

Erdgasbetriebene Strahlungsheizungen

Effiziente Wärmeversorgung für Hallen im Gewerbe

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Grundlagen der Wärmeversorgung in Hallen mit Strahlungsheizungen	4
2.1 Vorbemerkung	4
2.2 Besonderheiten der Nutzung und Konditionierung von Hallen	4
2.3 Wärmephysiologische Anforderungen	6
3. Energieträger	9
4. Hallenheizsysteme im Überblick	11
5. Strahlungsheizungen	13
5.1 Allgemeines	13
5.2 Dezentrale Wärmeerzeugung	13
5.2.1 Hellstrahler	13
5.2.2 Dunkelstrahler	14
5.2.3 Hinweise zu Planung, Auslegung und Montage von Hell- und Dunkelstrahlern	17
5.3 Zentrale Wärmeerzeugung	18
5.3.1 Deckenstrahlplatten	18
5.3.2 Fußbodenheizung	20
5.3.3 Thermische Bauteilaktivierung	21
5.3.4 Doppelnutzung zur Beheizung und Kühlung	21
5.4 Anwendungsbereich von Strahlungsheizungen	22
6. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	24
6.1 Allgemeines	24
6.2 Statische Amortisationszeit	24
6.3 Jahresgesamtkosten nach VDI 2067-1	24
6.4 Berechnungsbeispiele	25
6.4.1 Allgemeines	25
6.4.2 Randbedingungen	25
6.4.3 Ergebnisse	27
6.5 Grundsätzliche Tendenzen bei Hallenheizsystemen	28
7. Zusammenfassung	29
Anhang	31
Anhang 1 Ermittlung der Heizlast	31
Anhang 2 Energiesparrechtliche Rahmenbedingungen Energieeinsparverordnung	37
Anhang 3 Hersteller und Anbieter (Auswahl)	48
Anhang 4 Literaturverzeichnis	50
Anhang 5 Bildnachweis	55

1. Einleitung

In Hallen – als einer Untergruppe der Nichtwohngebäude – richtet sich die Wahl des Heizungssystems wesentlich nach der Art der Gebäudenutzung, hieraus resultierenden personenbezogenen oder technologischen Anforderungen und nicht zuletzt nach betriebswirtschaftlichen Erwägungen. Dabei erstreckt sich das Spektrum der für Hallengebäude typischen Nutzungen über einen weiten Bereich – u. a. als Werkstätte, Produktions-/Montagehallen, Lagerhallen und Logistikzentren, Sport-, Versammlungs- und Veranstaltungsräume, Messehallen und Kirchen. Auch finden sich z. T. sehr unterschiedliche Bauweisen im Bereich der Hallengebäude. Damit bilden Hallen trotz gewisser Gemeinsamkeiten – in der Regel große zusammenhängende Räumlichkeiten mit großen Raumhöhen – eine in sich sehr heterogene Gebäudekategorie.

Im Kontext der besonderen Anforderungen, welche sich in Hallengebäuden an die darin eingesetzten Heizsysteme ergeben, haben sich speziell auf diesen Anwendungsbereich zugeschnittene Hallenheizsysteme etabliert. Wie auch im Bereich der Wohngebäude und sonstiger Geschossbauten (Bürogebäude usw.) spielen im Hallenbereich Heizungssysteme mit Erdgas als Brennstoff aufgrund ihrer Vorteile eine wesentliche Rolle.

Hallenheizsysteme werden u. a. nach ihrem vorwiegenden Wärmetransportmechanismus in Luft- und Strahlungsheizsysteme unterteilt. Das vorliegende Handbuch verschafft einen Überblick über die Besonderheiten bei der Beheizung von Hallengebäuden und geht hierbei in erster Linie auf Strahlungsheizsysteme ein.

2. Grundlagen der Wärmeversorgung in Hallen mit Strahlungsheizungen

2.1 Vorbemerkung

Die Beheizung von Gebäuden dient in der Regel der Herstellung eines behaglichen und weitgehend vom vorherrschenden Wetter (Außentemperatur, Wind, Sonneneinstrahlung usw.) entkoppelten Temperaturzustands für die Personen, die sich innerhalb dieser Gebäude befinden. In Hallengebäuden können darüber hinaus oder abweichend hiervon weitere Faktoren eine wesentliche Rolle spielen, z. B. die Empfindlichkeit gelagerter Güter, in der Halle ablaufende Produktionsprozesse, u. U. produktionsbedingte Wärmequellen und/oder Schadstoffeinträge (ggf. durch Lüftungsmaßnahmen zu kompensieren).

Die nachfolgenden Unterkapitel 2.2 und 2.3 befassen sich mit den Besonderheiten von Hallengebäuden sowie den darin vorliegenden wärmephysiologischen Anforderungen. Anhang 1 geht auf die Ermittlung der Heizlast für Hallengebäude ein. Die energiesparrechtlichen Rahmenbedingungen – geprägt durch das Zusammenspiel von Energieeinsparverordnung und Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – werden in Anhang 2 umrissen.

2.2 Besonderheiten der Nutzung und Konditionierung von Hallen

Der Begriff Halle ist im deutschen Bau- und Gebäudeenergiesparrecht nicht allgemeingültig definiert.

Hallen bestehen überwiegend aus hohen bis sehr hohen Großräumen – in der Regel ohne oder mit verhältnismäßig wenigen inneren Trennwänden – und dienen üblicherweise Montage-/Produktionsprozessen und –tätigkeiten, der Lagerung und Verteilung von sowie dem Handel mit Waren oder der Ausübung sportlicher oder kultureller Aktivitäten. Abbildung 1 zeigt eine beispielhafte Auswahl typischer Hallenarten in vereinfachter Darstellung – die ebenfalls beispielhaften Maßangaben sollen ein Gefühl für übliche geometrische Größenordnungen im Hallenbereich vermitteln; in der Praxis bewegen sich die Abmessungen in einem weiten Bereich.

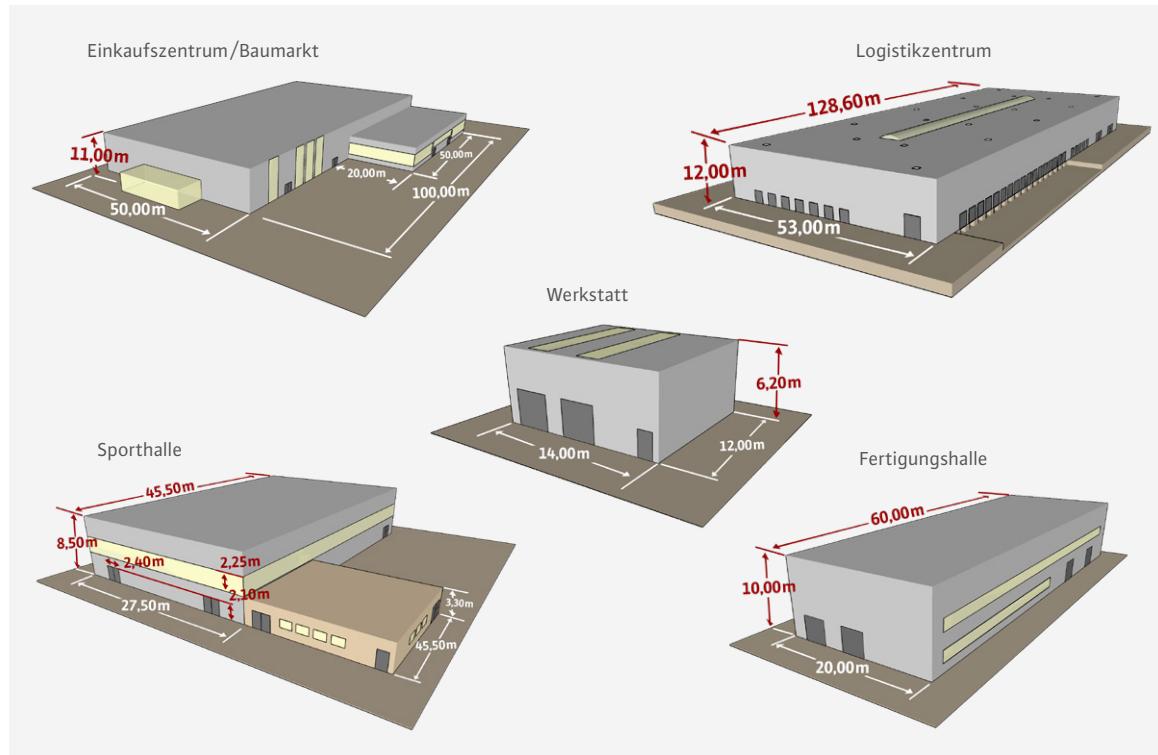


Abbildung 1: Typische Hallengebäude, beispielhafte Auswahl

Hallen weisen im Vergleich zu Wohn-, Büro- und ähnlichen Gebäuden in Geschossbauweise eine Reihe baulicher und nutzungsspezifischer Besonderheiten auf, welche sich wesentlich auf ihre Beheizung auswirken – u. a.:

- » Hallen bestehen in aller Regel aus einem einzigen oder aus wenigen Räumen mit großen bis sehr großen zusammenhängenden Innenvolumina und Nettogrundflächen im Bereich von ca. 100 bis teils über 50.000 m².
- » Ein Hallenheizsystem oder eine Kombination aus Hallenheizsystemen muss in der Lage sein, diese ggf. sehr großen Bereiche zu beheizen.
- » Üblicherweise sind die Gebäude nicht unterkellert – der Hallenboden (Bodenplatte) grenzt unmittelbar an das Erdreich. In industriell genutzten Hallen werden Bodenplatten in der Regel nur im Randbereich und ggf. in Aufenthaltsbereichen mit Wärmedämmung ausgeführt; Sporthallenböden werden hingegen vollflächig gedämmt.
- » Insbesondere bei Industriefußbodenheizungen in ungedämmten Bodenplatten sind die energetisch relevanten Eigenschaften des Erdreichs zu berücksichtigen (z. B. Erdreichbeschaffenheit, Grundwasserspiegel).
- » Hallen weisen Raumhöhen im Bereich von etwa 4 bis über 20 m auf.
- » Das Hallenheizsystem soll in der Regel den bodennahen durch Personen genutzten Hallenbereich beheizen, ohne hierbei die Raumluft im Dachbereich oder die äußeren Umfassungsflächen unnötig stark zu erwärmen.
- » Viele Hallen werden mit ausgeprägten Betriebsunterbrechungen genutzt – z. B.
 - › 1-/2-Schicht-Betrieb in Montage- oder Produktionshallen,
 - › Nutzung über wenige Tagesstunden und/oder Monatstage in Sport-/Veranstaltungs-/Mehrzweckhallen usw.

Bei Hallenbetrieb mit ausgeprägten Betriebsunterbrechungen muss das eingesetzte Hallenheizsystem die Wärme ausreichend schnell an den Nutzraum übergeben können, um ein Aufheizen auf die gewünschte Innenraumtemperatur in angemessen kurzer Zeit zu gewährleisten. Wird eine Halle hingegen durchgehend genutzt und beheizt, kann auch ein vergleichsweise trüges Heizsystem eingesetzt werden.

- » Mitunter treten unterschiedliche Nutzungsarten in einer Halle auf, sodass sich unterschiedliche Konditionierungsanforderungen in verschiedenen Bereichen der Halle ergeben können.
- » Die spezifischen Anforderungen an die Konditionierung (Beheizung, Lüftung usw.) von Hallen resultieren oft nicht nur aus dem Aufenthalt von Personen, sondern auch (mitunter vorrangig oder gar ausschließlich) aus der technologischen und/oder wirtschaftlichen Nutzung, z. B.
 - › Minimierung von Temperaturunterschieden zur Einhaltung von Herstellungstoleranzen,
 - › temperatur-/feuchtebezogene Anforderungen von empfindlichem Lagergut,
 - › Kühlung von Lebensmitteln,
 - › Abfuhr von Maschinenabwärme usw.

Somit herrschen für bestimmte Hallennutzungen in aller Regel geringere Behaglichkeitsanforderungen als beispielsweise in einer Büroumgebung – in Bereichen zum andauernden Personenaufenthalt sind dennoch die gängigen Vorschriften und Richtlinien zur thermischen Behaglichkeit zu berücksichtigen. Tabelle 1 zeigt übersichtsmäßig wesentliche Einflüsse auf die Betriebsweise und Konditionierung (Heizung, Kühlung usw.) von Hallengebäuden in Abhängigkeit von der Nutzung.

Nutzung	Nutzungszeit			anlagentechnische Konditionierung dominiert durch		
	durchgehend, Tag und Nacht	tagsüber durchgehend	sporadisch	Personen / Behaglichkeit	Lagergut*	Produktionsprozesse**
Ausstellungs- und Messehallen			..	•	•	
Fest- und Kongresshallen				
Werk-, Produktions- und Montagehallen	•	•		•	•	•
Flugzeughallen	..			•	..	
Lagerhallen	..			•	..	
Markthallen		..		•	•	
Montagehallen		..		•	•	
Sporthallen				

* z.B.: Frostschutz oder spezifische Anforderungen an Temperatur/Luftfeuchte usw.
** z.B.: Einhaltung von Toleranzen, Temperierung von Rohstoffen/Halbzeugen, Maschinenkühlung usw.

Tabelle 1: Übliche Hallennutzungen und Nutzungszeiten sowie wesentliche Einflüsse auf thermische Konditionierung

2.3. Wärmephysiologische Anforderungen

Das thermische Behaglichkeitsempfinden des Menschen hängt von vielen verschiedenen Einflussgrößen ab, besonders

- » der Lufttemperatur,
- » der durch die umgebenden Oberflächen verursachten Strahlungstemperatur,
- » der relativen Luftfeuchte,
- » der Strömungsgeschwindigkeit,
- » der Art der Tätigkeit (sitzende/stehende Tätigkeit, leichte/schwere Arbeit usw.) und
- » der Bekleidung.

Aber auch Alter, Konstitution und Geschlecht können eine Rolle spielen.

Als ein wesentlicher Indikator der thermischen Behaglichkeit wird oft die operative Temperatur (auch Empfindungstemperatur) herangezogen. Die operative Temperatur liegt zwischen der im Raum herrschenden Lufttemperatur und der Strahlungstemperatur – also der wirksamen mittleren Temperatur der umgebenden Oberflächen. Bei üblichen, verhältnismäßig geringen Strömungsgeschwindigkeiten und ohne signifikante Strahlungswärmequellen kann sie vereinfacht als arithmetisches Mittel aus Luft- und Strahlungstemperatur beschrieben werden.

