Dipl.-Ing. Konrad Weber

Konditionierung gewerblicher und industrieller Hallengebäude

Vulkan Verlag

figawa

Dieser Beitrag ist ursprünglich als Teil des folgenden Werks erschienen: Handbuch der Gasverwendungstechnik (ISBN 978-3-8356-7372-4)

Konditionierung gewerblicher und industrieller Hallengebäude
Dipl.-Ing. Konrad Weber

© 2020 Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e.V.
Marienburger Straße 15, 50968 Köln
Telefon: +49 221 37 668 20, Internet: www.figawa.org

© 2020 Vulkan Verlag GmbH
Friedrich-Ebert-Straße 55, 45127 Essen, Deutschland
Telefon: +49 201 820 02-0, Internet: www.vulkan-verlag.de

Projektmanagement & Lektorat: Marie-Therese Hanschmann, Vulkan-Verlag GmbH, Essen
Umschlaggestaltung & Satz: Veronika Koppers, Vulkan-Verlag GmbH, Essen
Titelbild: ©iStockphoto.com/SimplyCreativePhotography

Das Werk einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen. Der Erwerb berechtigt nicht zur Weitergabe des E-Books an Dritte.
Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.
Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autor und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

Konditionierung gewerblicher und industrieller Hallengebäude

Dipl.-Ing. Konrad Weber

Gas ist der mit Abstand dominierende Energieträger bei der Raumkonditionierung gewerblich und industriell genutzter Hallengebäude. Lange Zeit wurden der Energieverbrauch dieser Gebäudeart und die damit induzierten klimarelevanten Emissionen wenig beachtet. In mehreren groß angelegten wissenschaftlichen Studien [1, 2] wurden in den letzten Jahren Hallen mit ihren Anlagentechniken und ihrem Energieverbrauch für die Raumkonditionierung näher untersucht.

Die Ergebnisse der Studien belegen die Bedeutung dieser Gebäudeart für den Industriestandort Deutschland: Hallengebäude haben mit ca. 15 % [2] einen relevanten Anteil am gesamten Endenergieverbrauch aller Gebäude für Raumwärme in Deutschland. Aufgrund der besonderen Gebäude- und Raumgeometrie, der Art der Nutzung und der damit verbundenen, speziellen Anforderungen an die Raumkonditionierung haben sich in gewerblichen und industriellen Hallengebäuden besondere Technologien entwickelt – diese werden nachfolgend in ihrer Wechselwirkung mit der Gebäudeart und -nutzung beschrieben.

Unter Berücksichtigung des hohen Anteils an Bestandsgebäuden wurde ein hohes Einsparpotenzial an Energie und klimaschädlichen Emissionen in Hallen identifiziert. Dementsprechend finden Hallengebäude und deren Anlagentechniken inzwischen sowohl in Vorgaben zum Gebäudeenergierecht wie auch in Förderprogrammen deutlich mehr Beachtung.

1. Hallengebäude

Hallengebäude bilden die Hüllfläche für vielfältigste Arten menschlicher Arbeit und stellen eine außerordentlich heterogene Gruppe der Nichtwohngebäude (NWG) dar (**Bild 1**). Es handelt sich dabei um so unterschiedliche Gebäude wie Werkstätten für Handwerk und Service, Fertigungs- und Montagehallen, Lager- und Logistikhallen (**Bild 2**), Depots zur Reparatur und Wartung von Verkehrsmitteln wie Busse, Lkw und Züge, Schiffswerften, Flugzeughangars, landwirtschaftliche Betriebsgebäude, große Verkaufsmärkte wie Baumärkte usw., Ausstellungs- und Versammlungsräume, Kulturgebäude, Sport- und Mehrzweckhallen usw.

Über den Neubau, die Gebäudepopulation und den Energieverbrauch von Hallengebäuden existieren in Deutschland keine konsistenten statistischen Daten, da die vorliegenden Statistiken (Destatis et al.) Gebäudearten und Energieverbräuche nicht entsprechend aggregieren. In zwei öffentlich geförderten Studien, die sich auf unterschiedliche Datenquellen stützen, kamen Wissenschaftler unabhängig voneinander unter Berücksichtigung aller vorliegenden statistischen Daten durch Hochrechnungen auf folgende Ergebnisse:

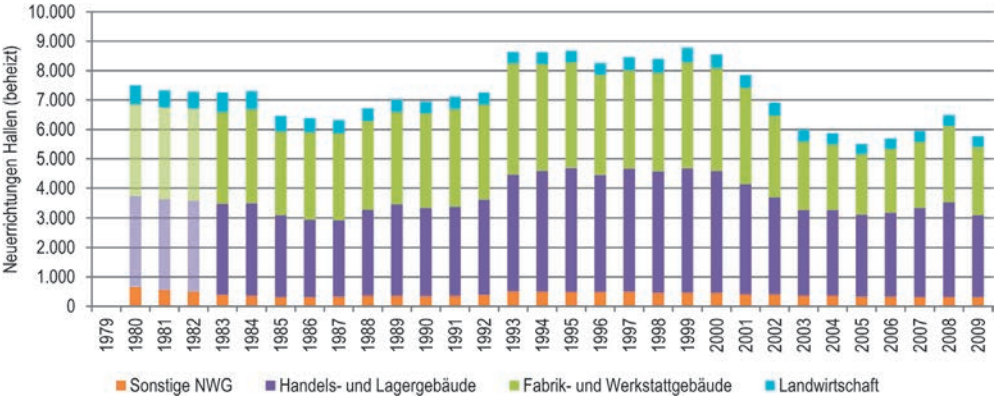


Bild 1: Übersicht neu errichteter, beheizter Hallengebäude (Darstellung hier: 1980–2009) [2]

Bild 2: Areal Logistikhalle in Biebesheim (Quelle: Alpha Industrial GmbH, Köln)

Bild 3: Solarkollektor zur Raumluftvorwärmung an der Außenfassade einer Halle (Quelle: GoGas)

- Der Bestand an Hallengebäuden in Deutschland liegt bei 420.000 [2] bis 480.000 [1] (Errichtungszeitraum 1960–2014 und älter).
- Jährlich werden in Deutschland zwischen 5.000 und 8.200 beheizte Hallen neu gebaut [13] (Schwankungsbreite für den Zeitraum von 2000–2015).
- Der Heizenergieverbrauch für Hallen beträgt ca. 15 % (61–116 Mrd. kWh) des gesamten Endenergieverbrauchs aller Gebäude für Raumwärme in Deutschland.

Gemeinsame Merkmale von Hallengebäuden sind in der Regel

- ein kommerzieller oder gewerblicher Nutzungszweck (außer: öffentliche Gebäude, z. B. Schulsporthallen oder Feuerwehrgerätehäuser),
- zusammenhängende Großräume von 100 bis über 50.000 m^2 Nettogrundfläche,
- Raumhöhen von > 4 bis über 20 m
- häufig eine an das Erdreich grenzende Bodenplatte, Ausführung ohne Unterkellerung,
- unverschattete Fassaden- und Dachflächen, die eine Nutzung von Solarstrahlung ermöglichen (**Bild 3**),
- häufig eine tageszeitlich begrenzte Nutzung (z. B. einschichtiger Betrieb einer Fertigungshalle),
- erwartbare Nutzungsveränderungen im Laufe des Gebäudelebenszyklus sowie
- Soll-Innentemperaturen, die häufig niedriger sind als in Wohn- oder Bürogebäuden.

Teilweise existieren gesetzliche Vorgaben (Technische Regeln für Arbeitsstätten, Verkaufsstättenverordnung, Versammlungsstättenverordnung) für die technische Ausführung und die Betriebsweise der Anlagentechniken in Hallen. Die spezifischen Anforderungen und die eingesetzte Anlagentechnik der Raumkonditionierung von Hallen (Beheizung, Lüftung, Kühlung, Beleuchtung, Warmwasserbereitung) resultieren jedoch häufig nicht nur aus dem Aufenthalt von Personen, sondern auch oder vorrangig aus der technologischen Nutzung des Gebäudes.

Charakteristische Beispiele:

- Lagerhallen mit empfindlichen Gütern benötigen z. T. eine Konstanthaltung von Temperatur und Luftfeuchte.
- In Fertigungsbetrieben (Metallverarbeitung etc.) (**Bild 4**) besteht häufig ein hoher Entlüftungsbedarf zur Abführung von Schadstoffen oder Abgasen aus thermischen Prozessen.
- In Großmärkten (Verkauf) steht der Energiebedarf für Beleuchtung und Lüftung im Vordergrund.
- Im stark expandierenden Bereich von Logistikhallen existiert durch den Transport von Lagergut in der Regel lokal ein erhöhter Heizleistungsbedarf in der Kommissionierzone in der Nähe der Tore.
- In Schulsporthallen (**Bild 5**) liegt ein hoher Warmwasserbedarf in den benachbarten Sozialräumen vor, dessen Deckung bevorzugt durch einen für die gesamte Schule zentralen Erzeuger oder in städtischen Gebieten evtl. durch einen Fern- oder Nahwärmeanschluss bedient wird.

Der Energiebedarf für technologische Nutzungen in Hallen (Prozesse, Antriebe, Maschinen, Transport) kann den Energiebedarf für die Raumkonditionierung bei weitem übersteigen – umgekehrt liegen in vielen Fällen Abwärmepotenziale vor, deren Nutzung bei der anlagentechnischen Planung nach Möglichkeit zuvorderst geprüft werden sollte.

Bauweise moderner Hallengebäude

Finden sich im historischen Bestand von Hallen noch zahlreiche, zum Teil architektonisch anspruchsvolle Gebäude in Massivbauweise, so überwiegt bei neueren Hallengebäuden seit über 20 Jahren eindeutig die Leichtbauweise (**Bild 6**, **Bild 7**). Um die Hüllflächen der zumeist rechteckigen Gebäude mit Flachdächern zu realisieren, werden an Tragwerkkonstruktionen aus Stahl, Beton und teilweise Holz an der Fassade großflächige Sandwich-, Trapezblech-

Bild 4: Moderne Fertigungshallen (Quelle: Goldbeck GmbH)

Bild 5: Sport- und Mehrzweckhalle/Großmarkt (Quelle: Goldbeck GmbH)

Bild 6: Innenansicht Leichtbauhalle mit schematisierten Hüllflächenelementen (Quelle: Leitfaden [3])

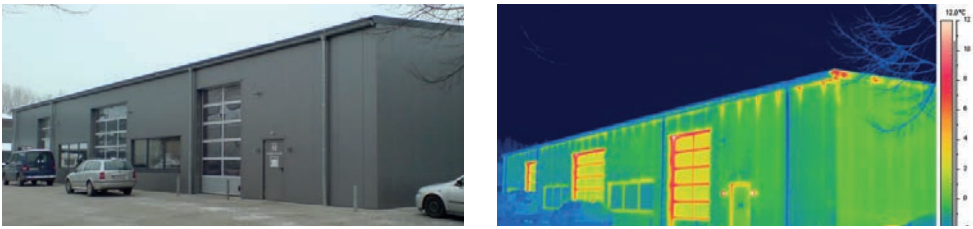


Bild 7: Foto und Thermografie-Aufnahme eines beheizten Hallengebäudes Baujahr 2009 (Quelle: Abschlussbericht Prof. Bolsius [4])

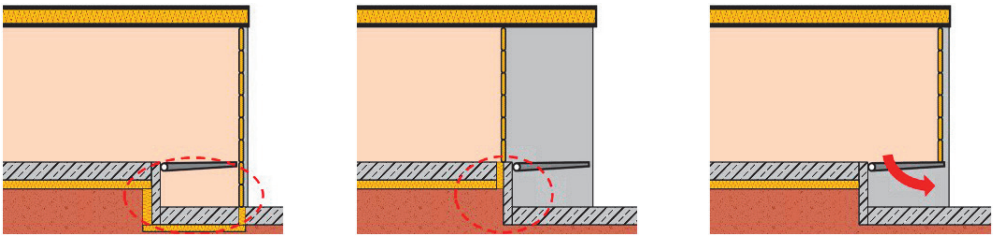


Bild 8: Verschiedene Ausführungen von Überladebrücken, schematisch; Bild links: als Teil der thermischen Hülle, Bilder Mitte und rechts: entkoppelt von der thermischen Hülle (Quelle: Leitfaden [3])

oder Paneel- sowie teilweise Betonelemente angebracht, die Dachhaut besteht vorwiegend aus mit Isoliermatten belegten Trapezblechen oder Sandwich-Isolierpaneelen.

