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

Universität Kassel
Fachgebiet Bauphysik
Prof. Maas – Dr. Otto

Gesamtanalyse
Energieeffizienz von Hallengebäuden
Abschlussbericht

Zusammenfassende Texte zur Veröffentlichung

K. Weber 31. August 2012

Auftraggeber: FIGAWA
Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e.V.
Marienburger Straße 15
50968 Köln

Auftragnehmer: ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden
Forschung und Anwendung GmbH
Bayreuther Str. 29 in 01187 Dresden
Dipl.-Ing. (FH) Jens Rosenkranz
Dipl.-Ing. Bettina Mailach
Dr.-Ing. Ralf Gritzki
Dipl.-Ing. Jens Kaiser
Dr.-Ing. Alf Perschk
Dr.-Ing. Markus Rösler
Dr.-Ing. habil. J. Seifert
Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz

Universität Kassel
Fachgebiet Bauphysik
Gottschalkstraße 28a in 34127 Kassel
Dr. Frank Otto

Dresden, 30. Juni 2011

Dieser Bericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.
(Aktenzeichen: SF – 10.08.18.7 – 09.45 / II 3 – F20-09-047)
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Zusammenfassende Textelemente des Endberichts Forschungsprojekt GAEEH zur Veröffentlichung

Der Endbericht des Forschungsprojektes GAEEH „Gesamtanalyse Energieeffizienz Hallengebäude“ (datiert zum 30. Juni 201) liegt seit September 2011 in seiner korrigierten Fassung vor und wurde vom Fördermittelgeber gemeinsam mit anderen Forschungsberichten zur Vorbereitung der Novellierung der Energieeinsparverordnung zur Veröffentlichung freigegeben.

Der Bericht stellt die erste umfassende wissenschaftliche Untersuchung der Energieeffizienz des Gebäudesegments „Hallen“ in Deutschland und nach eigenem Kenntnisstand auch in Europa dar. Der Gesamtbericht mit seinen Anlagen über Einzelergebnisse umfasst über 350 Seiten und enthält zahlreiche Erkenntnisse zum Thema Heizungstechnik in Hallengebäuden, die in ihrem wissenschaftlichen oder teilweise normativen Kontext dargestellt werden – in einer Form, in der sie für die Fachöffentlichkeit wegen ihrer Komplexität und des Umfangs ihrer Darstellung zunächst nicht zugänglich sind.

Nachfolgend sollen deshalb die wesentlichen Ergebnisse des Forschungsprojektes – gegliedert nach Hauptthemenbereichen - in kurzen Zusammenfassungen (pro Thema 1 bis 2 Seiten mit prägnanten Abbildungen und Tabellen) dargestellt werden, um sie für weitere Veröffentlichungen zugänglich zu machen. Dabei sollen insbesondere die Aspekte der dezentralen Hallenheizungssysteme im Vergleich zu anderen Heizsystemen betrachtet werden.

Die Formulierung der Zusammenfassungen erfolgte nach bestem ingenieurtechnischen Wissen des Verfassers, der das Projekt als Mitglied der figawa-Begleitgruppe von Anfang bis Ende verfolgt hat. Ergänzungen oder Kommentare des Verfassers sind als solche gekennzeichnet (z.B. als Anmerkungen oder in Fußnoten).

Dipl.-Ing. Konrad Weber

August 2012

1 Bedeutung Hallengebäude als Segment Nichtwohngebäude (NWG)

Für die Bundesrepublik Deutschland lagen bisher keine separaten oder differenzierten Daten über den Bestand von Hallengebäuden und den Energieverbrauch für deren Beheizung vor, schon eine klare Definition des Begriffes „Hallen“ als Unterkategorie des Bereichs Nichtwohngebäude (NWG) fehlte. Im Rahmen des Forschungsprojektes GAEEH wurde auf Basis der Analyse und Verknüpfung aller verfügbaren statistischen Daten über Nichtwohngebäude mit hallentypischer Nutzung, insbesondere der Veröffentlichungen des statistischen Bundesamtes DESTATIS sowie der technischen Daten des Modellgebäude-Kataloges des ZUB Kassel eine Hochrechnung über Neubauten, Gebäudebestand und Energieverbrauch von Hallengebäuden erstellt, die erstmals belastbare Daten für dieses Gebäudesegment bietet. Durch Betrachtung zweier Szenarien wurde der Gesamtumfang des Gebäudebestandes und Energieverbrauchs innerhalb eines Korridors sicher eingegrenzt.

Für den Betrachtungszeitraum 1980 bis 2009 (bzw. einen erweiterten Betrachtungszeitraum 1960 bis 2009 - unter Berücksichtigung entsprechender Gebäude-Abgänge) zeigen die statistischen Daten die **Errichtung** (bzw. die Zunahme) von durchschnittlich **7.200 beheizten Hallengebäuden pro Jahr** in Deutschland. Daraus errechnet sich ein **Bestand von 283.000 bis 359.000 beheizten Hallengebäuden in Deutschland**.

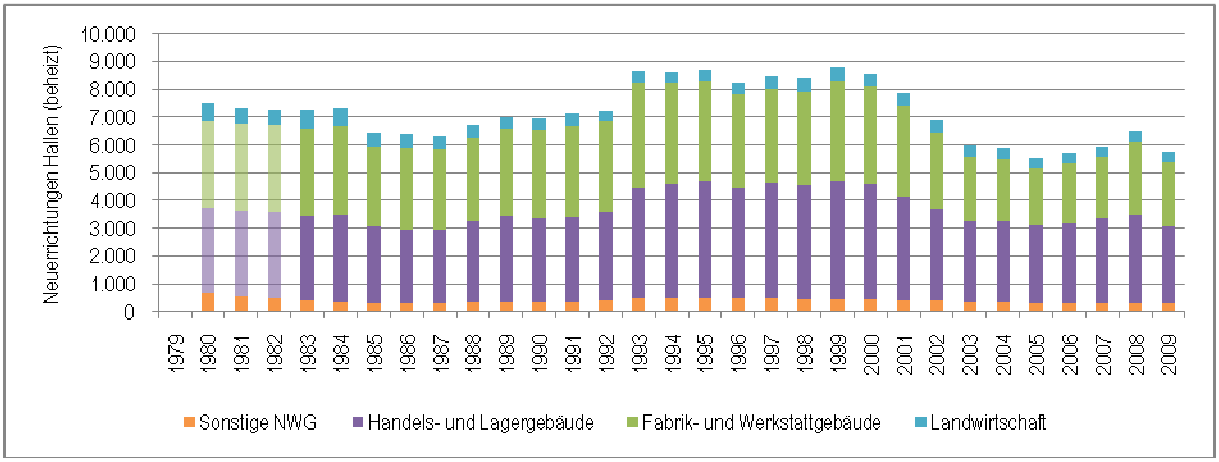


Abb. 1 Neuerrichtungen beheizter NWG (hallentypische Kategorien)

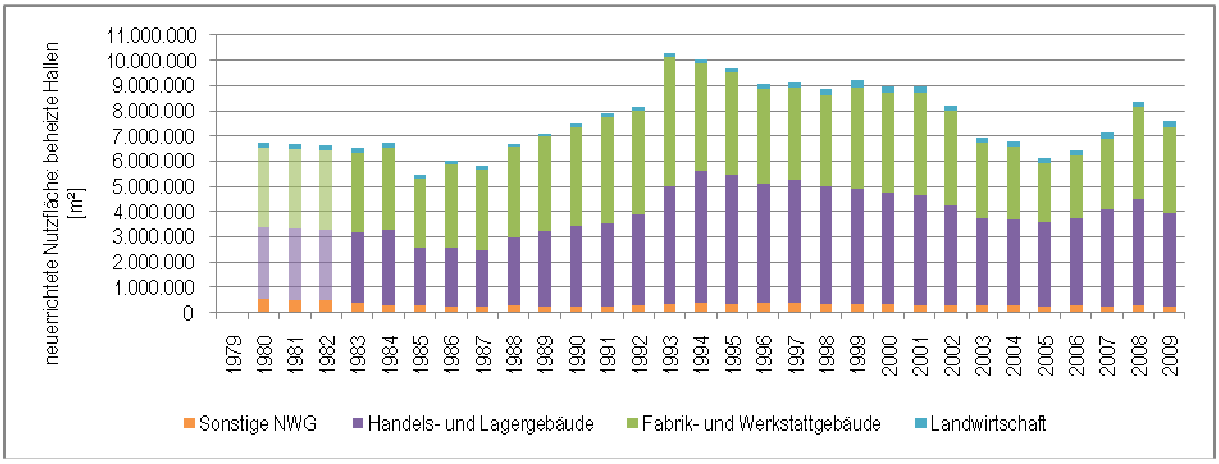


Abb. 2 Verteilung der beheizten Hallennutzfläche über Errichtungsjahr; Szenario 1

Auf Basis des Gebäudebestandes wurde unter Heranziehung des o.g. Modellgebäude-Kataloges die gesamte zu beheizende Hallennutzfläche hochgerechnet. Durch Verknüpfung dieser Daten mit den für die Entwicklung des baulichen Wärmeschutzniveaus nach Wärmeschutzverordnung bzw. Energieeinsparverordnung typischen spezifischen Heizenergieverbräuchen (Durchschnittswerte 1980: 240 kWh/m²a, 2009 65 kWh/m²a) wurde schließlich der Gesamt-Jahresheizenergieverbrauch von Hallengebäuden in Deutschland ermittelt:

Jahresheizenergieverbrauch Hallengebäude Deutschland:	**61 – 116 Mrd. kWh**
Anteil am Jahresendenergieverbrauch Raumwärme Deutschland:	**10 – 19 %**
Anteil am Jahresendenergieverbrauch Raumwärme Nichtwohngebäude:	**31 – 59 %**

Mit 15% (Mittelwert der Szenarienrechnung) des Endenergieverbrauchs Raumwärme stellt das Segment Hallengebäude in Deutschland als hochindustrialisierter Marktwirtschaft einen relevanten Anteil dar, der bei gezielten energie- oder klimapolitischen Maßnahmen nicht vernachlässigt werden kann.

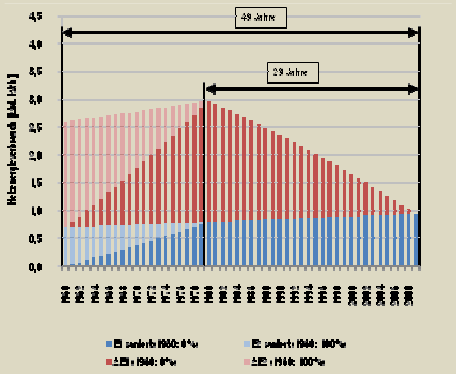
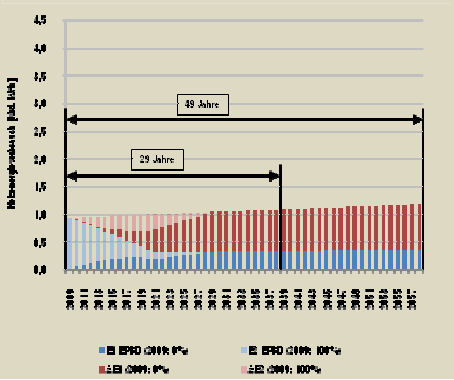
Aus Sicht des Verfassers sollten die dargestellten Zahlen Anlass sein zu überprüfen, statistische Daten über Errichtung und Bestand von Hallengebäuden zukünftig separat zu erfassen. Ebenso ist auf politischer Ebene zu überdenken, ob Hallengebäude in einschlägigen technischen Regelwerken, Verordnungen oder gesetzlichen Vorgaben zum baulichen Wärmeschutz und zulässigen Energiebedarf (EnEV) wie zur Nutzungspflicht erneuerbarer Energien (EEWärmeG) in Gebäuden als Unterkategorie von Nichtwohngebäuden gesondert zu berücksichtigen sind.

2 Energieeinsparpotenzial in Hallengebäuden

Es besteht ein enormes Einsparpotenzial im Energieverbrauch von Hallengebäuden im Bestand. Durch eine energetische Ertüchtigung des gesamten Gebäudebestandes auf ein Niveau 2009 könnten zwischen 35 und 75 Mrd. kWh/a an Heizenergie (6 – 14 % des Jahresendenergieverbrauchs Raumwärme gesamt) eingespart werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass das Einsparpotenzial sich ungefähr 1:1 auf anlagen- und bauseitige Maßnahmen verteilt.

