den Heizkennwerten je Gebäudekategorie und Baualtersklasse (HK<sub>i,j</sub>) hergestellt. Die Modellrechnung zu den Flächen- und energetischen Verhältnissen (Endenergieverbrauch: End in Kilowattstunden pro Jahr) wird getrennt nach Non-Profit (NP)- und Profit-Organisationen (P) durchgeführt, wobei Ergebnisse zu jeder Gebäudekategorie und Baualtersklasse generiert werden. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen (CO<sub>2</sub>) in Tonnen pro Jahr zum betrachteten Stadtteil werden für die beheizten Nichtwohngebäude durch Berücksichtigung des Leerstandes (LE), der Energieträgeranteile (FE) und des Klimafaktors (Kf) berechnet. Nachfolgend wird der detaillierte Modellansatz zu den Flächenverhältnissen und der energetischen Situation auf Basis der örtlich überprüften GIS-Daten dargestellt:<sup>268</sup>

$$BGF_{NP,P} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (GF_{i,j} \cdot AN_{i,j})$$

$$End_{NP,P} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n BGF_{i,j} \cdot HK_{i,j} \cdot LE \cdot \left( \frac{1}{Kf} \right)$$

$$CO_{2NP,P} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (GF_{i,j} \cdot AN_{i,j} \cdot HK_{i,j}) \cdot LE \cdot FE \cdot \left( \frac{1}{Kf} \right)$$

268 vgl. Hamann, Achim et. al., 2013, S. 50–53

Die Berechnung des Leerstandes unter Berücksichtigung der Leerstands-Monate (M) innerhalb der Heizperiode und einer prozentualen mittleren Leerstandsquote (Le) wurde in Anlehnung an eine Benchmarkstudie<sup>269</sup> abgeleitet und wie folgt eingeführt:

$$LE = 1 - 0,35 \cdot \left( \frac{Le}{100} \right) \cdot \left( \frac{12}{12 - M} \right)$$

Die Berücksichtigung von unterschiedlichen Energieträgern wie zum Beispiel Heizöl, Erdgas, Flüssiggas, Strom, Fernwärme, Hackschnitzel und Solarstrahlung erfolgte durch Summierung der Produkte aus prozentualen Anteil des Energieträgers (EQ), dem jeweiligen direkten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor (CO<sub>2</sub>F in kg/kWh) und des dazugehörigen Primärenergiefaktors (PF). In Baumaterialien eingebettete und durch Bauprozesse verursachte CO<sub>2</sub>-Emissionen sind nicht berücksichtigt. Diese sind mit Blick auf den Lebenszyklus auch von Interesse, was jedoch gesondert zu ermitteln ist bzw. im Modell noch ergänzt werden kann. Vorketten zu den Energieträgern sind dagegen berücksichtigt. Lebenszyklusbetrachtungen tragen dazu bei, neben der grundsätzlichen CO<sub>2</sub>-Reduzierung durch Anpassungen an der Gebäudehülle und der Heiztechnik, CO<sub>2</sub>-Emissionen durch eine entsprechende Auswahl von Baumaterialien zu mindern.

$$FE = \sum_1^p \left( \frac{EQp}{100} \right) \cdot \left( \frac{CO_2Fp}{1000} \right) \cdot PFp$$

Zur Berechnung der Primärenergie (QP in Kilowattstunden pro Jahr) wird der einheitenlose Energieträgerfaktor (FE<sub>QP</sub>) eingeführt, der nur den Primärenergiefaktor je Energieträger enthält:

$$FE_{QP} = \sum_1^p \frac{EQp}{100} \cdot PFp$$

Zur rechnerischen Klimaanpassung der betrachteten Region sind die jeweiligen Gradtagszahlen (Gt) zu beachten, da die Literaturwerte zu den Verbrauchswerten [vgl. Hamann Achim, 2014, S. 84] klimabereinigt auf den Referenzstandort Würzburg bezogen sind (seit 01.05.2014 ist Potsdam Referenzstandort). Für Würzburg beträgt das langjährige Mittel 3.883 Kelvintage pro Jahr. Je nach Betrachtungsweise ist zukünftig die Gradtagszahl zu Potsdam einzusetzen. Der Klimafaktor (Kf) ergibt sich für den Betrachtungszeitraum 2010 aus dem Verhältnis:

$$Kf = \frac{Gt_{Würzburg}}{Gt} = \frac{3883}{Gt}$$

<sup>269</sup> vgl. BMVBS, 2009, S. 11 und S. 98

Der vollständige Modellansatz zur Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Raumbeheizung der Nichtwohngebäude und aus den örtlich überprüften GIS-Daten auf der Stadtteilebene als Grundlage für Betrachtungen zu zukünftigen Bestandsveränderungen kann beispielweise für die Profit-Organisationen (P) wie folgt beschrieben werden:

$$CO_{2P} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (GF_{i,j} \cdot AN_{i,j} \cdot HKV_{i,j}) \cdot \left[ 1 - 0,35 \cdot \left( \frac{Le}{100} \right) \cdot \left( \frac{12}{12-M} \right) \right] \cdot \left[ \sum_1^p \left( \frac{EQp}{100} \right) \cdot \left( \frac{CO_2Fp}{1000} \right) \cdot PFp \right] \cdot \left( \frac{Gt}{3883} \right)$$

### Die Stadtebene (Beispiel Wuppertal)

Bei der Hochrechnung der Bruttogrundflächen (BGF<sub>NP,Post</sub>H) der beheizten Nichtwohngebäude werden die Flächen zu den mischgenutzten Stadthäusern (BGF<sub>st</sub>H, BGF<sub>st</sub>) separat berücksichtigt.

Der allgemeine Hochrechnungsansatz zur Abschätzung der städtischen Verhältnisse zu Flächen, Endenergien und CO<sub>2</sub>-Emissionen lautet auf Grundlage des Verhältnisses der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten (SVB, für Vohwinkel = 9.896) wie folgt:

$$BGF_{NP,Post}H = \frac{BGF_{NP,Post}}{9.896} \cdot SVB$$

$$BGF_{st}H = \frac{BGF_{st}}{9.896} \cdot SVB$$

$$End_{NP,P}H = \frac{End_{NP,P}}{9.896} \cdot SVB$$

$$CO_{2NP,P}H = \frac{CO_{2NP,P}}{9.896} \cdot SVB$$

Bei der Berechnung der energetischen Verhältnisse für die Stadtebene sind der spezifische Leerstand und der Energiemix zur Stadtebene zu berücksichtigen.

## 7.7 Ergebnisse bei Anwendung des Modells auf einen Stadtteil und die Hochrechnung auf Stadtebene am Beispiel Wuppertal

Als Grundlage für die Berechnungen sind zunächst die Leerstandsquote, wobei die Monate, in der Heizperiode mit sechs angenommen werden, und der Energiemix zu bestimmen. Eine eigene Einschätzung zur Leerstandsquote zu den beheizten Nichtwohngebäuden in Vohwinkel ergab eine Größenordnung von etwa 10 %. Die Wirt-

schaftsförderung der Stadt Wuppertal schätzt den Leerstand zu gewerblichen Bauten und Büros in Vohwinkel auf etwa 8 %.

Des Weiteren sind die Anteile der eingesetzten Energieträger für Vohwinkel und, zwecks Hochrechnung, auch für das Stadtgebiet von Wuppertal zu ermitteln. Bei den Energieträgern sind die leitungsgebundenen und nichtleitungsgebundenen Energieträger zu differenzieren. Eine FernwärmeverSORGUNG existiert in Vohwinkel im Vergleich zum sonstigen Stadtgebiet nicht.

Der Stadt Wuppertal liegen Erhebungen zu nichtleitungsgebundenen Energieträgern je Kehrbezirk vor. Diese Daten wurden für den Stadtteil Vohwinkel ausgewertet und in Spalte 1 der Tabelle 17 aufgeführt. Eine von den Wuppertaler Stadtwerken zur Verfügung gestellte Tabelle zu Ermittlungen des Wärmeenergieverbrauchs in Vohwinkel konnte zusätzlich für die Beurteilungen des Energiemixes hinsichtlich der Anteile Erdgas (56 %), Heizöl (38 %) und Heizstrom (2,5 %) ausgewertet werden. Der aus diesen Daten resultierende Energiemix für Vohwinkel ist in Spalte 2 der Tabelle 17 dargestellt, wobei der Anteil Holz und Flüssiggas aus der Kehrbezirksanalyse auf Grund des etwa 50-prozentigen Anteils von Erdgas ebenso mit der Hälfte angenommen wurde.

Zusätzlich sind die in den Berechnungen zu Grunde gelegten Brennstoffdaten<sup>270</sup> für die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren und Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbare Anteile), wie sie für diese Betrachtung gewählt wurden, aufgeführt.

### **Erläuterungen zu den Faktoren des Heizstroms:**

Der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor zum allgemeinen Strommix wird für das Jahr 2010 mit 566 Gramm pro Kilowattstunde<sup>271</sup> angegeben. Hierin sind die Vorketten bei der Stromproduktion für den Strommix berücksichtigt. Strom, welcher für Heizzwecke eingesetzt wird, wird bisher von Mittellastkraftwerken geliefert, die einen höheren CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor von 865 Gramm pro Kilowattstunde aufweisen.<sup>272</sup>

Die in einer Studie festgestellte, durchschnittlich erreichte geringe Jahresarbeitszahl bei Luft-Wärmepumpen von 2,74<sup>273</sup>, anstelle von mindestens 3,5<sup>274</sup>, ist als zusätzlicher CO<sub>2</sub>-erhöhender Faktor dabei noch nicht berücksichtigt. Ebenso können weitere Faktoren wie Kühlmitteleinsatz oder eine nicht optimale Steuerung zum Heizbedarf (auch bei Nachspeicher) aufgeführt werden. Demnach kann eine entsprechend höhere CO<sub>2</sub>-Emission durch Heizstrom im Vergleich zum Strommix angesetzt werden, die

270 vgl. KfW, 2008, S. 10, DIN V 18599-1:2011-12, S. 67 und Seifried & Schaumburg, 2012

271 vgl. UBA 2012, Umweltbundesamt, S. 2

272 vgl. Seifried Dieter; Schaumburg Dietmar, 2012

273 vgl. Seifried Dieter; Schaumburg Dietmar, 2012

274 vgl. EEG 2015, Anlage III, 1. b)

hier gemäß Modellansatz aus den Parametern Primärenergiefaktor und direktem CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor berechnet wird.

Zur Vereinfachung des Ansatzes wurden dem Heizstrom der direkte CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor und der Primärenergiefaktor zum Strommix zugeordnet. Insgesamt werden dadurch beim Heizstrom höhere Emissionen angenommen als beim sonstigen Strommix.

Dieser Ansatz ist an aktuelle Entwicklungen bzw. andere Modell-Randbedingungen anzupassen. Beispielweise sollen regionale Emissionen oder geringe Emissionen durch den Heizstrom auf Basis eines Strommixes betrachtet werden. Dann sind auf Grund des Modellansatzes der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor und der Primärenergiefaktor zum Heizstrom entsprechend zu wählen.

Installierte Leistung nichtleitungsgebundener Energieträger (in %): Gebäudebestand Vohwinkel		Energiemix inklusive leitungsgebundener Gasversorgung (in %): Gebäudebestand Vohwinkel		Energiemix (in %): Wohngebäudebestand Stadtgebiet Wuppertal		Energieträger	direkte CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren in kg/kWh	Primärenergiefaktor (nicht erneuerbarer Anteil)
		Erdgas	56,0 %	Erdgas	48,4 %	Erdgas	0,202	1,1
Heizöl	93,0 %	Heizöl	38,0 %	Heizöl	32,1 %	Heizöl	0,266	1,1
Flüssiggas	4,0 %	Flüssiggas	2,0 %	Flüssiggas		Flüssiggas	0,234	1,1
Holz	3,0 %	Holz	1,5 %	Holz	1,6 %	Holz/Pellets	0	0,2
		Heizstrom	2,5 %	Heizstrom	6,4 %	Heizstrom	0,566	2,6
		Kohle	0,0 %	Kohle	1,6 %	Kohle	0,355	1,1
		Solarthermie	0,0 %	Solarthermie	0,2 %	Solar	0	0
		Fernwärme	0,0 %	Fernwärme	9,8 %	Fernwärme	0,207	0,7
Summe	100 %	Summe	100 %	Summe	100 %			

**Tabelle 17:** Energiemix Beispiel Vohwinkel und Wuppertal [Quellen: Stadt/Stadtwerke Wuppertal, DIN V 18599, Reutter Oscar et al., 2012, vgl. Hamann Achim, 2014, S. 105]

In Tabelle 17 ist weiterhin der Energiemix für Wuppertal aufgeführt. Er konnte der Studie »Low Carbon City Wuppertal 2050«<sup>275</sup> entnommen werden. Im 6,4-prozentigen Heizstromanteil sind rund 1,4 % Wärmeenergie durch den Betrieb von Wärmepumpen

275 vgl. Reutter Oscar et al., 2012, S. 123 und S. 127

enthalten. Zur Bereitstellung der Wärmeenergie mit Hilfe einer Wärmepumpe werden ca. 25 % elektrische Energie notwendig. Der restliche Anteil wird zum Beispiel durch die Nutzung von Abwasserwärme, Geothermie oder Umweltwärme dem jeweiligen Medium entzogen.<sup>276</sup> Für Wuppertal wird ein Fernwärmanteil von 9,8 %<sup>277</sup> angegeben.

### Hochrechnungsergebnisse für die Stadt Wuppertal

Die Ergebnisse der Hochrechnung, mit deren Hilfe die Flächenverhältnisse und energetischen Verhältnisse zum Stadtgebiet Wuppertal abgeschätzt werden, sind in Tabelle 18 aufgeführt.

Hochrechnungsergebnisse zum Wohn- und Nichtwohngebäudebestand Wuppertal, Energiemix Wuppertal	
Top-down-Ansatz:	
BGF <sub>NP</sub> in m <sup>2</sup>	2.074.450
BGF <sub>P</sub> in m <sup>2</sup> (inkl. Stadthäuser)	7.850.423
BGF <sub>NP,P</sub> in m <sup>2</sup> (inkl. Stadthäuser)	9.924.872
BGF <sub>W</sub> (ohne Nichtwohnflächen der Stadthäuser) in m <sup>2</sup>	17.084.122
End <sub>NP</sub> (klimabereinigt) in GWh/a	237
End <sub>P</sub> (klimabereinigt) in GWh/a	1.075
End <sub>NP,P</sub> (klimabereinigt) in GWh/a	1.312
QP <sub>NP,P</sub> (klimabereinigt) in GWh/a	1.462
End <sub>W</sub> (klimabereinigt) in GWh/a	1.843
CO <sub>2 NP</sub> (klimabereinigt) in t/a	71.248
CO <sub>2 P</sub> (klimabereinigt) in t/a	323.222
CO <sub>2 NP,P</sub> (klimabereinigt) in t/a	394.470
CO <sub>2 W</sub> (klimabereinigt) in t/a	554.105
CO <sub>2 NP,P</sub> (klimabereinigt) in t/(Einwohner·a)	1,13
Legende:	
P:	Profit-Organisationen, NP: Non-Profit-Organisationen, W: Wohngebäude
End:	Endenergieverbrauch
QP:	Primärenergieverbrauch, CO <sub>2</sub> : CO <sub>2</sub> -Emissionen

**Tabelle 18:** Hochrechnungsergebnisse: Beispiel Top-down-Ansatz für Wuppertal, 2010 [Quelle: Eigene Berechnungen, vgl. Hamann Achim, 2014, S. 130]

276 vgl. Hamann, Achim, 2012, S. 57–58

277 vgl. Reutter Oscar et al., 2012, S.123 und S. 127

Die Gesamtbruttogrundfläche der beheizten Nichtwohngebäude kann für Wuppertal auf etwa 9,9 Millionen Quadratmeter geschätzt werden. Das sind rund 37 % des gesamten Gebäudebestandes. Die pro Kopf-Emissionen können zum Nichtwohngebäudebestand mit 1,13 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr angegeben werden.

Für die Raumheizung der Wohn- und Nichtwohngebäude ergeben sich zusammen rund 3.155 Gigawattstunden pro Jahr (Endenergieverbrauch) und ca. 948.000 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr. Bezogen auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz der Stadt Wuppertal, die für das Jahr 2009 die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen mit 3.239.710 Tonnen<sup>278</sup> angibt, beträgt der Anteil aus der Raumwärme der beheizten Nichtwohngebäude rund 13 % (394.470 Tonnen, vgl. Hamann Achim, 2014, S. 131 und Tabelle 18].

### Startbilanz für das Jahr 1990

Die Erstellung der Startbilanz zur Raumwärmesituation der beheizten Nichtwohngebäude wird notwendig, damit ein Bezug zum Referenzjahr hergestellt werden kann. Als Referenzjahr ist generell das Jahr 1990 definiert. Es ist zwar zu Gebäuden ein alternativer Sanierungsfahrplan denkbar, doch sollte hier der Bezug zu 1990 analog zum Gesamtbild hergestellt werden.

Grundlage sind die Flächenveränderungen zum Nichtwohngebäudebestand im Stadtteil Vohwinkel zwischen 1990 und 2010. Diese wurden mit Hilfe einer Einschätzung zur Zuwachsrate abgeschätzt. Dies erfolgte auf Basis von Luftbildern aus dem Jahr 1991 und 1999 sowie den GIS-Daten zum Jahr 2010. Es wurde die Gebäudestruktur in Vohwinkel von 1991 mit der des Jahres 2010 verglichen und die Flächenveränderungen gegenübergestellt. Durch den Vergleich konnte ein Flächenzuwachs von etwa 0,5 % pro Jahr abgeschätzt werden.

Hinsichtlich der energetischen Verhältnisse und CO<sub>2</sub>-Emissionen ist mit Hilfe des Bestandsmodells festzustellen, dass im Jahr 1990 die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen etwa 4,8 % höher lagen als 2010. Die Pro-Kopf-Emissionen liegen dagegen trotz eines Rückganges der absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2010 um 5,6 % höher als 1990. Der Endenergie- und Primärenergieverbrauch liegen im Jahr 2010 um etwa 6 % bzw. 4 % höher als 1990. Insgesamt lassen sich demnach von 1990 bis 2010 keine relevanten Veränderungen aufzeigen. Die genannten Veränderungen seit 1990 wurden auch für die Stadtbene Wuppertal angenommen.