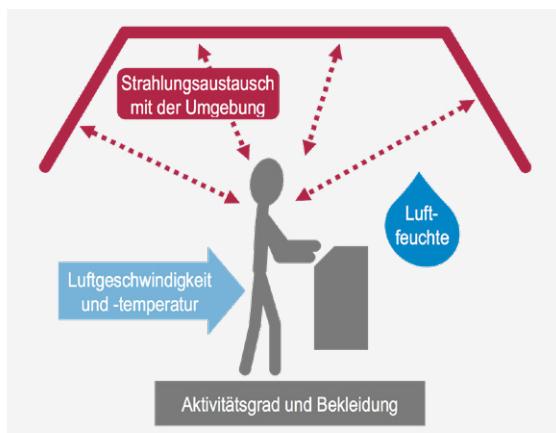


Abbildung 2: Wesentliche Einflüsse auf die thermische Behaglichkeit

Vereinfachte Berechnung der operativen Temperatur als arithmetisches Mittel aus Luft- und Strahlungstemperatur:

$$\text{operative Temperatur} = \frac{\text{Lufttemperatur} + \text{Strahlungstemperatur}}{2}$$

Liegt eine deutliche Abweichung zwischen Strahlungs- und Lufttemperatur vor (z.B. bei sehr kalten Umfassungsflächen oder bei Einsatz von Strahlungsheizungen) oder herrschen sehr hohe Strömungsgeschwindigkeiten, kann entweder der Strahlungs- oder der Luftanteil die

Temperaturempfindung dominieren. Bei üblichen Strahlungsheizsystemen in Hallen kann davon ausgegangen werden, dass die Strahlungstemperatur über der Lufttemperatur liegt. Für eine Beurteilung der Temperaturempfindung und zur Regelung heizungstechnischer Komponenten ist daher die Strahlungswirkung zu berücksichtigen. Besonders bei der Steuerung/Regelung von Hochtemperaturstrahlungsheizungen (Hell-/Dunkelstrahler) kommen daher in der Regel Strahlungssensoren bzw. spezielle Temperaturfühler, welche Luft- und Infrarotstrahlung berücksichtigen, zum Einsatz. Zur rechnerischen Beschreibung der operativen Temperatur hat sich

für diese Systeme ein näherungsweiser Ansatz auf Basis der Lufttemperatur und der spezifischen Strahlungsintensität etabliert.

Beide Berechnungsansätze verdeutlichen, dass unter Maßgabe einer einzuhaltenden operativen Temperatur eine geringere Lufttemperatur durch eine höhere Strahlungstemperatur kompensiert werden kann und umgekehrt. Abbildung 3 zeigt beispielhaft für Hell-/Dunkelstrahler, welche spezifischen Strahlungsintensitäten nach DVGW G 638-1/2 [1, 2] zu einer gefühlten Temperaturerhöhung von 1 Kelvin führen.

Näherungsweise Berechnung der operativen Temperatur für Hell-/Dunkelstrahler auf Basis der Lufttemperatur, der Einstrahlsituation (Einstrahlungsfaktor) und der Strahlungsintensität nach DVGW G 638-1/2 [1, 2]:

$$\text{operative Temperatur } [^\circ\text{C}] = \text{Lufttemperatur } [^\circ\text{C}] + \text{Einstrahlungsfaktor } [\text{K/W}] * \text{Strahlungsintensität } [\text{W/m}^2]$$

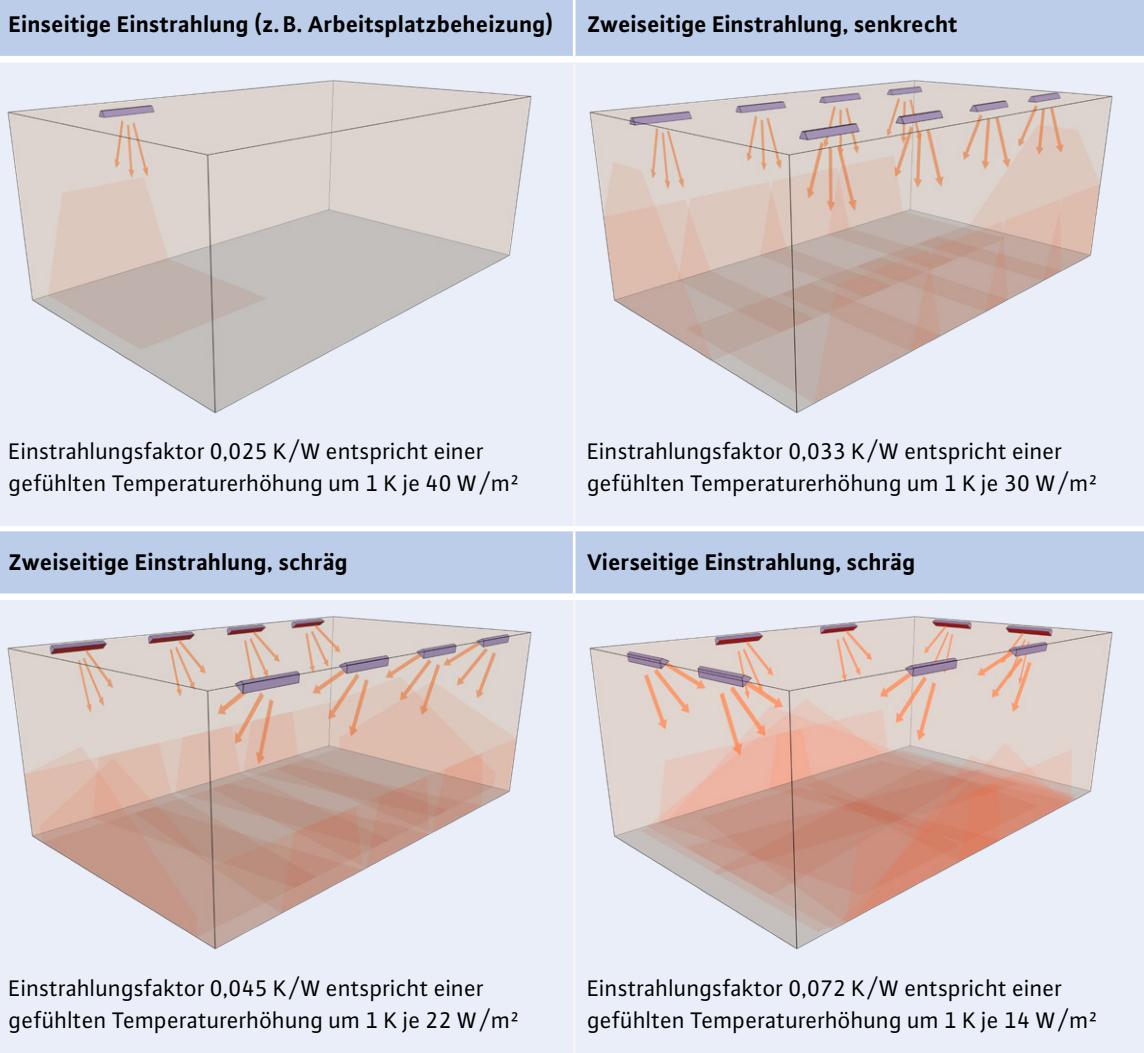


Abbildung 3: Einstrahlungsfaktoren für Hell-/Dunkelstrahler in Abhängigkeit von der Einstrahlsituation nach DVGW G 638-1/2 [1, 2]

Durch einschlägige Richtlinien werden Grenzwerte bestimmter behaglichkeitsrelevanter Größen formuliert. Darüber hinaus haben sich verschiedene Ansätze zur Beurteilung der Behaglichkeit etabliert – u. a. die sogenannte Behaglichkeitsnorm DIN EN ISO 7730 [3]. Nach ihr sind einerseits die thermische Behaglichkeit als Ganzes und andererseits die einzelnen Behaglichkeitskriterien lokal zu bewerten. Die Norm betrachtet hierbei

- » das Zugluftrisiko,
- » die Strahlungstemperatursymmetrie,
- » zulässige Oberflächentemperaturen und
- » den Lufttemperaturgradienten über der Höhe.

Bei Strahlungsheizungen stellen sich erfahrungsgemäß in der Regel sehr geringe Lufttemperaturgradienten über der Höhe ein. Ebenfalls verursachen die Heizsysteme praktisch keine Luftbewegung im Aufenthaltsbereich. Jedoch sollte bei Planung und Auslegung die Strahlungsasymmetrie im Auge behalten werden. Erfolgt die Wärmeübertragung im Wesentlichen durch Strahlung, hängt die empfundene Behaglichkeit u. a. von der Intensität der Strahlung und der Verteilung der strahlenden Oberflächen um die Person(en) ab. Eine asymmetrische Verteilung der Strahlung kann als unbehaglich empfunden werden. Wird sich an einem mittleren Behaglichkeitsniveau nach DIN EN ISO 7730 orientiert (Kategorie B), sollte – bei Beheizung von der Decke aus – der Unterschied der Strahlungstemperaturen des oberen und unteren Halbraums im Aufenthaltsbereich kleiner als 5 K sein.

Kategorie ^a zulässige Strahlungstemperaturdifferenz bei warmer Decke	
A, B	< 5 K
C	< 7 K

a DIN EN ISO 7730 beurteilt die Behaglichkeit anhand dreier Behaglichkeitskategorien A, B und C, wobei nach Kategorie A die höchsten und nach Kategorie C die geringsten Anforderungen an die Einhaltung von Behaglichkeitskriterien gelten. Insofern kann Kategorie B als ein „mittleres Behaglichkeitsniveau“ verstanden werden, demgegenüber Kategorie A als ein etwas höheres und Kategorie C als ein etwas geringeres.

Tabelle 2: Grenzwerte der Strahlungstemperatursymmetrie nach DIN EN ISO 7730 [3]

Die Arbeitsstättenregel¹ Raumtemperatur (ASR A3.5 [4]) enthält Mindestwerte der Lufttemperatur für Arbeitsräume in Abhängigkeit von Körperhaltung und Aktivitätsgrad. Obwohl die Arbeitsstättenregel an dieser Stelle explizit von „Mindestwerte[n] der Lufttemperatur“ spricht, können sie für Räume, welche mit Strahlungsheizsystemen beheizt werden, als operative Temperaturen interpretiert werden.²

Überwiegende Körperhaltung	Arbeitsschwere		
	leicht	mittel	schwer
Sitzen	20 °C	19 °C	–
Stehen, Gehen	19 °C	17 °C	12 °C

Tabelle 3: Mindestwerte der Lufttemperatur in Arbeitsräumen nach ASR A3.5:2014 [4]

Nutzung	Raumtemperatur im Hallenbereich
Lagerbereiche/Lagerhallen, Logistikhallen	12 – 15 °C
Fertigungshallen	15 – 20 °C
Sport- und Mehrzweckhallen	17 – 20 °C

Tabelle 4: Praxisübliche Raumtemperaturen in Hallen

- 1 Die Arbeitsstättenregeln (Technische Regeln für Arbeitsstätten) ersetzen die früheren Arbeitsstättenrichtlinien – jedoch wird in der einschlägigen Literatur und im technischen Sprachgebrauch mitunter noch unscharf die ältere Bezeichnung Arbeitsstättenrichtlinie(n) verwendet.
- 2 Die Arbeitsstättenregel beschränkt sich hier vereinfachend auf die Nennung von Lufttemperaturwerten, da diese in vielen Fällen eine hinreichend genaue Beurteilung zulassen und sich einfacher messen lassen als operative Temperaturen. Gleichzeitig schränkt das Regelwerk jedoch dahingehend ein, dass die Lufttemperatur u. a. bei Arbeitsplätzen mit hoher Wärmestrahlung nicht zur Beurteilung der empfundenen Raumtemperatur geeignet ist – intensive Wärmestrahlung, auch von Heizsystemen, muss bei der Beurteilung der Raumtemperaturrempfindung berücksichtigt werden. Darüber hinaus führt die Arbeitsstättenregel Strahlungsheizungen explizit als Möglichkeit zur Kompensation geringer Lufttemperaturen auf.

3. Energieträger

Im Wärmemarkt werden in den Bereichen Raumheizung, Warmwasser und Prozesswärme derzeit im Sektor „Gewerbe, Handel und Dienstleistung“ (GHD) die Energieträger Erdgas, Heizöl, Fernwärme, Biomasse und Strom eingesetzt [5]. Mit einem Marktanteil von über 50 % ist der Energieträger Erdgas am stärksten vertreten.

Zur Aufteilung der verwendeten Energieträger im Hallenbereich existieren praktisch keine belastbaren Zahlen – nicht zuletzt wegen einer fehlenden einheitlichen Definition des Begriffs Halle. Mit Blick auf die typischen Hallenheizsysteme – besonders die in der Regel gasbetriebenen dezentralen Hallenheizungen (siehe auch Abbildung 5) – kann jedoch von einer ähnlichen Verteilung ausgegangen werden.

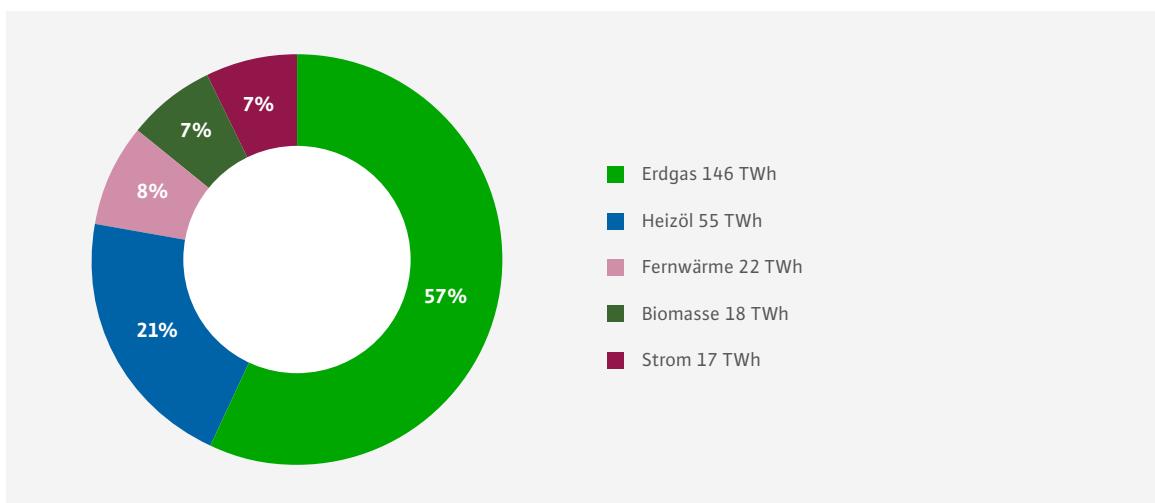


Abbildung 4: Energieverbrauch für Raumheizung, Warmwasser und Prozesswärme im Sektor GHD in Deutschland 2013 [5]

Energieträger ^a	spezifische Emissionen [g/kWh _{HI}]				
	CO ₂ -Äquivalent	CO ₂	SO ₂	NO _x	Staub
Erdgas	250	228	0,01	0,19	0,01
Heizöl	315	312	0,28	0,21	0,02
Fernwärme-Mix	298	275	0,13	0,40	0,02
Stromnetz lokal	565	538	0,31	0,52	0,04
Holzpellets	25	22	0,12	0,27	0,06

a Die angegebenen Kennwerte für Brennstoffe und Fernwärme basieren auf Verhältnissen des Jahres 2010 und werden üblicherweise auch für aktuelle Betrachtungen herangezogen, da in den zugrundeliegenden Prozessen/Prozessketten innerhalb dieses Zeitraum keine maßgebliche Änderung der Emissionsbilanz bewirkt wurde. Für den lokalen Strommix werden abweichend davon aktuellere Werte (2015) angegeben, da die Emissionsbilanz der Stromproduktion – u. a. durch den steigenden Anteil Erneuerbarer Energien – einer dynamischeren Entwicklung unterliegt.

