Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden
Forschung und Anwendung GmbH
Prof. Oschatz – Prof. Hartmann – Dr. Werdin – Prof. Felsmann

WEBER ENERGIECONSULT
Analyse Konzepte Strategie Kommunikation

Leitfaden zur Planung neuer Hallengebäude nach Energieeinsparverordnung EnEV 2014 und Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz 2011

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen 03MAP285

Herausgeber

figawa
Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e.V.
Technisch-wissenschaftliche Vereinigung

Marienburger Straße 15 in 50968 Köln
E-Mail: info@figawa.de
www.figawa.de

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz
Dipl.-Ing. (FH) Jens Rosenkranz

ITG Dresden
Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden
Forschung und Anwendung GmbH

Bayreuther Straße 29 in 01187 Dresden
www.itg-dresden.de

Dipl.-Ing. Konrad Weber

Weber EnergieConsult
Ingenieurbüro für Energieeffizienz in Gebäuden

Dierath 60 in 51399 Burscheid
www.weber-energieconsult.de

Dieser Leitfaden zur Planung neuer Hallengebäude nach Energieeinsparverordnung EnEV 2014 und EEWärmeG 2011 wurde im Rahmen des Projektes *EEEEH* (*Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien in Hallengebäuden – Neubau und Bestand*) mit Förderung des BMWi Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie erstellt (Förderkennzeichen 03MAP285).

Dieser Leitfaden kann unter www.figawa.de sowie www.systemvergleich-hallenheizung.de heruntergeladen werden.

Januar 2015

I Inhalt

I Inhalt ... 1

1 Einleitung ... 3

2 Energierechtlicher Rahmen ... 4

2.1 Europäische Strategie und Richtlinien ... 4

2.2 Verordnungen und Gesetze in Deutschland ... 5

3 Energierechtliche Anforderungen an Hallen ... 8

3.1 Anforderungen der Energieeinsparverordnung EnEV (2014) ... 8

3.1.1 Neuerungen der EnEV 2014 im Neubau ... 8

3.1.2 Anforderungen EnEV 2014 an zu errichtende Hallengebäude (Neubau) ... 9

3.2 Anforderungen des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (2011) ... 14

4 Energetische Bewertung: Berechnungsverfahren DIN V 18599 ... 17

4.1 Normteile, Energiebilanzierung und Berechnungsablauf ... 17

4.2 Neuerungen der Normenreihe DIN V 18599 – Ausgabe 2011 ... 21

5 Kategorie Hallengebäude ... 23

5.1 Typisierung von Hallengebäuden ... 25

5.2 Hüllflächenaufbau / Außenbauteile ... 28

5.2.1 Anforderung nach EnEV ... 28

5.2.2 Beispielhafte Bauteilaufbauten und Eigenschaften der Gebäudehülle ... 31

5.3 Anlagentechnik in Hallengebäuden ... 38

5.3.1 Hallenheizsysteme ... 38

5.3.2 Systeme der Trink-/Brauchwassererwärmung ... 46

5.3.3 Beleuchtung ... 46

5.3.4 Raumlufttechnische Anlagen (RLT) ... 47

5.3.5 Anlagen zur Wärmerückgewinnung (WRG) ... 48

5.3.6 Kühlungsanlagen ... 48

6 Eingabegrößen und Nachweisführung (Neubau) ... 49

6.1 Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599 gemäß EnEV 2014 ... 49

6.2 Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes ... 54

6.3 Nachweis EEWärmeG ... 55

7 Erfüllung der Anforderungen aus EnEV 2014 / EEWärmeG 2011 ... 57

7.1 Vorgehen und allgemeine Randbedingungen ... 57

7.2 Fertigungshalle ... 61

7.2.1 Randbedingungen ... 61

7.2.2 Ergebnisse ... 62

7.2.3 Ergebniszusammenfassung ... 66
7.3 Werkstatt ... 70
7.3.1 Randbedingungen ... 70
7.3.2 Ergebnisse ... 71
7.3.3 Ergebniszusammenfassung ... 73
7.4 Logistikhalle ... 75
7.4.1 Randbedingungen ... 75
7.4.2 Ergebnisse ... 76
7.4.3 Ergebniszusammenfassung ... 78
7.5 Sporthalle ... 80
7.5.1 Randbedingungen ... 80
7.5.2 Ergebnisse ... 81
7.5.3 Ergebniszusammenfassung ... 83
7.6 Großmarkt ... 84
7.6.1 Randbedingungen ... 84
7.6.2 Ergebnisse ... 85
7.6.3 Ergebniszusammenfassung ... 87
8 Zusammenfassung und Bewertung ... 89
9 Quellen ... 91
10 Glossar ... 94
11 Anhang ... 96
Anhang 1 Primärenergiefaktoren nach DIN V 18599-1:2011-12 ... 96
Anhang 2 Heizsystemspezifische Kenngrößen nach DIN V 18599-5:2011-12 ... 97
Anhang 3 Anlagenparameter für Vergleichsberechnungen nach DIN V 18599:2011-12 (7) ... 100
Anhang 3-1 Fertigungshalle (7.2) ... 100
Anhang 3-2 Werkstatt (7.3) ... 102
Anhang 3-3 Logistikhalle (7.4) ... 104
Anhang 3-4 Sporthalle (7.5) ... 107
Anhang 3-5 Großmarkt (7.6) ... 109

1 Einleitung

Aus Gründen der Nachhaltigkeit wie der Wirtschaftlichkeit und veranlasst durch Vorgaben des Gesetzgebers sind Architekten, Planer, Bauherren, Investoren und Projektentwickler bei der Errichtung von Gebäuden immer stärker gehalten, auf effiziente Energienutzung und die Einbindung erneuerbarer Energien achten.

Die Notwendigkeit, einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten, besteht auch bei der Planung und Errichtung von Hallengebäuden – diese werden in den energierechtlichen Vorschriften und in der öffentlichen Diskussion bisher allerdings nur am Rande betrachtet. Nach aktuellen Untersuchungen trägt am Industriestandort Deutschland der Bestand von ca. 420.000 Hallengebäuden mit ca. 15 % zum Endenergieverbrauch aller Gebäude für Raumwärme bei – eine keinesfalls zu vernachlässigende Größenordnung in der Energie- und Klimaschutzstrategie der Bundesrepublik Deutschland.

Am 01. Mai 2014 ist die Neufassung der Energieeinsparverordnung (EnEV 2014) in Kraft getreten. Die in der EnEV 2014 formulierten Anhebungen des Anforderungsniveaus gegenüber der vorigen EnEV-Fassung (EnEV 2009) sind nach dem Verständnis der Bundesregierung ein Zwischenschritt auf dem Weg zu einem Niedrigstenergiestandard im Neubau ab 2019 / 2021 (für öffentliche / private Gebäude) und zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand bis zum Jahre 2050.

Die EnEV 2014 sieht u.a. eine Verschärfung der primärenergetischen Anforderungen im Neubau ab dem 01.01.2016 um 25% vor – für Hallengebäude gibt es teilweise Ausnahmen von dieser Verschärfung.

Für neu zu errichtende Gebäude müssen darüber hinaus seit dem 01. Januar 2009 die Anforderungen des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – aktuell in seiner Fassung von 2011 (EEWärmeG 2011) – eingehalten werden.

Aus beiden Instrumenten ergeben sich zahlreiche Wechselwirkungen bei der Erfüllung der Pflichten wie auch bei der Nachweisführung. Die nachhaltige und wirtschaftliche Planung erfordert einen integralen Prozess mit Blick auf die Wechselbeziehung von Gebäude, Nutzung und Anlagentechnik unter Berücksichtigung von Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien in allen Abschnitten – eine anspruchsvolle Herausforderung.

Im vorliegenden Leitfaden werden die grundlegenden Zusammenhänge zwischen EnEV 2014 (mit den Anforderungsstufen 2014 und 2016) und EEWärmeG 2011 mit den in Bezug genommenen Bilanzierungsregeln (DIN V 18599:2011) für die Planung und Baupraxis von Hallengebäuden erläutert. Dabei werden - so weit wie möglich - systematisch die Besonderheiten dieser heterogenen Gebäudekategorie in Bauweise, Nutzung und Anlagentechnik berücksichtigt. Für modellhafte Hallengebäude werden wirtschaftliche und praxisgerechte Musterlösungen und Erfüllungsvarianten von Gebäude und Anlagentechnik dargestellt.

Damit soll der Leitfaden dazu beitragen, das große Potential der Energieeinsparung und Emissionsminderung von Hallengebäuden in Deutschland zu erschließen.

An dieser Stelle sei ausdrücklich den das Projekt begleitenden Experten aus den Wirtschaftsbereichen *Entwicklung*, *Planung*, *Errichtung*, *Ausrüstung* und *Betrieb von Hallengebäuden* gedankt, ohne deren praktische Hinweise und Beteiligung der vorliegende Leitfaden nicht in der entsprechenden Detaillierung und Qualität hätte erstellt werden können.

2 Energierechtlicher Rahmen

2.1 Europäische Strategie und Richtlinien

Im Rahmen ihrer langfristigen Energie- und Klimaschutzstrategie hat sich die Europäische Union verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80-95% unter den Stand von 1990 zu senken. Die Europäische Kommission formuliert in ihrer *Energy Roadmap 2050*[1] einen Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen, CO_2-armen Wirtschaft (*Dekarbonisierung*). Diese sehr ambitionierten Ziele lassen sich nur mit einem weitgehenden Umbau der gesamten Struktur der Energieversorgung und Energienutzung in allen Sektoren in Europa erreichen.

Die mittelfristige Energie- und Klimaschutzstrategie der EU wird unter dem Kurztitel *Agenda 2020* bzw. *20–20–20* zusammengefasst. Nach Beschlüssen des Europäischen Rates werden die folgenden Ziele für das Jahr 2020 angestrebt:

- 20%ige Verringerung der Treibhausgasemissionen gegenüber dem Status 1990 (um 30 %, falls die internationalen Voraussetzungen dafür gegeben sind)
- 20%ige Verringerung des EU-Energieverbrauchs gegenüber den Prognosen für 2020
- 20 % Anteil erneuerbarer Energien am gesamten EU-Energieverbrauch, darunter 10 % im Verkehrssektor

Vor diesem Hintergrund sind die folgenden Richtlinien, welche sich mittel- und unmittelbar auf die energiepolitischen Maßnahmen in Deutschland auswirken, von besonderer Bedeutung:

- **Energieeffizienz-Richtlinie 2012/27/EU**

  Die Richtlinie 201/27/EU verfolgt das Ziel der allgemeinen Steigerung der Energieeffizienz in allen Wirtschaftsbereichen der EU um 20 % bis 2020.

- **Richtlinie 2010/31/EU zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden**

  Die Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (auch EPBD-Richtlinie genannt) orientiert sich an den Zielen der Agenda 2020 und befasst sich mit deren Umsetzung für den Gebäudebereich. Sie schafft einen methodischen Rahmen zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und schreibt die nationale Festlegung von Mindestanforderungen für Gebäude vor.

- **Richtlinie 2009/28/EU zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen**

  Die Richtlinie schafft einen gemeinsamen Rahmen für die Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. Sie verpflichtet die Mitgliedsstaaten zur Umsetzung verbindlicher nationaler Gesamtziele bezüglich der Nutzung erneuerbarer Energien und legt länderspezifische Zielwerte des Anteils erneuerbarer Energien am jeweiligen Landes-Energieverbrauch fest – so ist für Deutschland ein Zielwert von 18 % des Bruttoendenergieverbrauchs für das Jahr 2020 festgeschrieben.

- **Richtlinie 2009/125/EC (Ecodesign-RL) zur Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte** teilweise in Verbindung mit **Richtlinie 2010/30/EU (Energy Labelling RL) zur Festlegung der Kennzeichnung des Energie- und Ressourcenverbrauchs von Produkten**

  Nach der Ecodesign-Richtlinie werden sukzessive Mindestanforderungen der Umweltverträglichkeit und Energieeffizienz für energieverbrauchsrelevante Produkte

[1] siehe z.B. Mitteilung der Kommission vom 15.11.2011 [36]

definiert. Produkte, die diese Anforderungen nicht erfüllen, dürfen ab einem bestimmten Datum nicht mehr in den Mitgliedsstaaten der Europäischen Gemeinschaft in den Markt gebracht werden, weder als Neuprodukte noch als Ersatzteile für bestehende Installationen oder Anlagen.

Unter der Ecodesign-Richtlinie wurden bereits oder werden in naher Zukunft erfasst:

- Hydraulische Wärmeerzeuger unter 70 kW
- (Gas- und Ölkessel, KWK-Geräte, Wärmepumpen)
- Warmwassergeräte unter 70 kW bzw. 500 l
- Pumpen
- Motoren und Ventilatoren
- Hell- und Dunkelstrahler
- zentrale und dezentrale Warmluftheizgeräte

Wärmeerzeuger bzw. Heizgeräte werden nach ihrer saisonalen Energieeffizienz sowie ihrer Schadstoffemission bewertet. Nach Inkrafttreten der Anforderungen der Ecodesign-Richtlinie für die verschiedenen Produktgruppen besteht für einen Teil der Produktgruppen gleichzeitig eine Kennzeichnungspflicht nach der Energy-Labelling-Richtlinie (bei Heizgeräten z.B. in Form von Effizienzklassen).

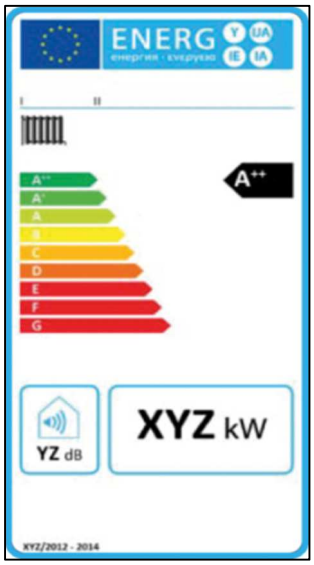


Abbildung 1 Beispiel einer Produktkennzeichnung für Gas- und Ölkessel nach der Energy-Labelling-Richtlinie

2.2 Verordnungen und Gesetze in Deutschland

Energieeinspargesetz EnEG (2013)

Das *Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden* (Energieeinsparungsgesetz, EnEG) [1, 2, 3] ist die nationale Ermächtigungsgrundlage der deutschen Bundesregierung zur gesetzlichen Festlegung energetisch relevanter Anforderungen an die Errichtung sowie den Betrieb von Gebäuden und Anlagentechnik in Gebäuden.

Das Gesetz formuliert allgemeine Anforderungen an

- den (baulichen) Wärmeschutz bei zu errichtenden Gebäuden und
- den Einbau und Betrieb von Anlagentechnik,

geknüpft an die Möglichkeit, diese Anforderungen *durch zu erlassende Rechtsverordnungen* zu konkretisieren. Diese konkretisierten Anforderungen sind u.a. in der EnEV [4, 5, 6, 7] fixiert.

Weitere Ermächtigungen des EnEGs betreffen u.a.

- die Verteilung von Betriebskosten,
- Anforderungen an bestehende Gebäude sowie
- die Inhalte und Anwendung von Energieausweisen (seit 2005, [2]).

Mit der 2013 erschienenen Novellierung des EnEGs [3] wird die Verpflichtung zur Ausführung von Gebäuden als *Niedrigstenergiegebäude* eingeführt, wenn diese nach dem 31.12.2020 oder, bei Behördeneigentum, nach dem 31.12.2018 errichtet werden.

Energieeinsparverordnung EnEV (2014)

Die *Energieeinsparverordnung* (EnEV) ist die deutsche Umsetzung der *Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden* [8, 9] in nationales Recht. Die erste EnEV wurde 2002 [4] verabschiedet und 2007 [5] durch eine Neufassung abgelöst. 2009 trat eine weitere

Überarbeitung [6] in Kraft. Die aktuelle Novellierung der Energieeinsparverordnung wurde im Oktober 2013 verabschiedet [7, 10] und trat am 01.05.2014 in Kraft.

Durch die Energieeinsparverordnung werden konkrete Anforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden formuliert, welche im Geltungsbereich[2] der EnEV errichtet, erweitert oder modernisiert werden.

Hinsichtlich der Anforderungen im Einzelfall unterscheidet die EnEV nach verschiedenen Kriterien, wie

- Anwendungsfall – Art der Maßnahme bzw. Grund der Nachweisführung,
    - Beleg der energetischen Qualität bei Verkauf/Vermietung,
    - Nachweis der Einhaltung energetischer Anforderungen bei Neubau, Modernisierung/Umbau, Erweiterung und
- Gebäudeart,
    - Wohngebäude,
    - Nichtwohngebäude .

Hallengebäude fallen in aller Regel unter die Kategorie Nichtwohngebäude der EnEV. **Ausnahmen vom Geltungsbereich**, welche auch Hallen sein können, formuliert § 1 EnEV wie folgt:

- Betriebsgebäude, die überwiegend zur Aufzucht oder zur Haltung von Tieren genutzt werden
- Betriebsgebäude, die nach ihrem Verwendungszweck großflächig und lang anhaltend offen gehalten werden müssen
- Gebäude, die dem Gottesdienst oder anderen religiösen Zwecken gewidmet sind
- Sonstige Betriebsgebäude,
    - die auf Innentemperaturen von weniger als 12°C oder
    - weniger als jährlich 4 Monate beheizt oder weniger als 2 Monate gekühlt werden

Bei den Nichtwohngebäuden unterscheidet die EnEV bei der Formulierung bestimmter Anforderungen nach Temperaturniveau (12 bis < 19°C bzw. ≥ 19°C) und nach Raumhöhe (≤ 4m bzw. > 4m) der konditionierten Zone. Einige Besonderheiten von Hallengebäuden werden hierdurch implizit berücksichtigt.

Die beiden Hauptanforderungen der EnEV – relevant im Neubaufall sowie bei vielen Sanierungen und Erweiterungen – betreffen den *Primärenergiebedarf* und den *baulichen Wärmeschutz*. Des Weiteren werden technische **Nebenanforderungen** u.a. bezüglich

- der Vermeidung von Wärmebrücken
- der Gebäudedichtheit und
- technischer Details der Anlagentechnik sowie Wartung der Anlagenkomponenten

formuliert, auf welche hier jedoch nicht im Detail eingegangen werden soll.

Der Primärenergiebedarfs-Anforderungswert wird auf dem Wege des Referenzgebäude-Verfahrens[3] (§ 4 Nr. 1 EnEV 2014) individuell für das zu beurteilende Gebäude bestimmt. Bis Ende 2015 gilt der Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes als Anforderungswert, darf

[2] Siehe §1 EnEV 2014 (Zweck und Anwendungsbereich) [7, 10]

[3] Im Referenzgebäude-Verfahren wird der Energiebedarf einmal für das zu bewertende Gebäude berechnet und parallel für ein hinsichtlich Größe/Geometrie, Ausrichtung, Konditionierungs-/Nutzungsanforderungen identisches Referenzgebäude, für welches die EnEV die energetischen Merkmale des baulichen Wärmeschutzes und der Anlagentechnik exakt definiert. Der Primärenergie-Anforderungswert für das reale Gebäude wird aus dem so errechneten Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes bestimmt.

also durch den des realen Gebäudes nicht überschritten werden. Ab dem 01.01.2016 muss das reale Gebäude diesen Wert um mindestens 25% unterschreiten – die Beschreibung des Referenzgebäudes selbst bleibt dabei unverändert und entspricht weitestgehend den Vorgaben der EnEV 2009.

Darüber hinaus formuliert die EnEV technische Nebenanforderungen, Vorgaben zur Erstellung von Nachweisen und formale Kriterien. Besonders erwähnenswert ist hier die mit der EnEV 2014 neu eingeführte Stichprobenkontrolle von Energieausweisen. Gemäß § 26d müssen nach § 17 ausgestellte Energieausweise in einem *statistisch signifikanten* Anteil erfasst und überprüft werden. Hinsichtlich der Detailtiefe der Überprüfung bietet die EnEV drei Optionen an, wobei die erste als Plausibilitätsprüfung (*Validitätsprüfung*) mit vorwiegend qualitativem Charakter zu verstehen ist, während die letzte und gründlichste Option auf eine vollständige Nachrechnung des Nachweises hinausläuft – bei Einverständnis des Eigentümers mit zusätzlicher Inaugenscheinnahme des Gebäudes. Welche der möglichen Überprüfungsoptionen in welchem Maß anzuwenden ist, wird durch die EnEV nicht geregelt. Ebenso ist der *statistisch relevante* Anteil, also der Umfang aller Überprüfungen, nicht näher definiert.

Die Stichprobenkontrolle ist Aufgabe der Bundesländer, wird gemäß § 30 der EnEV aber übergangsweise vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) wahrgenommen.

Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (2011)

Das *Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich* (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz, EEWärmeG) [11, 12] ist die nationale Umsetzung der *Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen* [13]. Es regelt die praktische Anwendung der Pflicht zum Einsatz erneuerbarer Energien bei der Errichtung von Gebäuden und der grundhaften Sanierung öffentlicher Gebäude in Deutschland. Hierbei formuliert es konkrete Anforderungen, z.B. in Form notwendiger Deckungsanteile erneuerbarer Energie an der erforderlichen Wärmeenergie und anhand bestimmter technischer Eigenschaften (siehe auch 3.2, Tabelle 3).

Erneuerbare Energien im Sinne des EEWärmeGs sind

1. *die dem Erdboden entnommene Wärme (Geothermie),*
2. *die der Luft oder dem Wasser entnommene Wärme mit Ausnahme von Abwärme (Umweltwärme),*
3. *die durch Nutzung der Solarstrahlung zur Deckung des Wärmeenergiebedarfs technisch nutzbar gemachte Wärme (solare Strahlungsenergie) und*
4. *die aus fester, flüssiger und gasförmiger Biomasse erzeugte Wärme. Die Abgrenzung erfolgt nach dem Aggregatszustand zum Zeitpunkt des Eintritts der Biomasse in den Apparat zur Wärmeerzeugung. Als Biomasse im Sinne dieses Gesetzes werden nur die folgenden Energieträger anerkannt:*
    - a) *Biomasse im Sinne der Biomasseverordnung vom 21. Juni 2001 (BGBl. I S. 1234), geändert durch die Verordnung vom 9. August 2005 (BGBl. I S. 2419), in der jeweils geltenden Fassung,*
    - b) *biologisch abbaubare Anteile von Abfällen aus Haushalten und Industrie,*
    - c) *Deponiegas,*
    - d) *Klärgas,*
    - e) *Klärschlamm im Sinne der Klärschlammverordnung vom 15. April 1992 (BGBl. I S. 912), zuletzt geändert durch Artikel 4 der Verordnung vom 20. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2298, 2007 I S. 2316), in der jeweils geltenden Fassung und*
    - f) *Pflanzenölmethylester.*

3 Energierechtliche Anforderungen an Hallen

3.1 Anforderungen der Energieeinsparverordnung EnEV (2014)

3.1.1 Neuerungen der EnEV 2014 im Neubau

Neben der Verschärfung der energetischen Hauptanforderungen ab dem 01.01.2016 (siehe auch 3.1.2) finden sich in der EnEV 2014 eine Reihe von weiteren wesentlichen Veränderungen gegenüber der Version 2009 in Einzelpunkten der energetischen Bewertung von Gebäuden, in den Bestimmungen zum Energieausweis sowie im Vollzug des Nachweises der Einhaltung der Anforderungen. Tabelle 1 listet wesentliche Änderungen in der Reihenfolge ihres Auftretens im Verordnungstext kurz auf – Details können im Verordnungstext (EnEV 2014 [7, 10]) nachgelesen werden. Nicht aufgeführt sind Änderungen, welche nur bestehende Gebäude und Anlagen betreffen.

Tabelle 1 EnEV 2014 – wesentliche Änderungen gegenüber 2009

Gegenstand	Position EnEV 2014	Änderung / Bemerkung
Stromertrag	§ 5 Anlage 2 (2,3)	Bei der Ermittlung des Stromertrages aus regenerativer Erzeugung wird die Referenzklimazone Potsdam herangezogen.
Energieausweis	§ 16 (3) (4)	Ausweitung der Ausstellungspflicht und öffentlichen Zugänglichkeit auf privatwirtschaftlich genutzte Gebäude mit mehr als 500 m² Nutzfläche bzw. mehr als 250 m² bei starkem Publikumsverkehr.
Energieausweis	§ 16a	Pflichtangaben der Hauptdaten des Energieausweises in Immobilienanzeigen
Registriernummer	§ 26c	Projekt- bzw. nachweisspezifische Registriernummern für Inspektionsbericht von Klimaanlagen (§ 12) und Energieausweis (§ 17) ; als Aufgabe der Länder formuliert
Stichprobenkontrollen	§ 26d	Stichprobenkontrollen von Energieausweisen und Inspektionsberichten von Klimaanlagen; als Aufgabe der Länder formuliert
Erfahrungsberichte Bundesländer	§ 26f	Verpflichtung der Bundesländer zu Erfahrungsberichten über die Stichprobenkontrollen erstmals 01.03.2017
Ordnungswidrigkeiten	§ 27	Ausweitung der Ordnungswidrigkeits-Tatbestände
Vollzugsaufgaben durch DIBt	§ 30	Vorläufige Wahrnehmung von Vollzugsaufgaben der Länder (Registrierung § 26 c, Kontrolle § 26 d) durch das Deutsche Institut für Bautechnik DIBt
Sommerlicher Wärmeschutz	Anlage 2 Nr. 4 → Anlage 1 Nr.3.1.2	Bei Kühlanlagen in Gebäuden eingeschränkte Pflicht zu sommerlichem Wärmeschutz
Luftdichtheit großer Gebäude	Anlage 4	Sonderanforderungen an die Luftdichtheit für NWG mit Gesamtluftvolumen aller konditionierten Zonen >1500 m³, differenziert mit/ohne Lüftungsanlagen
Primärenergiefaktor Elektroenergie	Anlage 2 Nr. 2.1.1 → Anlage 1 Nr. 2.1.1	Senkung des Primärenergiefaktors für Elektroenergie (→ *allgemeiner Strommix*) auf 1,8 ab 01.01.2016 abweichend von *Tabelle A.1* DIN V 18599-1:2011-12 (Tabelle 32)

Die in der Öffentlichkeit viel diskutierte Einführung von der Effizienzklassen *A+* bis *H* für den Endenergiebedarf von Gebäuden in der Darstellung des Energieausweises gilt nur für Wohngebäude. Für Nichtwohngebäuden und damit auch Hallen lässt sich eine derart standardisierte Bewertung aufgrund der sehr heterogenen Verhältnisse kaum umsetzen.

Abbildung 2 Areal Logistikhalle in Biebesheim (Quelle: Fa. Alpha Industrial GmbH, Köln)

Wesentlich auf die zukünftige Bewertung von Gebäuden nach EnEV dürfte sich die geänderte **primärenergetische Bewertung von Elektroenergie** auswirken. In der neuen Verordnung wird der Primärenergiefaktor für Strom aufgrund des zunehmenden Anteils regenerativer Erzeugung ab dem 01.01.2016 – abweichend von Tabelle A.1 der DIN V 18599 Teil 1:2011 - von bisher **2,4 auf 1,8 abgesenkt**. Die veränderte primärenergetische Bewertung führt ab dem Stichdatum Januar 2016 bei allen Anlagentechniken mit relevantem Stromverbrauch rechnerisch zu deutlich niedrigeren Primärenergiebedarfswerten. Im Bereich der Heizungstechnik ergibt sich insbesondere beim Einsatz von Elektro-Wärmepumpen – absolut und relativ im Vergleich zu z.B. erdgasbetriebenen Aggregaten - eine deutlich günstigere Bewertung als bisher.

Abbildung 3 Logistikhallen (Quelle: Fa. Goldbeck West GmbH, Bielefeld)

3.1.2 Anforderungen EnEV 2014 an zu errichtende Hallengebäude (Neubau)

Die Energieeinsparverordnung stellt bei der Errichtung eines Gebäudes in ihrem Geltungsbereich zwei energetisch relevante Hauptanforderungen:

- Der **Primärenergiebedarf** des zu errichtenden Gebäudes darf den Primärenergiebedarf eines hinsichtlich Geometrie, Nutzung und Konditionierungsarten identischen *Referenzgebäudes* nach **Anlage 2 Tabelle 1** der EnEV nicht überschreiten. Die Randbedingungen für das Referenzgebäude nach EnEV 2014 entsprechen dabei weitestgehend denen der EnEV 2009.
  Diese Anforderung wird **ab 01.01.2016 verschärft** – der Referenzgebäude-Kennwert muss dann zusätzlich mit dem Faktor 0,75 multipliziert werden. Die Verschärfung der

primärenergetischen Anforderung um 25% ist nicht auf Gebäudezonen mit > 4 m Raumhöhe mit dezentralen Luft- oder Strahlungsheizungen anzuwenden.

Tabelle 1

Ausführung des Referenzgebäudes

Zeile	Bauteile/Systeme	Eigenschaft (zu Zeilen 1.1 bis 1.13)	Referenzausführung/Wert (Maßeinheit)	
			Raum-Solltemperaturen im Heizfall ≥ 19 °C	Raum-Solltemperaturen im Heizfall von 12 bis < 19 °C
1.0	Der nach einem der in Nummer 2 oder in Nummer 3 angegebenen Verfahren berechnete Jahres-Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes nach den Zeilen 1.1 bis 8 ist für Neubauvorhaben ab dem 1. Januar 2016 mit dem Faktor 0,75 zu multiplizieren. § 28 bleibt unberührt.			
1.1	Außenwand (einschließlich Einbauten, wie Rollladenkästen), Geschossdecke gegen Außenluft	Wärmedurchgangskoeffizient	U = 0,28 W/(m²·K)	U = 0,35 W/(m²·K)
1.2	Vorhangfassade (siehe auch Zeile 1.14)	Wärmedurchgangskoeffizient	U = 1,4 W/(m²·K)	U = 1,9 W/(m²·K)
		Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung	$g_{\perp}$ = 0,48	$g_{\perp}$ = 0,60
		Lichttransmissionsgrad der Verglasung	τ_{D65} = 0,72	τ_{D65} = 0,78
1.3	Wand gegen Erdreich, Bodenplatte, Wände und Decken zu unbeheizten Räumen (außer Abseitenwänden nach Zeile 1.4)	Wärmedurchgangskoeffizient	U = 0,35 W/(m²·K)	U = 0,35 W/(m²·K)
1.4	Dach (soweit nicht unter Zeile 1.5), oberste Geschossdecke, Wände zu Abseiten	Wärmedurchgangskoeffizient	U = 0,20 W/(m²·K)	U = 0,35 W/(m²·K)
1.5	Glasdächer	Wärmedurchgangskoeffizient	U_W = 2,7 W/(m²·K)	U_W = 2,7 W/(m²·K)
		Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung	$g_{\perp}$ = 0,63	$g_{\perp}$ = 0,63
		Lichttransmissionsgrad der Verglasung	τ_{D65} = 0,76	τ_{D65} = 0,76
1.6	Lichtbänder	Wärmedurchgangskoeffizient	U_W = 2,4 W/(m²·K)	U_W = 2,4 W/(m²·K)
		Gesamtenergiedurchlassgrad	$g_{\perp}$ = 0,55	$g_{\perp}$ = 0,55

Abbildung 4 Tabelle 1 Anlage 2 EnEV 2014, Ausschnitt

- Der **bauliche Wärmeschutz** des zu errichtenden Nichtwohngebäudes, ausgedrückt durch spezifische mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten für opake und transparente Außenbauteile und ggf. Vorhangfassaden darf nicht schlechter sein als das nach EnEV in **Anlage 2 Tabelle 2** hierfür definierte Niveau. Bis einschließlich 31.12.2015 gelten dieselben Kennwerte wie nach EnEV 2009.
  Ab dem 01.01.2016 gelten im Fall von Raumsolltemperaturen ≥ 19°C um ca. 20 % verschärfte Anforderungswerte. Diese Verschärfung ist nicht auf Gebäudezonen mit mehr als 4 m Raumhöhe mit dezentralen Gebläse- oder Strahlungsheizungen anzuwenden. Für Zonen mit Raumsolltemperaturen von 12 bis < 19°C bleiben die Anforderungswerte auch 2016 unverändert.

Tabelle 2

Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsfläche von Nichtwohngebäuden

Zeile	Bauteile	Anforderungsniveau	Höchstwerte der nach Nummer 2.3 bestimmten Mittelwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten	
			Zonen mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall ≥ 19 °C	Zonen mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall von 12 bis < 19 °C
1a	Opake Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeilen 3 und 4 enthalten	nach EnEV 2009 *	$\bar{U}$ = 0,35 W/(m²·K)	$\bar{U}$ = 0,50 W/(m²·K)
1b		für Neubauvorhaben bis zum 31. Dezember 2015 **	$\bar{U}$ = 0,35 W/(m²·K)	
1c		für Neubauvorhaben ab dem 1. Januar 2016 **	$\bar{U}$ = 0,28 W/(m²·K)	
2a	Transparente Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeilen 3 und 4 enthalten	nach EnEV 2009 *	$\bar{U}$ = 1,9 W/(m²·K)	$\bar{U}$ = 2,8 W/(m²·K)
2b		für Neubauvorhaben bis zum 31. Dezember 2015 **	$\bar{U}$ = 1,9 W/(m²·K)	
2c		für Neubauvorhaben ab dem 1. Januar 2016 **	$\bar{U}$ = 1,5 W/(m²·K)	
3a	Vorhangfassade	nach EnEV 2009 *	$\bar{U}$ = 1,9 W/(m²·K)	$\bar{U}$ = 3,0 W/(m²·K)
3b		für Neubauvorhaben bis zum 31. Dezember 2015 **	$\bar{U}$ = 1,9 W/(m²·K)	
3c		für Neubauvorhaben ab dem 1. Januar 2016 **	$\bar{U}$ = 1,5 W/(m²·K)	
4a	Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	nach EnEV 2009 *	$\bar{U}$ = 3,1 W/(m²·K)	$\bar{U}$ = 3,1 W/(m²·K)
4b		für Neubauvorhaben bis zum 31. Dezember 2015 **	$\bar{U}$ = 3,1 W/(m²·K)	
4c		für Neubauvorhaben ab dem 1. Januar 2016 **	$\bar{U}$ = 2,5 W/(m²·K)	

Abbildung 5 Tabelle 2 Anlage 2 EnEV 2014, Ausschnitt

Durch die explizite Ausnahmeregelung von *Gebäudezonen mit mehr als 4 m Raumhöhe, die durch dezentrale Gebläse- oder Strahlungsheizungen beheizt werden*[4] berücksichtigt der Verordnungsgeber die Wechselwirkung zwischen EnEV und EEWärmeG [11, 12] für dezentral beheizte Hallengebäude:

- Für Hallengebäude gestaltet sich die Einhaltung des EEWärmeGs oft schwierig, da das Gesetz deutlich auf die Verhältnisse von Wohngebäuden zugeschnitten ist und die Besonderheiten von Hallengebäuden nicht berücksichtigt. Besonders bei dezentral mit dem Energieträger Gas beheizten Hallen gelingt die Erfüllung der Anforderungen des EEWärmeGs i.d.R. nur durch die Ersatzmaßnahme der (zusätzlichen) *Einsparung von Energie* – bei dieser müssen für

[4] Anlage 2, Punkt 1.1.2 und Punkt 1.3 EnEV [7, 10]

eine vollständige Erfüllung der jeweilige Höchstwert des Jahresprimärenergiebedarfs und die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz gemäß EnEV um mindestens 15 % unterschritten werden.

- Gleichzeitig führt die EnEV 2014 ihrerseits eine Verschärfung der Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz und den Primärenergiebedarf ein. Für Gebäude, welche das EEWärmeG fast ausschließlich durch die *Einsparung von Energie* einhalten können, ergäbe sich damit ein ungleich höheres und unter Beachtung des Wirtschaftlichkeitsgebots i.d.R. nicht vertretbares Anforderungsniveau.

Der Standpunkt des Verordnungsgebers hierzu ist sinngemäß auch in der Begründung zum Regierungsentwurf der EnEV 2014 aus dem Jahr 2012 [14] nachzulesen:

> Zu Zeile 3.4 (Heizung bei Raumhöhen > 4m):
>
> Auf Grund der neugefassten DIN V 18599-5: 2011-12 werden die bisherigen Festlegungen redaktionell fortgeschrieben und präzisiert. Materielle Änderungen sollen damit nicht verbunden werden. Eine Festlegung analog zu Zeile 3.1 ist für dezentrale Systeme nicht umsetzbar. Die stark eingeschränkte Möglichkeit der Nutzung erneuerbarer Energien führt bei hallenartigen Gebäuden in der Praxis häufig dazu, dass die Nutzungspflicht nach dem EEWärmeG durch die Ersatzmaßnahme „Verbesserter Wärmeschutz“ erfüllt wird. Damit ist hier kein Spielraum zur wirtschaftlich vertretbaren Verschärfung der Anforderungen (z. B. durch eine verbesserte Referenzanlage) gegeben.

Abbildung 6 Begründung zur Fortschreibung und Nicht-Verschärfung der Ausführung des Referenzgebäudes für dezentral beheizte Hallen [14]

Die wesentlichsten Anwendungsfälle der EnEV – hierunter informativ auch bezüglich Maßnahmen an Bestandsgebäuden - sind nachfolgend im Überblick als Tabelle 2 zusammengefasst. Abbildung 8 stellt den Nachweis der wesentlichen auf dem Energiebedarfsausweis zu quittierenden Bestehenskriterien der EnEV schematisch dar.

Abbildung 7 Fertigungshallen (Quelle: Fa. Goldbeck West GmbH, Bielefeld)

Tabelle 2 EnEV 2014: wesentliche Anwendungsfälle und Nachweiskriterien, Auswahl

Anwendungsfall	Wodurch wird die Pflicht ausgelöst?			An welche Kenngrößen oder Eigenschaften bestehen Anforderungen?		In welcher Form ist die Erfüllung der Pflicht nachzuweisen?	Wer muss die Erstellung des Nachweises auslösen?	Wer muss/darf den Nachweis erstellen?
Neubau	Errichtung eines Gebäudes		§§ 4, 6, 7	• Primärenergiebedarf[1)] • Baulicher Wärmeschutz[1)] • Wärmebrücken • Luftdichtheit, Mindestluftwechsel • Sommerlicher Wärmeschutz		Energiebedarfsausweis	Bauherr	Ausstellungsberechtigter gemäß jeweils gültiger EnEV-Durchführungs-verordnung[3)]
Maßnahmen an Bestandsgebäuden	Änderungen an Bauteilen der thermischen Hülle nach Anlage 3 Nummern 1-6 EnEV, wenn mehr als 10 % der jeweiligen Bauteilfläche geändert werden		§ 9 Absätze 1-3	alternativ	• Baulicher Wärmeschutz[1)] oder	Unternehmererklärung über EnEV-konforme Ausführung der Arbeiten	Ausführender Unternehmer	Ausführender Unternehmer
					• Primärenergiebedarf[2)]	Energiebedarfsausweis[4)]	Bauherr	Ausstellungsberechtigter gemäß § 21 EnEV
	Erweiterung/Ausbau eines Gebäudes	• Hinzukommende Nutzfläche ≤ 50 m²	§ 9 Absatz 4	• Baulicher Wärmeschutz[1)]		nicht durch EnEV geregelt	nicht durch EnEV geregelt	nicht durch EnEV geregelt
		• Hinzukommende Nutzfläche > 50 m²		• Baulicher Wärmeschutz[1)] • Sommerlicher Wärmeschutz		nicht durch EnEV geregelt	nicht durch EnEV geregelt	nicht durch EnEV geregelt
		• Hinzukommende Nutzfläche > 50 m² und • zusätzlich Einbau eines neuen Wärmeerzeugers		• Primärenergiebedarf[2)] • Baulicher Wärmeschutz[2)] • Sommerlicher Wärmeschutz		Energiebedarfsausweis[4)]	nicht durch EnEV geregelt	Ausstellungsberechtigter gemäß § 21 EnEV

1) Berücksichtigung des verschärften Anforderungsniveaus ab 01.01.2016; Ausnahmen für *Gebäudezonen mit mehr als 4 m Raumhöhe, die durch dezentrale Gebläse- oder Strahlungsheizungen beheizt werden*

2) Bezug auf das Anforderungsniveau nach EnEV 2009

3) Die Berechtigung zur Nachweiserstellung wird nicht bundeseinheitlich durch die EnEV geregelt – sie fällt unter die Befugnis der Länder.

4) Die Art des und Erbringung des Nachweises der Pflichterfüllung wird nicht explizit in der EnEV geregelt. Allerdings erscheint nur der Energiebedarfsausweis als Mittel geeignet um die Einhaltung der bestehenden Anforderungen zu quittieren.

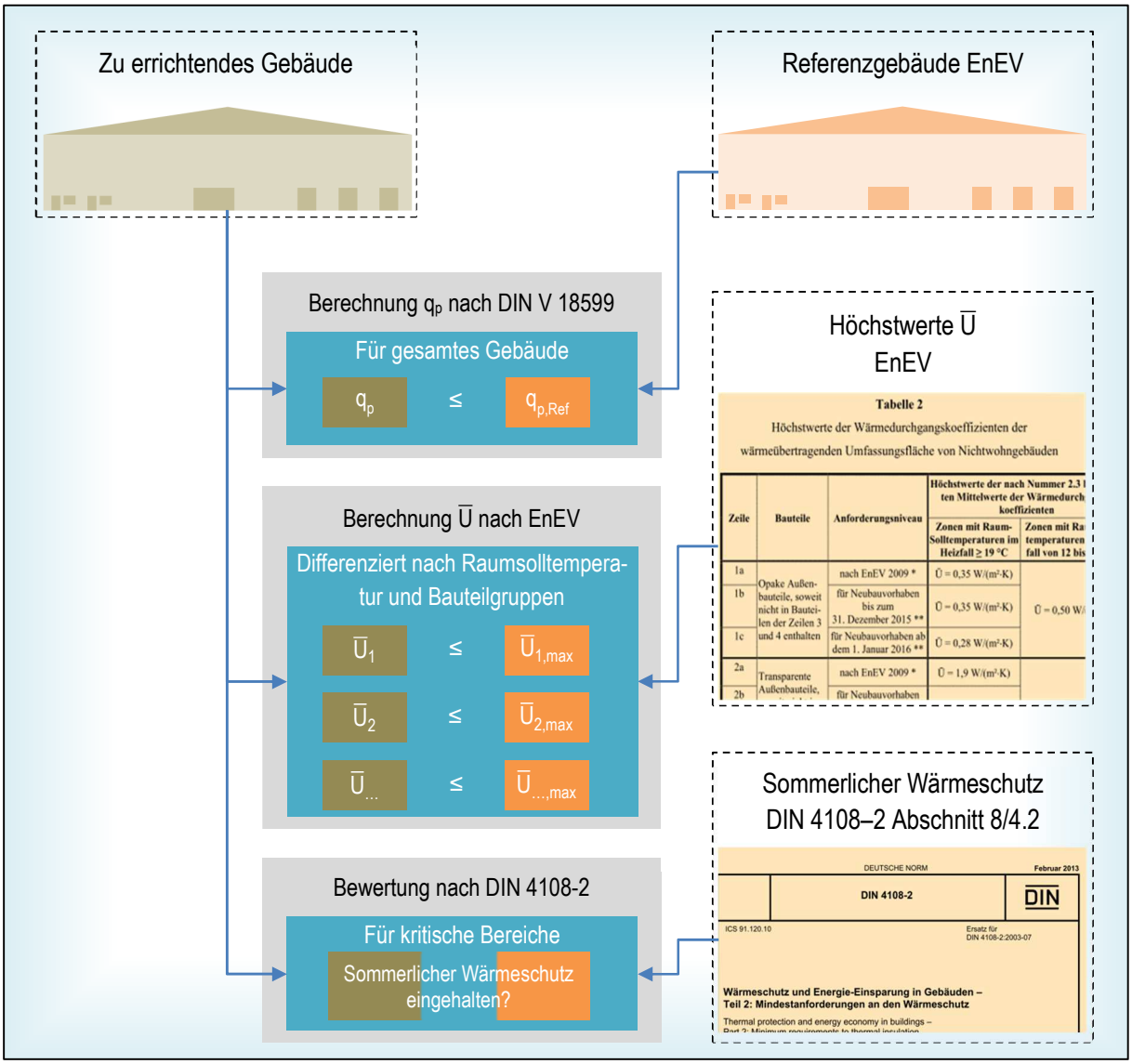


Abbildung 8 Wesentliche EnEV-Anforderungen (Kriterien des Energiebedarfsausweises) für Nichtwohngebäude

3.2 Anforderungen des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (2011)

Neben der EnEV in ihrer aktuell gültigen Fassung müssen im Neubau die Anforderungen des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes EEWärmeG 2011 berücksichtigt werden.

Durch das EEWärmeG wird in Deutschland auf Bundesebene[5] festgelegt, welcher Anteil des Energiebedarfs für Heizen, Kühlen und Warmwasserbereitung eines zu errichtenden Gebäudes durch erneuerbare Energien zu decken ist. Dabei unterscheidet das Gesetz zwischen verschiedenen Formen erneuerbarer Energien und bietet dementsprechend unterschiedliche Erfüllungsoptionen an.

Neben der Erfüllung durch die unmittelbare Nutzung erneuerbarer Energien führt das Gesetz sogenannte *Ersatzmaßnahmen* auf, welche auch dann eine Einhaltung des Gesetzes erlauben, wenn für ein Bauvorhaben im Geltungsbereich[6] des EEWärmeGs die Nutzung erneuerbarer Energien nicht möglich oder ökologisch/wirtschaftlich nicht sinnvoll ist. Als

[5] In Baden-Württemberg schreibt darüber hinaus seit dem 1. Januar 2010 das Erneuerbare-Wärme-Gesetz (EWärmeG) als Landesgesetz eine 10-prozentige Nutzung erneuerbarer Energien beim Austausch von Heizungsanlagen vor. Das Landesgesetz bezieht sich bisher allerdings nur auf Wohngebäude, Hallengebäude fallen bisher nicht unter seine Bestimmungen. Am 09.12.2014 wurde nun vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg ein Entwurf zur Novellierung des EWärmeG-BW vorgelegt, das die Nutzungspflicht erneuerbarer Energien auf 15 Prozent erhöht und auf Nichtwohngebäude ausdehnt. Gewerbliche und industrielle Hallengebäude sind allerdings im Entwurf vom Geltungsbereich des Gesetzes ausgenommen.

[6] Der Geltungsbereich des EEWärmeG in Bezug auf Nichtwohngebäude entspricht zunächst vollständig dem Geltungsbereich der EnEV. Zusätzlich ausgenommen sind Gebäude, die vom Treibhausgas-Emissionsgesetz erfasst sind sowie teilweise Gebäude der Bundeswehr (§4 EEWärmeG [10, 11]).

Ersatzmaßnahmen gelten insbesondere die Nutzung von Abwärme und Maßnahmen zur zusätzlichen Einsparung von Energie gegenüber dem EnEV-Anforderungsniveau.

Das EEWärmeG erlaubt explizit die anteilige Anrechnung und Kombination aller im Gesetzestext aufgeführten Erfüllungsoptionen. Hierbei sind alle Erfüllungsoptionen gleichermaßen nutzbar; das Gesetz sieht also keine Priorisierung von Optionen vor – z.B. derart, dass erst alle anderen infrage kommenden Maßnahmen auszuschöpfen seien, bevor auf Ersatzmaßnahmen zurückgegriffen wird.

Tabelle 3 Möglichkeiten zur Erfüllung des EEWärmeG [11, 12]

Erfüllung EEWärmeG zu 100 %			Einschränkungen / zusätzliche Anforderungen
Nutzung erneuerbarer Energien			
Solare Strahlungsenergie	15 %[1)]	Deckung der Erzeugernutzwärmeabgabe (Nutzenergie, Übergabe-, Verteil- und Speicherverluste) durch die Anlage zur Nutzung der jeweiligen erneuerbaren Energie	Zertifizierung der Kollektoren: „Solar Keymark“
Feste Biomasse	50 %		Einhaltung der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen und Mindestwert Kesselwirkungsgrad
Flüssige Biomasse	50 %		Erfüllung Nachhaltigkeitsverordnung und Einsatz mit Brennwertkessel
Gasförmige Biomasse mit KWK	30 %		Nutzung nur in KWK-Anlagen (+ Anforderungen KWK) und Einhaltung von Nachhaltigkeitsforderungen
Gasförmige Biomasse mit Brennwertkesseln	30 %		Nur anrechenbar für Bestandsgebäude der öffentlichen Hand
Geothermie und Umweltwärme	50 %		Wärmemengen- und "Stromzähler" und Mindestwerte JAZ
Ersatzmaßnahmen			
Anlagen zur Nutzung von Abwärme	50 %	Deckung der Erzeugernutzwärmeabgabe (Nutzenergie, Übergabe-, Verteil- und Speicherverluste) durch die Anlage zur Nutzung der jeweiligen erneuerbaren Energie	Bei Nutzung durch Wärmepumpen: Anforderungen wie bei Geothermie und Umweltwärme Bei Nutzung mit Wärmeübertrager in zentraler Lüftungsanlage: Wärmerückgewinnungsgrad (WRG-Grad) ≥ 70 % und Leistungszahl ≥ 10 (Begriffsdefinition: die Leistungszahl ist das Verhältnis zwischen Abwärmenutzung [kW] und Stromeinsatz bei der WRG [kW]) Sonstige Nutzung: nach Stand der Technik
KWK-Anlagen	50 %		Nutzung hocheffizienter Anlagen: Primärenergieeinsparung gegenüber getrennter Erzeugung von Wärme und Elektroenergie
Maßnahmen zur Einsparung von Energie	-15 %	bezogen auf Anforderungen EnEV	$q_P \leq 0{,}85 * q_{p,Ref}$ und $\overline{U} \leq 0{,}85 * \overline{U}_{max}$ bzw. $H'_T \leq 0{,}85 * H'_{T,max}$
Nah-/Fernwärme, anteilig aus erneuerbaren Energien	Nah-/Fernwärmeerzeugung gemäß oben stehender Maßnahmen und Anforderungen		

1) Für Wohngebäude gilt die Anforderung als erfüllt, wenn die Aperturfläche, je nach Anzahl der Wohneinheiten, 3 bzw. 4 % der Nutzfläche beträgt.