Dies ist damit begründbar, dass einerseits die bauordnungsrechtlichen Randbedingungen erst mit Einführung der EnEV 2009 und des EEWärmeG in 2009 relevante Verbesserungen bewirkten und sich die Brennstoffdaten beim Heizstrom verbessern bzw. sich der Energiemix verändert hat. Die deutlichen Verbesserungen seit Einführung der

278 vgl. GERTEC (Hrsg.), 2012, S. 6

EnEV 2009 und des EEEWärmeG machen sich bei den nachfolgenden Szenarien auch durch den Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen ab dem Jahr 2010 bemerkbar.

## 7.8 CO<sub>2</sub>-Szenarien bis zum Jahr 2050

### Allgemeines

Ziel ist es, mit Hilfe von Szenarien zukünftige Entwicklungen zu CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bereich der Raumwärme beim Nichtwohngebäudebestand am Beispiel von Wuppertal aufzuzeigen. Dabei sollen Leitparameter zur Erreichung von CO<sub>2</sub>-Minderungen um mindestens 80 % abgeleitet werden.

Als Grundlage für die Szenarien werden gebäudetechnische und volkswirtschaftliche Trends bis 2050 sowie Entwicklungen zu den Wärmeenergieträgern berücksichtigt. Zusätzlich fließen Ergebnisse aus einer durchgeföhrten Befragung bei Akteuren in Vohwinkel ein. Die Szenarien (Zukunftsbilder) zeigen als Ergebnisse für die Jahre 2020, 2030, 2040 und 2050 (Stützjahre der Berechnungen) Entwicklungen zu Gebäudelächen, zum Heizenergie- und Primärenergieverbrauch für die Raumwärme und die resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen auf.

Es wurden mehrere Forecasting-Szenarien betrachtet (Grundlage Schlüsselfaktoren: Trendentwicklungen, Akteursbefragung, Passivhausstandard, Flächenzuwachsvermeidung), welche die Gegenwart in die Zukunft hinein verlängern. Diese dienen zur Abschätzung der Leitparameter zwecks Zielerreichung. Ergänzend wurde ein Backcasting-Szenario bearbeitet, welches ausgehend vom politisch gewollten Zukunftszustand im Jahr 2050 den CO<sub>2</sub>-Verlauf analysiert. Das Backcasting-Szenario wird dabei als Leitszenario »Backcasting-Leit« bezeichnet [vgl. Hamann Achim, 2014].

Zunächst wurde ein Ausgangsszenario als Forecasting-Szenario »Trendfortschreibung-business as usual« (bau) zu allen Nichtwohngebäudekategorien aufbereitet. Da die zukünftigen Heizkennwerte auch von baupraktischen Einflüssen (Kosten-, Zeit- und Leistungsdruck, fehlerhafte Ausführungen) abhängen, werden diese beim Trend-Szenario durch höhere Verbräuche berücksichtigt und das Szenario letztlich »Trend-bau-Baupraxis« benannt.

Bei den Szenarien werden die Schlüsselfaktoren zu den Zukunftsbildern für die Stützjahre variiert. Die relevanten Schlüsselfaktoren werden auf Grundlage der Bestandsmodellierung nachfolgend aufgeführt:

- Entwicklungen zu weiteren energetischen Baualtersklassen (E bis G) bis zum Jahr 2050
- Entwicklungen zu den Heizkennwerten je weiterer Baualtersklasse

- Entwicklungen zum Energiemix und zu den Anteilen der erneuerbaren Wärmeenergien
- Entwicklungen zu den Primärenergiefaktoren
- Entwicklungen zu den CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren
- Flächenentwicklungen je Baualtersklasse auf Grundlage von Neubau-, Abriss- und Sanierungsrate

Mit Hilfe der Variationen zu den einzelnen Schlüsselfaktoren konnten deren Einflüsse aufgezeigt und insgesamt Leitparameter zur Zielerreichung abgeleitet werden. Die Schlüsselfaktoren wurden mit Hilfe von Annahmen zu Veränderungen beim Standard zur Gebäudehülle und zur Gebäudetechnik, beim Energiemix, bei Brennstoffdaten und bei volkswirtschaftlichen Randbedingungen abgeleitet. Eine Befragung zu Einschätzungen der Akteure hinsichtlich zukünftiger Veränderungen an ihrem Gebäudebestand lieferte ebenso Ansätze zu den Schlüsselfaktoren. Ergänzend wurden die Wirkungsanteile einer Effizienz-Konsistenz-Suffizienz-Strategie (Besser-Anders-Weniger)<sup>279</sup> aufbereitet. Dies ist erforderlich, da Effizienzmaßnahmen alleine nicht ausreichen. Die gewählten Szenarien und Erläuterungen zu den Variationen der Schlüsselpараметer sind in Tabelle 19 aufgeführt.

Szenario	
1	»Trend-bau-Baupraxis«, (vollständiger beheizter Nichtwohngebäudebestand) (Trendnahmen zu: Energiemix, Primärenergiefaktoren, CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren, Sanierungsrate, Neubaurate, Abrissrate, Heizkennwerte)
2	»Trend bau-Akteurbefragung« (Teilbestände in Vohwinkel) -Teilbestand private Büros: »Trend-bau-private Büros« -Teilbestand kirchliche Einrichtungen: »Trend-bau-kirchliche Einrichtungen« (Einfluss höhere Sanierungsrate und Energiemix mit größerem Anteil erneuerbaren Energien)
3	»Trend-bau-Passivhaus« (Einfluss optimierter Heizkennwerte)
4	»Trend-bau-kein Flächenzuwachs« (Einfluss Anpassung Abrissrate an Neubaurate)
5	»Backcasting-Leit« (Ansatz von zielführenden Leitparametern)

**Tabelle 19:** Untersuchte CO<sub>2</sub>-Szenarien bis zum Jahr 2050 am Beispiel Wuppertal-Vohwinkel  
[Quelle: Eigene Festlegungen, vgl. Hamann Achim, 2014, S. 190]

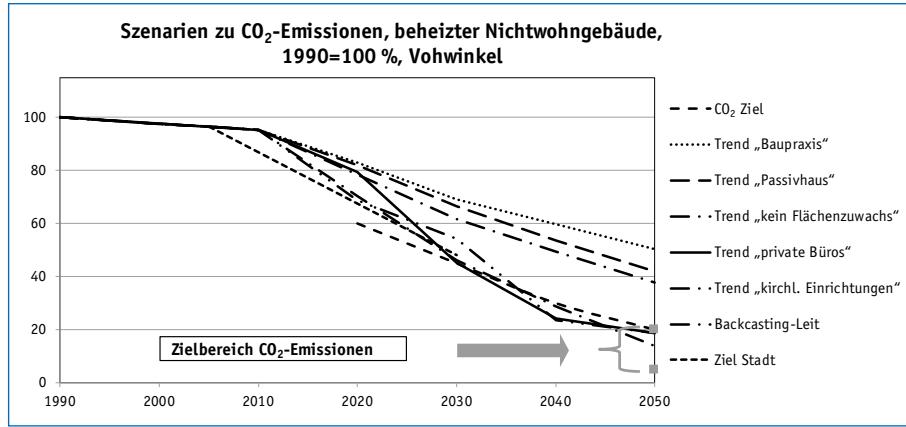
Zur Ermittlung der zukünftigen Flächenverhältnisse wurde ein Flächenentwicklungsmodell erstellt. Dieses baut auf bestehenden (A bis D) und zukünftigen (E bis G) Baualtersklassen zu den Gebäuden je Dekade auf, welche im betrachteten Jahrzehnt

<sup>279</sup> vgl. Reutter Oscar et al., 2012, S. 120 und S. 135, Tab. 6.5

saniert, abgerissen oder durch Neubauten ersetzt werden. Das Ergebnis aus dem Flächenmodell ist am Beispiel Wuppertal-Vohwinkel in Abbildung 12 und 14 aufgeführt [vgl. 4.2].

### Ergebnisse zu den CO<sub>2</sub>-Szenarien am Beispiel Wuppertal-Vohwinkel bis 2050

In der nachfolgenden Abbildung werden die zuvor aufgeführten CO<sub>2</sub>-Szenarien (Forecasting- und Backcasting-Szenarien) mit prozentualen Bezug zum Referenzjahr 1990 dargestellt. Weiterhin ist der Zielverlauf der Stadt Wuppertal bis 2030 (gemäß Beschlusslage) aufgeführt. Die geringen Veränderungen zwischen 1990 und 2010 wurden unter »Ergebnisse zur Startbilanz für das Jahr 1990« erläutert. Die dann einsetzenden stärkeren CO<sub>2</sub>-Minderungen ab dem Jahr 2010 basieren auf der Wirkungskette der EnEV 2009 und des EEG sowie der weiteren zukünftigen ordnungsrechtlichen Entwicklungen. Aus heutiger Sicht des Jahres 2015 ist sicherlich kritisch zu hinterfragen, ob die aufgeführten Minderungen bis 2015 in diesem Umfang bereits eingetreten sind bzw. in den verbleibenden Jahren aufgeholt werden können.



**Abbildung 76:** Ergebnisse und Vergleich der CO<sub>2</sub>-Szenarien bis 2050 am Beispiel Wuppertal-Vohwinkel [Quelle: Eigene Berechnungen, vgl. Hamann Achim, 2014, S. 242]

Die Darstellung verdeutlicht beim jeweiligen Szenario und den zugehörigen Schlüsselfaktoren die erreichbaren CO<sub>2</sub>-Minderungen. Als Ergebnis war festzustellen, dass nur eine Kombination vieler Maßnahmen zur Zielerreichung führt, da die Trendentwicklung (business as usual) eine Reduzierung um nur etwa 50 % erwarten lässt.

Die prozentualen Minderungen gemäß resultierendem Leitszenario »Backcasting-Leit« liegen im Jahr 2050 in Wuppertal-Vohwinkel und bezogen auf die absoluten Ergebnisse bei minus 86,1 %. Die Pro-Kopf-Werte liegen bei minus 80,3 %. Die pro-

zentuellen Pro-Kopf-Werte fallen im Gegensatz zu den absoluten Werten geringer aus, da der Einfluss des Bevölkerungsrückgangs in Wuppertal spürbar wird.

Um den Zielbereich in Wuppertal-Vohwinkel mit einem Pro-Kopf-Wert von minus 80,3 % zu erreichen, sind beim beheizten Nichtwohngebäudebestand verschiedene Maßnahmen notwendig, die den Strategien »Effizienz«, »Konsistenz« und »Suffizienz« zugeordnet werden können.

Zu diesen Maßnahmen werden nachfolgend die Wirkungsanteile (Basis: 100 % = Ergebnis Leitszenario) bei den Minderungen zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen für Wuppertal-Vohwinkel aufgeführt [vgl. 4.3]:

- Effizienz-Strategie: 53 %
- Konsistenz-Strategie: 35 %
- Suffizienz-Strategie: 12 %

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Heizkennwerte je nach Gebäudekategorie um den Faktor 3 bis 5 verbessert werden müssen. Dies kann beispielweise durch Anpassungen im Bereich der Wärmebrücken, der Luftdichtheit, der Wandstärken und Dämmstoffqualität sowie durch effizientere Heiz- und Lüftungstechnik erfolgen. Die Sanierungsrate muss mindestens 2 % pro Jahr betragen. Der Anteil der erneuerbaren Wärmeenergien muss die Größenordnung von 56 % zuzüglich 8,5 % Stromanteil aus erneuerbaren Energien zur Erschließung von zum Beispiel Umweltwärme erreichen. Ein weiterer Flächenzuwachs ist zu vermeiden. Die Abrissrate muss die Neubaurate neutralisieren [vgl. 4.3].

## 7.9 Nutzen für immobilienökonomische Betrachtungen

Die Untersuchungen und Modellrechnungen zum Stadtteil Vohwinkel und zu Wuppertal liefern aktuelle Bestandsdaten zu Bruttogrundflächen je Baualtersklasse und Nichtwohngebäudekategorie sowie den Wärmeenergieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Raumbeheizung für das Jahr 2010.

Mit Hilfe der Szenarien konnten unter anderem die notwendigen Flächenveränderungen hinsichtlich der Neubau-, Sanierungs- und Abrissrate auf Basis der Entwicklungen zu den zukünftigen CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgezeigt werden. Die Sanierungsrate sollte dabei von derzeit 0,65 % pro Jahr auf mindestens 2 % pro Jahr ansteigen und die Neubau- sowie Abrissrate sollte jeweils 1 % pro Jahr betragen. Die Erkenntnisse liefern nicht nur Daten zur bisher unbekannten Bestandssituation und zu Leitparametern für zukünftige Entwicklungen, die für die Umsetzung der städtischen Klimaschutzziele von Interesse sind, sondern dienen gleichzeitig als Grundlage zu einer ersten Abschätzung des notwendigen Investitionsvolumens.

Das notwendige Investitionsvolumen<sup>280</sup> zu den jährlichen Neubau- und Sanierungsmaßnahmen im Bereich des beheizten Nichtwohngebäudebestands kann beispielsweise für den Zeitraum 2010 bis 2020 auf Basis des Flächenentwicklungsmodells sowie der Neubau- und Sanierungsrate abgeschätzt werden. Im Zeitraum 2010 bis 2020 entfällt dabei die noch junge Baualtersklasse D bei Sanierungsmaßnahmen. Zur Einhaltung der Sanierungsrate werden die Baualtersklassen A bis C anteilig stärker saniert und hierfür spezifische Kosten angenommen.

Die Investitionen in die Heiztechnik durch Modernisierungen und den Umstieg auf erneuerbare Wärmeenergien sind ebenfalls von Bedeutung. Dafür wird als Grundlage der jährlich notwendige prozentuale Anteil der erneuerbaren Wärmeenergien angenommen. Bei der Abschätzung des Investitionsvolumens zur energetischen Verbesserung des Nichtwohngebäudebestands bleiben Preisanpassungen zur Vereinfachung bei den Betrachtungen bis zum Jahr 2020 unberücksichtigt.

## 7.10 Notwendiges Investitionsvolumen am Beispiel von Wuppertal-Vohwinkel bis 2020

Bei der Abschätzung des jährlichen Investitionsvolumens<sup>281</sup> für Ersatzneubauten und wärmeenergetische Sanierungsmaßnahmen auf Grund der Leitparameter zur Erreichung der umweltpolitischen Ziele auf der Stadtebene werden nachfolgend die Ergebnisse aus der Bestandsmodellierung und aus den Szenarien herangezogen. Das jährliche Neubauvolumen kann demnach mit Hilfe der Bestandsflächen je Gebäudekategorie und der Neubaurate von einem Prozent abgeschätzt werden.

Das Investitionsvolumen zu Sanierungsmaßnahmen bei der Gebäudehülle wird mit Hilfe der jährlichen Sanierungsrate von 2 % abgeschätzt. Zusätzlich ist der Einfluss des Umstiegs auf erneuerbare Wärmeenergien von etwa 0 % im Jahr 2010 auf 56 % im Jahr 2050 zu berücksichtigen.

Die jährliche Umstiegsrate für den Zeitraum von 40 Jahren kann demnach mit 1,4 % angegeben werden. Die übrigen 44 % betreiben weiterhin eine Heiztechnik auf Basis fossiler Brennstoffe. Die Sanierungsmaßnahmen bis 2020 sehen eine Verbesserung der Bestandsgebäude auf ein vergleichbares energetisches Niveau, wie das der Baualtersklasse D, vor. Dies wird durch Maßnahmen an Fenstern, Fassaden, Dachaufbauten und an der Heiztechnik erreicht.

Zur Ermittlung des jährlichen Investitionsvolumens bis 2020 werden zu den Sanierungs- und Neubauflächen je Hauptkategorie spezifische Kosten in Anlehnung an

280 vgl. Hamann Achim, 2015b, S. 24

281 vgl. Hamann Achim, 2015b, S. 24–26

BKI-Baukosten (Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern: Veröffentlichungen zu Baukostenansätzen) angenommen. Dazu wurden etliche BKI-Kostenansätze zu Bauteilen und Neubauflächen recherchiert<sup>282</sup> und gerundete Mittelwerte gewählt. Abrisskosten sind hierin nicht enthalten, auch keine Baunebenkosten.

Zur Bestimmung der zu sanierenden Dachfläche aus der Bruttogrundfläche wurden mittlere Umrechnungsfaktoren berücksichtigt. Für Vohwinkel können diese beispielsweise mit 2,146 (Non-Profit-Organisationen) bzw. 1,405 (Profit-Organisationen) auf Grund der eigenen GIS-Daten-Auswertung angegeben werden.

Mit Hilfe weiterer Faktoren mit Bezug auf die zu sanierenden Dachflächen können die zu sanierenden Fenster- und Fassadenflächen ermittelt und die energetischen Investitionen zur Gebäudehülle abgeschätzt werden. Diese Faktoren wurden auf Grundlage der erstellten Modellgebäude<sup>283</sup> für den Bottom-up-Ansatz<sup>284</sup> zur Ermittlung der Heizenergieverbrauchswerte zu Nichtwohngebäuden auf der Stadt Ebene und den Flächenverhältnissen bei der Gebäudehülle je Nichtwohngebäudekategorie ermittelt. In den Tabellen 20 und 21 sind die Berechnungsansätze zu den Hüllflächen und die Umrechnungsfaktoren für die zu sanierenden Dach-, Fassaden und Fensterflächen aufgeführt.