Tabelle 5: Energiespezifische Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen verschiedener Energieträger nach GEMIS [6]

Erdgas

Erdgas ist heute in den meisten Gegenden verfügbar. Der Energieträger kann in nahezu allen auf Verbrennung basierenden Wärmeerzeugern sowie in (Erdgas-)Brennstoffzellen verwendet werden. Erdgas ist als Brennstoff aufgrund seiner Vorteile weit verbreitet:

- » Erdgas ist als Energieträger in Heizungsanlagen sowohl logistisch als auch technologisch vergleichsweise einfach zu handhaben:
 - » Es gelangt über das gut ausgebaute Leitungsnetz in der richtigen Menge direkt bis zur Verbrauchsstelle.
 - » leitungsgebundener Energieträger; keine Bevorratung und entsprechende Lagereinrichtungen, wie etwa Öltanks oder Holzlager, notwendig
 - » je nach Anwendung sehr großer Modulationsbereich der Leistungsabgabe möglich; keine Vorvergasung notwendig; einfache abzuführende, gasförmige Verbrennungsprodukte
 - » Einsatz in allen üblichen dezentralen Hallenheizsystemen möglich – einige dieser Systeme (Hellstrahler) funktionieren heute nur mit gasförmigen Brennstoffen
- » Bei der Beheizung sehr großer Hallen mit dezentralen Hallenheizungen kann Erdgas problemlos über weite Strecken transportiert werden und verursacht hierbei – anders als beispielsweise ein wasserführendes Wärmeverteilnetz – keine zusätzlichen Hilfsenergieaufwendungen und Wärmeverluste.
- » Durch die heute üblichen und entsprechend angepassten Brenner lässt sich ein sehr geringer NOx-Ausstoß sicherstellen.
- » Mit seiner relativ geringen Emissionsbelastung ist Erdgas ein umweltschonender Energieträger für den Einsatz in Heizungsanlagen. Darüber hinaus steht Bio-Erdgas aus erneuerbaren Quellen zur Verfügung.
- » Das Einsparpotenzial durch Brennwert – gegenüber der Heizwertnutzung – ist vergleichsweise hoch.

Biogas

Biogas ist ein Energieträger aus erneuerbaren Quellen. Biogas wird aus nachwachsenden Rohstoffen und Reststoffen gewonnen. Der Energieträger kann als auf Erdgasqualität aufbereitetes Bio-Erdgas mit der bereits bestehenden Erdgasinfrastruktur – in beliebigen Mischungsverhältnissen mit konventionellem Erdgas – gespeichert, verteilt und genutzt werden. Viele Energieversorger bieten Gastarife mit Bio-Erdgas-Anteil an.

Elektroenergie

Elektroenergie ist praktisch überall verfügbar. Der Anteil von Energien aus erneuerbaren Quellen an der Stromproduktion nimmt stetig zu und lag 2016 bei ca. 32 %. Wird Elektroenergie zur Beheizung von Gebäuden genutzt, dann kommen hierzu in aller Regel Wärmepumpen zum Einsatz. In bestimmten Fällen, besonders bei sehr kleinen Leistungs- und Energieanforderungen, wird allerdings auch auf Direktheizungen zurückgegriffen (z. B. Zusatzheizstäbe bei Elektrowärmepumpen, elektrische Trinkwassererwärmung).

Fernwärme

Fernwärme steht als leitungsgebundener Energieträger vorwiegend im städtischen Raum zur Verfügung. Anders als bei Brennstoffen ist zur Übergabe der Wärme am Hausanschluss lediglich eine Wärmeübergabestation (Wärmeübertrager mit Anschlussarmaturen und ggf. Regelungskomponenten) notwendig. Die Schadstoff- und Primärenergiebilanz von Fernwärme hängt wesentlich von ihrer Erzeugung ab. Fernwärme aus KWK-Anlagen weist üblicherweise recht günstige Primärenergiefaktoren auf ($f_P < 1$).

Heizöl

Heizöl ist durch Anlieferung per Tankwagen überall verfügbar. Der Brennstoff kann in den meisten auf Verbrennung basierenden Wärmeerzeugern eingesetzt werden; bestimmte Wärmeerzeuger können allerdings bisher nur mit gasförmigen Brennstoffen betrieben werden (Hellstrahler). Für den Betrieb einer Heizungsanlage mit Heizöl muss eine entsprechende Tankanlage und ein Lagerraum vorhanden sein. Im Vergleich zu Erdgas verursacht die Verbrennung von Heizöl höhere Treibhausgas- und Luftschatstoffemissionen.

Holz

Holz wird zur Verbrennung überwiegend in Form industriell hergestellter Pellets, als Stückholz oder als Hackschnitzel, eingesetzt. Holzpellets sind heutzutage so gut wie überall verfügbar – z. B. per Lieferung in speziellen Tankwagen. Holz wird als nahezu CO₂-neutraler Brennstoff betrachtet, weist bei der Verbrennung allerdings höhere Emissionen an anderen Luftschatstoffen und Feinstaub auf, welche jedoch durch technische Maßnahmen reduziert werden können. Für einen Betrieb mit Holz müssen entsprechender Lagerraum und ggf. eine Anlage zur Holzförderung/Beschickung vorhanden sein; handbeschickte Holzkesel sind im gewerblichen Bereich sowie in Großanlagen unüblich.

4. Hallenheizsysteme im Überblick

Hallenheizsysteme können nach mehreren Kriterien unterschieden werden. Eine zweckmäßige Unterteilung der heutzutage üblichen Systeme kann z.B. anhand der Anordnung der Wärmeerzeugung innerhalb des versorgten Gebäudes in

- » zentral versorgte und
- » dezentrale

Hallenheizungen erfolgen oder anhand des dominierenden

Wärmeübertragungsmechanismus in

- » Luft-,
- » Strahlungs- und
- » Fußbodenheizungen.

Letztgenannte können hinsichtlich ihrer wärmephysiologischen Eigenschaften als Sonderfall einer Strahlungsheizung mit sehr großer Strahlungsfläche bei sehr geringer Übertemperatur betrachtet werden.

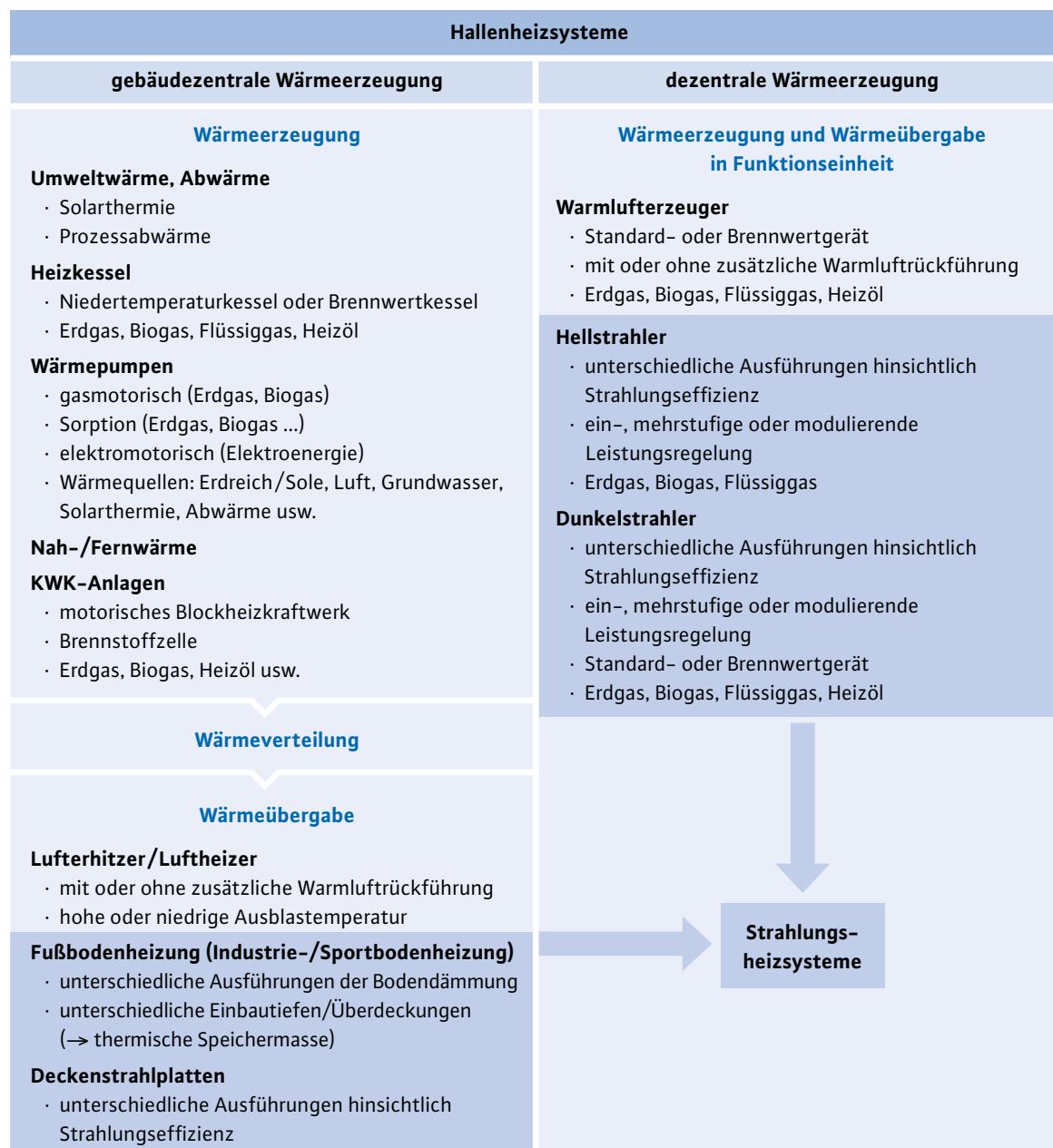


Abbildung 5: Hallenheizsysteme unterteilt nach Wärmeerzeugung, Überblick

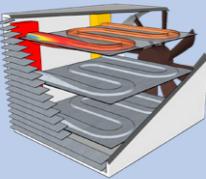
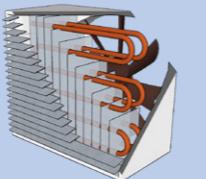
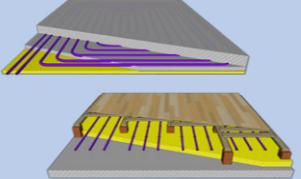
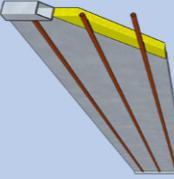
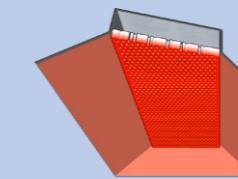
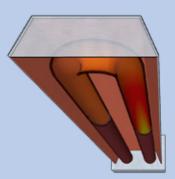
	Luftheizung		Fußbodenheizung	Deckenstrahlplatte	Strahlungsheizung	
						
Funktionsweise	Die Wärmeerzeugung erfolgt durch einen in das Gerät integrierten Gas- oder Ölfeuerer. Das verbrennende Brennstoff-Luft-Gemisch wird durch einen Abgas-Luft-Wärmeübertrager geführt. Ein Ventilator saugt Raum-, Außen- oder Mischluft an, leitet sie über einen extern beheizten Wasser-Luft-Wärmeübertrager und bläst sie mit nunmehr erhöhter Temperatur in den Raum. Die für den Betrieb des Luftheitzers eingesetzte Hilfsenergie (Gebläse) kommt dem zu beheizenden Raum als Wärmeeintrag zugute – dennoch sollte auch hinsichtlich Hilfsenergie auf eine möglichst energieeffiziente Ausführung geachtet werden, z.B. durch effiziente Elektromotoren/Gebläse.	Ein Ventilator saugt Raum-, Außen- oder Mischluft an, leitet sie über einen extern beheizten Wasser-Luft-Wärmeübertrager und bläst sie mit nunmehr erhöhter Temperatur in den Raum. Die für den Betrieb des Luftheitzers eingesetzte Hilfsenergie (Gebläse) kommt dem zu beheizenden Raum als Wärmeeintrag zugute – dennoch sollte auch hinsichtlich Hilfsenergie auf eine möglichst energieeffiziente Ausführung geachtet werden, z.B. durch effiziente Elektromotoren/Gebläse.	Bei Industriefußbodenheizungen werden wasserführende Heizrohre aus geeignetem Material in der Bodenplatte verlegt – aus statischen und konstruktiven Gründen üblicherweise verhältnismäßig tief. Bei Sportbodenheizungen erfolgt die Verlegung i. d. R. im Hohlräum unterhalb des elastischen Sportbodens. Die nutzbare Wärmeabgabe erfolgt bei einer Fußbodenheizung durch Wärmestrahlung und durch Konvektion im bodennahen Bereich.	Deckenstrahlplatten bestehen aus Wärmeleit-/Strahlblechen, in die wasserführende Rohre eingelassen sind. Oberseitig sind Deckenstrahlplatten i. d. R. gedämmt, um die nicht nutzbare Wärmeabgabe nach oben zu minimieren. Die nutzbare Wärme wird im Wesentlichen als Wärmestrahlung abgegeben; eine Erwärmung der Raumluft findet nur indirekt durch Konvektion an den angestrahlten Oberflächen und z.T. am Strahler (vorwiegend durch Verbrennungsabgase, welche i. d. R. über die Raumluft abgeführt werden) statt.	Das Brenngas-Luft-Gemisch wird an einer hochtemperaturbeständigen porösen Brennfläche nahezu flammenlos verbrannt, wobei sich die Brennfläche stark erwärmt. Die nutzbare Wärme wird im Wesentlichen als Infrarotstrahlung abgegeben; eine Erwärmung der Raumluft findet nur indirekt durch Konvektion an den angestrahlten Oberflächen und z.T. am Strahler statt.	Die Wärmeerzeugung erfolgt durch einen in das Gerät integrierten Gas- oder Ölfeuerer. Das verbrennende Brennstoff-Luft-Gemisch wird per Gebläse in einer langen Flamme durch ein Strahlrohr geführt. Das durch die Flamme und den Abgasstrom stark erwärmte Strahlrohr gibt Infrarotstrahlung in den Raum ab; eine Erwärmung der Raumluft findet nur indirekt durch Konvektion an den angestrahlten Oberflächen und z.T. am Strahler statt.
Wärmeerzeugung/Beheizung	dezentral im Gerät (Wärmeerzeugung und –übergabe in Baueinheit)	externer/gebäudezentraler Wärmeerzeuger (z.B. Heizkessel)		externer/gebäudezentraler Wärmeerzeuger (z.B. Heizkessel)		dezentral im Gerät (Wärmeerzeugung und –übergabe in Baueinheit)
Wärmeverteilung	entfällt	warm-/heißwasser- oder dampfführendes Wärmeverteilnetz	warmwasserführendes Wärmeverteilnetz	warm-/heißwasser- oder dampfführendes Wärmeverteilnetz	entfällt	entfällt
Verbrennungsluftzufuhr und Abgasführung	<ul style="list-style-type: none"> · raumluftabhängige und –unabhängige Betriebsweise · Abgasanlage je Gerät oder Sammelabgasanlage, ggf. als Luft-Abgassystem ausgeführt · Brennwertgeräte verfügbar 	–	–	–	<ul style="list-style-type: none"> · raumluftabhängige und unabhängige Betriebsweise (Luftzufuhr) · Abgasführung i. d. R. über Raumluft, seltener durch Abgasabsaugung geräteweise 	<ul style="list-style-type: none"> · raumluftabhängige und unabhängige Betriebsweise · Abgasführung i. d. R. über Abgasanlage (geräteweise oder gesammelt), ggf. als Luft-Abgassystem ausgeführt · Hybridsysteme mit sekundärer Abgaswärmenutzung verfügbar
üblicher Leistungsbereich je Gerät ca.	10 ... >500 kW	10 ... 150 kW	u. a. abhängig von Fläche, Rohrstand und Systemtemperaturen	u. a. abhängig von Plattenlänge und -breite sowie Systemtemperaturen	5 ... 40 kW	5 ... >150 kW → teils deutlich höhere Werte bei Multibrennersystemen
Hilfsenergiebedarf	mittel	Teilsystem: sehr gering bis mittel → jedoch zusätzlicher Aufwand für Wärmeerzeugung und –verteilung	Teilsystem: keiner → jedoch zusätzlicher Aufwand für Wärmeerzeugung und –verteilung	Teilsystem: keiner → jedoch zusätzlicher Aufwand für Wärmeerzeugung und –verteilung	gering	gering
Betriebsgeräusche	vorhanden → u. a. abhängig von Anlagenkonfiguration (Luftmenge, Strömungsgeschwindigkeit, Motor- und Gebläsetyp, Drehzahl, Art der Drehzahlregelung usw.)		keine	keine	keine bis gering	keine bis gering
Aufheizzeit	gering	gering bis mittel, abhängig von Wärmeverteilnetz	hoch bis sehr hoch	gering bis mittel, abhängig von Wärmeverteilnetz	gering bis sehr gering	gering bis sehr gering
Luftbewegung durch Gerätbetrieb	ja	ja	nein	nein	nein	nein
Nutzung als Lüftungssystem	ja	ja	nein	nein	nein	nein
Nutzung als Kälteübergabesystem	nein, → Hybrideräte mit zusätzlichem wasserführendem Heiz-/Kühlregister erhältlich	ja, ggf. Kondensatablauf notwendig – Herstellerangaben beachten	ja, aber Leistung begrenzt durch zulässige Oberflächentemperatur (Behaglichkeit) und Taupunkt	ja, aber Leistung begrenzt durch Taupunkt	nein	nein
räumliche Teilbeheizung	bedingt	bedingt	ja	ja	ja	ja
Beheizung von Räumen mit Explosionschutzaforderungen bzw. entzündlichen Stoffen (Gase, Nebel/Dämpfe, Stäube) in der Atmosphäre	i. d. R. nein	ja, bei entsprechender Geräteausführung	ja	ja	nein	nein