Bild 9: Logistikhalle mit Ladebrücken (Quelle: Goldbeck GmbH)

Die einzige relevante Speichermasse der Hüllfläche dieser in Leichtbauweise errichteten Hallengebäude stellt in der Regel die Bodenplatte dar, die bei größeren Gebäuden häufig nur im Randstreifen (5 m horizontal) gedämmt ausgeführt wird.

Mögliche energetische Schwachstellen moderner in Leichtbauweise errichteten Hallengebäude stellen häufig die Stoßstellen der großflächigen Fassadenelemente sowie die Hallentore dar.

Ein besonderes Funktionselement gewerblicher Hallengebäude stellen sog. Überladebrücken (Ladestellen) dar (**Bild 8**, **Bild 9**). Ihre Konstruktion beinhaltet eine stabile, bewegliche Stahlplatte, mit der beim Warentransport zwischen Lkw und Halle Höhendifferenzen zwischen den Ladeflächen kompensiert werden. Sind die teilweise in großer Anzahl vorhandenen Überladebrücken Teil der thermischen Hülle des Gebäudes, so können erhebliche Heizenergieverluste auftreten.

Bild 10: Beheizung des Kommissionierbereichs einer Logistikhalle mit Hellstrahlern (Quelle: Schwank GmbH)

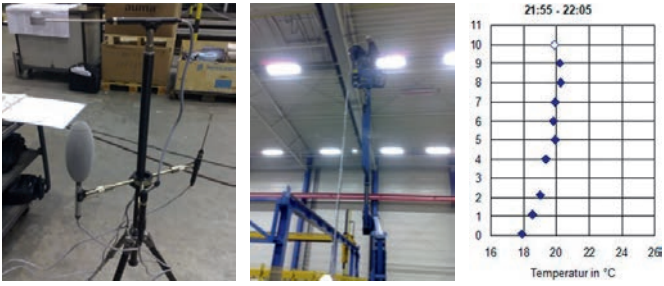


Bild 11: Teile des Messequipments (Temperatur- und Strahlungssensoren) und beispielhaftes Ergebnis in Form eines vertikalen Lufttemperaturprofils einer Halle (Quelle: Abschlussbericht Prof. Bolsius [5])

2. Forschungsprojekte Hallengebäude/Hallenheizsysteme

Zur näheren Untersuchung der raumklimatischen Verhältnisse und der Wirkung verschiedener Heizsysteme in modernen Hallengebäuden (**Bild 10**) wurde während der Heizperiode 2009/2010 eine wissenschaftliche Messkampagne gestartet (**Bild 11**). Im Auftrag des Europäischen Leitverbandes der Hersteller von Gas-Infrarotstrahlern ELVHIS untersuchte ein Team der Hochschule Zittau/Görlitz unter Leitung von Herrn Prof. Dr. Bolsius die Raumlufthygiene und thermische Behaglichkeit im Aufenthaltsbereich von zehn Hallengebäuden [5] (Errichtungszeitraum 2006–2009), die mit gasbetriebenen Hellstrahlern beheizt wurden.[1]

[1] Die Ergebnisse dieser empirischen Untersuchungen können aufgrund ähnlicher Wirkmechanismen weitgehend auf mit gasbetriebenen Dunkelstrahlern beheizte Hallengebäude übertragen werden.

Die untersuchten Hallengebäude (Nutzungen: Lager, Produktion, Montage, Maschinenbau, Betonfertigung, Anlagenbau) erstreckten sich über Nutzflächen von 800 bis 16.400 m^2 und Raumhöhen von 5,5 bis 24 m. Teilweise fanden in den Hallen intensive Schweißarbeiten sowie Stapler- und Lkw-Verkehr mit der Freisetzung entsprechender Abgase statt.

Untersuchungsparameter waren
- Lufttemperaturprofile über der Raumhöhe an charakteristischen Positionen der Halle,
- horizontale Temperaturverteilungen der Lufttemperatur, der Strahlungstemperatur und der operativen Temperatur, [2]
- Oberflächentemperaturverteilung (Thermografie),
- Luftschichtungen und Raumluftströmungen (Nebelversuche),
- die Verteilung der Luftgeschwindigkeit und der Luftfeuchte, Zeitverläufe,
- die Konzentration von CO, CO_2 und NO_x in der Raumluft, vertikale Profile, Zeitverläufe,
- eine Veränderung der Parameter bei Toröffnungen/Verkehr,
- die Außenluftbedingungen (Temperatur, CO_2) sowie
- Langzeitmessungen einzelner Parameter (Temperaturen, Luftfeuchte).

Für jede einzelne Halle wurden detaillierte Messprotokolle und Auswertungen erstellt. Die Ergebnisse von drei der zehn Hallen wurden in einer zweiten Projektphase von Wissenschaftlern der TU Dresden (Dr.-Ing. J. Seifert et al.) genutzt, um ein an der TU Dresden weiterentwickeltes Jahressimulationsprogramm von Gebäuden mit Anlagentechnik TRNSYS auf die Verhältnisse in Hallengebäuden zu adaptieren [2].

In einer Folgestudie im Auftrag der Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach figawa wurden im Jahre 2011 weitere sieben Hallengebäude ähnlichen Zuschnitts – beheizt mit Warmluftheizsystemen (**Bild 12**) – vom gleichem Messteam unter Leitung von Prof. Dr. Bolsius unter den gleichen Parametern untersucht [6].

Nachfolgend werden einige interessante Detailergebnisse der Untersuchungsprojekte [4, 5, 6] vorgestellt.

---

[2] Die operative Raumtemperatur nach DIN EN ISO 7730 wird üblicherweise aus der Mittelung der Messungen der Halbraumstrahlung (unten/oben) und der Lufttemperatur – oder integral mit einem Globe-Thermometer – ermittelt. Die Messungen im hier beschriebenen Projekt weichen hiervon insofern ab, als auf Vorschlag von Herrn Prof. Dr. Bolsius ein dem Globe-Thermometer verwandtes Messinstrument mit ovaler statt (kugel-)runder Oberfläche verwendet wurde. Die ovale Hülle ist der menschlichen Körperform näher als die Kugeloberfläche eines Globe-Thermometers und für Messungen zur Behaglichkeit von Personen somit besser geeignet. Zwischen Messungen mit kugel- und eiförmiger Oberfläche ergeben sich folglich geringe Unterschiede, welche bei der Behaglichkeitsbewertung industrieller Räume jedoch nur eine geringe Rolle spielen. Die Begriffe „operative Temperatur“ bzw. „Empfindungstemperatur“ beziehen sich im Rahmen der vorliegenden Arbeit auf Messungen mit ovaler Hülle.

Bild 12: Warmlufterzeuger mit Verteiler unter der Decke montiert (Quelle: nordluft Wärme- und Lüftungstechnik GmbH & Co. KG)

Thermische Behaglichkeit und Raumluftqualität

In den Aufenthaltsräumen der untersuchten Hallen wurde für gewerbliche und industrielle Belange generell eine ausreichende thermische Behaglichkeit festgestellt. In der Hallenfläche bilden sich mit allen untersuchten Heizsystemen relativ homogene Raumtemperaturen aus, Strahlungsasymmetrien und Strahlungstemperaturdifferenzen halten sich in akzeptablen Grenzen, Luftströmungen waren in den Aufenthaltsbereichen nicht spürbar (messtechnisch deutlich < 0,2 m/s). Anfällig zeigten sich Arbeitsplätze in Tornähe in mit Warmluftsystemen beheizten Hallenzonen durch eintretenden Kaltlufteinfall bei Toröffnungen.

Die Raumluftqualität in den gemessenen Hallen während des Heizbetriebes konnte in allen Fällen als gut bis sehr gut bezeichnet werden – dies gilt auch für die Hallen, die mit gasbetriebenen Hellstrahlern mit indirekter Abgasführung beheizt wurden und in denen zudem Abgase aus intensiven Schweißprozessen und Verkehr mit Verbrennungsmotoren auftraten. Trotz niedriger Luftwechselraten (0,05 bis 0,14 h^{-1}) in den so betriebenen Hallen lagen die gemessenen Gehalte an Kohlenmonoxid und Kohlendioxid weit unter den entsprechenden MAK-Werten. Die gemessenen Stickoxidkonzentrationen waren in allen Fällen vernachlässigbar gering (mit 0 bis 3 ppm) bzw. lagen an der Nachweisgrenze der eingesetzten Analysatoren.

Raumtemperatur und vertikales Lufttemperaturprofil

In den mit Warmluftsystemen beheizten Hallen lagen die Strahlungstemperaturen (mittlere Oberflächentemperaturen des Raumes), Lufttemperaturen und die operativen Raumtempe-

raturen (auch Empfindungstemperaturen genannt) in der Regel nahe beieinander. Tendenziell und systematisch werden in diesem Fall ja die Oberflächen des Raumes (im Heizfall) durch einen entsprechenden Warmluftstrom erwärmt.

In den mit gasbetriebenen Heizstrahlern (montiert im Deckenbereich) beheizten Hallen lagen die durchschnittlichen Lufttemperaturen im Aufenthaltsbereich in der Regel um 1,5 bis 2 K unter den Raumtemperaturen. Hier finden sich gleichzeitig Fußbodentemperaturen, die um 1 bis 3 K über den Lufttemperaturen im Aufenthaltsbereich liegen. Die gewünschte Raumtemperatur wird in diesen Fällen also durch die direkte Wärmestrahlung der Heizgeräte von oben und sekundär durch einen leicht erwärmten Fußboden erzielt.

Abhängig vom Wärmeabgabesystem der Beheizung bilden sich in den Hallen charakteristische vertikale Lufttemperaturprofile aus. Bei den mit Heizstrahlern im Deckenbereich beheizten Hallen liegt der typische Temperaturgradient – ähnlich wie auch bei mit Industriefußbodenheizungen oder mit wasserführenden Deckenstrahlplatten beheizten Großräumen – zwischen 0 und 0,3 K/m Raumhöhe.

Bei Hallenbeheizung mit Warmluftsystemen und entsprechender Warmluftrückführung von der Decke bzw. mit Rezirkulationssystemen und niedrigen Heizmedientemperaturen wurden Temperaturgradienten zwischen 0,2 und 0,5 K/m Raumhöhe gemessen. Bei anderen Warmluftsystemen kann der Temperaturgradient deutlich höher liegen.

Raumluftschichtung

In den mit gasbetriebenen Heizstrahlern beheizten Hallen stellen sich außerhalb direkter Tornähe sehr stabile Temperaturschichtungen ein (**Bild 13**). Vom durch die Heizstrahler leicht erwärmten Fußboden steigt ein leichter, vom Menschen nicht wahrnehmbarer Konvektionsstrom ohne wesentliche Mischungseffekte nach oben auf. Nur im Bereich schlecht isolierter (geschlossener) Tore deuten sich zum Teil leichte Fallströmungen an.

Bild 13: Nebelversuche in mit Heizstrahlern beheizten größeren Hallen zeigen stabile Luftschichtungen; die erkennbaren Nebelwolken bleiben für längere Zeit nahezu unverändert (Quelle: Abschlussbericht Prof. Bolsius [5])

In sehr kleinen und niedrigen Hallen mit häufigen Toröffnungen stellen sich dagegen keine stabilen Luftschichtungen ein, hier sind die Verhältnisse durch die thermisch und windinduzierten Luftströmungen durch die Tore dominiert.