Zwecks erster Abschätzung für andere Stadtgebiete können die Faktoren übernommen werden. Soll mehr Aufwand betrieben werden, ist neben der Ermittlung der Bruttogrundflächen zu den Baualtersklassen A bis C und D für die Berechnung der gesamten Bruttogrundfläche je Gebäudekategorie aus den kommunalen GIS-Daten der Umrechnungsfaktor für die Dachflächen neu zu berechnen. Bei Bedarf kann dies auch für jede Gebäudekategorie separat erfolgen. Die Umrechnungsfaktoren für die übrigen Hüllflächen können beibehalten werden, da diese aus den Modellgebäuden abgeleitet sind. Der Aufwand, der Nutzen und die Genauigkeit sind abzuwägen. Insofern ist zu entscheiden, ob mit den Faktoren zu Wuppertal-Vohwinkel als Grundlage einer ersten Investitionsabschätzung im Rahmen der Gesamtunsicherheit ausreichende Ergebnisse erzielt werden. Ein alternativer Ansatz, insbesondere mit geringem Aufwand, steht derzeit nicht zur Verfügung.

Zur Abschätzung der bauwirtschaftlichen Investitionen im Bereich der energetisch zu sanierenden Gebäudehülle und Heiztechnik sowie im Neubaubereich werden folgende Kostenansätze berücksichtigt (netto, ohne Baunebenkosten):

<sup>282</sup> vgl. BKI 2011/2012, Objektdaten Technische Gebäudeausrüstung, Stuttgart, 2012, S. 510 ff und Baukosten Gebäude, Stuttgart, 2011, S. 82, 124, 140, 214, 512, 520, 526, 554, 560, 566, 574, 582, 612, 640, 648, 656, 664, 670 und Baukosten Bauelemente, Stuttgart, 2011, S. 240–241, 316–317 und 480–484 und Baukosten Positionen, Stuttgart, 2011, S. 399

<sup>283</sup> vgl. Hamann Achim, 2014, Anhang, S. 19–22

<sup>284</sup> vgl. Hamann Achim, 2014, S. 56–66

- Sanierung Fenster: 500 €/m<sup>2</sup>
- Sanierung Fassade: Je nach Gebäudekategorie werden unterschiedliche Materialien eingesetzt. Zur Vereinfachung werden im Mittel für alle Gebäudekategorien 100 €/m<sup>2</sup> angenommen.
- Sanierung Dach: 70 €/m<sup>2</sup>
- Erneuerung Wärmeerzeuger/Umstieg auf erneuerbare Wärmeenergien: 30 €/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>
- Neubau: Kostenansätze siehe Tabelle 20 und 21 (dabei sind aktuelle energetische Anforderungen, die bis zum Jahr 2020 relevant sind, berücksichtigt)

Baunebenkosten sind im konkreten Fall separat zu ermitteln und zu ergänzen, da dies im Einzelfall beispielsweise durch Umbauzuschläge stark differieren kann.

Die notwendigen jährlichen Investitionen für die Gebäudekategorien werden in den nachfolgenden Tabellen 22 und 23 aufgeführt. Dargestellt sind auch die Grundlagen der spezifischen Kostenansätze sowie Neubau- und Sanierungsrate zu den Bruttogrundflächen und die Modernisierungsrate zur Heiztechnik. Weiterhin sind Bruttogrundflächen und die resultierenden, zu sanierenden Bauteilflächen aufgeführt. Bei der Kategorie 8 bleibt die Gebäudehülle von Kirchenbauten unberücksichtigt, da hier bis zum Jahr 2020 nur ein kurzfristiges Modernisierungspotenzial bei den Heizungsanlagen gesehen wird.

Zunächst wird die jährlich zu sanierende Bruttogrundfläche je Gebäudekategorie mit Hilfe der Rate von 2 % pro Jahr aus der Summe der Bruttogrundfläche ermittelt. Darauf wird die zu sanierende Dachfläche bezogen und schließlich die zu sanierende Fenster- und Fassadenfläche ermittelt. Hierfür werden die zuvor berechneten spezifischen Umrechnungsfaktoren berücksichtigt.

Die Neubaufläche ergibt sich auf Basis der Neubaurate von einem Prozent pro Jahr. Die Modernisierung der Heiztechnik wird mit Bezug zur Bruttogrundfläche auf Grundlage der 1,4 % pro Jahr berechnet. Letztlich werden die Flächen mit den spezifischen Kosten verknüpft und die Investitionen ermittelt.

Für den Stadtteil Wuppertal-Vohwinkel kann eine notwendige jährliche Investitionssumme von rund 13,6 Millionen Euro bis zum Jahr 2020 abgeschätzt werden, wobei jährlich etwa 3,4 Millionen Euro in die Bestandssanierung und 10,2 Millionen Euro in Ersatzneubauten zu investieren sind.

Für den Gesamtzeitraum von zehn Jahren (2010 bis 2020) sind rund 136 Millionen Euro (ohne Preissteigerung) zu investieren. Mit Hilfe einer Hochrechnung kann das jährliche Investitionsvolumen für das gesamte Stadtgebiet von Wuppertal bis zum Jahr 2020 auf etwa 148 Millionen Euro geschätzt werden, wovon rund 37 Millionen Euro pro Jahr in energetische Sanierungsmaßnahmen zu investieren sind.

	A	B	C	D	E
1	<b>Kostenkalkulation ohne Mehrwertsteuer</b>	<b>Non-Profit-Organisationen</b>			
2	<b>Gebäudekategorie</b>	<b>1 Bildung</b>	<b>2 Verwaltung</b>	<b>3 Bereitschafts-dienste</b>	<b>4 Heilbehand-lung</b>
3	BGF-Fläche Bk A (m <sup>2</sup> )	=9623	=1364	=0	=0
4	BGF-Fläche Bk B (m <sup>2</sup> )	= (37057 + 1725 + 5880 + 1438)	=350	=1315	=0
5	BGF-Fläche Bk C (m <sup>2</sup> )	= (6149 + 3771)	=2344	=531	=9714
6	BGF-Fläche Bk D (m <sup>2</sup> )	= (17696 + 1400)	=0	=0	7356
7	BGF-Summe Bk A-D (m <sup>2</sup> )	=SUMME(B3:B6)	=SUMME(C3:C6)	=SUMME(D3:D6)	=SUMME(E3:E6)
8	jährliche Neubaufläche (BGF), 1 %/a	=SUMME(B3:B6) *0,01	=SUMME(C3:C6) *0,01	=SUMME(D3:D6) *0,01	=SUMME(E3:E6) *0,01
9	Kostenansatz Neubau (EUR/m <sup>2</sup> )	1420	1360	1100	1500
10	jährlich zu sanierende BGF, Bk A-C, 2 %/a, $\Sigma$ (BGF A-D)	=SUMME(B3:B6) *0,02	=SUMME(C3:C6) *0,02	=SUMME(D3:D6) *0,02	=SUMME(E3:E6) *0,02
11	zu sanierende Dachfläche (m <sup>2</sup> ), 2 %/a	=B10/2,416	=C10/2,416	=D10/2,416	=E10/2,416
12	Kostenansatz Sanierung Dach (EUR/m <sup>2</sup> )	70	70	70	70
13	Austausch Heizechnik, Bezug $\Sigma$ BGF (m <sup>2</sup> ), 1,4 %/a	=SUMME(B3:B6) *0,014	=SUMME(C3:C6) *0,014	=SUMME(D3:D6) *0,014	=SUMME(E3:E6) *0,014
14	Kostenansatz Heiztechnik (EUR/m <sup>2</sup> BGF)	30	30	30	30
15	zu sanierende Fassadenfläche (m <sup>2</sup> ), 2 %/a	= 1,435*B11	=3,287*C11	=0,799*D11	=3,287*E11
16	Kostenansatz Sanierung Fassade (EUR/m <sup>2</sup> )	100	100	100	100
17	zu sanierende Fensterfläche (m <sup>2</sup> ), 2 %/a	=0,575*B11	=0,806*C11	=0,006*D11	=0,806*E11
18	Kostenansatz Sanierung Fenster (EUR/m <sup>2</sup> )	500	500	500	500
19	jährliche Investitionssumme Sanierung (EUR/a) bis 2020	= (B11*B12 + B13*B14 + B15*B16 + B17*B18)	= (C11*C12 + C13*C14 + C15*C16 + C17*C18)	= (D11*D12 + D13*D14 + D15*D16 + D17*D18)	= (E11*E12 + E13*E14 + E15*E16 + E17*E18)
20	jährliche Investitionssumme Neubau (EUR/a) bis 2020	=B8*B9	=C8*C9	=D8*D9	=E8*E9
21	jährliche Investitionssumme Sanierung+Neubau (EUR/a)	=B19 + B20	=C19 + C20	=D19 + D20	=E19 + E20
22	<b>Investitionssumme 2010 bis 2020 (EUR), 10a</b>	<b>= (B19 + B20) *10</b>	<b>= (C19 + C20) *10</b>	<b>= (D19 + D20) *10</b>	<b>= (E19 + E20) *10</b>

**Tabelle 20:** Modellansätze und Zahlenbeispiel für Wuppertal-Vohwinkel, Non-Profit-Organisationen [Quelle: Eigenes Ermittlungsschema]

	A	F	G	H	I
1	<b>Kostenkalkulation ohne Mehrwertsteuer</b>	<b>Non-Profit-Organisationen</b>			
2	<b>Gebäudekategorie</b>	<b>5 Sport</b>	<b>6 Kultur</b>	<b>7 Justizvollzug</b>	<b>8 kirchl. Einrichtung</b>
3	BGF-Fläche Bk A (m <sup>2</sup> )	=380	=3694	=0	=3320
4	BGF-Fläche Bk B (m <sup>2</sup> )	=(3859+1465+241)	=(2970+492)	=0	=7998
5	BGF-Fläche Bk C (m <sup>2</sup> )	=(2349+951)	=(340+486)	=43514	=1812
6	BGF-Fläche Bk D (m <sup>2</sup> )	=2060	=499	0	0
7	BGF-Summe Bk A-D (m <sup>2</sup> )	=SUMME(F3:F6)	=SUMME(G3:G6)	=SUMME(H3:H6)	=SUMME(I3:I6)
8	jährliche Neubaufläche (BGF), 1%/a	=SUMME(F3:F6) *0,01	=SUMME(G3:G6) *0,01	=SUMME(H3:H6) *0,01	=SUMME(I3:I6) *0,01
9	Kostenansatz Neubau (EUR/m <sup>2</sup> )	1500	1900	1200	1400
10	jährlich zu sanierende BGF, Bk A-C, 2%/a, $\Sigma$ (BGF A-D)	=SUMME(F3:F6) *0,02	=SUMME(G3:G6) *0,02	=SUMME(H3:H6) *0,02	=SUMME(I3:I6) *0,02
11	zu sanierende Dachfläche (m <sup>2</sup> ), 2%/a	=F10/2,416	=G10/2,416	=H10/2,416	=I10/2,416
12	Kostenansatz Sanierung Dach (EUR/m <sup>2</sup> )	70	70	70	70
13	Austausch Heizechnik, Bezug $\Sigma$ BGF (m <sup>2</sup> ), 1,4%/a	=SUMME(F3:F6) *0,014	=SUMME(G3:G6) *0,014	=SUMME(H3:H6) *0,014	=SUMME(I3:I6) *0,014
14	Kostenansatz Heiztechnik (EUR/m <sup>2</sup> BGF)	30	30	30	30
15	zu sanierende Fassadenfläche (m <sup>2</sup> ), 2%/a	=1,2*F11	=1,435*G11	=1,809*H11	=1,809*I11
16	Kostenansatz Sanierung Fassade (EUR/m <sup>2</sup> )	100	100	100	100
17	zu sanierende Fensterfläche (m <sup>2</sup> ), 2%/a	=0,14*F11	=0,575*G11	=0,495*H11	=0,495*I11
18	Kostenansatz Sanierung Fenster (EUR/m <sup>2</sup> )	500	500	500	500
19	jährliche Investitionssumme Sanierung (EUR/a) bis 2020	=(F11*F12+F13*F14+F15*F16+F17*F18)	=(G11*G12+G13*G14+G15*G16+G17*G18)	=(H11*H12+H13*H14+H15*H16+H17*H18)	=(I11*I12+I13*I14+I15*I16+I17*I18)
20	jährliche Investitionssumme Neubau (EUR/a) bis 2020	=F8*F9	=G8*G9	=H8*H9	=I8*I9
21	jährliche Investitionssumme Sanierung+Neubau (EUR/a)	=F19+F20	=G19+G20	=H19+H20	=I19+I20
22	<b>Investitionssumme 2010 bis 2020 (EUR), 10a</b>	<b>=(F19+F20)*10</b>	<b>=(G19+G20)*10</b>	<b>=(H19+H20)*10</b>	<b>=(I19+I20)*10</b>

**Tabelle 20:** (Fortsetzung) Modellansätze und Zahlenbeispiel für Wuppertal-Vohwinkel, Non-Profit-Organisationen [Quelle: Eigenes Ermittlungsschema]

	A	B	C	D	E
26	<b>Kostenkalkulation ohne Mehrwertsteuer</b>	<b>Profit-Organisationen</b>			
27	<b>Gebäudekategorie</b>	<b>9 Büro</b>	<b>10.1 Produktion</b>	<b>10.2 Lager, Logistik</b>	<b>10.3 Kleingewerbe</b>
28	BGF-Fläche Bk A (m <sup>2</sup> )	= (5679+3399)	= 20847,2	= 186	= 844
29	BGF-Fläche Bk B (m <sup>2</sup> )	= (40616+32344 +663)	= 208264,5	= 33179	= 52345,8
30	BGF-Fläche Bk C (m <sup>2</sup> )	= (6922+14775)	= 65615,8	= 30896,7	= 32393
31	BGF-Fläche Bk D (m <sup>2</sup> )	= 14777+3305	= 21048	21349	1742
32	BGF-Summe Bk A-D (m <sup>2</sup> )	=SUMME(B28:B31)	=SUMME(C28:C31)	=SUMME(D28:D31)	=SUMME(E28:E31)
33	jährliche Neubaufläche (BGF), 1 %/a	=SUMME(B28:B31) *0,01	=SUMME(C28:C31) *0,01	=SUMME(D28:D31) *0,01	=SUMME(E28:E31) *0,01
34	Kostenansatz Neubau (EUR/m <sup>2</sup> )	1360	1060	630	1090
35	jährlich zu sanierende BGF, Bk A-C, 2 %/a, $\Sigma$ (BGF A-D)	=SUMME(B28:B31) *0,02	=SUMME(C28:C31) *0,02	=SUMME(D28:D31) *0,02	=SUMME(E28:E31) *0,02
36	zu sanierende Dachfläche (m <sup>2</sup> ), 2 %/a	=B35/1,405	=C35/1,405	=D35/1,405	=E35/1,405
37	Kostenansatz Sanierung Dach (EUR/m <sup>2</sup> )	70	70	70	70
38	Austausch Heizechnik, Bezug $\Sigma$ BGF (m <sup>2</sup> ), 1,4 %/a	=SUMME(B28:B31) *0,014	=SUMME(C28:C31) *0,014	=SUMME(D28:D31) *0,014	=SUMME(E28:E31) *0,014
39	Kostenansatz Heiztechnik (EUR/m <sup>2</sup> BGF)	30	30	30	30
40	zu sanierende Fassadenfläche (m <sup>2</sup> ), 2 %/a	=1,6*B36	=0,559*C36	=0,799*D36	=0,799*E36
41	Kostenansatz Sanierung Fassade (EUR/m <sup>2</sup> )	100	100	100	100
42	zu sanierende Fensterfläche (m <sup>2</sup> ), 2 %/a	=0,25*B36	=0,092*C36	=0,006*D36	=0,006*E36
43	Kostenansatz Sanierung Fenster (EUR/m <sup>2</sup> )	500	500	500	500
44	jährliche Investitionssumme Sanierung (EUR/a) bis 2020	= (B36*B37+B38*B39 +B40*B41+B42*B43)	= (C36*C37+C38*C39 +C40*C41+C42*C43)	= (D36*D37+D38*D39 +D40*D41+D42*D43)	= (E36*E37+E38*E39 +E40*E41+E42*E43)
45	jährliche Investitionssumme Neubau (EUR/a) bis 2020	=B33*B34	=C33*C34	=D33*D34	=E33*E34
46	jährliche Investitionssumme Sanierung+Neubau (EUR/a)	=B44+B45	=C44+C45	=D44+D45	=E44+E45
47	<b>Investitionssumme 2010 bis 2020 (EUR), 10a</b>	<b>= (B44+B45)*10</b>	<b>= (C44+C45)*10</b>	<b>= (D44+D45)*10</b>	<b>= (E44+E45)*10</b>

**Tabelle 21:** Modellansätze und Zahlenbeispiel für Wuppertal-Vohwinkel, Profit-Organisationen  
[Quelle: Eigenes Ermittlungsschema]