Bei Kombination mehrerer Erfüllungsoptionen sind die relativen Erfüllungsgrade aller einbezogenen Optionen zu addieren. Das EEWärmeG ist eingehalten, wenn sich ein **Gesamterfüllungsgrad** ≥ 1 bzw. ≥ 100 % ergibt.

$$\text{Gesamterfüllungsgrad} = \sum_{\substack{\text{alle}\\ \text{genutzten}\\ \text{Optionen O}}} [\text{Erfüllungsgrad}_O] = \sum_{\substack{\text{alle}\\ \text{genutzten}\\ \text{Optionen O}}} \left[\frac{\text{Deckungsanteil}_{O,\,\text{ist}}}{\text{Deckungsanteil}_{O,\,100\%}}\right]$$

Die Art und Weise der Berechnung des (Gesamt-)Erfüllungsgrades – normalerweise aus der Kombination mehrerer Erfüllungsoptionen – bewirkt allerdings auch, dass die abstrakte Rechengröße i.d.R. nicht für einen anschaulichen Vergleich verschiedener Gebäude-Anlagen-Szenarios geeignet ist.

Die notwendigen Berechnungen und Eingangsgrößen, ggf. Zwischenergebnisse der Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599, sind ausführlich in DIN V 18599 Beiblatt 2 (2012-06) [15] beschrieben.

Seit Inkrafttreten der ersten Gesetzesfassung im Januar 2009 wurde die Erfüllung des EEWärmeG bei Nichtwohngebäuden nach den Erfahrungsberichten zum EEWärmeG zu über 70% auf dem Wege der Ersatzmaßnahmen realisiert – aus zahlreichen vorliegenden EnEV-

Nachweisen für Hallen aus dem Zeitraum 2010 bis 2014 liegt die Vermutung nahe, dass bei Hallengebäuden dieser Anteil prozentual noch höher liegt.

Mit der Novellierung des EEWärmeGs 2011 wurde der Geltungsbereich des Gesetzes auf öffentliche Bestandsgebäude erweitert, um die Vorbildfunktion des öffentlichen Gebäudebereichs zu verankern. Für Bestandsgebäude der öffentlichen Hand wurde die Erfüllungsmöglichkeit des Gesetzes durch direkte wärmetechnische Nutzung gasförmiger Biomasse in Brennwertkesseln eingeführt. Für andere Gebäude bleibt die direkte wärmetechnische Nutzung von Biogas als Erfüllungsmöglichkeit des Gesetzes weiterhin ausgeschlossen.

Abbildung 9 Werkstatt (Quelle: Fa. Goldbeck West GmbH, Bielefeld)

Abbildung 10 Großmärkte (Quelle: Fa. Goldbeck West GmbH, Bielefeld

4 Energetische Bewertung: Berechnungsverfahren DIN V 18599

Die (Vor-)Normenreihe DIN V 18599 **[16]** beschreibt ein Verfahren zur Berechnung des Energiebedarfs, welcher für die Konditionierung (Heizung, Beleuchtung, etc.) eines Gebäudes unter definierten Nutzungsbedingungen notwendig ist. Das Verfahren berücksichtigt die wesentlichsten

- bauphysikalischen Eigenschaften des Gebäudes,
- energetisch relevanten Parameter der Anlagentechnik zur Konditionierung des Gebäudes und
- Randbedingungen der Nutzung.
- Mit dem universellen Verfahren können
- Wohn- und Nichtwohngebäude jeweils als
- Neubauten oder auch Bestandsgebäude
- mit marktüblichen Konditionierungssystemen

abgebildet werden.

Bei Energiebedarfsberechnungen für Nichtwohngebäude im Rahmen der Energieausweiserstellung nach EnEV muss das Berechnungsverfahren nach DIN V 18599 angewendet werden – damit ist es zwingend auch bei der Energieausweiserstellung für Hallengebäude einzusetzen.

Da sich viele Formen des Nachweises der Einhaltung des EEWärmeGs auf Ergebnisse der Energiebedarfsberechnung nach EnEV stützen, ist die DIN V 18599 auch für diesen Nachweis bei Nichtwohngebäuden i.d.R. unabdingbar.

Für die Berechnungen ist im Rahmen des **Nachweisverfahrens nach EnEV** stets ein nach DIN V 18599-10:2011-12 fest definiertes **Referenzklima** anzuwenden. So ist ein gewisser Grad an Vergleichbarkeit der Energiebedarfswerte von Gebäuden an verschiedenen Standorten gegeben. Im Rahmen von **Energieberatungen**, welche nicht zwingend an sämtliche Vorgaben der EnEV gebunden sind, darf mit individuellen Klimadaten gerechnet werden, um die tatsächliche Gebäudesituation (einschließlich Standort) möglichst genau abzubilden.

4.1 Normteile, Energiebilanzierung und Berechnungsablauf

Die Normenreihe umfasst 11 Teile und weist einen Gesamtumfang von etwas mehr als 1.000 Seiten auf.

Teil 1 beschreibt die energetische Gesamtbilanzierung einer Gebäudezone oder eines Gebäudes, unter Einbeziehung der weiteren Normteile, bis hin zu einer primärenergetischen Bewertung. Es wird also auch der Aufwand für Erschließung, Transport und Bereitstellung der im Gebäude genutzten Energie berücksichtigt.

Teil 2 beschreibt die Nutzenergiebilanz für einen Raum bzw. eine Zone.

Die **Teile 3 bis 8** befassen sich mit den einzelnen Konditionierungsarten (3: Luftaufbereitung, 4: Beleuchtung, 5: Heizung, 6: Lüftungs- und Luftheizanlagen in Wohngebäuden, 7: Raumlufttechnik und Kälte in Nichtwohngebäuden, 8: Warmwasserbereitung) sowie den hierzu verwendeten Systemen bzw. Anlagen.

Teil 9 ermöglicht die Einbeziehung stromproduzierender Anlagen.

Teil 10 führt katalogartig alle für die Berechnung notwendigen Nutzungsrandbedingungen für eine Vielzahl möglicher Gebäudenutzungen auf und enthält Klimadaten für die Berechnung

Mit **Teil 11** kann der energetische Einfluss von Gebäudeautomationssystemen bewertet werden.

Das relativ komplexe und sehr umfangreiche Berechnungsverfahren ist praktisch nur mit speziellen Softwareprogrammen handhabbar. Für die Erstellung von Energiebedarfsberechnungen nach DIN V 18599 sind viele Berechnungsprogramme marktverfügbar und etabliert. Einige Software-Lösungen basieren auf einem einheitlichen Rechenkern, welcher durch das Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP18599) entwickelt wird, einige auf herstellerspezifischen Umsetzungen des Berechnungsalgorithmus.

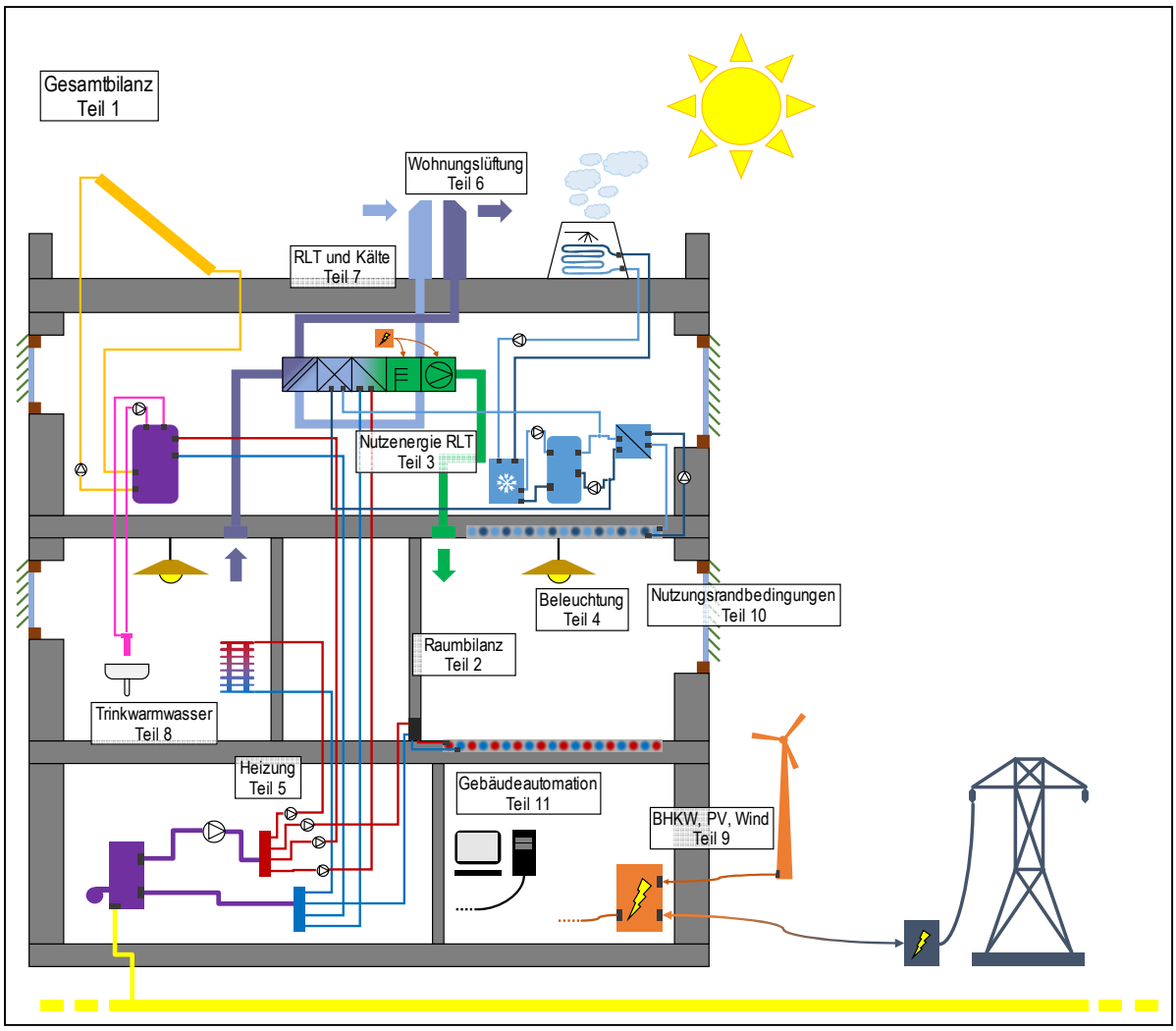


Abbildung 11 Übersicht über die Teile der DIN V 18599 [16]

Die Energiebilanzierung nach DIN V 18599 beginnt auf der **Nutzenseite** – also dem Ort der Konditionierung, z.B. einem zu beheizenden Raum – mit der Ermittlung des Nutzenergiebedarfs. In der weiteren Berechnung werden dem Nutzenergiebedarf sukzessive Energieverluste durch die Anlagentechnik und schließlich für die Bereitstellung der Energie bis zur Gebäudegrenze aufgeschlagen.

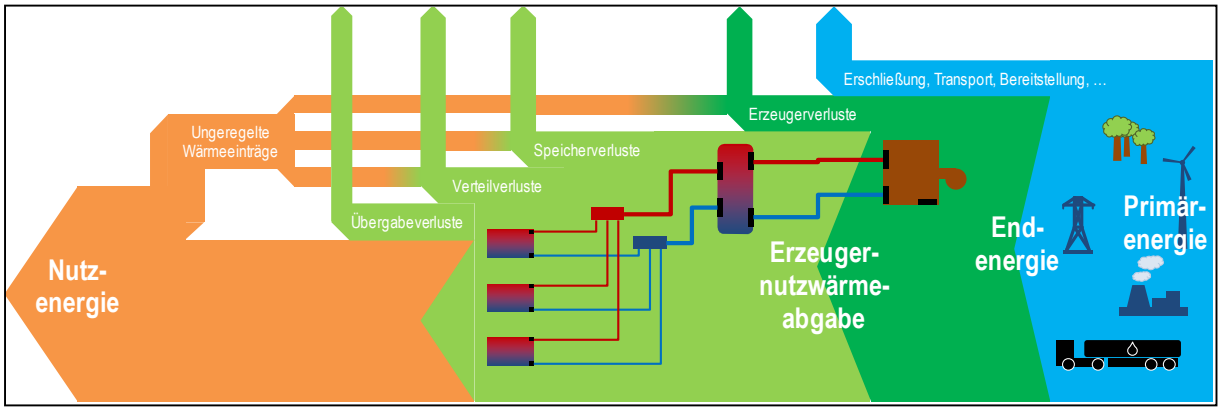


Abbildung 12 Energiefluss zwischen Nutz- und Primärenergie nach DIN V 18599, Beispiel Heizung

Dabei berücksichtigt das Verfahren durch einen iterativen Ansatz auch, dass sich Energieverluste der Anlagentechnik bereits als ungeregelte Energieeinträge in der Nutzenergiebilanz bemerkbar machen können, z.B. wenn Wärmeverteilleitungen im zu beheizenden Bereich verlegt sind und diesen somit anteilig beheizen. Der iterative Teil des Verfahrens umfasst die Nutzenergiebilanz unter Berücksichtigung der ungeregelten Energieeinträge aus der Anlagentechnik (vgl. auch Abbildung 13).

Hinweise zum Iterationsverfahren:

Üblicherweise zeigen sich kleiner werdende Abweichungen zwischen den jeweiligen Ergebnissen der Iterationsrechnungen – die Folge der einzelnen Iterationsergebnisse konvergiert also gegen einen Grenzwert, welcher das korrekte Berechnungsergebnis darstellt. Allerdings kann es auch vorkommen, dass die Iterationsergebnisse um den gedachten Grenzwert „pendeln“ und die Abweichung zwischen den Iterationsergebnissen nicht weiter sinkt. Die Norm formuliert für den iterativen Teil der Berechnung zwei Abbruchkriterien:

- Zwei aufeinanderfolgende Iterationsergebnisse weichen um höchstens 0,1 % voneinander ab.
- Die Iteration wurde bereits 10-mal durchlaufen.

Wie schon angedeutet, wird nicht in jeder Berechnung das Konvergenzkriterium erreicht. In solchen Fällen greift das zweite Abbruchkriterium und beendet die Iteration nach 10 Durchläufen. Allerdings wird ein solcher Iterationsabbruch von einigen Berechnungsprogrammen durch einen Hinweis oder sogar eine auffällige Warnung gekennzeichnet und wirft für den Anwender damit die Frage auf, ob seine Energiebedarfsberechnung nun belastbare Ergebnisse liefert oder nicht. In aller Regel – wenn die Berechnung keine groben Eingabefehler aufweist – kann davon ausgegangen werden, dass der Iterationsabbruch nach 10 Durchläufen ohne Erreichen des Konvergenzkriteriums sich nur geringfügig auf die Berechnungsgenauigkeit auswirkt und für die Belastbarkeit der Endergebnisse unkritisch ist. Von einer Manipulation der Eingabedaten in der Software zur Vermeidung des „Konvergenz-Problems“ – z.B. dem Platzieren von Rohrleitungen oder Wärmeerzeugern außerhalb von beheizten Zonen, obwohl sie sich eigentlich darin befinden – sollte abgesehen werden, da sich hierdurch deutlich größere Fehler ergeben können.

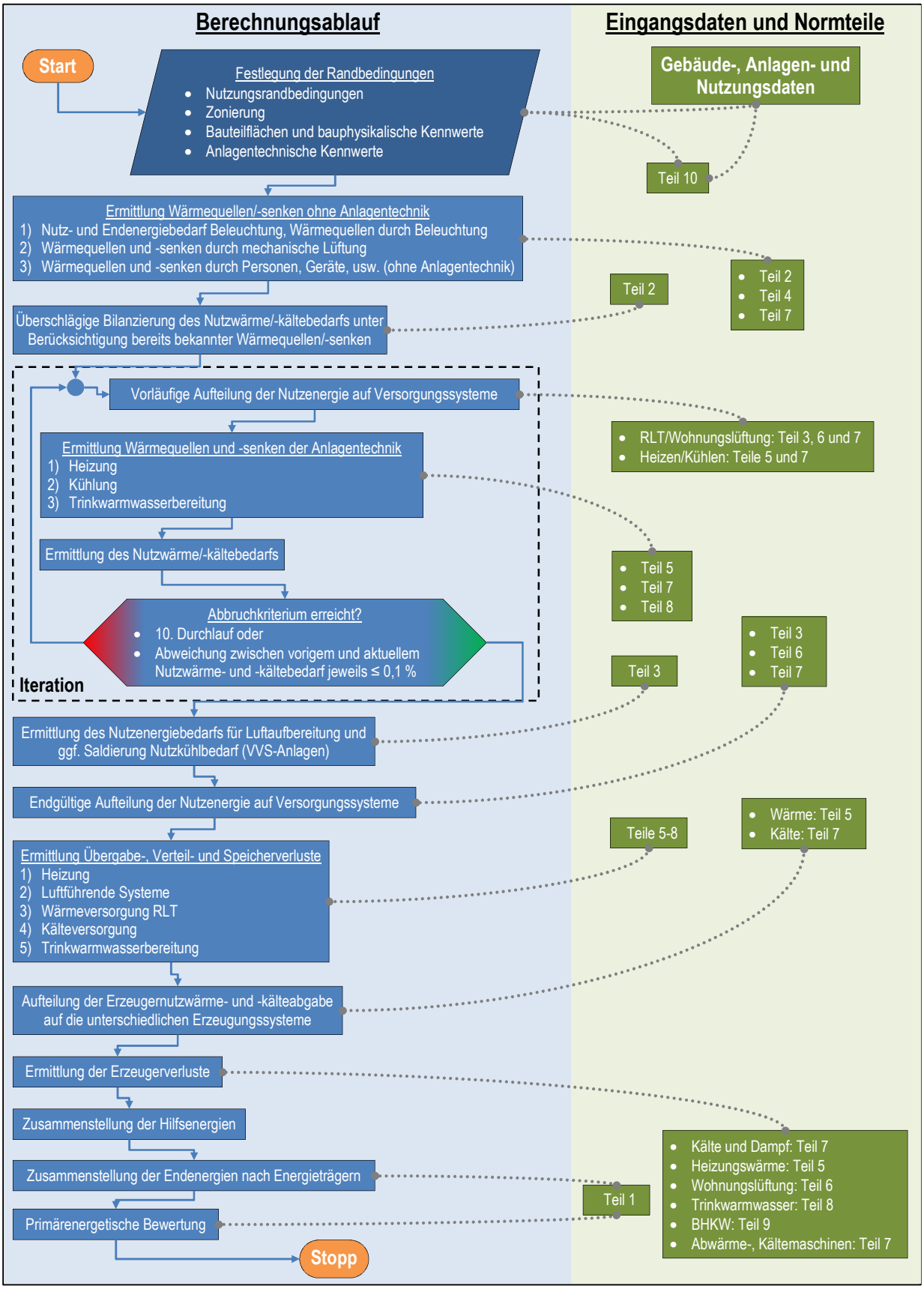


Abbildung 13 Energiebedarfsberechnung für Nichtwohngebäude nach DIN V 18599-1:2011-12 [16]

4.2 Neuerungen der Normenreihe DIN V 18599 – Ausgabe 2011

Die EnEV 2009 bezog sich zur energetischen Bewertung von Nichtwohngebäuden, darunter auch Hallen, auf die Normenreihe *DIN V 18599* in der Fassung *2007-02* [17]. Die Normenreihe erfuhr zwischenzeitlich eine umfangreiche Revision zur Anpassung des Berechnungsverfahrens an den Stand der Technik, zur Behebung von Schwachstellen des Verfahrens oder Korrektur von Berechnungsfehlern sowie auch zur redaktionellen Überarbeitung. Im Dezember 2011 wurde die Revision mit der Veröffentlichung der neuen Normfassung [16] abgeschlossen. Die am 01. Mai 2014 in Kraft getretene neue Energiesparverordnung *EnEV 2014* [7, 10] bezieht sich auf diese aktuelle Fassung *2011-12* der DIN V 18599.

Neben der inhaltlichen und redaktionellen Überarbeitung wurde die Norm in ihrer Fassung *2011-12* um einen Teil 11 erweitert, mit dem der Einfluss der Gebäudeautomation auf den Energiebedarf des Gebäudes berücksichtigt werden kann.

Die nachfolgend auszugsweise aufgeführten Änderungen des Normenwerkes wirken sich wesentlich auf die Bewertung von Hallengebäuden und der darin typischerweise eingesetzten Anlagentechnik aus. Die Änderungen beruhen wesentlich auf Ergebnissen des Forschungsprojektes *Gesamtanalyse Energieeffizienz Hallengebäude* (*GAEEH* [18])

Nutzungsprofile (DIN V 18599 Teil 10)

- Anpassung Standardnutzungsprofil Turnhallen (31 / A.33)
- Ersetzung der bisherigen 2 Standardnutzungsprofile (22.1 und 22.2) durch nun 3 Standardnutzungsprofile
    - 22.1/A.22 – schwere, stehende Tätigkeit – Solltemperatur Heizung 15°C
    - 22.2/A.23 – mittelschwere, überwiegend stehende Tätigkeit – Solltemperatur 17°C
    - 22.3/A.24 – leichte, überwiegend sitzende Tätigkeit – Solltemperatur 20°C

  für gewerbliche und industrielle Hallen – mit Anpassung der Nutzungsparameter

Abbildung 14 Links: Dunkelstrahl-Installation in Fertigungshalle (Quelle: Fa. Kübler GmbH, Ludwigshafen); rechts: Hellstrahler-Installation in Fertigungshalle (Quelle: Fa. Schwank GmbH, Köln)

Lüftungsverluste und Gebäudedichtheit (DIN V 18599 Teile 2 und 10)

- Bei Berechnungen nach DIN V 18599:2007 wurden die Energieverluste durch Lüftungsvorgänge mittels Infiltration in Hallengebäuden tendenziell überbewertet. In der neuen Norm findet diesbezüglich eine gewisse Korrektur statt[7] durch die Formulierung

[7] Die neue Normfassung setzt den zugrundeliegenden Änderungsvorschlag (GAEEH [18]) nur teilweise um. U.a. bezieht die aktuelle Norm-Umsetzung – anders als der zugrundeliegende Änderungsvorschlag und physikalisch wenig plausibel – auch erdreichberührende Bodenflächen bei der Ermittlung der „infiltrierten Hüllfläche“ ein. Dieser Aspekt kann sich besonders für Hallengebäude, bei welchen die i.d.R. sehr großen und praktisch luftdicht ausgeführten Bodenflächen einen wesentlichen Anteil der Gesamthüllfläche ausmachen, nachteilig auswirken.

der Bemessungswerte der Luftdurchlässigkeit (Infiltration) als hüllflächenbezogene Werte (q_{50}) anstelle bisher volumenbezogener Werte (n_{50}) für Gebäude mit Nettoraumvolumen > 1500 m³.

Hallenheizsysteme – Bilanzabschnitt Wärmeerzeugung (DIN V 18599 Teil 5)

- Berücksichtigung kondensierend betriebener dezentraler Warmlufterzeuger
- Berücksichtigung zusätzlicher Abgaswärmenutzung bei dezentralen Strahlungsheizungssystemen mit Hell- oder Dunkelstrahlern
- Berücksichtigung der Leistungsregelung von dezentralen Hallenheizsystemen
- Anpassung der Hilfsenergiefaktoren für geregelte Motoren in Hallenheizsystemen

Hallenheizsysteme – Bilanzabschnitt Wärmeübergabe (DIN V 18599 Teil 5)

- Berücksichtigung verschiedenen Zeitverhaltens von Fußbodenheizungssystemen und dessen Wirkung auf die spezifischen Transmissionsverluste bei zeitlich unterbrochenem Betrieb in Abhängigkeit von der Höhenlage der aktiven Schicht in der Bodenplatte
- Berücksichtigung zusätzlicher Unterkategorien der Wärmeübergabesysteme bei Warmluftheizungen und Deckenstrahlplatten
- Berücksichtigung spezifischer Transmissionsverluste bei Installation von Deckenstrahlplatten in Wandnähe
- Einbeziehung des Lufttemperaturanstieges über der Raumhöhe als anschauliche systemspezifische Kenngröße
- Differenziertere Berücksichtigung des Strahlungseinflusses der Wärmeübergabesysteme
- Berücksichtigung von Produktwerten der Strahlungseffizienz bei Systemen mit Hellstrahlern und Dunkelstrahlern.

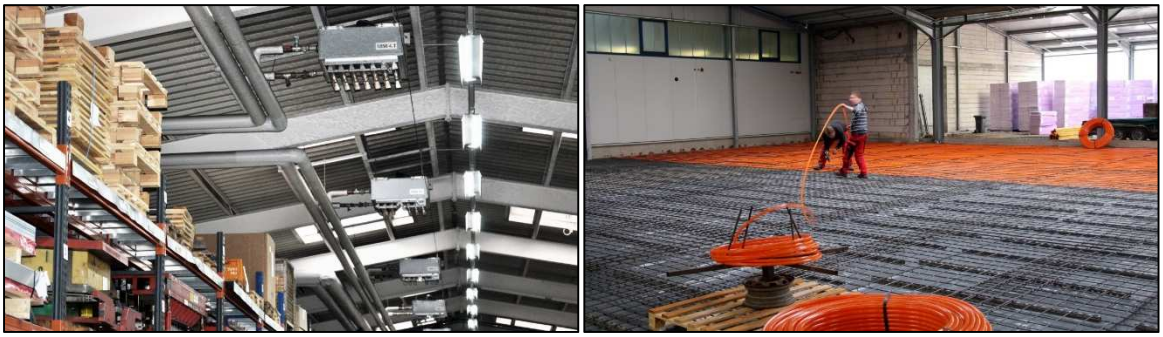


Abbildung 15 Links: Luftheizer (Quelle: Fa. Wolf GmbH, Mainburg); rechts: Verlegung einer Industrie-Fußbodenheizung (Quelle BFV, Hagen)

Hinweis

Die Neuerungen der energetischen Bewertung in der überarbeiteten Norm können im Vergleich mit Normstand 2007-02 zu abweichenden Berechnungsergebnissen (bei gleichen Eingabedaten) führen. Diese Veränderung ist unabhängig von der für 2016 anstehenden Verschärfung des Anforderungsniveaus der EnEV 2014.

5 Kategorie Hallengebäude

Hallen oder Hallengebäude im Sinne dieses Leitfadens bestehen überwiegend aus Großräumen, ggf. mit angrenzenden Räumen anderer Nutzung (z.B. Büro- oder Sozialräumen), die im weitesten Sinne der Verrichtung gemeinschaftlicher Arbeit, der Herstellung, Montage, Lagerung und dem Handel/Verkauf von Gütern oder der Ausübung sportlicher oder kultureller Aktivitäten dienen – wie z.B.:

- größere Werkstätten, Räume für Handwerk und Service
- Fertigungs- und Montagehallen aller Art
- Gebäude des (öffentlichen) Verkehrs wie Reparatur- oder Wartungshallen von Schienenfahrzeugen und Bussen, Waschhallen, Eisenbahnausbesserungswerke
- Schiffswerften
- Flugzeughangars
- Lager- und Logistikhallen
- landwirtschaftliche Betriebsgebäude
- größere Verkaufsmärkte wie Baumärkte, teilweise Handelshäuser
- Ausstellungs- und Versammlungsräume
- Kulturgebäude wie Theater, Museen etc.
- Sporthallen
- Mehrzweckhallen

Abbildung 16 Sport- und Mehrzweckhallen (Quelle: Fa. Goldbeck West GmbH, Bielefeld)

Hallengebäude stellen von ihrer Gebäudestruktur und Nutzungsart eine sehr heterogene Unterkategorie der Nichtwohngebäude dar und fallen in aller Regel in den Geltungsbereich der EnEV (vgl. auch 2.2, Unterkapitel *Energieeinsparverordnung EnEV (2014)*). Nach den

Ergebnissen neuerer, vom BMVBS im Rahmen des Forschungsprogramms „Zukunft Bau“ geförderter Studien (u.a. GAEEH [18] und LIÖR 2011 [19]) liegt der Bestand an Hallen in Deutschland zwischen 420.000 und 481.000 Gebäuden und repräsentiert damit ca. 15% des Endenergiebedarfs an Raumwärme aller Gebäude am Industriestandort Deutschland.

Als gemeinsame Merkmale von Hallengebäuden können identifiziert werden:

- i.d.R. kommerzieller oder gewerblicher Nutzungszweck (außer öffentliche Gebäude)
- zusammenhängende Großräume mit 100 bis über 50.000 m² Nettogrundfläche
- Raumhöhen von > 4 m bis über 20 m
- Ausführung i.d.R. ohne Unterkellerung; Bodenplatte grenzt an Erdreich
- häufig tageszeitlich begrenzte Nutzung (z.B. 1-schichtiger Betrieb einer Fertigungshalle)
- in vielen Fällen Veränderung der Nutzung im Laufe des Lebenszyklus
- häufig niedrigere Soll-Innentemperaturen als in Wohn-, Verwaltungs-, Büro- oder Schulgebäuden.

Hallen werden in der EnEV nicht explizit als separate Gebäudekategorie benannt, ihre Besonderheiten werden in den EnEV-Anforderungen durch das Merkmal der Raumhöhe > 4 m teils implizit berücksichtigt.

Abbildung 17 Innenansicht Lager- und Logistikhallen (Quelle: Fa. Alpha Industrial GmbH, Köln)

Die spezifischen Anforderungen an die Raumkonditionierung von Hallen (Beheizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung, Warmwasser) resultieren oft nicht nur aus dem Aufenthalt von Personen, sondern auch - mitunter vorrangig oder ausschließlich - aus der technologischen Nutzung des Gebäudes. Der Energiebedarf für die technologische Nutzung (Prozesse, Antriebe, Maschinen, Transport) kann den Bedarf für die Konditionierung bei weitem übersteigen - umgekehrt liegen in vielen Fällen Abwärmepotenziale vor, die möglicherweise für die Raumkonditionierung genutzt werden können.

5.1 Typisierung von Hallengebäuden

Aus themennahen Studien bzw. Untersuchungen (u.a. [18, 19]) und auf Basis systematischer Expertenbefragungen im Rahmen dieses Projektes wurden 5 Gebäudetypen[8] abgeleitet, die modellhaft für den Gesamtbereich Hallengebäude stehen können.

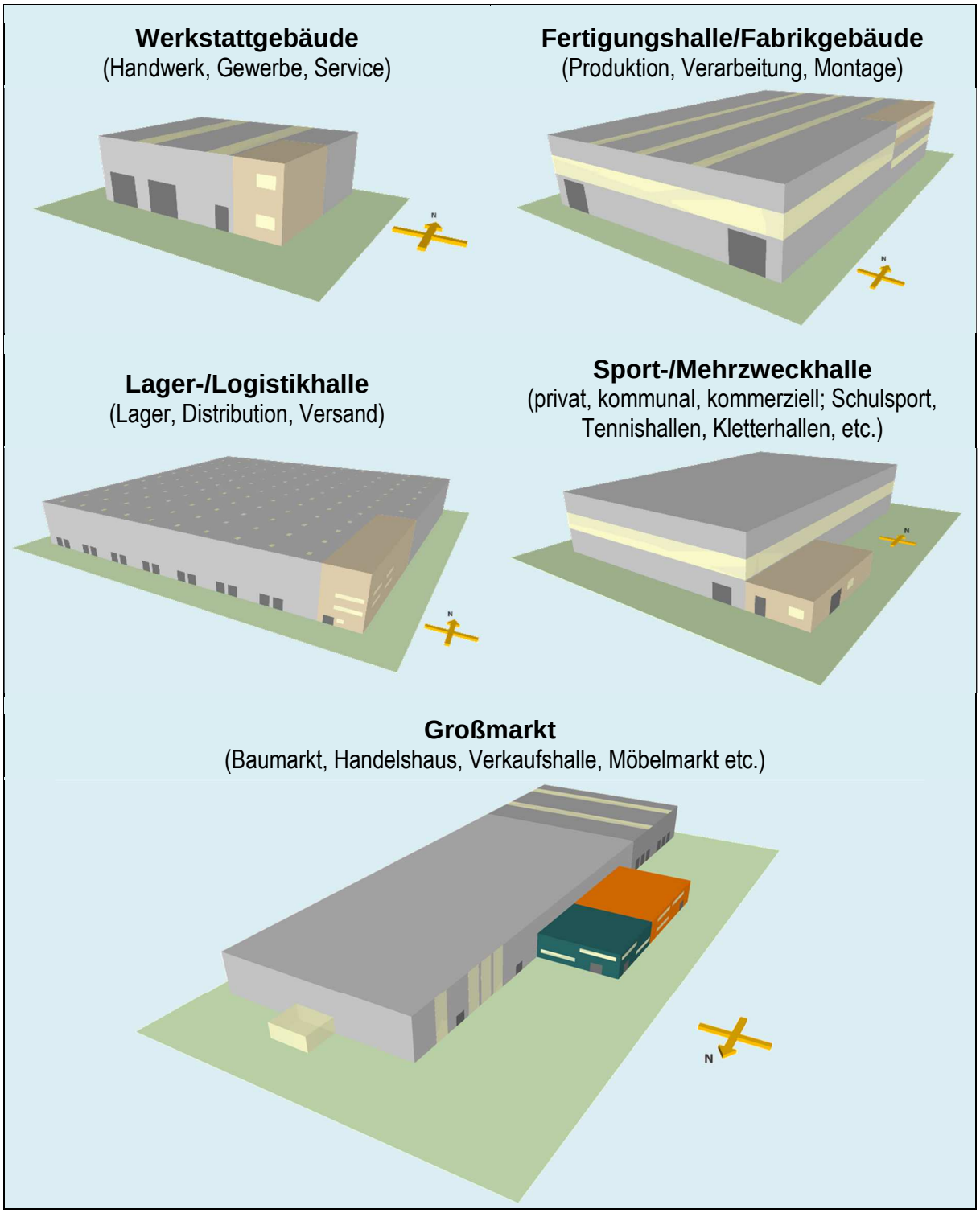


Abbildung 18 Modellgebäude Hallen

Für alle 5 Modellgebäude werden typische Kubaturen, Hüllflächenaufbauten und im Weiteren Anlagentechnik-Varianten definiert. Die so beschriebenen Modellgebäude werden nachfolgend für die Darstellung der Erfüllungsmöglichkeiten von EnEV und EEWärmeG auf Grundlage beispielhafter Energiebedarfsberechnungen herangezogen (7).

Die Auswahl der Randbedingungen stützt sich auf umfangreiche Experteninterviews und die Auswertung zahlreicher (Hallen-)Energieausweise zu umgesetzten Bauvorhaben. Bei der Auswertung der vorliegenden ca. 75 EnEV-Nachweise aus realisierten Hallengebäuden des Zeitraums 2009 bis 2014 (Datum des Bauantrages bzw. EnEV-Nachweises) kann festgestellt werden, dass alle betrachteten Gebäude bis auf eine Ausnahme die EnEV-Anforderungen bezüglich des maximalen mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten – differenziert nach Temperaturniveau – sowie des zulässigen Primärenergiebedarfes nicht nur erreichen, sondern in den meisten Positionen deutlich übererfüllen. Dieses Ergebnis korrespondiert mit der Erkenntnis, dass die absolut überwiegende Anzahl neu errichteter Hallengebäude im o.g. Zeitraum die Erfüllung des EEWärmeG auf dem Wege der Übererfüllung der EnEV-Anforderungen (zusätzliche Einsparung von Energie) realisiert.

Die Auswertung der EnEV-Nachweise lässt ferner – differenziert nach den 5 Modellgebäuden - typische Merkmale des Objektes/Gebäudes, seines Hüllflächenaufbaus, seiner Nutzung und seiner Anlagentechnik erkennen. Die Beschreibung einer vorwiegenden Ausprägung bestimmter Merkmale der Modellgebäude bedeutet keineswegs, dass andere Ausprägungen oder Eigenschaften nicht vorhanden wären – dazu sind die Objekt- und Nutzungsbedingungen von Hallen viel zu heterogen.

Die wesentlichsten Ergebnisse der statistischen Auswertung der vorliegenden Energieausweise sind stichpunktartig für die fünf zuvor herausgearbeiteten Modellgebäude in Tabelle 4 zusammengefasst. Tabelle 4 gibt damit eine Übersicht über wichtige Gebäudemerkmale von Hallen, wie sie in jüngster Zeit errichtet wurden (Betrachtungszeitraum 2009-2014, errichtet im Geltungsbereich der EnEV 2009) – sie beinhaltet allerdings keine Prognosen zur Ausführung zukünftig errichteter Gebäude.

[8] Nicht berücksichtigt im Rahmen der Modellgebäude werden:

a. Lebensmittelmärkte – neben der häufig geringeren Raumhöhe sind für die Raumkonditionierung die Vorgaben der Verkaufsstättenverordnungen sowie i.d.R. ein erheblicher Kühlbedarf für Güter von Relevanz
b. Kultur- und Versammlungsgebäude – hier spielen neben den Vorgaben der Versammlungsstättenverordnung die Individualität von Gebäude und Nutzung eine zentrale Rolle
c. Schwimmhallen – wegen ihrer besonderen Nutzungsstruktur und der spezifischen energetischen Anforderungen werden Schwimmhallen vom Untersuchungsumfang dieser Studie ausgenommen.

Tabelle 4 Übersicht Objektrandbedingungen Hallengebäude nach Experteninterviews und Auswertung von 75 EnEV-Nachweisen (Errichtungs-Zeitraum 2009 – 2014)

		Fertigungshallen	Werkstattgebäude	Logistikhallen	Großmärkte	Sporthallen
Objektmerkmale		i.d.R. Nutzung durch Eigentümer	(keine generellen Merkmale)	Invest-Ziel: spätere Vermarktbarkeit, Bedeutung einer Zertifizierung (DGNB, BREEAM, LEED) nimmt zu	bei großen Ketten: teilweise Anspruch auf Green Building Standard	Vorwiegend Öffentliche Gebäude / Schulsporthalle mit Bezug auf kommunal. Energiepolitik, teilweise Passivhausanspruch
Zonierung		2 bis 8 Zonen	2 bis 5 Zonen	2 bis 9 Zonen	5 bis 12 Zonen	3 bis 7 Zonen
Hüllfläche	**Boden**	i.d.R. nur Randdämmung	überwiegend vollflächige Dämmung	i.d.R. nur Randdämmung	Randdämmung oder vollflächige Dämmung	i.d.R. vollflächige Dämmung Sporthalle
	Wand	i.d.R. Leichtbauweise mit Betonsockel	i.d.R. Leichtbauweise, teilweise mit Betonsockel	i.d.R. Leichtbauweise mit Betonsockel	Leichtbauweise mit Betonsockel oder Betonelemente / WDVS	i.d.R. massiv oder Porenbeton mit vorgesetztem WDVS
	Dach	i.d.R. Leichtbauweise	i.d.R. Leichtbauweise	i.d.R. Leichtbauweise	i.d.R. Leichtbauweise	unterschiedlich
	Besonderheit	teilweise sehr große Raumhöhen	teilweise großer Toranteil	große Raumhöhen, große Anzahl von Toren mit Überladebrücken	mittlere Raumhöhen (5,5 – 9 m)	mittlere Raumhöhen (6 –10 m)
	Dichtheit	überwiegend mit blower door test	teilweise mit blower door test	überwiegend mit blower door test	teilweise mit blower door test	überwiegend mit blower door test
Konditionierung	**spez. Vorgaben**	Geltung ASR	Geltung ASR	Geltung ASR	Geltung ASR u. Verkaufsstättenverordnung	Bezug DIN EN 13779 (Lüftung NWG)
	Heizung	stark nutzungsabhängig, dezentrale Heizsysteme o. zentrales Kesselhaus	stark nutzungs-/objektabhängig	vorwiegend Dunkelstrahler	überwiegend zentraler Erzeuger mit Lufterhitzern und Deckenstrahlplatten	in städtischen Gebieten: oft Fern- oder Nahwärme, sonst zentrale Erzeuger z.T. der Schule, WÜ-Sporthalle: oft DSP, auch FBH und LH
	Warmwasser	Bedarf unterschiedlich, teils dezentral elektrisch, teils mit zentralem Erzeuger	Bedarf unterschiedlich, teils dezentral elektrisch, teils mit zentralem Erzeuger	Bedarf gering, i.d.R. dezentral elektrisch	Bedarf gering, teils dezentral elektrisch, teils mit zentralem Erzeuger	Bedarf hoch, i.d.R. mit zentralem Erzeuger, teilweise Solarthermie
	Beleuchtung	Standard stabförmige Leuchtstofflampen mit EVG, zunehmend LED	Standard stabförmige Leuchtstofflampen mit EVG, zunehmend LED	Standard stabförmige Leuchtstofflampen mit EVG, zunehmend LED	Hoher Bedarf (Verkauf 600-700 Lux) Standard stabförmige Leuchtstofflampen mit EVG, zunehmende LED	Standard stabförmige Leuchtstofflampen mit EVG, zunehmend LED
	RLT	in Einzelfällen, nutzungsspezifisch	i.d.R. keine	i.d.R. keine	Standard Lüftungsanlage mit WRG, oft in Kombination mit Luftheizung	teilweise RLT mit WRG
	Kühlung	i.d.R. keine	i.d.R. keine	i.d.R. keine	teilweise, mit RLT-Funktion	i.d.R. keine
	Besonderheiten	teilweise hohe innere Wärmelasten aus Maschinen, Prozessen etc.	teilweise hohe Lüftungsverluste durch Toröffnungen	teilweise niedrige Solltemperaturen (z.B. 12-15°C im Lagerbereich, höhere Werte im Kommissionierbereich)	teilweise lokal differenzierte Konditionierung in der Halle	abhängig von Belegung/ Zuschauerbereich Lüftungsbedarf
Technologischer Nutzenergiebedarf		i.d.R. hoch, damit Abwärmepotenzial, Ausprägung jedoch individuell	i.d.R. vorhanden, Ausprägung jedoch individuell	i.d.R. keiner	i.d.R. keiner	i.d.R. keiner
Bemerkungen		Abwärmepotenzial hoch	teilweise Abwärmepotenzial	Abgaswärmenutzung DS möglich	Abwärmepotenzial Beleuchtung hoch	
Primärenergiebedarf		ca. 80 – 240 kWh/m²a	ca. 100 – 240 kWh/m²a	ca. 60 – 200 kWh/m²a	ca. 100 - 260 kWh/m²a	ca. 100 - 200 kWh/m²a
Erfüllung EEWärmeG		i.d.R. über Ersatzmaßnahme zusätzliche Einsparung von Energie (EnEV - 15 %)	i.d.R. über Ersatzmaßnahme zusätzliche Einsparung von Energie (EnEV - 15 %)	i.d.R. über Ersatzmaßnahme zusätzliche Einsparung von Energie (EnEV - 15 %)	teilweise über Ersatzmaßnahme zusätzliche Einsparung von Energie und WRG, teilweise WP	Einsparung von Energie (EnEV - 15 %), WRG plus Fernwärme mit KWK oder GWP, evtl. Solarthermie

5.2 Hüllflächenaufbau / Außenbauteile

Die typischen Hüllflächenaufbauten moderner Hallen – mit teilweiser Ausnahme von Sporthallen und Kulturstätten – ähneln sich stark; sie werden überwiegend in sehr leichter Bauweise errichtet. Die verbreitete Leichtbauweise ergibt sich aus den Anforderungen an die meist kommerziell genutzten Hallengebäude, wie z.B.

- Umbauung großer nutzbarer Raumvolumina (großes Volumen-Hüllflächen-Verhältnis),
- mit witterungsunabhängigen, möglichst kurzen Bau-/Montagephasen
- bei minimalem Material-/Kosteneinsatz.

Umfangreiche Simulationsrechnungen der Uni Kassel im Rahmen der Studie *GAEEH* [18] belegen die physikalisch naheliegende Vermutung, dass das thermische Verhalten von modernen Hallengebäuden im Laufe einer Heizperiode aufgrund der geringen thermischen Speicherkapazität von Wand- und Dachflächen in Leichtbauweise – im Unterschied etwa zu typischen Wohn- oder Geschossgebäuden – ganz überwiegend durch die Bodenplatte und z.T. auch deutlich durch die Halleneinrichtung (Maschinen, Lagergut etc.) bestimmt wird.

5.2.1 Anforderung nach EnEV

Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient $\overline{U}$

Zur Quantifizierung der Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz von Nichtwohngebäuden definiert die EnEV den zulässigen mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten $\overline{U}$. Er wird als flächengewichteter Mittelwert über die U-Werte aller Außenbauteile eines betrachteten Gebäudeabschnitts berechnet. Hierbei muss nach verschiedenen Bauteilgruppen und Temperaturbereichen unterschieden werden – der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient ist zu berechnen

- für die Gesamtheit aller Zonen[9] mit Temperaturen zwischen 12 und < 19 °C,
- für die Gesamtheit aller Zonen[9] mit Temperaturen ≥ 19 °C,
- ab 01.01.2016 jeweils ggf. noch nach dezentral beheizten Hallenbereichen und sonstigen Bereichen differenziert und
- in allen Fällen jeweils über
    - alle opaken Außenbauteile außer Tore/Türen,
    - Glasdächer, Lichtbänder und Lichtkuppeln (Dach) sowie
    - alle sonstigen transparenten Außenbauteile (Wand).

$$\overline{U}_x = \frac{\sum_x [U_x * A_x]}{\sum_x [A_x]}$$

mit:
- U… Wärmedurchgangskoeffizient
- A… Bauteilfläche
- x… Bauteilkategorie (z.B. alle opaken Außenbauteile aller Zonen mit $\theta < 19$ °C)

Bei der Berechnung des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten über opake Außenbauteile ist auch der Boden einzubeziehen, allerdings nur bis zu einem Abstand von 5 m zur jeweils nächsten Außenwand[10] und zusätzlich mit einem Faktor von 0,5 gewichtet (*Anlage 2 Nummer 2.3*).

[9] Die EnEV führt hierzu aus, dass *[die] Berechnung [des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten $\overline{U}$] […] für Zonen mit unterschiedlichen Raum-Solltemperaturen getrennt durchzuführen [ist].* Nach Rücksprache mit dem Verordnungsgeber entspricht diese zonenweise Betrachtung jedoch nicht seiner Intention; stattdessen sollen alle Zonen mit 12 °C ≤ θ < 19 °C und alle Zonen mit θ ≥ 19 °C jeweils zu einer Gruppe zusammengefasst betrachtet werden – analog zur Differenzierung der heranzuziehenden Anforderungswerte (vgl. Abbildung 5). Ab 01.01.2016 soll eine zusätzliche Unterscheidung in dezentral beheizte Hallenbereiche (sofern vorhanden) und sonstige Bereiche erfolgen.

[10] Bodenflächen, die mehr als 5 m von der jeweils nächsten Außenwand entfernt sind, sind nicht in die Berechnung von $\overline{U}$ einzubeziehen.

Außentüren und Tore werden bei der Berechnung des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der opaken Außenbauteile nicht einbezogen[11]. Für Außentüren wird dies explizit durch den Text der EnEV geregelt. Für Tore erfolgt eine Klarstellung durch die *Auslegungsfragen zur Energieeinsparverordnung Staffel 20* [20] – diese Regelung gilt auch für nicht genannte Sondereinbauten in Öffnungen von Nichtwohngebäuden wie Förderanlagen, Warenautomaten, Ladebrücken, usw.

Programme zur Berechnung von Energiebedarfswerten nach EnEV für Nichtwohngebäude geben üblicherweise auch mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten aus und prüfen diese auf die Einhaltung (Nichtüberschreitung) der EnEV-Grenzwerte – dies ist als ein Kriterium der Einhaltung der EnEV auf dem Energieausweis zu quittieren.