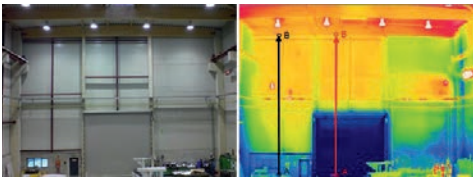


Bild 14: Torbereich Beispielhalle A: kalte Stellen im Tor- und Türbereich sowie an den Fassadenstößen zeigen Wärmebrücken und Kaltlufteinfall – deutlicher Unterschied beim Wärmeschutz zwischen Tor und Fassade zu erkennen (Quelle: Abschlussbericht Prof. Bolsius [5])

Bild 15: Torbereich Beispielhalle B: kaum ein Unterschied beim Wärmeschutz zwischen Tor und Fassade zu erkennen, Kaltlufteinfall an Tür in diesem Fall durch leicht offenstehende Tür (bedingt durch Messvorgänge) (Quelle: Abschlussbericht Prof. Bolsius [5])

Bauliche Ausführung und thermisches Verhalten

Durch systematische Thermografie-Aufnahmen der untersuchten Hallen während der Heizperiode konnten die Schwachstellen der Gebäudehülle und teilweise der baulichen Ausführung kenntlich gemacht werden (**Bild 14**, **Bild 15**).

Wiederholte Messungen von Temperaturverläufen während der Nutzungszeit (mit Toröffnungen und Materialverkehr) und Nichtnutzungszeit der Hallen (Tore geschlossen) zeigten ein spezifisches Phänomen des thermischen Verhaltens dieser Gebäude auf: Kaltlufteinfall durch Toröffnungen sowie Undichtigkeiten an Fassadenstoßstellen kann sich aufgrund fehlender Trennwände ähnlich wie ein Wasserstrom über die gesamten Fußbodenfläche ausbreiten und zur Auskühlung der gesamten Bodenplatte führen. Auf die Ausführung der Tore, ihre bedarfsgerechte Bedienung (z. B. durch automatische Schnelllauftore) und auf die Ausführung der Stoßstellen der großen Leichtbau-Fassadenelemente ist deshalb bei der Planung und Realisierung von modernen Hallengebäuden aus energetischer Sicht besonders zu achten.

Forschungsprojekt GAEEH [2] (Abschluss 2011)

Im Forschungsprojekt „Gesamtanalyse Energieeffizienz von Hallengebäuden“ (GAEEH) (Bearbeitung durch ITG Dresden und Uni Kassel, Projektleitung figawa, Förderung durch Mittel der Forschungsinitiative Zukunft Bau des BBSR AZ: SF-10.08.17.7-09.45/II3-F20-09-047) wurde der Sektor Hallengebäude in Deutschland unter teilweiser Verwendung der oben beschriebenen empirischen Daten erstmals systematisch untersucht. Als Hallen wurden alle Gebäude mit Großräumen (Nutzfläche > 100 m^2, lichte Raumhöhe > 4 m) – überwiegend ohne Zwischenwände und Zwischendecken – verstanden, die überwiegend gewerblicher oder sportlich/kultureller Nutzung dienen.

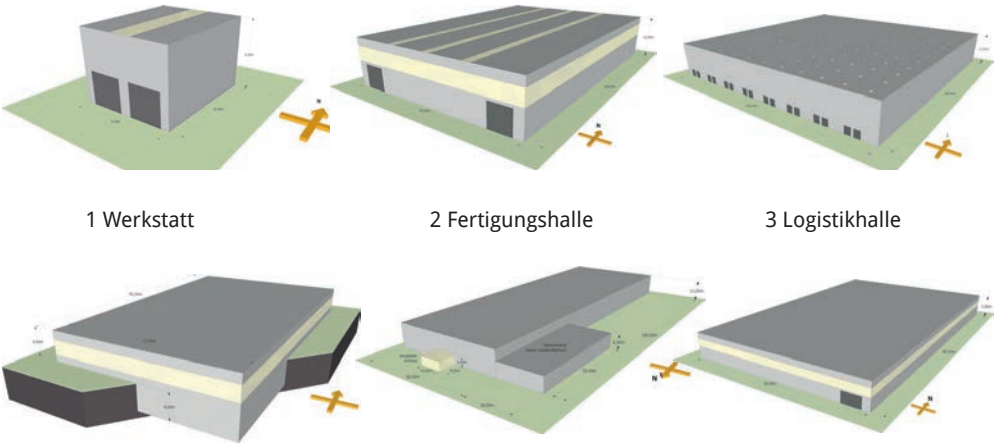
Bauweisen, Geometrien, Konstruktionen, verwendete Baustoffe und Bauteile von Hallengebäuden im Neubau und Bestand wurden in dem Projekt detailliert beschrieben. Auf Basis von spezifischen Kennwerten aus Bauteilkatalogen wurden die wirksame Speicherfähigkeit und die thermische Zeitkonstante typischer Hallengebäude berechnet.

Aus vorliegenden Luftdichtigkeitsmessungen an 36 neuen Hallen- und Bürogebäuden wurden Infiltrationsraten und nutzungsbedingte Luftwechselraten bestimmt.

Für die nachfolgenden umfangreichen Simulationsrechnungen (TU Dresden) wurden für die Gesamtpopulation von Hallen sechs Modellgebäude mit unterschiedlichem Errichtungszeitraum und unterschiedlicher baulicher Ausführung (1980 (Massivbau) bis 2009 (Leichtbau)) und Wärmeschutzniveaus und für diese Gebäude typische Nutzungsprofile definiert (**Bild 16**). Mit diesen Festlegungen wurden die Normheizlasten der Modellgebäude und ihrer Varianten nach DIN EN 12831 berechnet. Die Ergebnisse der so ermittelten nutzflächenspezifischen Heizlasten variierten zwischen ca. 410 W/m^2 (Werkstatt mit hohem Lüftungsbedarf, Baujahr 1980 nach Wärmeschutzverordnung Status 1980) und ca. 30 W/m^2 (Logistikhalle, Neubau 2009 nach geltender EnEV 2009).

In der zweiten Phase des Projektes wurden auf Basis der so definierten und variierten Modellgebäude Simulationsrechnungen mit verschiedenen Hallenheizsystemen mittels einer an der TU weiterentwickelten Software TRNSYS durchgeführt. Die Simulation erfolgte mit einem vereinfachten Zonenmodell – der Luftraum der Hallen wurde dabei in eine Anzahl von Zonen (im Wesentlichen vorstellbar als waagerechte Scheiben) unterteilt, zwischen denen die Austauschvorgänge stattfinden. Die technischen Daten der Wärmeabgabesysteme wurden dabei möglichst exakt abgebildet.

Bei den instationären Simulationsrechnungen wurden den Gebäudehüllen außen die Klimadaten eines Testreferenzjahres aufgeprägt. Zentrales Rechenergebnis ist dann der Jahresheizenergieverbrauch des Gebäudes mit den verschiedenen Heizsystemen.



1 Werkstatt | 2 Fertigungshalle | 3 Logistikhalle

4 Turnhalle (teilweise unter Erdgleiche) | 5 Baumarkt mit Gartenbereich | 6 Lebensmittelmarkt

Bild 16: Modellgebäude für Simulationsrechnungen (Quelle: Abschlussbericht GAEEH [2])

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 u. a. die Anordnung des Gebäudes (freistehend oder mit angrenzender Halle) und der bauliche Wärmeschutz, darunter Ausführung der Bodenplatte mit/ohne Dämmung, Torluftwechsel, Infiltrationsluftwechsel, lokale Verteilung der Undichtigkeiten in der Gebäudehülle, innere Wärmequellen sowie Nutzungszeiten, insbesondere unterschiedliche Jahresnutzungszeiten.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in umfangreichen Berichten dokumentiert und lieferten die Grundlage der energetischen Bewertung von Hallenheizsystemen in der Normenreihe DIN V 18599:2011 – hier insbesondere in Teil 5 der Normenreihe (siehe dazu Kapitel 4). Mittelbar gingen die Ergebnisse mit ihren Kategorisierungen und energetischen Bewertungen damit auch in die folgende Fassung der Energieeinsparverordnung ein.

Forschungsprojekt EEEEH [9] (Abschluss 2015)

In einem weiteren Forschungsprojekt mit dem Titel „Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien in Hallengebäuden – Neubau und Bestand“ (EEEEH) (Bearbeitung durch ITG Dresden und Weber Energieconsult, Projektleitung figawa, Förderung durch Mittel des BMWi, Förderkennzeichen 03MAP285) wurde in einer ersten Projektphase die Einordnung und Behandlung von Hallengebäuden und der darin eingesetzten Anlagentechnik in deutschen und europäischen Regelwerken beschrieben. In diesem Kontext wurden zur Unterstützung des Planungsprozesses der Leitfaden zur Planung neuer Hallengebäude nach Energieeinsparverordnung EnEV 2014 und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz 2011 [3] erstellt (herunterladbar auf der Website der figawa: www.figawa.de).

In einer zweiten Projektphase wurde ein Konzept des Niedrigstenergiestandards für Hallengebäude 2019/2021 (gemäß der Europäischen Direktive EPBD) entwickelt.

In der dritten Projektphase wurden schließlich Schritte zu einem Szenario eines klimaneutralen Gebäudebestandes von Hallengebäuden bis zum Jahr 2050 erarbeitet (**Bild 17**).

3. Messtechnik für Raumtemperatur und Energieeffizienz in Hallen

Anders als in Wohnräumen oder in Räumen von Geschossgebäuden (Büros etc.) sind in Großräumen mit großen Raumhöhen und speziell in Hallen mit den dort üblichen Heizsystemen zur Charakterisierung der thermischen Behaglichkeit und der Energieeffizienz der Beheizung die physikalischen Wirkmechanismen des Wärmeübergangs im Aufenthaltsbereich (siehe dazu auch Kap. 2) von zentraler Bedeutung.

Zur qualitativen Charakterisierung der Wirkmechanismen und quantitativen Erfassung der einzelnen Parameter des Wärmeübergangs wurden folgende – teilweise spezielle – Messtechniken entwickelt und eingesetzt:

Bild 17: Dunkelstrahler mit Abgaswärmenutzung (Quelle: Kübler GmbH)

- **Raumtemperatur**
  Die operative Raumtemperatur nach DIN EN ISO 7730 [10] kann üblicherweise aus der Mittelung der Messungen der Halbraumstrahlung (unten/oben) und der Lufttemperatur – oder einfacher und integral mit einem Globe-Thermometer – ermittelt werden (siehe auch Kap. 2).

- **Oberflächentemperaturen/Strahlungstemperaturen**
  Die Oberflächentemperaturen von Hallengebäuden (mit Ausnahme der Oberflächentemperaturen von Strahlungsheizflächen) lassen sich mit hinreichender Genauigkeit mittels Thermografie-Aufnahmen bestimmen. Diese Aufnahmen sind insbesondere aufschlussreich, um evtl. Schwachstellen der baulichen Hülle (Tore, Stoßstellen der Fassadenelemente etc.) zu identifizieren.

- **Vertikales Lufttemperaturprofil**
  Es empfiehlt sich, eine Anzahl abgeglichener Thermoelemente in verschiedenen Raumhöhen – z. B. montiert an einer Kette – zu verwenden. Die niedrigste Position sollte knapp über der Fußbodenfläche (ca. 10 cm) liegen, im Bereich der Aufenthaltszone sollten mehrere Elemente platziert sein, die höchsten Elemente schließlich knapp unter der Decke. Die Thermoelemente müssen gegenüber Strahlungseinfluss durch verschiedene Strahlungsquellen (Heizflächen, Maschinen, Öfen etc.) abgeschirmt sein.

- **Luftschichtung**
  Zur Sichtbarmachung und qualitativen Charakterisierung der Raumluftströmung und Luftschichtung eignen sich die dargestellten Nebelgeneratoren.