	A	F	G	H	I
26	<b>Kostenkalkulation ohne Mehrwertsteuer</b>	<b>Profit-Organisationen</b>			
27	<b>Gebäudekategorie</b>	<b>11 Heilbehandlung</b>	<b>12 Handel</b>	<b>13 Kino, Spielothek</b>	<b>14 Hotel</b>
28	BGF-Fläche Bk A (m <sup>2</sup> )	= (3266+78)	= (36+7261+2646)	= 0	= (3852+262)
29	BGF-Fläche Bk B (m <sup>2</sup> )	= 774	= (3207+1624+1917+4757+25880)	= 1170	= (201+3703)
30	BGF-Fläche Bk C (m <sup>2</sup> )	= (1632+11636)	= (2641+3437+1670+1839)	= 0	= 488
31	BGF-Fläche Bk D (m <sup>2</sup> )	0	= 13136+1394+2695	850	4056
32	BGF-Summe Bk A-D (m <sup>2</sup> )	= SUMME(F28:F31)	= SUMME(G28:G31)	= SUMME(H28:H31)	= SUMME(I28:I31)
33	jährliche Neubaufläche (BGF), 1%/a	= SUMME(F28:F31)*0,01	= SUMME(G28:G31)*0,01	= SUMME(H28:H31)*0,01	= SUMME(I28:I31)*0,01
34	Kostenansatz Neubau (EUR/m <sup>2</sup> )	1500	900	1500	1500
35	jährlich zu sanierende BGF, Bk A-C, 2%/a, $\Sigma$ (BGF A-D)	= SUMME(F28:F31)*0,02	= SUMME(G28:G31)*0,02	= SUMME(H28:H31)*0,02	= SUMME(I28:I31)*0,02
36	zu sanierende Dachfläche (m <sup>2</sup> ), 2%/a	= F35/1,405	= G35/1,405	= H35/1,405	= I35/1,405
37	Kostenansatz Sanierung Dach (EUR/m <sup>2</sup> )	70	70	70	70
38	Austausch Heiztechnik, Bezug $\Sigma$ BGF (m <sup>2</sup> ), 1,4%/a	= SUMME(F28:F31)*0,014	= SUMME(G28:G31)*0,014	= SUMME(H28:H31)*0,014	= SUMME(I28:I31)*0,014
39	Kostenansatz Heiztechnik (EUR/m <sup>2</sup> BGF)	30	30	30	30
40	zu sanierende Fassadenfläche (m <sup>2</sup> ), 2%/a	= 2*F36	= 0,6*G36	= 0,559*H36	= 2*I36
41	Kostenansatz Sanierung Fassade (EUR/m <sup>2</sup> )	100	100	100	100
42	zu sanierende Fensterfläche (m <sup>2</sup> ), 2%/a	= 0,5*F36	= 0,1*G36	= 0,016*H36	= 0,55*I36
43	Kostenansatz Sanierung Fenster (EUR/m <sup>2</sup> )	500	500	500	500
44	jährliche Investitionssumme Sanierung (EUR/a) bis 2020	= (F36*F37+F38*F39+F40*F41+F42*F43)	= (G36*G37+G38*G39+G40*G41+G42*G43)	= (H36*H37+H38*H39+H40*H41+H42*H43)	= (I36*I37+I38*I39+I40*I41+I42*I43)
45	jährliche Investitionssumme Neubau (EUR/a) bis 2020	= F33*F34	= G33*G34	= H33*H34	= I33*I34
46	jährliche Investitionssumme Sanierung+Neubau (EUR/a)	= F44+F45	= G44+G45	= H44+H45	= I44+I45
47	<b>Investitionssumme 2010 bis 2020 (EUR), 10a</b>	<b>= (F44+F45)*10</b>	<b>= (G44+G45)*10</b>	<b>= (H44+H45)*10</b>	<b>= (I44+I45)*10</b>

**Tabelle 21:** (Fortsetzung) Modellansätze und Zahlenbeispiel für Wuppertal-Vohwinkel, Profit-Organisationen [Quelle: Eigenes Ermittlungsschema]

	A	B	C	D	E
1	<b>Kostenkalkulation ohne Mehrwertsteuer</b>	<b>Non-Profit-Organisationen</b>			
2	<b>Gebäudekategorie</b>	<b>1 Bildung</b>	<b>2 Verwaltung</b>	<b>3 Bereitschafts-dienste</b>	<b>4 Heilbehand-lung</b>
3	BGF-Fläche Bk A (m <sup>2</sup> )	9.623	1.364	0	0
4	BGF-Fläche Bk B (m <sup>2</sup> )	46.100	350	1.315	0
5	BGF-Fläche Bk C (m <sup>2</sup> )	9.920	2.344	531	9.714
6	BGF-Fläche Bk D (m <sup>2</sup> )	19.096	0	0	7.356
7	BGF-Summe Bk A-D (m <sup>2</sup> )	84.739	4.058	1.846	17.070
8	jährliche Neubaufläche (BGF), 1 %/a	847	41	18	171
9	Kostenansatz Neubau (EUR/m <sup>2</sup> )	1.420	1.360	1.100	1.500
10	jährlich zu sanierende BGF, Bk A-C, 2 %/a, $\Sigma$ (BGF A-D)	1.695	81	37	341
11	zu sanierende Dachfläche (m <sup>2</sup> ), 2 %/a	701	34	15	141
12	Kostenansatz Sanierung Dach (EUR/m <sup>2</sup> )	70	70	70	70
13	Austausch Heizechnik, Bezug $\Sigma$ BGF (m <sup>2</sup> ), 1,4 %/a	1.186	57	26	239
14	Kostenansatz Heiztechnik (EUR/m <sup>2</sup> BGF)	30	30	30	30
15	zu sanierende Fassadenfläche (m <sup>2</sup> ), 2 %/a	1.007	110	12	464
16	Kostenansatz Sanierung Fassade (EUR/m <sup>2</sup> )	100	100	100	100
17	zu sanierende Fensterfläche (m <sup>2</sup> ), 2 %/a	403	27	0	114
18	Kostenansatz Sanierung Fenster (EUR/m <sup>2</sup> )	500	500	500	500
19	jährliche Investitionssumme Sanierung (EUR/a) bis 2020	387.033	28.636	3.112	120.456
20	jährliche Investitionssumme Neubau (EUR/a) bis 2020	1.203.294	55.189	20.306	256.050
21	jährliche Investitionssumme Sanierung+Neubau (EUR/a)	1.590.327	83.824	23.418	376.506
22	<b>Investitionssumme 2010 bis 2020 (EUR), 10a</b>	<b>15.903.266</b>	<b>838.244</b>	<b>234.179</b>	<b>3.765.060</b>

**Tabelle 22:** Notwendige Investitionen in beheizte Nichtwohngebäude, Beispiel Wuppertal-Vohwinkel, von 2010 bis 2020, Non-Profit-Organisationen [Quelle: Eigene Berechnungen]

	A	F	G	H	I
1	Kostenkalkulation ohne Mehrwertsteuer	Non-Profit-Organisationen			
2	Gebäudekategorie	5 Sport	6 Kultur	7 Justizvollzug	8 kirchl. Einrichtung
3	BGF-Fläche Bk A (m <sup>2</sup> )	380	3.694	0	3.320
4	BGF-Fläche Bk B (m <sup>2</sup> )	5.565	3.462	0	7.998
5	BGF-Fläche Bk C (m <sup>2</sup> )	3.300	826	43.514	1.812
6	BGF-Fläche Bk D (m <sup>2</sup> )	2.060	499	0	0
7	BGF-Summe Bk A-D (m <sup>2</sup> )	11.305	8.481	43.514	13.130
8	jährliche Neubaufläche (BGF), 1 %/a	113	85	435	131
9	Kostenansatz Neubau (EUR/m <sup>2</sup> )	1.500	1.900	1.200	1.400
10	jährlich zu sanierende BGF, Bk A-C, 2 %/a, $\Sigma$ (BGF A-D)	226	170	870	263
11	zu sanierende Dachfläche (m <sup>2</sup> ), 2 %/a	94	70	360	109
12	Kostenansatz Sanierung Dach (EUR/m <sup>2</sup> )	70	70	70	70
13	Austausch Heizechnik, Bezug $\Sigma$ BGF (m <sup>2</sup> ), 1,4 %/a	158	119	609	184
14	Kostenansatz Heiztechnik (EUR/m <sup>2</sup> BGF)	30	30	30	30
15	zu sanierende Fassadenfläche (m <sup>2</sup> ), 2 %/a	112	101	652	197
16	Kostenansatz Sanierung Fassade (EUR/m <sup>2</sup> )	100	100	100	100
17	zu sanierende Fensterfläche (m <sup>2</sup> ), 2 %/a	13	40	178	54
18	Kostenansatz Sanierung Fenster (EUR/m <sup>2</sup> )	500	500	500	500
19	jährliche Investitionssumme Sanierung (EUR/a) bis 2020	29.080	38.736	197.807	59.687
20	jährliche Investitionssumme Neubau (EUR/a) bis 2020	169.575	161.139	522.168	183.820
21	jährliche Investitionssumme Sanierung+Neubau (EUR/a)	198.655	199.875	719.975	243.507
22	<b>Investitionssumme 2010 bis 2020 (EUR), 10a</b>	<b>1.986.551</b>	<b>1.998.747</b>	<b>7.199.752</b>	<b>2.435.067</b>

**Tabelle 22:** (Fortsetzung) Notwendige Investitionen in beheizte Nichtwohngebäude, Beispiel Wuppertal-Vohwinkel, von 2010 bis 2020, Non-Profit-Organisationen [Quelle: Eigene Berechnungen]

	A	B	C	D	E
26	<b>Kostenkalkulation ohne Mehrwertsteuer</b>	<b>Profit-Organisationen</b>			
27	<b>Gebäudekategorie</b>	<b>9 Büro</b>	<b>10.1 Produktion</b>	<b>10.2 Lager, Logistik</b>	<b>10.3 Kleingewerbe</b>
28	BGF-Fläche Bk A (m <sup>2</sup> )	9.078	20.847	186	844
29	BGF-Fläche Bk B (m <sup>2</sup> )	73.623	208.265	33.179	52.346
30	BGF-Fläche Bk C (m <sup>2</sup> )	21.697	65.616	30.897	32.393
31	BGF-Fläche Bk D (m <sup>2</sup> )	18.082	21.048	21.349	1.742
32	BGF-Summe Bk A-D (m <sup>2</sup> )	122.480	315.776	85.611	87.325
33	jährliche Neubaufläche (BGF), 1 %/a	1.225	3.158	856	873
34	Kostenansatz Neubau (EUR/m <sup>2</sup> )	1.360	1.060	630	1.090
35	jährlich zu sanierende BGF, Bk A-C, 2 %/a, $\Sigma$ (BGF A-D)	2.450	6.316	1.712	1.746
36	zu sanierende Dachfläche (m <sup>2</sup> ), 2 %/a	1.743	4.495	1.219	1.243
37	Kostenansatz Sanierung Dach (EUR/m <sup>2</sup> )	70	70	70	70
38	Austausch Heizechnik, Bezug $\Sigma$ BGF (m <sup>2</sup> ), 1,4 %/a	1.715	4.421	1.199	1.223
39	Kostenansatz Heiztechnik (EUR/m <sup>2</sup> BGF)	30	30	30	30
40	zu sanierende Fassadenfläche (m <sup>2</sup> ), 2 %/a	2.790	2.513	974	993
41	Kostenansatz Sanierung Fassade (EUR/m <sup>2</sup> )	100	100	100	100
42	zu sanierende Fensterfläche (m <sup>2</sup> ), 2 %/a	436	414	7	7
43	Kostenansatz Sanierung Fenster (EUR/m <sup>2</sup> )	500	500	500	500
44	jährliche Investitionssumme Sanierung (EUR/a) bis 2020	670.380	905.320	222.289	226.740
45	jährliche Investitionssumme Neubau (EUR/a) bis 2020	1.665.728	3.347.220	539.347	951.840
46	jährliche Investitionssumme Sanierung+Neubau (EUR/a)	2.336.108	4.252.541	761.637	1.178.580
47	<b>Investitionssumme 2010 bis 2020 (EUR), 10a</b>	<b>23.361.077</b>	<b>42.525.408</b>	<b>7.616.367</b>	<b>11.785.803</b>

**Tabelle 23:** Notwendige Investitionen in beheizte Nichtwohngebäude, Beispiel Wuppertal-Vohwinkel, von 2010 bis 2020, Profit-Organisationen [Quelle: Eigene Berechnungen]

	A	F	G	H	I
26	<b>Kostenkalkulation ohne Mehrwertsteuer</b>	<b>Profit-Organisationen</b>			
27	<b>Gebäudekategorie</b>	<b>11 Heilbehandlung</b>	<b>12 Handel</b>	<b>13 Kino, Spielothek</b>	<b>14 Hotel</b>
28	BGF-Fläche Bk A (m <sup>2</sup> )	3.344	9.943	0	4.114
29	BGF-Fläche Bk B (m <sup>2</sup> )	774	37.385	1.170	3.904
30	BGF-Fläche Bk C (m <sup>2</sup> )	13.268	9.587	0	488
31	BGF-Fläche Bk D (m <sup>2</sup> )	0	17.225	850	4.056
32	BGF-Summe Bk A-D (m <sup>2</sup> )	17.386	74.140	2.020	12.562
33	jährliche Neubaupläche (BGF), 1 %/a	174	741	20	126
34	Kostenansatz Neubau (EUR/m <sup>2</sup> )	1.500	900	1.500	1.500
35	jährlich zu sanierende BGF, Bk A-C, 2 %/a, $\Sigma$ (BGF A-D)	348	1.483	40	251
36	zu sanierende Dachfläche (m <sup>2</sup> ), 2 %/a	247	1.055	29	179
37	Kostenansatz Sanierung Dach (EUR/m <sup>2</sup> )	70	70	70	70
38	Austausch Heizechnik, Bezug $\Sigma$ BGF (m <sup>2</sup> ), 1,4 %/a	243	1.038	28	176
39	Kostenansatz Heiztechnik (EUR/m <sup>2</sup> BGF)	30	30	30	30
40	zu sanierende Fassadenfläche (m <sup>2</sup> ), 2 %/a	495	633	16	358
41	Kostenansatz Sanierung Fassade (EUR/m <sup>2</sup> )	100	100	100	100
42	zu sanierende Fensterfläche (m <sup>2</sup> ), 2 %/a	124	106	0	98
43	Kostenansatz Sanierung Fenster (EUR/m <sup>2</sup> )	500	500	500	500
44	jährliche Investitionssumme Sanierung (EUR/a) bis 2020	135.996	221.106	4.699	102.732
45	jährliche Investitionssumme Neubau (EUR/a) bis 2020	260.790	667.260	30.300	188.430
46	jährliche Investitionssumme Sanierung+Neubau (EUR/a)	396.786	888.366	34.999	291.162
47	<b>Investitionssumme 2010 bis 2020 (EUR), 10a</b>	<b>3.967.856</b>	<b>8.883.661</b>	<b>349.986</b>	<b>2.911.621</b>

**Tabelle 23:** (Fortsetzung) Notwendige Investitionen in beheizte Nichtwohngebäude, Beispiel Wuppertal-Vohwinkel, von 2010 bis 2020, Profit-Organisationen [Quelle: Eigene Berechnungen]

Auf Grund des Kostenvergleichs zur Sanierung (3,4 Millionen Euro pro Jahr) und zum Neubau (10,2 Millionen Euro pro Jahr) ist ein Investitionsverhältnis von etwa eins zu drei festzustellen, obwohl im Vergleich die Sanierungsrate mindestens doppelt so hoch sein soll wie die Neubaurate. Dies kann mit insgesamt deutlich höheren Kosten für Neubauten im Vergleich zu energetischen Sanierungen relevanter Bauteile begründet werden. Beim Neubau sind zusätzlich die gesamte Konstruktion und der Ausbau zu realisieren.

Aus energetischer Sicht ist damit die Sanierung zu favorisieren, da bei gleichem Investitionsvolumen ein deutlich größerer Effekt zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erreicht wird. Dazu sind Rahmenbedingungen zur Steigerung der Sanierungsrate zu schaffen und Handlungsempfehlungen für die Umsetzung aufzubereiten.

## 8 Trends und zukunftsfähige Lösungsansätze

Seit Längerem sind verschiedene Trends im Umfeld des Wärme- und Strommarktes zu beobachten. Diese sind einerseits als Beiträge zum technischen Fortschritt zu verstehen und andererseits als zukünftige Geschäftsfelder. Jedenfalls tragen diese oder werden noch zu weiteren Effizienzmaßnahmen beitragen, insbesondere, da der Wärmemarkt nicht mehr losgelöst vom Strommarkt betrachtet werden kann. Die Wärme der Zukunft zur Nutzung erneuerbaren Wärmeenergien baut auf der Stromerzeugung auf, die wiederum bis zum Jahr 2050 zu etwa 80% aus erneuerbaren Energien basieren soll.

Die feste Biomasse (Holz) wird nur begrenzt als Potenzial zur Verfügung stehen. Eine Ausschöpfung des Potenzials kann ab dem Zeitraum 2030 erwartet werden.

Die fossilen Energiequellen werden stark abnehmen. Wie die Trends im Wärmemarkt hinsichtlich der Energiequellen zur Beheizung der Nichtwohngebäude zum Erreichen der politischen Ziele bis 2050 aussehen könnten, zeigt die Abbildung 77.

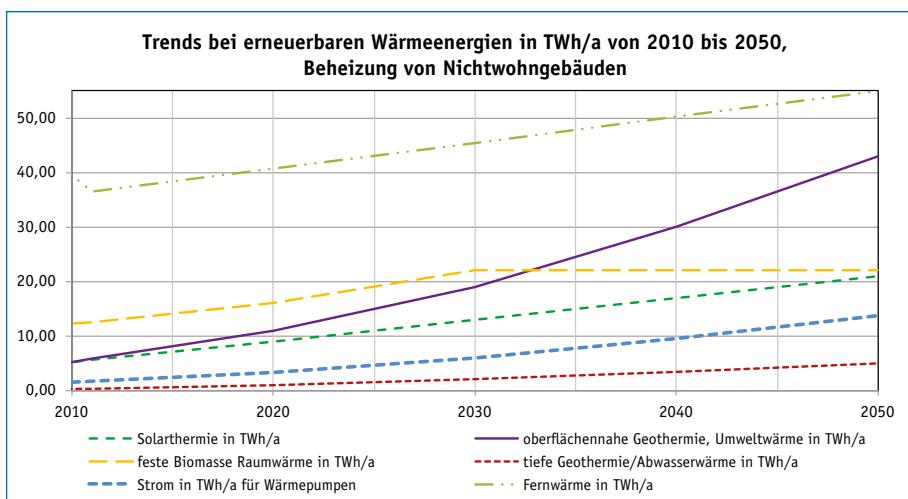
Neben der Zunahme der solarthermischen Nutzung wird die Wärmepumpentechnik zur Nutzung von Geothermie, Umweltwärme und Abwasserwärme<sup>285</sup> und somit der Stromanteil zunehmen müssen.

Durch den zukünftigen sehr hohen Anteil der Stromerzeugung auf Basis der erneuerbaren Energien werden der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor und der Primärenergiefaktor des Strommixes deutlich sinken, was für die Erreichung der politischen bzw. gesellschaftlichen Ziele unbedingt notwendig ist. Der Strommarkt wird demnach für den Wär-

285 vgl. Hamann, Achim, 2015: Grundlagen der Abwasserwärmennutzung, Fraunhofer IRB-Verlag

memarkt ein noch wichtigeres Geschäftsfeld werden, als er heute bereits ist. Durch den hohen Anteil der erneuerbaren Energien, den Lastverteilungen und Zeiten von Stromüber- und Stromunterproduktion wird es in Zukunft wichtig sein, neue Entwicklungen mit einzubeziehen.