Tabelle 6: Übliche Hallenheizsysteme im Überblick

5. Strahlungsheizungen

5.1 Allgemeines

Heizsysteme nutzen zur Wärmeübertragung im zu beheizenden Raum zwei Wärmetransportmechanismen – Konvektion und Strahlung.

Mit **Konvektion** bzw. **konvektiver Wärmeübertragung** ist die stoffgebundene Wärmeübertragung mittels eines Übertragungsmediums gemeint – bei Heizsystemen durch Erwärmung der Raumluft und entweder thermisch angetriebene oder erzwungene Luftbewegung (z.B. mit Gebläsen).

Strahlungswärmeaustausch/-übertragung³ beschreibt die unmittelbare Übertragung von Wärme durch Strahlungsaustausch zwischen Oberflächen, welche zueinander unterschiedliche Temperaturen aufweisen und in gegenseitiger Sichtbarkeit stehen.

Strahlungsheizsysteme nutzen als Wärmeübertragungsmechanismus vorwiegend Infrarotstrahlung.³ Vom Heizsystem angestrahlte Oberflächen werden hierbei unmittelbar erwärmt. Eine Erwärmung der Raumluft findet nur indirekt und teils zeitlich verzögert an den Oberflächen des Strahlers und an den angestrahlten und damit ihrerseits erwärmten Oberflächen statt.

Strahlungsheizungen für Hallen werden hinsichtlich der Wärmeerzeugung in zwei Gruppen unterteilt; das sind

- » zum einen Systeme, welche die Wärme mittels eines integrierten Brenners oder einer zum Raum hin offenen Brennerfläche selbst erzeugen (dezentrale Wärmeerzeugung) und
- » zum anderen Systeme, die an ein wasser- oder dampfführendes Wärmeverteilnetz angeschlossen werden und ihre Wärme von einem externen Wärmeerzeuger – z.B. dem Heizkessel der Zentralheizung – beziehen (zentrale Wärmeerzeugung, Zentralheizung).

Als eine Sonderform der Strahlungsheizungen mit dezentraler Wärmeerzeugung können elektrische Flächenheizungen sowie Elektrostrahler betrachtet werden – die Erwärmung erfolgt hier nicht durch Verbrennung eines Brennstoffs, sondern durch Stromfluss in einem elektrischen Widerstand. Solche Heizelemente spielen bei der Beheizung von Hallengebäuden in der Regel keine Rolle und werden hier nicht näher betrachtet.

5.2 Dezentrale Wärmeerzeugung

5.2.1 Hellstrahler

Hellstrahler kombinieren als dezentrale Hallenheizsysteme Wärmeerzeugung und –übergabe innerhalb desselben Gerätes.

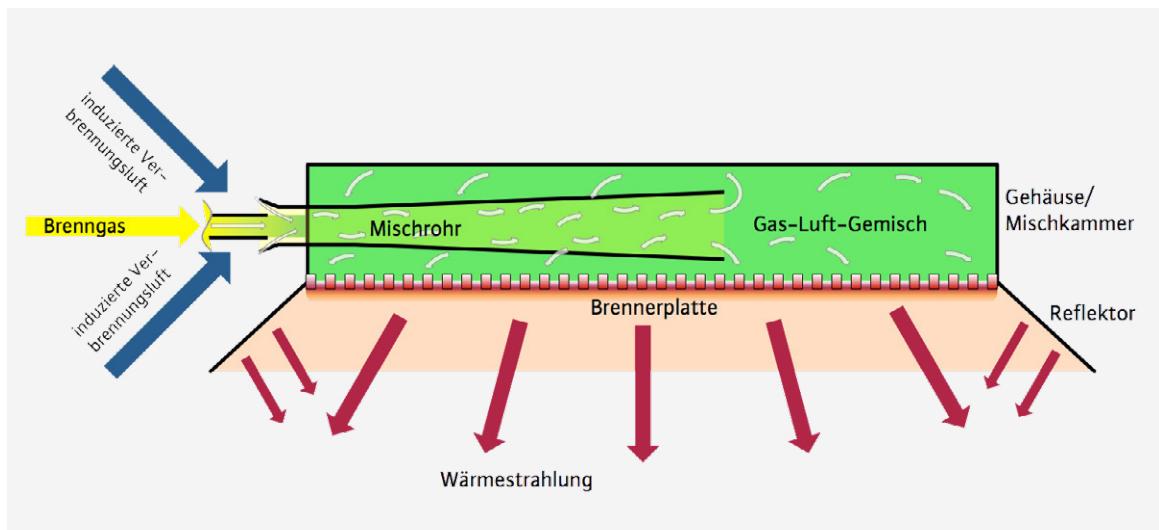


Abbildung 6: Aufbau und Funktionsweise eines einfachen Hellstrahlers; vereinfachte Prinzipdarstellung

³ Umgangssprachlich und auch im technischen Kontext von Strahlungsheizsystemen werden die Begriffe Wärmestrahlung und Infrarotstrahlung üblicherweise synonym verwendet.

Aufbau und Funktion

Das mit der notwendigen Verbrennungsluft vorgemischte Brenngas wird an einer hochtemperaturbeständigen porösen Brennfläche nahezu flammenlos verbrannt. Hierbei erwärmt sich die Brennerfläche auf Temperaturen in der Größenordnung 750 ... 950 °C und glüht sichtbar – daher der Name „Hellstrahler“. Die nutzbare Wärme wird im Wesentlichen als Wärmestrahlung abgegeben; eine Erwärmung der Raumluft findet nur indirekt an den angestrahlten Oberflächen statt und z. T. am Strahler selbst – hier vorwiegend durch Verbrennungsabgase, welche in der Regel über die Raumluft abgeführt werden. Hellstrahler verwenden atmosphärische Brenner – die notwendige Verbrennungsluft wird ohne Gebläse durch Induktion in den Gasstrom gesaugt. Hilfsenergie wird nur für Zündung, Steuerung/Regelung und Feuerungssystemen benötigt.

Hinsichtlich der Effizienz von Hellstrahlern ist besonders der Strahlungsfaktor R_f nach DIN EN 419-2 [7] von Bedeutung – er gibt an, welcher Anteil der Energie des Brenngases in nutzbare Strahlung umgesetzt wird. In Deutschland marktübliche Standard-Geräte erreichen in der Regel Werte merklich über 55 %, energetisch optimierte Geräte heutzutage deutlich über 70 %. Hellstrahler sind typischerweise in einem Leistungsbereich von 5 bis 40 kW erhältlich.

Abgasführung

Bei der Mehrzahl der Hellstrahler werden die Verbrennungsabgase nach Austritt aus der Brennerplatte an die Raumluft abgegeben und müssen mit dieser abgeführt werden – man spricht hierbei von indirekter Abgasführung. Mitunter kommen auch Hellstrahler mit Abgasanlagen⁴ zum Einsatz – diese Ausführung stellt jedoch einen Ausnahmefall dar. Hinsichtlich der Abgasführung sind u.a. die Vorgaben des DVGW-Arbeitsblattes G 638-1 [1] sowie des Geräteherstellers zu berücksichtigen.

Bei indirekter Abgasführung gemäß DVGW G 638-1 ist ein spezifischer Abluftvolumenstrom von $10 \text{ m}^3/\text{hkW}$ mit Bezug auf die in Betrieb befindliche Nennwärmeverlustlast des Hellstrahlers durch entsprechende Lüftungsöffnungen in Verbindung mit entweder thermischem Auftrieb oder mechanischem Antrieb sicherzustellen. Bei sehr hohen natürlichen Luftwechseln (z.B. Überdachung mit höchstens drei Umschließungswänden) oder sehr geringen spezifischen Leistungen (z.B. Beheizung vereinzelter Arbeitsplätze in sehr großen Räumen) darf u. U. auf solche Maßnahmen zur Abgasabfuhr verzichtet werden.



Abbildung 7: Fertigungs-/Montagehalle mit Hellstrahlern (Modell Schwank supraSchwank)

Verbrennungsluftzufuhr

Die Verbrennungsluftversorgung erfolgt bei Hellstrahlern aus dem Aufstellraum.⁵ Wie bei allen raumluftabhängig betriebenen Heizgeräten ist eine entsprechende Verbrennungsluftversorgung des Raums sicherzustellen – diese ist bei ordnungsgemäßer Ausführung von Be- und Entlüftungsöffnungen nach DVGW-Arbeitsblatt G 638-1 [1] in der Regel gewährleistet.

5.2.2 Dunkelstrahler

Dunkelstrahler zählen ebenfalls zu den dezentralen Hallenheizsystemen – auch sie vereinen Wärmeerzeugung und –übergabe in einem Gerät.

Aufbau und Funktion

Die Wärmeerzeugung erfolgt durch einen in das Gerät integrierten Gas- oder Ölfeuerung. Das verbrennende Brennstoff-Luft-Gemisch wird per Gebläse – entweder als Gebläsefeuerung oder als saugender Abgasventilator – in einer langen, weichen Flamme durch ein Rohr geführt. Dieses sogenannte Strahlrohr wird hierbei durch die Flamme und den Abgasstrom je nach Bauart auf Temperaturen zwischen 300 und 650 °C erwärmt und gibt Infrarotstrahlung in den Raum ab; eine Erwärmung der Raumluft findet nur indirekt an den angestrahlten Oberflächen und an heißen Flächen des Dunkelstrahlers selbst statt.

4 Entsprechende Geräte sind mit einer zusätzlichen Abgashube oberhalb von Gehäuse und Reflektoren versehen. Die aus der Brennerplatte austretenden Verbrennungsabgase werden im Ringspalt zwischen Reflektoren und Haube abgesaugt.

5 Raumluftunabhängiger Betrieb – d. h. Verbrennungsluftversorgung von außerhalb des Aufstellraums – ist bei Hellstrahlern zwar grundsätzlich denkbar, allerdings in Kombination mit dem atmosphärischen Brenner (siehe auch Abbildung 6) technisch aufwändiger und heutzutage unüblich.

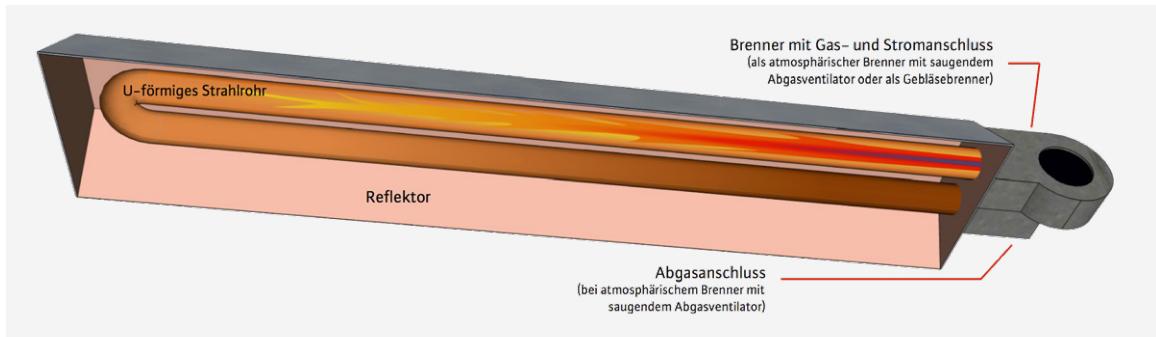


Abbildung 8: kompakter Dunkelstrahler mit u-förmigem Strahlrohr in gemeinsamem Reflektor, vereinfachte Darstellung

Hinsichtlich der Effizienz von Dunkelstrahlern ist besonders der Strahlungsfaktor R_f nach DIN EN 416-2 [8] von Bedeutung – er gibt an, welcher Anteil der Energie des Brennstoffs in nutzbare Strahlung umgesetzt wird. In Deutschland marktübliche Standard-Geräte erreichen in

der Regel Werte über 55 %, energetisch optimierte Geräte heutzutage über 70 %. Bei Dunkelstrahlern werden verschiedene Bauformen unterschieden, u. a. nach Form der Strahlrohre und Anzahl der Brenner.

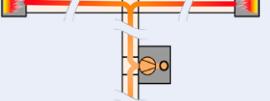
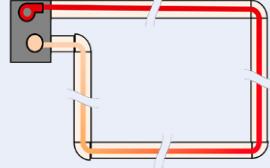
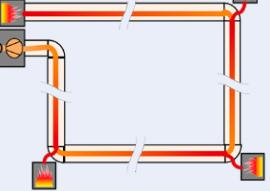
	Ein Brenner pro Strahlrohr	Mehrere Brenner pro Strahlrohr
U-Rohr <ul style="list-style-type: none"> oft modulare Bauweise (variable Länge) Gasanschluss/Brenner und Abgasanschluss in räumlicher Nähe zueinander durch Gegenüberliegen von wärmeren und kälteren Strahlrohrsegmenten (Gegenströmung) näherungsweise gleichbleibende Strahlungsintensität entlang Längsachse 		–
Linearanordnung, auch gewinkelt als L-Anordnung, z. T. verzweigt bei Multibrennersystemen usw. <ul style="list-style-type: none"> modulare Bauweise und große bis sehr große Bau-längen zur Beheizung großer Flächen Gasanschluss/Brenner und Abgasanschluss räumlich getrennt Abfall der Strahlungsintensität entlang Strahlrohr <ul style="list-style-type: none"> kann erwünscht sein (z. B. höhere Strahlungsintensität im Bereich kalter Außenwände/-ecken) kann nötigenfalls durch geeignete Montageanordnung oder Einsatz von Multibrennersystem kompensiert werden 	   	
Ringanordnung <ul style="list-style-type: none"> modulare Bauweise und große bis sehr große Bau-längen zur Beheizung großer Flächen Gasanschluss/Brenner und Abgasanschluss bei Einbrennersystemen in räumlicher Nähe zueinander; bei Mehrbrennersystemen zusätzliche Brenner entlang Strahlrohr Abfall der Strahlungsintensität entlang Strahlrohr <ul style="list-style-type: none"> kann erwünscht sein (z. B. höhere Strahlungsintensität im Bereich kalter Außenwände/-ecken) kann nötigenfalls durch geeignete Montageanordnung oder Einsatz von Multibrennersystem kompensiert werden 		

Abbildung 9: Unterschiedliche Bau-/Installationsformen von Dunkelstrahlern, beispielhafte Auswahl, schematische Darstellung

Abgasführung und -abwärmenutzung

Die Verbrennungsabgase von Dunkelstrahlern werden in aller Regel über Abgasanlagen nach außen abgeführt. Hierzu können sowohl Einzelanlagen je Strahler als auch Sammelanlagen für mehrere Strahler zum Einsatz kommen.