- **Strahlungsleistung**
  Zur exakten Bestimmung der von Strahlungsheizflächen an den Raum emittierten Strahlungsleistung eignen sich radiometrische Messverfahren. Kernelement ist hier eine auch aus der Optik bekannte, zwecks diffuser Reflexion innen mit Korund gestrahlte und mit Gold beschichtete Ulbricht-Kugel (**Bild 18**), die einfallende Strahlung aus unterschiedlichen

Bild 18: Blick in das Innere einer Ulbricht-Kugel (korundgestrahlt, vergoldet) nach Spezifikation der PTB 2017 (Quelle: ELVHIS)

Richtungen integriert und mit einem geeigneten Sensor (in Abhängigkeit vom jeweiligen Wellenlängenbereich der emittierten Infrarotstrahlung) erfasst. Die an einem Schwarzkörperstrahler kalibrierte Ulbricht-Kugel erfasst lokal die aus dem Halbraum eintreffende Wärmestrahlung und kann zur Bestimmung der kompletten Strahlungsleistung auf einem Messgitter unterhalb des Infrarotstrahlers beweglich positioniert werden. Das Messprinzip wird im Bereich von gasbetriebenen Heizstrahlern (charakteristische Oberflächentemperaturen 400-950 °C) seit langer Zeit angewendet. Aktuell wurde durch eine wissenschaftliche Studie der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt PTB [11] Fachbereich Detektorradiometrie und Strahlungsthermometrie (Prof. Dr.-Ing. Hollandt, Dr.-Ing. Taubert, 2017) das Messverfahren[3] durch exakte Spezifizierung der Ulbricht-Kugel präzisiert.

- **Luftfeuchte und Luftströmung** können (wie auch die Spezies CO, CO_2 und NO_x) mit üblichen Messgeräten bzw. Analysatoren erfasst werden.

4. Vorschriften/Regelwerke Hallen und Hallenheizung

Neue Norm DIN EN 12831-1:2017 [12] mit Entwurf DIN SPEC 12831-1:2018 [13]

Die neue Fassung der europäischen Norm zur „Berechnung der Norm-Heizlast" von Gebäuden wurde im Jahre 2017 veröffentlicht. Sie wird in Deutschland in Verbindung mit dem neuen nationalen Anhang (in Form einer DIN SPEC) voraussichtlich Ende 2018 oder Anfang 2019 in Kraft treten. Die neue Norm enthält eine ganze Reihe von relevanten Änderungen, Präzisierungen und Aktualisierungen. Speziell für die Heizlastberechnung in Hallengebäuden[4] wird es folgende Neuerungen geben:

---

[3] Das Messverfahren ist grundsätzlich auch für die Erfassung der Strahlungsleistung von Strahlflächen geringerer Temperaturen wie z. B. von 50 bis 90 °C – wie bei wassergeführten Deckenstrahlplatten üblich – geeignet, einzelne Parameter müssten allerdings für diesen Einsatzfall angepasst werden.

[4] Hinweise:
Die Heizlast [kW] nach DIN EN 12831-1 wird – abgesehen vom Einfluss des Wärmeübergabesystems in hohen Räumen – als eine Eigenschaft des Gebäudes bei individuellen Auslegungsbedingungen (lokale Klimadaten, Auslegungsinnentemperatur) berechnet.
Dagegen erfolgt die Berechnung des flächenspezifischen Heizenergiebedarfes [kWh/m²a] bzw. Primärenergiebedarfes eines Gebäudes im Rahmen des energetischen Nachweises des Gebäudes (siehe fol-

Bild 19: Warmlufterzeuger mit seitlichen Verteilern, montiert unter der Hallendecke (Quelle: LK Metallwaren GmbH)

- Bei großen Raumhöhen (h > 4 m) wird – in weitgehender Analogie zur Bewertung in der DIN V 18599-5 – der Einfluss des Wärmeübergabesystems differenziert berücksichtigt.[5]
- Die neue Norm bietet die Möglichkeit, den Luftvolumenstrom bzw. den zusätzlichen Lüftungswärmeverlust durch anhaltend offenstehende große Öffnungen – z. B. Hallentore – zu berücksichtigen. Diese Möglichkeit stellt einen Sonderfall dar und soll in der Planungsphase nur nach expliziter Vereinbarung mit dem Auftraggeber angewandt werden.

Normenreihe DIN V 18599 [14, 15]

Als Regelwerk zur energetischen Bewertung von Nichtwohngebäuden – so auch Hallengebäuden (**Bild 19**) – wird in Deutschland die Normenreihe DIN V 18599 herangezogen, ein sehr umfangreiches Regelwerk, das neben den energetischen Eigenschaften des Gebäudes und deren Nutzung die Energieeffizienz aller Teilgewerke der Raumkonditionierung (also neben Heizung auch Lüftung, Warmwasserbereitung, Beleuchtung und Kühlung – soweit vorhanden) und deren Wechselwirkung miteinander quantitativ bewertet[6].

genden Textabschnitt) zwecks Umsetzung eines bundesweit einheitlichen Anforderungsniveaus unter Standardnutzungsbedingungen, also genau unabhängig von den konkreten geographisch-klimatischen Daten und Nutzungen.

[5] Siehe DIN EN 12831-1:2017

[6] In den aktuellen Vorgaben des Gebäudeenergierechts (EnEV 2014 [7] und EEWärmeG 2011 [8]) wird auf die Version 2011 der Normenreihe DIN V 18599 [14] Bezug genommen – eine erwartete Neufassung des Gebäudeenergierechts wird voraussichtlich auf die aktuellere Fassung der Normenreihe DIN V 18599 aus dem Jahr 2016 Bezug nehmen. Für den Bereich Hallengebäude und Hallenheizung gibt es zwischen den beiden Fassungen 2011 und 2016 jedoch kaum relevante Veränderungen.

Tabelle 1: Standardnutzungsbedingungen Hallenzonen nach DIN V 18599-10:2011 [14] (Auszug)

Nutzung	Raum-solltem-peratur	Jährliche Nutzungs-tage	Mindestaußenluft-volumenstrom	Beleuchtungs-stärke	Interne Wärme-quelle
	$\theta_{i,h,soll}$	$d_{nutz,a}$		$\bar{E}_m$	$q_{l,p} + q_{l,fac}$
	°C	d/a	m³/m²h	lx	Wh/(m²·d)
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	—

Die wichtigsten Teile der Normenreihe DIN V 18599 für den Bereich Hallenheizung sind:

- **Teil 2: Nutzenergiebedarf des Gebäudes für Heizen und Kühlen**
  In diesem Teil werden die wärmetechnischen Eigenschaften des Gebäudes, seine Einteilung in Zonen, die Art des Heiz- und ggf. des Kühlbetriebes sowie die Art und Berechnung der Be- und Entlüftung dargestellt.

- **Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen**
  Alle Heizsysteme werden zunächst systematisch in vier Bilanzierungsabschnitte eingeteilt:

  » Wärmeerzeugung
  » Wärmeverteilung (durch ein Heizmedium, sofern vorhanden)
  » Wärmespeicherung (mittels separatem Speicher, sofern vorhanden)
  » Wärmeübergabe und Raumtemperaturregelung.

  Differenzierungsmerkmal für Hallen ist hier die Raumhöhe (> 4 m), für deren Wärmeübergabeverhältnisse hallenspezifische Systeme, Kategorien und Bewertungen herangezogen werden.

- **Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten**
  In diesem Normenteil wird neben den Klimadaten (Außentemperaturen und Solarstrahlung – einheitlich für den Wirtschaftsraum Deutschland) mittels der sogenannten Standardnutzungsprofile die Nutzung des Gebäudes (genauer der Zonen des Gebäudes – also Nutzungszeiten, Solltemperaturen, Beleuchtungsstärke, Warmwasser- und Lüftungsbedarf, gegebenenfalls innere Wärmequellen etc. – insgesamt durch ca. 30 Kenngrößen) detailliert definiert. Zur Beschreibung der Nutzung von typischen Hallenzonen (als Unterkategorie der Zonen von Nichtwohngebäuden) hält der Normenteil 10 sechs Standardnutzungsprofile bereit (**Tabelle 1**).

Die komplexen Berechnungsvorgänge (z. B. zur Führung des Nachweises bei der Planung neuer Gebäude nach gültiger Energieeinsparverordnung EnEV 2014 und Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz 2011) sind nur mit entsprechenden Softwareprogrammen möglich. Aber auch mit einer komfortablen Software bleibt die Durchführung der Berechnung eine anspruchsvolle Aufgabe mit zahlreichen Fallstricken oder Fehlermöglichkeiten.

Zur Unterstützung des Planungsprozesses und des dafür notwendigen Vorgangs der Berechnung des End- bzw. Primärenergiebedarfs von Hallengebäuden wurde im Rahmen des Projektes „Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien in Hallengebäuden – Neubau und Bestand“ [9] im Auftrag der figawa ein „Leitfaden zur Planung neuer Hallengebäude nach EnEV 2014 und EEWärmeG 2011“ [3] erstellt (**Bild 20**). Der Leitfaden kann kostenlos von der Website der figawa (www.figawa.de) heruntergeladen werden.

EnEV / EEWärmeG / GEG [16]

Die energierechtlichen Anforderungen an (neue) Gebäude sind auf Bundesebene bisher in zwei separaten technischen Regelwerken festgehalten:

- Energieeinsparverordnung – aktuell EnEV 2014 / Stufe 2016 [7]
- Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG 2011 [8].

Bild 20: Leitfaden zur Planung neuer Hallengebäude mit Inhaltsverzeichnis (Quelle: figawa)

Die EnEV 2014 [7] formuliert für neu zu errichtende Gebäude drei Hauptanforderungen:

- Baulicher Mindestwärmeschutz
- Primärenergiebedarf des Gebäudes
- Sommerlicher Wärmeschutz.

Dabei werden die primärenergetischen Anforderungen an Nichtwohngebäude (NWG) – so auch Hallengebäude – mit Hilfe eines sogenannten Referenzgebäudes ermittelt: Anstelle eines real geplanten Gebäudes wird der Primärenergiebedarf eines virtuellen Gebäudes gleicher Größe, Ausführung und Nutzung mit genau festgelegten energetischen Eigenschaften (eben denen des Referenzgebäudes) berechnet. Das reale Gebäude muss dann den so ermittelten Primärenergiebedarf mindestens einhalten bzw. pauschal um 25 % unterbieten (nähere Details dazu siehe o. g. Leitfaden). In den Festlegungen des Referenzgebäudes für NWG finden sich wiederum Differenzierungen der Merkmale und Ausprägungen für Raumhöhen ≤ 4 m bzw. > 4 m (hallenspezifisch).

Das EEWärmeG 2011 [8] (auf Bundesebene nur relevant für Neubauten, in Baden-Württemberg existiert daneben das Erneuerbare-Wärme-Gesetz EWärmeG-BW 2015 [17] mit Geltung auch im Gebäudebestand), verlangt für Neubauten die Nutzung eines bestimmten Anteils erneuerbarer Energien zur Bereitstellung des Wärmeenergiebedarfs (für Heizung, Kühlung und Warmwasserbereitung). Dabei definiert das Gesetz, welche Formen erneuerbarer Energien und welche Nutzungstechnologien zur Gesetzeserfüllung anerkannt werden und welche nicht.

Alternativ zur Nutzung erneuerbarer Energien ermöglicht das EEWärmeG die Gesetzeserfüllung durch Maßnahmen zur zusätzlichen Energieeffizienz des Gebäudes (über das Anforderungsniveau der EnEV hinaus). Im Rahmen der Studie „Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien in Hallengebäuden – Neubau und Bestand“ (EEEEH) [9] wurde durch Untersuchung einer großen Anzahl von energetischen Nachweisen neu errichteter Hallen aus dem Zeitraum 2009-2014 festgestellt, dass mit wenigen Ausnahmen zur Erfüllung des EEWärmeG der Weg der Übererfüllung der EnEV gewählt wird. Dies hat sicherlich mit der Wirtschaftlichkeit alternativer Maßnahmen zu tun, ist aber auch auf die Tatsache zurückzuführen, dass das EEWärmeG in seinen direkten Erfüllungsoptionen nur die Bedingungen im Wohngebäude- bzw. Geschossgebäudebereich berücksichtigt.