Auf diese Entwicklungen bzw. Trends wird nachfolgend eingegangen. Hierzu gehören beispielsweise die Vernetzung dezentraler stromproduzierender Anlagen in virtuelle Kraftwerke, die Geothermienutzung in Tunnelbauwerken, die Methanisierung aus Strom und die Latentwärmespeichernutzung bei Bauteilen. Mit Blick auf das gesamte Gebäude sind Begriffe wie Plusenergiehaus, oder auf die Stadtebene bezogen, wie Smart City zu beleuchten. Wie diese Weiterentwicklungen und Veränderungen in den kommenden Jahren in bauordnungsrechtliche Instrumente wie der EnEV, des EEWärmeG oder der DIN V 18599 eingehen werden, bleibt mit Spannung abzuwarten.



**Abbildung 77:** Trends im Wärmemarkt bis 2050 zur Beheizung der Nichtwohngebäude [Quelle: Hamann Achim, 2014, S. 207]

## 8.1 Virtuelle Kraftwerke und Energiespeicher in Gebäuden

Unter virtuellen Kraftwerken<sup>286</sup> werden dezentrale Stromerzeuger wie zum Beispiel BHKW's, Windkraftanlagen und Photovoltaikanlagen verstanden, die vernetzt sind und zentral angesteuert werden. Diese erzeugen nachfragegeführten Strom und ersetzen somit anteilig den nachfrageunabhängigen Anteil aus Großkraftwerken.

286 vgl. Simon, Rolf, S. 6 ff.

Generell entstehen bereits heute unterschiedlich lange Phasen von Stromüberschuss und Strommangel im Netz. Daher müssen Stromspeicher realisiert werden. Es können auch Wärmepumpen, Elektrofahrzeuge oder Kältemaschinen versorgt werden. Die Entwicklung der Akkumulatoren hält nicht Schritt mit dem Ausbau der regenerativen Energien. Daher müssen weitere Lösungen gefunden werden.

Pumpspeicherkraftwerke haben eine sehr lange Bauzeit und verursachen eine hohe Investition. Gleichzeitig stehen nur wenig geeignete Standorte zur Verfügung.

Weiterhin kann mit Hilfe des überschüssigen Stroms beispielsweise die Wasserstoffproduktion und eine Methanisierung [vgl. 8.3] zwecks Stromspeicherung realisiert werden. Bisher existieren jedoch nur wenige kommerzielle Produkte. Generell ist auch eine Wasserstoff-Beimischung ins Erdgasnetz denkbar.

Auf Grund des heutigen technischen Standes der zuvor skizzierten Techniken wird dem Gebäudebestand mehr und mehr eine große Aufmerksamkeit zuteil. Aktuelle Trends weisen auf den Energiespeicher »Gebäude« hin.

Der phasenweise überschüssige Strom kann in Wärme- und Kältespeicher eingelagert werden. Hier kommt der Power to Heat-Ansatz beispielsweise mit Hilfe von Wärmepumpen zum Einsatz. Wärmepumpen erzeugen aus Strom Wärmeenergie, welche in Wärmespeicher oder Trinkwarmwasserspeicher eingelagert werden soll.

Denkbar ist auch in der Phase des Stromüberschusses die Nutzung einer Anheizphase mit Hilfe der Bauteilaktivierung. In der Phase des Strommangels gibt das System dann über Stunden die Wärme ohne weitere Energiezufuhr ans Gebäude ab.<sup>287</sup>

Virtuelle Kraftwerke sollen mit Hilfe eines Energiemanagements sicherstellen, dass die Energieausnutzung verbessert wird und bei Stromüberschuss Wärme zur Nutzung in Gebäuden produziert wird.

Somit werden auch die totgesagten elektrischen Speicherheizungen wieder interessant und die »alte Technik« rückt als Instrument zur elektrischen Lastverschiebung wieder in den Fokus. Die »alte Technik«, die bereits in den 60er Jahren zur Lastverschiebung von schlecht regelbaren Kraftwerken entwickelt wurde, wird wieder auferstehen. Sie kann ihren Beitrag zur Verschiebung von überschüssiger elektrischer Energie infolge des hohen Anteils der regenerativen Stromerzeugern (bis 2050 sind 80% Anteil geplant) leisten. Moderne Ansätze sehen dabei die Vernetzung der elektrischen Speicherheizung mit dem Energieversorgungsunternehmen zur Regelung des Überangebotes und Nutzungszeiten vor. Derzeit sind in Deutschland etwa 1,5 Millionen Anlagen vorhanden.<sup>288</sup>

287 vgl. Wolisz, Henryk, 2014, S. 27ff.

288 vgl. Bürner, Johannes; Franke, Jörg, 2015, S. 32ff.

Abbildung 78 soll das Potenzial der Gebäude als Energiespeicher verdeutlichen.



**Abbildung 78:** Gebäude als zukünftige Energiespeicher [Foto: Achim Hamann]

## 8.2 Weitere geothermische Möglichkeiten

Ein weiterer Ansatz, der derzeit noch auf wissenschaftlicher Ebene betrachtet wird, kann in den Strom- und Wärmemarkt der Zukunft integriert werden. Der Ansatz verfolgt die Nutzung der Geothermie in Tunnelbauwerken im innerstädtischen Bereich. In einem Tunnelabschnitt der Stuttgarter Stadtbahnlinie wurde die Versuchsanlage inklusive der Absorberrohre installiert. Mit Hilfe der Untersuchungen sollen die Leistungsfähigkeit des Absorbersystems, die Reichweite der Temperaturveränderung im umgebenden Boden und der zeitliche Verlauf ermittelt werden.<sup>289</sup>

Solche Ansätze sind zukünftig zur Schonung der fossilen Ressourcen notwendig und werden sich in den nächsten Jahrzehnten etablieren. Ob dies bis zum Jahr 2050 bereits in eine breite Anwendung erfährt, bleibt abzuwarten. Jedoch dreht sich der Globus auch noch nach dem Jahr 2050 weiter und etliche Entwicklungen werden beispielsweise bis zum Jahr 2100 umgesetzt sein.

289 vgl. Berg, Anders et al., 2014, S. 31ff.

Als ein weiteres Beispiel, was jedoch ebenso einen Leuchtturmprojekt-Charakter aufweist, kann das Bundesumweltministerium in Berlin genannt werden. Hier wird die Geothermie nicht für die Beheizung des Gebäudes eingesetzt, sondern zum Heizen der Rampe zur Tiefgarage. Somit bleibt die Rampe im Winter schnee- und eisfrei. Mit Hilfe von 60 m tiefen Bohrungen (3 Sonden) steigt sieben Grad warmes Wasser im Schwerkraftsystem ohne gerätetechnische Unterstützung auf.<sup>290</sup>

Dieses Beispiel soll zeigen, dass wir über die Bilanzgrenzen einer EnEV oder DIN V 18599 hinaus denken und weitere sinnvolle Einsatzbereiche erschließen sollten, da die Geothermie (Flach- oder Tiefengeothermie) bisher sicherlich noch zu wenig eingesetzt wird.

In meinem beruflichen und somit praktischen Umfeld ist es noch nicht gelungen eine solche Anlage für Nichtwohngebäude zu platzieren. Angebote wurden eingeholt, jedoch nicht in die Tat umgesetzt. Dies lag immer an den Investitionskosten, da in der Bau- und Immobilienwirtschaft das Investitionskostendenken weit verbreitet ist. Eine Jahreskostenbetrachtung oder gar eine Lebenszykluskostenanalyse kommt in der Breite bisher eher selten zur Anwendung, von Leuchtturmprojekten und wissenschaftlich begleiteten Studien einmal abgesehen. Die investive Konkurrenz durch die Umweltwärmennutzung ist zu dominant. Vielleicht helfen hier fördertechnische, bilanztechnische oder auch umwelttechnische Anreize weiter, die den investiven Vorteil einer Luftwärmepumpenanlage ausgleichen.

Die Vernetzung des Strom- und Wärmemarktes und die Steuerung der Anlagen zum Ausgleich der Stromüberschuss- und Strommangelphasen sind angeschoben und werden mit Hilfe von Energiespeichern (Wärme- und Kältespeicher) und Automationsprozessen realisiert.

Neben dem Gebäude und diversen Bauteilen als Wärmespeicher oder Wasser- bzw. Eisspeicher sind geothermische Ansätze vorhanden, die inzwischen beispielsweise auch Tunnelbauwerke energetisch nutzbar machen sollen. Ich wünsche mir, dass diese Ansätze nicht nur in einer Dissertation Platz finden, sondern in der breiten Anwendung.

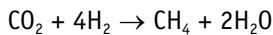
Ein weiterer Ansatz, den Strom- und Wärmemarkt zu vernetzen, ist unter dem Begriff »Power to Gas« zu verstehen.

---

290 vgl. BMU, 2011. S. 14–16

## 8.3 Power to Gas

Das Power to Gas-Konzept schlägt zwei Fliegen mit einer Klappe. Zum einen wird durch Nutzung überschüssiger elektrischer Energie (Power) die Erzeugung einer anderen Energieform (Gas) realisiert und zum anderen wird Kohlendioxid zur Herstellung von Methan (Methanisierung von  $\text{CO}_2$ ) genutzt und somit verwertet. Methan ist der Hauptbestandteil von Erdgas und kann ins Gasnetz eingespeist oder zwischengespeichert werden. Bei der Methanisierung von Kohlendioxid wird Wasserstoff benötigt. Wasserstoff wird durch Aufwendung von elektrischer Energie durch Spaltung von Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff erzeugt (Elektrolyse). Die Reaktionsgleichung bei der Methanisierung kann wie folgt dargestellt werden:<sup>291</sup>



Da der elektrische Strom durch Einsatz der regenerativen Energien zukünftig noch häufiger während Überschussphasen zur Verfügung steht und zur Methanisierung genutzt werden kann, wird das gewonnene Methangas auch als Windgas oder Solargas bezeichnet. Dabei wird Kohlendioxid in der Regel nicht aus der Luft gewonnen, da die Konzentration zu gering ist. Effektiver ist die Nutzung aus dem Rauchgas eines Kohlekraftwerkes. Beispielsweise fällt auch in der Zementproduktion Kohlendioxid an, was der Methanisierung zugänglich gemacht werden und ein weiteres Geschäftsfeld entstehen kann.

Das Methangas kann wiederum in Kraftwerken verstromt werden oder steht vielfältigen Verbrennungsprozessen zur Verfügung.

Die Methanisierung und die Rückverstromung haben gegenwärtig einen Wirkungsgrad von nur etwa 35 %. Dennoch scheint der Einsatz im großtechnischen Maßstab eine denkbare Alternative bei der Vernetzung der Strom- und Gassysteme zu intelligenten Netzen zu sein. Das Gas kann beispielsweise auch für den Betrieb von Heizungsanlagen oder den Antrieb von erdgasbetriebenen Fahrzeugen genutzt werden.

## 8.4 Bauteile aus PCM – Phase Change Materials

Latentwärmespeicherung heißt das Zauberwort. Die Energie, die jedes Material beim Erhitzen aufnimmt, ist fühlbar und wird von uns als Temperaturerhöhung wahrgenommen. Von latenter Wärme wird gesprochen, wenn diese nicht weiter fühlbar ist. Beispielsweise wird beim Schmelzen eines Materials, also beim Phasenübergang von fest auf flüssig, weiter Energie aufgenommen, ohne dass sich die Temperatur weiter erhöht bis dieses vollständig geschmolzen ist.

---

<sup>291</sup> vgl. Schmid Jürgen; Günter, Matthias, 2013, S. 12 ff.

Die gespeicherte Energie beim Phasenwechsel wird latente bzw. versteckte Wärme genannt und kann wieder abgegeben werden. Die Abgabe erfolgt beim Phasenübergang von flüssig nach fest. Das Material nimmt Kälte auf und wird wieder fest, wobei die Schmelzenergie frei wird.

PCM wurde für die Speicherung der latenten Wärme entwickelt. Beim Schmelzen wird Wärme aufgenommen und somit die Umgebung abgekühlt. Beim Erhärten wird die Wärme an die Umgebung abgegeben. Anders ausgedrückt wird von PCM bei steigender Umgebungstemperatur Energie aufgenommen und ein Kühlungseffekt realisiert, und sobald die Umgebungstemperatur sinkt, wird Wärme abgegeben.

PCM kann im Temperaturbereich von 20 bis 80 °C etwa die vierfache Wärme aufnehmen als Wasser. PCM kann beispielsweise auch als Füllung in Wasserspeicher oder in Fassadenbauteilen zur Ausnutzung der Sonneneinstrahlung zur Anwendung kommen.<sup>292</sup>

## 8.5 Sonstige Bilanzierungsansätze zu nachhaltigen Gebäuden

Neben Begriffen wie energieeffiziente Gebäude, für die die Bilanzierung nach DIN V 18599 von Bedeutung ist, sind weitere Bezeichnungen, Ansätze, Bilanzierungsgrundlagen und Bilanzgrenzen existent.

Die begrifflichen und technischen Lösungsansätze zu Passivhäusern, Nullenergiehäusern oder Plusenergiehäusern sind inzwischen grundsätzlich bekannt. Im Nichtwohngebäudesektor sind dazu etliche Beispiele entstanden und unabhängig von Begriffen und Bilanzierungsansätzen gehören diese Gebäude bereits heute zum nachhaltigen und zukunftsfähigen Gebäudebestand und tragen zur notwendigen Transformation im Gebäudesektor bei.

Die Null- oder Plusenergiegebäude bauen grundsätzlich auf einer hochwärmegedämmten Gebäudehülle auf. Hier sind Passivhauskomponenten zur Optimierung des Energieverbrauchs und des Heizwärmebedarfs unabdingbar. Hinzu kommen Energieerzeugungsprozesse.

<sup>292</sup> vgl. <http://eme-solar.de/index.php?page=Latentewärmespeicherung%2C+Latentwärmespeicher&lang=1>, [Stand 05.02.2016]

Die Passivhaustechnologie beschäftigt sich inzwischen auch mit Nichtwohngebäuden und deren Modernisierung. Hierzu kann ich beispielsweise den Protokollband 40<sup>293</sup> und 48<sup>294</sup> des Passivhaus Instituts empfehlen.

Die Bilanzierung eines Passivhauses erfolgt nach dem Ansatz des Passivhaus-Projektierungs-Pakets (PHPP). Mir selbst liegt Version 7 von 2012 vor. Inzwischen wird Version 9 vertrieben. Auf die Bilanzierungsgrundsätze eines Passivhauses wird hier nicht eingegangen, da, anders als bei Wohngebäuden, derzeit der Begriff Passivhaus im Förderprogramm der KfW zu energieeffizientem Bauen und Sanieren (KfW-Programme 276 bis 278) für Nichtwohngebäude nicht zu finden ist.

Nullenergie- und Plusenergiegebäude erreichen durch Energieeffizienzansätze und die Nutzung von regenerativen Energien vor Ort eine ausgeglichene Jahresenergiebilanz bzw. einen Überschuss. Sie werden mit Hilfe einer Input-/Output-Bilanz bewertet.<sup>295</sup>

Auch die Begriffe Nullenergie- und Plusenergiegebäude sind im KfW-Förderprogramm nicht zu finden. Die energetisch optimierten Gebäude leisten ihren Beitrag bei der Transformation hin zur »Smart City«, da sie dezentral Energie erzeugen und mit Hilfe von intelligenten Netzen (Smart Grid) die Erzeugung und Nutzung unter Berücksichtigung der Lastverschiebung gesteuert werden kann.

Alle Ansätze und Betrachtungsweisen zu energieeffizienten Gebäuden, die im Idealfall mit dezentraler Energieerzeugung und Speichermöglichkeiten ausgerüstet sind, bilden eine Teillösung beim Smart City-Ansatz. Dies ist insbesondere mit Blick auf den großen Anteil der Gebäude beim Energieverbrauch und den resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen von Bedeutung. Damit ist der Übergang von der hier betrachteten Gebäudeebene hin zur städtischen Ebene und zum Smart City-Ansatz gelungen.

## 8.6 Smart City

Inzwischen lebt etwa die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten. Dabei bedecken die Großstädte 1% der Erdoberfläche und verbrauchen 60 bis 80% der Energie. Gleichzeitig verursachen sie etwa die gleiche Größenordnung an den weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen.<sup>296</sup>

Diese Ausgangssituation verdeutlicht, dass ein Wandel zur zukunftsfähigen Lebensweise und gesellschaftliche Veränderung unabdingbar sind. Die Städte müssen sich

293 Protokollband 40: Passivhaus-Verkaufsstätten, 2012

294 Protokollband 48: Einsatz von Passivhaustechnologien bei der Modernisierung von Nichtwohngebäuden, 2012

295 vgl. Voss, Karsten; Musall, Eike, 2011, S. 28ff.

296 vgl. Servatius, Schneidewind & Rohlfing, 2012, S. 399

verändern, hin zum Smart City-Ansatz. Dies ist mit Blick auf die Entstehung von Mega-Städten und die allgemeine Landflucht besonders von Bedeutung.

Der Begriff »Smart City« vereint viele Unterbegriffe wie »Smart Energy«, »Smart Grids«, »Smart Water« oder »Smart Mobility« zu einem gesamtheitlichen, nachhaltigen Entwicklungskonzept für die städtische Ebene. Im Sinne eines Smart City-Konzeptes stehen beispielsweise Ansätze zur Regenwasserbewirtschaftung, zur Grauwasser Nutzung, zur Abwasserwärmennutzung oder energiewirtschaftliche Lösungen unter Anwendung der digitalen Technologien im Mittelpunkt.

Der Umbau der Energiewirtschaft in eine intelligente Form ist inzwischen bereits eingeleitet.