Dem Einsparpotenzial im **Gebäudebestand** von Hallen werden die möglichen Energieeinsparungen durch die Umsetzung zukünftig verschärfter, sehr ambitionierter Anforderungen im **Neubau** ab 2021 (Umsetzung der EPDB-Richtlinie des „nearly zero energy buildings“ – angenommen mit einem spezifischen Verbrauch von 20 kWh/m²a) gegenübergestellt. Dabei ist zur Zeit noch unklar, wie sich das verschärfte Anforderungsniveau technisch realisieren ließe und welche wirtschaftlichen Auswirkungen damit verknüpft wären.

Abb. 3 **Vergleich der Einsparpotenziale für zwei Ansätze zur Senkung des Heizenergieverbrauchs**

Maßnahme		Energetische Ertüchtigung des derzeitigen Hallenbestands auf zeitgemäßes Neubauniveau	Zukünftig weitere Verschärfung des Anforderungsniveaus (Umsetzung EPBD-Richtlinie bis ca. 2020)
Verteilung des Jahresheizenergieverbrauchs über dem Gebäudeerrichtungsjahr rot: Einsparpotenzial vor Maßnahme blau: bleibender Verbrauch nach Maßnahme			
Einsparpotenzial bei einem Betrachtungs-zeitraum von…	29 Jahren	35 Mrd. kWh/a	17 Mrd. kWh/a
	49 Jahren	54…75 Mrd. kWh/a	29…32 Mrd. kWh/a

Ergebnisse:

Sowohl für den statistisch belegten (1980-2009) wie auch für den erweiterten Betrachtungszeitraum (1960-2009) fällt das Einsparpotenzial durch Maßnahmen im Bestand etwa doppelt so hoch aus wie das Einsparpotential durch massive Verschärfung des weiteren Anforderungsniveaus im Neubau.

und

Allein durch eine rein anlagenseitige Sanierung des aktuellen Bestandes an Hallengebäuden - eine Maßnahme, die mit Hilfe dezentraler Hallenheizungstechnik in allen Fällen zu überschaubaren Kosten und ohne technologische Risiken zu realisieren wäre – lassen sich soviel Energie und damit CO_2-Emissionen einsparen wie durch eine stetige Verschärfung des Anforderungsniveaus bei Anlagentechnik und Gebäudehülle auf Niedrigstenergie-Niveau 2021.

Um die klimapolitischen Ziele der Bundesregierung zu erreichen, kommt man nach Auffassung des Verfassers um verschärfte Effizienzkriterien im Gebäudebestand von Hallen nicht herum. Genau hier stellen moderne dezentrale Hallenheizsysteme eine Schlüsselfunktion dar.

3 Definition und Typologie/Charakterisierung Hallengebäude

Hallengebäude dienen als thermische Hülle für alle Art von menschlicher Tätigkeit sowie zur Erzeugung, Lagerung und zum Vertrieb von Produkten – entsprechend vielfältig sind Geometrien und Strukturen.

Definition:
Hallengebäude sind Gebäude mit Großräumen (Nutzfläche > 100 m², lichte Raumhöhe > 4 m), überwiegend ohne Zwischenwände und Zwischendecken, die überwiegend einer gewerblichen oder sportlich/kulturellen Nutzung dienen[1].

Modellgebäude:

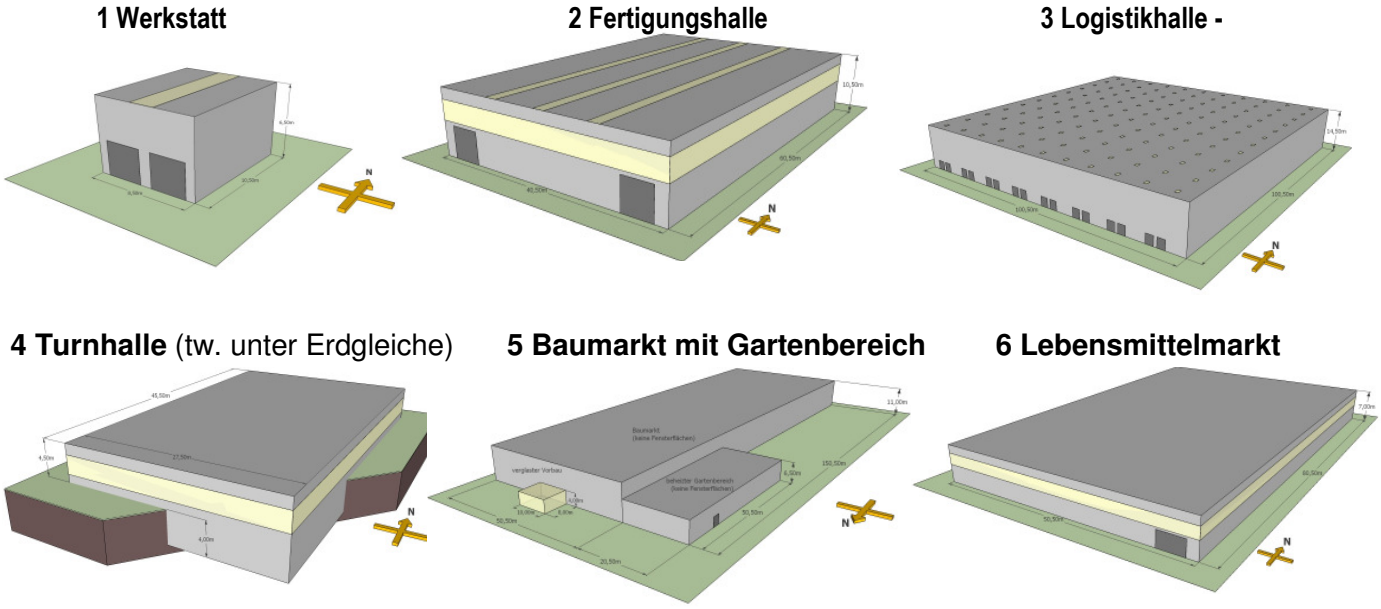


Abb. 4 Hallen - Modellgebäude

Im Forschungsprojekt GAEEH werden die Besonderheiten von Hallengebäuden (Unterkategorie von NWG) mit ihren Geometrien, Konstruktionen, Baustoffen und Bauteilen detailliert beschrieben. Aus dem Bauteilkatalog für neue und Bestandsgebäude wurden gebäudespezifische Kennwerte der wirksamen Speicherfähigkeit und der thermischen Zeitkonstante von typischen Hallengebäuden berechnet, um das thermische Verhalten dieser Gebäudeart näher beschreiben zu können.

Typische Hallengebäude weisen ein kleines A/V-Verhältnis (wärmeübertragende Hüllfläche zu Volumen) auf, volumenbezogen resultiert daraus bei angenommen gleichen Undichtigkeitsraten und Druckdifferenzen ein kleinerer Infiltrationsluftwechsel verglichen mit anderen Gebäudetypen (siehe dazu auch Punkt 5).

Besonders moderne Hallengebäude, die nahezu ausschließlich in Leichtbauweise erstellt werden, weisen eine geringe Speicherfähigkeit der Hüllfläche und deshalb nach gängigem Berechnungsansatz kleine thermische Zeitkonstanten auf. Charakteristisch für Hallen – im Gegensatz zu Wohngebäuden und sonstigen Nichtwohngebäuden - ist jedoch das Überwiegen der Wärmespeicherfähigkeit durch das Inventar, das i.d.R. nicht direkt im Wärmeaustausch mit der Außenatmosphäre steht. Je nach Umfang und Beschaffenheit des Halleninventars kann deshalb das thermische Verhalten von Hallengebäuden wesentlich träger sein als nach Berechnung nur über die Speicherfähigkeit der Hüllfläche. Dieser Effekt kann auch bei der Bemessung der Heizlast des Gebäudes eine Rolle spielen, da u.U. kurzeitige Maxima/Minima der Aussentemperatur stärker kompensiert werden. (vgl. hierzu Entwurf Revision DIN EN 12831).

[1] Es erscheint unmöglich, eine schlüssige Definition und Abgrenzung von Hallengebäuden aufgrund eines alleinigen Merkmals zu treffen – vielmehr wird hier eine Merkmalskombination herangezogen, die zusätzlich mit der Ausprägung einer „überwiegenden" Nutzung versehen wird. Nach Auffassung des Verfassers wird damit die Realität angemessen wiedergegeben. An dieser Stelle bleibt offen, wie eine solche Definition in eine rechtssichere Abgrenzung etwa in der Energieeinsparverordnung übersetzt werden kann, in der als eindeutig handhabbares Kriterium bisher die Raumhöhengrenze von 4 m herangezogen wird.

4 Heizlast von Hallengebäuden

Für die Gebäudesimulationen unter Einbeziehung der Anlagentechnik wurden die **6 Modellgebäude** (dabei Fertigungshallen mit Varianten kleiner/großer Fensterflächenanteil) hinsichtlich ihres Aufbaus exakt definiert sowie soweit sinnvoll zwischen Massivbau- und Leichtbauweise unterschieden. Für Neubauten wurde zwischen einer gedämmten und einer ungedämmten Bodenplatte unterschieden. Bezüglich des baulichen Wärmeschutzniveaus wurden 2 Zustände definiert:

a. nach Wärmeschutzverordnung Status 1980
b. nach EnEV 2009

Die Heizlast der Gebäudevarianten wurde nach DIN EN 12831 bestimmt.

Tabelle 1 Ergebnisse der Heizlastberechnungen nach DIN EN 12831 für die untersuchten Modellgebäude

Gebäude	Nutzung nach DIN V 18599-10/100	Gebäudevariante		Wärmeverluste		Normheizlast	
				Transmission	Lüftung		
				Φ_T	Φ_V	Φ_HL	Φ_HL / A_Netto
				[kW]		[kW]	[W/m²]
Werkstatt	22.1 Gewerbliche und industrielle Hallen, grobe Arbeit	1980	Leichtbau	15,0	17,1	32,1	400,9
		1980	Massivbau	15,7	17,1	32,7	**409,2**
		2009	Boden ungedämmt	6,2	17,1	23,3	291,6
		2009	Boden gedämmt	5,7	17,1	22,8	285,3
Fertigungsbetrieb AF 30%	22.1 Gewerbliche und industrielle Hallen, grobe Arbeit	1980	Leichtbau	217,3	61,5	278,8	116,2
		1980	Massivbau	221,4	61,5	283,0	117,9
		2009	Boden ungedämmt	98,2	61,5	159,7	66,5
		2009	Boden gedämmt	98,2	61,5	159,7	66,5
Fertigungsbetrieb AF 30%	22.2 Gewerbliche und industrielle Hallen, feine Arbeit	1980	Leichtbau	233,8	70,8	304,6	126,9
		1980	Massivbau	238,2	70,8	309,1	128,8
		2009	Boden ungedämmt	106,5	70,8	177,3	73,9
		2009	Boden gedämmt	106,5	70,8	177,3	73,9
Fertigungsbetrieb AF 80%	22.1 Gewerbliche und industrielle Hallen, grobe Arbeit	1980	Leichtbau	287,0	61,5	348,5	145,2
		1980	Massivbau	291,2	61,5	352,7	147,0
		2009	Boden ungedämmt	144,8	61,5	206,3	86,0
		2009	Boden gedämmt	144,8	61,5	206,3	86,0
Fertigungsbetrieb AF 80%	22.2 Gewerbliche und industrielle Hallen, feine Arbeit	1980	Leichtbau	308,3	70,8	379,2	158,0
		1980	Massivbau	312,8	70,8	383,6	159,8
		2009	Boden ungedämmt	156,3	70,8	227,1	94,6
		2009	Boden gedämmt	156,3	70,8	227,1	94,6
Logistikhalle	41 Lagerhallen/Logistikhallen	2009	Boden ungedämmt	137,1	159,9	297,0	29,7
		2009	Boden gedämmt	137,1	159,9	297,0	**29,7**
Turnhalle	31 Sporthallen	1980	Leichtbau	101,3	41,4	142,7	117,5
		1980	Massivbau	102,7	41,4	144,2	118,7
		2009	Boden ungedämmt	44,5	41,4	86,0	70,8
		2009	Boden gedämmt	43,2	41,4	84,7	69,7
Baumarkt mit beheiztem Gartenbereich	6 Einzelhandel/Kaufhaus	2009	Boden ungedämmt	204,4	590,9	795,3	92,8
		2009	Boden gedämmt	204,4	590,9	795,3	92,8
Lebensmittelmarkt	7 Einzelhandel/Kaufhaus mit Kühlprodukten	2009	Boden ungedämmt	115,5	192,5	308,0	77,0
		2009	Boden gedämmt	115,5	192,5	308,0	77,0

Die spezifischen (flächenbezogenen) Heizlasten der untersuchten Modellgebäude streuen zwischen ca. 410 W/m² (Werkstatt mit hohem Lüftungswärmebedarf, Bestand, Bj. 1980) und ca. 30 W/m² (Logistikhalle Neubau) – also im Verhältnis von mehr als 1:13.