Hinweis: Nach Erfahrung der Autoren geben zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Leitfadens einige Programme[12] falsche $\overline{U}$-Wert für opake Außenbauteile aus. Dem Anschein nach wird in diesen Fällen die Bodenplatte, welche gemäß EnEV i.d.R. nur anteilig zu berücksichtigen ist (Randstreifen 5 m), nicht korrekt in die Berechnung einbezogen. Im Nachweisfall sollten die mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten für opake Außenbauteile, welche die Energieberatungs-Software ausgibt, daher überschlägig kontrolliert und ggf. durch eine korrigierte händische Berechnung ersetzt werden.

Die zulässigen Höchstwerte des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten sind in *Anlage 2 Tabelle 2* EnEV [7, 10] festgeschrieben (Tabelle 5, siehe auch Abbildung 5)[13].

Tabelle 5 Höchstwerte $\overline{U}$ [7, 10]

Zeile	Bauteile	Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten [W/m²K]		
		Zonen mit θ ≥ 19 °C		Zonen mit 12 °C ≤ θ < 19 °C
		bis 31.12.2015	ab 01.01.2016	
1	Opake Außenbauteile	0,35	0,28	0,50
2	Transparente Außenbauteile (Wand)	1,9	1,5	2,8
3	Vorhangfassaden	1,9	1,5	3,0
4	Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln (Dach)	3,1	2,5	3,1

Mit der Verschärfung der Anforderungen der EnEV ab dem 01.01.2016 verringern sich auch die maximal zulässigen $\overline{U}$-Werte für Zonen mit Solltemperaturen ≥ 19 °C. Jedoch sind diese Verschärfungen – analog zur Verschärfung des maximal zulässigen Primärenergiebedarfs – nicht auf Zonen mit dezentralen Hallenheizungen und Raumhöhen > 4 m anzuwenden. Somit ist bei der Berechnung des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten ab 2016 ggf. eine andere Kategorisierung anzuwenden als bis zum 31.12.2015 (Tabelle 6).

[11] Darüber hinaus sind Außentüren und Tore nicht gleichzusetzen. Bei der Berechnung des Primärenergiebedarfs sind beide Elemente separat zu berücksichtigen. Für Außentüren ist hierbei der U-Wert zur Ausführung des Referenzgebäudes durch die EnEV vorgeschrieben. Für Tore erfolgt hingegen keine Festlegung des U-Wertes der Referenzausführung – es sind daher im Referenzgebäude dieselben Eigenschaften wie im ausgeführten bzw. zu errichtenden Gebäude zu unterstellen [23, 20].

[12] Die von den Autoren verwendeten Programme basieren auf dem IBP18599-Rechenkern. Es ist jedoch nicht bekannt, ob die entsprechende Berechnung Teil des IBP18599-Rechenkerns ist oder durch den jeweiligen Softwarehersteller individuell implementiert wird.

[13] Im Rahmen von energieeffizienzbezogenen Förderprogrammen, können andere Anforderungen gelten als im Rahmen der EnEV – so ziehen einige KfW-Förderprogramme (hier besonders 242-244) beispielsweise nicht die gemäß EnEV maximal zulässigen Werte von H_T' bzw. $\overline{U}$ heran, sondern die entsprechenden Werte des EnEV-Referenzgebäudes.

Tabelle 6 Bauteilkategorisierung bei der Berechnung des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten $\overline{U}$ [10, 20]

	Hallenmerkmale	$\theta_{i,h,soll}$	zusammenzufassende Bauteile
bis 31.12.2015	Gesamtheit aller Zonen (keine Unterscheidung)	≥ 19 °C	Opake Außenbauteile nach *Zeile 1** Transparente Außenbauteile nach *Zeile 2** usw.
		< 19 °C	*– wie oben –*
ab 01.01.2016	**Neue Kategorie:** Gesamtheit aller Zonen mit Raumhöhen > 4 m und dezentraler Hallenheizung	≥ 19 °C	*– wie oben –*
		< 19 °C	*– wie oben –*
	Gesamtheit aller sonstigen Zonen	≥ 19 °C	*– wie oben –*
		< 19 °C	*– wie oben –*

* *Tabelle 2 Anlage 2* EnEV [7, 10]

Berücksichtigung von Wärmebrücken

Wärmebrückenzuschlag

Der gemäß EnEV nach DIN V 18599 anzusetzende pauschale Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} dient vorwiegend zur Berücksichtigung konstruktiver Wärmebrücken durch Errichtung bzw. Montage des Gebäudes, wie z.B.

- Anschlussfugen,
- Laibungen,
- geometrische Wärmebrücken.

Der Zuschlag darf ohne Nachweis i.d.R. mit 0,10 W/m²K angesetzt werden[14]. Bei Einhaltung der Regelkonstruktionen nach DIN 4108 Beiblatt 2 oder Nachweis gleichwertiger Ausführung ist eine Verringerung auf 0,05 W/m²K zulässig. Alternativ dürfen Wärmebrücken, z.B. auf Basis von Wärmebrückensimulationen, detailliert in die Berechnung einbezogen werden – dies empfiehlt sich bei hochwärmegedämmten Gebäuden in sehr wärmebrückenarmer Bauweise, da hier mit dem pauschalen Wärmebrückenzuschlag nach DIN V 18599 immer eine deutliche Überschätzung der realen Wärmebrücken vorgenommen würde.

Bei der Berechnung des Energiebedarfs des Referenzgebäudes sind die nach *Tabelle 1 Anlage 2* EnEV [7, 10] festgelegten Wärmedurchgangskoeffizienten ebenfalls mit dem pauschalen Wärmebrückenzuschlag zu beaufschlagen. Für Zonen mit Innenraumsolltemperaturen ≥ 19 °C ist ΔU_{WB} mit 0,05 W/m²K anzusetzen, sonst mit 0,1 (*Anlage 2 Tabelle 1* EnEV).

Wärmebrücken, welche spezifisch den eingesetzten Bauteilen bzw. Bauteilsystemen zuzuordnen sind – insbesondere Durchdringungen von Dämmschichten mit Metallelementen (z.B. bei konventionellen Kassettensystemen) – werden durch den pauschalen Wärmebrückenzuschlag nach EnEV nicht erfasst. Sie sind daher bereits bei der Ermittlung der jeweiligen Bauteil-U-Werte einzubeziehen – werden hierbei zusätzlich sämtliche Anschlussfugen zwischen den einzelnen Außenwandelementen, Durchdringungen (Einbindung von Decken und durchstoßenden Wänden) und Anschlüsse an weitere Bauteile (Fenster, Dach, etc.) berücksichtigt, darf im Gegenzug die betrachtete Fläche bei der Anwendung des pauschalen Wärmebrückenzuschlags entfallen.

Bauteilspezifische Wärmebrücken

Alle Bauteil-U-Werte für Betrachtungen im Rahmen der EnEV sind als mittlere U-Werte unter Berücksichtigung bauteilspezifischer Wärmebrücken, z.B. durch

- durchgehende Armierung bei kerngedämmten Betonbauteilen,

[14] Lediglich für Innendämmungen mit durchstoßenden Massivdecken ist ein höherer Wert von 0,15 W/m²K zu verwenden.

- Blechstege und -gurte bei Kassettensystemen,
- Balken/Stützen, Lattung/Abstandshalter, etc.,
- Dübel, Verschraubungen, Klammern und sonstige Befestigungselemente,

zu ermitteln. Hierauf ist insofern zu achten, als sich Herstellerangaben zu Außenbauteilsystemen mitunter nur auf den ungestörten Bauteilbereich ohne Durchdringungen der Dämmschicht beziehen. Zur Berücksichtigung von bauteilspezifischen Wärmebrücken, welche nicht in den Bauteil-U-Werten enthalten sind, bestehen verschiedene Möglichkeiten, u.a.

- Numerisches Verfahren nach ISO 10211 und
- Berechnung nach DIN EN ISO 6946 (ggf. mit U-Wert-Korrekturen nach Anhang D).

Gefachbauteile (Balkendächer, Betonhohldecken, Holzständerwände, etc.) lassen sich in vielen Programmen zur Energiebedarfsberechnung erfassen. Einige Programme erlauben auch die rechnerische Abbildung von Bauteilen mit metallischen Durchdringungen der Dämmschichten (z.B. Befestigungselemente von Dämmsystemen oder dämmschichtdurchdringende Armierungen).

5.2.2 Beispielhafte Bauteilaufbauten und Eigenschaften der Gebäudehülle

Die nachfolgende Übersicht führt im Hallenbau typische Aufbauten von Bauteilen der thermischen Hülle auf – angesichts der Vielfalt unter real vorzufindenden Außenbauteilen in Hallengebäuden können sich in der Praxis deutliche Abweichungen zeigen. Die hier dargestellten Aufbauten und Kennwerte sind beispielhaft zu verstehen. Besonders in Bezug auf eingebaute Dämmstoffdicken wird in der Praxis die gesamte Bandbreite zwischen

- Einhaltung der gesetzlicher Mindestanforderungen unter kleinstmöglichem Aufwand und
- energetisch anspruchsvolle Ausführung bis zum Bereich *Passivhausstandard*

ausgeschöpft.

Beispielhaft werden mittlere U-Werte unter Berücksichtigung üblicher bauteilspezifischer Wärmebrücken (Armierung, Befestigungselemente, Blechgurte, etc.) angegeben – Herstellerangaben oder eigene Berechnungsergebnisse können in Abhängigkeit von der konkreten Bauteilausführung und dem gewählten Berechnungsverfahren leicht abweichen.

Bodenplatte

Bodenplatten von Hallengebäuden (Stahlbeton) grenzen i.d.R. direkt ans Erdreich. Sie werden in der Praxis bei größeren gewerblichen Hallen auch in der jüngeren Vergangenheit (Geltungszeitraum EnEV 2009) in den meisten Fällen aus Gründen der mechanischen Belastbarkeit (hohe Punktlasten durch Maschinen, Verkehr, Regalierungen) und der Wirtschaftlichkeit nur mit einer Dämmung entlang des exponierten Gebäudeumfangs (z.B. waagerechte Randdämmung 5 m) ausgeführt – vollflächige Bodendämmungen sind bei Industriehallen kaum vorzufinden; bei Hallen mit kleinerer Grundfläche wie auch bei Sporthallen sind dagegen überwiegend bzw. durchgängig vollflächige Bodendämmungen anzutreffen.

Bodenplatten[15] von Hallen zählen zu den opaken Außenbauteilen nach *Zeile 1 Tabelle 2 Anlage 2* EnEV und sind bei der Berechnung von $\overline{U}_{(Zeile\ 1)}$ lediglich bis zu einem Abstand von 5 m von der jeweils nächsten Außenwand und mit **0,5 gewichtet einzubeziehen**. Der

[15] In Übereinstimmung mit den Anforderungen der EnEV werden Fußbodenaufbauten im vorliegenden Leitfaden durch *konstruktive U-Werte* beschrieben. Diese berücksichtigen – ähnlich wie Bauteil-U-Werte nach DIN EN ISO 6946 [38] – alle Bauteilschichten des Bodenaufbaus, nicht jedoch die Eigenschaften von Kies-/Erdreichschichten unterhalb der Bodenplatte. In den nachfolgenden beispielhaften Energiebedarfsberechnungen nach DIN V 18599 wird jedoch auch der Einfluss des Erdreichs berücksichtigt (DIN EN ISO 13370 [21]).

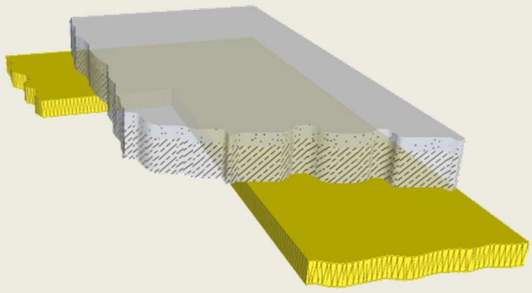
Grenzwert für die Gesamtheit aller Bauteile nach Zeile 1 beträgt aktuell 0,35 W/m² für Zonen mit θ ≥ 19 °C, ansonsten 0,50 W/m²K.

Beton-Bodenplatte (Beispiel randgedämmt)

Material	Wärmeleitwert λ [W/mK]
Estrich	1,2
Beton	2,3
Dämmung XPS 040	0,04

Dämmdicke d [cm]	U [W/m²K] (konstruktiver U-Wert)
10 (gedämmter Bereich)	0,36
5 (gedämmter Bereich)	0,64
0 (ungedämmter Bereich	ca. 3…4*)

*) Der Wärmeschutz einer für sich betrachteten Betonplatte ist relativ gering und kann schon durch kleine Variationen des Aufbaus – z.B. Dicke und Art der Beton- und ggf. Estrichschicht, Anzahl und Dicke von Folienbahnen, Verschleißschichten, etc. – deutlich beeinflusst werden. Daher ergibt sich im Vergleich zu gedämmten Aufbauten ein verhältnismäßig großer Variationsbereich für den U-Wert.



Hinweise

- In der Bestimmung des **mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten** für ans Erdreich grenzende Bodenplatten bleiben Bodenflächen unberücksichtigt, welche mehr als 5 m von der jeweils nächsten Außenwand entfernt sind (*Abschnitt 2.3 Anlage 2* EnEV 2014)[16]. Damit folgt die EnEV der physikalischen Annahme, dass ein relevanter Transmissionsverlust an das Erdreich bei Gebäuden mit größerer Grundfläche im eingeschwungenen Zustand, d.h. nach einigen Heizperioden, im Wesentlichen nur im Randbereich erfolgt. Die Richtigkeit dieser pauschalen Annahme hängt naturgemäß stark von der konkreten Bodenbeschaffenheit des Objektes ab – insbesondere vom Feuchtegehalt des Erdreiches und der Grundwassernähe.
- Bei der Berechnung der **Transmissionswärmeverluste** über die Bodenplatte zur Ermittlung des Primärenergiebedarfs wird die gesamte Bodenfläche, also auch der ggf. ungedämmte Kernbereich, einbezogen – der im Vergleich zur Transmission über außenluftberührende Bauteile geringere Wärmeverlust an das Erdreich wird hierbei entweder
    - durch Berechnung des stationären Wärmetransferkoeffizienten nach DIN EN ISO 13370:2008-04 [21] oder
    - vereinfacht durch Korrekturfaktoren

  angenähert. Hierbei stellt der *stationäre Wärmetransferkoeffizient* das allgemeingültig anwendbare Standardverfahren dar[17]. Die *Temperaturkorrekturfaktoren* als vereinfachter Ansatz dürfen ausschließlich für nur beheizte Zonen angewendet werden. Nach Erfahrung der Autoren empfiehlt sich bei Hallen ohnehin die Anwendung des stationären Wärmetransferkoeffizienten, da mit den alternativ anwendbaren Temperaturkorrekturfaktoren i.d.R. deutlich höhere Wärmeverluste über Erdreich ermittelt werden und die Einhaltung der EnEV-Anforderung an den

[16] Während die EnEV 2009 an dieser Stelle noch die Wahl gelassen hat, entweder die gesamte Bodenfläche oder nur einen 5 m breiten Randstreifen entlang der Außenwände in die Berechnung von $\overline{U}$ einzubeziehen, lässt die überarbeitete Formulierung der EnEV 2014 hier keine Wahlmöglichkeit mehr – Flächen, welche mehr als 5 m von der jeweils nächsten Außenwand entfernt sind, dürfen demnach bei der Berechnung von $\overline{U}$ nicht berücksichtigt werden. Das Vorhandensein bzw. die Ausführung einer Wärmedämmung im Kernbereich der Bodenplatte hat somit keinen Einfluss auf den berechneten $\overline{U}$-Wert.

[17] Die Berechnung von Transmissionswärmeverlusten an bzw. über das Erdreich sind in *Abschnitt 6.2.4* DIN V 18599-2:2011-12 [16] geregelt. Es kann davon ausgegangen werden, dass alle Programme zur Energiebedarfsberechnung und Energieausweiserstellung beide Verfahren beherrschen. Bei einigen Programmen ist jedoch der – für Hallen oft ungeeignete – vereinfachte Ansatz mit Temperaturkorrekturfaktoren als „Standard“ voreingestellt.

Primärenergiebedarf und ggf. weiterer hierauf aufbauender Anforderungen (EEWärmeG, Förderprogramme, etc.) erschwert wird.

- Neben den Anforderungen der EnEV sind generell die allgemein anerkannten Regeln der Technik einzuhalten. Bezüglich des Mindestwärmeschutzes ist hier die – auch durch die EnEV referenzierte – DIN 4108-2 in ihrer aktuellen Fassung *2013-02* [22] heranzuziehen. Die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2:2013-02 dürften durch die meisten heutzutage im Hallenbau üblichen Bauweisen i.d.R. deutlich übererfüllt werden. Eine Ausnahme können hier ungedämmte Bodenplatten darstellen. Allerdings bezieht die DIN 4108-2:2013-02 die Anforderung an den Mindestwärmeschutz erdreichberührender Bodenplatten – ähnlich zur EnEV-Berechnung von $\overline{U}$ – nur auf einen 5 m breiten Randstreifen entlang der Außenwände. Bodenplatten mit waagerechter Randdämmung in Anlehnung an die Anforderungen der EnEV dürften die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz somit auch für dieses Bauteil i.d.R. deutlich übererfüllen. Darüber hinaus stellt der Verordnungsgeber in den *Auslegungsfragen zur EnEV Staffel 20* [20] klar, dass die Mehrzahl der Anforderungen von DIN 4108-2 an den Mindestwärmeschutz von Außenbauteilen nur auf beheizte Räume ($\theta \geq 19$ °C, typische Aufenthaltsräume) anzuwenden ist – der Anforderungswert der DIN 4108-2 an Bodenplatten gegen Erdreich gilt somit nicht für niedrig beheizter Hallen(bereiche).
- Bei industriellen Hallen wird mitunter aus Gründen der Tragfähigkeit der Bodenplatte gänzlich auf waagerechte Bodendämmung verzichtet und stattdessen eine senkrechte Außendämmung relativ weit ins Erdreich hinunter geführt (senkrechte Perimeterdämmung). Diese Ausführung der Randdämmung von Bodenplatten wird weder in der EnEV noch in der DIN 4108-2 explizit behandelt. Der Verordnungsgeber hat hierzu in den *Auslegungsfragen zur Energieeinsparverordnung – Teil 19* unter Bezug auf DIN V 18599-2 jedoch klargestellt, dass energetische Gleichwertigkeit zwischen beiden Ausführungen näherungsweise dann gegeben ist, *wenn anstelle der 5 m breiten, waagerechten [Randdämmung] eine 2 m hohe, senkrecht angeordnete Dämmung mit demselben Wärmedurchlasswiderstand eingebaut wird* [23]. Soll also das zu errichtende Gebäude mit einer **2 m hohen senkrechten Perimeterdämmung** ausgeführt werden, darf diese bei der Berechnung von $\overline{U}$ auf dieselbe Art und Weise einbezogen werden wie eine 5 m breite waagerechte Randdämmung mit demselben Wärmedurchlasswiderstand. Dieser Argumentation kann prinzipiell auch im Rahmen des Nachweises der Einhaltung des Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108-2 gefolgt werden – sofern notwendig.

<u>Hinweis der Autoren</u>

Die durch die EnEV in Bezug genommene DIN 4108-2:2013-02 stellt keine Anforderungen an den Wärmeschutz von Bodenplatten niedrig beheizter Räume ($\theta < 19$ °C). Die Autoren empfehlen aus Gründen der Energieeffizienz und Behaglichkeit eine geeignete Dämmung der Bodenplatte zumindest im Randbereich (horizontale Randdämmung der Bodenplatte oder senkrechte Perimeterdämmung).

Außenwand

Die Außenwände von modernen Industriehallen werden in den meisten Fällen überwiegend aus Blechkassettensystemen oder aus großflächigen Sandwich-Isolierpaneelen[18] errichtet. Im Sockelbereich mit Höhen zwischen etwa 0,3 und 3 m kommen oft mechanisch belastbarere

[18] Der Sandwichaufbau besteht innen sowie außen aus einer dünnen, oft profilierten, Blechschicht (Stahlblech oder Aluminium) und einem dämmenden Kern, i.d.R. aus Polyurethanschaum; es sind jedoch auch Elemente mit anderen Dämmstoffen erhältlich, u.a. Steinwolle. Übliche Elementdicken liegen im Bereich von 60…160 mm, in Sonderfällen für Kühlhäuser oder bei hohen akustischen Anforderungen auch über 200 mm.

Betonbauteile zum Einsatz – besonders als Anfahrschutz bei Verkehrsbelastung (z.B. Staplerverkehr in der Halle, LKW-Be- und -Entladebereiche, etc.). Jedoch lassen sich auch industriell genutzte Hallen finden, welche in Porenbeton oder Holzständerbauweise ausgeführt sind bzw. werden.

Die Wahl der Wandaufbaus und des Dämmmaterials richtet sich darüber hinaus auch maßgeblich nach den objektspezifischen Schall- und Brandschutzanforderungen.

Bei Sporthallen und Kulturgebäuden sind Wandaufbauten aus Porenbeton, Beton-Sandwichbauteilen und auch Mauerwerk oder Betonfertigteile mit Wärmedämmverbundsystem sehr verbreitet.

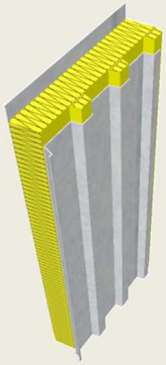
Außenwände zählen zu den opaken Außenbauteilen nach *Zeile 1 Tabelle 2 Anlage 2* EnEV und sind bei der Berechnung von $\overline{U}_{(Zeile\ 1)}$ vollumfänglich einzubeziehen. Der Grenzwert für die Gesamtheit aller Bauteile nach Zeile 1 beträgt aktuell 0,35 W/m² für Zonen mit θ ≥ 19 °C, ansonsten 0,50 W/m²K.

Sandwich-Isolierpaneele

Material	Wärmeleitwert λ [W/mK]
Stahlblech	50
PUR-Hartschaum 025	0,025
Stahlblech	50

Dämmdicke d [cm]	U*) [W/m²K]
6	0,39
10	0,24
16	0,15

*)Mittlerer Bauteil-U-Wert unter Berücksichtigung von Wärmebrücken durch Befestigungsmaterial

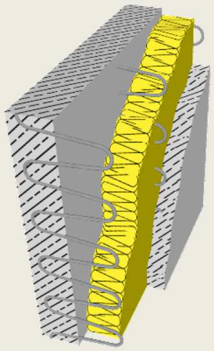


Kerngedämmte Betonbauteile

Material	Wärmeleitwert λ [W/mK]
Beton innen	2,3
EPS-Hartschaum 035	0,035
Beton außen	2,3

Wandaufbau d [cm]	U*) [W/m²K]
14 / 6 / 7	0,54
14 / 10 / 7	0,34
14 / 14 / 7	0,25

*)Mittlerer Bauteil-U-Wert unter Berücksichtigung von Wärmebrücken durch Armierungsstahl

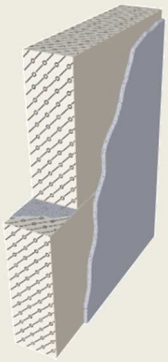


Porenbeton

Material	Wärmeleitwert λ [W/mK]
Porenbeton	0,12
Leichtputz	0,38

Dämmdicke*) d [cm]	U [W/m²K]
17,5	0,59
24	0,45
36,5	0,30

*)Dicke der Porenbetonelemente



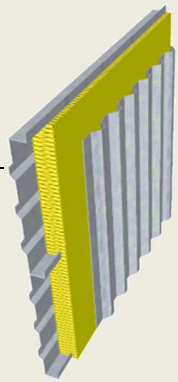
Metallkassettensystem

Material	Wärmeleitwert λ [W/mK]
Stahlblech	50
Mineralwolle 035	0,035
Stahlblech	50

Dämmdicke d [cm]	U*) [W/m²K] a**)	b**)	c**)
10	0,40	0,76	0,83
16	0,35	0,51	0,54
20	0,31	0,41	0,43

*)Mittlerer Bauteil-U-Wert unter Berücksichtigung von Wärmebrücken durch Stege – die Werte können abhängig von u.a. der Ausführung der Stege über einen weiten Bereich variieren.

**)a: Aufbau mit 4 cm dick überdämmten Stegen
b: Aufbau mit dünnem Trennstreifen
c: Aufbau ohne thermische Trennung



Hinweis

In der dominierenden Bauweise mittels großer, vorgefertigter Elementflächen spielt die Minimierung von Wärmebrücken und Undichtigkeiten eine große Rolle. Besonders bei

häufigen Durchdringungen der Dämmschicht mit Metallelementen, wie u.a. bei konventionellen Blechkassetten, ergeben sich deutliche Wärmebrücken. Durch diese kann es zu Kondenswasserbildung kommen; auch die Transmissionswärmeverluste über die thermische Hülle können im Vergleich zu einem wärmebrückenarmen System deutlich höher ausfallen.

Neben dem erreichbaren Wärmeschutz sind die projektspezifischen Brand- und Schallschutzanforderungen ausschlaggebend für die Auswahl des Wandbausystems. So kommen beispielsweise bei der Forderung nach einem Aufbau in Brandschutzklasse *A1* (nicht brennbar [24]) oft nur Mineralwolle oder Porenbeton als wärmedämmende Schichten infrage. Diese erreichen üblicherweise nicht die spezifischen Wärmedämmeigenschaften moderner Kunststoffschaum-Dämmungen und benötigen für dieselbe Dämmwirkung daher höhere Wandstärken – je nach Wandbausystem können auch höhere Kosten entstehen. Ähnlich bringt die Maximierung des Schall- oder des Wärmeschutzes eines Wandaufbaus – besonders unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit – oft Einbußen bei der jeweils anderen Eigenschaft mit sich.

Fenster / Wand-Lichtband

Als wichtiges architektonisches Element und zur ausreichenden Versorgung mit Tageslicht werden teilweise großflächige Fensterelemente eingesetzt – mitunter bereits werkseitig bei der Vorfertigung in die Wandflächenelemente eingelassen. Der typische Wertebereich des Wärmedurchgangskoeffizienten (U_w) eingesetzter 2-fach verglaster Fensterelemente liegt zwischen **1,6…1,3 W/m²K**. Teilweise werden allerdings auch im Hallenbereich bereits 3-fach-Verglasungen eingebaut.

Fenster zählen zu den transparenten Außenbauteilen nach *Zeile 2 Tabelle 2 Anlage 2* EnEV und sind bei der Berechnung von $\overline{U}_{(Zeile\ 2)}$ **vollumfänglich** einzubeziehen. Der Grenzwert für die Gesamtheit aller Bauteile nach Zeile 2 beträgt aktuell 1,9 W/m² für Zonen mit θ ≥ 19 °C, ansonsten 2,8 W/m²K.

Tore und Überladebrücken

Besonders in Hallengebäuden mit hohem Transportaufkommen (Lager- und Logistikhallen, Distributionszentren etc.) spielt die Ausführung der teilweise in großer Anzahl vorhandenen Tore (i.d.R. Sektionaltore) eine wesentliche Rolle.

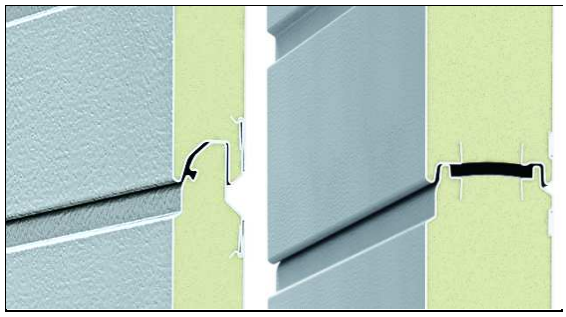


Abbildung 19 Sektionaltore mit PU-ausgeschäumten Lamellen in verschiedenen Ausführungen; Links: 42 mm, rechts: 67 mm (Quelle: Fa. Hörmann)

Tore sind wärmetechnisch oft eine Schwachstelle der Hüllfläche von Hallenbauten. Dabei geht es aus energetischer Sicht um die wärmetechnische Ausführung der Torfläche selbst, den möglichst wärmebrückenarmen Anschluss an die Fassade, die Dichtigkeit[19] der gesamten Torkonstruktion und auch die Betriebsweise der Tore bei Hallennutzung.

[19] Aktuelle empirische Untersuchungen von beheizten Hallengebäude [25] belegen, dass der Kaltlufteinfall im Bereich der Tore eine großflächige Auskühlung der Bodenfläche bewirken kann, da im Hallenbereich im Unterschied zu sonstigen Gebäuden i.d.R. keine Zwischenwände vorliegen, die die Ausbreitung des Kaltluftstroms begrenzen. Diese Kopplung von (Infiltrations-) Lüftungsvorgängen an die thermische Speichermasse des Bodens kann zu deutlich erhöhtem Heizenergieverbrauch führen als etwa Infiltration in einem Bürogebäude, die weitgehend unabhängig vom dynamischen Speicherverhalten des Bauwerkes abläuft.

Abbildung 20 Foto und Thermografie eines beheizten Hallengebäudes mit Toren in der Heizperiode (Baujahr 2009)

Ein besonderes Funktionselement in gewerblichen Hallen stellen Überladebrücken dar (*Ladestellen*). Ihre Konstruktion beinhaltet eine stabile, bewegliche Stahlplatte, mit der beim Warentransport zwischen LKW und Halle Höhendifferenzen zwischen den Ladeflächen kompensiert werden. Ist die Überladebrücke Teil der thermischen Hülle des Gebäudes, so können erhebliche Heizenergieverluste auftreten durch die (evtl. in großer Anzahl vorliegenden) großflächigen Wärmebrücken wie durch Öffnungen, die im Randbereich der Überladebrücke zwangsläufig auftreten. Neuere Konstruktionen lösen die beschriebenen Probleme, indem sie z.B.

- die Ladebrücke mit isolierter Bodenkonstruktion leicht nach innen verlegen und das Tor bis auf die Hoffläche herunterführen (*Iso-Ladestelle*) oder
- die Ladebrücke außerhalb der thermischen Hülle anbringen und einhausen (*Vorsatzschleusen*-Verladetechnik vor der Halle).

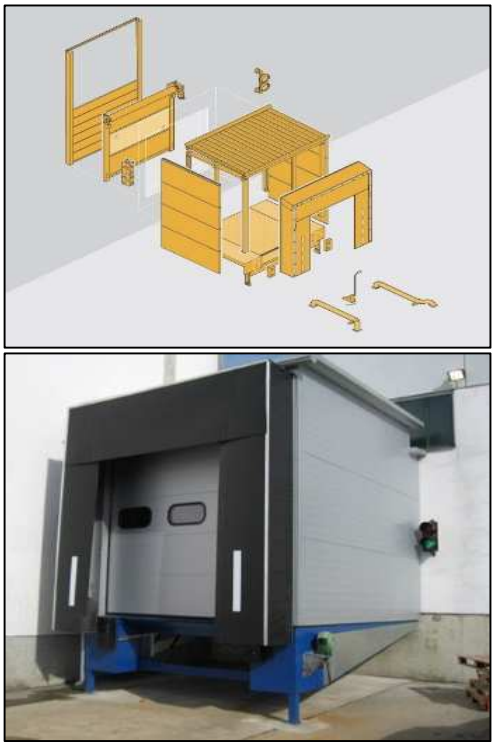


Abbildung 21 Eingehauste Ladestellen; Oben: Schema Ladebrücke mit Vorsatzschleuse (Quelle: Fa. Hörmann); Unten: Produktbild (Quelle: Fa. Meyer-Tonndorf)

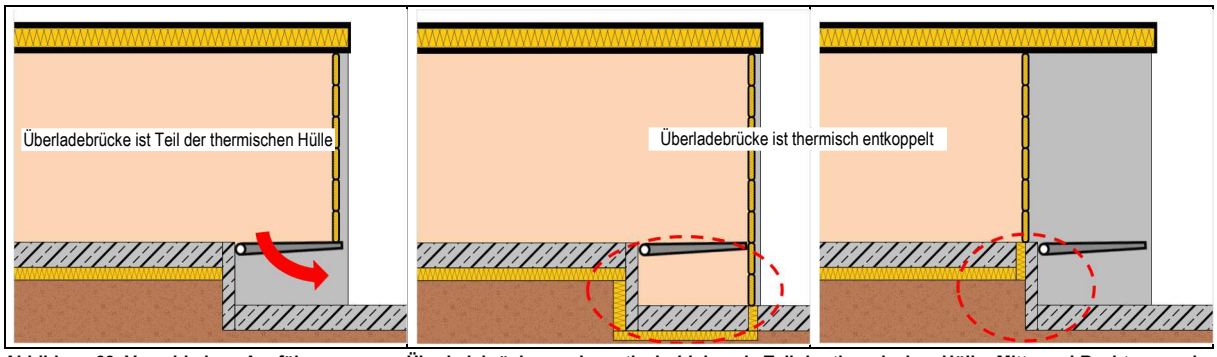


Abbildung 22 Verschiedene Ausführungen von Überladebrücken, schematisch; Links: als Teil der thermischen Hülle; Mitte und Rechts: von der thermischen Hülle entkoppelt

Tore und Überladebrücken werden im Text der EnEV nicht aufgeführt; somit besteht teilweise Unsicherheit hinsichtlich der Berücksichtigung dieser Bauteile im Rahmen der Energieausweiserstellung. Tore und Überladebrücken müssen dann bei der Berechnung des **Primärenergiebedarfs** berücksichtigt werden, wenn sie Teil der thermischen Hülle sind. Die Definition des Referenzgebäudes gemäß *Tabelle 1 Anlage 2* EnEV enthält jedoch keine Referenz-Ausführung für Tore und Überladebrücken – sie sind daher im Referenzgebäude mit

denselben Eigenschaften anzunehmen wie im auszuführenden Gebäude [20]. Somit ergibt sich zumindest aus der primärenergetischen Bewertung keine Anforderung an die Dämmeigenschaften dieser Bauteile. Jedoch bestehen durch die EnEV weitere Anforderungen an die energetische Qualität der Bauhülle, welche auch Tore und Überladebrücken betreffen, wie

- **Luftdichtheit**

  Tore und Überladebrücken sind entsprechend dem Stand der Technik luftdicht auszuführen (§ 6 EnEV)

- **Mindestwärmeschutz**

  Tore und Überladebrücken sind mit einem Mindestwärmeschutz gemäß Stand der Technik zu versehen (§ 7 EnEV). Dieser Mindestwärmeschutz ist in der EnEV nicht quantifiziert; es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass eine völlig ungedämmte Ausführung (Stahlplatte an Außenluft) dieser Anforderung nicht genügt.

- **Wärmebrücken**

  Überladebrücken sind so auszuführen, dass Wärmebrücken im technisch realisierbaren und wirtschaftlich vertretbaren Rahmen minimiert werden (§ 7 EnEV).

Überladebrücken, die gänzlich innerhalb oder außerhalb der thermischen Hülle angeordnet sind (Abbildung 22 Mitte/rechts), müssen nicht bei der Berechnung des Primärenergiebedarfs berücksichtigt werden.

Bei der **Berechnung von $\overline{U}$** sind Hallentore einschließlich evtl. vorhandener Überladebrücken nicht einzubeziehen (siehe auch *Anlage 2 Punkt 1.3* EnEV 2014 und *Auslegungsfragen […]* Staffel 20 [20]).

Der typische Wertebereich der Wärmedurchgangskoeffizienten (U_d) der eingesetzten Torelemente liegt zwischen **3,0 …1,4 W/m²K**, jedoch werden jüngst auch Tore mit deutlich besseren Kennwerten (0,9 …0,6 W/m²K für nichttransparente Flächen) angeboten.

<u>Hinweis der Autoren</u>

Auch wenn für Tore inklusive möglicher Überladebrücken als Hüllflächenelemente von Hallen in der EnEV keine expliziten energetischen Anforderungen gestellt werden, so sind für diese Bauelemente und ihren Einbau in Hallen die grundsätzlichen Anforderungen bezüglich Luftdichtheit des Gebäudes, Mindestwärmeschutz und Minimierung von Wärmebrücken zu beachten. Angesichts der oben beschriebenen technischen Zusammenhänge empfehlen die Autoren aus energetischen und Behaglichkeitsgründen den Einsatz hochwertiger Tore und den Einsatz von Ladebrücken, die thermisch von der Hüllfläche entkoppelt sind.

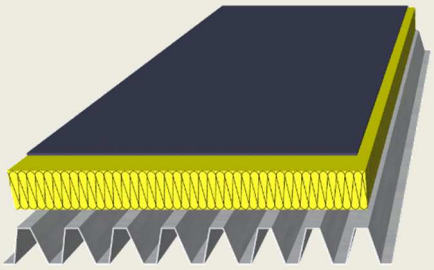
Dach

In der Dachkonstruktion moderner Hallengebäude werden überwiegend Trapezbleche mit Dämmung oder - wie auch bei Außenwänden - Sandwich-Isolierpaneele eingesetzt. Es kommen üblicherweise dieselben Dämmstoffe wie bei vergleichbaren Wandaufbauten zum Einsatz, u.a. Mineralwolle und Polyurethanschaum. Für die Wahl des Dachaufbaus und des Dämmmaterials sind neben dem Wärmeschutz die objektspezifischen Anforderungen an Schall- und Brandschutz sowie ggf. Begehbarkeit maßgeblich. Übliche Dämmstärken bzw. Elementdicken bewegen sich etwa in einem Bereich zwischen 60 und 200 mm.

Trapezblechdach

Material	Wärmeleitwert λ [W/mK]
Stahlblech	50
Mineralwolle 035	0,035
Folienabdichtung	0,2

Dämmdicke d [cm]	U [W/m²K]
12	0,30
16	0,23
20	0,18
24	0,15



Sandwich-Isolierpaneele

Material	Wärmeleitwert λ [W/mK]
Stahlblech	50
PUR-Hartschaum 025	0,025
Stahlblech	50

Dämmdicke d [cm]	U*) [W/m²K]
8	0,36
12	0,25
16	0,19
20	0,15

*) U-Werte unter Berücksichtigung von Wärmebrücken ggf. durch Befestigungselemente und Fugen

Dächer zählen zu den opaken Außenbauteilen nach *Zeile 1 Tabelle 2 Anlage 2* EnEV und sind bei der Berechnung von $\overline{U}_{(Zeile\ 1)}$ **vollumfänglich** einzubeziehen. Der Grenzwert für die Gesamtheit aller Bauteile nach Zeile 1 beträgt aktuell 0,35 W/m² für Zonen mit θ ≥ 19 °C, ansonsten 0,50 W/m²K.

Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln

Dachflächenfenster oder Lichtkuppeln in Hallengebäuden, die Tageslichtnutzung ermöglichen, werden i.d.R. mit Klappen als natürliche Rauch- und Wärmeabzugsanlagen ausgeführt, um den Anforderungen des baulichen Brandschutzes zu genügen. Der typische Wertebereich der Wärmedurchgangskoeffizienten dieser Bauelemente liegt im Bereich **2,8…1,4 W/m²K**.

Glasdächer, Lichtbänder und Lichtkuppeln zählen zu den transparenten Außenbauteilen nach *Zeile 4 Tabelle 2 Anlage 2* EnEV und sind bei der Berechnung von $\overline{U}_{(Zeile\ 4)}$ **vollumfänglich** einzubeziehen. Der Grenzwert für die Gesamtheit aller Bauteile nach Zeile 1 beträgt aktuell 3,1 W/m².

Dichtheit / Blower-Door-Test

Zu einem erheblichen Anteil werden neu errichtete Hallengebäude (Bezugszeitraum hier: seit Inkrafttreten der EnEV 2009) nach Abschluss der Bauarbeiten mit dem sogenannten Blower-Door-Test einer Dichtheitsprüfung der Hüllfläche unterzogen. Die Prüfung bewirkt zum einen eine bessere energetische Einstufung nach EnEV – die Anforderungen können also leichter eingehalten werden; zum anderen gestattet sie auch dem Bauherren eine teilweise Überprüfung der Bauausführung, insbesondere von potenziellen Leckagestellen, wie z.B. Stößen zwischen Fassaden- und Dachflächenelementen.

5.3 Anlagentechnik in Hallengebäuden

Die nachfolgend beispielhaft aufgeführten, marktgängigen Systeme zur Konditionierung von Hallengebäuden müssen in Kombination mit der Gebäudehülle den beiden Hauptanforderungen wie auch den technischen Nebenanforderungen der EnEV genügen. Unabhängig von der EnEV bestehen jedoch weitere energetisch relevante Anforderungen, etwa aus europäischen Richtlinien, Produktnormen oder sonstigen Regelwerken oder anerkannter Regeln der Technik – auf solche Anforderungen abseits des Themenkomplexes *EnEV und EEWärmeG* soll hier nicht näher eingegangen werden.

5.3.1 Hallenheizsysteme

In der Auswahl der geeigneten Heizungstechnik für Hallen spiegeln sich deutlich die heterogenen Nutzungsbedingungen und Raumkonditionierungs-Anforderungen von Hallengebäuden und die Vielzahl von Wechselwirkungen zwischen Gebäude, Nutzung und Heizsystem wider.

Grundsätzlich verlangen die besonderen (Nutzungs-)Eigenschaften von Hallen, wie

- oft große bis sehr große Nutzflächen und Raumvolumina,
- große Raumhöhe, oft weit über 4 m sowie
- teilweise flexible, räumliche und zeitliche Teilnutzung

Abbildung 23 Gaswärmepumpe mit Warmluftsystem (Quelle: Fa. KKU Concept GmbH, Marl)

spezielle Systeme der Wärmeübergabe im zu beheizenden Raum. Eine effiziente und behagliche Beheizung von Hallen ist mit Heizkörpern - wie im Wohn-/Bürobereich, also Radiatoren oder einfachen Nieder- oder Unterflurkonvektoren - praktisch nicht möglich. Als effiziente Wärmeübergabe-Mechanismen kommen in Großräumen nur Warmluft-Zwangskonvektion und Wärmestrahlung bzw. Infrarotstrahlung infrage, wobei die eingesetzten Systeme in der Lage sein müssen, die z.T. sehr großen Raumhöhen zu überwinden und auch große Flächenbereiche anforderungsgemäß zu beheizen.

Die *Technischen Regeln für Arbeitsstätten* (*Arbeitsstättenrichtlinien*) geben in der Richtlinie *ASR A3.5* [25] je nach Körperaktivität Raumtemperaturen zwischen 12 und 20 °C vor – in der Praxis müssen teilweise weitergehende oder vorrangige Anforderungen durch Prozesse, z.B.

- Temperaturbereich für Betrieb empfindlicher Maschinen oder
- Temperatur- und Feuchtekonstanz bei Lebensmittelverarbeitung

berücksichtigt werden.

Abbildung 24 Einbau einer Industrie-Fußbodenheizung (Quelle: BVF, Hagen)

Bei der **Auswahl eines geeigneten Heizsystems** für Hallengebäude lassen sich keine starren Regeln ableiten, etwa derart, dass den Anforderungen eines bestimmten Gebäudes

nur mit diesem oder jenem Heizsystem genügt werden könne. Jedoch sind bei insgesamt starker Heterogenität dieses Gebäudesegments die spezifischen Eigenschaften/Merkmale der verschiedenen Heizsysteme bei bestimmten Gebäudeausführungen und –nutzungen in der Auswahl und Planung des Heizungssystems zu berücksichtigen. Die folgenden Empfehlungen sind allgemein gehalten und von qualitativem Charakter.

Hallengebäude, in denen **wechselnde thermische Bedingungen oder Anforderungen** vorliegen, beispielsweise durch

- zeitlich eingeschränkte Nutzung (z.B. 1-schichtiger Betrieb mit Betriebspause über das Wochenende) und
- Wärmeeinträge wechselnder Intensität durch
    - thermische Prozesse,
    - Aufenthalt von Personen (z.B. Publikumsverkehr bei Veranstaltungen),
    - Transport von Gütern oder
    - häufige Öffnung großflächiger Tore,

können energetisch von möglichst schnell wirkenden Heizsystemen profitieren.

Besteht die Notwendigkeit, **größere Abluftmengen** abzuführen, z.B. in

- Fertigungsbetrieben mit Schweiß- oder Trocknungsprozessen oder
- Sporthallen mit Zuschauerbereichen,

so liegt nahe, die Lüftung des Raumes mit der Wärmebereitstellung zu verknüpfen. Lüftungserfordernisse und andere technische Festlegungen werden je nach Nutzung ggf. in weiteren Regelwerken getroffen, u.a.

- Arbeitsstättenrichtlinie ASR 3.6 [26]
- Versammlungsstättenverordnungen [27] (z.B. Veranstaltungs-/Mehrzweckhallen)
- Verkaufsstättenverordnungen [28] (z.B. Großmärkte).

Gibt es innerhalb eines zusammenhängenden Großraumes **lokal unterschiedliche Konditionierungsanforderungen**, wie z.B.

- in Distributionszentren mit Lager- und Kommissionierbereichen oder
- bei Teilflächennutzung z.B. einer Sporthalle

oder ist über den Lebenszyklus des Gebäudes mit Umnutzungen zu rechnen (Nutzer- oder Branchenwechsel, veränderte Technologie, etc.), so sind Heizsysteme bzw. Wärmeübergabesysteme zu bevorzugen, die eine flexible Anpassung an den lokal unterschiedlichen Heizwärmebedarf innerhalb einer Zone nach DIN V 18599 ermöglichen.

Liegt durch die Nutzung – ggf. auch im Verbund mit umliegender Bebauung – ein beständiges und energetisch relevantes **Abwärmepotenzial** vor, z.B. durch

- Maschinen und Kompressoren,
- andauernden Personenaufenthalt,
- thermische Prozesse,
- Beleuchtung, etc.,

so sollten unbedingt Systeme in Betracht gezogen werden, welche die Integration von Wärmerückgewinnungsanlagen erlauben. Die rückgewonnene Wärme kann ggf. auch in einer anderen Zone genutzt werden (z.B. Wassererwärmung in angrenzenden Sozial- oder Büroräumen mit rückgewonnener Abgaswärme oder Maschinenabwärme).

Ebenso ist unbedingt zu berücksichtigen, dass bestimmte (Hallen-)Heizsysteme bei manchen Hallennutzungen durch weitere Vorgaben, ggf. aus Länderverordnungen, **nicht eingesetzt** werden dürfen, z.B.

- Verbot von Feuerstätten in Räumen nach Verkaufs- und Versammlungsstättenverordnung,
- aufgrund von spezifischen brandschutz- oder versicherungsrelevanten Vorgaben (wie etwa Ausschluss von Oberflächentemperaturen > 110 °C in Betrieben mit Holzstaubanfall zur Vermeidung von Brandgefahr) oder
- aufgrund besonderer Bedingungen in explosionsgefährdeten Bereichen.