Die intelligente Energiewirtschaft wird als »Smart Energy« bezeichnet. Hierunter sind intelligente Strom- und Gasnetze zu verstehen. Sie steuern den Energieanfall und -bedarf und gleichen die Differenzen zwischen den in verschiedenen Zeiten anfallenden Energiemengen aus.

Die intelligenten Netze werden als »Smart Grids« bezeichnet, wobei auch der Begriff »Smart Meter« für intelligente Zähler von Bedeutung ist. Diese intelligenten Ansätze sollen sicherstellen, dass zur richtigen Zeit am richtigen Ort die erforderliche Energie zur Verfügung steht. Dabei ist ein wesentlicher Baustein die Speicherung von Energie. Hier zwei Beispiele:

- Speicherung der Abwasserwärme in das vom Rohr umgebene Erdreich<sup>297</sup>
- Elektrische Speicherheizungen [vgl. 8.1]

Die rasenden Veränderungen auf unserer Erde, die sich bisher, erdgeschichtlich betrachtet, in extrem langen Zeiträumen abgespielt haben, führen zum raschen Umdenken und Handeln. Veränderungen in der Atmosphäre, an den Polen und Weltmeeren, den Wäldern und unserem Mutterboden als Ernährungsgrundlage, die Abfallproduktion und Ressourcenvernichtung und schlussendlich die steigende Weltbevölkerung ließen bereits in den 70er Jahren den Bestseller »Grenzen des Wachstums«<sup>298</sup> entstehen.

Ein Umdenken ist längst überfällig. Die Uhr steht auf zehn nach zwölf. Alleine das Beheizen der Nichtwohngebäude trägt am Beispiel von Wuppertal etwa mit 13%<sup>299</sup> [vgl. 4.2] an den CO<sub>2</sub>-Emissionen bei.

»Smart City« kann ein Lösungsansatz zum zukunftsfähigen Umschwenken sein, der sich mit allen gesellschaftlichen und technischen Ebenen beschäftigt. In Bezug auf

297 vgl. Hamann Achim, 2015, S. 88 und Hamann Achim, 2012, S. 64f.

298 vgl. Meadows Dennis et al., Bericht des Club of Rome, 1972: Die Grenzen des Wachstums und Das 30-Jahre-Update, 5. Auflage, 2016

299 vgl. Hamann Achim, 2014, S. 141

die Mitwirkung aller Akteure müssen jedoch Anreize aufgezeigt werden. Dazu kann das Konzept eines Klima-Profit-Netzwerkes [vgl. 4.4] den Leitgedanken zum Gesamtkonzept »Smart City« unterstützen.

## Teil IV: Ausblick

Der Blick auf dem Zeitstrahl ist nach vorne gerichtet. Der Wandel der Städte muss in den nächsten Jahrzehnten vollzogen werden. Jedes Gebäude, was heute unterhalb der Effizienzhausanforderungen erstellt oder saniert wird, trägt nicht ausreichend zum erforderlichen Wandel bei.

Da Gebäude ein langlebiges Wirtschaftsgut sind, ist gleichzeitig die Chance auf die Errichtung eines energieeffizienten und wirtschaftlich nachhaltigen Gebäudes für Jahrzehnte vertan.

Der Blick auf einzelne Gebäude und somit auf die Gebäudeebene ist nicht ausreichend. Es sind darüber hinaus Gesamtbetrachtungen zu den Städten und Megastädten notwendig.

Die Gebäude sind dabei von wesentlicher Bedeutung, da sie viel Energie verbrauchen und zukünftig gleichzeitig an der regenerativen Energieerzeugung und Energiespeicherung im großen Maße beteiligt sein werden.

Dabei sind intelligente Lösungen und Vernetzungen zur Steuerung der Stromüberschüsse und der Unterversorgung notwendig. Gleichzeitig wird die Nutzung von Speichern eine wesentliche Technik darstellen.

Gegenwärtig muss bei den verantwortlichen Akteuren der Nichtwohngebäude noch viel Überzeugungsarbeit, Informations- und Beratungsaufwand betrieben werden.

Die von der KfW eingeführten Förderprogramme zum 01.07.2015 für energieeffiziente Nichtwohngebäude sind ein erster Schritt zu notwendigen Anreizen.

Weltweit ist noch viel Arbeit erforderlich. Deutschland ist sicherlich praktisch, technisch, wissenschaftlich sowie bei der Berufsausbildung ein Vorreiter. Dennoch können sich die Fachwelt und alle anderen gesellschaftlichen Akteure noch lange nicht ausruhen.

Gerade am Bau besteht zusätzlich ein Hemmnis durch das Dilemma von unterschiedlichen Interessen der Investoren, Betreibern, Erstellern, Planern usw. Auch dieses Dilemma muss kooperativ überwunden werden.

Was die Normen- und Vorschriftenlandschaft bringen wird, ist noch offen. Möglicherweise werden das EnEG, die EnEV und das EEWärmeG zusammengeführt, was zu begrüßen ist. Ein Gesetzesentwurf soll derzeit in Bearbeitung sein. Auch ist eine neue Ausgabe der DIN V 18599 (Ausgabe 2016-10) erschienen. Dann soll der Niedrigstenergie-Gebäudestandard gemäß EU-Gebäuderichtlinie nachweisbar sein und

neue Technologien ihren Weg in die Norm gefunden haben.<sup>300</sup> Da die Ausgabe mit Fertigstellung dieses Buches erschien, konnte dies nicht geprüft bzw. betrachtet werden.

Es liegt noch ein langer Weg vor uns und dem notwendigen Wandel beim Nichtwohngebäudebestand, der die persönliche Energiebilanz der Beteiligten beeinflussen wird.

Die moderne Gesellschaft und wir als Fachleute sollten uns verstärkt mit der Welt von morgen beschäftigen (Zukunftsforschung) und uns fragen, was wir den folgenden Generationen hinterlassen wollen bzw. welcher Beitrag nötig wird, damit zukunftsfähige Lebens- und Arbeitsräume entstehen?

Dabei kann uns die Literatur, wie »Die Grenzen des Wachstums« von 1972 und »Das 30-Jahre-Update« von 2016, weiterhelfen. Seit 1972 haben Millionen Menschen diese Werke weltweit gelesen, dennoch ist ein Umdenken hin zur Nachhaltigkeit noch nicht ausreichend erfolgt.

Mit Hilfe der Zukunftsforschung sollte jedem von uns klar werden, dass unter dem Aspekt Wachstum, Konsum, Energieverbrauch, Kapitaleinsatz usw. nur ein nachhaltiger Weg zukunftsweisend ist. Dazu gehören auch energieeffiziente Nichtwohngebäude.

---

300 vgl. solar-computer.de, 2016

# Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** Berühmte Nichtwohngebäude heute. Seite 20
- Abbildung 2:** Weltkulturerbe Völklinger Hütte. Seite 23
- Abbildung 3:** Verschwundene Nichtwohngebäude. Seite 24
- Abbildung 4:** Neubau Bürotrakt. Seite 25
- Abbildung 5:** Beispiele zum aktuellen Leerstand im Nichtwohngebäudesektor. Seite 26
- Abbildung 6:** Beispiele zur großflächigen Bauweise. Seite 27
- Abbildung 7:** Beispiele energetisch zu sanierende Objekte. Seite 28
- Abbildung 8:** Nichtwohngebäudetypen. Seite 30
- Abbildung 9:** Techniker-Diplom von 1959. Seite 33
- Abbildung 10:** Gebäudetypen, Bestandssituation 2010, Wuppertal-Vohwinkel. Seite 63
- Abbildung 11:** Trend-Szenario für Wuppertal, Beheizung Nichtwohngebäude. Seite 64
- Abbildung 12:** Flächenentwicklungen beim Trend-Szenario, Wuppertal-Vohwinkel. Seite 65
- Abbildung 13:** Leitszenario für Wuppertal, Beheizung Nichtwohngebäude. Seite 66
- Abbildung 14:** Flächenentwicklungen beim Leitszenario, Wuppertal-Vohwinkel. Seite 67
- Abbildung 15:** Sanierungszyklen bis 2050. Seite 72
- Abbildung 16:** Wer kann was tun? Seite 73
- Abbildung 17:** Netzwerkbildung und der Stadtplaner als Vernetzer. Seite 75
- Abbildung 18:** Profit/Nutzen im »Klima-Profit-Netzwerk«. Seite 76
- Abbildung 19:** Beispiele zu Modellgebäuden. Seite 81
- Abbildung 20:** Auswirkungen bei Anrechnung des Stroms durch Photovoltaik. Seite 85
- Abbildung 21:** Beispiel zu Monatserträgen aus einer Photovoltaikanlage. Seite 86
- Abbildung 22:** Auswirkungen bei Nachweis der Luftdichtheit. Seite 87
- Abbildung 23:** Auswirkungen der Wärmebrücken auf Qp- und H<sub>T</sub>-Wert. Seite 88
- Abbildung 24:** Auswirkungen auf Qp-Wert bei 20 % besserer Gebäudehülle. Seite 89
- Abbildung 25:** Auswirkungen auf Qp-Wert bei Verzicht auf Warmwasserbedarf. Seite 91
- Abbildung 26:** Auswirkungen der Nettogrundfläche auf den Qp-Wert. Seite 92
- Abbildung 27:** U-Werte nach DIN EN ISO 13370 bei Variation der Gebäudeform. Seite 124
- Abbildung 28:** U-Werte nach DIN EN ISO 13370 bei Variation der Grundfläche. Seite 125
- Abbildung 29:** U-Werte nach DIN EN ISO 13370 bei Variation der Bodenart. Seite 125
- Abbildung 30:** U-Werte nach DIN EN ISO 13370 bei Variation der Wanddicke. Seite 126
- Abbildung 31:** Qp-Werte im prozentualen Vergleich zum Referenzgebäude bei Ansatz der DIN EN ISO 13370 bzw. des vereinfachten Verfahrens (F<sub>x</sub>-Werte). Seite 127

- Abbildung 32:** Beispiel Wärmebrücke: Berechnungsnetz und Temperaturverlauf. *Seite 135*
- Abbildung 33:** Aktuelles Negativbeispiel Wärmebrücken Bodenplatte/Wände. *Seite 141*
- Abbildung 34:** Einfluss von Lüftungsanlagen auf den Nutz-, End- und Primärenergiebedarf am Beispiel Modellgebäude Schulneubau. *Seite 152*
- Abbildung 35:** Einfluss von Lüftungsanlagen auf EnEV 2014-Referenzwert am Beispiel des Modellgebäudes Schule für einen Neubau. *Seite 153*
- Abbildung 36:** Einfluss von Beleuchtungsparametern auf einen Referenzwert am Beispiel des Modellgebäudes Schulneubau. *Seite 158*
- Abbildung 37:** Einfluss des Wärmeerzeugers auf einen Referenzwert am Beispiel des Modellgebäudes Schulneubau. *Seite 163*
- Abbildung 38:** Vergleich Nutz-, End- und Primärenergiebedarf auf Grund der Wärmezeugung am Beispiel des Modellgebäudes Schulneubau. *Seite 164*
- Abbildung 39:** Vergleich Qp-Verhältnis von Varianten mit Kühlung über RLT-Anlage zu einer Referenztechnik am Beispiel des Modellgebäudes Schulneubau. *Seite 174*
- Abbildung 40:** Vergleich Qp-Verhältnis von Varianten mit statischer Kühlung zu einer Referenztechnik am Beispiel des Modellgebäudes Schulneubau. *Seite 176*
- Abbildung 41:** Lüftungsanlage mit Luft-Luft-Wärmepumpe (Direktverdampfung). *Seite 177*
- Abbildung 42:** Vergleich Qp-Verhältnis von Varianten mit direkter Heizung und Kühlung zu einer Referenztechnik am Beispiel des Modellgebäudes Schulneubau. *Seite 178*
- Abbildung 43:** Systematik zu Raumlufttechnischen Anlagen (RLT). *Seite 180*
- Abbildung 44:** Außen aufgestellte Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Kreuzstromwärmetauscher bei der Montage. *Seite 180*
- Abbildung 45:** Kompaktlüftungsgerät, Wärmerückgewinnung und Heizregister. *Seite 181*
- Abbildung 46:** Deckenventilator bei hohen Hallen zur Rückführung des Wärmepolsters im Deckenbereich in den Aufenthaltsbereich. *Seite 181*
- Abbildung 47:** Kompaktlüftungsgerät mit Doppel-Rotationswärmetauscher. *Seite 182*
- Abbildung 48:** Luft-Luft-Wärmepumpe als Außeneinheit und eingebautes Deckennennengerät mit Frischluftzufuhr zum Heizen und Kühlen (VRF-System). *Seite 182*
- Abbildung 49:** Luftheizer mit Mischluft- und Heizkreisanschluss bzw. als Umluftvariante nur mit Heizkreisanschluss. *Seite 183*
- Abbildung 50:** Vergleich Qp-Verhältnis von Varianten zur Warmwassererzeugung am Beispiel des Modellgebäudes Schulneubau. *Seite 187*
- Abbildung 51:** Vergleich Qp-Verhältnis unter Einsatz eines BHKW's am Beispiel des Modellgebäudes Schulneubau. *Seite 189*
- Abbildung 52:** P-Regler und Ventilunterteil mit Voreinstellung für hydraulischen Abgleich. *Seite 193*
- Abbildung 53:** Ansicht Bürogebäude. *Seite 198*
- Abbildung 54:** Schnitt Bürogebäude und Auswahl Wärmebrückendetails. *Seite 199*
- Abbildung 55:** Energiebilanz Bürogebäude. *Seite 204*

**Abbildung 56:** EnEV- und KfW-Bewertung Bürogebäude. Seite 204

**Abbildung 57:** Ansicht Hotelgebäude. Seite 205

**Abbildung 58:** EnEV- und KfW-Bewertung Hotel mit Gastronomie. Seite 208

**Abbildung 59:** EnEV- und KfW-Bewertung Hotel mit Gastronomie. Seite 209

**Abbildung 60:** Produktionsgebäude mit Verwaltung. Seite 210

**Abbildung 61:** Randdämmung. Seite 210

**Abbildung 62:** Büroflächen innerhalb Halle. Seite 211

**Abbildung 63:** Unplanmäßige Öffnung in einer Fertigteilkonstruktion. Seite 212

**Abbildung 64:** Lüftungsanlage. Seite 214

**Abbildung 65:** Wärmepumpenanlage und Rückkühler für Prozesskälte. Seite 214

**Abbildung 66:** EnEV- und KfW-Bewertung Produktionsgebäude mit Verwaltung. Seite 216

**Abbildung 67:** Baumarkt mit Lager und Verwaltung. Seite 217

**Abbildung 68:** EnEV- und KfW-Bewertung Baumarkt. Seite 221

**Abbildung 69:** Grundriss Handelsfläche mit Kühlprodukten. Seite 222

**Abbildung 70:** EnEV- und KfW-Bewertung Handelsfläche mit Kühlprodukte. Seite 224

**Abbildung 71:** Photovoltaikanlage auf Dachfläche eines Handelsgebäudes. Seite 225

**Abbildung 72:** EnEV- und KfW-Bewertung Handelsfläche mit Photovoltaikanlage. Seite 225

**Abbildung 73:** Logistik- und Gewerbehalle mit Verwaltung. Seite 226

**Abbildung 74:** EnEV- und KfW-Bewertung Gewerbe- und Logistikhalle mit Büro. Seite 230

**Abbildung 75:** Szenarien am Beispiel Wuppertal. Seite 235

**Abbildung 76:** Ergebnisse und Vergleich der CO<sub>2</sub>-Szenarien bis 2050 am Beispiel Wuppertal-Vohwinkel. Seite 254

**Abbildung 77:** Trends im Wärmemarkt bis 2050 zur Beheizung der Nichtwohngebäude. Seite 268

**Abbildung 78:** Gebäude als zukünftige Energiespeicher. Seite 270

# Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1:** Beispiele zu Heizkennwerten des Bestands und in Zukunft. *Seite 29*
- Tabelle 2:** Gebäudekategorien Non-Profit-Organisationen. *Seite 31*
- Tabelle 3:** Gebäudekategorien Profit-Organisationen. *Seite 32*
- Tabelle 4:** Vergleich Gebäudeanforderungen bei Änderungen seit 1995. *Seite 42*
- Tabelle 5:** Klimaschutzstrategien und ihre Wirkungsanteile, Wuppertal. *Seite 69*
- Tabelle 6:** Parameter der ausgewählten Modellgebäude. *Seite 83*
- Tabelle 7:** Beispiel zum Variantenvergleich bei der energetischen Gebäudeplanung. *Seite 102*
- Tabelle 8:** Beispiele zur Berechnung der Außentemperatur für Wärmebrücken. *Seite 116*
- Tabelle 9:** Effizienzhausanforderungen an Nichtwohngebäude gemäß KfW. *Seite 144*
- Tabelle 10:** Einfluss der Modellparameter zum Heizsystem auf Qp-Referenzwert hinsichtlich gewählter Randbedingungen. *Seite 161*
- Tabelle 11:** KfW-Mindestanforderungen an Effizienzhäuser. *Seite 196*
- Tabelle 12:** Hüllfläche und U-Werte der Bauteile. *Seite 200*
- Tabelle 13:** Detaillierte Wärmebrückeberechnung. *Seite 202*
- Tabelle 14:** Nichtwohngebäudekategorien Profit-Organisationen. *Seite 239*
- Tabelle 15:** Baualtersklassen zum Bestand bis zum Jahr 2010. *Seite 241*
- Tabelle 16:** Heizkennwerte je Gebäudekategorie und Baualtersklasse, Non-Profit-Organisationen. *Seite 243*
- Tabelle 17:** Energiemix Beispiel Vohwinkel und Wuppertal. *Seite 249*
- Tabelle 18:** Hochrechnungsergebnisse: Beispiel Top-down-Ansatz für Wuppertal, 2010. *Seite 250*
- Tabelle 19:** Untersuchte CO<sub>2</sub>-Szenarien bis zum Jahr 2050 am Beispiel Wuppertal-Vohwinkel. *Seite 253*
- Tabelle 20:** Modellansätze und Zahlenbeispiel für Wuppertal-Vohwinkel, Non-Profit-Organisationen. *Seite 259*
- Tabelle 21:** Modellansätze und Zahlenbeispiel für Wuppertal-Vohwinkel, Profit-Organisationen. *Seite 261*
- Tabelle 22:** Notwendige Investitionen in beheizte Nichtwohngebäude, Beispiel Wuppertal-Vohwinkel, von 2010 bis 2020, Non-Profit-Organisationen. *Seite 263*
- Tabelle 23:** Notwendige Investitionen in beheizte Nichtwohngebäude, Beispiel Wuppertal-Vohwinkel, von 2010 bis 2020, Profit-Organisationen. *Seite 265*