5 Nutzung Hallengebäude / Lüftungsverhalten

Soll-Innentemperaturen

Die Soll-Innentemperatur von Hallengebäuden richtet sich nach Art der Nutzung und ggflls. nach individuellen Anforderungen – übliche Raumtemperaturen liegen zwischen 12 und 21°C. Die Standardnutzungsprofile für hallentypische Nutzungen in DIN V 18599:10 wurden deshalb in der Normrevision 2011 angepasst.

Zeitliche Nutzung

Hallengebäude werden typischerweise – anders als etwa Wohngebäude - zeitlich eingeschränkt genutzt. Bei einem einschichtigen Fertigungsbetrieb an 5 Tagen die Woche liegt die Nutzungszeit nur bei 25% der Gesamtzeit. Weitere Unterbrechungen etwa durch Betriebsruhezeiten, Feiertage, Urlaubszeiten sind üblich. Besonderheiten mit nochmals kleineren Nutzungszeiten können in Sporthallen oder Versammlungsräumen auftreten. [2]

Standardnutzungsprofile

Zur besseren Anpassung der hallentypischen Standardnutzungsprofile nach DIN V 18599-10 wurden aus dem Forschungsprojekt die Aufnahme eines weiteren hallentypischen Profils sowie Änderungen diverser Parameter existierender Profile vorgeschlagen (Anmerkung: und in der Revision der Norm zwischenzeitlich aufgenommen). Die neuen relevanten **Standardnutzungsprofile** sind:

Nr. 20	Lager, Technik, Archiv	(21°C)
Nr: 22.1	Gewerbliche und industrielle Hallen – schwere Arbeit, stehende Tätigkeit	(15°C)
Nr. 22.2	Gewerbliche und industrielle Hallen – mittelschwere Arbeit, überwiegend stehend	(17°C)
Nr. 22.3	Gewerbliche und industrielle Hallen – leichte Arbeit, überwiegend sitzend	(20°C)
Nr. 31	Turnhallen	(21°C)
Nr. 41	Lagerhallen, Logistikhallen	(12°C)

Lüftungswärmeverluste

Die Lüftungswärmeverluste von Hallengebäuden werden durch unkontrollierten Luftwechsel aufgrund von Undichtigkeiten der Gebäudehülle (**Infiltration**, während des gesamten Jahres) und durch **nutzungsbedingten Luftwechsel** (Fensterluftwechsel, Toröffnungen bei Transportvorgängen, evtl. RLT-Anlage – angenommen nur während der Nutzungszeit) bestimmt. Ein hallenspezifischer Berechnungsansatz für den Torluftwechsel über Torgrößen, Toröffnungsfrequenz etc. wurde mangels belastbarer Daten, absehbar geringer Auswirkung und unklarer Umsetzung in die DIN V 18599 verworfen.

Aus den bereits in Punkt 3 genannten Gründen wurde vorgeschlagen, in DIN V 18599:2011 für die Berechnung des Infiltrationsluftwechsels einen Bemessungswert der Gebäudedichtheit heranzuziehen, der sich auf die Hüllfläche (q_{50})und nicht mehr auf das Gebäudevolumen (n_{50}) bezieht. Durch nachfolgende Formel können die beiden Kennwerte ineinander umgerechnet werden.

$$q_{50} = \frac{V'_{inf,50}}{A_{env}} = \frac{n_{50} * V_{Netto}}{A_{env}} \qquad (1)$$

q_{50} *hüllflächenbezogene Luftdurchlässigkeit*
$V'_{inf,50}$ *Luftvolumenstrom bei 50 Pa Druckdifferenz*
A_{env} *luftdurchlässige Hüllfläche (für nicht unterkellerte Gebäude: Außenwände und Dach)*
V_{Netto} *Nettoraumvolumen*

[2] Die eingeschränkten Nutzungszeiten von Hallengebäuden und ihre Auswirkungen auf den Heizenergiebedarf sind nach Auffassung des Verfassers nach wie vor nicht hinreichend in der überarbeiteten Fassung der DIN V 18599:2011 berücksichtigt. In der Folge werden nach DIN V 18599 rechnerisch weiterhin in der Regel deutlich zu hohe Energiebedarfswerte ermittelt. Im Zuge der Überarbeitung dieses Themas im Rahmen der DIN Arbeitskreise wurden entsprechende Hinweise des Verfassers nicht ausreichend berücksichtigt.

Ergebnisse von 36 Luftdichtigkeitsmessungen neuer Hallen- und Bürogebäude

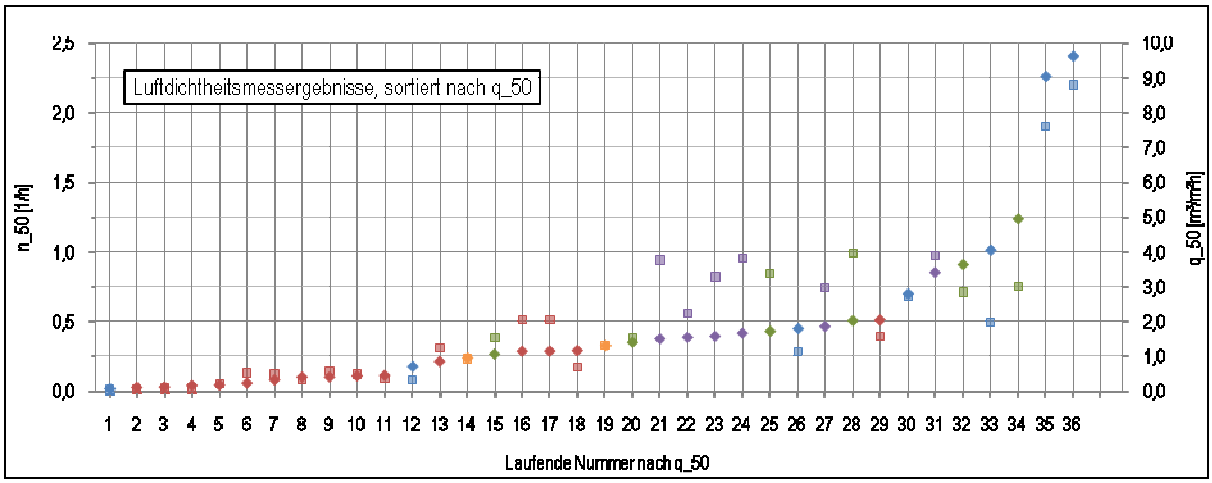


Abb. 5 **Luftdichtheitsmessergebnisse, aufsteigend sortierte Stichproben**

Auf Grundlage der ausgewerteten Daten von Luftdichtigkeitsmessungen an 36 Büro- und Hallengebäuden wurden für die EnEV 2012 neue Bemessungswerte für Hallengebäude vorgeschlagen:

Tabelle 2 **Vorschlag Kategorisierung und Bemessungswerte q_{50} für Hallengebäude**

Kategorie	Dichtheitsprüfung	Einschätzung der Gebäudedichtheit	q_{50} [m³/m²h]
I	Eine Dichtheitsprüfung wird nach Fertigstellung durchgeführt.	Gehobene Anforderung an Luftdichtheit (z.B. Lüftungsanlage, Brandvermeidungsanlage)	1
II		Mittlere Anforderung (Regelfall)	3
III	Eine Dichtheitsprüfung wurde nicht durchgeführt und ihre Durchführung ist auch nicht vorgesehen.		6
IV		Geringe Anforderungen an Luftdichtheit (z.B. Gebäude mit niedriger Innentemperatur, unempfindliches Lagergut, kaum Personenaufenthalt); Vorhandensein offensichtlicher Undichtigkeiten in wesentlichem Ausmaß	12

Für die 6 definierten Modellgebäude ergeben sich mit den vorgeschlagenen Kennwerten die nachfolgenden **Infiltrationsluftwechsel.** Gegenüber dem alten Berechnungsansatz werden deutlich geringere Luftwechselraten für Infiltration errechnet, teilweise um eine Zehnerpotenz und mehr. Damit werden mit DIN V 18599:2011 geringere Jahreswärmebedarfe errechnet – die nach ersten Stichprobenrechnungen des Verfassers zwar niedriger als nach DIN V 18599:2007, jedoch weiterhin systematisch über realen Verbräuchen liegen.

Tabelle 3 **Bestimmung des Infiltrationsluftwechsels im Vergleich, anhand zuvor definierter Modellgebäude**

Gebäude	V_Netto	A_env	A_env / V_Netto	n_inf [1/h]							
				nach DIN V 18599-2, für Dichtheitskategorie (n_50 [1/h])				nach Vorschlag q_50, für Dichtheitskategorie (q_50 [m³/m²h])			
				Ia	II	III	IV	I*	II*	III*	IV*
	[m³]	[m²]	1/m	2	4	6	10	1	3	6	12
Werkstatt	480	336	0,70	0,14	0,28	0,42	0,70	0,049	0,147	0,294	0,588
Fertigungsbetrieb	24.000	4.571	0,19					0,013	0,040	0,080	0,160
Logistikhalle	140.000	15.929	0,11					0,008	0,024	0,048	0,096
Turnhalle	9.720	1.908	0,20					0,014	0,041	0,082	0,165
Baumarkt	85.000	13.836	0,16					0,011	0,034	0,068	0,137
Lebensmittelmarkt	26.000	5.899	0,23					0,016	0,048	0,095	0,191

6 Bilanzierung Heizenergie in Hallengebäuden Kalkulatorischer Bedarf / realer Verbrauch[3]

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden von den Mitgliedsfirmen der figawa AK GIS und DLS Verbrauchsdaten von ca. 25 Hallenheizungsanlagen mit dezentralen Warmluft- und Strahlungssystemen zusammengetragen, für die gleichzeitig Daten zur Ermittlung der Bedarfswerte nach DIN V 18599:2007 in ausreichender Qualität vorlagen. Nach Sichtung und sorgfältiger Prüfung der Daten auf Plausibilität wurden 15 Datensätze im Rahmen des Forschungsprojektes GAEEH näher analysiert.

In der nachfolgenden Darstellung sind für die genannten Hallen die Rechenwerte des „Endenergiebedarfs Wärme“ nach DIN V 18599:2007 ins Verhältnis gesetzt zu den witterungsbereinigten Verbrauchsdaten der Hallen. Beide Zahlenwerte sind auf den Heizwert bezogen.

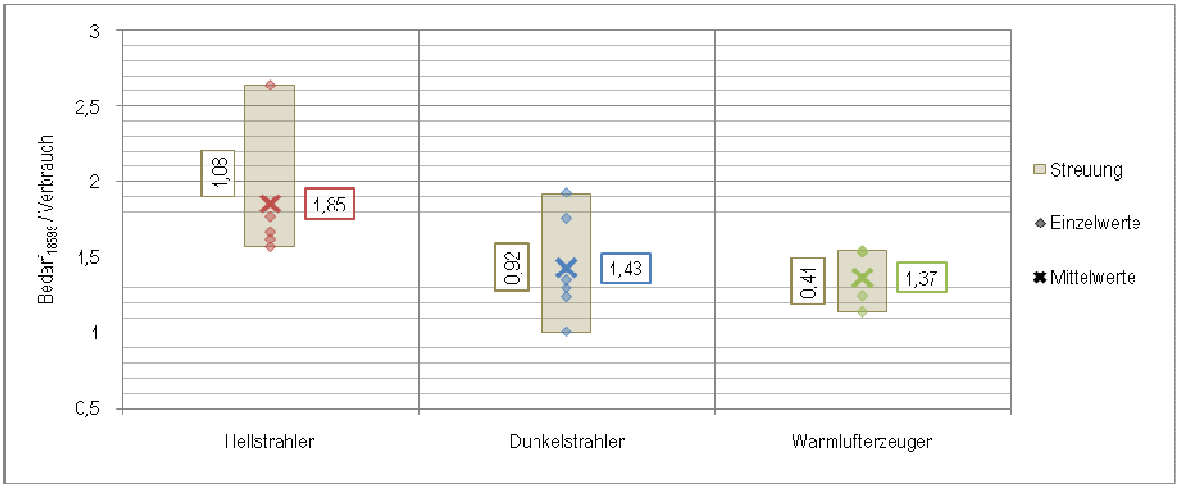


Abb. 6 Bedarfs/Verbrauchs-Verhältniszahlen

Alle Zahlenwerte liegen deutlich über Eins. Die Energiebedarfsberechnung nach 18599:2007 liefert also deutlich und systematisch zu hohe Werte. Die mittleren Zahlenwerte des Bedarf/Verbrauchsverhältnisses deuten darauf hin, dass es anlagenspezifische Unterschiede bei der Abweichung Bedarf/Verbrauch gibt. Das Ausmaß der Streuung der Zahlenwerte kann andeuten, dass im bisherigen Berechnungsverfahren für die jeweilige Anlagenvariante nicht ausreichend hinsichtlich Produkteffizienz differenziert wird - dies ist besonders bei Strahlungsheizungen zu vermuten.