Dieser Leitfaden beschäftigt sich mit der Einhaltung von EnEV und EEWärmeG vor dem Hintergrund marktverfügbarer und heute üblicher Bauweisen und Konditionierungssysteme. Ein Ausblick auf potenzielle Zukunftstechnologien ist nicht das Ziel dieser Betrachtung. Dennoch soll nicht unerwähnt bleiben, dass neben den hier betrachteten Heizungssystemen (vgl. auch Kapitel 7) weitere Systeme verfügbar sind und zukünftig möglicherweise stark an Bedeutung gewinnen werden, u.a.:

- Gasmotorische Wärmepumpen
- Hybridsysteme mit dezentralen Wärmeerzeugern und Elektrowärmepumpen
- Systeme zur Nutzung der Abgaswärme dezentraler Hallenheizsysteme (z.B. Abgaswärmeübertrager zur Trink-/Brauchwassererwärmung oder Kombination von Strahlungsheizungen mit Luft(vor)erwärmung)
- Solar-Luft-Kollektoren
- Anlagen zur Nutzung von Abwärme aus Produktionsprozessen

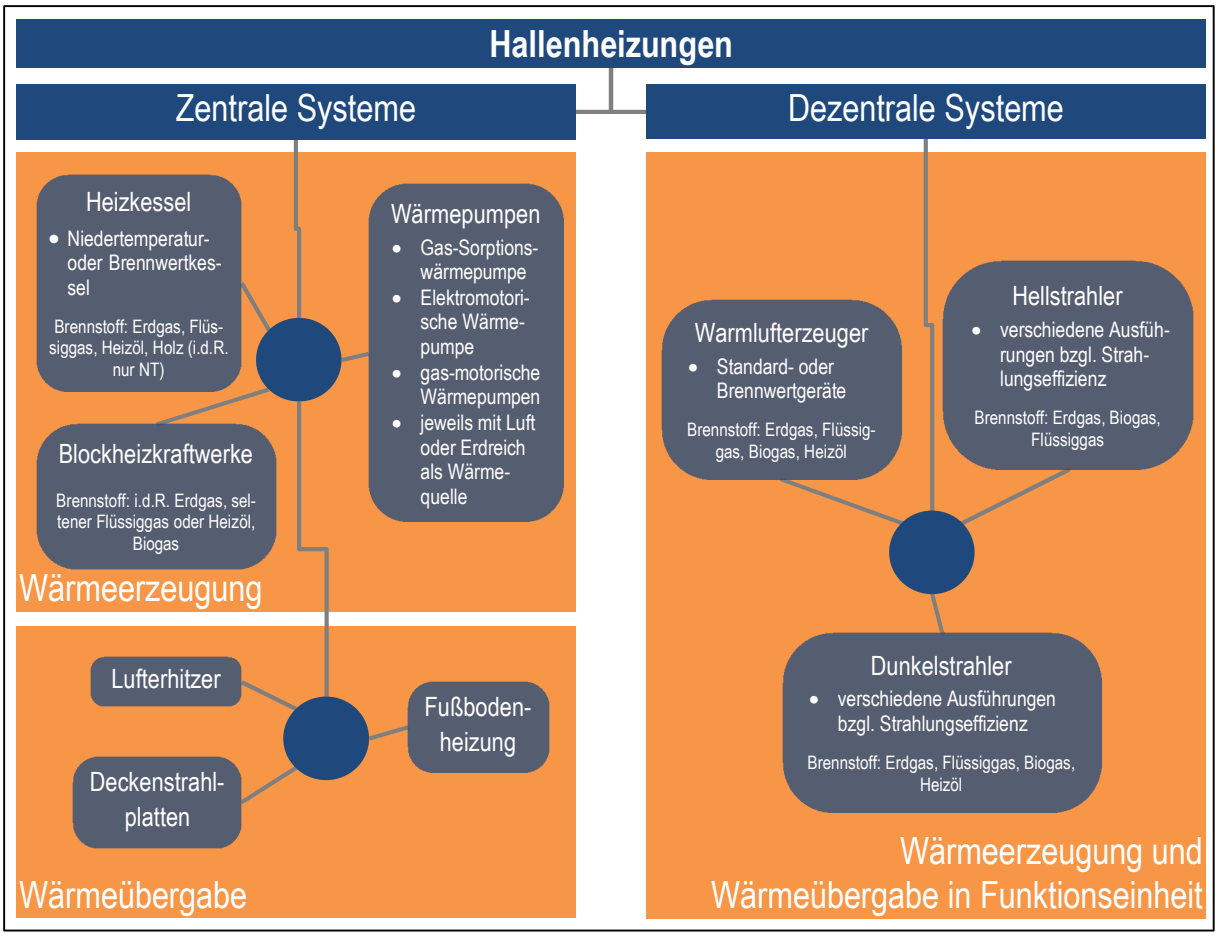


Abbildung 25 Einteilung typischer Hallenheizsysteme (zentrale Wärmeerzeuger beispielhaft)

Hallenheizungen mit zentralem Wärmeerzeuger

Hallengebäude können – wie Wohn- und Bürogebäude auch – von einem zentralen Wärmeerzeuger über ein wasserführendes[20] Wärmeverteilnetz mit Wärme versorgt werden. Unterschiede sind hierbei eventuell in den Leitungslängen und - je nach Gebäudegröße und Anforderungen – in der Leistung des Wärmeerzeugers zu finden. Wirklich hallenspezifische Eigenschaften gibt es erst beim Bilanzabschnitt Wärmeübergabe – hier kommen spezielle Heizsysteme zum Einsatz, um den Anforderungen dieser Gebäudeart gerecht zu werden.

Luftheizer/Lufterhitzer (LH)[21]

Bei Lufterhitzern wird Luft durch einen Ventilator angesaugt, über ein Wasser-Luft-Wärmeübertrager (entspricht einem *Heizregister* in zentralen Klimageräten) geleitet und mit erhöhter Temperatur in den Raum ausgeblasen. In der Regel bieten Lufterhitzer die Möglichkeit, Außenluft einzubinden – sie können dann mit Um-, Außen- oder Mischluft betrieben werden. Lufterhitzer können prinzipiell auch zur Kühlung eingesetzt werden; ggf. ist ein Kondensatablauf vorzusehen.

Technische Differenzierungsmerkmale gemäß DIN V 18599-5:2011-12 [16]**: Wärmeübergabe**

Alle (Hallen-)Warmluftheizungen werden hinsichtlich des Bilanzierungsabschnittes Wärmeübergabe nach denselben technischen Merkmalen unterschieden. Diese sind

- die Ausblasrichtung (seitlicher Luftauslass / Wandgerät, Luftauslass von oben / Deckengerät)
- Vorhandensein und Regelung einer Warmluftrückführung (Deckenventilatoren)
- Bei Montage ohne zusätzliche Warmluftrückführung in Räumen mit h ≤ 6 m zusätzliche Option *geringe Ausblastemperatur*

Alle aufgezählten Merkmale wirken sich auf das Lufttemperaturprofil in der Halle aus – die DIN V 18599 berücksichtigt dies durch heizsystemspezifisch festgelegte Standardwerte des *vertikalen Lufttemperaturanstiegs*.

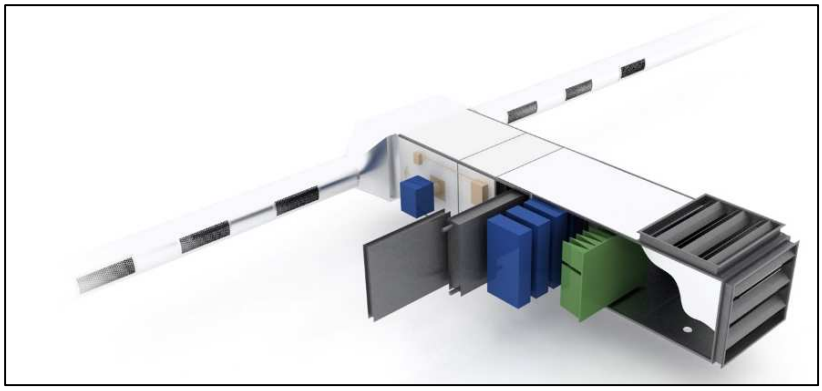
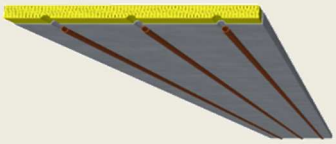


Abbildung 26 Links: Luftheizer mit Warmwasseranschluss (Quelle: Fa. Wolf GmbH, Mainburg); rechts: Hybridsystem aus dezentralem Warmlufterzeuger und vorgeschaltetem Wasser-Luft-Wärmeübertrager zur Anbindung an zentrales Wärme-/Kälteverteilnetz und Außen-/Umluft-Mischlufteinrichtung mit Filter (Quelle: Fa. Nordluft GmbH, Lohne)

[20] Neben wasserführenden Wärmeverteilnetzen sind im industriellen Bereich auch Dampf oder Warmluft als Wärmeverteilmedien zu finden; letztere besitzen allerdings nur geringe Marktbedeutung.

[21] Die Begriffe *Luftheizer* und *Lufterhitzer* werden in diesem Leitfaden gleichbedeutend verwendet. Im Markt ist der Begriff *Luftheizer* gebräuchlicher; in der Vor-Normenreihe DIN V 18599 wird i.d.R. der Begriff *Lufterhitzer* verwendet. Gemeint ist in beiden Fällen im Sinne der Bilanzierungsregeln der DIN V 18599 Teil 5 eine Wärmeübergabe-Einheit (ohne Wärmeerzeuger) von Warmluftheizungen im zu beheizenden Raum.

Deckenstrahlplatten (DSP)



Deckenstrahlplatten bestehen aus Wärmeleit-/Strahlblechen, in die wasserführende Rohre eingelassen sind. Sie werden üblicherweise waagerecht montiert, z.T. aber auch geneigt. Oberseitig sind Deckenstrahlplatten i.d.R. gedämmt, um die nicht nutzbare Wärmeabgabe nach oben zu minimieren. Die nutzbare Wärmeabgabe erfolgt im Wesentlichen durch Wärmestrahlung. Deckenstrahlplatten können auch zur Kühlung eingesetzt werden; hierbei muss eine Taupunktunterschreitung jedoch sicher ausgeschlossen werden.

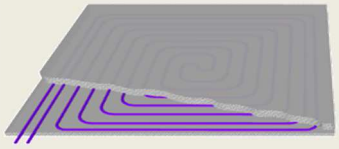
Technische Differenzierungsmerkmale gemäß DIN V 18599-5:2011-12 [16]**: Wärmeübergabe**

Für Deckenstrahlplatten können zur Bewertung der Wärmeübergabeverluste drei verschiedene Ausführungsvarianten berücksichtigt werden:

- Standard (ohne nähere Konkretisierung, immer zulässig)
- Verbessert (Anforderung an die Ausführung der oberseitigen Dämmung und den Strahlungsanteil)
- Verbessert und Einhaltung eines (Mindest-)Außenwandabstands

Die einbezogenen Merkmale wirken sich vordergründig auf das Lufttemperaturprofil und auf zusätzliche Transmissionswärmeverluste durch Erwärmung oberer Bereiche der Hüllfläche aus – die DIN V 18599 berücksichtigt dies durch heizsystemspezifisch festgelegte Standardwerte des *vertikalen Lufttemperaturanstiegs* und des *Teilnutzungsgrades für spezifische Außenbauteilverluste*.

Fußbodenheizung (FBH)



Bei Industriefußbodenheizungen werden Heizrohre aus geeignetem Material in der Bodenplatte verlegt - aus statischen, konstruktiven und Befestigungsaspekten üblicherweise verhältnismäßig tief. Die nutzbare Wärmeabgabe erfolgt bei einer Fußbodenheizung durch Wärmestrahlung und durch Konvektion im bodennahen Bereich. Fußbodenheizungen können auch zur Kühlung eingesetzt werden; wie auch bei Deckenstrahlplatten muss eine Taupunktunterschreitung ausgeschlossen werden.

Technische Differenzierungsmerkmale gemäß DIN V 18599-5:2011-12 [16]**: Wärmeübergabe**

Für Fußbodenheizungen in Räumen mit Raumhöhen ≥ 4 m können die folgenden Aspekte berücksichtigt werden:

- Vorhandensein oder Nichtvorhandensein und ggf. Ausführung einer unter den Heizrohren befindlichen Wärmedämmung
- Höhe der Heizrohre im Bodenaufbau (Überdeckung > oder ≤ 10 cm)

Beide Merkmale betreffen die heizsystemspezifischen Transmissionswärmeverluste über Außenbauteile (beheizter Boden). Das Merkmal der *Überdeckung*, welches in erster Linie das dynamische Verhalten der Fußbodenheizung beeinflusst, kommt dabei nur bei einer Betriebsweise mit Unterbrechungen zum Tragen; bei 24-stündiger Nutzung ist die Überdeckung rechnerisch nicht zu berücksichtigen.

Zentrale Heizsysteme bieten grundsätzlich die Möglichkeit, ggf. zu einem späteren Zeitpunkt der Gebäudenutzung, auf einen anderen Wärmeerzeuger und/oder Energieträger zu wechseln. Damit ergeben sich vergleichsweise vielfältige Möglichkeiten zur Nutzung erneuerbarer Energien (z.B. energetische Nutzung von Abfallstoffen, Biomasse, Klärschlamm oder Nutzung von Umweltwärme über eine Wärmepumpe).

Hinweis: Der Einsatz von gasförmiger Biomasse wird nach derzeitiger Fassung des EEWärmeG nur bei Nutzung in KWK-Anlagen als Gesetzeserfüllung anerkannt (Ausnahme: öffentliche Bestandsgebäude).

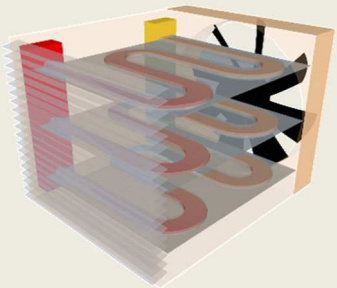
Dezentrale Hallenheizungssysteme

Von *dezentralen Hallenheizungen* spricht man bei Hallenheizgeräten, welche Wärmeerzeugung und Wärmeübergabe in einem Gerät vereinen. Eine Verteilung der Wärme – z.B. über ein wasserführendes Wärmeverteilnetz – entfällt; entsprechend treten in der Bilanzierung keine Wärmeverteilverluste auf. Der Brennstoff – meistens Erdgas, mitunter aber auch Flüssiggas und bei einigen Geräten Heizöl – wird bis zum Gerät bzw. den Geräten geführt. Die im Gerät durch Verbrennung freigesetzte Wärme wird durch Strahlung oder erzwungene Konvektion an den Raum abgegeben. Die für den Gerätebetrieb eingesetzte Hilfsenergie kommt dem zu beheizenden Raum als Wärmeeintrag zugute.

Abbildung 27 Warmlufterzeuger (Quelle: Fa. LK Metallwaren GmbH, Schwabach)

Warmlufterzeuger (WLE)

Die Wärmeerzeugung erfolgt üblicherweise durch einen Gas- oder Ölbrenner, dessen Brennkammer in die Geräteeinheit integriert ist. Ähnlich wie bei einem Lufterhitzer saugt ein Ventilator Luft an, leitet sie über einen Wärmeübertrager und schließlich – mit erhöhter Temperatur – in den Raum. Der Wärmeübertrager ist hier jedoch kein wasserdurchströmtes Heizregister, sondern ein Abgas-Luft-Wärmeübertrager. Auch Warmlufterzeuger können üblicherweise so ausgeführt werden, dass sie neben dem reinen Umluft- auch Außen- und Mischluftbetrieb erlauben. Neuere Geräte werden z.T. mit integrierten elektrischen Wärmepumpen angeboten, sodass ein bivalenter Betrieb und die Nutzung von Umweltwärme möglich werden.



Technische Differenzierungsmerkmale gemäß DIN V 18599-5:2011-12 [16]

Wärmeerzeugung

Hinsichtlich des Bilanzabschnitts Wärmeerzeugung wird unterschieden

- in Geräte ohne und mit kondensierendem Betrieb (Brennwertnutzung) und
- nach der Art der Leistungsregelung.

Wärmeübergabe

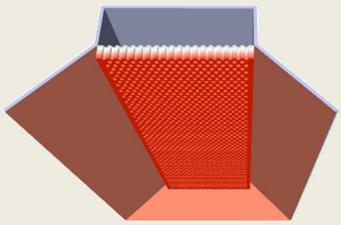
Alle (Hallen-)Warmluftheizungen werden hinsichtlich des Bilanzierungsabschnittes Wärmeübergabe nach denselben technischen Merkmalen unterschieden. Diese sind

- die Ausblasrichtung (seitlicher Luftauslass / Wandgerät, Luftauslass von oben / Deckengerät)
- Vorhandensein und Regelung einer Warmluftrückführung (Deckenventilatoren)
- Bei Montage ohne zusätzliche Warmluftrückführung in Räumen mit h ≤ 6 m zusätzliche Option *geringe Ausblastemperatur*

Alle aufgezählten Merkmale wirken sich auf das Lufttemperaturprofil in der Halle aus – die DIN V 18599 berücksichtigt dies durch heizsystemspezifisch festgelegte Standardwerte des *vertikalen Lufttemperaturanstiegs*.

Hellstrahler (HS)

Bei Hellstrahlern wird der zugeführte gasförmige Brennstoff (Erd- oder Flüssiggas) an einer hochtemperaturbeständigen porösen Brennfläche durch flammlose Verbrennung in Infrarotstrahlung umgesetzt. Die Strahlung erwärmt die angestrahlten Oberflächen direkt; eine Erwärmung der Raumluft findet nur indirekt durch Konvektion an den angestrahlten Oberflächen und z.T. am Strahler (vorwiegend durch Verbrennungsabgase, welche i.d.R. über die Raumluft abgeführt werden) statt.



Technische Differenzierungsmerkmale gemäß DIN V 18599-5:2011-12 [16]

Wärmeerzeugung

Hinsichtlich des Bilanzabschnittes Wärmeerzeugung wird unterschieden nach

- nach Art der Abgasführung (indirekt über Hallenluft oder Abgasanlage mit zusätzlichem kondensierenden Wärmeübertrager) und
- Art der Leistungsregelung

Wärmeübergabe

Für den Bilanzabschnitt Wärmeübergabe wird nach dem Strahlungsfaktor nach EN 419-2 (z.T. auch Strahlungswirkungsgrad genannt) unterschieden, wobei ein hoher Strahlungsfaktor sich im Energiebedarf vorteilig bemerkbar macht. Bei Vorliegen konkreter Produktkennwerte des Strahlungsfaktors nach EN 419-2 sind diese für die Berechnung zu verwenden; ansonsten kann eine gröbere Unterteilung in *Standardausführung* und *verbesserte Ausführung* vorgenommen werden.

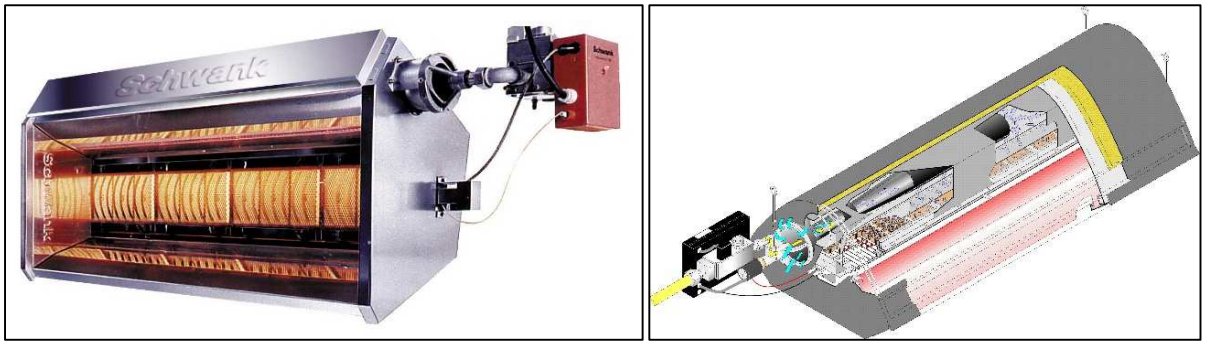
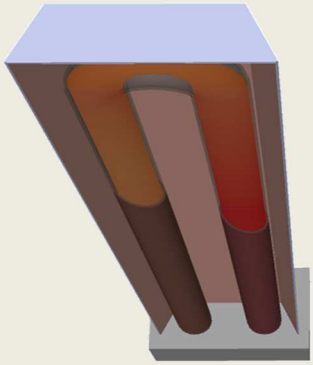


Abbildung 28 Hellstrahler – links: Foto (Quelle: Fa. Schwank GmbH, Köln), rechts: Schema (Quelle: Fa. GoGas GmbH, Dortmund)

Dunkelstrahler (DS)

Bei Dunkelstrahlern wird der zugeführte, i.d.R. gasförmige, Brennstoff in einer langen Flamme durch ein temperaturbeständiges Strahlrohr geführt – als U-Rohre in kompakten Geräten oder auch als Ringanordnungen ausgeführt. Das durch die Flamme und den Abgasstrom stark erwärmte Strahlrohr gibt Infrarotstrahlung in den Raum ab. Ähnlich wie bei Hellstrahlern beruht die Wärmeübertragung überwiegend auf Strahlung – angestrahlte Oberflächen werden direkt erwärmt; die Raumluft hingegen nur indirekt durch Konvektion an den angestrahlten Oberflächen so wie am Strahler selbst. Die Verbrennungsabgase von Dunkelstrahlern werden über Abgasanlagen, entweder geräteweise oder in Gruppen mehrerer Dunkelstrahler, nach außen abgeführt.



Technische Differenzierungsmerkmale gemäß DIN V 18599-5:2011-12 [16]

Wärmeerzeugung

Hinsichtlich des Bilanzabschnittes Wärmeerzeugung wird bei Dunkelstrahlern unterschieden nach

- Vorhandensein oder Nichtvorhandensein eines zusätzlichen Wärmeübertragers (kondensierend) im Abgassystem und
- nach Art der Leistungsregelung

Wärmeübergabe

Für den Bilanzabschnitt Wärmeübergabe wird nach dem Strahlungsfaktor nach EN 416-2 (z.T. auch Strahlungswirkungsgrad genannt) unterschieden, wobei ein hoher Strahlungsfaktor sich im Energiebedarf vorteilig bemerkbar macht. Bei Vorliegen konkreter Produktkennwerte des Strahlungsfaktors nach EN 416-2 sind diese für die Berechnung zu verwenden; ansonsten kann eine gröbere Unterteilung in *Standardausführung* und *verbesserte Ausführung* vorgenommen werden.

Anders als bei Zentralheizungen ist bei dezentralen Heizsystemen konstruktionsbedingt – durch die Baueinheit von Wärmeerzeuger- und Wärmeübergabeeinheit – ein späterer Wechsel

des Wärmeerzeugers, z.B. zur Umstellung auf erneuerbare Energien, nicht möglich[22]. Auch mit neu errichtete Anlagen ist die Nutzung erneuerbare Energien nur selten möglich[23]. In den meisten Fällen stellt somit die Nutzung von Biogas (in seltenen Fällen Bioöl) die einzige, nach derzeitigem Bewertungsstand der DIN V 18599 berechenbare Nutzungsmöglichkeit erneuerbarer Energien dar – die Nutzung von Biogas/-öl wird bei einer Beurteilung nach EEWärmeG derzeit jedoch nur für öffentliche Bestandsgebäude oder bei Verwendung in KWK-Anlagen nach EEWärmeG als Erfüllungsoption im Sinne des Gesetzes anerkannt.

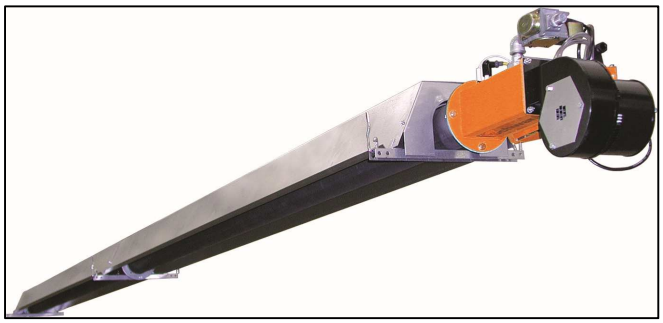


Abbildung 29 Links Dunkelstrahler (Quelle: Fa. Schwank GmbH, Köln); Rechts: Dunkelstrahler mit Abgaswärmeübertrager Abgas/Luft (Quelle: Fa. GoGas GmbH, Dortmund)

Abbildung 30 Unten: Dunkelstrahler mit Abgaswärmeübertrager Abgas/Wasser (Quelle: Fa. Kübler GmbH, Ludwigshafen

5.3.2 Systeme der Trink-/Brauchwassererwärmung

In vielen hallentypischen Nutzungen fällt der Bedarf an Trinkwarmwasser verhältnismäßig gering aus. Dieser wird oft durch dezentrale Elektro-Durchlauferhitzer oder -Kleinspeicher gedeckt – besonders wenn andernfalls sehr lange Warmwasserverteilleitungen nötig wären. Fällt der Trinkwarmwasserbedarf in räumlicher Nähe zu einem ohnehin vorhandenen zentralen Wärmeerzeuger – z.B. einem Brennwertkessel zur Beheizung von Büro- und Sanitärräumen – an, wird i.d.R. ein durch den zentralen Wärmeerzeuger beheizter Trinkwasserspeicher eingebaut. Anlagen zur solarthermischen Trinkwassererwärmung, wie sie im Wohnbereich häufig zu finden sind, stellen besonders in industriell genutzten Hallen eher eine Ausnahme dar, bei Sporthallen sind sie häufiger zu finden.

5.3.3 Beleuchtung

Im Hallenbau ist eine deutliche Tendenz zu stärkerer Tageslichtnutzung zu beobachten als in der Vergangenheit – neben dem verbesserten Wärmeschutzes moderner Fenster spielen hierbei auch die Verbesserung der Arbeitsplatzverhältnisse und Energieeinsparung durch Tageslichtnutzung eine wichtige Rolle. Für den zusätzlichen Beleuchtungsbedarf werden vorwiegend stabförmige Leuchtstofflampen eingesetzt; Metallhalogendampflampen, Natriumdampf-Hochdrucklampen oder LED-Leuchten finden seltener Einsatz. Die geringsten

[22] Einige Geräte erlauben den Austausch des Brenners, sodass z.B. von Gas- auf Öl-Verbrennung umgestellt werden kann.
[23] Einige Warmlufterhitzer werden mit elektrischen Wärmepumpen zu Hybridsystemen kombiniert und erlauben so die Nutzung erneuerbarer Energien im Sinne des EEWärmeGs. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Leitfadens stellen solche Systeme allerdings eher die Ausnahme als die Regel dar.

Energiebedarfswerte werden i.d.R. mit speziellen Metalldampf-Hochdruck-Lampen, stabförmigen Leuchtstofflampen und LED-Leuchten erzielt. Insbesondere bei LED-Technik wird derzeit noch von deutlichem Verbesserungspotenzial ausgegangen – sie dürfte durch steigende Leistungsfähigkeit bzw. sinkende Kosten daher zukünftig an Bedeutung gewinnen.

Die benannten Beleuchtungssysteme werden üblicherweise mit elektronischen Vorschaltgeräten eingesetzt.

Die Beleuchtungssteuerung erfolgt i.d.R. zeitabhängig. Bessere Systeme arbeiten zusätzlich tageslichtabhängig und – je nach Anwendungsfall – mit Präsenzerfassung.

Bemerkenswert ist noch, dass die Anforderungswerte für die Beleuchtungsstärke in verschiedenen Gebäuden je nach Nutzung starke Unterschiede aufweisen: so liegen die Anforderungswerte nach Standardnutzungsprofilen gemäß DIN V 18599 Teil 10 bei 150 Lux für Logistikhallen, 300 Lux für Verkaufsstätten und 300 bis 500 Lux für Industriehallen; in der Praxis wird für Verkaufsstätten teilweise sogar mit 600 bis 700 Lux geplant.

5.3.4 Raumlufttechnische Anlagen (RLT)

Raumlufttechnische Anlagen werden in Hallengebäuden je nach Nutzung bei belasteter Raumluft (z.B. Auftreten von Abgasen aus Schweißprozessen oder anderen Emissionsquellen in Werkstätten oder Fertigungshallen, Personen oder Gerüche in Verkaufsstätten – VDI 3802 Teil 1 spricht allgemein von sog. „luftfremden Stoffen“) eingesetzt. In Sporthallen kommen RLT-Anlagen insbesondere bei höherer Personen-Belegungsdichte zum Einsatz, bei größeren Zuschauerrängen zwingend. In Märkten oder Verkaufsstätten, die unter starkem Wettbewerb stehen, wird mit RLT-Anlagen teilweise versucht, höhere Grade der Behaglichkeit (z.B. Raumtemperatur im Sommer zwischen 20 und 22°C) zu realisieren.

Eine Reihe von Normen und Richtlinien definieren in Deutschland neben den bereits erwähnten Arbeitsstättenrichtlinien Lüftung sowie den Verkaufsstätten-Verordnungen und Versammlungsstätten-Verordnungen Anforderungen an RLT-Anlagen und RLT-Geräte, darunter

- DIN EN 13779 Lüftung von Nichtwohngebäuden
- VDI 2081 Geräuscherzeugung und Lärmminderung in RLT-Anlagen
- VDI 2082 Raumlufttechnische Anlagen für Verkaufsstätten
- VDI 3802-1 RLT-Anlagen für Fertigungsstätten
- VDI 3803 RLT-Anlagen – Bauliche und technische Anforderungen
- VDI 6022 Hygiene-Anforderungen an RLT-Anlagen und –Geräte

Moderne energiesparende RLT-Anlagen erfordern eine sehr projekt- und nutzungsspezifische Planung (bedarfsgerechte Luftzufuhr, direktes Abführen örtlicher Emissionsquellen, Nutzung freier oder adiabater Kühlung, Berücksichtigung von Aufstellbedingungen, Aufstellort etc.) eine bedarfsgerechte Regelungsstrategie (z.B. über CO_2-Sensoren) und effiziente Komponenten und Anlagenteile (EC-Motoren, druckverlustarme Kanäle, Filter und Komponenten).

Die Energieeinsparverordnung schreibt zusätzlich für RLT-Anlagen mit einem Volumenstrom von mehr als 4.000 m³/h eine Wärmerückgewinnung vor. Die Anlagentechnik des Referenzgebäudes nach EnEV 2014 hat bei Vorliegen einer RLT-Anlage eine Wärmerückgewinnung (Rückwärmezahl) von mindestens 0,6 (EnEV 2014, Anlage 2, Tabelle 1, Zeilen 5.1 bis 5.3).

Geht die Anlage in ihrer Ausführung deutlich über eine Arbeitsplatz- oder Maschinenabsaugung hinaus (beispielsweise in Form einer Erfassungseinrichtung für luftfremde Stoffe, Zuluft- und Abluftführung und ggf. Abluftreinigung), so liegt es nahe, mit der RLT-Anlage zusätzlich die Anforderungen der Raumkonditionierung für Heizwärme und ggf.

Kühlung zu realisieren, da durch die RLT-Anlage die Bedingungen der Raumkonditionierung maßgeblich beeinflusst werden. Bei den hier näher betrachteten Modellgebäuden ist der Einsatz von RLT-Anlagen bei Großmärkten der Standardfall.

5.3.5 Anlagen zur Wärmerückgewinnung (WRG)

Nach einer aktuellen Studie der Hochschule Trier [29] aus dem Jahre 2014 über Marktdaten von zentralen RLT-Anlagen bei Nichtwohngebäuden in Deutschland ist der Anteil der Anlagen mit WRG-Nutzung von ca. 30% (als Mittelwert der Jahre 1995 bis 2005) auf ca. 80% in den Jahren 2012 und 2013 gestiegen und scheint damit eine gewisse Sättigung erreicht zu haben.

In Verbindung mit RLT-Anlagen kann die Wärmerückgewinnung heute als *Stand der Technik* im Bereich NWG angesehen werden. Durch die kommende Umsetzung der Ecodesign-Verordnung für RLT-Geräte und die novellierte EnEV 2014 (siehe auch 5.3.4) werden Mindestanforderungen an die Wärmerückgewinnung gestellt.

Je nach Anwendungsfall und Anforderungen werden u.a. Gegenstrom-Platten-Wärmeübertrager, Kreuz(gegen)strom-Plattenwärmeübertrager und Rotations-Wärmeübertrager eingesetzt. Die Wärmerückgewinnung kann in verschiedenen Kombinationen z.B. mit einer geräteintegrierten Wärmepumpe oder anderen effizienten Wärmeerzeugern, einem integrierten Kälteerzeuger oder anderen Aggregaten ausgeführt werden.

Bezogen auf die hier betrachteten Modellgebäude ist die WRG in Verbindung mit Lüftungs- oder RLT-anlagen der Standardfall bei Großmärkten.

5.3.6 Kühlungsanlagen

Anlagen zur Kälteerzeugung kommen bei den hier betrachteten Hallengebäuden nach Einschätzung der befragten Marktexperten relativ selten zum Einsatz. Unter den ausgewerteten ca. 75 EnEV-Nachweisen aus dem Zeitraum 2009 bis 2014 finden sich nur zwei Objekte (Fachmärkte), deren RLT-Anlagen mit einer zusätzlichen Kompressionskältemaschine zu Kühlzwecken kombiniert wurden. Häufigen Einsatz finden dagegen nach Experteneinschätzung in Hallen RLT-Anlagen zur freien oder Nachtkühlung.

In den nachfolgenden Anlagenvarianten der Modellgebäude (siehe Kap. 7) werden Anlagen zur Kälteerzeugung deshalb nicht berücksichtigt.

6 Eingabegrößen und Nachweisführung (Neubau)

6.1 Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599 gemäß EnEV 2014

Nutzungsprofile

DIN V 18599-10 führt alle wesentlichen nutzungsrelevanten Eingabegrößen für eine Vielzahl von Nutzungsprofilen katalogmäßig auf und beschreibt darüber hinaus, wie individuelle Nutzungsprofile zu erstellen sind. Im Rahmen der Nachweisführung nach EnEV darf jedoch ausschließlich auf die Katalognutzungen nach Teil 10 zurückgegriffen werden, sobald die tatsächliche Nutzung einer dieser Katalognutzungen zugeordnet werden kann – auch bei Abweichungen der Nutzungsrandbedingungen zwischen realer und katalogisierter Nutzung. Das Abwandeln einer Katalognutzung – z.B. Anpassung der Nutzungszeiten, da diese in der Realität kürzer oder länger ausfallen – ist im Nachweisfall nicht gestattet. Ein individuell erstelltes Nutzungsprofil darf nur dann angewendet werden, wenn der realen Nutzung keine der aufgeführten Katalognutzungen zugeordnet werden kann[24].

Tabelle 7 Typische Hallen-Nutzungsprofile nach DIN V 18599-10:2011-12

Nutzung		Raumsolltemperatur	jährliche Nutzungstage	Mindestaußenluft-volumenstrom	Beleuchtungsstärke	Interne Wärmequellen
		$\theta_{i,h,soll}$	$d_{nutz,a}$	$\dot{V}_a$	$\bar{E}_m$	$q_{I,p} + q_{I,fac}$
		[°C]	[d/a]	[m³/m²h]	[lx]	[Wh/m²d]
6 (A.6)	Einzelhandel/Kaufhaus	21	300	4	300	108
22.1 (A.22)	Gewerbliche und industrielle Hallen – schwere Arbeit, stehende Tätigkeit	15	230	3,5	300	328
22.2 (A.23)	Gewerbliche und industrielle Hallen – mittelschwere Arbeit, überwiegend stehende Tätigkeit	17	230	2,5	400	320
22.3 (A.24)	Gewerbliche und industrielle Hallen – leichte Arbeit, überwiegend sitzende Tätigkeit	20	230	1,5	500	312
31 (A.33)	Turnhalle (ohne Zuschauerbereich)	21	250	3	300	60
41 (A.43)	Lagerhallen, Logistikhallen	12	365	1	150	-

Zonierung

Für eine Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599 ist keine raumweise Erfassung eines Gebäudes - wie etwa bei einer Heizlastberechnung - notwendig. Dennoch berücksichtigt das Verfahren unterschiedlich genutzte und entsprechend unterschiedlich konditionierte Bereiche innerhalb eines Gebäudes. Die Norm spricht in diesem Zusammenhang von *(Gebäude-)Zonen*. Eine Zone ist ein Bereich einheitlicher oder sehr ähnlicher Nutzung und Konditionierung. Im Vorfeld der Berechnung muss das Gebäude in Zonen aufgeteilt – *zoniert* – werden.

Die Zonierung wird in *Abschnitt 6.3* DIN V 18599-1:2011-12 beschrieben und reglementiert. Allerdings bemüht die Norm hierbei z.T. weich formulierte bzw. interpretierbare Regeln – im Rahmen der Nachweiserstellung nach EnEV sind für ein einziges Gebäude in aller Regel verschiedene Zonierungen gleichberechtigt möglich.

Im einfachsten Fall kann ein komplettes Gebäude als eine einzige Zone betrachtet werden; dies kann z.B. bei Lager- oder Werkhallen ohne Büroräume der Fall sein. Auch gestattet das Verfahren unter bestimmten Voraussetzungen das Zuschlagen sehr kleiner Bereiche zu

[24] Vgl. DIBt Auslegungsfragen zur Energieeinsparverordnung Teil 10/11 [33, 34]; siehe auch Glossar → *Nutzung, Nutzungsprofil, Katalognutzung*

anderen Zonen mit abweichender Nutzung oder Konditionierung[25]. Oft ist jedoch eine Unterteilung in mehrere Zonen notwendig und sinnvoll.

Besonders bei Gebäuden mit mehreren Nutzungen und verschiedenen Konditionierungen empfiehlt sich eine systematische Zonierung auf Grundlage einer Raumliste – z.B. als Excel-Tabelle.

Übersicht: Systematische Zonierung

1. Erstellung einer Übersicht über alle Räume des Gebäudes, welche die folgenden Attributen enthält
   - Nettogrundfläche
   - Raumhöhe
   - Beschreibung der Raumnutzung (Lager, Büro, Kantine, etc.)
   - Auflistung der Nutzungsrandbedingungen und Konditionierungsanforderungen jedes Raums, wie
     - Nutzungszeit (Stunden pro Tag und Tage pro Jahr),
     - Innenraumsolltemperaturen für den Heiz- und ggf. Kühlfall,
     - Ggf. Kennwerte Lüftung,
     - Ggf. Trinkwarmwasserbedarf,
     - Beleuchtungsbedarf
   - Auflistung der Konditionierungssysteme
     - Wärmeübergabe
     - Zuordnung Wärmeerzeuger
     - Trinkwarmwasserbereitung
     - ggf. Kälteübergabe und Zuordnung Kälteerzeuger
     - Zuordnung RLT-Gerät/Lüftungsanlage
     - Festlegung der Gebäudeautomationsklasse gemäß Teil 11

2. Zusammenfassen identisch oder ähnlich genutzter und konditionierter Räume zu Zonen und Zuordnung von Katalognutzungen nach Teil 10 sowie Konditionierungssystemen aus Raumliste nach Nr. 6.3 DIN V 18599-1:2011-12; ggf. Vereinfachungen gemäß Nr. 6.3.4

3. Bestimmung der notwendigen geometrischen Kenngrößen für die definierten Zonen und zonenweisen Randbedingungen, u.a.
   - Nettogrundfläche
   - Mittlere Höhe
   - Netto- und Bruttovolumen
   - Versorgung durch Konditionierungssysteme

Im Rahmen der Zonierung – besonders von komplexeren Gebäuden – ist ein sinnvoller Kompromiss hinsichtlich der Anzahl der Zonen zu finden. Eine zu hohe Anzahl an Zonen erschwert die Dateneingabe unnötig; eine zu geringe kann die Abbildung von energetisch wesentlichen Eigenschaften des Gebäudes oder der Anlagentechnik verfälschen und sich

[25] Die Zonierung von Gebäuden ist in *Abschnitt 6.3* DIN V 18599-1:2011-12 geregelt. Hinsichtlich des Zusammenfassens von Zonen führt Abschnitt 6.3.4 sinngemäß aus:

- Zonen mit einer Größe ≤ 5 % der Gesamtfläche des Gebäudes dürfen einer anderen Zone zugeschlagen werden, wenn diese dieselben Konditionierungsarten aufweist. Nutzung und Konditionierungssysteme dürfen zwischen diesen Zonen voneinander abweichen.
- Zonen mit einer Größe ≤ 1 % der Gesamtfläche des Gebäudes dürfen einer anderen Zone zugeschlagen werden, wobei weder Nutzung noch Konditionierung übereinstimmen müssen. Die kleine Zone soll jedoch einer Zone zugeschlagen werden, welche dieser hinsichtlich Konditionierungsarten und Nutzung möglichst nahekommt.

nachteilig auf die Berechnungsgenauigkeit auswirken. Einfach gegliederte Hallengebäude, z.B. mit

- Lager, ggf. noch zusätzlichem Werkstattraum oder ähnliches
- Bürobereich
- Verkehrswegen
- Sanitärräumen

sollten sich, in Abhängigkeit von den Größenverhältnissen und ggf. Konditionierungsunterschieden, mit 2…5 Zonen abbilden lassen. Für komplexere Gebäude, z.B. mit weiteren Nutzungen oder unterschiedlich konditionierten Bereichen in derselben Nutzung, wie

- zusätzlichem Sonderlagerbereich mit maschineller Lüftung
- verschiedenen Kategorien von Büroräumen (mit/ohne RLT und/oder Kühlung)
- Besprechungsräumen, ggf. wiederum unterschiedlich konditioniert,
- Serverraum, etc.

können allerdings auch 10 oder mehr Zonen sinnvoll sein.

Angaben zum Baukörper

Für eine Berechnung des Nutzenergiebedarfs müssen u.a. Angaben zum baulichen Wärmeschutz und zur Gebäudedichtheit vorliegen; insbesondere

- für Bauteile, welche die Zone begrenzen,
    - Abmessungen,
    - U-Werte und
    - bei Fenstern und Verglasungen zusätzlich Lichttransmissions- und Energiedurchlassgrade,
- für jede Zone oder das gesamte Gebäude
    - Angaben zur Gebäudedichtheit; falls bekannt, n_{50}- oder q_{50}-Wert,
    - Angaben zu Wärmebrücken.

Angaben zur Anlagentechnik

Die Anlagentechnik ist im Rahmen der Dateneingabe im Wesentlichen durch die folgenden Angaben zu beschreiben:

- Raumwärme, -kälte
    - Erzeuger
        - Art/System und Energieträger
        - Vor-/Rücklauftemperatur
        - Standort
    - ggf. Speicher
        - Standort
        - Zuordnung zum Verteil- und Erzeugersystem
    - ggf. Verteilleitungen
        - Leitungslängen
        - Leitungsdämmung
        - Ort der Verlegung
    - Wärmeübergabe
        - Art/System
        - Raumtemperaturregelung

        - ggf. weitere systemspezifische Angaben
    - Verknüpfungen zwischen Erzeuger und Übergabe(n) oder RLT
    - Verknüpfung zwischen Übergabe(n) und Zone(n)
- Trinkwarmwasser
    - Erzeuger
        - Art/System
        - Standort
    - ggf. Verteilleitungen
        - ggf. Leitungslängen
        - Leitungsdämmung
        - Ort der Verlegung

  Hinweis: Der Trinkwarmwasserbedarf einer Zone kann auch in einer anderen Zone gedeckt werden.

- Beleuchtung
    - Leuchten-/Lampenart und ggf. Art des Vorschaltgerätes
    - Steuerung / Regelung
- RLT/Lüftung
    - Funktionen/Luftkonditionierung
    - Nennvolumenströme
    - ggf. Überströmung zwischen Zonen etc.

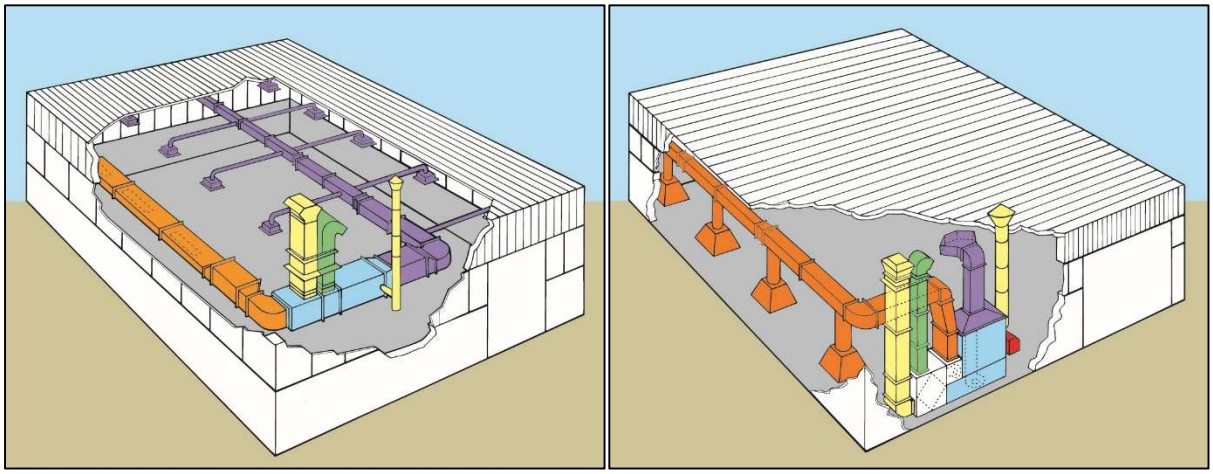


Abbildung 31 Schema Hallenlüftung mit Direktbeheizung (dezentraler Warmlufterzeuger; Quelle: Fa. Nordluft GmbH, Lohne); links: Hallenbe-/entlüftung für allgemeinen Personenaufenthalt (Saalbetrieb usw.); rechts: Hallenlüftung mit Arbeitsplatzabsaugung und Wärmerückgewinnung

Übersicht

Zonierung

1. **Raumliste**
   - Aussagekräftige Bezeichnung
   - Nettogrundfläche
   - Raumhöhe
   - Nutzungsparameter und Konditionierungsanforderungen
   - Konditionierungssysteme

Nr.	Bezeichnung	A_{NGF} [m²]	h [m]	$\theta_{i,h,soll}$ [°C]	Heizung			RLT							Statische Kühlung			...
					Übergabe	Verteilkreis	Erzeuger	Funktion						Gerät	Übergabe	Verteilkreis	Erzeuger	
								Zuluft	Abluft	H	K	B	E					
1.1	Hochregallager	1385	12	12	--- Dunkelstrahler ---			...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1.2	HAST	50	3	15	Heizkörper	H1	Gas-BW A	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1.3	Büro	20	3	20	Heizkörper	H1	Gas-BW A	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1.4	Besprechung	30	3	20	FBH	H2	Gas-BW A	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1.5	Sanitär	15	3	20	Heizkörper	H3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2.1	Büro	20	3	20	Heizkörper	H1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2.2	Büro	20	3	20	FBH	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2.3	Sanitär	10	3	20	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2.4	Besprechung	50	3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

2. **Zuordnung von Katalognutzungen nach DIN V 18599-10**

Nr.	Bezeichnung	A_{NGF} [m²]	h [m]	$\theta_{i,h,soll}$ [°C]	...	Nutzung	...
1.1	Hochregallager	1385	12	12	...	43: Lagerhallen, Logistikhallen	...
1.2	HAST	50	3	15	...	20: Lager, Technik, Archiv	...
1.3	Büro	20	3	20	...	1: Einzelbüro	...
1.4	Besprechung	30	3	20	...	4: Besprechung	...
1.5	Sanitär	15	3	20	...	16: WC und Sanitär[...]	...
2.1	Büro	20	3	20	...	1: Büro	...
2.2	Büro	20	3	20	...	1: Büro	...
2.3	Sanitär	10	3	20	...	16: WC und Sanitär[...]	...
2.4	Besprechung	50	3	...	...	4: Besprechung	...
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...

3. **Zusammenfassung identisch oder ähnlich genutzter und konditionierter Räume zu Zonen und Bestimmung der zonenweisen Randbedingungen**

Nr.	Bezeichnung	A_{NGF} [m²]	h [m]	$\theta_{i,h,soll}$ [°C]	...	Nutzung	...
1.1	Hochregallager	1385	12	12	...	43: Lagerhallen, Logistikhallen	...
1.2	HAST	50	3	15	...	20: Lager, Technik, Archiv	...
1.3	Büro	20	3	20	...	1: Einzelbüro	...
1.4	Besprechung	30	3	20	...	4: Besprechung	...
1.5	Sanitär	15	3	20	...	16: WC und Sanitär[...]	...
2.1	Büro	20	3	20	...	1: Büro	...
2.2	Büro	20	3	20	...	1: Büro	...
2.3	Sanitär	10	3	20	...	16: WC und Sanitär[...]	...
2.4	Besprechung	50	3	...	...	4: Besprechung	...
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...

Zone	A_{NGF} [m²]	h [m]	...	Heizung			RLT							Statische Kühlung			...
				Übergabe	Verteilkreis	Erzeuger	Funktion						Gerät	Übergabe	Verteilkreis	Erzeuger	
							Zuluft	Abluft	H	K	B	E					
Lagerhalle	1385	12	...	--- Dunkelstrahler ---													...
Technik	50	3	...	Heizkörper	H1	Gas-BW A											...
Büro	150	3	...	Heizkörper (30 %)	H1	Gas-BW A											...
			...	FBH (70 %)	H2	Gas-BW A											...
Besprechung 1	30	3	...	FBH	H2	Gas-BW A	x	x	x				RLT A	Kühldecke	K1	KKM 1	...
Besprechung 2	200	3	...	FBH	H2	Gas-BW A	x	x	x	x	x	x	RLT B				...
Sanitär	25	3	...	Heizkörper	H3	Gas-BW A		x					Abl. dez				...