## Abkürzungsverzeichnis

$A_g$	Grundfläche der Bodenplatte
$A_n$	Nettogrundfläche
$A_w$	Fensterfläche
$B'$	Bodenplattenmaß
$\beta$	Zeitanteil Ventilator
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BGF	Bruttogrundfläche
BHKW	Blockheizkraftwerk
BIM	Building Information Modeling (Gebäudedatenmodellierung)
BMWI	Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie
c	Spezifische Wärme
CAD	Computer Aided Design
CAFM	Computer Aided Facility Management
$CO_2$	Kohlendioxid
COP	Coeffizient of Performance, Leistungszahl
$\Delta p$	Differenzdruck
$\Delta \theta_{EMS}$	Summand zur Gebäudeautomation
d	Materialdicke
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
$d_t$	Wirksame Dicke Bodenplatte
$d_w$	Wirksame Gesamtdicke der Kellerwand
DIN	Deutsche Institut für Normung e. V.
e, f	Abschirmungsfaktoren
EN	Europäische Norm
End	Heizenergieverbrauch
EnEG	Energieeinsparungsgesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EnEV-UVO	Verordnung zur Umsetzung der Energieeinsparverordnung
EVG	Elektronisches Vorschaltgerät
EWärmeG	Erneuerbare-Wärme-Gesetz Baden-Württemberg

EPS	Polystyrol-Hartschaum
EU	Europäische Union
$f_{\text{adapt}}$	Faktor für adaptiven Betrieb
FE	Energieträgeranteil
FEM	Finiten-Element-Methode
$F_c, F_s$	Abminderungsfaktoren für bauliche Verschattung und Schutzvorrichtungen
$f_{\text{Rsi}}$	Temperaturfaktors
$F_x$	Temperatur-Korrekturfaktor
$f_x$	Temperaturfaktoren
$f_p$	Primärennergiefaktor
$g$	Strahlungseinfall
GIS	Geografisches Informationssystem
Gt	Gradtagszahl
$g_{\text{tot}}$	Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases inklusiv Sonnenschutz
$H_A$	Transmission zu angrenzenden Gebäuden
$H_D$	Transmission zwischen Innenräumen und Außenumgebung
$H_{D,WB}$	Spezifischer Transmissionsdurchgangskoeffizient
$H_g$	Stationärer Wärmeübertragungskoeffizient auf das Erdreich
$H_u$	Transmission durch unkonditionierte Räume
$H'_T$	Transmissionswärmeverlust der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, Transmissionswärmetransferkoeffizient
$H_v$	Spezifischer Lüftungswärmedurchgangskoeffizient
$H_{T,D}, H_{T,iu}$	Transmissionswärmetransferkoeffizient
HeizAnlV	Heizungsanlagen-Verordnung
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
IKARUS	Instrument zur Klimagasreduktionsstrategie
ISO	International Organization for Standardization
JAZ	Jahresarbeitszahl
Kf	Klimafaktor
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
$k_m$	mittlerer Wärmedurchgangskoeffizienten
KVG	Konventionelles Vorschaltgerät
KWK	Kraftwärmekopplung
$L_{2D}$	Thermischer Leitwert

LE	Leerstandsfaktor
$\mu$	Wasserdampf-Diffusionswiderstand
$\psi$	längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten
$n_{50}$	Luftwechselrate
NGF	Nettogrundfläche
$q_{50}$	Luftdurchlässigkeit
$\theta_{si}$	Oberflächentemperatur
$\theta_i$	Innenlufttemperatur
$\theta_e$	Außenlufttemperatur
$\phi_i$	relative Luftfeuchte innen
$\phi_{si}$	kritische Luftfeuchte für Schimmelpilzbildung
P	Umfang der Bodenplatte
$Q_{T,e} / Q_{T,u}$	Transmissionswärmesenken bzw. -quellen außen bzw. bei unbeheizten oder ungekühlten Zonen
Qp	Jahres-Primärenergiebedarf
$\bar{\varnothing}$	Jährlicher Wärmestrom
PCM	Phase Change Material
P-Regler	Proportional-Regler
PUR	Polyurethan
$R^2$	Bestimmtheitsmaß
$R_{si}$	Wärmeübergangswiderstand raumseitig
$R_{se}$	Wärmeübergangswiderstand außenseitig
$R_f$	Wärmedurchlasswiderstand der Bodenplattenkonstruktion
$R_T$	Wärmedurchgangswiderstand des Bauteils
RLT	Raumluftechnische Anlage
$\rho$	Rohdichte
$S_{vorh}, S_{zul}$	Sonneneintragskennwert
$S_x$	Sonneneintragskennwert
$\theta_u$	Mittlere Temperatur
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
t	Zeiteinheit
T	Temperatur
U, k	Wärmedurchgangskoeffizient
U'	Wirksamer U-Wert des erdberührten Kellergeschosses

$U_{bf}$	U-Wert Keller-Bodenplatten
$U_{bw}$	U-Wert Kellerwände
$\bar{U}$ -Wert	mittlerer Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsfläche
$U_{Licht}$	U-Wert Glasdächer und Lichtbänder sowie Lichtkuppeln
$U_{opak}$	U-Wert opake Außenhülle
$U_{transparent}$	U-Wert transparente Außenhülle
$V$	Vornorm
$\dot{V}$	Luftvolumenstrom
$\dot{V}_d$	Bemessungsluftwechselrate
$\dot{V}_f$	Durchschnittlicher Luftvolumenstrom Ventilator
$\dot{V}_x$	Zusätzlicher Luftvolumenstrom durch Windeffekte
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
VRF, VRV	Variable Refrigerant Flow, Variable Refrigerant Volume
$\lambda$	Wärmeleitfähigkeit
$w$	Gesamtdicke der Außenwand
WärmeschutzV	Wärmeschutzverordnung
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
WF	Holzfasern
WLG	Wärmeleitgruppe
$\Delta U_{WB}$	Wärmebrückenzuschlag
XPS	Polystyrol-Extruderschaum
$x, y, z$	Raumkoordinaten
$\chi$	Punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient

## Quellenverzeichnis

- [ages GmbH, 2010]** ages GmbH (Hrsg.): Verbrauchskennwerte 2005. 3. Aufl. Forschungsbericht der ages-GmbH, gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt. Münster, 2010
- [Baumeister, 1956]** Baumeister – Zeitschrift für Baukultur und Bautechnik, 53 (4. April 1956)
- [Berg et al., 2014]** Berg, Anders et al.: Geothermienutzung in Tunnelbauwerken in innerstädtischen Bereichen am Beispiel des Stadtbahntunnels Stuttgart-Fasanenhof (U6) – Folgeprojekt. In: Tagungsband Hermann-Rietschel-Colloquium. München: DIV Deutscher Industrieverlag, 2014
- [BKI, 2011/2012]** Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH (BKI): Objektdaten Technische Gebäudeausrüstung. Stuttgart, 2012; Baukosten Gebäude. Stuttgart, 2011; Baukosten Bauelemente. Stuttgart, 2011; Baukosten Positionen. Stuttgart
- [BMU, 2011]** Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.): Gebaute Nachhaltigkeit – Der Berliner Dienstsitz des Bundesumweltministeriums. Berlin, 2011
- [BMU, 2011b]** Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU); Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWI) (Hrsg.): Das Energiekonzept der Bundesregierung 2010 und die Energiewende 2011. 2011
- [BMVBS, 2009]** Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS); Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR); Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (Hrsg.): Benchmarks für die Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden. Vergleichswerte für Energieausweise. 2009
- [BMVBS, 2009b]** Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (Hrsg.): Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand. 2009
- [BMVBS, 2011]** Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (Hrsg.): Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland. BMVBS-Online-Publikation, Nr. 16/2011, URL: [http://www.bbsr.bund.de/nn\\_187722/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2011/ON162011.html](http://www.bbsr.bund.de/nn_187722/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2011/ON162011.html) [Stand: 22.05.2012]
- [BMVBS, 2011b]** Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (Hrsg.): Wohnen und Bauen in Zahlen. 2011
- [BMVBS, 2011c]** Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMBVS) (Hrsg.): Strukturdaten zur Produktion und Beschäftigung im Baugewerbe. Berechnungen für das Jahr 2010. Bonn, 2011
- [Bürner & Franke, 2015]** Bürner, Johannes; Franke, Jörg: Elektrische Speicherheizung als Instrument zur elektrischen Lastverschiebung. HLH Lüftung/Klima, Heizung/Sanitär, Gebäudetechnik 67 (2016), Nr. 1, S. 32–34
- [Bussagli, 2004]** Bussagli, Marco: Was ist Architektur. Epochen – Stile –Techniken – Von der Antike bis zur Moderne. Klagenfurt: Neuer Kaiser Verlag, 2004
- [Clemenz, 2015]** Clemenz, Gunnar: Verschärfung des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2:2013. Vergleich zwischen DIN 4108ss2:2003 und der Novellierung 2013. Bauen+1 (2015), Nr. 3, S. 26–28
- [Daikin, 2015]** DAIKIN: VRV IV – Die neue Generation der Luft/Luft-Wärmepumpe. URL: [http://www.daikin.de/fachinformationen/fachaufsatze/VRV\\_Fachbeitrag/](http://www.daikin.de/fachinformationen/fachaufsatze/VRV_Fachbeitrag/) [Stand: 29.09.2015]

- [Deutscher Bundestag, 2008]** Deutscher Bundestag, Entwurf eines Gesetzes zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG). Gesetzentwurf der Bundesregierung, 2008, URL: <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/16/081/1608149.pdf> [Stand: 24.02.2011]
- [DIfu, 2008]** Deutsches Institut für Urbanistik (DIfU): Berichte. Projekte, Veröffentlichungen, Veranstaltungen und Positionen des Difu. (Handlungsfelder der Wirtschaftsförderung), Berlin, 2008 URL: [http://www.difu.de/sites/difu.de/files/archiv/publikationen/zeitschriften/difu-berichte/difu-berichte-2008\\_2.pdf](http://www.difu.de/sites/difu.de/files/archiv/publikationen/zeitschriften/difu-berichte/difu-berichte-2008_2.pdf) [Stand: 23.11.2015]
- [DIN EN ISO 13370]** DIN EN ISO 13370:2008-04. Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich – Berechnungsverfahren (ISO 13370:2007); Deutsche Fassung EN ISO 13370:2007
- [DIN V 18599, 2011]** DIN V 18599, 2011. Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwasser und Beleuchtung, Teil 1 bis 11 und Beiblatt 1 (2010)
- [DIN V 4701-10, Beiblatt 1, A1]** Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, Ausgabe 2003, (A1 von 2012 inzwischen ersetzt durch Ausgabe DIN SPEC 701-10/A1:2016-05, Beiblatt 1 von 2007)
- [Duzia & Bogusch, 2014]** Duzia, Thomas; Bogusch, Norbert: Basiswissen Bauphysik. Grundlagen des Wärme- und Feuchteschutzes. 2., aktualis. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2014
- [EEWärmeG, 2015]** Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz EEWärmeG), vom 07.08.2008, BGBl. I S. 1658, zuletzt geändert am 20.10.2015, BGBl. I S. 1722
- [Friedl, 2014]** Friedl, Werner (Hrsg.): EnEV und Energieausweise. Rechnerische Nachweise, Baukonstruktion und Haustechnik. Merching: Forum-Verlag, 2014
- [GERTEC, 2012]** GERTEC (Hrsg.): Stadt Wuppertal: CO<sub>2</sub>-Bilanz 1990-2009. 2012
- [Gülec, Kolmetz & Rouvel, 1994]** Gülec, Tolga; Kolmetz, Sven; Rouvel, Lothar: Energieeinsparungspotential im Gebäudebestand durch Maßnahmen an der Gebäudehülle. Forschungszentrum Jülich (Hrsg.), 1994
- [Hamann, 2014]** Hamann, Achim: Klimaschutzstrategien für Nichtwohngebäude in Stadtquartieren. Bestandsmodellierung und CO<sub>2</sub>-Minderungsszenarien am Beispiel Wuppertal. München: oekom Verlag, 2014 Anhang siehe URL: [http://www.oekom.de/fileadmin/buecher/PDF\\_Leseprobe/9783865816993\\_Hamann\\_Klimaschutzstrategien\\_Anhang.pdf](http://www.oekom.de/fileadmin/buecher/PDF_Leseprobe/9783865816993_Hamann_Klimaschutzstrategien_Anhang.pdf) [Stand: 13.07.2016]
- [Hamann, 2015]** Hamann, Achim: Grundlagen der Abwasserwärmeverwendung. Leitfaden für Architekten, Ingenieure und Stadtplaner. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2015
- [Hamann, 2015b]** Hamann, Achim: Ermittlung des Investitionsvolumens zur energetischen Modernisierung des Nichtwohngebäudebestands auf Grundlage von CO<sub>2</sub>-Minderungs-Szenarien und Klimaschutzstrategien am Beispiel von Wuppertal-Vohwinkel. Zeitschrift für Immobilienökonomie 1 (2015), Nr. 2, S. 85–115, <http://link.springer.com/article/10.1365/s41056-015-0004-8>, ISSN Onlineausgabe: 2198-8021, DOI 10.1365/s41056-015-0004-8, Online-Plattform: SpringerLink, Springer-Verlag, Wiesbaden, August 2015
- [Hamann, 2016]** Hamann, Achim: Unterschätzte Potenziale. Klimaschutzstrategien für Nicht-Wohngebäude in der Stadtneuerung. Raumplanung (2016), Nr. 184, S. 30–37

- [Hamann, Helmus & Reutter, 2013]** Hamann, Achim; Helmus, Manfred; Reutter, Oscar: Modell zur Bestands situation bei beheizten Nichtwohngebäuden in Deutschland, HLH Lüftung/ Klima, Heizung/Sanitär, Gebäudetechnik 64 (2013), Nr. 1, S. 50–53
- [Hamann, 2012]** Hamann, Achim: Nachhaltige Immobilienwirtschaft am Beispiel der Abwasserwärmeverwendung. Technische Grundlagen, Sachstand in Deutschland und wirtschaftliche Vergleiche unter Berücksichtigung der Anforderungen des EWärmeG und der EnEV. München: Deutscher Industrieverlag, 2012
- [Hassler & Kohler, 2004]** Hassler, Uta; Kohler, Niklaus (Hrsg.): Das Verschwinden der Bauten des Industriealters. Lebenszyklen industrieller Baubestände und Methoden transdisziplinärer Forschung. Lehrstuhl Denkmalpflege und Bauforschung der Universität Dortmund, Tübingen/Berlin: Ernst Wasmuth Verlag, 2004
- [Hausladen, 2001]** Hausladen, Gerhard: Innovative Gebäude-, Technik- und Energiekonzepte. München: Oldenbourg Industrieverlag, 2001
- [HeizAnlV, 1978]** Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Brauchwasseranlagen (Heizungsanlagen-Verordnung – HeizAnlV), vom 22.09.1978, BGBl I S. 1581
- [HeizAnlV, 1982]** Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Brauchwasseranlagen (Heizungsanlagen-Verordnung – HeizAnlV), vom 24.02.1982, BGBl I S. 205
- [HeizAnlV, 1989]** Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Brauchwasseranlagen (Heizungsanlagen-Verordnung – HeizAnlV), vom 20.01.1989, BGBl I S. 120
- [HeizAnlV, 1994]** Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Brauchwasseranlagen (Heizungsanlagen-Verordnung – HeizAnlV), vom 22.03.1994, BGBl I S. 613
- [HeizAnlV, 1998]** Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Warmwasseranlagen (Heizungsanlagen-Verordnung – HeizAnlV), vom 04.05.1998, BGBl. 1998 S. 851
- [Hotze, Kaiser & Tiller, 2011]** Hotze, Susanne; Kaiser, Christian; Tiller, Christian: Struktur der Investitionstätigkeit in den Wohnungs- und Nichtwohnungsbeständen. Endbericht, Bonn, 2011
- [IKARUS, 1991]** Instrumente für Klimagasreduktionsstrategien. Ein Entwicklungsprojekt des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT). Forschungszentrum Jülich (Hrsg.): Zusammenfassender Zwischenbericht für die Projektphase 1, 1991
- [IWU Darmstadt & Fraunhofer IFAM, 2014]** Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU); Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM): Monitoring der KfW-Programme »Energieeffizient Sanieren« und »Energieeffizient Bauen« 2012. Korrigierte Fassung vom 07.10.2014, URL: <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-alle-Evaluationen/Monitoring-EBS-2012.pdf> [Stand: 29.09.2015]
- [Jones, Lang & Lasalle, 2012]** Jons Lang Lasalle: Office Market Profiles Q4 2011 Berlin, Düsseldorf, Frankfurt, Hamburg, Köln, München und Stuttgart
- [KfW, 2008]** Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW): Abschlussbericht Detailberatung. Frankfurt am Main, 2011