Ökodesign Direktive [18] und Verordnungen

Bei den im ersten Teil dieses Kapitels beschriebenen Regelwerken (DIN V 18599 im Kontext des EnEV-Nachweises) geht es um energetische Bewertungen von Anlagensystemen (z. B. Heizsystemen inklusive ihrer Raumtemperaturregelung) in Gebäuden (inklusive eines standardisierten Nutzungsprofils).

Parallel und unabhängig von diesen nationalen Bewertungen und Festlegungen zu energetischen Standards von Gebäuden mit ihren Anlagensystemen wurde in den letzten Jahren auf europäischer Ebene ein Anforderungssystem für energieverbrauchsrelevante Produkte geschaffen. In Umsetzung der Energy-related-Product ErP-Direktive 2009/102/EG [18] (auch Ökodesign Direktive genannt) werden in Ecodesign-Verordnungen Zug um Zug – für alle relevanten Produktgruppen in sogenannten Lots gruppiert – energetische und Umwelt-Mindeststandards für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung dieser Produkte definiert. Nach Beschlussfassung durch die Europäische Kommission treten diese Verordnungen nach einer Übergangszeit in Kraft und haben dann für den Vertrieb dieser Produkte in allen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union unmittelbar verbindliche Wirkung.

Im Zentrum der Ecodesign-Anforderungen für die meisten in **Tabelle 2** genannten Geräte bzw. Anlagen zur Beheizung von Räumen stehen zwei Parameter:

- Jahres-Raumheizungs-Energieeffizienz[7]
- Schadstoffemission NO_x.

Es ist das erklärte Ziel der Europäischen Kommission, durch regelmäßige Novellierung dieser Verordnungen für die betroffenen Produktbereiche die jeweils weniger energieeffizienten Produkte vom Markt zu verdrängen.

[7] In den Verordnungen wird für alle betreffenden Produktgruppen ein mehr oder weniger einheitlicher Bewertungs- und Berechnungsansatz für die jahreszeitlich bedingte Raumheizungs-Energieeffizienz von Heizgeräten definiert. Dieser standardisierte Ansatz der Produktbewertung gibt nur bedingt Auskunft über die Sinnhaftigkeit und energetische Effizienz beim Einsatz dieser Produkte als Teil unterschiedlicher Anlagensysteme in unterschiedlichen Gebäuden.

Tabelle 2: Übersicht zum Inkrafttreten der Ecodesign-Verordnungen für verschiedene Produktgruppen zur Konditionierung von gewerblichen und industriellen Hallengebäuden

EU-Verordnung	Produktbereiche	Inkrafttreten der Anforderungen	Verschärfung der Anforderungen
813/2013, 814/2013	Hydraulische Wärmeerzeuger bis 400 kW, darunter: - Heizkessel - Warmwasserbereiter - Kombigeräte - KWK-Anlagen - Wärmepumpen.	26.09.2015	26.09.2017, 26.09.2018
1253/2014	RLT-Anlagen inkl. WRG	01.01.2016	01.01.2018
1188/2015	Raumheizgeräte, darunter gasbetriebene Hellstrahler und Dunkelstrahler	01.01.2018	Revision der Verordnung für 2019 angekündigt

Bild 21: Dunkelstrahler-Anlagen montiert unter der Decke (Quellen: links Schulte GmbH; rechts Vacurant Heizsysteme GmbH)

Mit einer weiteren Vorgabe – der Energy Labelling Directive – verpflichtet die Europäische Kommission die Hersteller, als Verbraucherinformation die betreffenden Produkte mit einem standardisierten Aufkleber zu kennzeichnen (**Bild 22**). Von dieser Kennzeichnungspflicht sind allerdings Produktgruppen, die in der Regel von professionellen Planern für den Einsatz in gewerblichen und industriellen Hallen ausgewählt werden, ausgenommen.

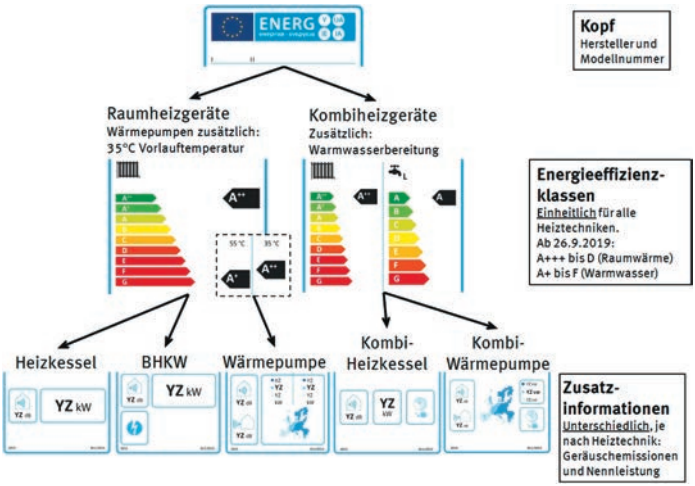


Bild 22: Standardisiertes Ecodesign-Label für verschiedene Heizgeräte (Quelle: Umweltbundesamt)

5. Hallenheizsysteme

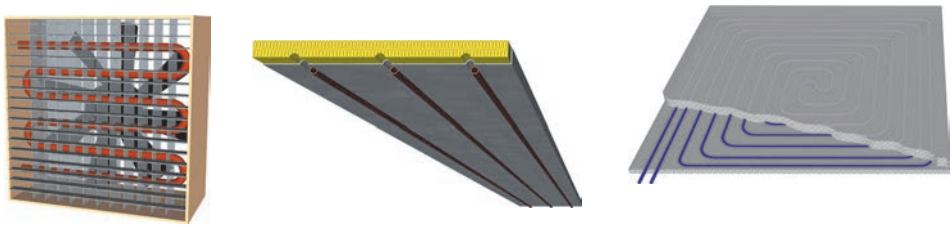
Die charakteristischen Nutzungs- und Ausstattungsbedingungen sowie Prozessanforderungen in gewerblichen und industriellen Großräumen haben früh zur Entwicklung speziell angepasster und leistungsstarker Anlagentechniken in diesem Anwendungsbereich geführt – dabei spielte und spielt der Energieträger Gas mit seinen hochentwickelten, effizienten und umweltfreundlichen Anwendungstechnologien (man denke nur an die ungeheure Vielfalt von Thermoprozessanlagen) eine zentrale Rolle – dies gilt auch für den Bereich der Raumkonditionierung.

Im Bereich der Beheizung spielt in Hallen – anders als im Bereich von Geschossgebäuden – wegen der großen Raumhöhen und der teilweise hohen Luftwechselraten z. B. bei Toröffnungen neben der Art der Wärmeerzeugung auch die Art des Wärmeübergangs zum Aufenthaltsbereich eine wichtige Rolle.

Die in der Praxis von Hallengebäuden genutzten Wirkmechanismen des Wärmeübergangs zum Aufenthaltsraum sind:

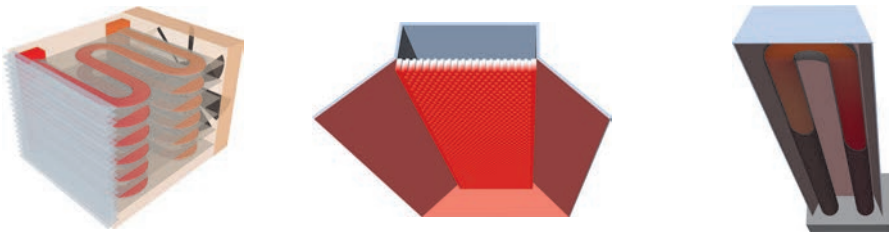
- Wärmeabgabe von der Bodenplatte mittels Strahlung und natürlicher Konvektion (Industriefußbodenheizung)
- Wärmeabgabe mittels Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) von Heizflächen im oberen Wand- und Deckenbereich (gasbetriebene Dunkel- und Hellstrahler, warmwasserbetriebene Deckenstrahlplatten)
- Wärmeabgabe mittels erzwungener Konvektion (Warmluftdurchspülung des Raumes durch gasbetriebene Warmlufterzeuger oder wasserbetriebene Warmlufterhitzer – montiert im oberen Wand- und Deckenbereich).

Ein weiteres Differenzierungsmerkmal von Hallenheizsystemen ist die Unterscheidung nach zentralen und dezentralen Systemen:



Lufterhitzer Deckenstrahlplatten Fußbodenheizung

Bild 23: Wärmeübergabesysteme mit zentralem Wärmeerzeuger (schematisch)



Warmlufterzeuger Hellstrahler Dunkelstrahler

Bild 24: Dezentrale Heizsysteme, in der Regel gasbetrieben (schematisch)

- Zentrale Systeme: Das oder die Wärmeübergabesysteme werden von einem zentralen Erzeuger gespeist, in der Regel mit dem Medium Warmwasser (**Bild 23**).
- Dezentrale Systeme: Hier wird der Energieträger Gas in Leitungen innerhalb der Halle zum Wärmeerzeuger bzw. zu den Wärmeerzeugern geführt, die gleichzeitig die Wärmeabgabe realisieren (**Bild 24**).

Als zentrale Wärmeerzeuger für Hallenheizsysteme kommen in Betracht:

- Brennwertkessel, mit Öl oder Gas betrieben,

- Reststoff- und Biomasse-Kessel,
- Wärmepumpen (aufgrund der Leistungsgrößen in der Regel gasbetrieben),
- Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen,
- bivalente, zonen- oder gebäudeübergreifende Erzeugersysteme,
- Nah- und Fernwärmestationen sowie
- Stationen bzw. Speicher mit Nutzung von Prozesswärme, Abwärme oder Wärmerückgewinnung.

Bild 25: Gasmotorwärmepumpenstation, montiert vor dem Hallengebäude (linkes Bild) mit Luftverteilungseinheit unter dem Hallendach (rechtes Bild) (Quelle: ASUE)

Ausführungen/Planungshinweise/Effizienzkriterien

A. Hallenheiz-/kühlsysteme mit zentralem Wärme-/Kälteerzeuger

Bei diesen Anlagen besteht – im Unterschied zu den nachfolgend beschriebenen dezentralen Systemen – grundsätzlich die Möglichkeit, zu einem späteren Zeitpunkt auf einen anderen Wärmeerzeuger (etwa auf eine KWK-Anlage) und/oder anderen Energieträger (etwa auf einen Biomassekessel) zu wechseln sowie Potenziale aus Abwärme/Prozesswärme aus diesem oder aus anderen Gebäuden über einen entsprechenden Wärmetauscher einzubinden.

Eine besondere Entwicklung im Anwendungsfeld der Konditionierung von Hallengebäuden haben in den letzten Jahren gasbetriebene Wärmepumpen genommen – der Anwendung elektrischer Wärmepumpen sind hier oft schon allein durch den Leistungsbedarf enge Grenzen gesetzt. Wärmepumpen erlauben die Nutzung von Umweltwärme (Luft, Wasser, Erdwärme) sowie von Abwärme auf einem niedrigen Temperaturniveau aus betrieblicher Nutzung und Gebäudenutzung (Abluft, Abwasser etc.) der Halle oder benachbarter Prozesse.