Angaben zum Baukörper

- Zonenbegrenzende Bauteile
  - o Abmessungen
  - o Bauteilkennwerte (U, für Fenster zusätzlich g, τ, …)
- Gebäudedichtheit (zonen- oder gebäudeweise)
- Wärmebrücken

Angaben zur Anlagentechnik

- Raumwärme/-kälte
  - o Erzeugung
    - Art/System
    - Energieträger
    - Standort
  - o Speicher
    - Standort
  - o Verteilleitungen
    - Leitungslängen
    - Dämmung
    - Ort der Verlegung
  - o Übergabe
    - Art/System
    - Raumtemperaturregelung
    - ggf. weitere systemspezifische Angaben
  - o Verknüpfungen zwischen Erzeugung, ggf. Speicher und Übergabe(n) oder RLT
  - o Verknüpfungen zwischen Übergabe(n) und Zone(n)
- Trinkwarmwasser
  - Erzeugung (ggf. Verknüpfung mit Erzeuger Raumwärme)
  - Verteilleitungen (…)

  Hinweis: Der Trinkwarmwasserbedarf einer Zone kann in einer anderen Zone gedeckt werden.
- Beleuchtung
  - o Leuchten-/Lampenart und ggf. Art des Vorschaltgeräts
  - o Steuerung
- RLT/Lüftung
  - o Funktionen/Luftkonditionierung
  - o Nennvolumenströme und ggf. Überströmung zwischen Räumen

Dateneingabe DIN V 18599

Abbildung 32 Zusammenstellung der Eingabedaten für eine Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599

6.2 Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes

Die EnEV fordert für zu errichtende Gebäude einen ausreichenden baulichen sommerlichen Wärmeschutz und konkretisiert, dass die diesbezüglichen Anforderungen der DIN 4108-2:2013-02 [22] einzuhalten sind. Für den Nachweis der Einhaltung dieser Anforderungen bestehen zwei Optionen:

- Vereinfachtes Verfahren nach *Abschnitt 8.3* DIN 4108-02
  - Begrenzung des *vorhandenen Sonneneintragskennwertes*, sodass dieser den *zulässigen Sonneneintragskennwert* nicht überschreitet
  - Berechnung nach *Abschnitt 8.3*
- Verfahren nach *Abschnitt 8.4* DIN 4108-2 auf Basis thermischer Simulation
  - Begrenzung der *Übertemperaturgradstunden*
  - Berechnung nach *Abschnitt 8.4* auf Basis einer thermischen Simulation mit den in *8.4* angegebenen Randbedingungen

Weiter führt die EnEV aus, dass es ausreicht, *die Berechnungen* […] *auf die Räume oder Raumbereiche zu beschränken, für welche die Berechnung nach Abschnitt 8.3 zu den höchsten Anforderungen führen würde*. Die Entscheidung, für welche Räume oder Raumbereiche ein Nachweis über die Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes zu führen ist, muss somit vom Nachweisführenden selbst getroffen werden. Die Autoren der Norm empfehlen, im Rahmen der Energieausweiserstellung nach EnEV, bei Nichtwohngebäuden mindestens einen kritischen Raum je Zone – für alle Zonen mit Personenaufenthalt – zu überprüfen [30]. Allerdings lässt sich anhand der Nutzungsbeschreibung bzw. der Nutzungsbezeichnung nach DIN V 18599-10 nicht immer sicher bestimmen, ob für die betrachtete Zone von Personenaufenthalt ausgegangen werden muss oder nicht; insofern besteht hier Interpretationsspielraum.

Bei einem sehr kleinen grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil darf der Nachweis entfallen[26].

Das vereinfachte Verfahren nach Abschnitt 8.3 DIN 4108-2:2013-02 ist vorwiegend auf Geschossbauweisen mit wohn- oder büroähnlicher Nutzung und die hier üblichen Geometrien ausgerichtet. Damit kann es in Hallengebäuden i.d.R. für kleinere abgetrennte Räume, wie z.B. Büro-, Aufenthalts- und Empfangsbereiche, verwendet werden. Für die eigentlichen Hallenbereiche – mit den hier üblichen Ausdehnungen, teilweise umlaufenden Verglasungen und zahlreichen Lichtkuppeln – ist es nur bedingt anwendbar und würde sehr oft zu deutlich höhere Anforderungen führen als eine entsprechende Simulationsrechnung zum sommerlichen Wärmeschutz. Für die Hallenhauptnutzung empfiehlt sich daher, sofern hier ein Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz erbracht werden muss, i.d.R. eine detaillierte Simulation.

[26] Je nach Neigung und Ausrichtung der Fenster betragen die Anteile zwischen 7 und 15 %; siehe *Abschnitt 8.2.2 DIN 4108-2:2013-02*, besonders *Tabelle 6* [22]

6.3 Nachweis EEWärmeG

Wird ein Gebäude im Geltungsbereich des EEWärmeGs neu errichtet, so ist der Energiebedarf des Gebäudes für Beheizung und ggf. Kühlung anteilig durch erneuerbare Energien im Sinne des Gesetzes zu decken oder es sind Ersatzmaßnahmen im Sinne des Gesetzes zu treffen.

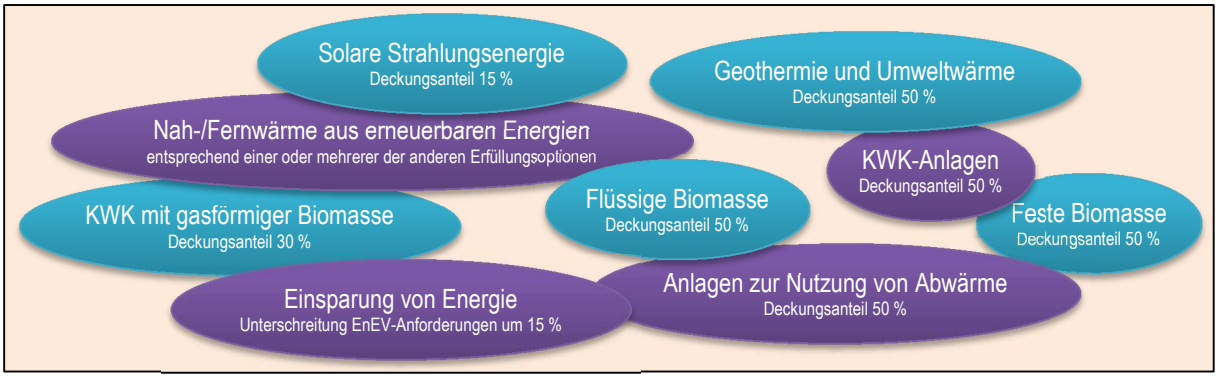


Abbildung 33 ***Erneuerbare Energien*** **und** ***Ersatzmaßnahmen*** **im Sinne des EEWärmeG (vgl. Tabelle 3)**

Der Nachweis der Einhaltung der Anforderungen des EEWärmeGs für Nichtwohngebäude, besonders Hallen, stützt sich meistens auf Ergebnisse der Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599 und EnEV oder die Bewertung des baulichen Wärmeschutzes nach EnEV. Die einzelnen Erfüllungsoptionen des EEWärmeGs fordern i.d.R., dass die Summe aus Erzeugernutzwärme- und -kälteabgabe zu einem bestimmten Teil durch die in der Option genannte Energieform bzw. die entsprechende Anlage zur Nutzbarmachung dieser Energieform zu decken ist. Eine Ausnahme stellt hier die Ersatzmaßnahme *Einsparung von Energie* dar – diese fordert die Unterschreitung der beiden EnEV-Hauptanforderungen um den im Gesetz festgelegten Satz.

Zentrale Begrifflichkeit in der Nachweisführung ist der sogenannte **Erfüllungsgrad**, der sich auch aus der Kombination verschiedener Erfüllungsoptionen ergeben kann. Alle Erfüllungsoptionen und ggf. Nebenkriterien sind überblicksmäßig in 3.2 (Tabelle 3) aufgeführt.

Berechnungsbeispiel

In einer Werkhalle mit Sozial- und Lagerbereich bestehen keine technisch und wirtschaftlich sinnvollen Optionen zur Erfüllung des EEWärmeGs durch unmittelbaren Nutzung erneuerbarer Energien. Auf Grundlage einer Energiebedarfsberechnung und der Außenbauteil-Kennwerte kommen folgende Aspekte für eine Erfüllung des EEWärmeGs über Ersatzmaßnahmen infrage:

- Die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage trägt mit 10 % zur Deckung der notwendigen Erzeugernutzwärmeabgabe bei[27].
- Der EnEV-Anforderungswert des Primärenergiebedarfs wird um 17 % unterschritten.
- Für die Bewertung des baulichen Wärmeschutzes ($\overline{U}$) ergeben sich die folgenden Unterschreitungen
  - Zone 1, Werkhalle ($\theta_{i,h,soll} \geq 19$ °C)
    - Opake Außenbauteile: 14 %
    - Transparente Außenbauteile: 30 %
  - Zone 2, Sozialbereich ($\theta_{i,h,soll} \geq 19$ °C)
    - Opake Außenbauteile: 18 %
    - Transparente Außenbauteile: 30 %

[27] Der Deckungsanteil der Wärmerückgewinnung einer Lüftungsanlage kann berechnet werden, indem die Erzeugernutzwärmeabgaben der folgenden beiden Szenarios verglichen werden:
(1) Berechnung für Gebäude und Anlagengentechnik wie geplant/ausgeführt mit Lüftungsanlage und Wärmerückgewinnung
(2) Weitere Berechnungsvariante, bei der die Lüftungsanlage nicht über eine Wärmerückgewinnung verfügt, alle sonstigen Parameter jedoch identisch sind

Der gemäß EEWärmeG als *Nutzung von Abwärme* anrechenbare Anteil rückgewonnener Wärme an der Erzeugernutzwärmeabgabe ergibt sich als Differenz der Erzeugernutzwärmeabgaben beider Szenarios $Q_{h,outg,(2)} - Q_{h,outg,(1)}$

- Zone 3, Lager ($\theta_{i,h,soll}$ < 19 °C)
  - Opake Außenbauteile: 40 %
  - Transparente Außenbauteile: 50 %

Die Erfüllung des EEWärmeGs ist hier über die folgenden Optionen, ggf. in Kombination, möglich:

- ***Anlagen zur Nutzung von Abwärme* und**
- ***Maßnahmen zur Einsparung von Energie.***

Für die *Nutzung von Abwärme* beträgt der nach EEWärmeG geforderte Deckungsanteil an der Gesamterzeugernutzwärme-/-kälteabgabe für eine vollständige Erfüllung des EEWärmeGs 50 %. Somit ergibt sich eine anteilige Erfüllung von

$$\frac{10\ \%}{50\ \%} = 0{,}2 \text{ bzw. } 20\ \%$$

Bei der Option *Einsparung von Energie* beträgt die notwendige Übererfüllung der EnEV-Anforderungen an den Primärenergiebedarf und den baulichen Wärmeschutz jeweils 15 % für eine vollständige Erfüllung des EEWärmeGs. Da sich diese Anforderung des EEWärmeGs gleichermaßen auf mehrere Kriterien bezieht – also keine Kompensation zwischen den einzelnen Übererfüllungen vorgesehen ist – darf zur Ermittlung des Erfüllungsgrades nur das (Teil-)**Kriterium** herangezogen werden, für welches die **geringste Übererfüllung** der EnEV-Anforderung besteht (siehe auch Beiblatt 2 zu DIN V 18599 vom Juni 2012). Im Beispiel ist dies die Position *$\overline{U}$, opake Außenbauteile* der *Zone 1* mit einer Unterschreitung des Anforderungswertes um 14 %. Es ergibt sich eine anteilige Erfüllung des EEWärmeGs von

$$\frac{14\ \%}{15\ \%} = 0{,}93 \text{ bzw. } 93\ \%$$

In Summe ergibt sich ein Erfüllungsgrad von

$$\mathbf{\frac{10\ \%}{50\ \%} + \frac{14\ \%}{15\ \%} = 1{,}13 \text{ bzw. } 113\ \%}$$

Das Gebäude genügt damit den Anforderungen des EEWärmeGs.

Hinweis: Der hier beschriebene *Erfüllungsgrad* des EEWärmeG ist keine energetische Kenngröße und nicht zu verwechseln mit einem Energiebedarfswert. Er ist das Ergebnis einer Bewertung eines Gebäudes anhand der Kriterien des EEWärmeGs, wobei diese Bewertung die Kombination verschiedener Erfüllungsoptionen erlaubt. Er ist i.d.R. nicht für einen anschaulichen Vergleich verschiedener Gebäude-Anlagen-Konfigurationen geeignet.

7 Erfüllung der Anforderungen aus EnEV 2014 / EEWärmeG 2011

7.1 Vorgehen und allgemeine Randbedingungen

Nachfolgend werden die Erfüllungsmöglichkeiten der Anforderungen aus EnEV 2014 und EEWärmeG 2011 jeweils

- einmal für Bauvorhaben bis zum 31.12.2015 und
- einmal für Bauvorhaben ab dem 01.01.2016

anhand der Modellgebäude nach Kapitel 5.1 auf Grundlage von Energiebedarfsberechnungen nach DIN V 18599:2011-12 untersucht. Die DIN V 18599:2011-12 ist das durch EnEV 2014 und EEWärmeG in Bezug genommene und für die Energiebedarfsausweiserstellung von Nichtwohngebäuden zwingend anzuwendende Berechnungsverfahren.

Für **jedes Modellgebäude** wird ein typisches Gebäudebeispiel (siehe Abbildungen 34, 36 ff) hinsichtlich Geometrie, Hüllflächenaufbau, Zonierung und Nutzungen in Anlehnung an die Auswertung der vorliegenden EnEV-Nachweise (vgl. 5.1) definiert. Die Modellgebäude werden hierbei vereinfachend i.d.R. mit zwei Zonen abgebildet,

- die Hauptnutzung *Halle* und
- eine weitere Zone für Büro-, Technik-, Sanitärflächen, usw.

Für jedes Modellgebäude wird eine Serie von Energiebedarfsberechnungen durchgeführt, wobei alle gebäude- und nutzungsseitigen Parameter konstant bleiben und lediglich das Heizungssystem der Hallenzone(n) variiert wird[28]. Abweichend hierzu wird das Modellgebäude Fertigungshalle in zwei getrennten Berechnungsdurchläufen mit zwei unterschiedlichen Wärmeschutzniveaus untersucht, um Unterschiede der EnEV-Anforderungsniveaus vor und ab 2016 zu verdeutlichen.

Die Berechnungen werden mit einer kommerziellen Energieberater-Software[29] durchgeführt. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich bei dem hier verwendeten Ansatz um einen typisierten Vergleich – **Beispielberechnungen unter normierten Randbedingungen** – handelt. Bei der Verwendung individueller Produktkennwerte sowie Wahl anderer Anlagenparameter (z.B. in der Raumtemperaturregelung) können sich andere Ergebnisse zeigen; ebenso können reale Energieverbräuche, z.B. in Abhängigkeit von der konkreten Nutzung oder anderen normativ nicht erfassten Gebäude- und Anlagenparametern, von den nach Norm berechneten Energiebedarfswerten abweichen.

Weitere Festlegungen für die Berechnungen:

- Bei den Berechnungen und Ergebnisdarstellungen wird stets ein für alle Varianten einheitliches Wärmeschutzniveau der baulichen Hülle unterstellt – ausgesuchte Variationen des baulichen Wärmeschutzes (z.B. vollflächige Bodendämmung statt Randdämmung) werden separat dargestellt.
- Wärmebrücken werden durch den pauschalen Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} berücksichtigt. Hierbei wird jeweils der für das Referenzgebäude nach EnEV anzusetzende Wert auch für das betrachtete Modellgebäude unterstellt; d.h. dass Außenbauteile von Zonen mit Solltemperaturen ≥ 19 °C einen Zuschlag von ΔU_{WB} = 0,05 W/m²K bekommen, Außenbauteile von Zonen mit Solltemperaturen unter 19 °C einen Zuschlag von ΔU_{WB} = 0,10 W/m²K.

[28] In einigen untersuchten Konstellationen wird von einem einzigen zentralen Wärmeerzeuger ausgegangen, welcher sowohl die Hallenzone als auch Nebenzonen versorgt. Für diese Konstellationen kann ein Wechsel des Wärmeerzeugers sich auch geringfügig auf die Energiebilanz der Nebenzone(n) auswirken.
[29] Hottgenroth Energieberater 18599 Version 8.5.9

- Für alle Gebäude wird von der Durchführung einer Luftdichtheitsmessung nach Baufertigstellung ausgegangen und der entsprechende Standardwert der hüllflächenbezogenen Luftdurchlässigkeit q_{50} bzw. des Luftwechsels n_{50} gemäß DIN V 18599-2:2011-12 verwendet.
- Jedes der untersuchten Modellgebäude wird vordergründig durch die (Hallen-)Hauptnutzung geprägt – z.B. *Fertigungshalle*, *Sporthalle*, etc. – die übrigen Nutzungsbereiche der Gebäude werden aus Gründen der Vereinfachung und Übersichtlichkeit i.d.R. zu einer oder wenigen Zone (z.B. Büro) zusammengefasst.
- Als Nutzungsrandbedingungen werden ausschließlich *Katalognutzungen* nach DIN V 18599-10:2011-12 und die darin enthaltenen Parameter herangezogen.
- Die Auswahl der dargestellten Anlagentechnik-Varianten jedes Modellgebäudes stützt sich auf umfangreiche Experten-Interviews und die Auswertung von Energieausweisen zu umgesetzten Bauvorhaben des Zeitraums 2009 bis 2014. Dennoch kann im Rahmen der vorliegenden Untersuchung stets nur eine beispielhafte Betrachtung erfolgen – neben den hier dargestellten Varianten sind zahlreiche andere Umsetzungen möglich.
- Jede Serie von Vergleichsberechnungen enthält eine *Variante 0*, welche hinsichtlich Beheizung der Zone *Halle* dem Referenzgebäude nach *Tabelle 1 Anlage 2* EnEV [7, 10] entspricht.
- Für die jeweilige sekundäre Nutzung (i.d.R. Zone *Büro*) wird eine über alle Anlagentechnik-Varianten einheitliche Konditionierung und Ausstattung unterstellt – es wird lediglich die Beheizung der Hauptnutzung (Zone *Halle*) variiert.
- Es wird in den Berechnungen kein Energiebedarf für Kühlung[30] berücksichtigt.
- Für KWK-Systeme wird einheitlich mit Standardwerten nach DIN V 18599-8:2011-12 (Berichtigung 1:2013-05) gerechnet. Diese sind an einen relativ kleinen KWK-Leistungsbereich angepasst – zur Anpassung an die üblicherweise deutlich höheren Heizleistungen, welche in den hier betrachteten Gebäuden notwendig sind, wird abweichend von den Standardwerten eine Stromkennzahl von $\sigma = 0{,}5$ unterstellt.
- Für alle betrachteten Modellgebäude bis auf den *Großmarkt* wird eine zentrale Trinkwassererwärmung über den zentralen Wärmeerzeuger der Nebenzone unterstellt. Für das Modellgebäude Großmarkt wird von dezentraler elektrischer Trinkwassererwärmung in mehreren Zonen ausgegangen.
- Bei den Berechnungen für die beiden Strahlungsheizsysteme *Hell-* und *Dunkelstrahler* werden die Installationsarten *indirekte Abgasführung über die Hallenluft* für Hellstrahler bzw. *direkte Abgasführung* für Dunkelstrahler unterstellt. Bei der für Dunkelstrahler gemäß DIN EN 416-1 [31] und DVGW G 638-2 [32] ebenso zulässigen Aufstellungsvariante *Installationsart A* mit indirekter Abgasführung wären die Ergebnisse beider Systeme bei ansonsten gleichen Bedingungen identisch[31].

[30] Nach Ergebnissen einer systematischen Expertenbefragung und Auswertung der vorliegenden EnEV-Nachweise ist die Kühlung von Hallengebäuden bzw. von Großräumen innerhalb von Hallengebäuden in der Praxis auf sehr wenige Fälle (z.B. Großmärkte bzw. Fachmärkte) beschränkt – in diesen Fällen werden Räume aufgrund besonderer Anforderungen des bearbeiteten Gutes/ Lagergutes oder zur Erzielung höherer Behaglichkeitsanforderungen von Verkaufsräumen im Sommer gekühlt.

[31] Eine Anlagenausführung von Dunkelstrahlern mit indirekter Abgasführung ist im zugrundeliegenden Berechnungsverfahren DIN V 18599:2011-12 Teil 5 nicht vorgesehen und damit im Rahmen eines EnEV-Nachweises mit üblicher Software nicht abbildbar.

Neben den für die Einhaltung von EnEV und EEWärmeG wesentlichen Ergebnissen werden Energiekosten geschätzt, welche sich auf Grundlage der hier ermittelten Endenergiebedarfswerte ergeben würden. Es wird von Mischpreisen[32] (inkl. MwSt.) nach Tabelle 8 ausgegangen.

Tabelle 8 Energiepreise

Energieträger	Brutto-Mischpreis, brennwertbezogen [Ct/kWh$_{HS}$]
Erdgas	5,8
Holzpellets	5,0
Elektroenergie	23
Fernwärme	8,0

Energiepreise können in der Praxis abhängig von mehreren Faktoren wie Standort, Anbieter und Kostenmodell sowie Abnahmemenge (Gebäudegröße/Energieverbrauch) über einen weiten Bereich schwanken. Entsprechend können sich bei Kostenbetrachtungen für reale Objekte andere Kostentendenzen zeigen als in den nachfolgend dargestellten Ergebnissen.

Bei der Interpretation der informativ dargestellten, geschätzten Energiekosten ist auch zu berücksichtigen, dass diese allein keine Aussage über die Wirtschaftlichkeit einer Gebäude-Anlagen-Konfiguration erlauben – hierfür wäre eine umfassende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung notwendig, welche neben den bloßen Energiekosten auch erstmalige Investitionen, ggf. Kreditkonditionen und Fördermöglichkeiten, Aufwendungen für Wartung und Instandhaltung sowie die zukünftige Kostenentwicklung einbezieht. Eine solche Betrachtung ist nicht Ziel der vorliegenden Untersuchung und würde ihren Rahmen sprengen.

Hinsichtlich der geschätzten Energiekosten für Anlagenvarianten mit Stromerzeugung durch Kraft-Wäre-Kopplung wird eine vollständige Eigennutzung der selbst erzeugten Elektroenergie bzw. eine Einspeisung von ggf. erzeugten Überschüssen zum Bezugspreis unterstellt. Die Größe der Anlage sowie deren Deckungsanteil orientieren sich an Standardwerten nach DIN V 18599-9:2011-12 sowie Herstellerangaben. Bei realen Umsetzungen können sich je nach Anlagengröße, tatsächlichem Eigenbedarf, Energie-Bezugspreisen und Einspeisekonditionen deutlich abweichende Ergebnisse zeigen.

Darstellung der Ergebnisse

Die Berechnungsergebnisse (Kapitel 7.2.2, 7.3.2, usw.) zu jedem Modellgebäude werden wie folgt dargestellt:

- Die erste Tabelle (Tabellen 11/13, 18, 22, 26, 30) fasst die Bewertung des baulichen Wärmeschutzes anhand mittlerer Wärmedurchgangskoeffizienten $\overline{U}$ gemäß EnEV zusammen (vgl. 5.2.1). Hierbei wird die kleinste Unterschreitung der EnEV-Anforderungswerte farbig hervorgehoben – diese Unterschreitung kann im Rahmen einer Bewertung nach EEWärmeG relevant sein, falls die Ersatzmaßnahme *Einsparung von Energie* genutzt werden soll (Unterschreitung der EnEV-Anforderungen um 15 %, siehe auch 3.2).
- Die zweite Tabelle (Tabellen 12/14, 19, 23, 27, 31) listet für alle untersuchten Anlagentechnik-Varianten des betrachteten Modellgebäudes auf:
    - die wesentlichsten Energiebedarfswerte,
        - Erzeugernutzwärmeabgabe,

[32] Die üblichen Preismodelle zu Energieträgern, für deren Lieferung eine umfangreiche Infrastruktur seitens des Energielieferanten vorgehalten werden muss, beinhalten i.d.R. Grund- und Arbeitspreise. Mitunter werden weitere Leistungen ausgepreist (z.B. Messpreise bei Fernwärmeanschlüssen). Bei der Angabe von Mischpreisen werden alle energiemengenunabhängigen Preiskomponenten (Grundpreise usw.) – vereinfacht für eine repräsentative fixe Energiemenge – auf die energiemengenbezogenen Arbeitspreise aufgeschlagen.

        - Endenergie für Wärme, Trinkwassererwärmung und Beleuchtung,
        - Hilfsenergie,
    - die geschätzten Energiekosten,
    - die primärenergetische Bewertung nach EnEV (Anforderungs- und „Ist"-Wert) sowie
    - die Erfüllungsgrade des EEWärmeGs durch
        - Unterschreitung von EnEV-Anforderungen[33] und
        - Nutzung erneuerbarer Energien oder sonstige Ersatzmaßnahmen nach EEWärmeG

- Das nachfolgende Diagramm (Abbildungen 35/36, 38, 40, 42, 44) stellt im oberen Teil die Primärenergiebedarfswerte aller Anlagentechnik-Varianten sowie den jeweiligen EnEV-Anforderungswert gegenüber. Die untere Hälfte des Diagramms zeigt die Endenergiebedarfswerte und die geschätzten Energiekosten aller Anlagentechnik-Varianten. Hierbei wird jeweils links mit dezentral beheizten Varianten begonnen; rechts folgen zentral beheizte Varianten.

Alle Ergebnisse, welche von den Verschärfungen des EnEV-Anforderungsniveaus ab 01.01.2016 betroffen sind, werden getrennt für die beiden Anforderungsniveaus

- EnEV 2014: Bauvorhaben bis 31.12.2015 und
- EnEV 2014: Bauvorhaben ab 01.01.2016

dargestellt.

[33] Der Text der EnEV beschreibt nicht eindeutig, wie $\overline{U}$ ab 2016 – mit der dann gültigen Ausnahmeregelung von dezentral beheizten Hallenbereichen – zu berechnen ist. Bei Bearbeitung dieses Leitfadens lag diesbezüglich noch keine Aussage des Verordnungsgebers vor. Nachfolgend wird die Einhaltung bzw. Unterschreitung der EnEV-Anforderung an den baulichen Wärmeschutz dargestellt für

- das Anforderungsniveau 2014 (bis 31.12.2015), unterteilt in
    - die Gesamtheit aller Zonen mit Innenraum-Solltemperaturen < 19 °C und
    - die Gesamtheit aller Zonen mit Innenraumsolltemperaturen ≥ 19 °C,
- das Anforderungsniveau 2016, unterteilt in
    - die Gesamtheit aller Zonen mit Innenraum-Solltemperaturen < 19 °C (keine Veränderung gegenüber 2014),
    - die Gesamtheit aller Zonen mit Innenraumsolltemperaturen ≥ 19 °C, Raumhöhen > 4 m und dezentralen Hallenheizsystemen und
    - die Gesamtheit aller sonstigen Zonen mit Innenraumsolltemperaturen ≥ 19 °C

Nach Abschluss der inhaltlichen Bearbeitung dieses Leitfadens wurde durch den Verordnungsgeber konkretisiert, dass die Berechnung von $\overline{U}$ ab 2016 auch bei Zonen mit Temperaturen < 19 °C getrennt für dezentral beheizte Bereiche mit Raumhöhen > 4 m und alle sonstigen Bereiche erfolgen soll (siehe auch 5.2.1, Tabelle 6). In den nachfolgend dargestellten Berechnungen würden sich durch diese weitere Unterscheidung keine signifikant abweichenden Ergebnisse für $\overline{U}$ zeigen.

7.2 Fertigungshalle

7.2.1 Randbedingungen

Für die exemplarischen Energiebedarfsberechnungen wird das Gebäude vereinfacht mit zwei Zonen, der Hauptnutzung *Halle* (überwiegend stehend ausgeführter Tätigkeit und mittelschwere Arbeit, 17 °C) und einer *Büro*-Zone, abgebildet, wobei letztere weitere Nebennutzungen, wie Aufenthalts-, Technik- und Sanitärräume einschließt.

Um die verschiedenen Anforderungsniveaus der EnEV 2014 zu verdeutlichen, werden für dieses Modellgebäude zwei verschiedene Wärmeschutzniveaus betrachtet. Eines entspricht einer heute üblichen Baupraxis in diesem Gebäudebereich. Das zweite Niveau wurde so definiert, dass auch die ab 2016 verschärften EnEV-Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz noch sicher um 15 % unterschritten werden können.

Für alle Berechnungsvarianten wird einheitlich für alle Zonen von freier Lüftung und direkter Beleuchtung mit stabförmigen Leuchtstofflampen und elektronischen Vorschaltgeräten ausgegangen. Es wird eine Bodenplatte mit 5 m breiter waagerechter Randdämmung (U = 0,35 W/m²K) und ungedämmtem Kernbereich angenommen. Zusätzlich wird der Einfluss einer vollflächigen Bodendämmung betrachtet – diese Ergebnisse werden im Rahmen der *Ergebniszusammenfassung* separat dargestellt.

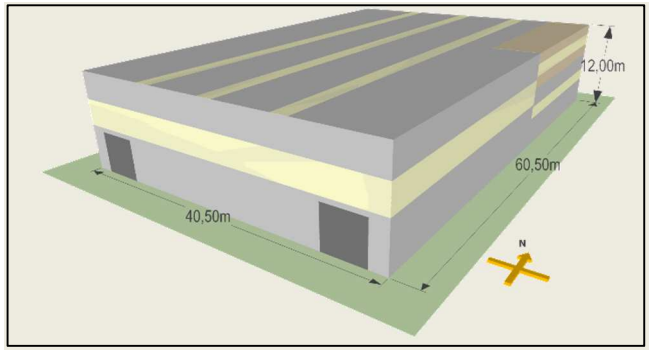


Abbildung 34 Fertigungshalle

Tabelle 9 Anlagentechnik Fertigungshalle (siehe auch Anhang 3)

Kurzbezeichnung	Anlagentechnik	
	Halle (Hauptnutzung)	**Büro** (untergeordnet: Sanitär, Technik, usw.)
0: WLE; LA →	Warmlufterzeuger, Luftauslass seitlich	BW-Kessel, Heizkörper
1: WLE kond; WLR	Warmlufterzeuger kondensierend, Warmluftrückführung (PI)	
2: DS	Dunkelstrahler, standard	
3: DS; verb	Dunkelstrahler, verbessert	
4: HS	Hellstrahler, standard	
5: HS; verb	Hellstrahler, verbessert	
6: BW; DSP verb*	zentraler Wärmeerzeuger Zone Büro, Deckenstrahlplatten verbessert*	BW-Kessel, Heizkörper
7: BW; LH+WLR	zentraler Wärmeerzeuger Zone Büro, Lufterhitzer mit Warmluftrückführung (PI)	
8: BW; FBH	zentraler Wärmeerzeuger Zone Büro, Fußbodenheizung ohne Dämmung	
9: HP; LH LA ↓	zentraler Wärmeerzeuger Zone Büro, Lufterhitzer von oben	Holzpellet-Kessel, Heizkörper
10: HP; DSP verb*	zentraler Wärmeerzeuger Zone Büro, Deckenstrahlplatten verbessert*	
11: BHKW+BW; FBH	zentraler Wärmeerzeuger Zone Büro, Fußbodenheizung ohne Dämmung	BHKW + BW-Kessel, Heizkörper

Tabelle 10 Gebäude, Nutzung, Konditionierung Fertigungshalle

		Halle	**Büro** (untergeordnet: Sanitär, Technik usw.)
Nutzung DIN V 18599-10:2011-12		A.23	A.2
Konditionierung	Heizung	✓	✓
	Trinkwarmwassererwärmung	✓	✓
	Lüftung/RLT	-	-
	└ Funktionen		
	Beleuchtung	✓	✓
Geometrie	Länge [m]	60,5	25
	Breite [m]	40,5	6
	Höhe [m]	12	4,3
	Nettogrundfläche A_{NGF} [m²]	2.400	150
	mittlere Raumhöhe h_R [m]	11	3,9
	Bruttovolumen V_{brutto} [m³]	29.300	675
	Nettovolumen V_{netto} [m³]	25.700	530
Wärmedurchgangskoeffizienten [W/m²K]	*Boden gegen Erdreich*		
	├ Randstreifen 5 m	0,35	-
	└ ungedämmter Bereich	3,5	-
	Dach		
	├ Trapezblech/Iso-Paneele	0,24	0,24 / 0,22*
	└ Lichtkuppeln	1,9	-
	Außenwand		
	├ umlaufender Betonsockel bis 2 m	0,38	-
	├ Iso-Paneele ab 2 m	0,24	0,24
	├ Tore	2,0	-
	└ Außenfenster	1,3	1,3 / 1,1*
	pauschaler Wärmebrückenzuschlag	0,10	0,05

* Berechnungsvariante *verbesserte U-Werte*

7.2.2 Ergebnisse

Übliche U-Werte 2009-2014

Tabelle 11 Bewertung des baulichen Wärmeschutzes nach EnEV, Fertigungshalle, Übliche U-Werte 2009-2014

	2014				2016, Gebäude mit dezentral beheizten Zonen mit h > 4 m						2016, Gebäude ohne dezentral beheizte Zonen mit h > 4 m			
	θ < 19 °C		θ ≥ 19 °C		θ < 19 °C		θ ≥ 19 °C (dez. beh. Halle)		θ ≥ 19 °C (Rest)		θ < 19 °C		θ ≥ 19 °C	
	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist
Opake Außenbauteile; Zeile 1	0,50	0,24 (-52%)	0,35	0,24 (-31%)	0,50	0,24 (-52%)	0,35	---	0,28	0,24 (-14%)	0,50	0,24 (-52%)	0,28	0,24 (-14%)
Transparente Außenbauteile; Zeile 2	2,8	1,3 (-54%)	1,9	1,3 (-32%)	2,8	1,3 (-54%)	1,9	---	1,5	1,3 (-13%)	2,8	1,3 (-54%)	1,5	1,3 (-13%)
Lichtbänder, Lichtkuppeln; Zeile 4	3,1	1,9 (-39%)	3,1	---	3,1	1,9 (-39%)	3,1	---	2,5	---	3,1	1,9 (-39%)	2,5	---
Geringste Unterschreitung	0,24 (-31%)				1,3 (-13%)						1,3 (-13%)			

Tabelle 12 Energiebedarfswerte, Bewertung nach EnEV 2014 und 2016 und EEWärmeG 2011, Fertigungshalle, Übliche U-Werte 2009-2014

				0: WLE; LA →	1: WLE kond; WLR	2: DS	3: DS; verb	4: HS	5: HS; verb	6: BW; DSP verb*	7: BW; LH+WLR	8: BW; FBH	9: HP; LH LA ↓	10: HP; DSP verb*	11: BHKW+BW; FBH
Erzeugernutzwärmeabgabe		Σ	[kWh/m²a]	88,6	78,2	77,0	72,3	77,0	72,3	77,7	78,6	85,5	80,5	75,2	85,5
		Erneuerbarer Anteil**		-	-	-	-	-	-	-	-	-	80,5 (100%)	75,2 (100%)	68,4 (80%)
Endenergie	Wärme	Σ	[kWh$_{HS}$/m²a]	103,2	82,7	89,0	82,0	87,6	80,3	81,8	82,8	90,4	91,7	85,5	85,5
		Heizung		79,4	58,9	65,2	58,3	63,8	56,5	58,0	59,0	66,7	66,6	60,3	62,1
		Warmwasser		23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	25,2	25,2	23,4
	Beleuchtung		[kWh$_{el}$/m²a]	11,7											
Hilfsenergie		Σ	[kWh$_{el}$/m²a]	0,96	0,96	0,32	0,32	0,25	0,25	0,69	0,71	0,73	0,59	0,60	0,73
		Heizung		0,87	0,87	0,22	0,22	0,15	0,15	0,60	0,61	0,63	0,56	0,57	0,63
		Warmwasser		0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,03	0,03	0,09
Energiekosten			[€/m²a]	8,93	7,74	7,96	7,55	7,86	7,43	7,62	7,68	8,14	7,08	6,79	3,95
Bewertung nach EnEV 2014	Primärenergie	Anforderungswert EnEV	[kWh/m²a]	161,6											
		Ist		132,7 (-18%)	112,4 (-30%)	117,1 (-28%)	110,2 (-32%)	115,5 (-29%)	108,3 (-33%)	110,8 (-31%)	111,8 (-31%)	119,5 (-26%)	46,5 (-71%)	45,4 (-72%)	79,7 (-51%)
	Erfüllungsgrad EEWärmeG	durch Unterschreitung von q_P | $\bar{U}$	-	119% | 210%	203% | 210%	184% | 210%	212% | 210%	190% | 210%	220% | 210%	210% | 210%	206% | 210%	174% | 210%	475% | 210%	479% | 210%	338% | 210%
		durch Erneuerbare Energien**		-	-	-	-	-	-	-	-	-	200%	200%	160%
		Σ		119%	203%	184%	210%	190%	210%	210%	206%	174%	410%	410%	370%
Bewertung nach EnEV 2016	Primärenergie	Anforderungswert EnEV	[kWh/m²a]	144,7						117,5					
		Ist		125,1 (-14%)	104,8 (-28%)	109,8 (-24%)	103,0 (-29%)	108,3 (-25%)	101,1 (-30%)	103,4 (-12%)	104,4 (-11%)	112,0 (-5%)	39,1 (-67%)	38,0 (-68%)	72,3 (-38%)
	Erfüllungsgrad EEWärmeG	durch Unterschreitung von q_P | $\bar{U}$	-	90% | 89%	184% | 89%	161% | 89%	192% | 89%	168% | 89%	201% | 89%	80% | 89%	74% | 89%	31% | 89%	445% | 89%	451% | 89%	257% | 89%
		durch Erneuerbare Energien**		-	-	-	-	-	-	-	-	-	200%	200%	160%
		Σ		89%	89%	89%	89%	89%	89%	80%	74%	31%	289%	289%	249%

* Ausführung *verbessert und Einhaltung Außenwandabstand* gemäß *Tabelle 13* DIN V 18599-5:2011 [16]

** Berücksichtigt werden alle Maßnahmen und Ersatzmaßnahmen gemäß EEWärmeG, welche anhand ihrer Deckungsanteile an der Erzeugernutzwärme zu bewerten sind – aufgeführt in Tabelle 3 – sowie Kombinationen dieser Maßnahmen.

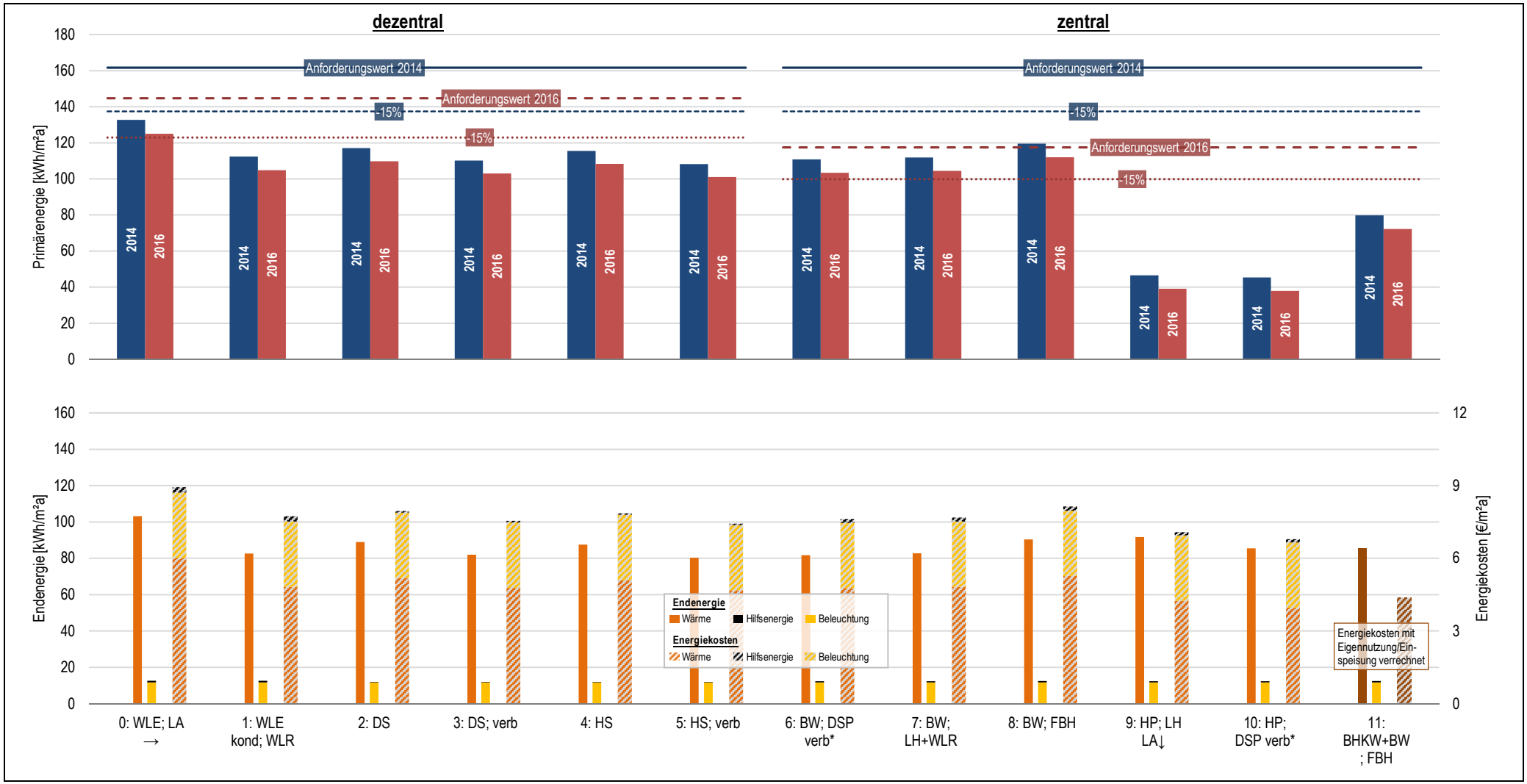


Abbildung 35 Energiebedarfswerte, Fertigungshalle, Übliche U-Werte 2009-2014

Verbesserte U-Werte (Dach und Fenster)

Tabelle 13 Bewertung des baulichen Wärmeschutzes nach *Tabelle 2 Anlage 2* EnEV, Fertigungshalle, Verbesserte U-Werte (Dach und Fenster)

	2014				2016, Gebäude mit dezentral beheizten Zonen mit h > 4 m						2016, Gebäude ohne dezentral beheizte Zonen mit h > 4 m			
	θ < 19 °C		θ ≥ 19 °C		θ < 19 °C		θ ≥ 19 °C (dez. beh. Halle)		θ > 19 °C (Rest)		θ < 19 °C		θ ≥ 19 °C	
	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist
Zeile 1: Opake Außenbauteile	0,50	0,24 (-52%)	0,35	0,23 (-35%)	0,50	0,24 (-52%)	0,35	---	0,28	0,23 (-19%)	0,50	0,24 (-52%)	0,28	0,23 (-19%)
Zeile 2: Transparente Außenbauteile	2,8	1,3 (-54%)	1,9	1,1 (-42%)	2,8	1,3 (-54%)	1,9	---	1,5	1,1 (-27%)	2,8	1,3 (-54%)	1,5	1,1 (-27%)
Zeile 4: Lichtbänder, Lichtkuppeln	3,1	1,9 (-39%)	3,1	---	3,1	1,9 (-39%)	3,1	---	2,5	---	3,1	1,9 (-39%)	2,5	---
Geringste Unterschreitung	0,23 (-35%)				0,23 (-19%)						0,23 (-19%)			

Tabelle 14 Energiebedarfswerte, Bewertung nach EnEV 2014 und 2016 und EEWärmeG 2011, geschätzte Energiekosten; Fertigungshalle, Verbesserte U-Werte (Dach und Fenster)

				0: WLE; LA →	1: WLE kond; WLR	2: DS	3: DS; verb	4: HS	5: HS; verb	6: BW; DSP verb*	7: BW; LH+WLR	8: BW; FBH	9: HP; LH LA↓	10: HP; DSP verb*	11: BHKW+BW; FBH
Erzeugernutzwärmeabgabe		Σ	[kWh/m²a]	88,2	77,8	76,6	71,9	76,6	71,9	77,3	78,2	85,1	80,3	75,0	85,1
		Erneuerbarer Anteil**		-	-	-	-	-	-	-	-	-	80,3 (100%)	75,0 (100%)	68,1 (80%)
Endenergie	Wärme	Σ	[kWh_{HS}/m²a]	102,7	82,2	88,5	81,6	87,1	79,8	81,4	82,3	90,0	91,4	85,1	85,1
		Heizung		79,0	58,5	64,8	57,8	63,4	56,1	57,6	58,6	66,2	66,1	59,9	61,7
		Warmwasser		23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	25,2	25,2	23,4
	Beleuchtung		[kWh_{el}/m²a]	11,7											
Hilfsenergie		Σ	[kWh_{el}/m²a]	0,96	0,96	0,31	0,31	0,24	0,24	0,69	0,70	0,72	0,59	0,60	0,72
		Heizung		0,86	0,86	0,22	0,22	0,15	0,15	0,60	0,61	0,63	0,56	0,57	0,63
		Warmwasser		0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,03	0,03	0,09
Energiekosten			[€/m²a]	8,91	7,71	7,93	7,53	7,83	7,41	7,60	7,66	8,11	7,06	6,77	4,35
Bewertung nach EnEV 2014	Primärenergie	Anforderungswert EnEV	[kWh/m²a]	161,6											
		Ist		132,2 (-18%)	111,9 (-31%)	116,6 (-28%)	109,7 (-32%)	115,1 (-29%)	107,8 (-33%)	110,4 (-32%)	111,4 (-31%)	119,1 (-26%)	46,5 (-71%)	45,3 (-72%)	79,5 (-51%)
	Erfüllungsgrad EEWärmeG	durch Unterschreitung von q_P | $\bar{U}$	-	121% | 233%	205% | 233%	186% | 233%	214% | 233%	192% | 233%	222% | 233%	211% | 233%	207% | 233%	175% | 233%	475% | 233%	480% | 233%	339% | 233%
		durch Erneuerbare Energien**		-	-	-	-	-	-	-	-	-	200%	200%	160%
		Σ		121%	205%	186%	214%	192%	222%	211%	207%	175%	433%	433%	393%
Bewertung nach EnEV 2016	Primärenergie	Anforderungswert EnEV	[kWh/m²a]	144,7						117,5					
		Ist		124,6 (-14%)	104,3 (-28%)	109,4 (-24%)	102,5 (-29%)	107,9 (-25%)	100,7 (-30%)	103,0 (-12%)	104,0 (-12%)	111,6 (-5%)	39,1 (-67%)	37,9 (-68%)	72,0 (-39%)
	Erfüllungsgrad EEWärmeG	durch Unterschreitung von q_P | $\bar{U}$	-	93% | 125%	186% | 125%	163% | 125%	194% | 125%	170% | 125%	203% | 125%	82% | 125%	77% | 125%	34% | 125%	445% | 125%	452% | 125%	258% | 125%
		durch Erneuerbare Energien**		-	-	-	-	-	-	-	-	-	200%	200%	160%
		Σ		93%	125%	125%	125%	125%	125%	82%	77%	34%	325%	325%	285%

* Ausführung *verbessert und Einhaltung Außenwandabstand* gemäß *Tabelle 13* DIN V 18599-5:2011 [16]

** Berücksichtigt werden alle Maßnahmen und Ersatzmaßnahmen gemäß EEWärmeG, welche anhand ihrer Deckungsanteile an der Erzeugernutzwärme zu bewerten sind – aufgeführt in Tabelle 3 – sowie Kombinationen dieser Maßnahmen.

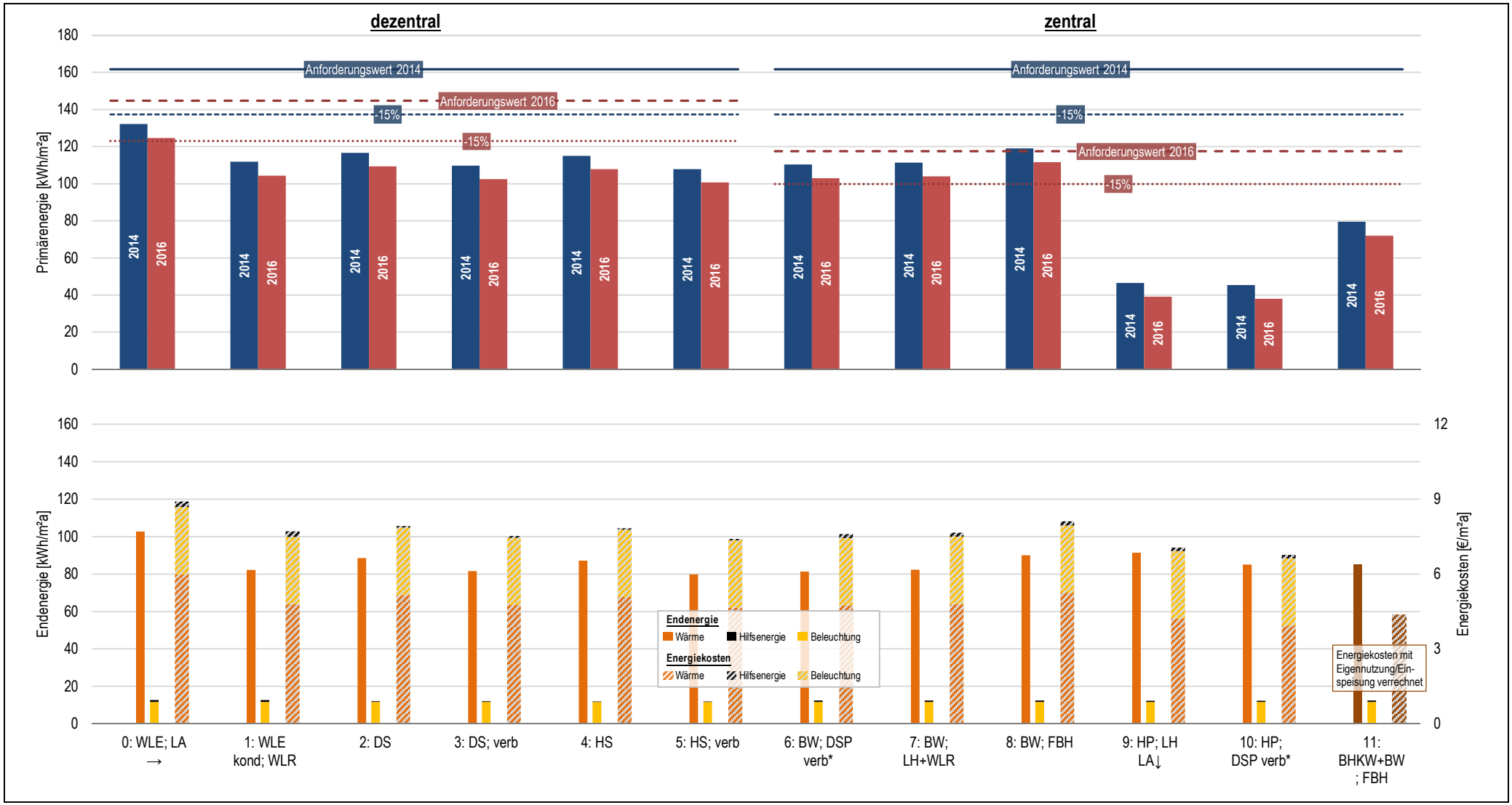


Abbildung 36 Energiebedarfswerte, Fertigungshalle, Verbesserte U-Werte (Dach und Fenster)

7.2.3 Ergebniszusammenfassung

Ablesebeispiel – Variante *1: WLE kond; WLR*

Die Bewertung des baulichen Wärmeschutzes des betrachteten Modellgebäudes nach EnEV für

- im Zeitraum 2009-2014 übliche und
- leicht verbesserte U-Werte von Fenstern und Dachfläche

ist den **Tabellen 11 und 13** zu entnehmen.