Anmerkung des Verfassers: Über einzelne Zahlenwerte des Diagramms kann man trefflich diskutieren. Auffällig ist vor jedoch, dass während des gesamten Forschungsprojektes Zahlenwerte über reale Heizenergieverbräuche nur von Vertretern dezentraler Hallenheizsysteme geliefert werden konnten. Die Vertreter der zentralen Heizsysteme (FBH und DSP) konnten – trotz vielfacher Nachfrage und intensiver Recherche – keine konkreten Zahlen über Gebäude und reale Energieverbräuche bereitstellen. Es fehlt auf Seiten der zentralen Heizungssysteme i.d.R. das spezifische Know How über Hallengebäude und deren Nutzung, mit der Performance des Komplettsystems beschäftigt man sich allenfalls am Rande, Verbrauchsprognosen können nicht gegeben werden. Demgegenüber treten die Vertreter dezentraler Systeme als Komplettanbieter oft mit langjährigem und spezifischem know how in Hallen auf. Dieser wesentliche Systemvorteil der dezentralen Anlagen für den Nutzer kann und muss zukünftig deutlich stärker im Markt publiziert werden.

---

[3] Anmerkung des Verfassers: Der **Heizenergiebedarf** eines Gebäudes ist eine kalkulatorische Größe, die nach einem definierten Rechenverfahren für standardisierte Bedingungen (Standardnutzung, Referenzklima etc.) ermittelt wird. Zwangsläufig liegen zwischen dem errechneten Bedarfswert und einem realen Verbrauch für einen bestimmten Zeitraum Differenzen.
Bei Hallengebäuden stellt sich bei der Erfassung von **Verbrauchswerten Heizenergie** häufig die Problematik der klaren Bilanzierungsgrenzen: z.B. Abgrenzung des Hallengebäudes von Nachbarräumen oder –gebäuden, gemeinsame Nutzung der Endenergie für Heizung und andere Zwecke (Prozesse, Warmwasser) etc.

7 Simulationsrechnungen Hallengebäude mit verschiedenen Heizsystemen – mit Variation Gebäudeparameter

- Die Simulationsrechnungen wurden an der TU Dresden von einem erfahrenen Wissenschaftler-Team mit hohem Einsatz während der zweiten Projektphase durchgeführt. Als Software stand eine an der TU Dresden geschaffene, erweiterte Version der Gebäudesimulationssoftware TRNSYS zur Verfügung, deren Basisdaten für eine Beispielhalle anhand der Ergebnisse eines zeitlich vorgelagerten empirischen Untersuchungsprojektes (ELVHIS Messkampagne, Prof. Bolsius) validiert werden konnten. Erstmals in Deutschland und damit vermutlich auch erstmals in Europa wurden derart komplexe Rechnungen unterschiedlicher Heizsysteme mit unterschiedlichen Wärmeübergangsmechanismen in Hallen durchgeführt.

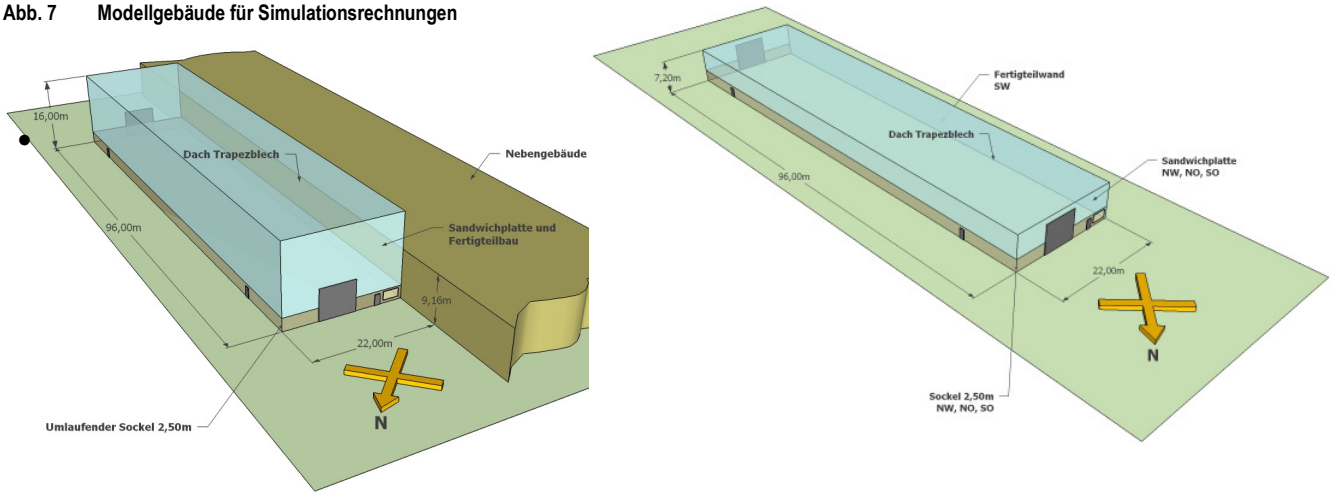
- Die Simulation erfolgte mit einem vereinfachten Zonenmodell. Der Luftraum des Gebäudes wurde dabei in eine Anzahl von Zonen (im wesentlichen vorstellbar wie waagerechte Scheiben) unterteilt, zwischen denen die Austauschvorgänge modelliert wurden. Die technischen Daten der Strahlheizflächen wurden möglichst exakt nachgebildet. Großräumige Strömungsvorgänge, die für die Funktion von Warmluftheizungen von zentraler Bedeutung sind, werden mit diesem Modell nicht exakt abgebildet. Mit der Modellierung dieser Effekte der Raumluftströmung durch senkrechte Kamine/Schächte werden in dieser Hinsicht idealisierte Annahmen getroffen. Mit dem vereinfachten Zonenmodell können Lufttemperaturgradienten über der Höhe, die physikalischen Besonderheiten der Heizelemente und Lüftungsvorgänge bis hin zur Warmluftrückführung approximiert werden – zwangsläufig mit Vereinfachungen, die sich für die verschiedenen Heizsysteme wegen ihrer spezifischen Wärmeübergangsmechanismen etwas unterschiedlich auswirken.

- Bei der instationären Simulationsrechnung wurden der Gebäudehülle außen die Klimadaten eines Testreferenzjahres (TRY) aufgeprägt. Zentrales Rechenergebnis ist der Jahresheizenergieverbrauch des Gebäudes mit den verschiedenen Heizsystemen. Bei den zentralen Systemen müssen zwecks Vergleichbarkeit Erzeuger- und Verteilerverluste, bei den dezentralen WLE und Dunkelstrahlern die Erzeugerverluste zu den Rechenwerten addiert werden, für die Systeme mit indirekter Abgasführung (Hellstrahler) stellen die Rechenergebnisse jeweils den Endenergieverbrauch dar.

- Als Basisvariante wurde ein typisches modernes Industriegebäude Bj. 2005 mit Wärmeschutzstandard nahe am Anforderungsniveau der EnEV 2009 und Nettogrundfläche 2112 m² / Raumhöhe 16 m gewählt, über das aus einer früheren Untersuchung der Hochschule Zittau (Prof. Bolsius) umfangreiche empirische Daten, darunter Temperaturverteilungen, Thermografien und Strömungsvisualisierungen für einen typischen beheizten Wintertag vorlagen. Als zweites Gebäude wurde ein Gebäude gleicher Grundfläche mit geringerer Höhe (7 m) gewählt. Es wurde jeweils ein hallentypisches, der realen Nutzung entsprechendes Nutzungsprofil unterstellt.

Hohe Halle **Niedrigere Halle**

Abb. 7 Modellgebäude für Simulationsrechnungen



- Im Verlaufe der Berechnungen wurden zahlreiche Parameter der Gebäude variiert, um den Einfluss dieser Parameter zu analysieren und die Belastbarkeit der Ergebnisse für verschiedene Gebäudekonstellationen zu untersuchen. Variiert wurden:
  - Anordnung des Gebäudes: freistehend oder mit angrenzender Halle
  - baulicher Wärmeschutz, darunter Bodenplatten mit/ohne Dämmung
  - Torluftwechsel, Infiltrationsluftwechsel, lokale Verteilung der Undichtigkeiten in der Gebäudehülle
  - innere Wärmequellen
  - Nutzungszeiten, insbesondere unterschiedliche Jahresnutzungszeiten.

Kommentare des Verfassers:

Wie zu erwarten und später durch die Berechnungsergebnissen aufgezeigt, haben die Parametervariationen der Gebäude je nach Heizsystem unterschiedliche Auswirkungen auf den errechneten Jahresheizenergieverbrauch. So wirkt sich beispielsweise die Modellannahme, aller **Infiltrationsluftwechsel** erfolge ausschließlich an Undichtigkeiten der Tore (also bodennah, Gebäude ohne Zwischenwände), stärker auf die Systeme aus, die direkt (Fußbodenheizung) oder indirekt (Strahlungssysteme über Kopf) mit einer Erwärmung des Fußbodens arbeiten. Umgekehrt partizipieren von dieser Annahme, die Gebäudehülle insbesondere im oberen Bereich sei ohne jede Undichtigkeit, besonders die konvektiven Systeme, da im Ergebnis geringere Lüftungswärmeverluste errechnet werden. Die enge Wechselwirkung zwischen Gebäude, Nutzung und Heizsystem erschwert eine Generalisierung der Ergebnisse.

Eine eindeutige und drastische Beeinflussung der systemspezifischen Ergebnisse durch Variation der Gebäudeparameter ist für die **Fußbodenheizung** (FBH, auch Industrieflächenheizung genannt) durch Dämmung oder Nichtdämmung der Bodenplatte erkennbar. Durch eine nach Kenntnis des Verfassers in der Praxis nur in seltenen Fällen realisierte Dämmung der Bodenplatte werden die spezifischen Verluste der FBH durch Integration des Übergabesystems in die Hüllfläche rechnerisch verschwindend gering.
Umgekehrt: bei einer üblicherweise ungedämmten Bodenplatte entstehen mit einer Fußbodenheizung im Vergleich mit den anderen Heizsystemen signifikante zusätzliche Verluste an das Erdreich, deren Ausmaß stark mit der Beschaffenheit des Erdreiches, seines Feuchtegehalts, der Grundwassernähe sowie der Größe und Geometrie der Bodenplatte schwanken. Auch für die wichtige Annahme einer charakteristischen Temperatur des Erdreiches unter einer Halle findet man kaum wissenschaftlich fundierte Angaben[4]. Im Rahmen der Simulationsrechnungen wurde durchgängig unterhalb der Bodenplatte (keine Unterkellerung) eine Kiesschicht von 1 m und darunter eine konstante Erdreichtemperatur von 15°C unterstellt.

[4] Bekannt ist in diesem Zusammenhang die Theorie einer Wärmelinse, die sich unter einem beheizten Gebäude nach einigen Heizperioden stabil ausbilde. Über die Belastbarkeit dieser Theorie kann der Verfasser keine näheren Angaben machen. Aufgrund der grundlegenden Wärmeübergangsmechanismen ist klar, dass auch dieser evtl. zu berücksichtigende Effekt stark von Bodenbeschaffenheit, Feuchtegehalt, Grundwassernähe und Geometrie des Gebäudes abhängen wird – mit starken Auswirkungen allein für Gebäude mit Fußbodenheizung ohne Bodendämmung. Interessant sind in diesem Kontext nach Auffasung des Verfassers auch die Aufwände und Darstellungen in den technischen Unterlagen einiger Anbieter von Fußbodenheizungen, wie bei der Planung von Industriegebäuden mit Fußbodenheizungen die Pflicht zur Bodendämmung umgangen werden kann. Dabei spielt der rechnerische Nachweis des Effekts einer Wärmelinse unter dem Gebäude eine wesentliche Rolle.