Gasmotorwärmepumpen (**Bild 25**) arbeiten mit einem mechanischen, Gassorptionswärmepumpen (Adsorptionsanlagen und Absorptionsanlagen) mit einem thermischen Verdichter. Neben der Wärmeerzeugung kann wirtschaftlich Kälte bereitgestellt werden. Gasbetriebene Wärmepumpen sind damit besonders interessant in Gebäuden, in denen entweder in der Halle selbst (z. B. bei der Lagerung temperaturempfindlicher Güter) oder in benachbarten Zonen (Büros, Rechenzentrum etc.) ein Kühlbedarf vorliegt. Gasbetriebene Wärmepumpen können in zentralen Heizsystemen von Hallen auch sehr wirtschaftlich mit Blockheizkraftwerken oder mit Brennwertkesseln (Spitzenlastabdeckung) kombiniert werden.

Systeme der Wärmeübergabe in Hallen

Lufterhitzer in Hallen

Lufterhitzer (**Bild 26**, **Bild 27**) mit einem zentralen Wärmeerzeuger werden für Hallen in einer großen Bandbreite von Ausführungen und Installationsarten angeboten. Durch die Wahl der Leistung, des Installationsortes und entsprechender Luftführungsjalousien am Luftaustritt kann die Warmluftdurchströmung dem Bedarf des Raumes angepasst werden.

Die Durchspülung des Raumes mit Warmluft induziert zunächst die Ausbildung eines gewissen Wärmepolsters unter der Hallendecke – im entsprechenden Abschnitt der DIN V 18599-5:2011 [14] wird ein vertikaler Lufttemperaturanstieg von ca. 1,0 K/m angegeben. Mittels niedriger Heizmedientemperatur sowie durch Installation zusätzlicher Deckenventilatoren kann dieser Temperaturgradient jedoch deutlich (auf ca. 0,35 K/m Raumhöhe) vermindert werden. Aktuelle Studien mit marktgängigen Luftheizsystemen [6] bestätigen die diesbezüglichen Angaben der DIN V 18599-5:2011 in diesem Punkt.

Warmluftheizsysteme ermöglichen leicht die Einbindung von solaren Warmluftkollektoren an Fassaden- oder Dachflächen der Halle (siehe Bild 25).

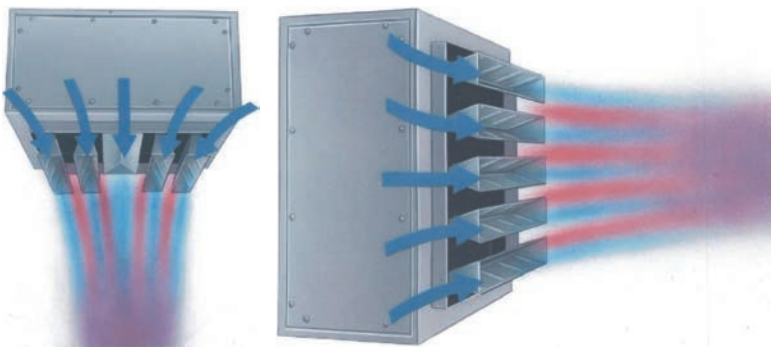


Bild 26: Lufterhitzer als Decken- und Wandgerät – durch Induktionsjalousien am Austritt wird Umgebungsluft beigemischt, die Wurfweite erhöht und die Temperaturverteilung verbessert. (Quelle: Wolf Klima- und Heiztechnik GmbH)

Bild 27: Lufterhitzer an der Außenwand (links) und unter der Decke (rechts) (Quelle: Wolf Klima- und Heiztechnik GmbH)

Deckenstrahlplatten (DSP) in Hallen

Wasserführende Deckenstrahlplatten (DSP) werden in der Regel in einer bestimmten Aufhängehöhe (ggf. Beachtung von Kranbahnverkehr) oder nahe unter dem Hallendach montiert. In Räumen geringerer Höhe oder Schulsporthallen (Ballwurfsicherheit) werden DSP auch in die Decke integriert.

Wie bei anderen Wärmeübergabesystemen mit zentraler Heizmedienversorgung besteht mit DSP grundsätzlich die Möglichkeit, gleich oder zu einem späteren Zeitpunkt andere Wärmeerzeuger oder Wärmequellen (z. B. aus Biomasse-Kessel, Übergabestationen aus Nah-/Fernwärme oder Abwärme) anzuschließen.

Deckenstrahlplatten (DSP) bieten ferner bei Bedarf die Möglichkeit zur Kühlung des Raumes im Sommer.

Die Heizmedientemperatur von DSP liegt zumeist zwischen 50 und 90 °C, wobei wie bei allen Strahlungsheizkörpern die Übergabeleistung in vierter Potenz mit der Oberflächentemperatur steigt. Bei typischen Auslegungen (nach technischen Datenblättern z. B. Übertemperatur 55 K – Vorlauftemperatur des Heizmediums also z. B. 75 °C) ist die effiziente Nutzung von Brennwertkesseln, Wärmepumpen oder anderen Niedertemperatur-Wärmequellen eingeschränkt oder erfordert einen zusätzlichen Spitzenlastkessel.

Bei Installation von DSP zu Heizzwecken in größerer Höhe der Halle in Wandnähe entstehen zusätzliche Transmissionsverluste des Gebäudes durch Aufheizung der oberen Wandflächen[8].

Es existiert bisher in den einschlägigen Produktnormen[9] kein anerkanntes Messverfahren zur Bestimmung des Strahlungsanteils von DSP, dessen Ergebnisse zur differenzierten Produktbewertung von Deckenstrahlplatten im Rahmen des energetischen Nachweises nach DIN V 18599-5:2011[10] [14] herangezogen werden könnten.

Fußbodenheizungen (FBH) in Hallen

Fußbodenheizungen (oder sog. Betonkernaktivierungen) in Hallen bieten zunächst die gleichen grundsätzlichen Vorteile der späteren Nutzungsmöglichkeiten alternativer Wärmeerzeuger und Wärmequellen wie andere Wärmeübergabesysteme mit zentraler Heizmedienversorgung (siehe oben) sowie die Möglichkeit der Kühlung des Raumes im Sommer. Durch den Betrieb mit niedrigen Heizmedientemperaturen können Niedertemperatur-Wärmequellen ausgesprochen effektiv genutzt werden.

---

[8] Dieser Zusammenhang findet seinen Ausdruck in der energetischen Bewertung von DSP in der DIN V 18599-5:2011 [14], Tabelle 13.

[9] EN 14037, Teile 1 bis 3

[10] In der aktualisierten Normversion DIN V 18599-5:2016 gibt es in diesem Punkt leider keinen Fortschritt.

Durch die direkte Erwärmung des Fußbodens treten die geringsten vertikalen Lufttemperatur-Gradienten im Vergleich zu anderen Wärmeübergabesystemen in Hallen auf: ca. 0,1 K/m nach DIN V 18599-5:2011 [14].

Die Systemeffizienz von FBH in Hallengebäuden ist stark abhängig vom Vorhandensein oder Nichtvorhandensein einer Dämmung der Bodenplatte sowie ggf. der Beschaffenheit des Erdreiches und der Nähe des Grundwasserspiegels. Die Bodenplatte von Hallengebäuden grenzt in der Regel direkt ans Erdreich und wird in vielen Fällen nicht oder nur im Randstreifen von 5 m Breite gedämmt. DIN V 18599-5:2011 [14] bewertet FBH deshalb mit spezifischen Verlusten von 5 –19 % im Bilanzabschnitt Wärmeübergabe von Hallen[11].

Fußbodenheizungen eignen sich energetisch besonders in Hallengebäuden mit zeitlich durchgehender Nutzung (etwa sieben Tage / 24 h). Bei zeitlich eingeschränkter Nutzung (etwa bei ein- oder zweischichtigem Betrieb an fünf Tagen pro Woche) kann eine energetisch und wirtschaftlich sinnvolle Absenkung der Raumtemperatur und damit des Energieverbrauchs Heizung während der Nichtnutzungszeiten aufgrund der Trägheit der großen thermischen Masse der in die Bodenplatte eingelassenen FBH nach Ergebnissen der Studie GAEEH [2] praktisch nicht realisiert werden.

B. Dezentrale Hallenheiz- und Kühlsysteme

In dezentralen Hallenheizsystemen wird der Energieträger – in aller Regel Gas – in einem Leitungssystem innerhalb der Halle zum Ort / zu den Orten des Bedarfs geführt. Je nach Nutzungsart der Halle kann dies die ganze Grundfläche, Teilflächen oder ein einzelner Arbeitsplatz sein – eine gleichmäßige Beheizung der gesamten Grundfläche wird nicht in allen Fällen benötigt. Durch Auswahl von Bauweise, Leistungsgröße und Installationsart der Geräte kann die Heizungsanlage damit sehr passgenau dem tatsächlichen Wärmeenergiebedarf innerhalb des Großraumes angepasst werden.

Dezentrale Hallenheizungen vereinen die beiden Grundfunktionen eines jeden Heizsystems – Wärmeerzeugung und Wärmeübergabe zum Aufenthaltsraum – in einer Baueinheit. Verglichen etwa mit zentralen Heizsystemen handelt es sich um kompakte Geräte mit sehr geringer thermischer Speicherfähigkeit – die Geräte operieren praktisch nahezu trägheitslos. Sie können damit in ihrer Leistungsdarbietung den in Hallengebäuden charakteristischen Heizlastwechseln (etwa bei nur zeitweiser, z. B. einschichtiger, Nutzung der Halle, bei Auftreten innerer Wärmequellen durch thermische Prozesse, bei Materialtransport oder bei hohem, eventuell nur lokalem Luftwechsel durch offenstehende Tore etc.) sehr schnell nachfolgen.

Da dezentrale Heizsysteme ohne separates Wärmeträgermedium und ohne entsprechendes Leitungssystem (z. B. für Heizungs-Warmwasser) operieren, fallen auch keine Verteilungsverluste sowie keine elektrischen Verbräuche für Pumpen etc. an

[11] Siehe DIN V 18599-5:2011, Tabelle 13 – Bewertung unverändert in Normversion 2016

In einer groß angelegten Studie (GAEEH [2]) wurde nachgewiesen, dass der reale, witterungsbereinigte Jahresheizenergieverbrauch dezentral beheizter Hallengebäude in allen Fällen deutlich bis sehr deutlich unter dem rechnerischen Heizenergiebedarf dieser Gebäude lag[12].

Dezentrale Heizgeräte werden in der Regel im oberen Wand- oder im Deckenbereich der Hallen installiert. Als physikalische Wirkmechanismen der Wärmeübertragung zum Aufenthaltsraum dienen erzwungene Konvektion und Infrarotstrahlung.

Die Brenner dezentraler Hallenheizgeräte werden bis heute vorwiegend mit Erdgas (ggf. mit den heute in der Verteilung eingesetzten geringen biogenen Anteilen) oder mit Flüssiggas betrieben. Sie sind jedoch auch – ggf. nach einer gewissen Anpassung – für die Nutzung von Erdgas mit größeren Zumischraten Biogas oder auch synthetisch erzeugter Gase aus regenerativen Quellen (Wasserstoff/Methan) wie auch für den reinen Biogasbetrieb geeignet.

Alle genannten Heizsysteme können mit Solar-Luft-Kollektoranlagen an der Fassade oder im Dachbereich der Hallen zur Vorwärmung der Raumluft kombiniert werden.

*Warmlufterzeuger (**Bild 28**)*

Die zumeist in einer Brennkammer erzeugte Wärme wird – geleitet über ein Lamellensystem – durch ein Systemgebläse als Warmluft in den Raum geleitet. Der zu beheizende Raum wird quasi mit Warmluft durchspült. Der Warmlufttransport kann durch freies Ausblasen am Geräteaustritt, über spezielle Düsen oder innerhalb eines Kanalsystems erfolgen. Die Geräte können im Frischluft- oder im Umluftbetrieb geführt werden.

Eine wesentliche Verbesserung der Effizienz der Wärmeübergabe zum Aufenthaltsraum (geringerer vertikaler Lufttemperaturgradient) kann durch Installation zusätzlicher Deckenventilatoren in der Halle erreicht werden.