Die Abgase weisen, abhängig von der Bauform des Strahlers, nach dem Passieren der Strahlrohre in der Regel noch sehr hohe Temperaturen deutlich über dem Kondensationsbereich auf, sodass sich eine sekundäre Nutzung der Abgaswärme lohnen kann – hierzu werden unterschiedliche Systeme angeboten; verbreitet sind:

» **Abgas-Luft-Wärmeübertrager** zur unmittelbaren Abwärmenutzung: Dem Dunkelstrahler ist eine kleine Luftheizung nachgeschaltet, welche ihre Wärme aus der Abgaswärme des Dunkelstrahlers bezieht. Die Abwärmenutzung ist zeitlich und räumlich an den Strahlerbetrieb gekoppelt – hierdurch ist sichergestellt, dass die Abwärme tatsächlich immer genutzt werden kann und nicht zu einer Zeit anfällt, in welcher kein Wärmebedarf vorliegt.

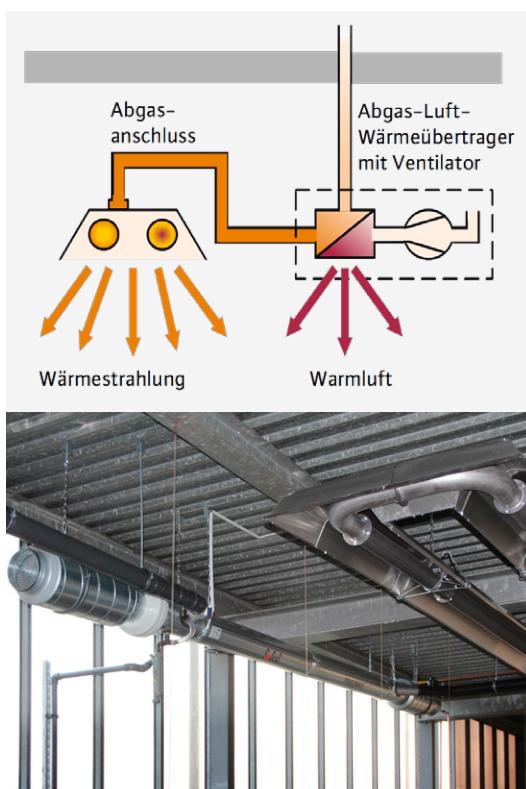


Abbildung 10: Dunkelstrahler mit Abgas-Luft-Wärmeübertrager, oben: Prinzipdarstellung, unten: beispielhaftes Produktbild (Modell GoGaS Trigomax)

» **Abgas-Wasser-Wärmeübertrager** zur entkoppelten Abwärmenutzung: Mit dem Abgasstrom wird Heizungswasser eines Zentralheizungsnetzes erwärmt und üblicherweise in einen Pufferspeicher gespeist. Die Abwärmenutzung ist damit zeitlich und räumlich in gewissem Maß vom Strahlerbetrieb entkoppelt und kann so beispielsweise zur Beheizung von Nebenräumen der Halle (Büro, Sanitärräume usw.) und/oder zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung genutzt werden.

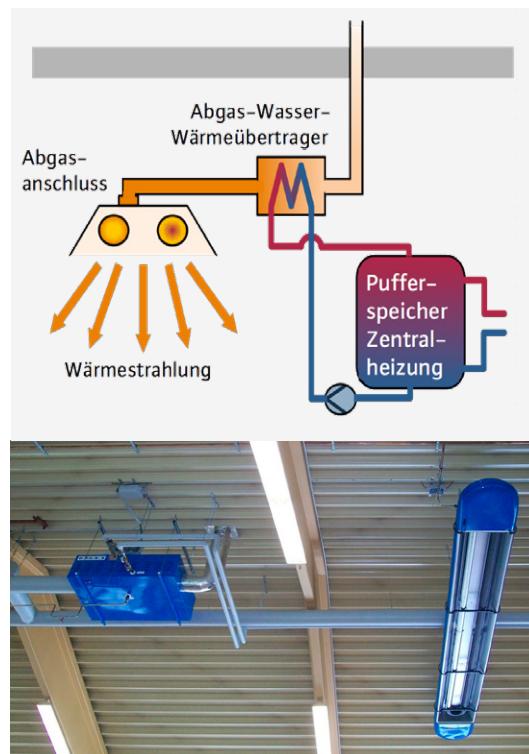


Abbildung 11: Dunkelstrahler mit Abgas-Wasser-Wärmeübertrager; oben: Prinzipdarstellung; unten: beispielhaftes Produktbild (Modell Kübler Optima und Kübler O.P.U.S. X) bis Vor-/Rücklaufleitung Heizmedium

Zusammen mit einer solchen zusätzlichen Abwärmenutzung können Dunkelstrahler Brennwertbetrieb – also Abkühlung des Abgases bis hin zur Kondensation des enthaltenen Wasserdampfes – erreichen.

Verbrennungsluftzufuhr

Die Verbrennungsluftversorgung kann entweder aus dem Aufstellraum der Strahler (raumluftabhängig) oder von außen (raumluftunabhängig) erfolgen. Dunkelstrahler werden in der Regel raumluftabhängig betrieben – wie bei allen raumluftabhängig betriebenen Heizgeräten ist eine entsprechende Verbrennungsluftversorgung des Raums sicherzustellen.⁶ Die Variante der raumluftunabhängigen Verbrennungsluftversorgung von außen wird bei Dunkelstrahlern meist nur dann gewählt, wenn die Raumluft im Bereich der Strahler nicht für eine Verbrennung im Strahler geeignet ist (z. B. Belastung mit aggressiven Stoffen, Verschmutzungen usw.).

5.2.3 Hinweise zu Planung, Auslegung und Montage von Hell- und Dunkelstrahlern

Im Bereich dezentraler Hallenheizsysteme werden systemspezifische Planungsarbeiten sowie die Montage üblicherweise teils oder gänzlich vom Gerätehersteller selbst oder durch spezialisierte Planungsbetriebe in Zusammenarbeit mit dem Hersteller sowie durch speziell geschulte Ausführungsfirmen durchgeführt. Die nachfolgenden Hinweise sollen einen groben Überblick wesentlicher Einflüsse auf die Planung vermitteln.

Bei der Planung und Auslegung von Hell- und Dunkelstrahlern sind die baulichen Gegebenheiten zu berücksichtigen, u. a.

- » Heizlast des Gebäudes,
- » Raumhöhen und mögliche Montageorte/-höhen (hierbei u. a. Einhaltung notwendiger Mindestabstände und -aufhängehöhen),
- » Berücksichtigung von Einbauten (u. a. Vermeidung von Strahlungsschatten) und
- » Sicherstellung der ordnungsgemäßen Verbrennungsluftversorgung und ggf. Abgasführung,

sowie die Gebäudenutzung, u. a.

- » Höhe der geforderten Temperatur und
- » Nutzungszeiten.

Hierbei wird in der Regel eine möglichst gleichmäßige Ausleuchtung der zu beheizenden Fläche angestrebt – in bestimmten Fällen kann jedoch auch eine Temperaturzonierung bzw. die gezielte Beheizung einzelner Bereiche sinnvoll sein (z. B. bei unterschiedlich genutzten Bereichen, bei Beheizung vereinzelter Arbeitsplätze oder zur Kompensation lokal erhöhter Wärmeverluste).

Während die Forderung nach gleichmäßiger Ausleuchtung oft für eine tendenziell höhere Geräteanzahl spricht, wäre aus wirtschaftlichen Erwägungen – besonders hinsichtlich der Investitions- und zukünftigen Wartungskosten⁷ – eine möglichst geringe Anzahl an Heizgeräten anzustreben. Im Rahmen der Planung ist diesbezüglich ein geeigneter Kompromiss zu finden. Hierbei ist ebenfalls zu berücksichtigen, dass leistungsstärkere Geräte höher montiert werden müssen als Geräte mit geringerer Leistung – somit können auch Beschränkungen durch eine maximal mögliche Aufhängehöhe eine höhere Geräteanzahl erforderlich machen.

Hell- und Dunkelstrahler werden üblicherweise waagerecht (Senkrechtstrahler) oder schräg (Schrägstrahler) an Decke/Dach, den Außenwänden oder anderen geeigneten Elementen der Hallentragkonstruktion montiert. Im Betrieb der Strahler müssen unzumutbare Wärmeeinwirkungen für Personen vermieden werden – diesbezüglich ist von leistungsabhängigen Mindestaufhängehöhen für Dunkelstrahler im Bereich zwischen ca. 3 und 5 m auszugehen, für Hellstrahler zwischen ca. 4 und 10 m. Ebenfalls sind definierte Mindestabstände zu Gegenständen einzuhalten, sodass sich auf den angestrahlten und vom Abgasstrom (Hellstrahler) erwärmten Oberflächen keine unzulässig hohen Temperaturen ergeben.⁸

Hell- und Dunkelstrahler sind nicht in Räumen mit leicht entzündlichen Stoffen in der Raumluft – z. B. leicht entzündliche Konzentrationen von Gasen, Nebeln/Dämpfen oder Stäuben – bzw. explosionsfähiger Atmosphäre einsetzbar.⁹

6 Gemäß DGVW-Arbeitsblatt G 638-2 ist eine ausreichende Verbrennungsluftversorgung in Hallen üblicher Dictheit in der Regel sichergestellt, sofern deren Luftvolumen mindestens $10 \text{ m}^3/\text{kW}$ mit Bezug auf die installierte Nennwärmelastung der Strahler beträgt.

7 Die Wartungskosten für dezentrale Hallenheizsysteme hängen in der Regel nicht oder kaum von der installierten Leistung ab, sondern werden maßgeblich von der Geräteanzahl bestimmt.

8 Es sind u. a. die Vorgaben des Geräteherstellers und des DVGW-Arbeitsblattes G 638-1 bzw. 2 [50, 51] zu berücksichtigen. Bei brennbaren Stoffen/Bauteilen darf eine Oberflächentemperatur von 85°C nicht überschritten werden. Hierfür ist im Strahlungsbereich eines Strahlers bei Hellstrahlern in Abhängigkeit u. a. von der Leistung des Geräts ein Abstand zur nächsten Oberfläche zwischen ca. 1 und 2,6 m notwendig, bei Dunkelstrahlern von mindestens 1,5 m. Außerhalb des Strahlungsbereiches ist bei Hellstrahlern in der Regel ein seitlicher Abstand von mindestens 20 cm einzuhalten und nach oben ein Abstand von mindestens 80 cm – bei Dunkelstrahlern sind seitlich und oberhalb jeweils Abstände von mindestens 40 cm einzuhalten. Im Fall von Abgasanlagen (Dunkelstrahler) sind ebenfalls Mindestabstände gemäß jeweiliger Landes-Feuerungsverordnung (FeuVO) und DVGW G 600 [33] zu berücksichtigen. Eine unzumutbare Wärmeeinwirkung für Personen im Strahlungsbereich wird durch Mindestwerte der Aufhängehöhe sichergestellt. Wiederum abhängig u. a. von der Geräteleistung können hierdurch bei Hellstrahlern und den in Hallen üblichen Temperaturniveaus Mindesthöhen zwischen ca. 4 und 9,6 m notwendig sein, bei Dunkelstrahlern zwischen 2,7 und 4,8 m.

9 Es sind die Brand- und Explosionsschutzaforderungen nach geltendem Recht und anerkannten Regeln der Technik im Kontext des jeweiligen Landesbaurechts zu berücksichtigen.

5.3 Zentrale Wärmeerzeugung

5.3.1 Deckenstrahlplatten

Deckenstrahlplatten sind reine (Wärme-)Übergabesysteme und beziehen die notwendige Wärme von einem externen Wärmeerzeuger – z. B. dem Heizkessel der Zentralheizung – über ein Wärmeverteilnetz.

Aufbau und Funktion

Deckenstrahlplatten bestehen aus Wärmeleit-/Strahlblechen, welche mit warm-, heißwasser- oder dampf-

führenden Rohren wärmeleitend verbunden sind. Durch das Heizmedium werden sowohl die Rohre als auch die Bleche erwärmt und geben Infrarotstrahlung in den Raum ab. Oberseitig sind Deckenstrahlplatten in der Regel wärmegedämmt, um die nicht nutzbare Wärmeabgabe nach oben zu minimieren. Die nutzbare Wärme wird im Wesentlichen als Infrarotstrahlung abgegeben; eine Erwärmung der Raumluft findet indirekt durch Konvektion an den angestrahlten Oberflächen und z. T. an der Platte selbst statt.

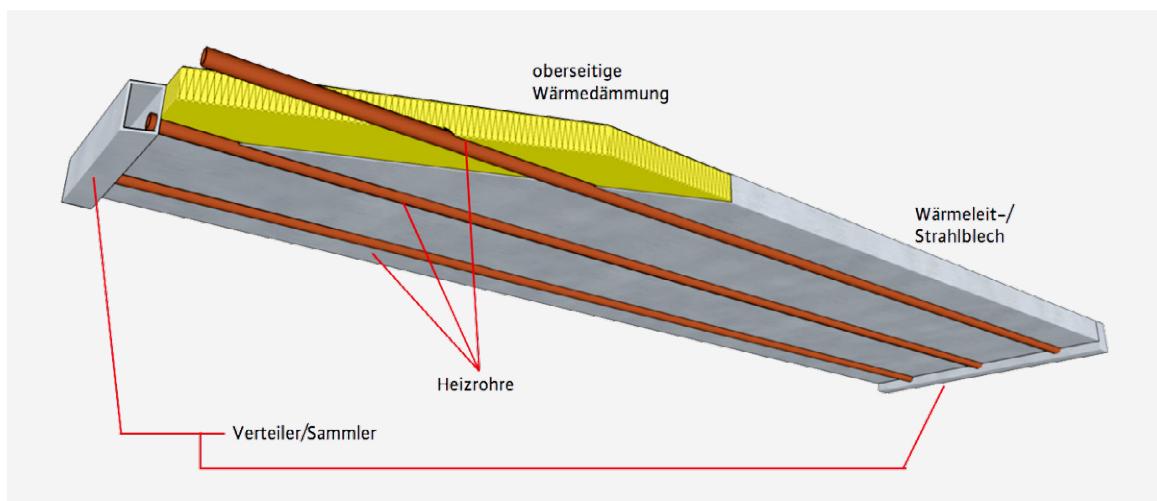


Abbildung 12: Aufbau einer Deckenstrahlplatte, vereinfachte Darstellung

Die heizmediumführenden Rohre sind an den Enden der Platte durch Verteiler/Sammler verbunden. Durch Anpassung der Verteiler/Sammler können Deckenstrahlplatten hydraulisch unterschiedlich verschaltet werden: Bei Parallelschaltung werden alle Rohre in derselben Richtung durchflossen und die Strahlungsleistung nimmt entlang der Plattenlänge ab; werden die Rohre hingegen in Reihe geschaltet, sodass das Heizmedium in einem Rohr vor-, im nächsten zurückfließt usw., ergibt sich eine relativ gleichmäßige Strahlungsverteilung entlang der Plattenlängsachse.