8 Simulationsrechnungen Hallengebäude mit verschiedenen Heizsystemen – Anlagen und Varianten

Für die unter Punkt 7 beschriebenen Gebäude und Gebäudeparameter wurden im Rahmen des Forschungsprojektes von jeweiligen Systemexperten aus der Begleitgruppe des Projektes die nachfolgend beschriebenen Heizsysteme mit den jeweiligen Parametern/Anlagenvarianten ausgelegt:

a. Warmwasser-Deckenstrahlplatten (kurz DSP) – Auslegung Fa. Frenger

mit Parametervariation:

Strahlungsanteil 77…80%[5], Anordnung im Raum, Randabstände, Aufheizzeiten

Tabelle 4 Technische Daten Auslegung Deckenstrahlplatten

	Hohe Halle	Niedrige Halle
Anzahl Geräte	5 x 4 Elemente zu je: L = 21 m, B = 1,3 m	4 x 3 Elemente zu je: L = 26 m, B = 1,3 m
Einbau	Abhänghöhe 15 m (Unterkante)	Abhänghöhe 6 m (Unterkante)
Leistung	370 W/m², 202 kW gesamt (17.12.2010) 333 W/m² (15.01.2011)	300 W/m², 122 kW gesamt
Reglungsregime	ca. 20 min Vorheizzeit (außentemperaturabhängig), Stütztemperatur 12 °C	

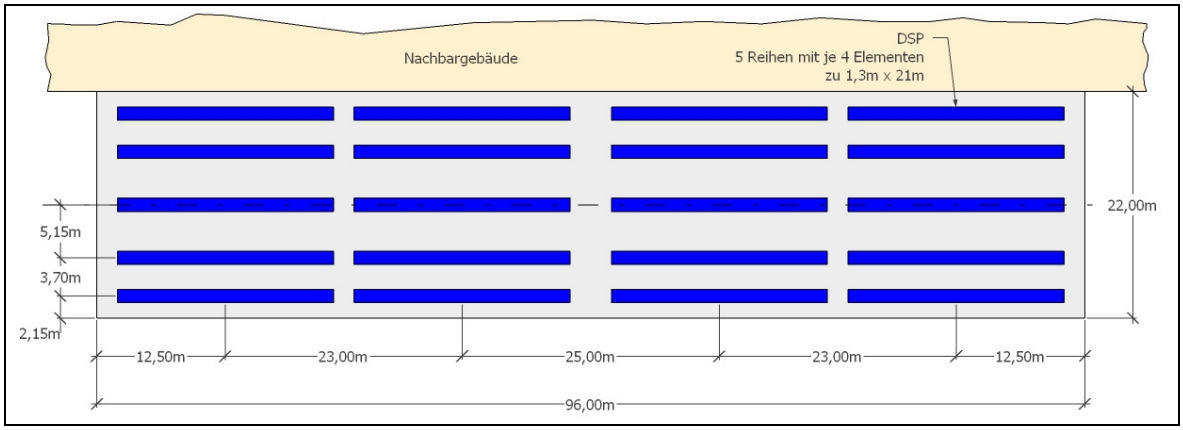


Abb. 8 Schema Installation Deckenstrahlplatten

b. Fußbodenheizung (kurz FBH) - Auslegung BVF

mit Parametervariation:

Lage der beheizten Schicht in der Bodenplatte bzw. Überdeckung der Heizschlange, Regelung der Heizmitteltemperatur, Aufheizzeiten

Tabelle 5 Technische Daten Auslegung Fußbodenheizung

	Hohe Halle	Niedrige Halle
Einbau	Überdeckung 16 cm zusätzliche Variante: 10 cm im Kern- und 5 cm im Randbereich	Überdeckung 16 cm
Leistung	ca. 100 W/m²	ca. 65 W/m²
Reglungsregime	Nachtabsenkung 2K, Heizungsbeginn und -ende mit je 2 h Vorlauf Aufheizen aus WE-Abschaltung mit $t_{Aufheiz} = -15 \cdot \left[\frac{h}{K}\right] \cdot \vartheta_{Außen}[°C] + 3,5[h]$	Nachtabsenkung 2K, Heizungsbeginn und -ende mit je 4 h Vorlauf Aufheizen aus WE-Abschaltung mit $t_{Aufheiz} = -15 \cdot \left[\frac{h}{K}\right] \cdot \vartheta_{Außen}[°C] + 5,5[h]$

[5] Anmerkung des Verfassers: Zu den bei den Simulationsrechnungen angenommenen – aus Verfassersicht - sehr hohen Strahlungsanteilen von Deckenstrahlplatten entspann sich im Rahmen der Begleitgruppe des Forschungsprojektes eine rege und kontroverse Diskussion, die zu keinem technisch befriedigenden Ergebnis führte. Für einige Typen von Deckenstrahlplatten liegen Prüfergebnisse nach EN 14037 vor, die Strahlungsanteile von knapp 80% ausweisen. Dazu muss man wissen, dass EN 14037 keine Messung von Strahlungsleistungen z.B. auf einer Referenzfläche vorsieht, sondern den Strahlungsanteil der Heizflächen aufgrund der Ermittlung einer mittleren Oberflächentemperatur sowie eines – auf mir unbekannte Weise – ermittelten Emissionskoeffizienten der Oberfläche mit Hilfe des Stefan-Boltzmann-Gesetzes errechnet. Die Ergebnisse dieses Verfahrens sind offensichtlich nicht vergleichbar mit den Messergebnissen für dezentrale Strahlungsheizgeräte nach EN 416/419 Teil 2. Innerhalb der Branche der Deckenstrahlplatten-Anbieter selbst wird die Ermittlung und die Bedeutung des Strahlungsanteils für die Effizienz des Heizsystems kontrovers diskutiert (siehe dazu z.B. Broschüren der Fa. Frenger, Fa. BEST).
Im Rahmen des Forschungsprojektes blieb nur die Möglichkeit, Prüfergebnisse nach harmonisierten Normen als gegeben und stimmig anzunehmen.

c. Indirekte Luftheizung (kurz LH / auch LH1 genannt) - Auslegung Fa. Wolf

mit Parametern/Parametervariation:

16 Lufterhitzer in Wandmontage mit Induktionsjalousie, zusätzlich 8 bzw. 9 Deckenventilatoren Fenne, Variation Aufheizzeiten

Tabelle 6 Technische Daten Auslegung indirekte Lufterhitzer

	Hohe Halle	Niedrige Halle
Anzahl Geräte	16 x Lufterhitzer Wolf LH 40-2, Induktionsjalousie 8 x Deckenventilator Fenne 03.288	16 x Lufterhitzer Wolf LH 40-3 (brennwertgerechte Auslegung), Induktionsjalousie 9 x Deckenventilator Wolf LD15
Einbau	Lufterhitzer: 2,50 m (Wand) Deckenventilatoren: 15 m	Lufterhitzer: 2,50 m (Wand) Deckenventilatoren: 6 m
Leistung	ca. 240 kW	ca. 200 kW
Reglungsregime	ca. 20 min Vorheizzeit (außentemperaturabhängig), Stütztemperatur 12 °C	

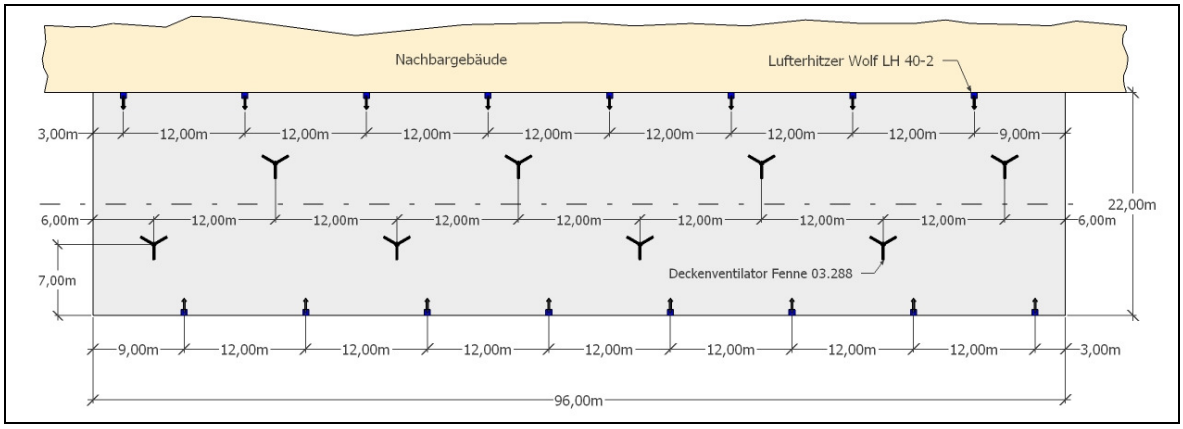


Abb. 9 Schema Indirekte Lufterhitzer (Wandmontage) mit zusätzlichen Deckenventilatoren

d. Direktbefeuerte Warmlufterzeuger (kurz WLE / LH2) - Auslegung Fa. LK-Metall

mit Parametern /Parametervariation:

2 bzw. 1 Warmlufterzeuger unter der Decke, zusätzlich 8 bzw. 11 Deckenventilatoren Fenne

Variation Aufheizzeiten

Tabelle 7 Technische Daten Auslegung direktbefeuerte Warmlufterzeuger

	Hohe Halle	Niedrige Halle
Anzahl Geräte	2 x Warmlufterzeuger LK RE 125 SH 8 x Deckenventilator Fenne 03.288	1 x Warmlufterzeuger LK RE 125 11 x Deckenventilator (z.B. Fenne 03.210)
Einbau	ca. 15 m	Lufterhitzer: 2,50 m (Wand) Deckenventilatoren: 6 m
Leistung	ca. 250 kW	ca. 200 kW
Reglungsregime	ca. 20 min Vorheizzeit (außentemperaturabhängig), Stütztemperatur 12 °C	

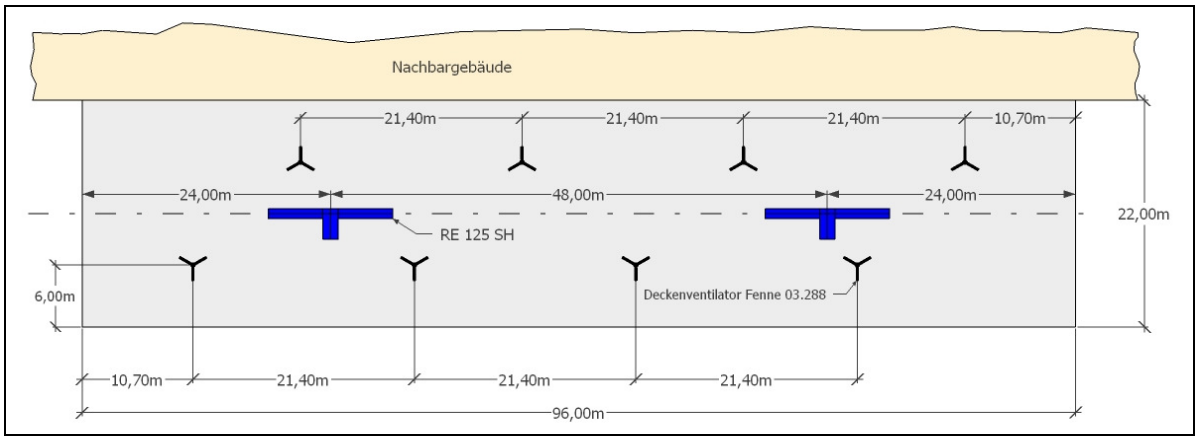


Abb. 10 Auslegung / Schema direkt befeuerte Warmlufterzeuger (Deckenmontage) mit zusätzlichen Deckenventilatoren

e. Hellstrahler (kurz HS) Auslegung Fa. Schwank

mit Parametern/Variation:

16 Hellstrahler Typ supraSchwank, Wandmontage in 10 m Höhe, schräg

Variation Aufheizzeit

Tabelle 8 Technische Daten Auslegung Hellstrahler

	Hohe Halle	Niedrige Halle
Anzahl Geräte	8 x Hellstrahler Schwank Supra 10 8 x Hellstrahler Schwank Supra 15	16 x Hellstrahler Schwank Supra 10
Einbau	10 m, 35°	6 m , 45°
Leistung	ca. 154 kW	ca. 123 kW
Reglungsregime	keine Vorheizzeit, Stütztemperatur 12 °C (17.12.2010) ca. 20 min Vorheizzeit (außentemperaturabhängig), Stütztemperatur 12 °C (15. und 24.01.2011)	

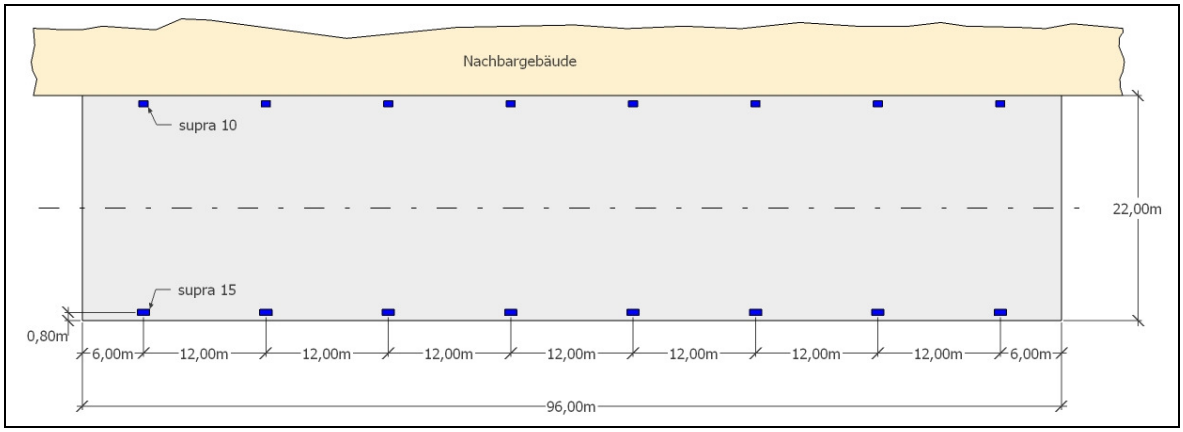


Abb. 11 Auslegung / Schema Hellstrahler

nicht gerechnet wegen Komplexität/Zusatzaufwand der Modellierung:

f. Dunkelstrahler (kurz DS) Auslegung Fa. Schwank

mit Parametern/Variation:

5 Dunkelstrahler Typ calorSchwank Form U, Deckenmontage quer zur Längsachse

Tabelle 9 Technische Daten / Auslegung Dunkelstrahler

	Hohe Halle	Niedrige Halle
Anzahl Geräte	2 x Dunkelstrahler calorSchwank 40U 3 x Dunkelstrahler calorSchwank 30U	-
Einbau	15 m	-
Leistung	ca. 154 kW	-
Reglungsregime	keine Vorheizzeit, Stütztemperatur 12 °C	-

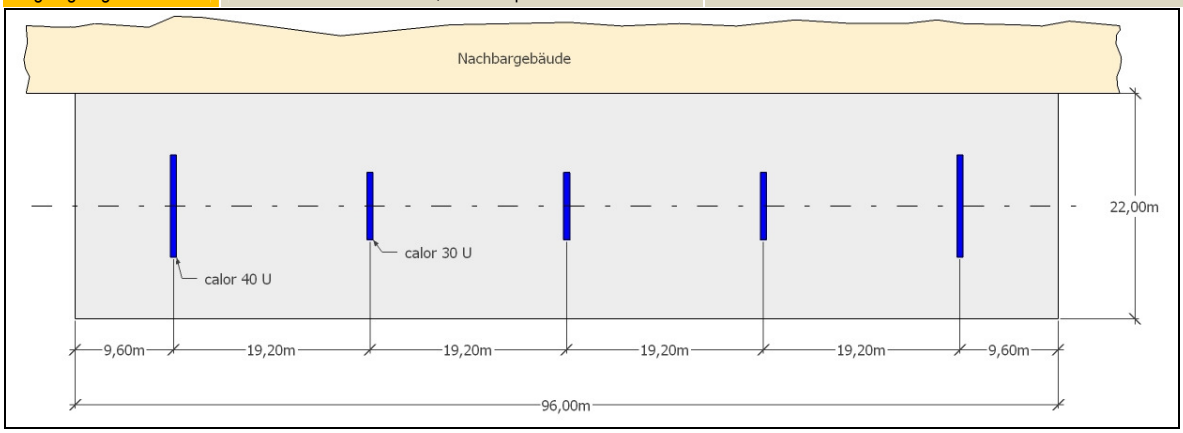


Abb. 12 Auslegung / Schema Dunkelstrahler

Beispiel Einzelergebnis:
Hohe Halle, beheizt mit Hellstrahlern (technische Daten siehe oben)
Rechenlauf vom 17.12.2010

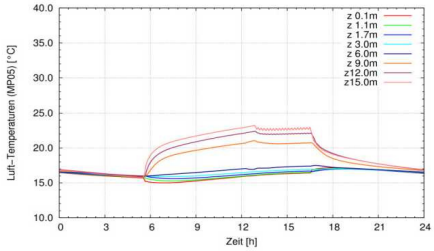


Abbildung 3: Verlauf der Luft-Temperatur am Referenztag Winter am Messpunkt 5 in verschiedenen Höhen

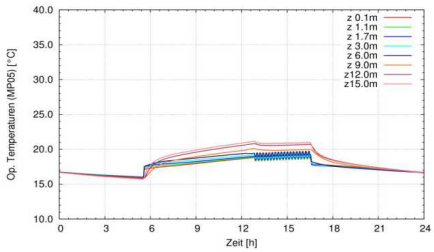


Abbildung 4: Verlauf der operativen Temperatur am Referenztag Winter am Messpunkt 5 in verschiedenen Höhen

9

Wärmeverbrauch		
Maximalwerte ausgewählter Perioden		**[kWh]**
1 Stunde		154
1/2 Tag	(12 h)	1.706
1 Tag	(24 h)	2.066
1 Woche	(168 h)	9.814
Monat		
Januar		37.998
Februar		37.365
März		36.122
April		27.681
Mai		6.452
Juni		5.151
Juli		418
August		1.448
September		9.982
Oktober		22.366
November		31.685
Dezember		39.357
Jahr		**256.025**

Tabelle 4a: Auswertung der durch die Strahler abgegebenen Heizwärme für verschiedene Bilanzperioden

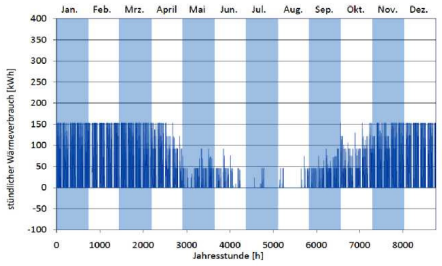


Abbildung 5a: Verlauf der Gesamtwärmeabgabe der Strahler während eines Jahresverlaufes

10

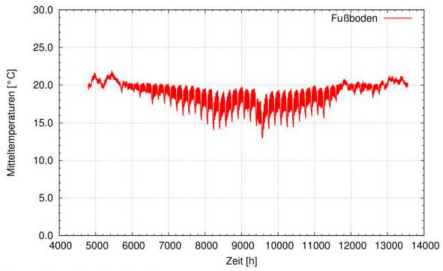


Abbildung 8: Verlauf der mittleren Oberflächentemperatur des Fußbodens

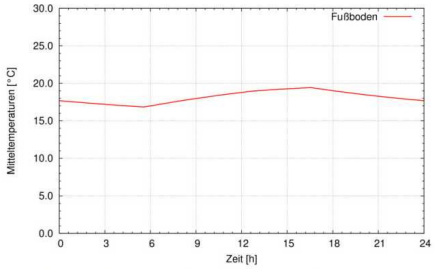


Abbildung 9: Verlauf der mittleren Oberflächentemperatur des Fußbodens am Referenztag Winter

13

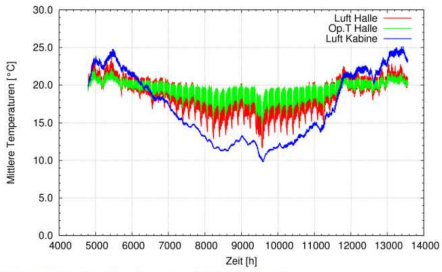


Abbildung 10: Verlauf der mittleren Temperaturen für Halle und Lackierkabine

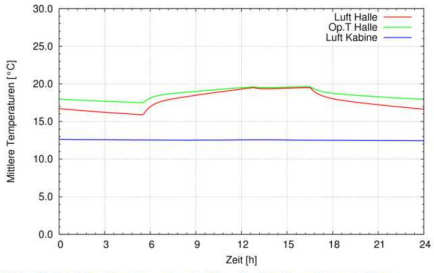


Abbildung 11: Verlauf der mittleren Temperaturen für Halle und Lackierkabine am Referenztag Winter

14

9 Ergebnisse der Simulationsrechnungen Hallenheizsysteme

Die Simulationsrechnungen erbrachten eine Vielzahl von Einzelergebnissen, die zudem in Wechselwirkung mit den angenommenen und variierten Gebäude- und Anlagenparametern stehen, welche bei einer Bewertung oder Übertragung der Ergebnisse auf andere Gebäude mit berücksichtigt werden müssten.

Im Abschlussbericht des Forschungsvorhabens werden die wesentlichen Simulationsergebnisse in nachfolgenden Tabellen zusammengestellt. Die in Spalten bzw. Zeilen genannten Termindaten stehen für einzelne Rechenläufe mit jeweils unterschiedlichen Gebäude-, Nutzungs- und Anlagenparametern (Einzelheiten dokumentiert in den Anlagen des Forschungsberichtes). Es handelt sich bei den dargestellten Werten um die dem Teilabschnitt *Wärmeübergabe im Nutzraum* jährlich zuzuführenden Wärmemengen. Die Teilabschnitte Wärmeerzeugung und -verteilung wurden nicht erfasst.

Bei einer Betrachtung analog DIN V 18599 entsprechen die aufgeführten Werte, unter Vernachlässigung eventuell anfallender Verteil- und Speicherverluste, in guter Näherung der Erzeugernutzwärmeabgabe $Q_{h,outg}$.

Das System Hellstrahler stellt hierbei eine Ausnahme dar. Durch die Modellierung realer Abgasströme als konvektiv wirksame Wärmeströme und die Einbeziehung der zusätzlichen Lüftungswärmeverluste (Abluft) in die Wärmebilanz werden auch Erzeugerverluste erfasst. Für Hellstrahler ist das Simulationsergebnis somit dem Endenergiebedarf Wärme gleichzusetzen; entgegen DIN V 18599:2007 besteht jedoch bei allen Systemen kein Brennwert- sondern Heizwertbezug. Für das System „Luftheizung 2“ (WLE dezentral) wären im Vergleich Erzeugerverluste zu addieren, für die Systeme Fußbodenheizung, „Luftheizung 1“ (indirekte LH) und Deckenstrahlplatten müssten zum vollständigen Vergleich jeweils Erzeuger- und Verteilungsverluste addiert werden.

Tabelle 10 Zusammenstellung Energiebedarfswerte [kWh/m²a], Gebäudesimulationen mit Anlagentechnik

Wärmeübergabe	Simulation 2010		Simulation 2011		Simulation 2011		Vergleichsgröße aus Energiebedarfsberechnung
	FB ungedämmt	FB ideal isoliert	FB ungedämmt	FB gedämmt (0,35)	FB ungedämmt	FB gedämmt (0,35)	
Hellstrahler	128,01	117,86	82,61	78,70	60,77	57,19	$Q_{h,f(Hl)}$
Fußbodenheizung	158,13	130,25	103,33	90,61	80,35	69,73	$Q_{h,outg}$
Luftheizung 1	137,36	127,52	83,51	80,11	59,57	57,24	$Q_{h,outg}$
Luftheizung 2	135,32	125,46	82,08	78,63	58,99	56,52	$Q_{h,outg}$
Luftheizung Mittel	136,34	126,49	82,79	79,37	59,28	56,88	$Q_{h,outg}$
Deckenstrahlplatten	144,16	129,62	88,96	83,05	62,46	57,90	$Q_{h,outg}$

Tabelle 11 Energiebedarfswerte DIN V 18599 unter Einbeziehung Überarbeitungsvorschläge DIN V 18599:2011, Boden ungedämmt, (Simulationsdurchlauf 17.12.2010)

		Wärmeübergabe	Endenergie Wärme [kWh/m²a] heizwertbezogen			
			DIN V 18599 neu		DIN V 18599 neu	
			zentral	dezentral	zentral	dezentral
			NT-Kessel	nicht kondensierend	BW-Kessel	kondensierend
17.12.2010	FB ungedämmt	Hellstrahler ohne Abgasanlage, wie in Simulation; R_F = 0,74	-	174,56	-	174,56
		Hellstrahler wie zuvor, jedoch R_F = 0,60	-	188,80	-	188,80
		Dunkelstrahler, nicht kondensierend; R_F = 0,74	-	183,15	-	183,15
		Fußbodenheizung	247,11	-	219,55	-
		Luftheizung mit Warmluftrückführung	223,99…232,31	219,22…233,62	201,59…209,38	196,39…210,49
		Referenz EnEV 2009 (dez. LH, seitlich)	-	288,40	-	288,40
		Deckenstrahlplatten	227,21	-	204,50	-

Tabelle 11 stellt den wesentlichen Extrakt zahlreicher Simulationsrechnungen unter Berücksichtigung und Gewichtung der o.g. Parametervariationen dar und bildete gleichzeitig die Grundlage für den Vorschlag der neuen energetischen Bewertung in der überarbeiteten Normenreihe DIN V 18599:2011.

10 Kommentare zu den Simulationsergebnissen

Bei der Bewertung der Ergebnisse der Simulationsrechnungen muss zunächst betont werden, dass diese nur eine – zwar nach besten wissenschaftlichen Kenntnissen ermittelte – Annäherung an die Wirklichkeit darstellen. Insbesondere sei an dieser Stelle noch einmal an die Wechselwirkung der Rechenergebnisse mit den angenommenen Parametern des Gebäudes, seiner Nutzung und der Anlagentechnik sowie die Art der Modellierung erinnert.