Moderne Warmlufterzeuger mit niedrigen Ausblastemperaturen werden über die ganze Heizperiode im Kondensationsbetrieb (Brennwert-Warmlufterzeuger) gefahren (**Bild 29**). Mit Inkrafttreten der 2. Anforderungsstufe der Ecodesign-Verordnung 2281/2016 EU im Januar 2021 wird die Brennwertnutzung europaweit für alle neu installierten Warmlufterzeuger vorgeschrieben. Die deutsche Berechnungsnorm DIN V 18599-5:2011 [14] bildet bereits alle hier genannten Ausführungsarten von Warmlufterzeugern ab.

Neuere Systeme nutzen als Wärmeerzeuger auch gasmotorisch betriebene Wärmepumpen oder Kombinationen herkömmlicher Gasbrenner mit Wärmepumpen. Durch die Einbindung von Wärmepumpen besteht gleichzeitig die Möglichkeit der Kühlung des Hallengebäudes im Sommer.

---

[12] Vergleichbare Daten über rechnerischen Heizenergiebedarf und realen Verbrauch von zentral beheizten Hallengebäuden lagen trotz intensiver Recherchen durch den das Projekt GAEEH begleitenden Expertenkreis nicht vor.

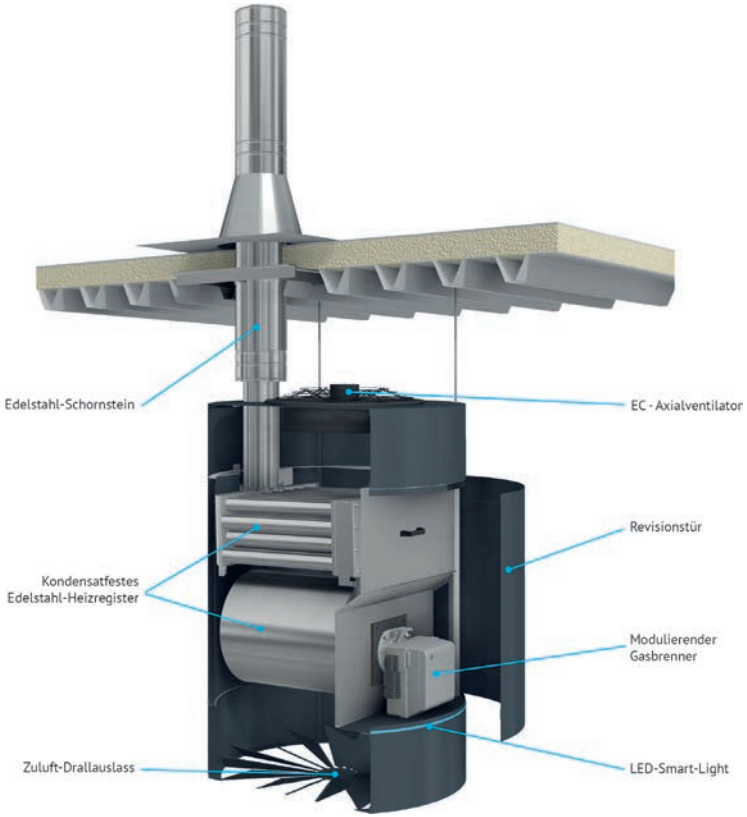


Bild 28: Schnittzeichnung Warmlufterzeuger – unter der Decke montiert (Quelle: nordluft Wärme- und Lüftungstechnik GmbH & Co. KG)

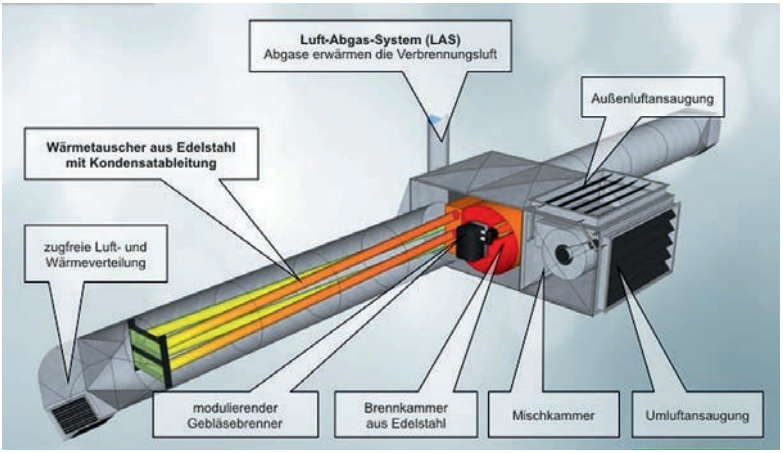


Bild 29: Schematische Darstellung kondensierender Warmlufterzeuger mit Verteilrohren (Quelle: LK Metallwaren GmbH)

Hellstrahler

In Hellstrahlern (**Bild 30**) wird durch Verbrennung eines Gases an bzw. in einer porösen Oberfläche (in der Regel perforierte Keramik) eine Strahlungsfläche von ca. 900–950 °C erzeugt. Die emittierte Infrarotstrahlung der im Deckenbereich montierten Strahler durchtritt als elektromagnetische Welle den Luftraum bis zum Aufenthaltsbereich (Fußboden, Einrichtungen, Maschinen, Lagergut, Personen) praktisch ohne Energieverlust und wird beim Auftreffen auf diese Flächen – wie die Sonnenstrahlung auch – in Wärme umgewandelt.

Bei einer flächenhaften Anordnung der Strahler – das Gleiche gilt für Dunkelstrahler – wird bevorzugt die Fußbodenfläche der Halle leicht erwärmt. Die geforderte operative Raumtemperatur im Aufenthaltsbereich wird durch die direkte Einstrahlung von oben und eine leichte Wärmestrahlung des so erwärmten Fußbodens erzielt – bei gleichzeitig niedrigerer Lufttemperatur.

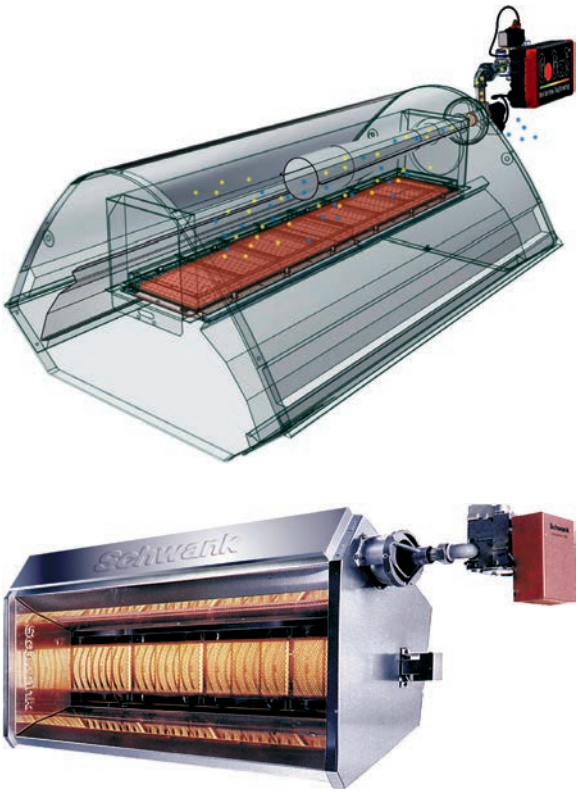


Bild 30: Darstellung Hellstrahler: oben: Schnittdarstellung (Quelle GoGaS Goch GmbH & Co. KG); unten: Hellstrahler in Betrieb (Quelle Schwank GmbH)

Moderne Hellstrahler werden als sogenannte „Kombistrahler“ ausgeführt. Dabei werden die heißen Abgase des Verbrennungsprozesses über weitere metallische Oberflächen (Reflektoren) geführt, die zusätzliche Infrarotstrahlung in den Aufenthaltsraum emittieren.

Wichtigstes Effizienzkriterium von Hellstrahlern (wie Dunkelstrahlern) ist der sogenannte Strahlungsfaktor. Er gibt an, welcher Anteil der durch das Brenngas eingebrachten Wärmemenge in Infrarotstrahlung umgesetzt wird. Die Berechnungsnorm DIN V 18599-5:2011 [14] bietet die Möglichkeit, normativ gemessene Produktwerte des Strahlungsfaktors von Hellstrahlern (ebenso von Dunkelstrahlern) bei der energetischen Bewertung der Heizungsanlage zu berücksichtigen.

Nach der einschlägigen Ecodesign-Verordnung 1188/2015 EU gilt für Hellstrahler ab dem 01.01.2018 ein Mindestwert eines saisonalen Nutzungsgrades („Jahres-Raumheizungsnutzungsgrad“) von 85 %, wobei der Ecodesign-Bewertungsansatz die Performance im Teillastbereich bei Geräten mit Leistungsanpassung sehr stark gewichtet. Für 2021 ist mit einer Verschärfung dieser Anforderung zu rechnen.

Dunkelstrahler

Bei Dunkelstrahlern (ursprünglich auch „Strahlrohre“ genannt) wird eine langgestreckte Gasflamme in einem temperaturbeständigen Stahlrohr erzeugt und das Abgas durch das weitere Rohrsystem geführt. Die Rohroberfläche – die Rohrtemperaturen liegen im heißen Bereich in der Regel zwischen 400 und 650 °C – emittiert eine primäre Infrarotstrahlung, die durch ein Reflektorgehäuse oberhalb der Strahlrohre zum Aufenthaltsraum gelenkt wird. Die Mechanismen des Wärmeübergangs zum Gebäude sind gleich wie oben für Hellstrahler beschrieben.

Moderne Dunkelstrahler weisen isolierte Reflektorgehäuse sowie teilweise weitere konstruktive Maßnahmen zur Reduzierung der Abstrahlung nach oben auf. Einzelne Dunkelstrahler (jeweils Brenner mit Strahlrohr) innerhalb eines Heizkreises oder einer Halle können zu sogenannten „Dunkelstrahler-Systemen“ mit einem gemeinsamen Abgasventilator und einem gemeinsamen Kamin zusammengefasst werden.

In einer anderen Ausführungsart von Dunkelstrahlern, sogenannten Rezirkulationsstrahlern (**Bild 31**) (engl. „Radiant Strips“), mit größeren Rohrdurchmessern wird dem Flammrohr über eine Rezirkulationskammer Abgas beigemischt. Auf diese Weise wird – häufig bei größeren Leistungen und Rohrlängen der Dunkelstrahler – über die gesamte Rohrstrecke ein gleichmäßigeres Temperaturprofil erreicht.

Für die Nutzung der Abgaswärme von Dunkelstrahlern werden verschiedene mit dem System abgestimmte Abgaswärmetauscher (**Bild 32**, **Bild 33**) angeboten. Die Restwärme wird entweder in einem Abgas/Luft-Wärmetauscher zur Vorwärmung der Raumluft der Halle oder in einer anderen Ausführung in einem Abgas/Wasser-Wärmetauscher zur Warmwasserbereitung oder zur Heizungsunterstützung benachbarter Räume teilweise oder vollständig kondensierend genutzt. Auch in diesem Fall bildet die Berechnungsnorm DIN V 18599-5:2011 [14] alle genannten Ausführungsvarianten von Dunkelstrahlern ab. Ebenso bietet die Berechnungsnorm – analog zur Bewertung von Hellstrahler-Anlagen – die Möglichkeit der Berücksichtigung von normativ ermittelten Strahlungsfaktoren zur Bestimmung der Energieeffizienz der Wärmeübergabe in der Halle.