- [KfW, 2015]** Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW): Neues KfW-Förderangebot für energieeffizientes Bauen und Sanieren von Nichtwohngebäuden startet im Juli 2015. URL: [https://www.kfw.de/Kfw-Konzern/Newsroom/Aktuelles/Pressemitteilungen/Pressemitteilungen-Details\\_268224.html](https://www.kfw.de/Kfw-Konzern/Newsroom/Aktuelles/Pressemitteilungen/Pressemitteilungen-Details_268224.html) [Stand: 29.09.2015]
- [Klesse, 2012]** Klesse, Andreas: Modellierung und Bewertung unterschiedlichen Nutzerverhaltens in hochwärmegedämmten Einfamilienhäusern. Berlin: LIT Verlag, 2012 (Energie und Nachhaltigkeit; 8)
- [Koch, 2003]** Koch, Wilfried: Baustilkunde. Das Standardwerk zur europäischen Baukunst von der Antike bis zur Gegenwart. 24., durchges. Aufl. Gütersloh/München: Wissen Media Verlag, 2003
- [Kolmetz et al., 1995]** Kolmetz, Sven et al.: Energieverbrauchsstrukturen im Sektor Kleinverbraucher. Jülich: Forschungszentrum, 1995
- [Meadows et al., 1972/2016]** Meadows Dennis et al., Bericht des Club of Rome, 1972: Die Grenzen des Wachstums und Das 30-Jahre-Update, 5. Auflage, 2016
- [Moderne Baukunst, 1909]** Moderne Baukunst. Probeband, Jahrgang VIII (1909), Nr. 2
- [Moderne Baukunst, 1910]** Moderne Baukunst. Probeband, Jahrgang IX (1910), Nr. 5
- [Müller, 2014]** Müller, Hans Stefan: Niedrigstenergiegebäude (nZEB – nearly zero-energy buildings). URL: <http://www.energie-m.de/kontakt.html> [Stand: 04.10.2015]
- [Müller, Oschmann & Wustlich, 2010]** Müller, Thorsten; Oschmann, Volker; Wustlich, Guido: EEWärmeG. Erneurbare-Energien-Wärmegesetz. Kommentar. München: Verlag C. H. Beck, 2010
- [Neufert, 1938]** Neufert, Ernst: Bauentwurfslehre. Berlin: Bauwelt-Verlag, 1938
- [Neufert, 1962]** Neufert, Ernst: Bauentwurfslehre. Frankfurt/Berlin: Ullstein Fachverlag, 1962
- [Randers, 2012]** Randers, Jorgen: 2052. Der neue Bericht an den Club of Rome: Ein globale Prognose für die nächsten 40 Jahre. München: oekom Verlag, 2012
- [Recknagel, Sprenger & Schramek, 2011]** Recknagel, Hermann; Sprenger, Eberhard; Schramek, Ernst-Rudolf (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik. Ausgabe 2011/2012. 75. Aufl., DVD, München: Oldenbourg Industrieverlag, 2011
- [Reutter et al., 2012]** Reutter, Oscar et al.: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH (Hrsg.): Low Carbon City Wuppertal 2050. Sondierungsstudie – Abschlussbericht. Wuppertal, 2012
- [Schmid, Brakhage & Radgen, 2003]** Schmid, Christine; Brakhage, Anselm; Radgen, Peter: Möglichkeiten, Potenziale, Hemmnisse und Instrumente zur Senkung des Energieverbrauchs branchenübergreifender Techniken in den Bereichen Industrie und Kleinverbrauch. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Rationelle Energieerzeugung und -nutzung. Karlsruhe: Fraunhofer ISI, 2003
- [Schmid & Günther, 2013]** Schmid, Jürgen; Günther, Matthias: Methanisierung: CO<sub>2</sub> nutzen statt endlagern. *energie | wasser-praxis* 64 (2013), Nr. 3, S. 12-16, URL: [http://www.dvgw-innovation.de/fileadmin/dvgw/angebote/forschung/innovation/pdf/1303schmid\\_guenther.pdf](http://www.dvgw-innovation.de/fileadmin/dvgw/angebote/forschung/innovation/pdf/1303schmid_guenther.pdf) [Stand: 02.05.2016]
- [Schoch, 2013]** Schoch, Torsten: Wärmebrückeberechnung. Berlin: Beuth Verlag, 2013

- [Seifried & Schaumburg, 2012]** Seifried, Dieter; Schaumburg, Dietmar: Elektrische Wärmepumpen bremsen die Energiewende. *Energie & Management* (2012), S. 28, URL: <https://www.energie-und-management.de/fileadmin/sonderdruck/93946.Elektrische.Waermepumpen.bremsen.die.Energiewende.pdf> [Stand: 20.07.2016]
- [Servatius, Schneidewind & Rohlfing, 2012]** Servatius, Hans Gerd; Schneidewind, Uwe; Rohlfing, Dirk (Hrsg.): *Smart Energy. Wandel zu einem nachhaltigen Energiesystem*. Berlin/Heidelberg: Springer, 2012
- [Simon]** Rolf, Simon: Virtuelles Kraftwerk made in Rheinland-Pfalz – Ein Energiespeicher? URL: [http://www.stoffstrom.org/fileadmin/userdaten/dokumente/Veranstaltungen/EST/Simon\\_-\\_Virtuelles\\_Kraftwerk\\_RLP\\_-\\_public.pdf](http://www.stoffstrom.org/fileadmin/userdaten/dokumente/Veranstaltungen/EST/Simon_-_Virtuelles_Kraftwerk_RLP_-_public.pdf) [Stand: 04.02.2016]
- [solar-computer.de, 2016]** Solar-Computer GmbH: Aktuelles zur EnEV 2017. URL: <http://www.solar-computer.de/index.php?seite=aktuelles&sub=news29-aktuelles-enev2014-2016-2017-DINV18599&ref=AENEV&id=39645> [Stand: 02.05.2016]
- [Steinfurt, 2013]** Integriertes Klimaschutzkonzept der Kreisstadt Steinfurt. Projektträger Jülich, 2013, URL: [http://formulare.kaaw.de/findform?shortname=kstst\\_0000000000032&formtecid=2&areashortname=Kreisstadt\\_Steinfurt](http://formulare.kaaw.de/findform?shortname=kstst_0000000000032&formtecid=2&areashortname=Kreisstadt_Steinfurt) [Stand: 23.11.2015]
- [UBA, 2007]** Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.): Nachhaltige Wärmeversorgung. Sachstandsbericht, 2007
- [UBA, 2012]** Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des Deutschen Strommix 1990-2010 und erste Schätzungen 2011.
- [VDI 3807 Blatt 2]** VDI 3807 Blatt 2:1998-06. [Dokument zurückgezogen] Energieverbrauchskennwerte für Gebäude, Heizenergie- und Stromverbrauchskennwerte
- [Voss & Musall, 2011]** Voss, Karsten; Musall, Eike: Nullenergiegebäude. Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten. München: Detail Green Books, 2011
- [WärmeschutzV, 1977]** Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV), vom 11.08.1977
- [WärmeschutzV, 1982]** Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV), vom 24.02.1982
- [WärmeschutzV, 1994]** Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV), vom 16.08.1994. BGBl. I.S. 2121
- [Willems, 2013]** Willems, Wolfgang (Hrsg.): *Lehrbuch der Bauphysik. Schall – Wärme – Feuchte – Licht – Brand – Klima*. 7., vollst. überarb. und aktual. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013
- [Wolisz, 2014]** Wolisz, Henryk: Das Gebäude als dezentraler Energiespeicher. In: *Tagungsband Hermann-Rietschel-Colloquium*. München: DIV Deutscher Industrieverlag, 2014
- [ZIRP, 2012]** Weingarten, Joe (Hrsg.): *Infrastruktur für Wissen und Wirtschaft. Cluster in Rheinland-Pfalz*. Idar-Oberstein: Hilden GmbH & Co. KG, 2012 (Zukunftsinitiative Rheinland-Pfalz, 8)

## Liste der Normen bzw. Grundlagen im Teil »Leitfaden«

### **DIN EN 410:2011-04**

Glas im Bauwesen – Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen; Deutsche Fassung EN 410:2011

### **DIN 4108-2:2013-02**

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz

### **DIN 4108-3:2014-11**

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweis für Planung und Ausführung

### **DIN 4108-4:2013-02**

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte

### **DIN V 4108-6:2003-06**

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

### **DIN 4108-7:2011-01**

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele

### **DIN 4108 – Beiblatt 2:2006-03**

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele

### **DIN V 4701-10:2003-08**

Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung

### **DIN EN ISO 6946:2008-04**

Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren (ISO 6946:2007); Deutsche Fassung EN ISO 6946:2007

### **DIN EN ISO 7345:1996-01**

Wärmeschutz – Physikalische Größen und Definitionen (ISO 7345:1987); Deutsche Fassung EN ISO 7345:1995

### **DIN EN ISO 9972:2015-12**

Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren (ISO 9972:2015); Deutsche Fassung EN ISO 9972:2015, ersetzt die DIN EN 13829:2001-02

### **DIN EN ISO 10077:2010-05**

Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten -Teil 1: Allgemeines (ISO 10077-1:2006 + Cor. 1:2009); Deutsche Fassung EN ISO 10077-1:2006 + AC:2009

### **DIN EN ISO 10077-2:2012-06**

Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen (ISO 10077-2:2012); Deutsche Fassung EN ISO 10077-2:2012

**DIN EN ISO 10211:2008-04**

Wärmebrücken im Hochbau -Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen (ISO 10211:2007); Deutsche Fassung EN ISO 10211:2007 (aktuellste Fassung: Ausgabe 2015-06)

**DIN EN ISO 10456:2010-05**

Baustoffe und Bauprodukte – Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte (ISO 10456:2007 + Cor. 1:2009); Deutsche Fassung EN ISO 10456:2007 + AC:2009

**DIN EN 12207:2000-06**

Fenster und Türen – Luftdurchlässigkeit – Klassifizierung; Deutsche Fassung EN12207:1999

**DIN EN 12831:2003-08**

Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast; Deutsche Fassung EN 12831:2003, siehe auch Beiblatt 1 und 2

**DIN EN 13363-1:2007-09**

Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen – Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades – Teil 1: Vereinfachtes Verfahren; Deutsche Fassung EN 13363-1:2003+A1:2007

**DIN EN 13363-2:2005-06**

Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen – Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades – Teil 2: Detailliertes Berechnungsverfahren; Deutsche Fassung EN 13363-2:2005

**DIN EN ISO 13370:2008-04**

Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich – Berechnungsverfahren (ISO 13370:2007); Deutsche Fassung EN ISO 13370:2007

**DIN EN ISO 13786:2008-04**

Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische Kenngrößen – Berechnungsverfahren (ISO 13786:2007); Deutsche Fassung EN ISO 13786:2007

**DIN EN ISO 13788:2013-05**

Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren (ISO 13788:2012); Deutsche Fassung EN ISO 13788:2012

**DIN EN ISO 13789:2008-04**

Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Spezifischer Transmissions- und Lüftungswärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren (ISO 13789:2007); Deutsche Fassung EN ISO 13789:2007

**DIN EN ISO 13790:2008-09**

Energieeffizienz von Gebäuden – Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung (ISO 13790:2008); Deutsche Fassung EN ISO 13790:2008

**DIN EN ISO 13791:2012-08**

Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik – Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren (ISO 13791:2012); Deutsche Fassung EN ISO 13791:2012

**DIN EN 13829:2001-02**

Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren (ISO 9972:1996, modifiziert); Deutsche Fassung EN 13829:2000

**DIN EN 13947:2007-07**

Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangsfassaden – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten; Deutsche Fassung EN 13947:2006

**DIN EN ISO 14683:2008-04**

Wärmebrücken im Hochbau – Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient – Vereinfachte Verfahren und Anhaltswerte (ISO 14683:2007); Deutsche Fassung EN ISO 14683:2007

**DIN EN 15026:2007-07**

Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation; Deutsche Fassung EN 15026:2007

**DIN V 18599:2011-12 mit Beiblatt 1 und 2**

Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwasser und Beleuchtung, Teil 1 bis 11

Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger

Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen

Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung

Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung

Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen

Teil 6: Endenergiebedarf von Lüftungsanlagen, Luftheizungsanlagen und Kühlsystemen für den Wohnungsbau

Teil 7: Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau

Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen

Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen

Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten

Teil 11: Gebäudeautomation

# Stichwortverzeichnis

## A

Abgleich, hydraulischer 158  
Abluftleuchte 146  
Abrissrate 255  
Absorberrohr 270  
Abwasserwärmepumpe 168  
Anlage, bivalent 175

## B

Backcasting-Szenario 63  
Baualtersklasse 32  
Bemessungs luftwechselrate 130  
Bestandsmodellierung 17  
Blockheizkraftwerk 188  
Bodenplattenmaß 95  
Building Information Modeling (BIM) 56

## D

Dichtheitsprüfung 86  
Dicke, wirksame 122  
Direktverdampfung 165  
DX-System 169

## E

Effizienzhaus 15  
Effizienz-Strategie 255  
Elektro-Luft-Wasser-Wärmepumpe 162  
Energiebilanzierung 35  
EnEV-Durchführungsverordnung 46

## F

Feuchteschutz 56  
Finite-Element-Methode 134  
Flächenzuwachs 64

## G

Gebäudezone 55  
Gebläseheizung 55  
Gesamtenergi edurchlassgrad 108  
Glasdächer 55  
Gleichwertigkeitsnachweis 35  
Gradtagszahl 44

## H

Heizfall 168  
Hilfsenergie 149

## I

Investitionskosten 17

## J

Jahresarbeitszahl (JAZ) 98  
Jahres-Primärenergiebedarf 44

## K

Kältemittelkreislauf 172  
KfW-Effizienzhausstandard 60  
Klimafaktor 44  
Klima-Profit-Netzwerk 75  
Klimaschutzstrategie 69  
Komplexität 57  
Kompressionskältemaschine 173  
Konsistenz-Strategie 255  
Konstantlichtkontrolle 154  
Kraft-Wärme-Kopplung 188  
Kühlfall 168

## L

Latentwärmespeicherung 272  
LED-Leuchte 155  
Leitparameter 65  
Leitwert, zweidimensionaler 138  
Leuchtstofflampe 155  
Lichtbänder 55  
Lichtkuppel 55  
Luftdichtheit 113  
Luftwechselrate 35

## M

Methanisierung 269  
Mindestluftwechsel 170  
Mindestwärmeschutz 35

## N

Neubaurate 255  
Niedrigstenergiegebäude 60  
Nullenergiehaus 60  
Nutzungsbedingung 56  
Nutzungsprofil 93

## O

Oberflächentemperatur 105  
Opake Bauteile 55

## P

Passivhaus 60  
PCM – Phase Change Materials 272  
Plusenergiehaus 60  
Power to Gas-Konzept 272  
Primärenergiefaktor 56  
Pumpenmanagement 158

## R

Randdämmung 95  
Raumhöhe 55  
Raumklimasystem 172

Raum-Solltemperatur 55  
Referenzgebäude 49  
Rohrnetzplanung 185  
Rotationswärmetauscher 172  
Rückkühlkreis 168

**S**  
Sanierungsrate 64, 255  
Schlüsselfaktor 63  
Smart City-Ansatz 275  
Sonnenschutz 107  
Sorptions-Gaswärmepumpe 162  
Stadt Ebene 251  
Startbilanz 251  
Strahlungsheizung 55  
Stromspeicher 269  
Suffizienz-Strategie 255

**T**  
Tabellenverfahren 155  
Tauwasserbildung 111  
Temperaturfaktor 103  
Temperatur-Korrekturfaktor 95  
Transmissionswärmetransferkoeffizient 45  
Transparente Bauteile 55  
Treibhausgas 61

**U**  
Umfassungsfläche, wärmeübertragende 45  
Umweltwärme 52

**V**  
Verdampfer 172  
Vorhangsfassade 55  
VRF/VRV-System 50, 169

**W**  
Wärmebrücke 35  
Wärmebrückenzuschlag 38  
Wärmedurchgangskoeffizient 38  
Wärmeenergie, erneuerbare 64  
Wärmeleitfähigkeit 37  
Wärmequelle 145  
Wärmerückgewinnung 149  
Wärmeschutz, sommerlicher 35  
Wärmesenke 145  
Warmwasserbereitung 90  
Wasserdampfdiffusion 111  
Wasserdampfdiffusionswiderstand 37  
Wirkungsgradverfahren 155  
Wochenendabsenkung 159

Achim Hamann

# Energieeffiziente Nichtwohngebäude

## Grundlagen, Beispiele und Bilanzierungsansätze nach DIN V 18599

Vierzig Prozent des bundesweiten Wärmeverbrauchs durch die Gebäudebeheizung wird durch Nichtwohngebäude verursacht, aber erst seit dem Jahr 2015 wird der Effizienzhaus-Standard bei Nichtwohngebäuden gefördert und somit gewürdigt.

Die Realisierung von energieeffizienten Nichtwohngebäuden sowie deren energetische Bilanzierung sind komplexe Aufgabenstellungen, denn die Planung eines energieeffizienten Nichtwohngebäudes sowie der Bau oder das Modernisieren erfordern integrale und interdisziplinäre Ansätze. Zusätzlich sind Prozesse auf der Stadtbene notwendig, damit die Transformation hin zu einer zukunftsfähigen Stadtentwicklung bzw. Smart City gelingt. Die anstehenden Baumaßnahmen verursachen dabei Investitionskosten auf der Stadtbene, die für volkswirtschaftliche und politische Betrachtungen von Interesse sind.

Daher wendet sich dieser Leitfaden an alle am Bau beteiligten Planer (Architekten und Ingenieure), Bauausführenden (Generalunternehmer und Teilleistungsunternehmer), an Investoren und Immobilienökonomen, an Facilitymanager, Projektentwickler, Banken, Politiker und Stadtplaner.

Der Leitfaden erläutert die wesentlichen Grundlagen zur Bilanzierung und beschreibt Bilanzierungsbeispiele nach DIN V 18599 zu verschiedenen Nichtwohngebäudetypen. Ziel ist es, Energieeffizienzhäuser nach KfW-Standards zu realisieren.

Darüber hinaus werden Handlungsempfehlungen und immobilienökonomische Aspekte für die Stadtbene aufgezeigt. Die Darstellung von Trends und zukunftsfähigen Lösungsansätzen runden den Leitfaden ab.

### Der Autor:

Achim Hamann ist promovierter Bauingenieur und hat zusätzlich Umweltwissenschaften und Technisches Gebäudemanagement studiert. Seit 1990 ist er in der Wasser- und Immobilienwirtschaft tätig. Im Rahmen der Architektur- und Ingenieurleistungen beschäftigt er sich schwerpunktmäßig mit interdisziplinären und integralen Planungsaufgaben bei Wohn- und Nichtwohngebäuden.