Bezüglich des Höchstwertes des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten werden mit dem gewählten üblichen Wärmeschutzniveau die Anforderungen der EnEV für 2014 und 2016 für alle Hüllflächenteile eingehalten. Für 2014 liegt die geringste Unterschreitung der Anforderungen (hier: bei opaken Außenbauteilen) bei 31%, für 2016 (hier: bei transparenten Außenbauteilen, also Fenstern) bei nur 13%. Mit dem bei Fenstern und Dachfläche leicht verbesserten Wärmeschutzniveau des Gebäudes liegt die geringste Unterschreitung der EnEV-Anforderungen 2016 (nun: bei opaken Außenbauteilen) bei 19% - damit ist gleichzeitig der bauliche Teil der Einhaltung der Anforderungen des EEWärmeG auf dem Wege der Ersatzmaßnamen durch zusätzliche Einsparung von Energie gegenüber dem EnEV-Niveau erfüllt.

Die **Tabellen 12 und 14** zeigen im oberen Tabellenbereich jeweils die Ergebnisse der Energiebedarfsberechnungen, im unteren Bereich die primärenergetischen Bewertungen nach EnEV und die Erfüllungsgrade des EEWärmeG im Jahre 2014 und 2016 für die jeweiligen Anlagenvarianten – wiederum für üblichen und leicht verbesserten Wärmeschutz der Hüllfläche des Modellgebäudes. Erfüllungsgrade < 100% bedeuten Nichterfüllung des EEWärmeG (Zahlen in rot), Erfüllungsgrade ≥ 100% bedeuten Erfüllung (Zahlen in grün).

Für die TGA-Variante 1 (Erdgas-WLE kond, WLR) ergeben sich z.B. für das übliche Wärmeschutzniveau:

Endenergiebedarf Wärme:	82,7	kWh/m²a (Heizung, Warmwasser)
Beleuchtung:	11,7	kWh/m²a
Hilfsenergie:	0,96	kWh/m²a
Energiekosten:	7,74	€/m²a

Mit dem leicht verbessersten Wärmeschutzniveau liegen die Ergebnisse derselben Anlagentechnik-Variante erwartungsgemäß geringfügig niedriger.

Die primärenergetischen Anforderungen der EnEV werden 2014 wie 2016 mit dem üblichen wie leicht verbesserten Wärmeschutzniveau des Gebäudes und der TGA-Variante 1, also einem dezentralen Heizsystem in der Hallenzone, deutlich eingehalten (Unterschreitung um 30 bzw. 31% für 2014 – um 28% für 2016). Hier ist zu berücksichtigen, dass die EnEV für Gebäudezonen mit Raumhöhen > 4 m beheizt mit dezentralen Hallenheizsystemen die Anforderungen 2016 unverändert lässt.

Die Abbildungen 35 und 36 zeigen anschaulich die primärenergetischen Ergebnisse des Gebäudes – für 2009-2014 üblichen und verbesserten baulichen Wärmschutz – mit den verschiedenen Anlagensystemen in Bezug auf die Anforderungswerte 2014 (in blau) und 2016 (in rot) sowie in Bezug auf die um 15% verschärften Anforderungswerte, die zur Erfüllung des EEWärmeG auf dem Weg der Ersatzmaßnahme zusätzliche Einsparung von Energie zu erreichen sind.

Für das Jahr 2014 erfüllt die erstgenannte Konstellation (üblicher baulicher Wärmeschutz, TGA-Variante 1) gleichzeitig die Anforderungen des EEWärmeG auf dem Wege der Ersatzmaßnahmen (Übererfüllung EnEV um 15%) – der Erfüllungsgrad liegt bei 203%.

Dies trifft jedoch mit der gleichen Gebäude/Anlagenkonstellation 2016 nicht mehr zu. Die Ursache für die Nichterfüllung des EEWärmeG 2016 (Erfüllungsgrad nur 89%, also Nichterfüllung) liegt in diesem Fall nicht beim TGA-System und nicht bei der gewählten Ausführung der Hallenzone, sondern bei der gewählten baulichen Ausführung der Fenster (transparente Außenbauteile) in der Bürozone. Der in der EnEV für 2016 in diesem Bereich

(≥ 19°C) geforderte Höchstwert des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten von 1,5 W/m²K wird mit 1,3 W/m²K zwar unterschritten, jedoch nur um 13%.

Wenn in diesem Beispiel das EEWärmeG (mit EnEV-Anforderung 2016) nicht auf anderem Wege (z.B. durch eine Solarthermie-Anlage zur teilweisen Deckung des Wärmebedarfs in der Bürozone oder auf andere Weise – Kombinationen verschiedener Erfüllungsoptionen sind zulässig, siehe Kap. 6.3) erfüllt werden soll oder kann, so kann eine Erfüllung des EEWärmeG in diesem Fall durch besseren baulichen Wärmeschutz des Gebäudes in den betreffenden Positionen (hier: Fenster und Dachfläche) erreicht werden. Diese Erfüllungsoption (bei gleichem TGA-System) ist für die TGA-Variante 1 in Tabelle 14 dargestellt: der Erfüllungsgrad des EEWärmeG beträgt hier 2016 125%.

Übliche U-Werte 2009-2014

Mit den hier unterstellten Randbedingungen – u.a. für ein bisher im betrachteten Gebäudebereich übliches Niveau konservativ angesetzter U-Werte – erfüllen alle untersuchten Anlagenvarianten die bis Ende 2015 gültigen Anforderungen der EnEV 2014 als auch die ab 2016 verschärften Anforderungen.

Alle Varianten unterschreiten die aktuell geltenden Anforderungen um mehr als 15 %. Eine vollständige Erfüllung des EEWärmeGs über die Ersatzmaßnahme *Einsparung von Energie* ist mit den gewählten Randbedingungen derzeit (bis Ende 2015) noch möglich.

Das ab 2016 geltende verschärfte Anforderungsniveau wird mit den gewählten Randbedingungen auf Seite des baulichen Wärmeschutzes um weniger als 15 % unterschritten – hier ist zumindest keine vollständige Erfüllung des EEWärmeGs durch Unterschreitung der EnEV-Anforderungen mehr möglich. Ohne Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes wäre unter diesen Randbedingungen zur Erfüllung des EEWärmeGs also eine Kombination mit mindestens einer weiteren Erfüllungsoption im Sinne des Gesetzes notwendig.

Verbesserte U-Werte (Dach und Fenster)

In einer zweiten Berechnungsserie wurden einzelne U-Werte des Gebäudes – einheitlich für alle Anlagenvarianten – so verändert[34], dass die EnEV-Anforderung an den baulichen Wärmeschutz für alle Hüllflächenbauteile um mindestens 15 % unterschritten wird.

Die untersuchten Varianten mit dezentraler Hallenheizung halten so fast alle das EEWärmeG durch Unterschreitung der EnEV-Anforderungen ein. Lediglich die informativ dargestellte *Variante 0*, welche für die Zone *Halle* das Heizungssystem des EnEV-Referenzgebäudes aufweist, verfehlt die notwendige Unterschreitung des Primärenergiebedarfs-Anforderungswertes um 15 % knapp.

Für Varianten mit zentral versorgten Hallenheizsystemen ist eine vollständige Erfüllung des EEWärmeGs allein durch Unterschreitung der EnEV-Anforderungen deutlich schwieriger. Dies ist nicht auf etwaige energetische Unterschiede zwischen zentralen und dezentralen Hallenheizungen zurückzuführen, sondern auf die unterschiedlichen Anforderungsniveaus, welche an beide Kategorien von Heizungssystemen bzw. die damit beheizten Zonen bestehen[35].

Mit den zentral beheizten Varianten 9, 10 und 11 mit Biomasse-Heizkesseln bzw. BHKW werden die Anforderungen des EEWärmeG auf direktem Wege erfüllt; hier ist keine Ersatzmaßnahme erforderlich.

Für die Varianten, welche gemäß unterstellten Randbedingungen nur durch mit Erdgas oder Erdöl betriebene Brennwertkessel beheizt werden, kann eine Erfüllung des EEWärmeG ggf. durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- Heizkessel mit besseren Produktwerten

[34] Für die Zone *Büro* wurde U-Werte innerhalb eines marktüblichen Bereichs verringert – der U-Wert des Daches von 0,24 auf 0,22 W/m²K, der U-Wert der Fenster von 1,3 auf 1,1 W/m²K.

[35] Zonen *Gebäudezonen mit mehr als 4 m Raumhöhe, die durch dezentrale Gebläse- oder Strahlungsheizungen beheizt werden*, sind von den 2016 inkrafttretenden Verschärfungen der EnEV explizit ausgenommen [7, 10].

- bessere Raumtemperaturregelung (z.B. PI-Regler mit Optimierung)
- Dämmung des Fußbodens (insbesondere bei Variante 8 *BW;FBH*)
- Wärmeerzeuger mit Nutzung erneuerbarer Energien (z.B. Wärmepumpe, Solarthermie für Sanitärtrakt) – ggf. in Kombination mit Brennwertkessel
- energieeffizientere (z.B. tageslicht- und präsenzabhängige Steuerung)
- Einsatz von BHKWs oder KWK-Anlagen – gerade interessant in Fertigungsgebäuden mit eigenem hohen Strombedarf

Fußbodenheizung mit vollflächiger Bodendämmung

Zusätzlich zu den zuvor dargestellten Varianten mit einheitlichem baulichem Wärmeschutz wird nachfolgend exemplarisch der Einfluss einer vollflächigen Bodendämmung anhand der Anlagenvariante 8 (*BWK; FBH*) mit *verbesserten U-Werten* dargestellt. Hierbei geht die Bodendämmung sowohl bei der Bewertung des baulichen Wärmeschutzes als auch der Bewertung der Fußbodenheizung (Bilanzabschnittes *Wärmeübergabe*) ein.

Tabelle 15 stellt die folgenden Varianten exemplarisch gegenüber:

- Variante 8 *BW; FBH* gemäß Tabelle 9 und 10 mit Randdämmstreifen und ungedämmtem Kernbereich
- Variante 8* mit zusätzlicher Wärmedämmung im Kernbereich der Bodenplatte mit U = 0,65 W/m²K (entspricht etwa Mindestdämmung nach DIN EN 1264)
- Variante 8** mit Wärmedämmung im Kernbereich der Bodenplatte mit U = 0,35 W/m²K und Überdeckung der Heizrohre ≤ 10 cm (entspricht Merkmal *thermisch entkoppelt* nach DIN V 18599-5)

Tabelle 15 Einfluss Bodendämmung

				8: BW; FBH	8*: BW; FBH1264	8**: BW; FBH_035
Bewertung nach EnEV 2014	Primärenergie	Anforderungswert EnEV	[kWh/m²a]	161,6		
		Ist		119,1 (-26%)	112,9 (-30%)	106,9 (-34%)
	Erfüllungsgrad EEWärmeG	durch Unterschreitung von q_p | $\overline{U}$	-	175% | 233%	201% | 233%	226% | 233%
		durch Erneuerbare Energien*		-	-	-
		Σ		175%	201%	226%
Bewertung nach EnEV 2016	Primärenergie	Anforderungswert EnEV	[kWh/m²a]	117,5		
		Ist		111,6 (-5%)	105,4 (-10%)	99,5 (-15%)
	Erfüllungsgrad EEWärmeG	durch Unterschreitung von q_p | $\overline{U}$	-	34% | 125%	69% | 125%	102% | 125%
		durch Erneuerbare Energien*		-	-	-
		Σ		34%	69%	102%

Der Vergleich zeigt erwartungsgemäß eine Verringerung des Primärenergiebedarfs mit besser werdendem Wärmeschutz. Gleichzeitig ist zu erkennen, dass für eine vollständige Einhaltung des EEWärmeGs durch die Ersatzmaßnahme *Einsparung von Energie* eine für die Maßstäbe von Industriehallen relativ starke Wärmedämmung der Bodenplatte notwendig wäre (U ≈ 0,35 W/m²K oder besser).

Hier ist im Einzelfall abzuwägen, ob sich durch zusätzliche Bodendämmung oder durch eine Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes an anderer Stelle wirtschaftlicher Energie einsparen lässt oder ggf. das EEWärmeG auch auf anderem Wege eingehalten werden kann.

<u>Hinweis zum Begriff *Erfüllungsgrad* nach EEWärmeG</u>

Der hier dargestellte *Erfüllungsgrad* nach EEWärmeG (siehe auch 6.3) stellt keine energetische Kenngröße eines Gebäudes oder seiner Anlagentechnik dar; er ist nicht zu verwechseln mit einem Energiebedarf. Der Erfüllungsgrad ist das Ergebnis einer Bewertung von Gebäude und Anlage anhand der Erfüllungsoptionen des betreffenden Gesetzes, wobei im Ergebnis verschiedene Erfüllungsoptionen (etwa: Übererfüllung EnEV, Nutzung erneuerbarer Energien etc.) mathematisch kombiniert werden können. Das Ergebnis wird als Prozentzahl ausgedrückt, wobei z.B. eine 15-%ige Unterschreitung der primärenergetischen Anforderungen und des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten eine 100-%ige Erfüllung des Gesetzes

darstellt. Durch diesen Mechanismus können energetisch relativ kleine Differenzen als große Differenzen im Erfüllungsgrad erscheinen.

Fazit

Für die hier gewählte bauliche Ausführung des Modellgebäudes Fertigungshalle werden mit einem für den Bauzeitraum 2009-2014 üblichen Niveau des baulichen Wärmeschutzes (mittlere Wärmedurchgangs-koeffizienten) mit allen gewählten und in den Tabellen dargestellten Anlagensystemen die energierechtlichen Vorschriften aus EnEV 2014 und EEWärmeG bis zum Stichdatum 31.12.2015 erfüllt.

Für den Geltungszeitraum ab 2016 können die Anforderungen aus EnEV und EEWärmeG (über Ersatzmaßnahmen auf dem Weg der Übererfüllung der EnEV) mit den meisten Anlagenvarianten mit dezentralen Heizsystemen (Varianten *1, 2, 3, 4, 5*) ebenfalls erfüllt werden, wenn der angenommene Wärmeschutz der Hüllfläche an wenigen Positionen (hier Fenster und Dachfläche) in marktüblichen Qualitäten leicht verbessert wird, um auch bei der Hüllfläche die Anforderungen der EnEV jeweils um 15% zu unterschreiten.

Bei Ausführungen der Hallenzone mit zentralen Heizsystemen ist die Erfüllungsmöglichkeit der Anforderungen aus EnEV und EEWärmeG ab 2016 ohne Nutzung erneuerbarer Energien sehr schmal und muss im Detail geprüft werden, z.B. anhand der oben genannten Optimierungsmöglichkeiten. Gleichzeitig sind durch die Wahl eines zentralen Heizsystems die Möglichkeiten der Nutzung erneuerbarer Energien sowohl im Bereich der Hallenzone wie der anderen Gebäudezonen deutlich größer. Für die Erfüllung der Anforderungen stehen damit zahlreiche Systeme und ihre Kombinationen zur Verfügung.

7.3 Werkstatt

7.3.1 Randbedingungen

Ähnlich wie bei Fertigungshallen ist unter Werkstätten eine gewisse Bandbreite hinsichtlich Nutzungsrandbedingungen und Konditionierungsanforderungen vorzufinden.

Für die beispielhaften Energiebedarfsberechnungen zum Modellgebäude *Werkstatt* wird als Hauptnutzung leichte Arbeit in überwiegend sitzender Tätigkeit (z.B. Montage-Arbeitsplätze) bei einer Solltemperatur von 20 °C unterstellt. Sonstige Nutzungsbereiche, wie Büro- und Nebenräume, werden in einer weiteren Zone *Büro* zusammengefasst.

Für alle Berechnungsvarianten werden einheitlich

- freie Lüftung,
- direkte Beleuchtung mit stabförmigen Leuchtstofflampen und elektronischen Vorschaltgeräten sowie
- vollflächige Bodendämmung (U = 0,65 W/m²K)

unterstellt.

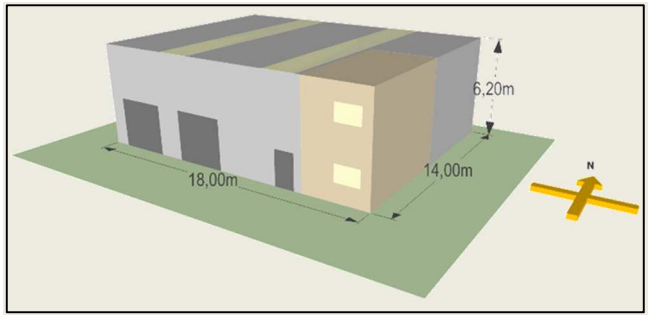


Abbildung 37 Werkstatt

Tabelle 16 Anlagentechnik Werkstatt (siehe auch Anhang 3)

	Halle (Hauptnutzung)	**Büro** (untergeordnet: Sanitär, Technik, usw.)
0: WLE; LA →	Warmlufterzeuger, Luftauslass seitlich	BW-Kessel, Heizkörper
1: WLE; 15K	Warmlufterzeuger, geringe Ausblastemperatur	
2: WLE kond; LA →	Warmlufterzeuger kondensierend, Luftauslass seitlich	
3: WLE kond; WLR	Warmlufterzeuger kondensierend, Warmluftrückführung (PI)	
4: DS	Dunkelstrahler, standard	
5: DS; verb	Dunkelstrahler, verbessert	
6: HS	Hellstrahler, standard	
7: HS; verb	Hellstrahler, verbessert	
8: BW; DSP verb*	zentraler Wärmeerzeuger Zone Büro, Deckenstrahlplatten verbessert*	BW-Kessel, Heizkörper
9: BW; LH+WLR	zentraler Wärmeerzeuger Zone Büro, Lufterhitzer mit Warmluftrückführung (PI)	
10: BW; FBH1264	zentraler Wärmeerzeuger Zone Büro, Fußbodenheizung gedämmt EN 1264	
11: HP; LH LA →	zentraler Wärmeerzeuger Zone Büro, Lufterhitzer seitlich	Holzpellet-Kessel, Heizkörper
12: HP; DSP verb	zentraler Wärmeerzeuger Zone Büro, Deckenstrahlplatten verbessert	

Tabelle 17 Gebäude, Nutzung, Konditionierung Werkstatt

		Halle (Hauptnutzung)	**Büro** (untergeordnet: Sanitär, Technik, usw.)
	Nutzung DIN V 18599-10:2011-12	A.24	A.2
Konditionierung	Heizung	✓	✓
	Trinkwarmwassererwärmung	✓	✓
	Lüftung/RLT	-	-
	└ Funktionen		
	Beleuchtung	✓	✓
Geometrie	Länge [m]	18	7
	Breite [m]	14	4
	Höhe [m]	6,2	6,2
	Nettogrundfläche A_{NGF} [m²]	204	48
	mittlere Raumhöhe h_R [m]	5,8	2,8
	Bruttovolumen V_{brutto} [m³]	1.390	174
	Nettovolumen V_{netto} [m³]	1.183	134
Wärmedurchgangskoeffizienten [W/m²K]	*Boden gegen Erdreich*		
	├ Randstreifen 5 m	0,65	0,65
	└ innerer Bereich	0,65	0,65
	Dach		
	├ Trapezblech/Iso-Paneele	0,22	0,22
	└ Lichtkuppeln	1,5	-
	Außenwand		
	├ Iso-Paneele	0,24	0,24
	├ Tore	1,5	-
	├ Außentüren	-	1,5
	└ Außenfenster	1,1	-
	pauschaler Wärmebrückenzuschlag	0,05	0,05

7.3.2 Ergebnisse

Tabelle 18 Bewertung des baulichen Wärmeschutzes nach EnEV, Werkstatt

	2014				2016, Gebäude mit dezentral beheizten Zonen mit h > 4 m						2016, Gebäude ohne dezentral beheizte Zonen mit h > 4 m			
	θ < 19 °C		θ ≥ 19 °C		θ < 19 °C		θ ≥ 19 °C (dez. beh. Halle)		θ > 19 °C (Rest)		θ < 19 °C		θ ≥ 19 °C	
	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist
Opake Außenbauteile; Zeile 1	0,50	---	0,35	0,22 (-38%)	0,50	---	0,35	0,22 (-38%)	0,28	0,22 (-22%)	0,50	---	0,28	0,22 (-22%)
Transparente Außenbauteile; Zeile 2	2,8	---	1,9	1,1 (-42%)	2,8	---	1,9	---	1,5	1,1 (-27%)	2,8	---	1,5	1,1 (-27%)
Lichtbänder, Lichtkuppeln; Zeile 4	3,1	---	3,1	1,5 (-52%)	3,1	---	3,1	1,5 (-52%)	2,5	---	3,1	---	2,5	1,5 (-40%)
Geringste Unterschreitung	0,22 (-38%)				0,22 (-22%)						0,22 (-22%)			

Tabelle 19 Energiebedarfswerte, Bewertung nach EnEV 2014 und 2016 und EEWärmeG 2011, Werkstatt

				0: WLE; LA →	1: WLE; 15K	2: WLE kond; LA →	3: WLE kond; WLR	4: DS	5: DS; verb	6: HS	7: HS; verb	8: BW; DSP verb*	9: BW; LH+WLR	10: BW; FBH1264	11: HP; LH LA →	12: HP; DSP verb
Erzeugernutzwärmeabgabe		Σ	[kWh/m²a]	103,4	99,4	102,3	97,8	98,9	94,4	98,9	94,5	97,1	98,4	102,9	93,9	87,9
		Erneuerbarer Anteil**		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	93,9 (100%)	87,9 (100%)
Endenergie	Wärme	Σ	[kWh$_{HS}$/m²a]	120,7	115,9	109,9	105,1	115,2	108,4	113,9	106,6	103,5	104,9	109,8	119,8	114,0
		Heizung		93,4	88,6	82,7	77,8	87,9	81,1	86,6	79,3	76,2	77,7	82,6	89,0	83,2
		Warmwasser		27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	30,8	30,8
	Beleuchtung		[kWh$_{el}$/m²a]	16,2												
Hilfsenergie		Σ	[kWh$_{el}$/m²a]	1,50	1,50	1,50	1,44	0,74	0,74	0,66	0,66	1,45	1,48	1,51	1,53	1,52
		Heizung		1,19	1,19	1,19	1,13	0,43	0,43	0,35	0,35	1,14	1,17	1,20	1,40	1,38
		Warmwasser		0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,13	0,13
Energiekosten			[€/m²a]	11,11	10,83	10,49	10,19	10,62	10,22	10,52	10,10	10,10	10,19	10,48	9,63	9,36
Bewertung nach EnEV 2014	Primärenergie	Anforderungswert EnEV	[kWh/m²a]	192,3												
		Ist		162,1 (-16%)	157,4 (-18%)	151,5 (-21%)	146,6 (-24%)	154,9 (-19%)	148,1 (-23%)	153,4 (-20%)	146,1 (-24%)	145,0 (-25%)	146,5 (-24%)	151,4 (-21%)	64,8 (-66%)	63,7 (-67%)
	Erfüllungsgrad EEWärmeG	durch Unterschreitung von q_p | $\overline{U}$	-	105% | 253%	121% | 253%	142% | 253%	159% | 253%	130% | 253%	153% | 253%	135% | 253%	160% | 253%	164% | 253%	159% | 253%	142% | 253%	442% | 253%	446% | 253%
		durch Erneuerbare Energien**		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200%	200%
		Σ		105%	121%	142%	159%	130%	153%	135%	160%	164%	159%	142%	453%	453%
Bewertung nach EnEV 2016	Primärenergie	Anforderungswert EnEV	[kWh/m²a]	167								137,4				
		Ist		151,5 (-9%)	146,7 (-12%)	140,8 (-16%)	136,0 (-19%)	144,7 (-13%)	137,9 (-17%)	143,3 (-14%)	136,0 (-19%)	134,3 (-2%)	135,9 (-1%)	140,8 (+3%)	54,1 (-61%)	53,1 (-61%)
	Erfüllungsgrad EEWärmeG	durch Unterschreitung von q_p | $\overline{U}$	-	62% | 144%	81% | 144%	104% | 144%	124% | 144%	89% | 144%	116% | 144%	94% | 144%	124% | 144%	15% | 149%	7% | 149%	-17% | 149%	404% | 149%	409% | 149%
		durch Erneuerbare Energien**		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200%	200%
		Σ		62%	81%	104%	124%	89%	116%	94%	124%	15%	7%	-17%	349%	349%

* Ausführung *verbessert und Einhaltung Außenwandabstand* gemäß *Tabelle 13* DIN V 18599-5:2011 [16]

** Berücksichtigt werden alle Maßnahmen und Ersatzmaßnahmen gemäß EEWärmeG, welche anhand ihrer Deckungsanteile an der Erzeugernutzwärme zu bewerten sind – aufgeführt in Tabelle 3 – sowie Kombinationen dieser Maßnahmen.

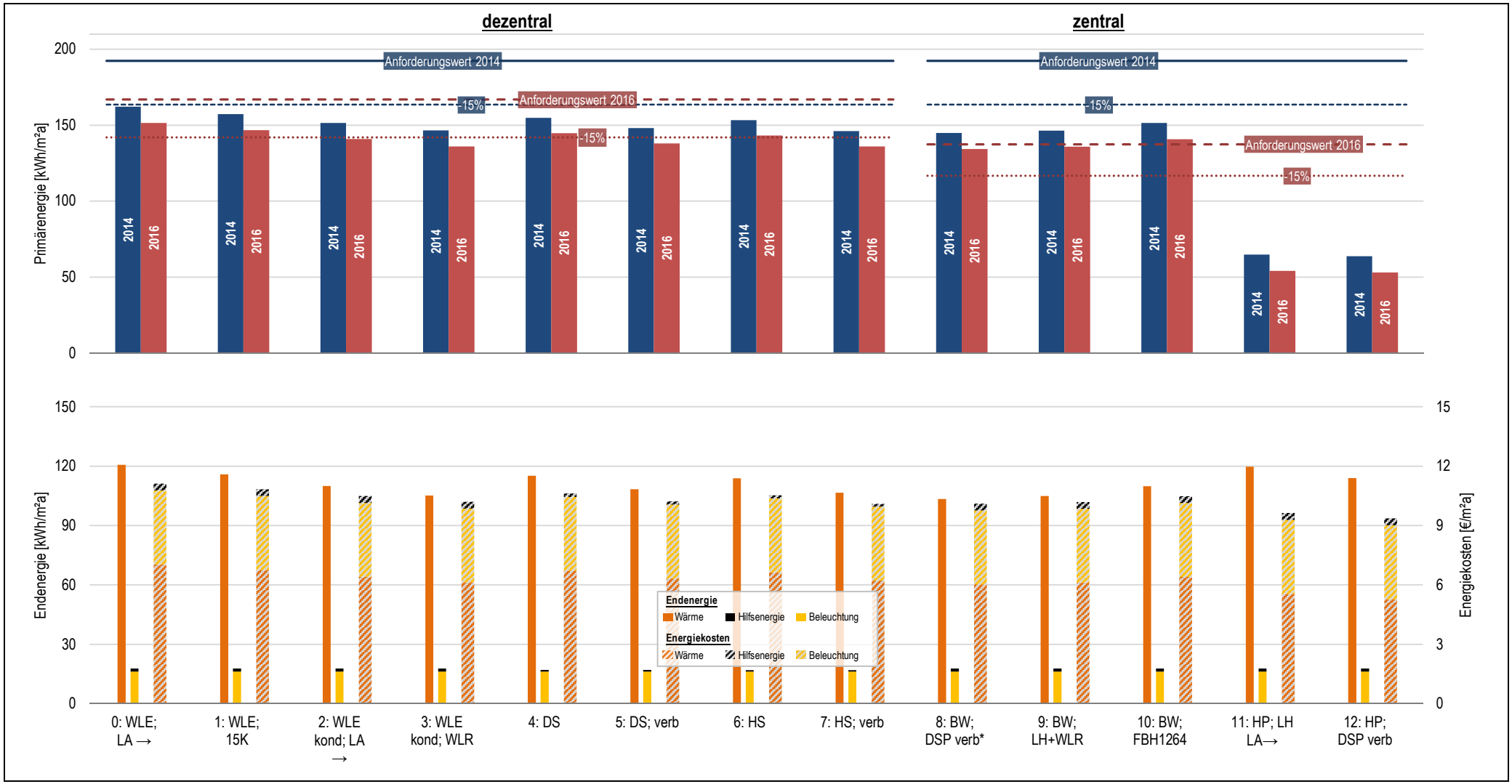


Abbildung 38 Energiebedarfswerte, Werkstatt

7.3.3 Ergebniszusammenfassung

Bewertung baulicher Wärmeschutz

Die gewählte Ausführung des baulichen Wärmeschutzes des Gebäudes erfüllt in allen Positionen und allen Zonen die Anforderungen der EnEV für den Zeitraum bis Ende 2015 wie auch nach 2016.

Ergebnisse Anforderungserfüllung bis Ende 2015

Mit den hier unterstellten Randbedingungen mit marktüblicher Ausführung des baulichen Wärmeschutzes der Hüllfläche erfüllt das Modellgebäude mit allen untersuchten Anlagenvarianten die bis Ende 2015 gültigen Anforderungen der EnEV 2014 und gleichzeitig die Anforderungen des EEWärmeG – allein auf dem Wege der Ersatzmaßnahmen durch zusätzliche Einsparung von Energie gegenüber dem EnEV-Anforderungsniveau um 15%. Die Anlagenvarianten 11 und 12 mit Biomassekessel erfüllen die Anforderungen des EEWärmeG zusätzlich durch Nutzung erneuerbarer Energien.

Ergebnisse Anforderungserfüllung ab 2016

Für den Zeitraum ab 2016 stellt sich die Situation hinsichtlich der Erfüllung der energierechtlichen Anforderungen deutlich differenzierter dar: die Anlagenvarianten *0* (Referenzsystem nach EnEV für Hallenzone) sowie 4 *DS,* 6 *HS,* 8 *BW DSP verb*,* 9 *BW LH+WLR* und 10 *BW FBH 1264* erfüllen die Anforderungen des EEWärmeG auf dem Wege der Übererfüllung der EnEV nicht mehr. Die Variante 10 *BW FBH 1264* (Brennwertkessel betrieben mit Erdgas) erfüllt nach den Berechnungen auch die primärenergetischen Anforderungen der EnEV selbst nicht mehr – wenn auch nur knapp.

Optimierungsmöglichkeiten zur Anforderungserfüllung ab 2016

Für die Varianten 4 *DS* und 6 *HS* kann eine Verringerung des Primärenergiebedarfs und damit eine Erfüllung des EEWärmeG durch folgende Maßnahmen bei der dezentralen Heizungstechnik in der Hallenzone erreicht werden:

- Dunkelstrahler / Hellstrahler mit besseren Produktwerten, z.B. Ausführung verbessert oder Ausführung mit modulierender Leistungsanpassung
- Dunkelstrahler/Hellstrahler-System mit Abgasanlage mit kondensierendem Abgaswärmeübertrager
- effizientere Raumtemperaturregelung (z.B. PI-Regler mit Optimierung)

Für die Varianten 8 *BW DSP verb*,* 9 *BW LH+WLR* und 10 *BW FBH1264* kann eine Verringerung des Primärenergiebedarfs durch folgende Maßnahmen bei der zentralen Heizungstechnik erreicht werden

- Brennwertkessel mit besseren Produktwerten
- effizientere Raumtemperaturregelung (z.B. PI-Regler mit Optimierung)

sowie zusätzlich der Erfüllungsgrad des EEWärmeG verbessert werden durch

- Kombination mit einem zweiten Wärmeerzeuger mit Nutzung erneuerbarer Energien, wie z.B. einer Gaswärmepumpe.

Darüber hinaus kann für das Gebäude mit allen dargestellten Varianten der Primärenergiebedarf nach EnEV und der Erfüllungsgrad nach EEWärmeG verbessert werden durch

- verbesserten baulichen Wärmschutz der Hüllfläche
- Wärmeerzeuger mit Nutzung erneuerbarer Energien (z.B. Wärmepumpe für Bürobereich, Solarthermie für Sanitärtrakt) in den sonstigen Gebäudezonen
- Energieeffizientere Beleuchtung (z.B. tageslicht- und präsenzabhängige Steuerung).

Fazit

Die Ergebnisse der hier gewählten Ausführung des Modellgebäudes *Werkstatt* mit den in den Tabellen dargestellten Anlagensystemen ähneln zunächst den

Ergebnissen im Bereich der Fertigungshallen in Bezug auf die Erfüllung der Anforderungen aus EnEV und EEWärmeG. Ein merklicher Unterschied in Bezug auf die Ergebnisse einzelner Varianten resultiert aus der geringeren Höhe des Werkstattgebäudes (6,2 m) im Vergleich zum gewählten Fertigungsgebäude (12 m): bei der geringeren Raumhöhe schlagen die energetischen Vorteile der effizienteren Wärmeübergabesysteme gegenüber dem Referenzsystem nicht so stark zu Buche, in der Folge ist der primärenergetische Vorteil der gewählten Varianten gegenüber dem Referenzsystem nicht so groß.

Für den Geltungszeitraum von EnEV und EEWärmeG **bis Ende 2015** werden mit der hier gewählten baulichen Ausführung des Modellgebäudes *Werkstatt* mit allen gewählten und in den Tabellen dargestellten Anlagensystemen die Anforderungen erfüllt.

Für den Geltungszeitraum **ab 2016** werden die Anforderungen aus EnEV und EEWärmeG mit den dargestellten effizienteren dezentralen Heizsystemen in der Hallenzone erfüllt. Bei den zentralen Heizsystemen wird ab 2016 die Erfüllung des EEWärmeG – aufgrund der höheren energetischen Anforderungen der EnEV - kaum noch auf dem Wege der Ersatzmaßnahmen zusätzliche Einsparung von Energie, sondern nur durch Systeme mit Nutzung erneuerbarer Energien oder durch Kombinationen solcher Systeme mit Erdgas/Erdöl-Brennwerttechnik möglich sein. Entsprechende Systeme stehen im Markt zur Verfügung.

7.4 Logistikhalle

7.4.1 Randbedingungen

Das Modellgebäude *Logistikhalle* wird vereinfacht durch zwei Zonen abgebildet – die Hauptnutzung *Lager-/Logistikhalle* sowie eine Zone *Büro*, welche zusätzlich auch Neben- und Technik- und Sanitärflächen enthält.

Für alle Berechnungsvarianten wird einheitlich für alle Zonen von

- freier Lüftung,
- Beleuchtung durch LED-Leuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten

ausgegangen.

Für das gesamte Gebäude wird eine 5 m breite waagerechte Randdämmung der Bodenplatte (U = 0,35 W/m²K) unterstellt. Der Kernbereich der Hauptnutzung ist hierbei ungedämmt, der Bereich der Bodenplatte unter der Zone Büro ist moderat wärmegedämmt (U = 0,65 W/m²K).

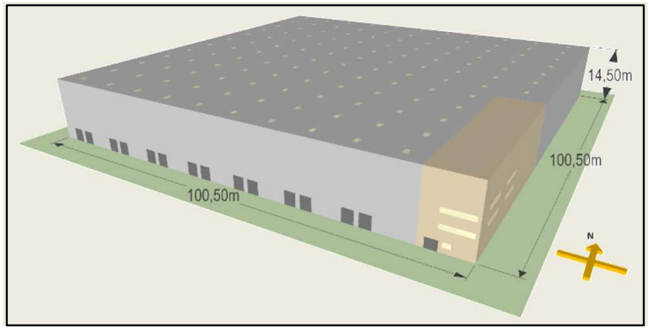


Abbildung 39 Logistikhalle

Tabelle 20 Anlagentechnik Logistikhalle (siehe auch Anhang 3)

	Halle (Hauptnutzung)	**Büro** (untergeordnet: Sanitär, Technik, usw.)
0: WLE; LA →	Warmlufterzeuger, Luftauslass seitlich	BW-Kessel, Heizkörper
1: WLE kond; LA ↓	Warmlufterzeuger kondensierend, Luftauslass von oben	
2: WLE kond; WLR	Warmlufterzeuger kondensierend, Warmluftrückführung (PI)	
3: DS	Dunkelstrahler, standard	
4: DS; verb	Dunkelstrahler, verbessert	
5: DS kond; verb	Dunkelstrahler kondensierend, verbessert	
6: HS	Hellstrahler, standard	
7: HS; verb	Hellstrahler, verbessert	
8: BW; DSP verb*	zentraler Wärmeerzeuger Zone Büro, Deckenstrahlplatten verbessert*	BW-Kessel, Heizkörper
9: BW; LH+WLR	zentraler Wärmeerzeuger Zone Büro, Lufterhitzer mit Warmluftrückführung (PI)	
10: BW; FBH	zentraler Wärmeerzeuger Zone Büro, Fußbodenheizung ohne Dämmung	
11: HP; LH LA ↓	zentraler Wärmeerzeuger Zone Büro, Lufterhitzer von oben	Holzpellet-Kessel, Heizkörper
12: HP; FBH	zentraler Wärmeerzeuger Zone Büro, Fußbodenheizung ohne Dämmung	

Tabelle 21 Gebäude, Nutzung, Konditionierung Logistikhalle

		Halle	Büro (untergeordnet: Sanitär, Aufenthalt, Technik etc.)
	Nutzung DIN V 18599-10:2011-12	A.43	A.2
Konditionierung	Heizung	✓	✓
	Trinkwarmwassererwärmung	-	✓
	Lüftung/RLT	-	-
	└ Funktionen		
	Beleuchtung	✓	✓
Geometrie	Länge [m]	100,5	40
	Breite [m]	100,5	10
	Höhe [m]	14,5	3,3
	Nettogrundfläche A_{NGF} [m²]	9.500	1.200
	mittlere Raumhöhe h_R [m]	14	3,3
	Bruttovolumen V_{brutto} [m³]	140.600	5.800
	Nettovolumen V_{netto} [m³]	133.0000	3.960
Wärmedurchgangskoeffizienten [W/m²K]	*Boden gegen Erdreich*		
	├ Randstreifen 5 m	0,35	0,35
	└ innerer Bereich	3,5	0,65
	Dach		
	├ Trapezblech/Iso-Paneele	0,22	0,22
	└ Lichtkuppeln	1,5	-
	Außenwand		
	├ Iso-Paneele	0,24	0,24
	├ Betonsockel, Be-/Entladezone	0,38	0,38
	├ Tore	1,5	-
	├ Außentüren	-	1,5
	└ Außenfenster	-	1,1
	pauschaler Wärmebrückenzuschlag	0,10	0,05

7.4.2 Ergebnisse

Tabelle 22 Bewertung des baulichen Wärmeschutzes nach EnEV, Logistikhalle

	2014				2016, Gebäude mit dezentral beheizten Zonen mit h > 4 m						2016, Gebäude ohne dezentral beheizte Zonen mit h > 4 m			
	θ < 19 °C		θ ≥ 19 °C		θ < 19 °C		θ ≥ 19 °C (dez. beh. Halle)		θ > 19 °C (Rest)		θ < 19 °C		θ ≥ 19 °C	
	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist
Opake Außenbauteile; Zeile 1	0,50	0,23 (-54%)	0,35	0,20 (-42%)	0,50	0,23 (-54%)	0,35	---	0,28	0,20 (-27%)	0,50	0,23 (-54%)	0,28	0,20 (-27%)
Transparente Außenbauteile; Zeile 2	2,8	---	1,9	1,1 (-42%)	2,8	---	1,9	---	1,5	1,1 (-27%)	2,8	---	1,5	1,1 (-27%)
Lichtbänder, Lichtkuppeln; Zeile 4	3,1	1,5 (-52%)	3,1	---	3,1	1,5 (-52%)	3,1	---	2,5	---	3,1	1,5 (-52%)	2,5	---
Geringste Unterschreitung	0,20 (-42%)				1,1 (-27%)						1,1 (-27%)			

Tabelle 23 Energiebedarfswerte, Bewertung nach EnEV 2014 und 2016 und EEWärmeG 2011, Logistikhalle

				0: WLE; LA →	1: WLE kond; LA ↓	2: WLE kond; WLR	3: DS	4: DS; verb	5: DS kond; verb	6: HS	7: HS; verb	8: BW; DSP verb*	9: BW; LH+WLR	10: BW; FBH	11: HP; LH LA ↓	12: HP; FBH
Erzeugernutzwärmeabgabe		Σ	[kWh/m²a]	60,2	54,4	49,9	49,2	45,6	45,6	49,3	45,7	52,2	51,5	54,5	53,7	51,3
		Erneuerbarer Anteil**		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53,7 (100%)	51,3 (100%)
Endenergie	Wärme	Σ	[kWh_{HS}/m^2a]	71,7	58,0	53,2	58,4	53,0	48,6	56,6	51,0	56,7	55,8	59,3	64,7	61,9
		Heizung		69,0	55,2	50,5	55,6	50,3	45,9	53,8	48,3	55,1	54,3	57,8	63,1	60,2
		Warmwasser		2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
	Beleuchtung		[kWh_{el}/m^2a]	11,2												
Hilfsenergie		Σ	[kWh_{el}/m^2a]	0,71	0,71	0,68	0,23	0,23	0,23	0,17	0,17	0,53	0,55	0,56	0,45	0,48
		Heizung		0,69	0,69	0,65	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,52	0,54	0,55	0,45	0,47
		Warmwasser		0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Energiekosten			[€/m²a]	6,92	6,12	5,83	6,03	5,72	5,46	5,91	5,59	6,00	5,96	6,16	5,67	5,55
Bewertung nach EnEV 2014	Primärenergie	Anforderungswert EnEV	[kWh/m²a]	114,1												
		Ist		99,7 (-13%)	86,0 (-25%)	81,2 (-29%)	85,2 (-25%)	79,9 (-30%)	75,5 (-34%)	83,3 (-27%)	77,8 (-32%)	84,3 (-26%)	83,5 (-27%)	87,0 (-24%)	39,9 (-65%)	39,5 (-65%)
	Erfüllungsgrad EEWärmeG	durch Unterschreitung von q_p | $\overline{U}$	-	84% | 279%	164% | 279%	192% | 279%	169% | 279%	200% | 279%	226% | 279%	180% | 279%	212% | 279%	174% | 279%	179% | 279%	158% | 279%	434% | 279%	436% | 279%
		durch Erneuerbare Energien**		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200%	200%
		Σ		84%	164%	192%	169%	200%	226%	180%	212%	174%	179%	158%	479%	479%
Bewertung nach EnEV 2016	Primärenergie	Anforderungswert EnEV	[kWh/m²a]	102,4								82,2				
		Ist		92,5 (-10%)	78,9 (-23%)	74,1 (-28%)	78,4 (-23%)	73,1 (-29%)	68,7 (-33%)	76,5 (-25%)	71,0 (-31%)	77,2 (-6%)	76,5 (-7%)	80,0 (-3%)	32,9 (-60%)	32,5 (-60%)
	Erfüllungsgrad EEWärmeG	durch Unterschreitung von q_p | $\overline{U}$	-	65% | 178%	153% | 178%	184% | 178%	156% | 178%	191% | 178%	220% | 178%	169% | 178%	205% | 178%	41% | 178%	47% | 178%	18% | 178%	400% | 178%	403% | 178%
		durch Erneuerbare Energien**		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200%	200%
		Σ		65%	153%	178%	156%	178%	178%	169%	178%	41%	47%	18%	378%	378%

* Ausführung *verbessert und Einhaltung Außenwandabstand* gemäß *Tabelle 13* DIN V 18599-5:2011 [16]

** Berücksichtigt werden alle Maßnahmen und Ersatzmaßnahmen gemäß EEWärmeG, welche anhand ihrer Deckungsanteile an der Erzeugernutzwärme zu bewerten sind – aufgeführt in Tabelle 3 – sowie Kombinationen dieser Maßnahmen.

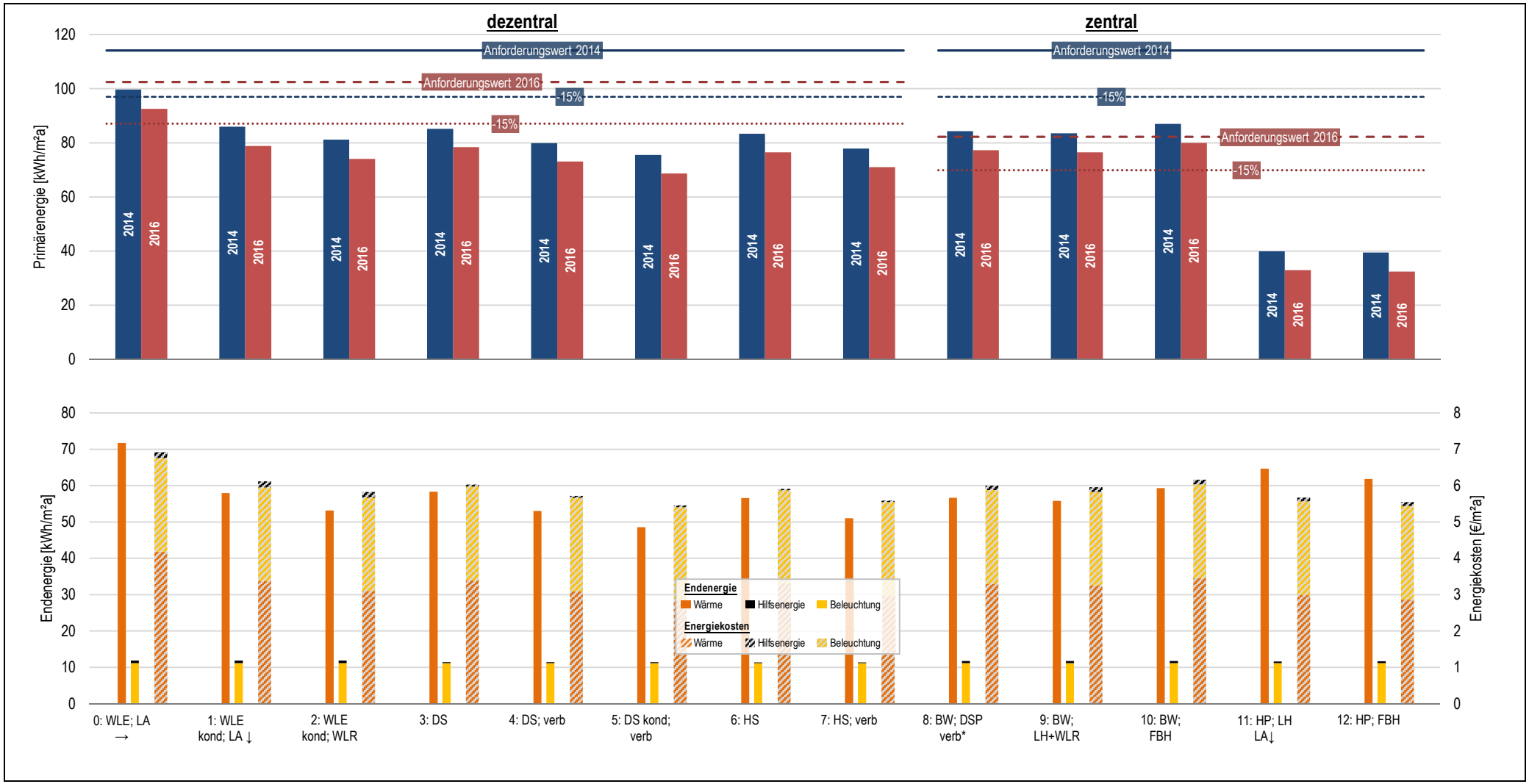


Abbildung 40 Energiebedarfswerte, Logistikhalle

7.4.3 Ergebniszusammenfassung

Bewertung baulicher Wärmeschutz

Die gewählte Ausführung des baulichen Wärmeschutzes des Gebäudes erfüllt in allen Positionen und allen Zonen die Anforderungen der EnEV für den Zeitraum bis Ende 2015 wie auch nach 2016.