Generell lässt sich aus Sicht des Verfassers festhalten:

- Alle gerechneten und vor allem die in der Zusammenfassung dargestellten Anlagenvarianten stellen energetisch relative Spitzenkonfigurationen der jeweiligen Systeme dar – bezogen auf die angenommenen Geräte, ihre Anordnungen im Raum und ihre Betriebsweisen.

- Der Wärmeübergang der **Luftheizsysteme** wurde durch die Modellbildung der Simulation (Schichten mit vertikalen Schächten) die gerade für die Effizienz der konvektiven Systeme entscheidenden großräumigen Luftbewegungen idealisiert abgebildet, dies führt für diese Anlagen durchgängig zu günstigen Ergebnissen.

- Bei den **dezentralen Strahlungssystemen** (nur Hellstrahler wurden aus Gründen des Modellierungsaufwandes gerechnet, die Wärmeübergangsmechanismen für Dunkelstrahler wurden jedoch als weitgehend identisch angenommen) bestätigt sich der Einfluss des Strahlungsfaktors der Geräte auf die Gesamteffizienz.

- Für die **Fußbodenheizung** sticht generell die Abhängigkeit des Ergebnisses vom Vorhandensein/Nichtvorhandensein der Bodendämmung ins Auge. Darüber hinaus zeigten die Berechnungen die systembedingte Trägheit drastisch auf: Bei zeitlich eingeschränkter Nutzung macht sich ein reduzierter Heizbetrieb praktisch nicht energiesparend bemerkbar. Mit anderen Worten ausgedrückt: Fußbodenheizungen in Hallen sind energetisch nur bei kontinuierlicher Nutzung 24 h / 7 Tage günstig. Wichtigen Einfluss auf die Energieeffizienz bei zeitlich eingeschränkter Gebäudenutzung hat die Lage der aktiven Schicht (Heizschlange in der Bodenplatte). Bei üblicher Verlegung der Rohre im unteren Bereich der Betonplatte tritt wie zu erwarten die größte Trägheit auf, bei Anordnung mit geringerer vertikaler Überdeckung oder Anordnung direkt unter dem Estrich wird dieser Effekt gemindert.

- Bei der Berechnung der Energieverbräuche mit **Deckenstrahlplatten** wirft die Annahme und Modelleingabe der hohen Strahlungsanteile Fragezeichen[6] auf. Jedoch zeigten sich - auch mit dieser Prämisse – in den Berechnungen die Charakteristika dieses Heizsystems in Hallen: Aufgrund der flächenhaften Anordnung der Deckenstrahlplatten unter der Hallendecke und der ungerichteten Strahlung auf relativ niedrigem Temperaturniveau werden obere Wandbereiche des Gebäudes mit angestrahlt, zusätzliche Transmissionsverluste und Konvektionsströme sind die Folge.

- Beim **Endenergiebedarf Heizung** schneiden dezentrale Strahlungsheizgeräte mit hohem Strahlungsfaktor am günstigsten ab, dieser Effekt steigt mit der Hallenhöhe. Umgekehrt werden die Ergebnisdifferenzen der Heizsysteme bei niedrigen Hallen (z.B. 6 m) und sehr gutem baulichen Wärmeschutz / hoher Dichtheit gering.

[6] Siehe hiezu Kapitel 8

- Der **thermische Komfort** der Heizsysteme in der flächenhaften Verteilung ist am höchsten mit dem System Fußbodenheizung, mit allen anderen Systemen jedoch ebenfalls gut realisierbar. Allerdings stellt die gleichmäßige Beheizung der gesamten Fläche bis in jede Hallenecke nicht immer eine energetisch sinnvolle Anforderung dar – vielmehr geht es in vielen Fällen um die Beheizung des genauen Aufenthaltsbereichs von Personen und nicht um die Erwärmung von Maschinen, Einbauten oder Lagergut, evtl. ist auch eine Teilflächenbeheizung / Zonenbeheizung / Arbeitsplatzbeheizung sinnvoll oder gefordert.

- Beim **vertikalen Lufttemperaturgradienten** schneidet die Fußbodenheizung am günstigsten ab, dicht gefolgt von den dezentralen Strahlungsheizsystemen (vgl. Tabelle mit Werten für η_L in der neuen DIN V 18599:2011.

- Bei der **Reaktionsgeschwindigkeit** schneiden die dezentralen Strahlungsheizsysteme (Hellstrahler, Dunkelstrahler) aufgrund ihrer geringen eigenen Speichermasse und der unmittelbaren direkten und indirekten (über die Erwärmung des Fußbodens) Strahlungswirkung am besten ab. Hier ist die Fußbodenheizung eindeutig die ungünstigste Variante.

11 Revision DIN V 18599 – Bereich Hallenheizung

Ein wesentliches Ziel des Forschungsprojektes war die Erarbeitung von Grundlagen für eine verbesserte energetische Bewertung von Hallenheizsystemen in der überarbeiteten Normenreihe DIN V 18599. Da die überarbeitete Norm – hier insbesondere Teil 5 – zwischenzeitlich veröffentlicht wurde und vorliegt, werden nachfolgend nur die wesentlichen Änderungen in Stichworten genannt.

- Ergänzung und Anpassung von **Standardnutzungsprofilen** (Teil 10)
- Anpassung der Berechnung **Lüftungsverluste** und der Daten über **Gebäudedichtheit** (Teile 2 und 10)
- Anpassung des **Faktors f_Radiant** zur Berücksichtigung des **Strahlungseinflusses** bei der Wärmeübergabe in hohen Räumen (bisher pauschal 0,85):
  - die Fußbodenheizung verliert ihren Bonus als Strahlungsheizung völlig
  - die Deckenstrahlplatten werden pauschal mit einem Faktor 0,97 bewertet
  - für Hellstrahler und Dunkelstrahler wird ein Formelansatz eingeführt, der den Wert des Faktors f_Radiant in Abhängigkeit vom Strahlungsfaktor des Geräts (RF nach DIN EN 416/419-2), der Raumhöhe und der spezifischen Heizleistung pro Grundfläche ermittelt. Für bestimmte Geräteausführungen werden Standardwerte angegeben.
- Anpassung der Werte η_L für die systemabhängigen **vertikalen Lufttemperaturgradienten**
- Anpassung der Werte η_B für spezifische Außenbauteilverluste, hierbei Einführung weiterer Unterkategorien von Warmluftsystemen und Fußbodenheizungen
- Korrektur der Berechnung der Verluste der **Wärmeerzeugung bei dezentralen Gasheizsystemen** – **Bezugnahme auf den Brennwert** des Gases
- Anpassung der Berechnung des **Verlustes für indirekte Abgasführung** von Heizgeräten Typ A
- Einführung **weiterer Unterkategorien der Wärmeerzeugung** von dezentralen Systemen:
  - Aufnahme des Effekts von Leistungsregelungen
  - Aufnahme kondensierender Warmlufterzeuger
  - Aufnahme der Option zusätzlicher Abgaswärmetauscher für dezentrale Strahlungsheizungen
- Anpassung der Berechnung der **Hilfsenergiebedarfe,** Aufnahme verschiedener Motorentypen für Gebläse

Hinweis: Im Abschlussbericht des Forschungsprojektes sind der alte Stand der energetischen Bewertung DIN V 18599:2007 und der Projektvorschlag, der in die neue Normenfassung übernommen wurde, detailliert gegenübergestellt.

12 Optimierungspotenziale Gebäude und Anlagentechnik

Tabelle 12 Maßnahmen zur Verringerung des Heizenergieverbrauchs von Hallengebäuden 1/2

Bereich	Maßnahme(n)	Bemerkungen/Hinweise
Gebäude	Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes der Fassade - Wärmeschutzniveau der Fassadenkonstruktion, von Fenstern, Türen/Toren… - bauliche Ausführung (z.B. Vermeidung von Wärmebrücken)	Detaillierte Untersuchungen zum Einfluss des baulichen Wärmeschutzes sind nicht Bestandteil der vorliegenden Arbeit
	Dämmung Bodenplatte	Differenzierung hinsichtlich Erdreichbeschaffenheit, Grundwasser und Heizungssystem sinnvoll Das Teilproblem Bodendämmung wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht im Detail untersucht, jedoch zeigte sich im Laufe der Simulationsrechnungen wesentlicher Einfluss (speziell FBH) bei gleichzeitig hoher Unsicherheit – sehr komplexes Teilproblem, weiterer Untersuchungsbedarf
	Verbesserung der Luftdichtheit - bauliche Ausführung (z.B. Dichtungsmaßnahmen) - konstruktive Vermeidung offener Stoßfugen an Bauteilanschlüssen	Besonderheit Hallengebäude (und teilweise andere NWG): Konstruktion aus großflächigen Fassadenelementen oftmals ohne Abdichtung der Stöße; keine durchgehende Luftdichtheitsebene
	Minimierung der Lüftungswärmeverluste durch Toröffnungen - Einsatz von Verladeschleusen, Torluftschleiern etc. - automatischer Torbetrieb	Lüftungswärmeverluste (Infiltration, Toröffnungsvorgänge) können wesentlichen Anteil an den gebäudeseitigen Wärmeverlusten haben
Gebäude und Heizsystem	Qualifizierte Auswahl eines geeigneten Heizsystems abhängig von: - spezifischer Gebäudestruktur - Nutzung, Betriebsweise	Je nach Gebäude, Nutzung und Betriebsweise (z.B.: 1-Schicht/5 Tage oder 24 h / 7 Tage) können sich unterschiedliche Anforderungen an das Heizsystem sowie energetische Vorzugskriterien für Heizsysteme ergeben; Empfehlung eines geeigneten Heizungskonzepts ist Planungsaufgabe; hierfür sind jedoch Voraussetzungen zu schaffen: - Typologie von Hallengebäuden/-nutzungen (vgl. z.B. Modellgebäudedatenbank ZUB-Kassel - Charakterisierung von Heizsystemen → Definition von Zuordnungskriterien zwischen Heizungssystemen und Gebäudetypen/-nutzungen, Betriebsweisen, sodass qualifizierte Empfehlungen möglich werden
	Optimierte Zonierung - räumliche und zeitliche Differenzierung hinsichtlich Nutzungsanforderungen - ggf. unterschiedliche Temperaturzonen in Großräumen (Teilbereichs-/Arbeitsplatzbeheizung)	
	Optimierter Anlagenbetrieb - Gebäudeleittechnik, Automation	In Hallen für gewöhnlich feste Nutzungsrhythmen über lange Zeiträume - hoher Grad an Automatisierbarkeit → bedarfsgerechte Regelung/Steuerung mit hohem Optimierungspotenzial - Voraussetzung: exakte Dokumentation des Heizbetriebs Im Rahmen der vorliegenden Arbeit erfolgten keine Untersuchungen zum energetischen Einsparpotenzial durch regelungstechnische Optimierung
	Ausnutzung von Wärmepotenzialen und Wärmerückgewinnung - Abgas - Abluft - Prozesse etc.	besonders bei industrieller Nutzung teilweise hohe energetische Potenziale (Wärmelasten, Kältelasten) vorhanden Analysen zu real auftretenden Wärme-/Kältepotenzialen und ihrer Nutzbarkeit sind nicht Bestandteil der vorliegenden Arbeit
	Koppelprozesse - Kraft/Wärme - Wärme/Kälte etc.	
	Nutzung regenerativer Energien; z.B. - Wärmepumpensysteme - biogene Brennstoffe - Solarthermie	Machbarkeit individuell in Verbindung mit Nutzungsrandbedingungen und nutzungsgerechtem Heizsystem zu überprüfen; Solarthermie i.d.R. nur bei nennenswertem Warmwasserbedarf sinnvoll Nutzung regenerativer Energien wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht untersucht

Tabelle 13 Maßnahmen zur Verringerung des Heizenergieverbrauchs von Hallengebäuden 2/2

Bereich		Maßnahme(n)	Bemerkungen/Hinweise

Heizsystem	Warmluftsysteme	Definition, Normierung und Prüfung von Effizienzkriterien der Wärmeübergabe im Nutzraum, wie z.B.
		- Einfluss der Ausblastemperatur (Brennwertnutzung)
		- Wirksamkeit der Warmluftrückführung
		  o Dimensionierung
		  o Messung Lufttemperaturdifferenz
			Bisher keine allgemeingültig definierten Kriterien für Effizienz der Wärmeübergabe; Bewertung anhand Herstellerangaben daher schwierig
			
			Für Anwendung innerhalb DIN V 18599 im Rahmen des vorliegenden Projekts Einführung der Größe *vertikaler Lufttemperaturanstieg*; jedoch auch hier kein normiertes Messverfahren vorhanden, daher nur Anwendung der empirisch ermittelten Vorgabewerte vorgesehen