Die Energieeffizienz von Deckenstrahlplatten ist im Wesentlichen durch denjenigen Anteil ihrer Wärmeleistung beschrieben, der als nutzbare Infrarotstrahlung nach unten abgegeben wird.¹⁰

Hinweise zu Planung und Montage

Deckenstrahlplatten werden üblicherweise waagerecht an Dach/Decke bzw. sonstigen geeigneten Elementen der Hallentragkonstruktion aufgehängt. Schrägmontage ist ebenfalls möglich, sollte aus Gründen der Energieeffizienz jedoch nach Möglichkeit vermieden werden.¹¹

Aufgrund der vergleichsweise hohen Masse von Deckenstrahlplatten ist bei deren Planung – insbesondere in der Nachrüstung von Bestandsgebäuden – die Tragfähigkeit der Dachkonstruktion zu berücksichtigen; der Markt bietet u. a. Deckenstrahlplatten aus Aluminiumblech, welche geringere spezifische Gewichte aufweisen als übliche Stahlkonstruktionen.

Im Vergleich zu Hochtemperaturstrahlungsheizungen wie Hell- und Dunkelstrahlern werden Deckenstrahlplatten mit sehr viel geringeren Oberflächentemperaturen betrieben. Dadurch können sie mit vergleichsweise geringen Abständen zu Personen – d. h. mit üblicherweise deutlich geringeren Montagehöhen als Hell- oder Dunkelstrahler – eingebaut werden. Die geringere Betriebstemperatur kann

10 Der Strahlungsanteil kann konstruktiv maximiert werden, u. a. durch oberseitige Wärmedämmung zur Verringerung konvektiver Wärmeverluste, Optimierung der strahlungsrelevanten Oberflächeneigenschaften und der Geometrie der Strahlbleche (z. B. tiefer in Strahlbleche eingelassene Heizrohre für eine stärker nach unten gerichtete Strahlungsabgabe), nach unten verlängerte Reflektorelemente am Plattenrand („Strahlungsschürze“) für gerichtetere Strahlungsabgabe sowie Verringerung konvektiver Wärmeverluste durch seitlich abströmendes Warmluftpolster.

11 Bei geneigter Montage von Deckenstrahlplatten können die konvektiven Wärmeverluste deutlich ansteigen.

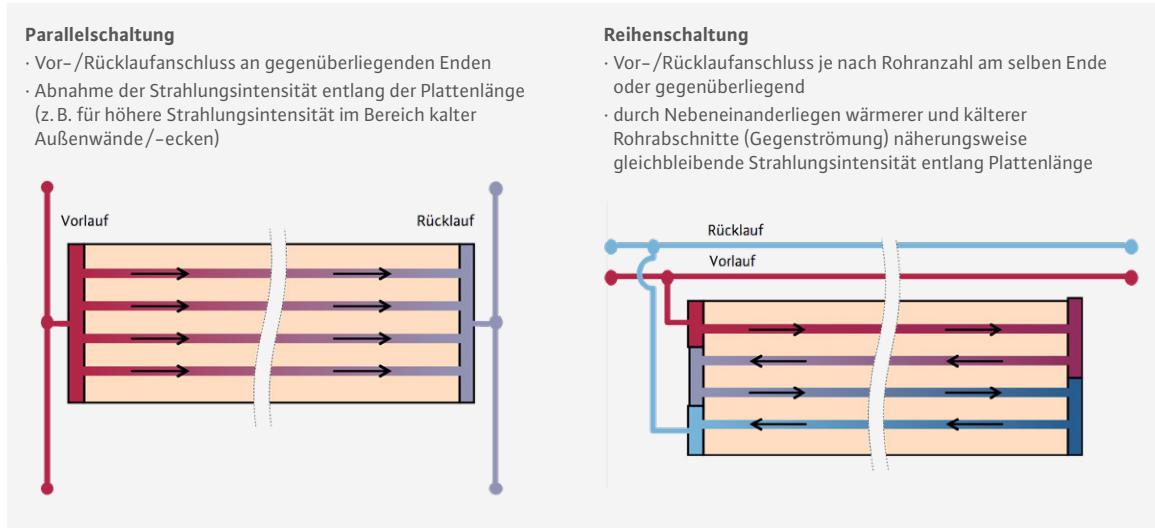


Abbildung 13: Deckenstrahlplatte mit Parallelschaltung bzw. Reihenschaltung der Rohre, schematische Darstellung

in Verbindung mit der höheren Masse der großflächigen Strahlbleche und ggf. dem etwas trügeren Ansprechverhalten des Wärmeverteilnetzes für eine tendenziell höhere thermische Trägheit der Wärmeübergabe im Vergleich mit direktbefeuerten quasipunkt- oder -linienförmigen Hochtemperaturstrahlern sorgen.

Deckenstrahlplatten können für den Betrieb mit geringen Vorlauftemperaturen ausgelegt werden, um beispielsweise möglichst energieeffizient von einer Wärmepumpe versorgt zu werden. Soll hingegen möglichst viel Heizleistung von möglichst wenig Plattenfläche abgegeben werden – z. B. zur Verringerung der Investitionskosten und/oder Traglasten – erfolgt üblicherweise eine Auslegung auf relativ hohe Vorlauftemperaturen.

Deckenstrahlplatten können zur Beheizung und zur Kühlung eingesetzt werden (siehe auch Kapitel 5.3.4).

Der Betrieb von Deckenstrahlplatten ist auch in Bereichen mit Explosionsschutzanforderungen möglich.



Abbildung 14: Lagerhalle mit Deckenstrahlplatten mit optimierter Geometrie der Strahlbleche für erhöhte Strahlungswärmeabgabe nach unten (Modell Frenger ECO EVO)

5.3.2 Fußbodenheizung

Fußbodenheizungen sind reine (Wärme-)Übergabesysteme und beziehen die notwendige Wärme von einem externen Wärmeerzeuger – z.B. dem Heizkessel der Zentralheizung – über ein Wärmeverteilenetz.

Darüber hinaus gibt es ebenfalls elektrisch betriebene Fußbodenheizungen – diese sind im Hallenbereich allerdings bisher nicht von wesentlicher Bedeutung und werden nachfolgend nicht im Detail betrachtet.

Aufbau und Funktion

Bei Industriefußbodenheizungen werden wasserführende Heizrohre aus geeignetem Material in der Bodenplatte verlegt. Aus statischen und konstruktiven Gründen wird in der Regel eine große Überdeckung der Rohre gewählt – d.h. die Rohre befinden sich im Bodenplattenaufbau verhältnismäßig weit unten. In beheizten Sporthallenböden werden die Rohre hingegen üblicherweise in einem Hohlräum unter dem elastischen Bodenaufbau verlegt.

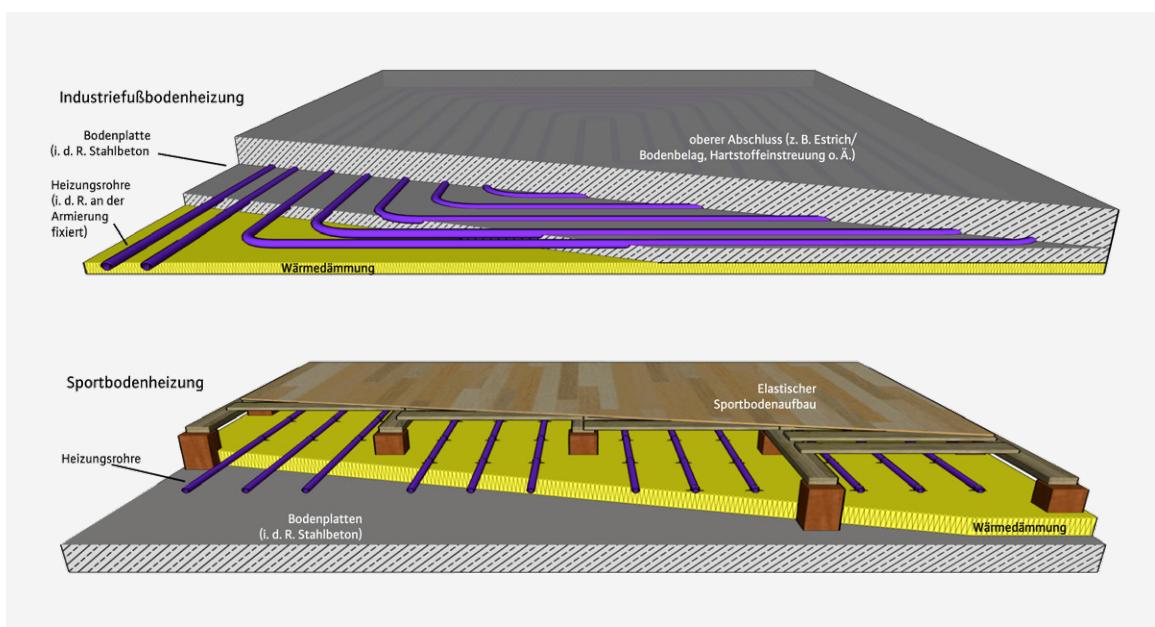


Abbildung 15: Beispielhafte Aufbauten von Fußbodenheizungen in Hallen, Industriefußbodenheizung (oben) und Sportbodenheizung (unten)

Die nutzbare Wärmeabgabe erfolgt bei einer Fußbodenheizung durch Infrarotstrahlung und durch Konvektion im bodennahen Bereich. Die Beheizung per Fußbodenheizung wird in aller Regel als sehr behaglich empfunden.

Von energetischer Relevanz sind bei Einsatz einer Fußbodenheizung vor allem die Wärmedämmung der Bodenplatte unterhalb der Heizrohre sowie – bei ungedämmten Bereichen – die Beschaffenheit des Erdreichs und ggf. der Einfluss von Grundwasser. Bei großen Bodenplatten sind nach derzeitigem Kenntnisstand aus energetischer Sicht vor allem die Randbereiche der Bodenplatte unter Außenwänden mit Wärmedämmung zu versehen, da sich hier Wärmeverluste über das Erdreich an Außenluft ergeben. Für mittlere Bodenbereiche wird üblicherweise von sehr viel geringeren Wärmeverlusten ausgegangen; daher werden diese zumindest im Industriebereich häufig nicht wärmegedämmt. Darüber hinaus kann sich bei bestimmten Nutzungen eine Bodendämmung auch aus Gründen der Tragfähigkeit des Bodens verbieten. Beheizte Sporthallenböden sind in aller Regel vollflächig wärmedämmt.



Abbildung 16: Einbau einer Industriefußbodenheizung: Heizrohre an Armierung fixiert

Mit Fußbodenheizungen lassen sich – auch im Vergleich zu anderen Strahlungsheizsystemen und Luftheizungen mit sehr leistungsfähiger Warmluftrecirkulation – extrem geringe Temperaturanstiege über der Höhe einhalten.

Hinweise zu Planung und Montage

Da sich Fußbodenheizungen im Bodenaufbau befinden, belegen sie keinen Platz an Wand, Dach oder sonstiger Tragkonstruktion der Halle. Jedoch sind ggf. Maschinenverankerungen und ähnliche Elemente im Hallenboden bei Planung und Einbau zu berücksichtigen – die Fußbodenheizung muss dann entweder tiefer verlegt werden oder die entsprechenden Bereiche auslassen.

Anders als Hell- und Dunkelstrahler, Deckenstrahlplatten und auch Luftheizungen sind **Industriefußbodenheizungen** durch Einbau in die Bodenplatte – teils ohne Wärmedämmung zum Erdreich – an eine große thermische Speichermasse gekoppelt. Zusätzlich bestehen stärkere Beschränkungen hinsichtlich der möglichen Heizmedientemperatur – eine Fußbodenheizung darf aus Gründen der Behaglichkeit und zum Schutz der Bausubstanz nicht zu heiß werden. Beispielsweise sollte die Fußbodenoberflächentemperatur in Aufenthaltsbereichen aus Behaglichkeitsgründen in der Regel nicht mehr als 29 °C betragen (bis zu 35 °C in Randbereichen); zum Schutz der Bausubstanz nennt die Literatur maximale Bodentemperaturen in der Größenordnung 50 °C – der konkrete Wert hängt jedoch vom Bodenaufbau ab. Somit stellen Industriefußbodenheizungen ein thermisch sehr trüges Wärmeübergabesystem dar; diesbezüglich können sie als nahe Verwandte der thermischen Bauteilaktivierung (siehe auch 5.3.3) angesehen werden. Übliche **Sportbodenheizungen** sind anders aufgebaut als Industriefußbodenheizungen und thermisch von der Bodenplatte entkoppelt (siehe auch Abbildung 15) – sie sind daher thermisch weniger träge.

Fußbodenheizungen eignen sich im Hallenbereich besonders, wenn

- » eine durchgehende (Grund-)Temperierung gefordert ist,
- » eine hohe thermische Behaglichkeit im Vordergrund steht (u. a. Büro-, Aufenthalts- und Sanitärräume),
- » eine relativ geringe Vorlauftemperatur eingehalten werden soll (z. B. bei Einsatz von Wärmepumpen oder Nutzung von Prozessabwärme auf geringem Temperaturniveau) und/oder
- » das Wärmespeichervermögen des Hallenbodens und nahen Erdreichs genutzt werden soll, u. a.:
 - Dämpfung von Lastspitzen und/oder Pufferung von Überschüssen (z. B. bei Abwärmenutzung oder Solarthermie),
 - bei Nutzung als Kälteübergabesystem: nächtliche Passivkühlung mit Erdsonde/-kollektor o. Ä.

Fußbodenheizungen können zur Beheizung und in gewissem Maß zur Kühlung eingesetzt werden (siehe auch 5.3.4).

Der Betrieb von Fußbodenheizungen ist ebenfalls in Bereichen mit Explosionsschutzanforderungen möglich.

5.3.3 Thermische Bauteilaktivierung

Mit dem Begriff der „thermischen Bauteilaktivierung“ ist üblicherweise die Speicherung von Wärme/Kälte in der Bauwerksmasse und deren zeitverzögerte Abgabe mit sehr geringer Über-/Untertemperatur gemeint. Hierfür werden üblicherweise wasserführende Heiz-/Kühlrohre in Bauwerkselementen mit hohem thermischem Speichervermögen verlegt, z. B. in der Bodenplatte und in Geschossdecken.

Die thermische Bauteilaktivierung arbeitet im Vergleich zu konventionellen Zentralheizungen bzw. zentral versorgten Wärmeübergabesystemen (Heizkörper usw.) mit deutlich geringeren Medientemperaturen. Diese können je nach Wärmequelle im Heizfall beispielsweise merklich unter üblichen Heizmedientemperaturen für Fußbodenheizungen liegen. Oft dient die thermische Bauteilaktivierung der Grundtemperierung in Verbindung mit weiteren Heiz- und ggf. Kühlsystemen.