Ergebnisse Anforderungserfüllung bis Ende 2015

Mit den hier unterstellten Randbedingungen und marktüblicher Ausführung des baulichen Wärmeschutzes der Hüllfläche erfüllt das Modellgebäude mit allen untersuchten Anlagenvarianten – mit Ausnahme der Variante 0 *WLE; LA→*, dem Referenzsystem der EnEV - die bis Ende 2015 gültigen Anforderungen der EnEV 2014 und gleichzeitig die Anforderungen des EEWärmeG – allein auf dem Wege der Ersatzmaßnahmen durch zusätzliche Einsparung von Energie gegenüber dem EnEV-Anforderungsniveau um 15%. Die Anlagenvarianten 11 und 12 mit Biomassekessel erfüllen die Anforderungen des EEWärmeG zusätzlich durch Nutzung erneuerbarer Energien.

Ergebnisse Anforderungserfüllung ab 2016

Für den Zeitraum ab 2016 erfüllt das Gebäude mit allen dezentralen Heizsystemen in der Hallenzone (außer Variante 0 *WLE; LA→*) weiterhin sehr deutlich die Anforderungen aus EnEV und zugleich EEWärmeG auf dem Wege der Ersatzmaßnahmen durch zusätzliche Einsparung von Energie. Mit der großen Gebäudehöhe von 14,5 m schlagen die Effizienzvorteile der gewählten Hallenheizsysteme gegenüber dem Referenzsystem zu Buche.

Die Anforderungen aus EnEV und EEWärmeG werden ebenfalls durch die zentralen Heizungsvarianten in der Hallenzone 11 *HP;LH LA→* und 12 *HP;FBH* – also durch Einsatz eines Biomassekessels als zentralen Wärmeerzeuger für die Hallenzone erfüllt.

Mit den zentralen Heizsystemen 8 *BW DSP verb**, 9 *BW LH+WLR* und 10 *BW FBH* (Brennwertkessel mit Erdgas/Erdöl betrieben) können die Anforderungen des EEWärmeG auf dem Wege der Übererfüllung der EnEV praktisch kaum erfüllt werden (geringe Erfüllungsgrade EEWärmeG). Hier bietet sich der Einsatz von Wärmeerzeugern mit Nutzung erneuerbarer Energien wie z.B. Gaswärmepumpen oder deren Kombination mit einem Brennwertkessel als Lösungsoption an.

Die weiteren Optionen zur Verbesserung der Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien entsprechen den Optionen der Fertigungshalle oder Werkstatt.

Fazit

Die Ergebnisse der hier gewählten Ausführung des Modellgebäudes *Logistikhalle* mit den in den Tabellen dargestellten Anlagensystemen ähneln den Ergebnissen im Bereich der Fertigungshallen in Bezug auf die Erfüllung der Anforderungen aus EnEV und EEWärmeG. Ein Unterschied in Bezug auf die Ergebnisse einzelner Varianten resultiert aus der größeren Höhe des Logistikgebäudes (14,5 m) im Vergleich zum gewählten Fertigungsgebäude (12 m): bei der größeren Raumhöhe machen sich die energetischen Vorteile der effizienteren Wärmeübergabesysteme gegenüber dem Referenzsystem stärker bemerkbar, in der Folge ist der primärenergetische Vorteil der gewählten Varianten gegenüber dem Referenzsystem größer.

Für den Geltungszeitraum von EnEV und EEWärmeG **bis Ende 2015** werden mit der hier gewählten baulichen Ausführung des Modellgebäudes *Logistikhalle* mit allen gewählten und in den Tabellen dargestellten Anlagensystemen (mit Ausnahme des Referenz-Heizsystems Variante 0) die Anforderungen erfüllt.

Für den Geltungszeitraum **ab 2016** werden die Anforderungen an das Gebäude aus EnEV und EEWärmeG mit den dargestellten effizienteren dezentralen Heizsystemen in der Hallenzone erfüllt.

Bei den zentralen Heizsystemen wird ab 2016 die Erfüllung des EEWärmeG – aufgrund der höheren energetischen Anforderungen der EnEV - kaum noch auf dem Wege der Ersatzmaßnahmen zusätzliche Einsparung von Energie,

sondern nur durch Systeme mit Nutzung erneuerbarer Energien oder durch Kombinationen solcher Systeme mit einer Erdgas/Erdöl-Brennwerttechnik möglich sein. Entsprechende Systeme stehen im Markt zur Verfügung.

7.5 Sporthalle

7.5.1 Randbedingungen

Das betrachtete Modellgebäude *Sporthalle* entspricht etwa einer mittelgroßen Halle für Schul-/Hochschul- oder Vereinssport.

Die Betrachtung beschränkt sich vereinfachend auf eine Zone für die Hauptnutzung Turnhalle/Sporthalle und eine weitere Zone für Sanitär-/Umkleideräume sowie ggf. Technik- und Nebenflächen.

Für alle Anlagentechnik-Varianten wird einheitlich für alle Gebäudezonen von Beleuchtung stabförmiger Leuchtstofflampen und elektronischen Vorschaltgeräten ausgegangen. Für die Hauptnutzung wird freie Lüftung, für den Sanitärtrakt eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung unterstellt.

Für das gesamte Gebäude wird einheitlich von vollflächiger Wärmedämmung der Bodenplatte (U = 0,35 W/m²K) ausgegangen.

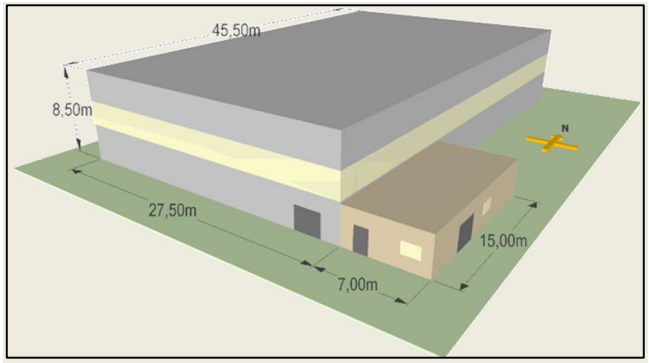


Abbildung 41 Sporthalle

Tabelle 24 Anlagentechnik Sporthalle (siehe auch Anhang 3)

	Halle (Hauptnutzung)	**Sanitär/Umkleide** (untergeordnet: Technik, usw.)
0: WLE; LA →	Warmlufterzeuger, Luftauslass seitlich	BW-Kessel, Heizkörper
1: WLE kond; WLR	Warmlufterzeuger kondensierend, Warmluftrückführung (PI)	
2: DS; verb	Dunkelstrahler, verbessert	
3: HS; verb	Hellstrahler, verbessert	
4: BW; DSP verb	zentraler Wärmeerzeuger Zone Sanitär/Umkleide, Deckenstrahlplatten verbessert	BW-Kessel, Heizkörper
5: BW; FBH_0,35*	zentraler Wärmeerzeuger aus Zone Sanitär/Umkleide, Fußbodenheizung thermisch entkoppelt	
6: BW+Solar; DSP verb	zentraler Wärmeerzeuger aus Zone Sanitär/Umkleide, Deckenstrahlplatten verbessert	BW-Kessel + Solarthermie, Heizkörper
7: BW+Solar; FBH_0,35*	zentraler Wärmeerzeuger aus Zone Sanitär/Umkleide, Fußbodenheizung thermisch entkoppelt	
8: FW; DSP verb	zentraler Wärmeerzeuger aus Zone Sanitär/Umkleide, Deckenstrahlplatten verbessert	Nah-/Fernwärme, Heizkörper
9: FW; FBH_0,35*	zentraler Wärmeerzeuger aus Zone Sanitär/Umkleide, Fußbodenheizung thermisch entkoppelt	
10: GWP; DSP verb	zentraler Wärmeerzeuger aus Zone Sanitär/Umkleide, Deckenstrahlplatten verbessert	Gas-WP, Heizkörper
11: GWP; FBH_0,35*	zentraler Wärmeerzeuger aus Zone Sanitär/Umkleide, Fußbodenheizung thermisch entkoppelt	
12: HP; LH LA ↓	zentraler Wärmeerzeuger aus Zone Sanitär/Umkleide, Lufterhitzer von oben	Holzpellet-Kessel, Heizkörper

Tabelle 25 Gebäude, Nutzung, Konditionierung Sporthalle

		Halle (Hauptnutzung)	**Sanitär/Umkleide** (untergeordnet: Technik, usw.)
Nutzung DIN V 18599-10:2011-12		A.33	A.16
Konditionierung	Heizung	✓	✓
	Trinkwarmwassererwärmung	→	✓ Deckung des Bedarfs aus Hauptnutzung
	Lüftung/RLT	-	✓
	└ Funktionen	-	Zu-/Abluft (WRG)
	Beleuchtung	✓	✓
Geometrie	Länge [m]	45,5	15
	Breite [m]	27,5	7
	Höhe [m]	8,5	3,3
	Nettogrundfläche A_{NGF} [m²]	1.200	85
	mittlere Raumhöhe h_R [m]	8	3
	Bruttovolumen V_{brutto} [m³]	10.650	350
	Nettovolumen V_{netto} [m³]	9.600	255
Wärmedurchgangskoeffizienten [W/m²K]	*Boden gegen Erdreich*		
	└ gesamte Bodenplatte	0,35	0,35
	Dach		
	└ Trapezblech/Iso-Paneele	0,18	0,18
	Außenwand		
	├ Beton+WDVS	0,20	0,20
	├ Außentüren	1,5	1,5
	└ Außenfenster	1,1	1,1
	pauschaler Wärmebrückenzuschlag	0,05	0,05

7.5.2 Ergebnisse

Tabelle 26 Bewertung des baulichen Wärmeschutzes nach EnEV, Sporthalle

	2014				2016, Gebäude mit dezentral beheizten Zonen mit h > 4 m						2016, Gebäude ohne dezentral beheizte Zonen mit h > 4 m			
	θ < 19 °C		θ ≥ 19 °C		θ < 19 °C		θ ≥ 19 °C (dez. beh. Halle)		θ > 19 °C (Rest)		θ < 19 °C		θ ≥ 19 °C	
	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist
Opake Außenbauteile; Zeile 1	0,50	----	0,35	0,19 (-46%)	0,50	----	0,35	0,19 (-46%)	0,28	0,19 (-34%)	0,50	----	0,28	0,19 (-33%)
Transparente Außenbauteile; Zeile 2	2,8	----	1,9	1,1 (-42%)	2,8	----	1,9	1,1 (-42%)	1,5	1,1 (-27%)	2,8	----	1,5	1,1 (-27%)
Lichtbänder, Lichtkuppeln; Zeile 4	3,1	----	3,1	----	3,1	----	3,1	----	2,5	----	3,1	----	2,5	----
Geringste Unterschreitung	1,1 (-42%)				1,1 (-27%)						1,1 (-27%)			

Tabelle 27 Energiebedarfswerte, Bewertung nach EnEV 2014 und 2016 und EEWärmeG 2011, Sporthalle

				0: WLE; LA →	1: WLE kond; WLR	2: DS; verb	3: HS; verb	4: BW; DSP verb	5: BW; FBH_0,35*	6: BW+Solar; DSP verb	7: BW+Solar; FBH_0,35*	8: FW; DSP verb	9: FW; FBH_0,35*	10: GWP; DSP verb	11: GWP; FBH_0,35*	12: HP; LH LA ↓
Erzeugernutzwärmeabgabe		Σ	[kWh/m²a]	133,4	121,1	113,6	113,8	122,2	119,6	124,6	121,9	122,2	119,5	122,8	120,2	120,2
		Erneuerbarer Anteil**		0,8 (0,6%)	0,8 (0,7%)	0,8 (0,7%)	0,8 (0,7%)	0,8 (0,7%)	0,8 (0,7%)	8,7 (7%)	8,8 (7%)	123,0 (101%)	120,3 (101%)	123,6 (101%)	121,0 (101%)	120,8 (101%)
Endenergie	Wärme	Σ	[kWh_{HS}/m^2a]	155,9	127,9	129,8	127,5	130,5	127,5	125,1	122,1	122,1	119,5	122,9	110,9	139,4
		Heizung		135,8	107,8	109,7	107,4	110,4	107,4	105,8	102,8	102,3	99,7	103,2	91,1	118,1
		Warmwasser		20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	19,3	19,3	19,8	19,8	19,8	19,8	21,3
	Beleuchtung		[kWh_{el}/m^2a]	16,2												
Hilfsenergie		Σ	[kWh_{el}/m^2a]	1,69	1,61	0,58	0,46	1,36	1,36	1,72	1,71	0,88	0,88	1,09	1,09	1,02
		Heizung		1,57	1,49	0,46	0,34	1,24	1,24	1,56	1,56	0,84	0,84	0,95	0,95	0,98
		Warmwasser		0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,15	0,15	0,04	0,04	0,13	0,13	0,04
Energiekosten			[€/m²a]	13,22	11,56	11,44	11,28	11,66	11,48	11,43	11,25	13,71	13,50	11,15	10,45	10,42
Bewertung nach EnEV 2014	Primärenergie	Anforderungswert EnEV	[kWh/m²a]	216,4												
		Ist		197,5 (-9%)	169,6 (-22%)	169,0 (-22%)	166,4 (-23%)	171,6 (-21%)	168,6 (-22%)	167,1 (-23%)	164,1 (-24%)	126,6 (-42%)	124,7 (-42%)	163,4 (-25%)	151,5 (-30%)	67,2 (-69%)
	Erfüllungsgrad EEWärmeG	durch Unterschreitung von q_p | $\bar{U}$	-	58% | 281%	144% | 281%	146% | 281%	154% | 281%	138% | 281%	147% | 281%	152% | 281%	161% | 281%	277% | 281%	283% | 281%	163% | 281%	200% | 281%	460% | 281%
		durch Erneuerbare Energien**		1%	1%	1%	1%	1%	1%	44%	45%	201%	201%	201%	201%	201%
		Σ		60%	146%	148%	156%	139%	149%	196%	206%	478%	482%	365%	401%	482%
Bewertung nach EnEV 2016	Primärenergie	Anforderungswert EnEV	[kWh/m²a]	195,5				159,2								
		Ist		186,8 (-4%)	158,9 (-19%)	158,9 (-19%)	156,4 (-20%)	161,0 (+1%)	158,0 (-0,7%)	156,3 (-2%)	153,3 (-4%)	116,3 (-27%)	114,4 (-28%)	153,0 (-4%)	141,1 (-11%)	56,9 (-64%)
	Erfüllungsgrad EEWärmeG	durch Unterschreitung von q_p | $\bar{U}$	-	30% | 178%	125% | 178%	125% | 178%	133% | 178%	-8% | 178%	5% | 178%	12% | 178%	25% | 178%	180% | 178%	187% | 178%	26% | 178%	76% | 178%	428% | 178%
		durch Erneuerbare Energien**		1%	1%	1%	1%	1%	1%	44%	45%	201%	201%	201%	201%	201%
		Σ		31%	126%	126%	135%	-6%	6%	56%	70%	379%	379%	227%	277%	379%

* *Überdeckung ≤ 10 cm* gemäß *Tabelle 13* DIN V 18599-5:2011 [16]

** Berücksichtigt werden alle Maßnahmen und Ersatzmaßnahmen gemäß EEWärmeG, welche anhand ihrer Deckungsanteile an der Erzeugernutzwärme zu bewerten sind – aufgeführt in Tabelle 3 – sowie Kombinationen dieser Maßnahmen.

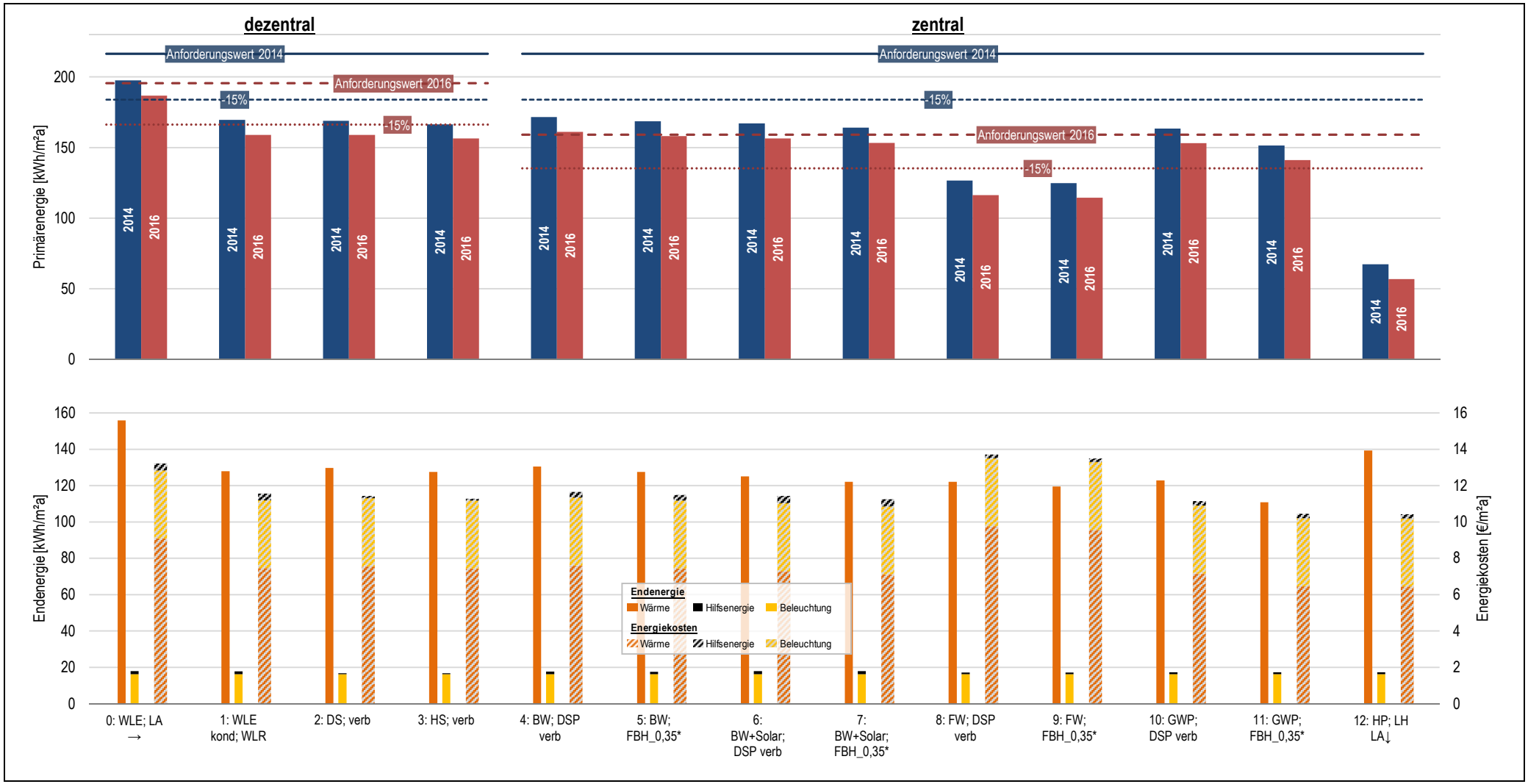


Abbildung 42 Energiebedarfswerte, Sporthalle

7.5.3 Ergebniszusammenfassung

Bewertung baulicher Wärmeschutz

Die gewählte Ausführung des baulichen Wärmeschutzes des Gebäudes erfüllt in allen Positionen und allen Zonen die Anforderungen der EnEV für den Zeitraum bis Ende 2015 wie auch nach 2016.

Ergebnisse Anforderungserfüllung bis Ende 2015

Mit den hier unterstellten Randbedingungen und marktüblicher Ausführung des baulichen Wärmeschutzes der Hüllfläche erfüllt das Modellgebäude mit allen untersuchten Anlagenvarianten – mit Ausnahme der Variante 0 *WLE; LA→*, dem Referenzsystem der EnEV – die bis Ende 2015 gültigen Anforderungen der EnEV 2014 und gleichzeitig die Anforderungen des EEWärmeG – allein auf dem Wege der Ersatzmaßnahmen durch zusätzliche Einsparung von Energie gegenüber dem EnEV-Anforderungsniveau um 15%.

Mit den zentralen Anlagenvarianten 6 *BW+Solar; DSP verb* und 7 *BW+Solar; FBH_0,35**, sowie 10 *GWP; DSP verb,* 11 *GWP; FBH_0,35** und 12 *HP; LH LA↓* erfüllt das Gebäude die Anforderungen des EEWärmeG zusätzlich durch Nutzung erneuerbarer Energien.

Ergebnisse Anforderungserfüllung ab 2016

Für den Zeitraum ab 2016 erfüllt das Gebäude mit allen dezentralen Heizsystemen in der Hallenzone (außer Variante 0: *WLE; LA→*) weiterhin die Anforderungen aus EnEV und zugleich EEWärmeG auf dem Wege der Ersatzmaßnahmen durch zusätzliche Einsparung von Energie.

Die Anforderungen aus EnEV und EEWärmeG werden ebenfalls durch die zentralen Heizungsvarianten 8 *FW; DSP verb*, 9: *FW; FBH_0,35** (Fernwärme) sowie bei den Varianten 10 *GWP; DSP verb,* 11 *GWP; FBH_0,35** und 12 *HP; LH LA↓* (Nutzung erneuerbarer Energien mittels Gaswärmepumpe oder Biomassekessel) erfüllt.

Mit den zentralen Heizsystemen 4 *BW; DSP verb* und 5 *BW; FBH_0,35** (Brennwertkessel mit Erdgas/Erdöl betrieben) können die Anforderungen des EEWärmeG auf dem Wege der Übererfüllung der EnEV praktisch kaum erfüllt werden – es ergeben sich sehr geringe Erfüllungsgrade des EEWärmeGs.

Mit den Varianten 6 *BW+Solar; DSP verb* und 7 *BW+Solar; FBH_0,35** (also mit einem gewissen solaren Deckungsanteil) ist eine Anforderungserfüllung nur mit zusätzlicher Optimierung möglich.

Fazit

Für den Geltungszeitraum von EnEV und EEWärmeG **bis Ende 2015** werden mit der hier gewählten baulichen Ausführung des Modellgebäudes Sporthalle mit allen gewählten und in den Tabellen dargestellten Anlagensystemen (mit Ausnahme des Referenz-Heizsystems Variante 0) die Anforderungen erfüllt.

Für den Geltungszeitraum **ab 2016** werden die Anforderungen an das Gebäude aus EnEV und EEWärmeG mit den dargestellten effizienteren dezentralen Heizsystemen in der Hallenzone erfüllt.

Bei den zentralen Heizsystemen wird **ab 2016** die Erfüllung des EEWärmeG – aufgrund der höheren energetischen Anforderungen der EnEV – kaum noch auf dem Wege der Ersatzmaßnahmen zusätzliche Einsparung von Energie, sondern nur durch Systeme mit Nutzung erneuerbarer Energien oder durch Kombinationen solcher Systeme mit einer Erdgas/Erdöl-Brennwerttechnik möglich sein. Entsprechende Systeme stehen im Markt zur Verfügung.

7.6 Großmarkt

7.6.1 Randbedingungen

Das Modellgebäude *Großmarkt* steht beispielhaft für mittelgroße bis große Großhandels-, Super- oder Baumärkte mittlerer Raumhöhe (ca. 6- 7 m) (keine Lebensmittelmärkte). Im Rahmen der beispielhaften Energiebedarfsberechnungen wird es vereinfacht mit vier Gebäudezonen für die Bereiche *Markt*, *Lager* (einschließlich Technik usw.), *Verwaltung* und *Restaurant* abgebildet.

Für alle Berechnungsvarianten wird einheitlich von direkter Beleuchtung durch stabförmige Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten in allen Zonen ausgegangen und von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung für die Zonen *Markt*, *Verwaltung* und *Restaurant*.

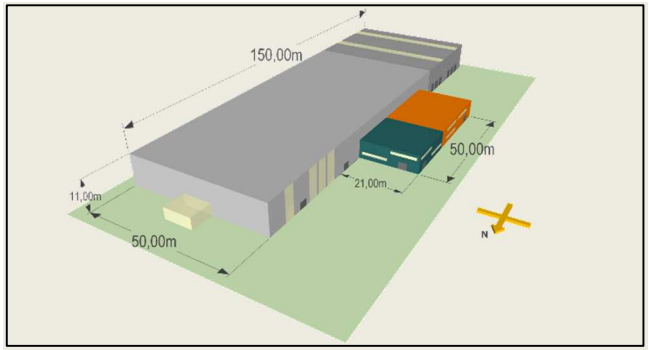


Abbildung 43 Großmarkt

Tabelle 28 Anlagentechnik Großmarkt (siehe auch Anhang 3)

	Markt	Lager (untergeordnet: Technik)	Verwaltung	Restaurant
0: WLE; LA →; WRG70%	Warmlufterzeuger, Luftauslass seitlich		BW-Kessel (Aufstellung: Lager), Heizkörper	
1: BW; DSP verb*; WRG70%	BW-Kessel (Aufstellung: Lager), Deckenstrahlplatten verbessert*		BW-Kessel (Aufstellung: Lager), Heizkörper	
2: BW; LH LA ↓; WRG70%	BW-Kessel (Aufstellung: Lager), Lufterhitzer von oben			
3: BW; LH LA ↓; WRG80%	BW-Kessel (Aufstellung: Lager), Lufterhitzer von oben; RLT mit besserer Rückwärmzahl (0,8)			
4: BW; FBH; WRG70%	BW-Kessel (Aufstellung: Lager), Fußbodenheizung ungedämmt			
5: BHKW+BW; DSP verb*; WRG70%	BHKW + BW-Kessel (Aufstellung: Lager), Deckenstrahlplatten verbessert*			
6: BHKW+BW; LH LA ↓; WRG70%	BHKW + BW-Kessel (Aufstellung: Lager), Lufterhitzer von oben			
7: GWP; DSP verb*; WRG70%	Gas-WP (Aufstellung: Lager), Deckenstrahlplatten verbessert*			
8: GWP; LH LA ↓; WRG70%	Gas-WP (Aufstellung: Lager), Lufterhitzer von oben			
9: GWP; FBH; WRG70%	Gas-WP (Aufstellung: Lager), Fußbodenheizung ungedämmt			

Tabelle 29 Gebäude, Nutzung, Konditionierung Großmarkt

		Markt	Lager (untergeordnet: Technik)	Verwaltung	Restaurant
Nutzung DIN V 18599-10:2011-12		A.6	A.20	A.2	A.13
Konditionierung	Heizung	✓	-	✓	✓
	Trinkwarmwassererwärmung	✓	✓	✓	✓
	Lüftung/RLT	✓	-	-	✓
	└ Funktionen	Zu-/Abluft (WRG)	-	-	Zu-/Abluft (WRG)
	Beleuchtung	✓	✓	✓	✓
Geometrie	Länge [m]	110	50	30	20
	Breite [m]	50	40	21	21
	Höhe [m]	11	11	6,5	6,5
	Nettogrundfläche A_{NGF} [m²]	7.600	1.900	1.000	600
	mittlere Raumhöhe h_R [m]	7	10	3	3,3
	Bruttovolumen V_{brutto} [m³]	60.500	22.000	4.095	2.730
	Nettovolumen V_{netto} [m³]	53.200	19.000	3.000	1.980
Wärmedurchgangskoeffizienten [W/m²K]	*Boden gegen Erdreich*				
	├ Randstreifen 5 m	0,35	0,35	0,35	0,35
	└ innerer Bereich	3,5	3,5	0,65	0,65
	Dach				
	├ Trapezblech/Iso-Paneele	0,18	0,18	0,18	0,18
	└ Lichtkuppeln	-	1,5	-	-
	Außenwand				
	├ Iso-Paneele	0,20	0,20	0,20	0,20
	├ Tore und Außentüren	1,5	1,5	1,5	1,5
	└ Außenfenster	1,1	-	1,1	1,1
	pauschaler Wärmebrückenzuschlag	0,05	0,05	0,05	0,05

7.6.2 Ergebnisse

Tabelle 30 Bewertung des baulichen Wärmeschutzes nach EnEV, Großmarkt

	2014				2016, Gebäude mit dezentral beheizten Zonen mit h > 4 m						2016, Gebäude ohne dezentral beheizte Zonen mit h > 4 m			
	θ < 19 °C		θ ≥ 19 °C		θ < 19 °C		θ ≥ 19 °C (dez. beh. Halle)		θ > 19 °C (Rest)		θ < 19 °C		θ ≥ 19 °C	
	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist	Max	Ist
Opake Außenbauteile; Zeile 1	0,50	0,19 (-63%)	0,35	0,13 (-64%)	0,50	0,19 (-63%)	0,35	----	0,28	0,13 (-55%)	0,50	0,19 (-63%)	0,28	0,13 (-55%)
Transparente Außenbauteile; Zeile 2	2,8	1,1 (-61%)	1,9	1,1 (-42%)	2,8	1,1 (-61%)	1,9	----	1,5	1,1 (-27%)	2,8	1,1 (-61%)	1,5	1,1 (-27%)
Lichtbänder, Lichtkuppeln; Zeile 4	3,1	1,5 (-52%)	3,1	----	3,1	1,5 (-52%)	3,1	----	2,5	----	3,1	1,5 (-52%)	2,5	----
Geringste Unterschreitung	1,1 (-42%)				1,1 (-27%)						1,1 (-27%)			

Tabelle 31 Energiebedarfswerte, Bewertung nach EnEV 2014 und 2016 und EEWärmeG 2011, Großmarkt

				0: WLE; LA →; WRG70%	1: BW; DSP verb*; WRG70%	2: BW; LH LA↓; WRG70%	3: BW; LH LA↓; WRG80%	4: BW; FBH; WRG70%	5: BHKW+BW; DSP verb*; WRG70%	6: BHKW+BW; LH LA↓; WRG70%	7: GWP; DSP verb*; WRG70%	8: GWP; LH LA↓; WRG70%	9: GWP; FBH; WRG70%
Erzeugernutzwärmeabgabe		Σ	[kWh/m²a]	78,2[a]	72,5[a]	75,4[a]	73,9[a]	78,6[a]	73,9[a]	78,6[a]	72,6[a]	75,5[a]	73,5[a]
		Erneuerbarer Anteil**		(24%)[b]	(23%)[b]	(24%)[b]	(25%)[b]	(24%)[b]	44,9 (86%)[c]	48,6 (86%)[c]	54,8 (99%)[c]	57,7 (100%)[c]	55,7 (105%)[c]
Endenergie	Wärme	Σ	[kWh_{HS}/m²a]	71,0	58,4	61,6	60,1	65,2	56,1	60,8	54,3	52,8	55,7
		Heizung		71,0	58,4	61,6	60,1	65,2	56,1	60,8	54,3	52,8	55,7
	Beleuchtung		[kWh_{el}/m²a]	18,4									
Hilfsenergie		Σ	[kWh_{el}/m²a]	24,36	24,11	24,13	24,12	24,14	23,61	23,61	24,02	24,04	24,04
		Heizung		6,58	6,33	6,35	6,34	6,36	5,83	5,83	6,24	6,26	6,26
		Warmwasser (elektrische Trinkwassererwärmung)		17,78	17,78	17,78	17,78	17,78	17,78	17,78	17,78	17,78	17,78
Energiekosten			[€/m²a]	13,98	13,19	13,38	13,29	13,59	9,68	9,68	12,93	12,85	13,02
Bewertung nach EnEV 2014	Primärenergie	Anforderungswert EnEV	[kWh/m²a]	192,4									
		Ist		173,1 (-10%)	160,0 (-17%)	163,2 (-15%)	161,7 (-16%)	166,8 (-13%)	133,6 (-31%)	136,4 (-29%)	155,7 (-19%)	154,3 (-20%)	157,2 (-18%)
	Erfüllungsgrad EEWärmeG	durch Unterschreitung von q_p | $\bar{U}$	-	67% | 281%	112% | 281%	101% | 281%	106% | 281%	89% | 281%	204% | 281%	194% | 281%	127% | 281%	132% | 281%	122% | 281%
		durch Erneuerbare Energien**		48%	46%	47%	50%	48%	172%	172%	246%	247%	259%
		Σ		115%	159%	149%	157%	137%	376%	366%	373%	379%	381%
Bewertung nach EnEV 2016	Primärenergie	Anforderungswert EnEV	[kWh/m²a]	150,9	126,7								
		Ist		147,4 (-2%)	134,4 (+6%)	137,7 (+9%)	136,1 (+7%)	141,2 (+11%)	108,4 (-14%)	111,1 (-12%)	130,3 (+3%)	128,8 (+2%)	131,7 (+4%)
	Erfüllungsgrad EEWärmeG	durch Unterschreitung von q_p | $\bar{U}$	-	15% | 178%	-40% | 178%	-58% | 178%	-49% | 178%	-76% | 178%	96% | 178%	82% | 178%	-19% | 178%	-11% | 178%	-26% | 178%
		durch Erneuerbare Energien**		48%	46%	47%	50%	48%	172%	172%	246%	247%	259%
		Σ		64%	6%	-10%	1%	-28%	268%	254%	228%	236%	233%

* *Überdeckung ≤ 10 cm* gemäß *Tabelle 13* DIN V 18599-5:2011 [16]

** Berücksichtigt werden alle Maßnahmen und Ersatzmaßnahmen gemäß EEWärmeG, welche anhand ihrer Deckungsanteile an der Erzeugernutzwärme zu bewerten sind – aufgeführt in Tabelle 3 – sowie Kombinationen dieser Maßnahmen.

[a] Bei allen Varianten wird ein signifikanter Anteil der Erzeugernutzwärme durch WRG eingespart. Die angegebenen Erzeugernutzwärme-Werte berücksichtigen diese Einsparung bereits.

[b] Die in Klammern angegebenen, relativen erneuerbaren Anteile kennzeichnen die Verringerung der notwendigen Erzeugernutzwärmeabgabe durch Wärmerückgewinnung.

[c] Die erneuerbaren Anteile in kWh/m²a umfassen nur die als erneuerbar anrechenbare Erzeugernutzwärmeabgabe des jeweiligen Wärmeerzeugers. Die in Klammern angegeben relativen Anteile beziehen zusätzlich die Einsparung durch Wärmerückgewinnung ein.

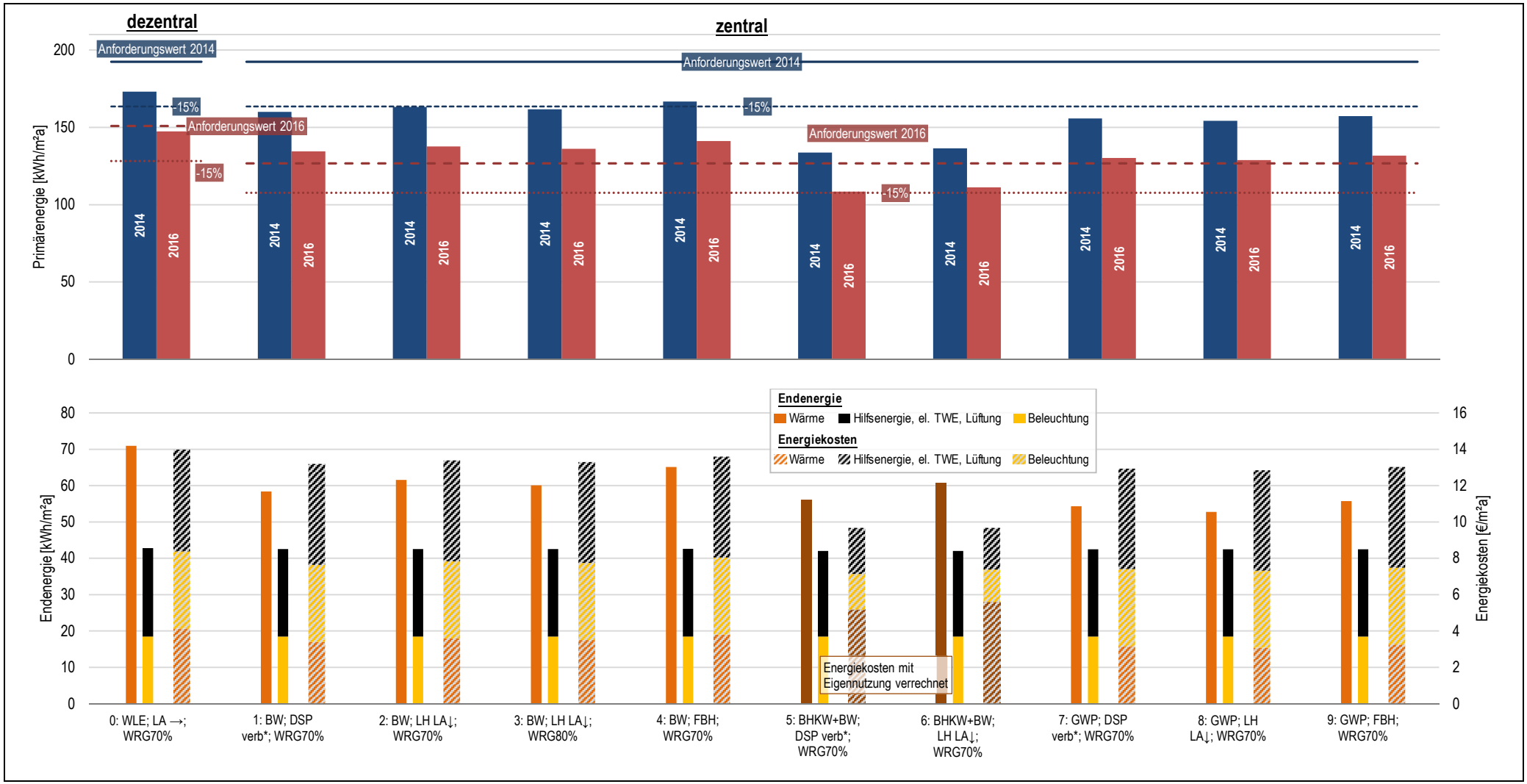


Abbildung 44 Energiebedarfswerte, Großmarkt

7.6.3 Ergebniszusammenfassung

Bewertung baulicher Wärmeschutz

Die gewählte Ausführung des baulichen Wärmeschutzes des Gebäudes erfüllt in allen Positionen und allen Zonen die Anforderungen der EnEV für den Zeitraum bis Ende 2015 wie auch nach 2016.

Ergebnisse Anforderungserfüllung bis Ende 2015

Mit den hier unterstellten Randbedingungen und einer noch marktüblichen, aber bereits ambitionierten Ausführung des baulichen Wärmeschutzes halten alle untersuchten Anlagentechnik-Varianten das Anforderungsniveau der EnEV 2014 bis Ende 2015 ein.

Die Varianten mit konventionellen Wärmeerzeugern (0, 1, 2, 3, 4) – darunter eine Ausführung mit dezentralen Warmlufterzeugern gemäß Referenzgebäude nach EnEV sowie vier Ausführungen mit Brennwertkesseln – unterschreiten den Primärenergiebedarfs-Anforderungswert um 10 bis 17 %.

Für die Varianten mit Gas-Sorptionswärmepumpen (7, 8, 9) zeigen sich nochmals etwas größere Unterschreitungen des Primärenergiebedarfs-Anforderungswertes im Bereich von 18 bis 20 %. Die beiden untersuchten BHKW-Varianten (5, 6) setzen sich mit Unterschreitungen von ca. 30 % noch etwas deutlicher ab.

Alle Varianten halten das EEWärmeG bereits durch eine Kombination der beiden Ersatzmaßnahmen *Nutzung von Abwärme* und *Einsparung von Energie* vollständig ein. Für die Varianten mit BHKW und Gas-Sorptionswärmepumpen (5-9) ergeben sich durch die zusätzlichen Erfüllungsoptionen *Kraft-Wärme-Kopplung* und *Umweltwärme* nochmals deutlich höhere Erfüllungsgrade.

Ergebnisse Anforderungserfüllung ab 2016

Mit den verschärften Anforderungswerten der EnEV 2014 ab 2016 zeigt sich ein deutlich anderes Bild für hier untersuchten Anlagentechnik-Varianten. Die informativ dargestellte Variante *0: WLE; LA→* (Heizungssystem des Referenzgebäudes nach EnEV in den Hallenzonen) hält die primärenergetische Anforderung der EnEV sehr knapp ein. Die beiden untersuchten BHKW-Varianten (5, 6) unterschreiten den Primärenergiebedarfs-Anforderungswert ebenfalls, um 12 bzw. 14 %. Alle anderen untersuchten Varianten, sowohl mit Brennwertkessel als auch mit Gas-Sorptionswärmepumpe, überschreiten den Primärenergiebedarfs-Anforderungswert – sie halten die EnEV nicht ein. Die Einhaltung der Anforderungen des EEWärmeGs wäre mit den hier dargestellten Anlagentechnik-Varianten mit BHKW und Gas-Sorptionswärmepumpen dennoch möglich.

Die Nichteinhaltung des Primärenergiebedarfs-Anforderungswertes nach EnEV ab 2016 scheint für dieses Modellgebäude, flüchtig betrachtet, nicht plausibel – das Gebäude verfügt über einen guten bis sehr guten baulichen Wärmeschutz, Wärmerückgewinnung und z.T. sehr effiziente Heizungstechnik. Hier zeigt sich eine Schwierigkeit im Umgang mit der Verschärfung der EnEV-Anforderungen. Diese Verschärfung bezieht sich auf den gesamten nach EnEV zu bilanzierenden Primärenergiebedarf, also alle einbezogenen Gewerke. Sinngemäß verlangt die EnEV, dass der Primärenergiebedarf des zu bewertenden Gebäudes 25 % unter dem des Referenzgebäudes liegen muss. Jedoch können für das zu bewertende Gebäude nur an einigen Stellen Maßnahmen ergriffen werden, um es energetisch besser als das entsprechende Referenzgebäude zu machen. An mehreren Stellen ist das Referenzgebäude ohnehin schon relativ energieeffizient ausgestattet oder die Eigenschaften des zu bewertenden Gebäudes werden auch im Referenzgebäude unterstellt. Für die hier untersuchten Hallengebäude kann eine deutlich Effizienzsteigerung gegenüber dem Referenzgebäude i.d.R. durch Verbesserungen der Heizungstechnik erreicht werden – dies gilt allerdings nur, wenn die Aufwendungen für Beheizung einen wesentlichen Anteil am Gesamt-Primärenergiebedarf ausmachen. Der Primärenergiebedarf des Modellgebäudes *Großmarkt* wird jedoch wesentlich durch andere Konditionierungsarten geprägt – effizienzsteigernde Maßnahmen an der Heizungstechnik wirken sich

daher deutlich weniger stark auf den Gesamt-Primärenergiebedarf aus als es bei den anderen Modellgebäuden der Fall ist. Für eine signifikante Verringerung des Primärenergiebedarfs zur Einhaltung der 2016 in Kraft tretenden Verschärfung um 25 % müssen umfassende Maßnahmen in mehreren oder ggf. allen nach EnEV zu bilanzierenden Gewerken ergriffen werden. Abbildung 45 zeigt beispielhaft, wie hoch die Verringerung des Primärenergiebedarfs für Heizung ausfallen müsste, wenn sonst keine gegenüber dem Referenzgebäude anrechenbaren Verbesserungen vorlägen.

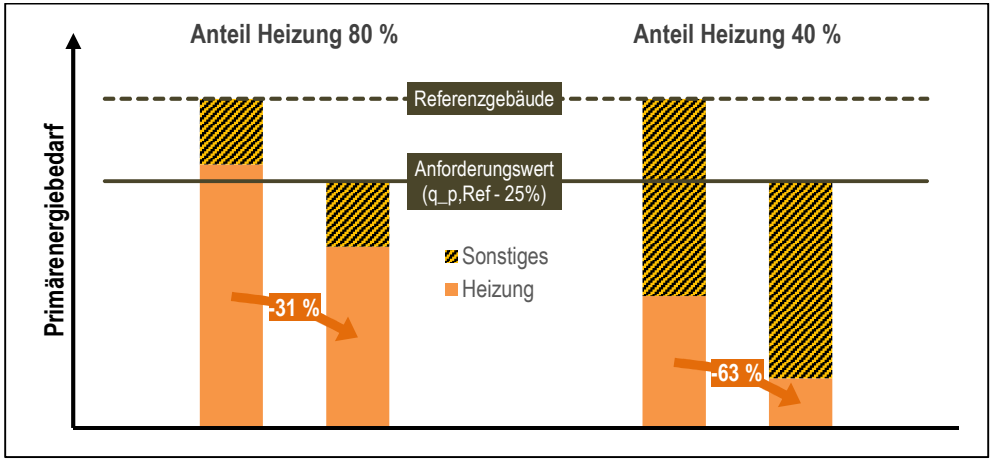


Abbildung 45 Notwendige Verringerung des Primärenergiebedarfs für Heizung zur 25-%igen Unterschreitung des Referenzgebäudewertes (ohne sonstige Verbesserungen gegenüber Referenzgebäude), beispielhaft

Das beschriebene Problem soll hier nicht als spezifische Eigenschaft von Verkaufsgebäuden verstanden werden. Vielmehr dürfte es alle Gebäude im Geltungsbereich der EnEV (ab 2016) betreffen, deren Primärenergiebedarf wesentlich durch andere Konditionierungsarten als (Raum-)Heizung geprägt ist.

Fazit

Bei einer Beurteilung auf Grundlage der EnEV 2014 und des bis Ende 2015 geltenden Anforderungsniveaus halten alle hier betrachteten Konstellationen für das Modellgebäude *Großmarkt* die Anforderungen von EnEV und EEWärmeG ein bzw. erreichen in mehreren Fällen deutliche Übererfüllung.

Mit dem verschärften Anforderungsniveau der EnEV ab 2016 ist für die meisten der hier dargestellten Varianten keine Einhaltung der EnEV ohne weitere umfangreiche Maßnahmen zur Verringerung des Primärenergiebedarfs mehr möglich. Hier zeigt sich ein ungünstiges Zusammenwirken der spezifischen Konditionierung des Modellgebäudes und der diesbezüglich nicht differenzierenden Verschärfung der EnEV-Anforderungen: für Gebäude mit hohem Primärenergiebedarf für andere Konditionierungen als (Raum-)Heizung dürfte die Einhaltung der EnEV ab 2016 sehr viel schwerer fallen als bis dahin.

8 Zusammenfassung und Bewertung

Aus den im Zuge der Projektbearbeitung ausgewerteten ca. 75 EnEV-Nachweisen von Hallengebäuden im Planungs- bzw. Errichtungszeitraum 2009 bis April 2014 – also vor Inkrafttreten der neuen EnEV 2014 – können zwei zentrale Erkenntnisse abgeleitet werden:

- In über 90 % der vorliegenden – möglicherweise nicht unbedingt für den ganzen Hallenbereich repräsentativen – Nachweisen von Hallen aus dem Zeitraum 2009 bis 2014 werden die Anforderungen der EnEV 2009 hinsichtlich des baulichen Wärmeschutzes (Höchstwerte mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient der Hüllflächenteile nach Anlage 2,Tabelle 2 der EnEV) sowie des Primärenergiebedarfs des Gebäudes deutlich, also um mehr als 15 %, übererfüllt.
- Ebenfalls in über 90 % der vorliegenden Nachweise werden die Anforderungen des EEWärmeGs an die errichteten Hallengebäude damit auf dem Wege der Ersatzmaßnahmen durch zusätzliche Einsparung von Energie (EnEV -15 %) erfüllt; bei den restlichen Gebäuden wird das EEWärmeG durch andere Ersatzmaßnahmen (Abwärmenutzung, KWK-Anlagen, Fernwärmenutzung), durch Nutzung erneuerbarer Energie (Pelletkessel, Solarthermie, Gaswärmepumpe) und durch Kombination verschiedener Maßnahmen erfüllt.

Baulicher Wärmeschutz

Mit den in den Berechnungsbeispielen dargestellten marktüblichen Ausführungen erfüllen Hallengebäude in aller Regel die aktuell geltenden Anforderungen der EnEV bis Ende 2015 wie auch nach 2016 hinsichtlich des baulichen Wärmeschutzes. Insbesondere bei den Fassaden-, Dach- und Torelementen in Leichtbauweise stehen im Markt geeignete Konstruktionen und Bauelemente zu wirtschaftlich vertretbaren Konditionen zur Verfügung.

Sollen bei einer Planung für den Zeitraum nach 2016 die zur Zeit geltenden Anforderungen aus EnEV 2014 und EEWärmeG allein auf dem Weg der Ersatzmaßnahmen durch zusätzliche Einsparung von Energie (EnEV – 15%) erfüllt werden, so sind an einzelnen Positionen der Hüllfläche (insbesondere Fenster im Bereich von Zonen ≥ 19°C Raumsolltemperatur ohne dezentrale Hallenheizung) mindestens in einem Teilbereich Bauelemente mit verbesserten U-Werten (z.B. 3-fach verglaste Fenster) einzusetzen, die jedoch marktverfügbar bis marktüblich sind.