	Hell- und Dunkelstrahler	- Weitere Erhöhung des Strahlungsfaktors - Modulierende Leistungsregelung, größerer Regelbereich - Kombination mit Abwärmenutzung (Kombi-/Hybridsysteme)	Produktentwicklung - einige heute noch marktübliche Hell-/Dunkelstrahler besitzen Strahlungsfaktoren im Bereich 0,45…0,60 – jedoch sind bereits Geräte im Bereich >0,7 erhältlich (Wettbewerbssituation zugunsten technisch/energetisch besserer Geräte schaffen bzw. anregen) - auch Premium-Geräte oftmals nur mit 1-/2-stufiger Regelung: durch feinere Leistungsregelung und größere Regelbereiche wird eine bessere Anpassung von Leistungsabgabe auf -anforderung möglich
	Hellstrahler	Anpassung der Förderleistung der Abluftventilatoren an Leistungsregelung der Hellstrahler	energetisch sinnvoll, Machbarkeit aufgrund des einschlägigen Regelwerks gegeben (DIN EN 13410, DVGW G 638-1)
	Deckenstrahlplatten	Definition, Normierung und Prüfung von Effizienzkriterien der Wärmeübergabe - Einfluss niedriger Systemtemperaturen (Brennwertnutzung) - empirische Messung der Strahlungsleistung (Vergleichbarkeit mit anderen Strahlungsheizungen)	objektive energetische Bewertung sowie Vergleich mit anderen Strahlungsheizungen derzeit schwierig
		Maßnahmen zur besser gerichteten Strahlungsabgabe - Geometrie/Formgebung der Platten - Reflektoren, Abschirmung, oberseitige Dämmung - Abstände zu Wandbauteilen (Planung)	durch besser gerichtete Strahlungsabgabe wird ein größerer Anteil der abgegebenen Wärme zur Erwärmung des Aufenthaltsbereichs nutzbar
Beleuchtung		- Tageslichtnutzung durch transparente und transluzente Bauteile - bedarfsabhängige Steuerung der Beleuchtung (Präsenzkontrolle, Zeit- und/oder Tageslichtabhängigkeit)	Machbarkeit individuell zu prüfen (Fensterflächenanteil, typische Arbeitszeiten…)

13 Wechselwirkung EnEV ↔ EEWärmeG

13.1 EnEV 2009 und EEWärmeG 2008/2009: Situation und Vorschlag zur Fortschreibung

Zusätzlich zu den Anforderungen der EnEV ist für Neubauten in der Bundesrepublik Deutschland auch das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) einzuhalten. In Tabelle 14 sind die Anforderungen bzw. Erfüllungsoptionen des EEWärmeG im Überblick aufgelistet.

Tabelle 14 Überblick: Möglichkeiten zur Einhaltung des EEWärmeG 2008/2009

Erfüllung EEWärmeG zu 100%				Einschränkungen / zusätzliche Anforderungen
Nutzung erneuerbarer Energien	Solare Strahlungsenergie	15%	Deckung der Erzeugernutzwärmeabgabe (Übergabe, Verteilung, Speicherung)	• Zertifizierung der Kollektoren: "Solar Keymark"
	feste Biomasse	50%		• Einhaltung der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen • Mindestwert Kesselwirkungsgrad
	flüssige Biomasse	50%		• Erfüllung Nachhaltigkeitsverordnung • Einsatz mit Brennwertkessel
	gasförmige Biomasse in KWK	30%		• Nutzung nur in KWK-Anlagen (+ Anforderungen KWK) • Einhaltung von Nachhaltigkeitsforderungen
	Geothermie und Umweltwärme	50%		• Wärmemengen- und "Stromzähler" • Mindestwerte JAZ
Ersatzmaßnahmen	Anlagen zur Nutzung von Abwärme	50%	Deckung der Erzeugernutzwärmeabgabe (Übergabe, Verteilung, Speicherung)	• Nutzung durch Wärmepunpen: Anforderungen wie bei Geothermie und Umweltwärme • Nutzung mit Wärmeübertrager in zentraler Lüftungsanlage: WRG-Grad ≥ 70% • Nutzung hocheffizienter Anlagen: Primärenergieeinsparung gegenüber getrennter Erzeugung von Wärme und Elektroenergie
	KWK-Anlagen	50%		
	Maßnahmen zur Einsparung von Energie	**-15%**	**bezogen auf Anforderungen EnEV**	• **$q_P \leq 0{,}85 * q_{p,Ref}$** • **$\underline{U} \leq 0{,}85 * \underline{U}_{max}$ bzw. $H'_T \leq 0{,}85 * H'_{T,max}$**
	Nah-/Fernwärme, anteilig aus erneuerbaren Energien	Nah-/Fernwärmeerzeugung gemäß oben stehender Maßnahmen und Anforderungen		

Es ist davon auszugehen, dass die besonderen Aspekte von Hallengebäuden und der hierin üblicherweise verwendeten Anlagentechnik bei der Gestaltung des EEWärmeG (gültig seit Anfang 2009) nicht berücksichtigt wurden. So ist eine unmittelbare Erfüllung des EEWärmeG für zentral beheizte Hallen zwar prinzipiell möglich, bei dezentral beheizten Hallen existiert hierfür jedoch keine Möglichkeit. Die Einhaltung des EEWärmeG muss in solchen Fällen durch Ersatzmaßnahmen erfolgen. Anwendbar ist für gewöhnlich nur die nach EEWärmeG gegebene Möglichkeit einer 15%-igen Unterschreitung der EnEV-Anforderungen.

Aus Sicht der Autoren des Forschungsprojektes bestehen damit zwei grundlegende Probleme in Anwendung und Zusammenwirken von EnEV und EEWärmeG bei dezentral beheizten Hallenbauten.

- Die Anforderungen der EnEV, welche unter anderem den Einsatz energieeffizienter Anlagentechnik forcieren sollte, an das Heizungssystem sind bisher relativ gering (niedrig) und nicht mehr zeitgemäß. Zwang zu darüber hinausgehender Energieeinsparung geht stattdessen vom EEWärmeG aus.
- Das EEWärmeG formuliert seine Anforderungen an Neubauten bisher unterschiedslos für Wohngebäude und Nichtwohngebäude, dazu zählen in der Regel auch Hallengebäude. Eine Möglichkeit, das EEWärmeG unmittelbar, also durch tatsächliche Nutzung erneuerbare Energien, zu erfüllen, ist für Hallen oftmals nicht gegeben.

Für dezentral beheizte Hallengebäude sollten Möglichkeiten geschaffen werden, das EEWärmeG unmittelbar durch Nutzung erneuerbarer Energien zu erfüllen. Eine Möglichkeit besteht in der – bislang nicht gegebenen – Anrechenbarkeit von Bio-Erdgas bzw. Bio-Heizöl beim Einsatz in dezentralen Wärmeerzeugern.

Eine solche Änderung des EEWärmeG vorausgesetzt, erscheint es den Autoren zweckmäßig, die Anforderungen der EnEV an die Anlagentechnik zeitgemäßer als in EnEV 2009 festgehalten zu gestalten. Zweckmäßig scheint aus Sicht der Autoren der Einsatz eines Brennwert-Erzeugers, die EnEV-Referenzheizung könnte dann beispielsweise wie folgt formuliert werden:

- Warmluftheizung
- Dezentraler Warmlufterzeuger ohne Warmluftrückführung, 25-50kW, Erdgas, kondensierender Betrieb, Leistungsregelung 1 (einstufig oder mehrstufig/modulierend ohne Anpassung der Verbrennungsluftmenge), Axialventilator
- Luftauslass seitlich, normales Induktionsverhältnis
- Raumtemperaturregelung: P-Regler

Dieser Vorschlag wird – eine Änderung des EEWärmeG wie zuvor beschrieben vorausgesetzt – von der Projektgruppe mitgetragen.

13.2 Aktuelle Situation August 2012

Ein Vorschlag, biogene Brennstroffe bei Verwendung in dezentralen Hallenheizungen als direkte Maßnahme gemäß EEWärmeG anzurechnen, wurde durch ITG im Rahmen einer Telefonkonferenz mit zur Evaluierung des EEWärmeG beauftragten Gutachtern sowie durch die figawa im direkten Kontakt mit dem Umweltministerium eingebracht, fand jedoch bisher keine Berücksichtigung bei der Neugestaltung des EEWärmeG.

Somit ergibt sich durch die Wechselwirkung zwischen EEWärmeG und EnEV für dezentral beheizte Hallen vorerst weiterhin der Zwang zu einer Übererfüllung der EnEV-Anforderungen. Vor diesem Hintergrund lehnen die figawa-Arbeitskreise *Direktbeheizte Lüftungssysteme* und *Gas-Infrarotstrahlungsheizung* eine Verschärfung der Anforderungen des Referenzgebäudes für Hallen (h > 4m) gemäß Vorschlag aus 13.1 ab.

Die Fachdiskussion um die Novellierung der EnEV sowie des EEWärmeG sind im August 2012 noch nicht abgeschlossen, politische Entscheidungen stehen noch aus.

Aktuell liegt ein **Referentenentwurf der neuen Energieeinsparverordnung** (datiert vom 28.03. 2012) vor. Darin wird von einer Verschärfung des Anforderungsniveaus im Neubau von 7,5% bei Wohngebäuden und von 10% bei Nichtwohngebäuden (realisiert durch erhöhte Anforderungen auf der Anlagenseite beim Wärmeerzeuger) ausgegangen. Nach derzeitigem Stand wären allerdings Hallengebäude von dieser Verschärfung ausgenommen, da für Gebäude mit Raumhöhen > 4 m ein anderes Heizungssystem als Referenz gilt.

Für die Überarbeitung des **EEWärmeG** liegt seit wenigen Tagen der **Entwurf eines Berichts** über die Wirkung des Gesetzes seit 2009 im Rahmen des sog. Monitorings nach § 18 EEWärmeG vor. Verfasser des Berichts ist das Umweltministerium BMU – die fachliche Zuarbeit haben 4 wissenschaftliche Forschungsinstitute geliefert. Obwohl von Seiten der figawa und namentlich auch des Verfassers in diesem Kontext umfangreiche Materialien zum Thema Hallen und dezentrale Hallenheizung an den betreffenden Consultant übermittelt und die Bedeutung einer gesonderten Betrachtung nachdrücklich erläutert wurden, findet sich im Berichtsentwurf keinerlei differenzierte Betrachtung für verschiedene Nichtwohngebäude, für die meisten Beschreibungen wie auch Handlungsempfehlungen wird überhaupt nicht zwischen Gebäudearten unterschieden. Hier muss die weitere Diskussion verfolgt werden.

14 Wesentliche Ergebnisse des Projekts und Fazit der Autoren

Die Bewertung der Gesamtsituation des Bereichs Hallengebäude Deutschland bestätigt zum einen die bekannte Tendenz zur Überbewertung realer Energieverbrauchswerte in Energiebedarfsrechnungen nach DIN V 18599. Zum anderen zeigt sie auf, dass in Deutschland ein wesentlicher Heizenergieverbrauch auf Hallengebäude entfällt und hier erhebliches Einsparpotential vorhanden ist. Zudem wird klar herausgestellt, dass Maßnahmen im Hallenbestand ein deutlich größeres Einsparpotential bergen als eine zukünftige Verschärfung des Neubau-Anforderungsniveaus.

Im Ergebnis vielfältiger Untersuchungen zum Berechnungsablauf von Energiebedarfsberechnungen nach DIN V 18599 bzw. hierbei verwendeten Größen und Parametern wurden umfangreiche Änderungsvorschläge für die Norm erarbeitet und in den Entwurf für DIN V 18599:2011 eingebracht. Diese betreffen vorwiegend die Bewertung der Anlageneffizienz nach DINV 18599 Teil 5. Jedoch wurden auch hinsichtlich einer möglichst korrekten Bewertung bedeutsame Änderungen in den Normteil 2 (Überarbeitung Lüftungswärmeverluste) und 10 (Nutzungsprofile bzw. –parameter) eingebracht.

Schwerpunktmäßig ergeben sich durch die eingebrachten Normänderungen

- in vielen Fällen geringere Energiebedarfswerte als bisher
  (bessere Korrelation Bedarf / Verbrauch)
- eine bessere Erfassung hallenüblicher Nutzungen
- eine bessere Abbildbarkeit hallentypischer Wärmeübergabesysteme, einschließlich sinnvoller Differenzierung hinsichtlich energetisch relevanter Anlagenparameter

Die erarbeiteten Vorschläge zur Weiterentwicklung der DIN V 18599 sind von den zuständigen Normengremien angenommen worden.