Zwischen Industriefußbodenheizungen und thermischer Bauteilaktivierung bestehen Überschneidungen – besonders hinsichtlich der an das Wärme-/Kälteübergabesystem angekoppelten thermischen Speichermasse und der resultierenden thermischen Trägheit. Hieraus ergeben sich z. T. ähnliche Indizien für deren Anwendung (siehe auch 5.3.2, Hinweise zu Planung und Montage).

5.3.4 Doppelnutzung zur Beheizung und Kühlung

Hallenheizsysteme mit zentraler Wärmeerzeugung können oft auch zur Raumkühlung eingesetzt werden, indem sie bei Kühlbedarf nicht mehr durch das Wärmeverteil-, sondern durch ein Kaltwassernetz gespeist werden. Daselbe Gerät kann also je nach Bedarf als Wärme- oder Kälteübergabesystem betrieben werden.

Die hier betrachteten Systeme Deckenstrahlplatte und Fußbodenheizung unterliegen im Kühlfall gewissen Leistungsbeschränkungen – durch Begrenzungen der kleinstmöglichen Oberflächentemperaturen zur Taupunktvermeidung und aus Gründen der Behaglichkeit weisen sie u. U. kleinere spezifische Kühlleistungen auf als beispielsweise konventionelle Klimaanlagen/Luftkühlsysteme. Jedoch können sie oft auch bei hohen Kühllasten sinnvoll zur anteiligen Kühlung eingesetzt werden – oft wird hier von „Ankühlung“ gesprochen. Durch die Nutzung zentral versorgter Strahlungsheizsysteme zur Raumkühlung können beispielsweise Klimaanlagen entlastet werden, sodass sich die Zuluftparameter-/volumenströme solcher Anlagen deutlich weniger oder gar nicht nach dem Kühl-

bedarf richten müssen, sondern vorwiegend dem Lüftungsbedarf folgen können. Wird hierbei eine merkliche Verringerung der Luftvolumenströme erreicht, kann Hilfsenergieaufwand eingespart werden. Darüber hinaus wird eine nahezu zugluftfreie Strahlungskühlung ermöglicht.

Deckenstrahlplatten sind für eine aktive Raumkühlung gut geeignet. Eine (Strahlungs-)Kühlung von der Decke aus wird üblicherweise als angenehm empfunden – so lässt beispielsweise die DIN EN ISO 7730 [3] für den Betrachtungsfall „kalte Decke“ deutlich höhere Strahlungstemperatursymmetrie zu als bei einer Beheizung von der Decke aus. Die Deckenkühlung wirkt entschichtend auf das Höhentemperaturprofil – d. h., es wird im Höhenverlauf eine nahezu konstante Temperatur erreicht. Das limitierende Kriterium bezüglich der maximal möglichen Kühlleistung von Deckenstrahlplatten ist in vielen Fällen die geringste zulässige Oberflächentemperatur oberhalb des Taupunktes – eine Taupunktunterschreitung¹² muss ausgeschlossen werden. In bestimmten Raumkonstellationen kann eine zu starke Deckenkühlung allerdings zu unangenehmen kalten Fallströmungen führen; insbesondere bei sitzender Tätigkeit und/oder geringer körperlicher Aktivität ist dann ggf. eine Leistungsreduzierung für den Kühlfall sinnvoll.

Fußbodenheizungen sind ebenfalls zur Doppelnutzung als Wärme-/Kälteübergabe geeignet. Die mögliche Kühlleistung wird hier in vielen Fällen nicht allein durch die notwendige Vermeidung einer Taupunktunterschreitung¹², sondern oft auch oder vorwiegend durch Behaglichkeitsaspekte limitiert. Besonders bei überwiegend sitzender Tätigkeit sowie geringer körperlicher Aktivität kann ein kalter Fußboden die Behaglichkeit verringern – unbehaglich niedrige FußbodenTemperaturen sind daher zu vermeiden. Ebenfalls kann eine Fußbodenkühlung unter ungünstigen Bedingungen den Höhen-Lufttemperaturanstieg im Aufenthaltsbereich auf ein unbehagliches Maß vergrößern. Damit eignet sich die Fußbodenkühlung – analog zum Heizfall – besonders dann, wenn verhältnismäßig hohe Vorlauftemperaturen des Kaltwassers genutzt werden sollen, z. B. bei passiver Kühlung mit Erdsonden als Wärmesenke. Wie auch im Heizfall ist ggf. die zusätzliche thermische Trägheit – bei Verlegung in der Bodenplatte – zu berücksichtigen; diese kann jedoch auch bewusst für eine zeitverzögerte Kälteabgabe genutzt werden (z. B. nächtliche „Aufladung“ mit passiver Kältequelle zur Minderung tagsüber auftretender Kühllastspitzen, vgl. 5.3.2 und 5.3.3)

5.4 Anwendungsbereich von Strahlungsheizungen

Strahlungsheizsysteme finden Anwendung in Industrie-, Lager-, Ausstellungs- und Sporthallen, Logistikzentren, Sportstadien (Freiflächenbeheizung), Werkstätten, Gewächshäusern, Ställen, Kirchen, Museen, Waschanlagen, Freiluftgastronomie usw. Ausnahmen bei den direktbefeuerten Gas-Infrarotheizsystemen (Hell-/Dunkelstrahler) bilden explosionsgeschützte Bereiche oder Räume mit geringen Deckenhöhen (siehe auch 5.2.3).



Abbildung 17: Dunkelstrahler in Fertigungshalle, Gerät mit geometrisch optimiertem, 10fach facettiertem Reflektorprofil

Der Wärmetransport vom Wärmeübergabesystem in den zu beheizenden Bereich erfolgt hier im Wesentlichen durch Strahlung und wird damit – gegenseitige Sichtbarkeit vorausgesetzt – durch den Temperaturunterschied der am Strahlungsaustausch beteiligten Oberflächen angetrieben. Strahlungsgebundener Wärmetransport funktioniert über große Entfernung nahezu verlustfrei und ohne zusätzlichen Hilfsenergieaufwand. Dadurch sind insbesondere Systeme mit stark gerichteter Strahlungsabgabe gut für den Einsatz in sehr hohen Räumen geeignet.

Beheizungsszenarios mit Strahlungsheizungen sind tolleranter gegenüber Lufttemperaturschwankungen oder Kaltlufteinfall als vorwiegend konvektive Beheizungen – auch bei geringer Lufttemperatur oder in Bereichen mit Kaltlufteinfall (z. B. Tor-/Verladebereiche) kann mit Strahlungsheizungen eine akzeptable Behaglichkeit erreicht werden. Hochtemperaturstrahlungsheizungen eignen sich sogar zur Beheizung von Freiflächen.

Bei flächiger Installation von Strahlungsheizungen ist eine in der Fläche sehr gleichmäßige Beheizung möglich. Gleichzeitig ermöglicht die von Luftbewegungen unabhängige Wärmeübertragung auch die Beheizung kleiner

12 Die Höhe der kleinsten zulässigen Oberflächentemperatur (Taupunkttemperatur) hängt von der Temperatur und Feuchte der Raumluft ab. Bei einigen Raumkühlsystemen wird die Vorlauftemperatur daher taupunktabhängig geregelt. Für Anlagen, welche keine Möglichkeit einer Feuchte-/Taupunktüberwachung bieten, wird die Vorlauftemperatur stattdessen mit einem festen Wert so begrenzt, dass eine Taupunktunterschreitung in der Regel ausgeschlossen ist – übliche Werte für Flächenkühlsysteme liegen in dem Bereich 16...18 °C.

Bereiche in einer ansonsten kälteren Umgebung. Damit sind Strahlungsheizungen sowohl für die vollflächige Beheizung als auch für ausgeprägte Bereichs-/Arbeitsplatzbeheizung oder anderweitige Temperaturzonierung geeignet.



Abbildung 18: Verladebereich mit Hellstrahlern (Modell Schwank supraSchwank mit seitlich in den Reflektor integrierter Mischkammer [vgl. Abbildung 6] und wärmegedämmtem Reflektor)

Strahlungsheizsysteme verursachen in der Regel keine Luftbewegung im Aufenthaltsbereich und erlauben die Einhaltung sehr geringer Lufttemperaturanstiege über der Höhe. Jedoch erfordert der strahlungsgebundene Wärmetransport eine Sichtverbindung zwischen Strahlungsquelle und zu beheizendem Bereich – dies muss bei der Planung der Anlage und Festlegung von Montagepositionen berücksichtigt werden. Bei punkt-/linienförmigen Hochtemperatur-Strahlungsheizungen (Hell-/Dunkelstrahler) ist zu berücksichtigen, dass die Strahlungsintensität bei kleiner werdendem Abstand zum Heizsystem überproportional zunimmt. Diese Zusammenhänge können z. B. dann von Bedeutung sein, wenn mehrere Höhenebenen eines Bereichs von der Decke aus beheizt werden sollen, wenn Einbauten verschattend wirken oder die verfügbare Montagehöhe aus anderen Gründen begrenzt ist.

Die zentral versorgten Strahlungsheizsysteme Deckenstrahlplatte und Fußbodenheizung können darüber hinaus auch zur (An-)Kühlung und ggf. energetischen Entlastung von RLT-/Klimaanlagen und zur Verringerung deren Auslegungsleistung eingesetzt werden.



Abbildung 19: Sporthallenbeheizung mit deckenmontierten Strahlungsheizungen, oben: Paneel-Deckenstrahlheizung für Sport-, Veranstaltungs- und Mehrzweckhallen (Modell Frenger S 85), unten: Dunkelstrahler in ballwurfsicherer Ausführung

6. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

6.1 Allgemeines

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen oder baulicher Maßnahmen bestehen mehrere Möglichkeiten – hier soll auf zwei verbreitete Verfahren eingegangen werden.

6.2 Statische Amortisationszeit

Die statische Amortisationszeit einer energetisch relevanten Investition (z. B. energetische Modernisierung) gibt an, in welcher Zeitspanne diese Investition durch die von ihr verursachte Verringerung der jährlichen Kosten abbezahlt wäre. Sie wird berechnet als Quotient aus den einmaligen Investitionskosten und den durch die Investition bewirkten jährlichen Kosteneinsparungen – in der Regel sind dies vorrangig Energiekosteneinsparungen. Kapitalzinsen sowie zeitlich dynamische Einflüsse – etwa durch Energiepreisänderungen – werden vereinfachend vernachlässigt.

Berechnung der statischen Amortisationszeit:

$$\text{statische Amortisationszeit} = \frac{\text{Investitions(mehr)kosten}}{\text{jährliche Kosteneinsparung}}$$

Durch die Vernachlässigung von Zinsen und zeitlich dynamischen Einflüssen erlaubt die statische Amortisationszeit zwar nur eine überschlägige Betrachtung, ist dafür aber einfacher zu berechnen und kaum auf unsichere Eingangsgrößen, wie etwa Annahmen zu zukünftigen Preisentwicklungen, angewiesen. Sofern angenommen werden muss, dass für das aufzubringende Kapital Zinsen zu zahlen sind und/oder Energiepreise zukünftig im Mittel eher steigen als sinken, liefert die statische Amortisationszeit einen tendenziell optimistischen Überschlag – die reale Amortisation dauert dann in der Regel etwas länger.

Die statische Amortisationszeit kann nur in Bezug auf einen Vergleichszustand ermittelt werden, gegenüber welchem sich eine Verringerung der jährlichen Kosten ergibt.

6.3 Jahresgesamtkosten nach VDI 2067-1

Die Jahresgesamtkosten nach VDI 2067-1 [9] geben den Betrag an, der bei einer über den Betrachtungszeitraum gemittelten Betrachtung jedes Jahr aufzubringen wäre – hierbei können alle durch Anschaffung/Errichtung und Betrieb von Gebäude- und Anlagenkomponenten verursachten Kosten berücksichtigt werden. Die für eine individuelle Wirtschaftlichkeitsbetrachtung relevanten

Bestandteile der einzelnen Kostenarten können in Abhängigkeit vom Investitionsgegenstand variieren. Alle Kostenbestandteile sind auf denselben zeitlichen Bezug – von üblicherweise einem Jahr – zu bringen.

Berechnung der Jahresgesamtkosten:

Gesamtkosten =

$$\begin{aligned} & \text{Kapitalkosten} \\ & + \text{Bedarfskosten} \\ & + \text{Betriebskosten} \\ & + \text{sonstige Kosten} \end{aligned}$$

Kostenarten nach VDI 2067 [9]

kapital-gebundene Kosten	in Jahreskosten umgerechnete, ggf. verzinsten Investitionskosten, verursacht durch: <ul style="list-style-type: none"> · Anlagentechnik: Wärmeerzeuger, Rohrleitungen, Wärmeübergabesysteme usw. · bauliche Maßnahmen: Technikzentrale, ggf. Brennstofflager usw. · Maßnahmen zum Schall- und Wärmeschutz · Anschlusskosten
bedarfs-gebundene Kosten	<ul style="list-style-type: none"> · Energieträger der Wärme-/Kälteerzeugung (ggf. Grundpreis und Arbeitspreis) · Hilfsenergie · Betriebsstoffe (Schmiermittel ...)
betriebs-gebundene Kosten	<ul style="list-style-type: none"> · Bedienung · Inspektion · Reinigung und Wartung · Instandsetzung
sonstige Kosten	<ul style="list-style-type: none"> · Planung · Versicherung, Steuern · allgemeine Abgaben, anteilige Verwaltungskosten · Gewinn und Verlust · Abbruch- und Entsorgungskosten

Tabelle 7: Beispiele für Bestandteile der Kostenarten nach VDI 2067-1 [9]

Durch die Einbeziehung aller relevanten Kostenpositionen, von Kapitalzinsen und ggf. Preissteigerungen ermöglichen die Jahresgesamtkosten eine etwas genauere Bewertung als die statische Amortisationszeit. Gleichzeitig sind sie jedoch etwas schwieriger zu berechnen und z. T. auf unsichere Eingangsgrößen angewiesen – insbesondere bei ungewisser Preis-/Zinsentwicklung –, was den Genauigkeitsvorteil der Betrachtung relativieren kann.

Eine Jahresgesamtkostenrechnung kann sowohl für eine isoliert betrachtete Investition erfolgen als auch zum Vergleich mehrerer Alternativen herangezogen werden.

6.4 Berechnungsbeispiele

6.4.1 Allgemeines

Nachfolgend wird die Ermittlung der Jahresgesamtkosten nach VDI 2067-1 anhand einfacher Berechnungsbeispiele verdeutlicht. Hierbei wird für eine Sporthalle¹³ sowie eine Fertigungshalle folgendes Investitionsszenario betrachtet:

Einbau einer Heizungsanlage in ein Gebäude, welches über keine, eine nicht mehr funktionstüchtige oder eine aus anderen Gründen außer Betrieb zu nehmende Heizung verfügt: Es muss eine Investition getätigt werden, um das Ziel „Beheizung eines Gebäudes“ zu erreichen oder weiterhin sicherzustellen. Denkbare Anwendungsfälle sind z. B. der erstmalige Einbau einer Heizungsanlage im Neubau, der unbedingt notwendige Austausch einer verschlissenen/defekten Anlage oder der Austausch der Heizung wegen Inkrafttreten einer Außerbetriebnahmeverpflichtung¹⁴ der Altanlage. In den nachfolgenden Berechnungen wird beispielhaft vom Neubaufall ausgegangen – die Verhältnisse sind sinngemäß auf ohnehin notwendige Modernisierungen übertragbar.