Anforderungserfüllung EnEV 2014 / EEWärmeG bis Ende 2015 (Fertigungshalle, Werkstatt, Logistikhalle, Sporthalle)

Mit den hier unterstellten Randbedingungen und marktüblicher Ausführung des baulichen Wärmeschutzes der Hüllfläche erfüllen die Modellgebäude 1 bis 4 (Fertigungshalle, Werkstatt, Logistikhalle, Sporthalle), die sich in Gebäudestruktur, Nutzung und Anlagentechnik deutlich unterscheiden, in der Regel gleichermaßen mit fast allen untersuchten Anlagenvarianten die bis Ende 2015 gültigen Anforderungen der EnEV 2014 und gleichzeitig die Anforderungen des EEWärmeG – allein auf dem Wege der Ersatzmaßnahmen durch zusätzliche Einsparung von Energie gegenüber dem EnEV-Anforderungsniveau um 15%.

Anforderungserfüllung EnEV 2014 / EEWärmeG ab 2016 (Fertigungshalle, Werkstatt, Logistikhalle, Sporthalle)

Für den Zeitraum ab 2016 erfüllen die gleichen Modellgebäude 1 bis 4 in der Regel mit fast allen effizienteren unter den dezentralen Heizsystemen in der Hallenzone weiterhin deutlich die Anforderungen aus EnEV und zugleich EEWärmeG auf dem Wege der Ersatzmaßnahmen durch zusätzliche Einsparung von Energie. Aufgrund der Ausnahmeregelung für

Gebäudezonen mit Raumhöhen ≥ 4 m mit dezentralen Hallenheizsystemen von der Verschärfung 2016 sind hier höhere Energiebedarfe zulässig.

Mit den bisher überwiegend eingesetzten zentralen Heizsystemen (z.B. Brennwertkessel mit Erdgas/Erdöl betrieben) können die kombinierten und ab 2016 verschärften Anforderungen aus EnEV und EEWärmeG auf dem Wege der Übererfüllung der EnEV ab 2016 praktisch kaum mehr erfüllt werden (geringe Erfüllungsgrade EEWärmeG). Hier stehen jedoch im Markt geeignete Systeme zur Erfüllung des EEWärmeGs auf dem Wege der sonstigen Ersatzmaßnahmen (Abwärmenutzung, BHKWs oder KWK-Anlagen sowie Fernwärme-anschluss) oder Wärmeerzeuger mit Nutzung erneuerbarer Energien (Gaswärmepumpen, Biomassekessel, Solarthermie-Anlagen etc.) zur Verfügung.

Großmarkt

Eine gewisse Sonderstellung hinsichtlich der Anforderungserfüllung aus EnEV 2014 und EEWärmeG unter den definierten nimmt das Modellgebäude Großmarkt ein. Abweichend von den anderen hier betrachteten Modellgebäuden steht der Großmarkt beispielhaft für Gebäude mit hohen bis sehr hohen energetischen Aufwendungen, z.B. für

- Beleuchtung,
- (elektrische) Trinkwassererwärmung und
- Lüftung,

während die Beheizung des Gebäudes nur einen vergleichsweise geringen Anteil des Gesamt-Primärenergiebedarfs ausmacht.

Verkaufsgebäude werden aufgrund der Vorgaben der Verkaufsstättenverordnung fast ausschließlich durch zentrale Wärmeerzeuger versorgt – die Ausnahmeregelung der EnEV für Zonen mit Raumhöhen > 4 m und dezentralen Hallenheizungssystemen greift hier also i.d.R. nicht. Gleichzeitig kann der Primärenergiebedarf durch Maßnahmen an der Heizungsanlage nur noch in geringem Maß beeinflusst werden, da dieser durch andere Konditionierungsarten dominiert wird – für diese besteht aber oft nur geringes oder gar kein Verbesserungspotenzial gegenüber dem Referenzgebäude[36]. Daher dürfte es auch mit gutem bis sehr gutem baulichem Wärmeschutz ab 2016 deutlich schwieriger werden, den Primärenergie-Anforderungswert der EnEV mit einem solchen Gebäude einzuhalten oder ggf. sogar noch deutlich zu unterschreiten.

Die Untersuchungen zur Erfüllung der aktuellen und zukünftigen Anforderungen aus EnEV 2014 und EEWärmeG für Hallengebäude verdeutlichen die Komplexität der Anforderungsstruktur aus der Wechselwirkung zweier energierechtlicher Vorschriften für den Planungsprozess von Nichtwohngebäuden. Durch die baulichen und anlagentechnischen Charakteristika von Hallengebäuden treten eine Reihe von Besonderheiten auf, die bei einer integrierten Planung zusätzlich beachtet werden müssen. Aus Sicht der Autoren sind zur integralen technisch-wirtschaftlichen Planung von modernen Hallengebäuden besondere Fachkenntnisse über die in diesem Leitfaden beschriebenen Zusammenhänge erforderlich.

[36] Viele Eigenschaften des zu bewertenden (oder zu errichtenden) Gebäudes sind auch auf das Referenzgebäude zu übertragen – eine Verbesserung des zu bewertenden Gebäudes in einem dieser Aspekte bewirkt keine bessere Bewertung nach EnEV.

9 Quellen

[1] *EnEG 1976: Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden,* DE, 1976.

[2] *EnEG 2005: Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinsparungsgesetz - EnEG),* DE, 2005.

[3] *EnEG 2013: Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieinsparungsgesetz - EnEG) [...] in der Fassung der Bekanntmachung vom 1. September 2005 (BGBl. I S. 2684), [geändert] 4. Juli 2013 [...],* DE, 2013.

[4] *EnEV 2002: Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden,* DE, 11/2002.

[5] *EnEV 2007: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden,* DE, 07/2007.

[6] *EnEV 2009: Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 29. April 2009,* 2009.

[7] *EnEV 2014*: Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung 18.11.2013, nichtamtliche Lesefassung,* 18.11.2013.

[8] *EPBD 2010: Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizien von Gebäuden,* DE, 14.11.2012.

[9] *EPBD 2002: Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden,* DE, 16.12.2002.

[10] *EnEV 2014: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (...) vom 27. Juli 2007 (...), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 18. November 2013 (BGBl. I S. 3951).*

[11] *EEWärmeG 2008: Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz - EEWärmeG),* DE, 07.08.2008.

[12] *EEWärmeG_2011: Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz - EEWärmeG),* 2011.

[13] *EE-RL 2009: Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.04.2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen,* DE, 05.06.2009.

[14] *Entwurf EnEV 2014: Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung 15.10.2012, Regierungsentwurf mit Begründung,* 15.10.2012.

[15] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN V 18599 Beiblatt 2 (2012-06) Energetische Bewertung von Gebäuden [...] - Beiblatt 2: Beschreibung der Anwendung von Kennwerten aus der DIN V 18599 bei Nachweisen des Gesetzes zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG),* 06/2012.

[16] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN V 18599:2011-12 Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teile 1 bis 11,* 2011.

[17] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN V 18599:2007-02 Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teile 1 bis 10,* DE.

[18] ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden Forschung und Anwendung GmbH; Universität Kassel FB Bauphysik, *Gesamtanalyse Energieeffizienz von Hallengebäuden, Abschlussbericht,* 30.6.2011.

[19] Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, Dresden, *Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude - Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO2-Minderungspotenzialen,* B. Berlin, Hrsg., DE, Dezember 2013.

[20] DIBt Deutsches Institut für Bautechnik, Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz, *Auslegungsfragen zur Energieeinsparverordnung -- Teil 20,* 01/2015.

[21] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN EN ISO 13370:2008-04 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Wärmeübertragung über das Erdreich - Berechnungsverfahren; Deutsche Fassung EN ISO 13370:2007,* 04/2008.

[22] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN 4108-2:2013:02 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz,* Februar 2013.

[23] DIBt Deutsches Institut für Bautechnik, Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz, *Auslegungsfragen zur Energieeinsparverordnung -- Teil 19,* 08/2014.

[24] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN 4102-1:1998-05 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Teil 1: Baustoffe -- Begriffe, Anforderungen und Prüfungen,* Mai 1998.

[25] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Ausschuss für Arbeitsstätten, *Technische Regeln für Arbeitsstätten - Raumtemperatur - ASR A3.5,* Juni 2010, geändert GMBI 2014.

[26] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Ausschuss für Arbeitsstätten, *Technische Regeln für Arbeitsstätten - Lüftung - ASR A3.6,* Januar 2012, geändert und ergänzt GMBI 2013.

[27] ARGEBAU, Fachkommission Bauaufsicht, *Musterverordnung über Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (Muster-Versammlungsstättenverordnung - MVStättV),* Juni 2005.

[28] Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz, *Entwurf Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Verkaufsstätten (Muster-Verkaufsstättenverordnung - MVKVO),* September 1995, zuletzt geändert Februar 2014.

[29] C. Kaup, P. Kampeis, Hochschule Trier (im Auftrag des Fachverbands Gebäude-Klima e.V. und des Herstellerverbands RLT-Geräte e.V.), *Studie zur Entwicklung des Energiebedarfs zentraler Raumlufttechnischer Anlagen in Nicht-Wohngebäuden in Deutschland,* 06/2014.

[30] M. H. Spitzner, *Hitzeschutz; Online-Zeitschriftenartikel, erschienen in mikado 8.2014,* Kissing, 08/2014.

[31] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN EN 416-1:2009-09 Gasgeräte-Heizstrahler - Dunkelstrahler mit einem Brenner mit Gebläse für gewerbliche und industrielle Anwendung - Teil 1: Sicherheit; Deutsche Fassung EN 416-1:2009,* 09/2009.

[32] DVGW Technische Regel - Arbeitsblatt G 638-2 *Heizungsanlagen mit Dunkelstrahlern,* März 2010.

[33] DIBt Deutsches Institut für Bautechnik, Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz, *Auslegungsfragen zur Energieeinsparverordnung - Teil 10,* 19.06.2009.

[34] DIBt Deutsches Institut für Bautechnik, Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz, *Auslegungsfragen zur Energieeinsparverordnung - Teil 11,* 17.12.2009.

[35] ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden Forschung und Anwendung GmbH, *Thermische Behaglichkeit in modernen Hallengebäuden - beheizt mit Hellstrahlern, Abschlussbericht,* 2011.

[36] EUROPÄISCHE KOMMISSION, *KOM(2011) 777 endgültig VOL. 1/2: MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN, Arbeitsprogramm der Kommission für 2012, Europäische Erneuerung,* Brüssel, 15.11.2011.

[37] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN 4108-2:2003-07 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz,* Juli 2003.

[38] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN EN ISO 6946:2008-04 Bauteile -- Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient -- Berechnungsverfahren (ISO 6946:2007); Deutsche Fassung EN ISO 6946:2007,* 04/2008.

10 Glossar

Energiebedarf

Der *Energiebedarf* eines Gebäudes ist die Energiemenge, die das Gebäude unter standardisierten Randbedingungen (z.B. klimatische Bedingungen, Innen- und Außentemperaturen) auf Grundlage eines definierten Berechnungsverfahrens (z.B. Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599) verbrauchen würde.

Energiebedarfswerte lassen somit nur bedingt Rückschlüsse auf tatsächliche oder zu erwartende Energieverbräuche zu. Sie eignen sich jedoch gut als Referenz für Vergleiche zwischen unterschiedlichen Gebäude-/Anlagentechnikvarianten.

Luftheizer, Lufterhitzer

Luftheizer – die DIN V 18599 spricht hier von *Lufterhitzern* – sind Luftheizungen welche über eine wasser- oder, in Einzelfällen auch, dampfführende Wärmeverteilung von einem zentralen Wärmeerzeuger mit Wärme versorgt werden.

Nutz-, End- und Primärenergie

Bei der Bilanzierung von Energieumsetzungen sind unterschiedliche Bilanzgrenzen zu beachten. In der energetischen Bewertung von Gebäuden einschließlich ihrer Anlagentechnik haben sich die Begriffe *Nutz-*, *End-* und *Primärenergie* etabliert.

Der Begriff ***Nutzenergie*** bezieht sich auf die Energiemenge, welche zur Erfüllung einer bestimmten Aufgabe – so der Aufrechterhaltung eines gewünschten Raumklimas – unmittelbar am Ort der Nutzung unter idealisierten Bedingungen aufgewendet werden müsste. Das kann beispielsweise die Wärmemenge sein, welche einem Raum zur Aufrechterhaltung einer definierten Innentemperatur unter idealisierten Bedingungen zuzuführen wäre – also die Summe der Lüftungs- und Transmissionswärmeverluste in einer Zeitperiode. Die Nutzenergie umfasst daher weder anlagen- noch energieträgerspezifische Einflüsse.

Endenergie bezieht darüber hinaus spezifische Energieverluste der Anlagentechnik ein. Diese können z.B. durch die Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergab von Wärme entstehen. Eine definierte Menge an Endenergie kann mit der entsprechenden Menge des eingesetzten Energieträgers (Kubikmeter Erdgas, Liter Heizöl, etc.) gleichgesetzt werden. Endenergie ist energieträgerspezifisch zu betrachten – Endenergiemengen unterschiedlicher Energieträger können nicht unmittelbar verglichen oder miteinander verrechnet werden. Die Grenzen des Bilanzrahmens einer *endenergetischen* Betrachtung werden i.d.R. durch die Gebäudegrenzen gebildet.

Bei einer ***primärenergetischen*** Betrachtung wird zusätzlich der Aufwand berücksichtigt, welcher für Erschließung, Transport und Bereitstellung der notwendigen Energie bis zur Gebäudegrenze notwendig ist. Somit erlaubt die *primärenergetische* Betrachtung auch einen Vergleich von Systemen mit verschiedenen Energieträgern.

Nutzung, Nutzungsprofil, Katalognutzung

Für Energiebedarfsberechnungen nach DIN V 18599 müssen wesentliche Parameter der Nutzung des betrachteten Gebäudes oder der betrachteten Gebäudezone(n) bekannt sein – wie z.B. die Raumtemperatur, die Nutzungszeiten, die Beleuchtungsstärke, etc. Diese werden in DIN V 18599-10 katalogartig für verschiedene *Nutzungen* aufgeführt. Mitunter wird in Bezug auf die in der Norm aufgeführten *Nutzungen* bzw. *Nutzungsprofile* auch von *Katalognutzungen* gesprochen [33, 34].

Das Berechnungsverfahren nach DIN V 18599 sieht das Abwandeln der in Normteil 10 aufgeführten Nutzungen und das Neuerstellen von Nutzungsprofilen ausdrücklich als Option vor. Im Rahmen der Nachweisführung nach EnEV ist dies i.d.R. jedoch nicht zulässig. Sobald eine reale Nutzung einer der aufgeführten (Katalog-)Nutzungen des Normteils 10 zugeordnet werden kann, sind für die Berechnung die Nutzungsrandbedingungen dieser Katalognutzung ohne Veränderung zu verwenden – auch dann wenn sich zwischen realer Nutzung und Katalognutzung Abweichungen ergeben (wie z.B. abweichende Temperaturen oder Nutzungszeiten). Lediglich für Fälle, in denen DIN V 18599-10 keine Entsprechung der realen Nutzung enthält, darf ein neues Nutzungsprofil für die Nachweisführung erstellt werden. Dieser Sachverhalt ist durch den Text der EnEV nicht im Detail geregelt und hat in der Vergangenheit mehrfach zu Fragen und z.T. Anwendungsfehlern bei der Energieausweiserstellung geführt; für die EnEV 2007 und 2009 wurde daher jeweils eine entsprechende verbindliche Interpretation durch das Deutsche Institut für Bautechnik veröffentlicht (*Auslegungsfragen zur Energieeinsparverordnung Teil 10* bzw. *Teil 11* [33, 34]). Es ist davon auszugehen, dass diese Interpretation sinngemäß auch auf die EnEV 2014 anzuwenden ist und der Sachverhalt abermals in einer DIBt-Staffel (zur EnEV 2014) behandelt werden wird.

Wärmedurchgangskoeffizient

Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert, Dimension W/m²K) beschreibt die Größe des Wärmestroms durch ein Bauteil (z.B. eine Außenwand), wenn zwischen den Luftmassen auf beiden Seiten des Bauteils eine Temperaturdifferenz von 1 K besteht. Er umfasst den Wärmeübergang zwischen Innenluft und Bauteil, den Wärmetransport innerhalb des Bauteils sowie den Wärmeübergang zwischen Bauteil und Außenluft. Im Rahmen von Betrachtungen zum Energiebedarf wird der U-Wert i.d.R. vereinfacht als eine Eigenschaft des Bauteils und der Einbausituation (z.B. waagerecht oder senkrecht) betrachtet.

Zone/Gebäudezone (DIN V 18599)

Der Begriff *Zone* wird im Rahmen von Energiebedarfsberechnungen nach DIN V 18599 verwendet. Eine *Zone* ist ein Bereich innerhalb eines Gebäudes, für welchen dieselben oder sehr ähnliche Nutzungsrandbedingungen und Anforderungen an die anlagentechnische Konditionierung gelten.

Im Vorfeld einer Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599 muss das betrachtete Gebäude *zoniert* – also in *Zonen* unterteilt – werden. Im einfachsten Fall kann ein komplettes Gebäude als eine *Zone* betrachtet werden; oft ist eine Unterteilung in verschiedene *Zonen* jedoch sinnvoll oder sogar notwendig.

11 Anhang

Anhang 1 Primärenergiefaktoren nach DIN V 18599-1:2011-12

Tabelle 32 Primärenergiefaktoren gemäß EnEV nach Tabelle A.1 DIN V 18599-1:2011-12

Energieträger[a]		Primärenergiefaktor f_p kleiner ist besser	
		insgesamt	nicht erneuerbarer Anteil
		A	B
Fossile Brennstoffe	Heizöl EL	1,1	1,1
	Erdgas H	1,1	1,1
	Flüssiggas	1,1	1,1
	Steinkohle	1,1	1,1
	Braunkohle	1,2	1,2
Biogene Brennstoffe	Biogas	1,5	0,5
	Bioöl	1,5	0,5
	Holz	1,2	0,2
Nah-/Fernwärme aus KWK[b]	fossiler Brennstoff	0,7	0,7
	erneuerbarer Brennstoff	0,7	0,0
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken	fossiler Brennstoff	1,3	1,3
	erneuerbarer Brennstoff	1,3	0,1
Strom	allgemeiner Strommix	2,8	2,4
	Verdrängungsstrommix	2,8	2,8
Umweltenergie	Solarenergie	1,0	0,0
	Erdwärme, Geothermie	1,0	0,0
	Umgebungswärme	1,0	0,0
	Umgebungskälte	1,0	0,0
Abwärme innerhalb des Gebäudes	aus Prozessen, siehe 3.1.32	1,0	0,0

[a] Bezugsgröße Endenergie: Heizwert H_i

[b] Angaben sind typisch für durchschnittliche Nah-/Fernwärme mit einem Anteil der KWK von 70 %

Anhang 2 Heizsystemspezifische Kenngrößen nach DIN V 18599-5:2011-12

Tabelle 33 vertikale Lufttemperaturanstiege und Teilnutzungsgrade der spezifischen Außenbauteilverluste als heizsystemspezifische Kenngrößen nach *Tabelle 13* DIN V 18599-5:2011-12 [16]

Wärmeübergabe			mittlerer Vertikaler Lufttemperaturanstieg [K/m] kleiner ist besser	Teilnutzungsgrad der spezifischen Wärmeverluste über (beheizte oder erwärmte) Außenbauteile größer ist besser
Warmluftheizung	ohne Warmluftrückführung (Deckenventilatoren)	seitlicher Luftauslass (Wandgerät)	1,00	1,00
		seitlicher Luftauslass (Wandgerät), System mit geringer Ausblastemperatur[c]	0,35	1,00
		Luftauslass von oben (Deckengerät)	0,60	1,00
		Luftauslass von oben (Deckengerät), System mit geringer Ausblastemperatur[c]	0,35	1,00
	mit Warmluftrückführung (Deckenventilatoren)	2-Punkt-geregelte Warmluftrückführung	0,35	1,00
		PI-geregelte Warmluftrückführung	0,25	1,00
Dunkelstrahler			0,20	1,00
Hellstrahler			0,20	1,00
Deckenstrahlplatten	Ausführung Standard		0,40	0,95
	Ausführung verbessert[b]		0,30	0,97
	Ausführung verbessert[b] und Einhaltung Außenwandabstand: $A \geq 0{,}5(h_{DSP} - 1{,}1\ m)$ Dabei ist A der Abstand zwischen Außenwand und Längsachse der wandnächsten Deckenstrahlplatte; h_{DSP} die Montagehöhe der Deckenstrahlplatten.		0,30	1,00
Fußbodenheizung	ohne Dämmung	Überdeckung ≤ 10 cm	0,10	0,86
		Überdeckung > 10 cm		0,81
	bauteilintegriert mit Mindestdämmung nach DIN 4108-2	Überdeckung ≤ 10 cm		0,90
		Überdeckung > 10 cm		0,85
	bauteilintegriert mit Mindestdämmung nach DIN EN 1264	Überdeckung ≤ 10 cm		0,95
		Überdeckung > 10 cm		0,90
	thermisch entkoppelt ($U_{Bodenplatte} \leq 0{,}35\ W/(m^2K)$ und Überdeckung ≤ 10 cm [a])			1,00

[a] Die angegebenen Werte für η_B bei einer Überdeckung > 10 cm berücksichtigen energetische Effekte, welche sich bei Betrieb mit Nutzungsunterbrechungen durch systembedingte Trägheit ergeben; bei 24-stündiger Nutzung ist unabhängig von der tatsächlichen Überdeckung mit den Werten für eine Überdeckung ≤ 10 cm zu rechnen.

[b] Produktmerkmale Deckenstrahlplatten Ausführung verbessert:
Oberseite mindestens 40 mm isoliert und Strahlungsanteil > 75 % nach EN 14037

[c] Die Ausblastemperatur darf max. 15 K über der Innenraumsolltemperatur liegen Die angegebenen Kennwerte dürfen nur bei einer lichten Raumhöhe ≤ 6 m angewendet werden – für größere lichte Raumhöhen ist ungeachtet der Ausblastemperatur mit den Kennwerten des entsprechenden Systems „seitlicher Luftauslass (Wandgerät“ bzw. „Luftauslass von oben (Deckengerät)“ zu rechnen.

Tabelle 34 Faktor für den Strahlungseinfluss (erhöhte Empfindungstemperatur gegenüber Lufttemperatur) nach *Tabelle 14* DIN V 18599-5:2011-12 [16]

Wärmeübergabe		$f_{Radiant}$ kleiner ist besser
Warmluftheizung, Heizkörper		1,00
Dunkelstrahler		Berechnung in Abhängigkeit vom Strahlungswirkungsgrad nach EN 416/419-2:
Hellstrahler		
Deckenstrahlplatten	Ausführung Standard	1,00
	Ausführung verbessert[a]	0,97
Fußbodenheizung		1,00

[a] Produktmerkmal Deckenstrahlplatten *Ausführung verbessert*: Oberseite mindestens 40 mm isoliert und Strahlungsanteil > 75 % nach EN 14037

Tabelle 35 relativer Hilfsenergiebedarf für dezentrale Hallenheizungen nach *Tabelle 18* DIN V 18599-5:2011-12 [16]

Wärmeerzeugung und -übergabe			Hilfsenergiefaktor $f_{h,ce,aux}$ kleiner ist besser
direkter Warmlufterzeuger	ohne Warmluftrückführung	Axialventilator	0,012
		Radialventilator	0,018
	mit Warmluftrückführung	Axialventilator	0,013
		Radialventilator	0,019
		Radialventilator, mehrstufige/modulierende Anlage, kondensierend	0,017
Dunkelstrahler			0,004
Hellstrahler	indirekte Abgasführung		0,0025
	Abgasanlage mit Abgaswärmeübertrager (kondensierend)		0,0083[b]

[b] Hilfsenergiefaktor für Heizungssysteme mit Hellstrahlern umfasst auch die Hilfsenergie für Ventilatoren im Decken- oder oberen Wandbereich zur indirekten Abfuhr der Abgase aus dem Aufstellraum nach DIN EN 13410.

Tabelle 36 relativer Hilfsenergiebedarf für Wärmeübergabesysteme mit zentraler Erzeugung nach *Tabelle 19* DIN V 18599-5:2011-12 [16]

Wärmeübergabe			Hilfsenergiefaktor $f_{h,ce,aux}$ kleiner ist besser
indirekter Lufterhitzer bei lichter Raumhöhe ≤ 8 m	ohne Warmluftrückführung	Systemgebläse mit Asynchronmotor	0,008
		Systemgebläse mit geregeltem EC-Motor	0,004
	mit Warmluftrückführung	Systemgebläse mit Asynchronmotor	0,009
		Systemgebläse mit geregeltem EC-Motor	0,005
indirekter Lufterhitzer bei lichter Raumhöhe > 8 m	ohne Warmluftrückführung	Systemgebläse mit Asynchronmotor	0,012
		Systemgebläse mit geregeltem EC-Motor	0,006
	mit Warmluftrückführung	Systemgebläse mit Asynchronmotor	0,013
		Systemgebläse mit geregeltem EC-Motor	0,007

Tabelle 37 Erzeugerwirkungsgrade dezentraler Hallenheizungen nach *Tabelle 50* und *Gleichung 207* DIN V 18599-5:2011-12 [16]

Wärmeerzeuger-system	Abgassystem		Leistungs-regelung	$\eta_{h,gen}$ größer ist besser
Warmlufterzeuger	Abgasabfuhr mit erzwungenem Zug	nicht kondensierend	1[a]	0,91 [c]
			2[b]	0,93 [c]
		kondensierend	1[a]	1,01 [c]
			2[b]	1,04 [c]
Dunkelstrahler (einschließlich rezirkulierender Systeme)	Abgasanlage ohne Abgaswärmeübertrager	nicht kondensierend	1[a]	0,91 [c]
			2[b]	0,93 [c]
	Abgasanlage mit Abgaswärmeübertrager	kondensierend	1[a]	1,01 [c]
			2[b]	1,04 [c]
Hellstrahler	Abgasanlage mit Abgaswärmeübertrager	kondensierend	1[a]	1,01
			2[b]	1,04
	keine Abgasanlage; indirekte Abgasabfuhr mit der Hallenluft		1[a]	$0{,}9918 + 0{,}0034 * \left(\theta_e - \theta_{i,h,soll} - 0{,}25 \left[\frac{K}{m}\right] * h_R\right)$
			2[b]	$1{,}0218 + 0{,}0034 * \left(\theta_e - \theta_{i,h,soll} - 0{,}25 \left[\frac{K}{m}\right] * h_R\right)$

[a] einstufig oder mehrstufig/modulierend ohne Anpassung der Verbrennungsluftmenge

[b] mehrstufig/modulierend mit Anpassung der Verbrennungsluftmenge

[c] Die angegebenen Wirkungsgrade $\eta_{h,gen}$ gelten für einen Leistungsbereich von 25 kW bis 50 kW je Gerät. Ferner sind sie anzuwenden, falls die Geräteleistung nicht bekannt ist. Bei bekannter Geräteleistung ist der Wirkungsgrad für Geräte mit mehr als 50 kW/Gerät um 0,01 zu erhöhen und für Geräte mit weniger als 25 kW/Gerät um 0,01 zu verringern.

Anhang 3 Anlagenparameter für Vergleichsberechnungen nach DIN V 18599:2011-12 (7)

Anhang 3-1 Fertigungshalle (7.2)

Für alle Varianten wird einheitlich von freier Lüftung und Beleuchtung durch stabförmige Leuchtstoffröhren mit elektronischen Vorschaltgeräten in allen Zonen ausgegangen.

Tabelle 38 Varianten Anlagentechnik, Fertigungshalle (7.2)

Variante	Zone	Heizung			Trinkwasser
		Erzeugung	Verteilung	Übergabe	
0: WLE; LA →	Halle	● Warmlufterzeuger, Erdgas, nicht kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 1 (keine Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Luftauslass seitlich, Radialventilator ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
1: WLE kond; WLR	Halle	● Warmlufterzeuger, Erdgas, kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 2 (mehrstufige oder modulierende Regelung mit Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Radialventilator, zusätzlich Warmluftrückführung (PI-ge-regelt) ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
2: DS	Halle	● Dunkelstrahler, Erdgas, nicht kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 1 (keine Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Strahlungsfaktor: Standardausführung ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
3: DS; verb	Halle	● Dunkelstrahler, Erdgas, nicht kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 2 (mehrstufige oder modulierende Regelung mit Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Strahlungsfaktor: verbesserte Ausführung ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
4: HS	Halle	● Hellstrahler, Erdgas, nicht kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 1 (keine Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Strahlungsfaktor: Standardausführung ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4

Tabelle 38 Varianten Anlagentechnik, Fertigungshalle (7.2)

Variante	Zone	Heizung			Trinkwasser
		Erzeugung	Verteilung	Übergabe	
5: HS; verb	Halle	● Hellstrahler, Erdgas, nicht kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 2 (mehrstufige oder modulierende Regelung mit Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Strahlungsfaktor: verbesserte Ausführung ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
6: BW; DSP verb*	Halle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro & Halle ● Systemtemperaturen [°C]: 70/50 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 5	● Deckenstrahlplatte verbessert und Einhaltung Außen-wandabstand ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
7: BW; LH+WLR	Halle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro & Halle ● Systemtemperaturen [°C]: 45/30 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 5	● Lufterhitzer mit PI-geregelter Warmluftrückführung ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
8: BW; FBH	Halle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro & Halle ● Systemtemperaturen [°C]: 45/30 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 5	● Fußbodenheizung ohne Dämmung, Überdeckung > 10 cm ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
9: HP; LH LA ↓	Halle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro & Halle ● Systemtemperaturen [°C]: 60/40 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 5	● Lufterhitzer mit Luftauslass von oben ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Holzpellet-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
10: HP; DSP verb*	Halle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro & Halle ● Systemtemperaturen [°C]: 70/50 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 5	● Deckenstrahlplatte verbessert und Einhaltung Außen-wandabstand ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Holzpellet-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4

Tabelle 38 Varianten Anlagentechnik, Fertigungshalle (7.2)

Variante	Zone	Heizung			Trinkwasser
		Erzeugung	Verteilung	Übergabe	
11: BHKW+BW; FBH	Halle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro & Halle ● Systemtemperaturen [°C]: 45/30 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 5	● Fußbodenheizung ohne Dämmung, Überdeckung > 10 cm ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● BHKW + BW-Kessel, Erdgas ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4

Anhang 3-2 Werkstatt (7.3)

Für alle Varianten wird einheitlich von freier Lüftung und Beleuchtung durch stabförmige Leuchtstoffröhren mit elektronischen Vorschaltgeräten in allen Zonen ausgegangen.

Tabelle 39 Varianten Anlagentechnik, Werkstatt (7.3)

Variante	Zone	Heizung			Trinkwasser
		Erzeugung	Verteilung	Übergabe	
0: WLE; LA →	Halle	● Warmlufterzeuger, Erdgas, nicht kondensierend ● < 25 kW, Leistungsregelung 1 (keine Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Luftauslass seitlich, Radialventilator ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
1: WLE; 15K	Halle	● Warmlufterzeuger, Erdgas, nicht kondensierend ● < 25 kW, Leistungsregelung 1 (keine Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Radialventilator, geringe Ausblastemperatur ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
2: WLE kond; LA →	Halle	● Warmlufterzeuger, Erdgas, kondensierend ● < 25 kW, Leistungsregelung 2 (mehrstufige oder modulierende Regelung mit Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Luftauslass seitlich, Radialventilator ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4

Tabelle 39 Varianten Anlagentechnik, Werkstatt (7.3)

Variante	Zone	Heizung			Trinkwasser
		Erzeugung	Verteilung	Übergabe	
3: WLE kond; WLR	Halle	● Warmlufterzeuger, Erdgas, kondensierend ● < 25 kW, Leistungsregelung 2 (mehrstufige oder modulierende Regelung mit Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Radialventilator, zusätzlich Warmluftrückführung (PI-geregelt) ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
4: DS	Halle	● Dunkelstrahler, Erdgas, nicht kondensierend ● < 25 kW, Leistungsregelung 1 (keine Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Strahlungsfaktor: Standardausführung ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
5: DS; verb	Halle	● Dunkelstrahler, Erdgas, nicht kondensierend ● < 25 kW, Leistungsregelung 2 (mehrstufige oder modulierende Regelung mit Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Strahlungsfaktor: verbesserte Ausführung ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
6: HS	Halle	● Hellstrahler, Erdgas, nicht kondensierend ● < 25 kW, Leistungsregelung 1 (keine Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Strahlungsfaktor: Standardausführung ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
7: HS; verb	Halle	● Hellstrahler, Erdgas, nicht kondensierend ● < 25 kW, Leistungsregelung 2 (mehrstufige oder modulierende Regelung mit Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Strahlungsfaktor: verbesserte Ausführung ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
8: BW; DSP verb*	Halle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro & Halle ● Systemtemperaturen [°C]: 70/50 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 5	● Deckenstrahlplatte verbessert und Einhaltung Außenwandabstand ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4

Tabelle 39 Varianten Anlagentechnik, Werkstatt (7.3)

Variante	Zone	Heizung			Trinkwasser
		Erzeugung	Verteilung	Übergabe	
9: BW; LH+WLR	Halle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro & Halle ● Systemtemperaturen [°C]: 45/30 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 5	● Lufterhitzer mit PI-geregelter Warmluftrückführung ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
10: BW; FBH1264	Halle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro & Halle ● Systemtemperaturen [°C]: 45/30 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 5	● Fußbodenheizung mit Mindestdämmung nach DIN EN 1264, Überdeckung > 10 cm ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
11: HP; LH →	Halle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro & Halle ● Systemtemperaturen [°C]: 60/40 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 5	● Lufterhitzer mit seitlichem Luftauslass ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Holzpellet-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
12: HP; DSP verb	Halle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro & Halle ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 5	● Deckenstrahlplatte verbessert ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Holzpellet-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4

Anhang 3-3 Logistikhalle (7.4)

Für alle Varianten wird einheitlich von freier Lüftung und Beleuchtung durch LED-Leuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten in allen Zonen ausgegangen.

Tabelle 40 Varianten Anlagentechnik, Logistikhalle (7.4)

Variante	Zone	Heizung			Trinkwasser
		Erzeugung	Verteilung	Übergabe	
0: WLE; LA →	Halle	● Warmlufterzeuger, Erdgas, nicht kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 1 (keine Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Luftauslass seitlich, Radialventilator ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4

Tabelle 40 Varianten Anlagentechnik, Logistikhalle (7.4)

Variante	Zone	Heizung			Trinkwasser
		Erzeugung	Verteilung	Übergabe	
1: WLE kond; LA ↓	Halle	● Warmlufterzeuger, Erdgas, kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 2 (mehrstufige oder modulierende Regelung mit Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Luftauslass von oben, Radialventilator ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
2: WLE kond; WLR	Halle	● Warmlufterzeuger, Erdgas, kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 2 (mehrstufige oder modulierende Regelung mit Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Radialventilator, zusätzlich Warmluftrückführung (PI-geregelt) ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
3: DS	Halle	● Dunkelstrahler, Erdgas, nicht kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 1 (keine Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Strahlungsfaktor: Standardausführung ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
4: DS; verb	Halle	● Dunkelstrahler, Erdgas, nicht kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 2 (mehrstufige oder modulierende Regelung mit Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Strahlungsfaktor: verbesserte Ausführung ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
5: DS kond; verb	Halle	● Dunkelstrahler, Erdgas, kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 2 (mehrstufige oder modulierende Regelung mit Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Strahlungsfaktor: verbesserte Ausführung ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
6: HS	Halle	● Hellstrahler, Erdgas, nicht kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 1 (keine Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Strahlungsfaktor: Standardausführung ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4

Tabelle 40 Varianten Anlagentechnik, Logistikhalle (7.4)

Variante	Zone	Heizung			Trinkwasser
		Erzeugung	Verteilung	Übergabe	
7: HS; verb	Halle	● Hellstrahler, Erdgas, nicht kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 2 (mehrstufige oder modulierende Regelung mit Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Halle		● Strahlungsfaktor: verbesserte Ausführung ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
8: BW; DSP verb*	Halle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro & Halle ● Systemtemperaturen [°C]: 70/50 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 5	● Deckenstrahlplatte verbessert und Einhaltung Außen-wandabstand ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
9: BW; LH+WLR	Halle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro & Halle ● Systemtemperaturen [°C]: 45/30 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 5	● Lufterhitzer mit PI-geregelter Warmluftrückführung ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
10: BW; FBH	Halle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro & Halle ● Systemtemperaturen [°C]: 45/30 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 5	● Fußbodenheizung ohne Dämmung, Überdeckung > 10 cm ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
11: HP; LH LA ↓	Halle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro & Halle ● Systemtemperaturen [°C]: 60/40 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 5	● Lufterhitzer mit Luftauslass von oben ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Holzpellet-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4
12: HP; FBH	Halle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro & Halle ● Systemtemperaturen [°C]: 45/30 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 5	● Fußbodenheizung ohne Dämmung, Überdeckung > 10 cm ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Büro
	Büro	● Holzpellet-Kessel ● Aufstellung in Zone Büro	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Büro ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4

Anhang 3-4 Sporthalle (7.5)

Für alle Varianten wird einheitlich von Beleuchtung durch stabförmige Leuchtstoffröhren mit elektronischen Vorschaltgeräten in allen Zonen ausgegangen.

Tabelle 41 Varianten Anlagentechnik, Sporthalle (7.5)

Variante	Zone	Heizung			Trinkwasser	Lüftung
		Erzeugung	Verteilung	Übergabe		
0: WLE; LA →	Sporthalle	● Warmlufterzeuger, Erdgas, nicht kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 1 (keine Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Sporthalle		● Luftauslass seitlich, Radialventilator ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● Deckung in Zone Sanitär/Umkleide	● freie Lüftung
	Sanitär/Umkleide	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 4	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
1: WLE kond; WLR	Sporthalle	● Warmlufterzeuger, Erdgas, kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 2 (mehrstufige oder modulierende Regelung mit Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Sporthalle		● Radialventilator, zusätzlich Warmluftrückführung (PI-geregelt) ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Sanitär/Umkleide	● freie Lüftung
	Sanitär/Umkleide	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 4	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
2: DS; verb	Sporthalle	● Dunkelstrahler, Erdgas, nicht kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 2 (mehrstufige oder modulierende Regelung mit Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Sporthalle		● Strahlungsfaktor: verbesserte Ausführung ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Sanitär/Umkleide	● freie Lüftung
	Sanitär/Umkleide	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 4	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
3: HS; verb	Sporthalle	● Hellstrahler, Erdgas, nicht kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 2 (mehrstufige oder modulierende Regelung mit Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Sporthalle		● Strahlungsfaktor: verbesserte Ausführung ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Sanitär/Umkleide	● freie Lüftung
	Sanitär/Umkleide	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 4	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
4: BW; DSP verb	Sporthalle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide & Sporthalle ● Systemtemperaturen [°C]: 70/50 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 4	● Deckenstrahlplatte verbessert ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Sanitär/Umkleide	● freie Lüftung
	Sanitär/Umkleide	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 4	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
5: BW; FBH 0,35	Sporthalle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide & Sporthalle ● Systemtemperaturen [°C]: 45/30 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 4	● Fußbodenheizung thermisch entkoppelt (U ≤ 0,35 W/m²K) ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Sanitär/Umkleide	● freie Lüftung
	Sanitär/Umkleide	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 4	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7

Tabelle 41 Varianten Anlagentechnik, Sporthalle (7.5)

Variante	Zone	Heizung			Trinkwasser	Lüftung
		Erzeugung	Verteilung	Übergabe		
6: BW+Solar; DSP verb	Sporthalle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide & Sporthalle ● Systemtemperaturen [°C]: 70/50 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 4	● Deckenstrahlplatte verbessert ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Sanitär/Umkleide	● freie Lüftung
	Sanitär/Umkleide	● Gas-BW-Kessel + Solarthermie ● Aufstellung in Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 4	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
7: BW+Solar; FBH 0,35	Sporthalle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide & Sporthalle ● Systemtemperaturen [°C]: 45/30 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 4	● Fußbodenheizung thermisch entkoppelt (U ≤ 0,35 W/m²K) ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Sanitär/Umkleide	● freie Lüftung
	Sanitär/Umkleide	● Gas-BW-Kessel + Solarthermie ● Aufstellung in Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 4	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
8: FW; DSP verb	Sporthalle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide & Sporthalle ● Systemtemperaturen [°C]: 70/50 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 4	● Deckenstrahlplatte verbessert ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Sanitär/Umkleide	● freie Lüftung
	Sanitär/Umkleide	● Nah-/Fernwärme überwiegend aus KWK ● Aufstellung in Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 4	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
9: FW; FBH 0,35	Sporthalle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide & Sporthalle ● Systemtemperaturen [°C]: 45/30 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 4	● Fußbodenheizung thermisch entkoppelt (U ≤ 0,35 W/m²K) ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Sanitär/Umkleide	● freie Lüftung
	Sanitär/Umkleide	● Nah-/Fernwärme überwiegend aus KWK ● Aufstellung in Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 4	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
10: GWP; DSP verb	Sporthalle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide & Sporthalle ● Systemtemperaturen [°C]: 70/50 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 4	● Deckenstrahlplatte verbessert ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Sanitär/Umkleide	● freie Lüftung
	Sanitär/Umkleide	● Gas-Sorptions-WP ● Aufstellung in Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 4	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
11: GWP; FBH 0,35	Sporthalle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide & Sporthalle ● Systemtemperaturen [°C]: 45/30 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 4	● Fußbodenheizung thermisch entkoppelt (U ≤ 0,35 W/m²K) ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Sanitär/Umkleide	● freie Lüftung
	Sanitär/Umkleide	● Gas-Sorptions-WP ● Aufstellung in Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 4	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7

Tabelle 41 Varianten Anlagentechnik, Sporthalle (7.5)

Variante	Zone	Heizung			Trinkwasser	Lüftung
		Erzeugung	Verteilung	Übergabe		
12: HP; LH LA ↓	Sporthalle	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide & Sporthalle ● Systemtemperaturen [°C]: 60/40 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 4	● Lufterhitzer mit Luftauslass von oben ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● Deckung in Zone Sanitär/Umkleide	● freie Lüftung
	Sanitär/Umkleide	● Holzpellet-Kessel ● Aufstellung in Zone Sanitär/Umkleide	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Sanitär/Umkleide ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: I Etagenring, Gruppe 4	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● zentraler Trinkwasserspeicher am Wärmeerzeuger der Heizung ● Verteilnetz: Gruppe 4	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7

Anhang 3-5 Großmarkt (7.6)

Für alle Varianten wird einheitlich von Beleuchtung durch stabförmige Leuchtstoffröhren mit elektronischen Vorschaltgeräten in allen Zonen ausgegangen.

Tabelle 42 Varianten Anlagentechnik, Großmarkt (7.6)

Variante	Zone	Heizung			Trinkwasser	Lüftung
		Erzeugung	Verteilung	Übergabe		
0: WLE; LA →; WRG70%	Markt	● Warmlufterzeuger, Erdgas, nicht kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 1 (keine Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Markt		● Luftauslass seitlich, Radialventilator ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
	Lager	● Warmlufterzeuger, Erdgas, nicht kondensierend ● 25…50 kW, Leistungsregelung 1 (keine Anpassung der Verbrennungsluftmenge) ● Aufstellung in Zone Lager		● Luftauslass seitlich, Radialventilator ● Raumtemperaturregelung: P-Regler		● freie Lüftung
	Verwaltung	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Verwaltung ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● freie Lüftung
	Restaurant	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Verwaltung	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Restaurant ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 3	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
1: BW; DSP verb*; WRG70%	Markt	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt ● Systemtemperaturen [°C]: 70/50 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 3	● Deckenstrahlplatte verbessert und Einhaltung Außenwandabstand ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
	Lager	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager ● Systemtemperaturen [°C]: 70/50 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 3	● Deckenstrahlplatte verbessert und Einhaltung Außenwandabstand ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler		● freie Lüftung
	Verwaltung	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Verwaltung ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● freie Lüftung
	Restaurant	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Restaurant ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 3	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7

Tabelle 42 Varianten Anlagentechnik, Großmarkt (7.6)

Variante	Zone	Heizung			Trinkwasser	Lüftung
		Erzeugung	Verteilung	Übergabe		
2: BW; LH LA ↓; WRG70%	Markt	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 3	● Lufterhitzer mit Luftauslass von oben ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
	Lager	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 3	● Lufterhitzer mit Luftauslass von oben ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler		● freie Lüftung
	Verwaltung	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Verwaltung ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● freie Lüftung
	Restaurant	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Restaurant ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 3	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
3: BW; LH LA ↓; WRG80%	Markt	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 3	● Lufterhitzer mit Luftauslass von oben ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
	Lager	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 3	● Lufterhitzer mit Luftauslass von oben ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler		● freie Lüftung
	Verwaltung	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Verwaltung ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● freie Lüftung
	Restaurant	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Restaurant ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 3	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
4: BW; FBH; WRG70%	Markt	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt ● Systemtemperaturen [°C]: 45/30 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 3	● Fußbodenheizung ohne Dämmung, Überdeckung > 10 cm ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,8
	Lager	● Gas-BW-Kessel ● Aufstellung in Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager ● Systemtemperaturen [°C]: 45/30 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 3	● Fußbodenheizung ohne Dämmung, Überdeckung > 10 cm ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler		● freie Lüftung
	Verwaltung	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Verwaltung ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● freie Lüftung
	Restaurant	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Restaurant ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 3	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,8

Tabelle 42 Varianten Anlagentechnik, Großmarkt (7.6)

Variante	Zone	Heizung			Trinkwasser	Lüftung
		Erzeugung	Verteilung	Übergabe		
5: BHKW+BW; DSP verb*; WRG70%	Markt	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt ● Systemtemperaturen [°C]: 70/50 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 3	● Deckenstrahlplatte verbessert und Einhaltung Außenwandabstand ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
	Lager	● BHKW + BW-Kessel, Erdgas ● Aufstellung in Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager ● Systemtemperaturen [°C]: 70/50 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 3	● Deckenstrahlplatte verbessert und Einhaltung Außenwandabstand ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler		● freie Lüftung
	Verwaltung	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Verwaltung ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● freie Lüftung
	Restaurant	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Restaurant ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 3	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
6: BHKW+BW; LH LA ↓; WRG70%	Markt	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 3	● Lufterhitzer mit Luftauslass von oben ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
	Lager	● BHKW + BW-Kessel, Erdgas ● Aufstellung in Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 3	● Lufterhitzer mit Luftauslass von oben ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler		● freie Lüftung
	Verwaltung	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Verwaltung ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● freie Lüftung
	Restaurant	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Restaurant ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 3	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
7: GWP; DSP verb*; WRG70%	Markt	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt ● Systemtemperaturen [°C]: 70/50 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 3	● Deckenstrahlplatte verbessert und Einhaltung Außenwandabstand ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7
	Lager	● Gas-Sorptions-WP ● Aufstellung in Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager ● Systemtemperaturen [°C]: 70/50 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 3	● Deckenstrahlplatte verbessert und Einhaltung Außenwandabstand ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler		● freie Lüftung
	Verwaltung	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Verwaltung ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● freie Lüftung
	Restaurant	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Restaurant ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 3	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung; Rückwärmzahl 0,7

Tabelle 42 Varianten Anlagentechnik, Großmarkt (7.6)

Variante	Zone	Heizung			Trinkwasser	Lüftung
		Erzeugung	Verteilung	Übergabe		
8: GWP; LH LA ↓; WRG70%	Markt	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 3	● Lufterhitzer mit Luftauslass von oben ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerück-gewinnung; Rückwärmzahl 0,7
	Lager	● Gas-Sorptions-WP ● Aufstellung in Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 3	● Lufterhitzer mit Luftauslass von oben ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler		● freie Lüftung
	Verwaltung	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Verwaltung ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● freie Lüftung
	Restaurant	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Restaurant ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 3	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerück-gewinnung; Rückwärmzahl 0,7
9: GWP; FBH; WRG70%	Markt	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt ● Systemtemperaturen [°C]: 45/30 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 3	● Fußbodenheizung ohne Dämmung, Überdeckung > 10 cm ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerück-gewinnung; Rückwärmzahl 0,7
	Lager	● Gas-Sorptions-WP ● Aufstellung in Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager ● Systemtemperaturen [°C]: 45/30 ● Netztyp: IV Strahlungs-/Luftheizung, Gruppe 3	● Fußbodenheizung ohne Dämmung, Überdeckung > 10 cm ● Raumtemperaturregelung: PI-Regler		● freie Lüftung
	Verwaltung	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Verwaltung ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 1	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● freie Lüftung
	Restaurant	● Deckung durch Wärmeerzeuger aus Zone Lager	● Alle Verteilleitungen in Zone(n) Lager & Markt & Restaurant ● Systemtemperaturen [°C]: 55/40 ● Netztyp: II Etagenverteilung, Gruppe 3	● Heizkörper ● Raumtemperaturregelung: P-Regler	● dezentral elektrisch	● Zu- und Abluft mit Wärmerück-gewinnung; Rückwärmzahl 0,7