Bild 31: Darstellung Rezirkulations-Dunkelstrahler – Animation (Quelle Schulte GmbH)

Bild 32: Abgaswärmetauscher (Abgas/Wasser) an Dunkelstrahler-Systemen (links: Quelle Fa. Kübler, rechts: Quelle Schwank GmbH)

Bild 33: Abgaswärmetauscher (Abgas/Luft) an Dunkelstrahler-Systemen (links: Quelle GoGaS Goch GmbH & Co. KG; rechts: Quelle Etapart AG)

Nach der einschlägigen Ecodesign-Verordnung 1188/2015 EU gilt für Dunkelstrahler ab dem 01.01.2018 ein Mindestwert eines saisonalen Nutzungsgrades („Jahres-Raumheizungs-nutzungsgrad“) von 74 %, wobei der Ecodesign-Bewertungsansatz, wie bei allen Heizgeräten, die Performance im Teillastbereich bei Geräten mit Leistungsanpassung sehr stark gewichtet. Für 2021 ist mit einer Verschärfung dieser Anforderung zu rechnen.

6. Weitere Entwicklungen / Ausblick

Gedanken zu zukünftigen Gasanwendungstechnologien in Hallen

Moderne Gasanwendungstechnologien stellen in gewerblich und industriell genutzten Hallen des Industriestandorts Deutschland die Basis für eine Vielzahl spezifischer, hocheffizienter Herstellungs- und Umwandlungsprozesse dar. Im Kontext mit der ambitionierten nationalen Klimaschutzstrategie Deutschlands werden sicherlich viele dieser Anwendungstechnologien heute und in Zukunft auf den Prüfstand gestellt. Es kann jedoch weder im Sinn nationaler

Wirtschaftsentwicklung noch im Sinne globalen Klimaschutzes zielführend sein, wenn große Teile dieser teils energieintensiven Prozesse ins Ausland und damit in Wirtschaftsräume mit geringeren Effizienz- oder Umweltanforderungen abwandern oder verlagert werden.

Aus Sicht des Verfassers ist es – auch im Sinne effektiven Klimaschutzes – weder sinnvoll noch vorstellbar, dass der Energieträger Gas und moderne Gasanwendungstechnologien in gewerblichen und industriellen Hallen in absehbarer Zukunft ihren dominierenden Platz an andere, strombasierte Lösungen verlieren. Dagegen spricht neben der Verfügbarkeit hochentwickelter Technologien in wohlbeherrschten Prozessen, dem Vorhandensein von Entwicklungs- und Anwendungs-Know-how und inländischer Wertschöpfung bei der Herstellung von Gas-Anlagen aus wirtschaftlichen Gründen vor allem die vorhandene Energie-Infrastruktur (Verteilung und Speicherung) des Erdgasnetzes.

Vielmehr scheint es sinnvoll, moderne Gasanwendungstechnologien im Bereich von Hallen inklusive ihrer Raumkonditionierung, bei gleichzeitiger kontinuierlicher Verbesserung der Klimabilanz des Energieträgers Gas, weiterzuentwickeln – also durch Einspeisung und Zumischung zunehmend größerer Anteile von Gasen aus regenerativen Quellen (Biogas und synthetisch erzeugten Wasserstoff und Methan).

Weitere große Entwicklungspotenziale im Sinne einer Klimaschutzstrategie liegen in den deutlichen Ausbaumöglichkeiten von Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsprozessen in Industriebetrieben, in der Anwendung von Gaswärmepumpen, Hybridanlagen, zonen- oder gebäudeübergreifenden Wärmeerzeugern sowie in der Möglichkeit, die großen weitestgehend unverschatteten Fassaden- und Dachflächen von Hallengebäuden zur solaren Stromerzeugung zu nutzen. Hier stellen die – konzeptionell aus dem Wohngebäudebereich abgeleiteten – Bilanzierungsregeln und Vorgaben zur beschränkten Anrechenbarkeit von regenerativ selbsterzeugtem Strom unnötige Hindernisse für den weiteren Ausbau dar. Die paradigmatische Frage lautet hier: Wie können gewerbliche und industrielle Hallengebäude vermehrt von Stätten des Energieverbrauchs zu Stätten der Energieerzeugung werden?

Für den Sektor Gebäude entscheidet sich die Wirksamkeit einer Klimaschutzstrategie an der Hebung der Energieeinspar- und Emissionsminderungspotenziale im Gebäudebestand – diese Binsenweisheit gilt für Hallengebäude nicht weniger als für Wohngebäude. Gerade im Bestand von Hallengebäuden können moderne Gasanwendungstechnologien – darunter zentrale und dezentrale Heizsysteme – einen entscheidenden Beitrag leisten.

Weiterentwicklung Gebäude-Energierecht

Aufgrund der notwendigen Weiterentwicklung des bisherigen Gebäudeenergierechts und gefördert durch die anhaltende Kritik aus den Bereichen Anwendung und Vollzugskontrolle (Gebäudeplaner und Behörden der Bundesländer) am Nebeneinander von EnEV und EEWärmeG wurde in der letzten Legislaturperiode des Bundestages unter Federführung des BMWi der Entwurf eines neuen, zusammengeführten Regelwerkes, des „Gebäudeenergiegesetzes“ (kurz: GEG), erarbeitet. Leider wurde der vorliegende und mit den Bundesländern sowie mit den betroffenen Wirtschaftsverbänden bereits diskutierte Referentenentwurf des GEG vom

Februar 2017 [16] in der letzten Legislatur nicht mehr verabschiedet. Es wird jedoch aktuell erwartet, dass es noch im Jahr 2018 zur Verabschiedung des GEG in vermutlich nur gering veränderter Fassung durch den Gesetzgeber kommen wird.

Wesentliche Kernpunkte des vorliegenden GEG-Entwurfes [16]:

- Die kombinierte Anforderungssystematik aus EnEV und EEWärmeG (baulicher Mindestwärmeschutz, Primärergiebedarf und Nutzungsverpflichtung erneuerbarer Energien) wird fortgeschrieben.
- Als primärenergetisches Anforderungsniveau (laut Forderung der Europäischen Direktive EPBD „Niedrigstenergiestandard“) des neuen Regelwerkes wird voraussichtlich das Niveau der bisherigen EnEV 2014 Stufe 2016 (Nichtwohngebäude: Wert des Referenzgebäudes mal pauschaler Minderungsfaktor 0,75) definiert.

Kommt es wie vermutet und hier beschrieben zur Verabschiedung des vorliegenden GEG-Entwurfes (evtl. mit geringfügigen Veränderungen), so wäre für alle beteiligten Wirtschaftszweige des Bereiches Hallengebäude die notwendige Planungssicherheit für Neubauten für die nächsten Jahre gegeben.

Allerdings wäre mit Verabschiedung des vorliegenden Entwurfs auch die Chance vertan, im Bereich Hallengebäude einen wesentlichen Schritt in Richtung eines wirklichen Niedrigstenergiestandards für Neubauhallen – unter Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeit und Technologieoffenheit – zu gehen. Im Auftrag der drei Verbände figawa, BTGA und BDH wurde hier im Jahre 2016 durch ITG Dresden Prof. Dr. Oschatz ein Eckpunktepapier als Vorschlag der drei Verbände zur zukünftigen Behandlung von Hallengebäuden im Gebäudeenergierecht erarbeitet und vorgelegt. Kernpunkt des Vorschlages ist eine differenziertere Behandlung verschiedener Arten von Nichtwohngebäuden – umsetzbar durch eine Überarbeitung und Ausdifferenzierung entsprechender Merkmale und Ausprägungen des Referenzgebäudes der EnEV bzw. des GEG-Entwurfes – anstelle der Vorgabe eines pauschalen Minderungsfaktors von 0,75 auf einen technologisch nicht mehr aktuellen Referenzstandard. Ein so differenziertes Referenzgebäude bekäme wieder Leitwirkung – wäre im doppelten Sinne (rechtlich und wirtschaftlich) baubar.

Ein weiterer Punkt des Vorschlages ist die verpflichtende Einführung eines einfachen und kostengünstigen Energiemonitorings in Anlehnung an den Entwurf der VDI 6041 in Hallengebäuden, um sich von der ausschließlichen Fixierung auf ein (komplexes) rechnerisches Nachweisverfahren im Rahmen des Gebäudeenergierechts (Neubau) zu lösen und den Blick mehr auf den realen Energieverbrauch des Gebäudes zu richten. Dies scheint umso mehr notwendig, da die zunehmend komplexer werdende Gebäude- und Anlagentechnik immer häufiger eine längerfristige betriebliche Optimierung erfordert.

Der Redaktionsschluss dieses Kapitels lag im Mai 2018. Der Beitrag entspricht daher dem zu diesem Zeitpunkt gültigen Stand der Rechtslage.

Literatur

[1] Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung: Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO_2-Minderungspotenzialen. Berlin 2013

[2] Oschatz, B. et al.: GAEEH Gesamtanalyse Energieeffizienz von Hallengebäuden. Abschlussbericht, ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden – Forschung und Anwendung GmbH, Universität Kassel, FB Bauphysik, 30. Juni 2011

[3] figawa Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e.V. (Hrsg.): Leitfaden zur Planung neuer Hallengebäude nach EnEV 2014 und EEWärmeG 2011. Gefördert durch BMWi, Förderkennzeichen 03MAP285, Köln 2015

[4] Bolsius, J.: Raumlufthygiene in modernen Hallengebäuden – beheizt mit Gasinfrarot-Heizstrahlern. Abschlussbericht, Hochschule Zittau/Görlitz, Fakultät Bauwesen, September 2011

[5] Oschatz, B.; Bolsius, J. et al.: Thermische Behaglichkeit in modernen Hallengebäuden – beheizt mit Hellstrahlern. Abschlussbericht, ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden – Forschung und Anwendung GmbH, Hochschule Zittau/Görlitz, Fakultät Bauwesen, September 2011

[6] Oschatz, B.; Rosenkranz, J.; Bolsius, J.: Untersuchungen zur thermischen Behaglichkeit in Hallengebäuden mit Luftheizungen. Abschlussbericht, ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden – Forschung und Anwendung GmbH, Hochschule Zittau/Görlitz, Fakultät Bauwesen, Dresden 2013

[7] 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)

[8] EEWärmeG 2011 – Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz), 2011

[9] Oschatz, B.; Weber, K.: EEEEH Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien in Hallengebäuden – Neubau und Bestand. Schlussbericht, ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden – Forschung und Anwendung GmbH, Weber Energieconsult, August 2015

[10] DIN EN ISO 7730 „Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit“, Berichtigung 1, 2007

[11] Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB: Development and Specification of an Accurate Cosine-behavior Responsivity Radiometer Head for Infrared Temperature Radiation. Berlin, Februar 2017

[12] DIN EN 12831-1 „Energetische Bewertung von Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast – Teil 1: Raumheizlast“, 09-2017

[13] DIN SPEC 12831-1 (Entwurf) „Energetische Bewertung von Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast, Nationaler Anhang“, 02-2018

[14] DIN V 18599, Teile 1 bis 11, „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“, 2011

[15] DIN V 18599, Teile 1 bis 11, „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“, 10-2016

[16] BMWi: BMU-Referentenentwurf „Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden GEG (Gebäudeenergiegesetz)“, Bearbeitungsstand 15. Februar 2017

[17] EWärmeG – Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg (Erneuerbare-Wärme-Gesetz). GBl. 20.03.2015, S. 151 ff

[18] EUR-Lex Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council, 21. Oktober 2009 — http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32009L0125

STANDARDWERK FÜR DAS GASFACH

TECHNOLOGIEN FÜR DIE ENERGIEWENDE

Dieses Buch beschreibt folgende Aspekte:

- Produktion von „Grünem Gas"
- Grundlagen der Verbrennungslehre
- Technologien und Geräte zur Erzielung höchster Effizienzanforderungen

Jetzt im Shop bestellen und Wissen sichern!

www.vulkan-shop.de

Bernhard Klocke, Frank Heimlich, Harald Petermann
2. Auflage 2020
Artikelnummer: 73724
Auch als eBook erhältlich.
Preis: € 160,-

VULKAN VERLAG. **FÜR ALLE, DIE MEHR WISSEN WOLLEN.**

www.vulkan-verlag.de

Vulkan Verlag