6.4.2 Randbedingungen

Gebäude: Sporthalle

Der Hallenbereich der modellhaft betrachteten Sporthalle weist eine Nettogrundfläche von ca. 1.150 m² auf. Die Raumhöhe beträgt etwa 8 m. Zur Beheizung sollen gasbetriebene Dunkelstrahler eingesetzt werden.

Das baulich verbundene Nebengebäude wird separat mit Wärme versorgt und fließt nicht in die Betrachtung ein.

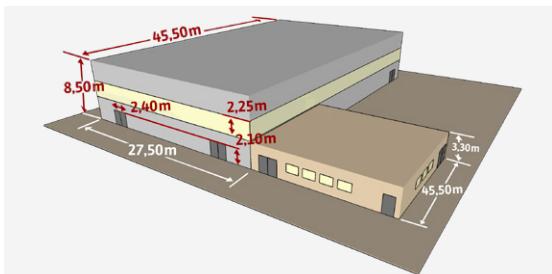


Abbildung 20: Sporthalle

Gebäude: Fertigungshalle

Der kombinierte Fertigungs-/Werkstatt- und Lagerbereich einer Fertigungshalle weist eine Nettogrundfläche von ca. 1.100 m² auf. Die Raumhöhe beträgt etwa 9,5 m. Das Gebäude soll mit Hellstrahlern beheizt werden.

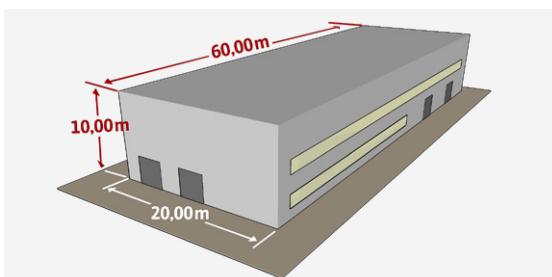


Abbildung 21: Fertigungshalle

¹³ Bei Gebäuden der öffentlichen Hand, zu denen viele Sporthallen zählen, werden Investitionen zur Errichtung/Modernisierung von Gebäuden sowie zur enthaltenen Anlagentechnik und Ausgaben für Energiekosten mitunter von verschiedenen Kostenträgern verwaltet. In solchen Konstellationen muss die Wirtschaftlichkeit eventueller Mehrausgaben zur Senkung von Energieverbrauch und -kosten bei anstehenden Investitionsentscheidungen von den Investitions- und Betriebskostenverantwortlichen gemeinsam beurteilt werden. Vor diesem Hintergrund spielt die Verdeutlichung des Zusammenhangs zwischen Mehrkosten zur energetischen und wirtschaftlichen Optimierung und dadurch ggf. verringerten Folgekosten für Gebäude der öffentlichen Hand bzw. die jeweiligen Entscheidungsträger eine besonders große Rolle.

¹⁴ Z. B. Außerbetriebnahmeverpflichtung für bestimmte Heizkessel ab einem gewissen Alter gemäß Energieeinsparverordnung

Ausführung der Heizungsanlage und Energiekosten

Zum Einsatz kommen energetisch optimierte Geräte mit hohem Strahlungsfaktor sowie optimierter Leistungs- und Raumtemperaturregelung. Für die Betrachtungsvariante mit Dunkelstrahlern (Sporthalle) wird von Brennwertnutzung durch nachgeschaltete Abgas-Luft-Wärmeübertrager ausgegangen.

Wesentliche Anlageneigenschaften, Energiekennwerte und Kosten sind in den Tabellen 8 und 9 zusammengefasst. Die angegebenen Kennwerte sind als Schätzungen und Annahmen zu verstehen – für die Bewertung eines realen Objekts sollten insbesondere die Kostenkennwerte objektspezifisch ermittelt werden (z.B. regionale Gas-/Strompreise ggf. in Abhängigkeit von den real zu erwartenden Abnahmemengen).

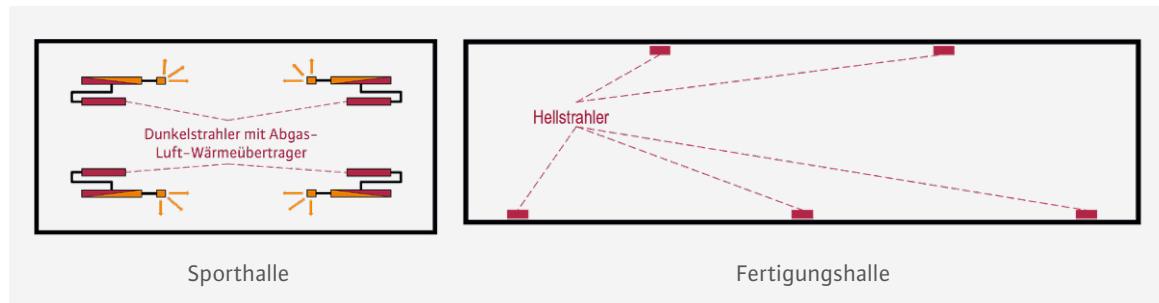


Abbildung 22: Hallengrundrisse, vereinfachte Darstellung

Gebäude	Variante	Wärme- erzeugung	Wärmeübergabe	Energieverbrauch ¹		Kosten, netto ²	
				Erdgas	Strom (Hilfs- energie)	Investi- tion	Wart- ung
Sport- halle	Dunkel- strahler in ener- getisch verbesserter Ausführung	· kondensie- rend (Abgas- Luft-Wärme- übertrager) · mehrstufig/ modulierend	· Strahlungsfaktor $R_F = 0,70$ · Abgas-Luft-Wärmeübertrager: Luftauslass von oben, Radialventilator · Raumtemperaturregelung: PI-Regler	93.681	611	16.560	170 (4 Stk.)
Ferti- gungs- halle	Hellstrahler in ener- getisch verbesserter Ausführung	· mehrstufig/ modulierend	· Strahlungsfaktor $R_F = 0,75$ · Raumtemperaturregelung: PI-Regler	63.205	162	17.800	120 (5 Stk.)

1 Verbrauchsschätzung auf Basis von Energiebedarfsberechnungen nach DIN V 18599 [10] mit angepassten Nutzungsparametern

2 Investitionskosten überschlagen auf Basis der BMVBS-Online-Publikation 08/12 [11], netto;
Wartungskosten überschlagen nach Herstellerangaben, netto

Tabelle 8: Berechnungsbeispiel Wirtschaftlichkeit, Eigenschaften Dunkel- und Hellstrahler

Energiepreise, netto		Zinssatz für Investitionen	Nutzungs- dauer der Investitionen
Erdgas	Strom Normaltarif (Hilfsenergie)		
Arbeitspreis	Grundpreis	Arbeitspreis	
0,050 €/kWh _{HI}	212 €/a	0,219 €/kWh	3 %
			15 a

Tabelle 9: Berechnungsbeispiele Wirtschaftlichkeit, Kostendaten – beispielhafte Werte

6.4.3 Ergebnisse

Sporthalle

Eine neu errichtete Sporthalle (Abbildung 20) ist erstmalig mit einer Heizungsanlage auszustatten – hierbei sollen erdgasbetriebene Dunkelstrahler eingesetzt werden. Für die Maßnahme sind die Jahresgesamtkosten unter den in Tabelle 8 und 9 genannten Randbedingungen zu ermitteln. Eventuelle Restwerte von Anlagen(-komponenten) werden vereinfachend vernachlässigt.

Investitionskosten	€	16.560
Zinsfaktor		1,03
Annuitätsfaktor nach VDI 2067 für eine Nutzungsdauer von 15 Jahren	–	0,08
Kapitalgebundene Kosten	€/a	1.387
Energieverbrauch		
Erdgas	kWh _{HV} /a	95.520
Strom (Hilfsenergie)	kWh/a	611
Energiekosten		
Erdgas	€/a	4.988
Strom (Hilfsenergie)	€/a	134
Σ	€/a	5.122
Wartungskosten	€/a	170
pro WLE Gerätanzahl	–	4
Σ	€/a	680
Jahresgesamtkosten	€/a	7.189

Tabelle 10: Sporthalle

Bei der zugrunde gelegten Nutzungsdauer von 15 Jahren betragen die Kapitalkosten ca. 1.400 €/a. Für Energie und Wartung sind in Summe ca. 5.800 €/a aufzuwenden. Die Jahresgesamtkosten belaufen sich auf ca. 7.200 €/a.

Fertigungshalle

Eine neu errichtete Fertigungshalle (Abbildung 21) ist erstmalig mit einer Heizungsanlage auszustatten. Hierbei sollen erdgasbetriebene Hellstrahler eingesetzt werden. Für die Maßnahme sind die Jahresgesamtkosten unter den in Tabelle 8 und 9 genannten Randbedingungen zu ermitteln. Eventuelle Restwerte von Anlagen(-komponenten) werden vereinfachend vernachlässigt.

Investitionskosten	€	17.800
Zinsfaktor		1,03
Annuitätsfaktor nach VDI 2067 für eine Nutzungsdauer von 15 Jahren	–	0,08
Kapitalgebundene Kosten	€/a	1.491
Energieverbrauch		
Erdgas	kWh _{HV} /a	63.205
Strom (Hilfsenergie)	kWh/a	162
Energiekosten		
Erdgas	€/a	3.372
Strom (Hilfsenergie)	€/a	36
Σ	€/a	3.408
Wartungskosten	€/a	120
pro WLE Gerätanzahl	–	5
Σ	€/a	600
Jahresgesamtkosten	€/a	5.499

Tabelle 11: Fertigungshalle

Bei der zugrunde gelegten Nutzungsdauer von 15 Jahren betragen die Kapitalkosten ca. 1.500 €/a. Für Energie und Wartung sind in Summe ca. 4.000 €/a aufzuwenden. Die Jahresgesamtkosten belaufen sich auf ca. 5.500 €/a.

6.5 Grundsätzliche Tendenzen bei Hallenheizsystemen

In Hallengebäuden werden – sofern es die Konditionierungsanforderungen und die jeweils relevanten Regelungen (Brand-/Ex-Schutz, Regelungen zu Versammlungs- und Verkaufsstätten usw.) zusammen mit dem Landesbaurecht zulassen – vorwiegend erdgasbeheizte dezentrale Hallenheizsysteme eingesetzt, wenn geringe Investitionskosten im Vordergrund stehen.

Eine Ausstattung mit dezentralen Hallenheizungen ist – besonders für mittlere bis sehr große Hallen bzw. Hallenbereiche – oft investitionskostengünstiger als ein energetisch gleichwertig ausgeführtes Zentralheizungsnetz. Darüber hinaus unterliegen sie nach derzeitiger EnEV [12] geringeren energetischen Anforderungen als ihre zentral versorgten Pendants (sofern ausschließlich dezentrale Hallenheizungen in der betrachteten Zone eingesetzt werden)¹⁵ – hieraus können sich nochmals Investitionskostenminderungen ergeben, da im Vergleich zur zentralbeheizten Ausführung ggf. am baulichen Wärmeschutz gespart werden kann und auch kein u.U. teurerer Wärmeerzeuger zur unmittelbaren Nutzung Erneuerbarer Energien eingesetzt werden muss.

Im Gegenzug können dezentrale Hallenheizungen tendenziell bis deutlich höhere Wartungskosten verursachen, besonders dann, wenn die Beheizung einer Halle eine große Anzahl an Heizgeräten verlangt. Eine große Geräteanzahl kann beispielsweise in folgenden Fällen erforderlich sein:

- » Eine Halle mit stark verschattenden Einbauten soll – beispielsweise zur Minimierung von Luftbewegungen – mit Hell- oder Dunkelstrahlern beheizt werden. Zur Vermeidung von Strahlungsschatten wird eine größere Anzahl an kleiner bemessenen Einzelgeräten eingebaut.
- » Hell-/Dunkelstrahler müssen in einer relativ geringen Montagehöhe¹⁶ montiert werden, da der obere Hallenbereich durch Einbauten wie Güterleitsysteme, Kranbahnen und Fahrraum der Kräne versperrt ist. Für eine gleichmäßige Ausleuchtung und zur Vermeidung unbehaglich hoher Strahlungstemperaturen im Kopfbereich wird eine größere Anzahl an kleiner bemessenen Einzelgeräten eingebaut.

- » Ein luftbeheizter Hallenbereich ist durch viele relativ dichte Hindernisse unterteilt (sehr große Maschinen, räumlich ausgedehntes Lagergut, dicht beladene Hochregale usw.), welche nur bedingt durch-/umströmt werden können. Um alle relevanten Bereiche mit Warmluft erreichen zu können, werden viele kleine Warmlufterzeuger eingebaut.

Zentral versorgte Hallenheizsysteme sind flexibel hinsichtlich der Wärmeerzeugung. So können u.a. Erneuerbare Energien (z.B. durch Holzkessel) oder bei entsprechender Dimensionierung auch Niedertemperatur-Prozessabwärme oder Wärmepumpen zur Beheizung genutzt werden. Sofern im konkreten Anwendungsfall diesbezüglich günstige Voraussetzungen bestehen – z.B. hohes nutzbares Abwärmeapotenzial, Nutzung ohnehin vorhandener Wärmeerzeuger usw. – oder der Wirtschaftlichkeit über eine längere Nutzungsdauer mehr Gewicht als die anfänglichen Investitionskosten zugemessen wird, kann der Einsatz zentraler Hallenheizsysteme ebenfalls wirtschaftlich interessant sein.

Hinsichtlich der Energiekosten bestehen in der Regel keine wesentlichen Unterschiede zwischen dezentralen und zentralen Hallenheizungen, sofern sie ähnlich energieeffizient ausgeführt werden.

Eventuelle Mehrausgaben für energieeffizientere Anlagenausführungen – z. B. Strahlungsheizungen mit einem höheren Strahlungsanteil/Strahlungsfaktor – lohnen sich in der Regel bei erstmaligem Einbau bzw. bei einem ohnehin notwendigen Anlagenaustrausch.

15 Siehe Ausführungen zum verringerten Anforderungsniveau der EnEV für dezentrale Hallenheizungen, Seite 37. Nach bisherigem Kenntnisstand soll die besagte Ausnahmeregelung in dieser Form nicht mehr im kommenden Gebäudeenergiegesetz, welches die Regelungen der EnEV und des EEGWärmeG in sich vereinen und beide Werke ablösen wird, enthalten sein. Ob und ggf. inwiefern im fertigen Gesetz zwischen zentralen und dezentralen Hallenheizsystemen unterschieden werden wird, ist derzeit noch nicht bekannt.

16 Bei Hochtemperatur-Strahlungsheizungen ist in jedem Fall die Mindestmontagehöhe des entsprechenden Gerätetyps zu berücksichtigen.

7. Zusammenfassung

Das Behaglichkeitsempfinden des Menschen unterliegt vielen Einflüssen. Von besonderer Bedeutung ist die vom Menschen empfundene Temperatur – sie setzt sich zusammen aus der Lufttemperatur und der Strahlungstemperatur (mittlere Temperatur der umgebenden Oberflächen). Hierbei können sich Luft- und Strahlungstemperatur innerhalb gewisser Grenzen gegenseitig kompensieren. Strahlungsheizsysteme in Hallen nutzen diesen Zusammenhang und geben ihre Wärme vorwiegend als Strahlung ab – somit kann bei Strahlungsheizsystemen die im Raum herrschende Lufttemperatur unterhalb der empfundenen Temperatur liegen.

Zu den in Hallen eingesetzten Strahlungsheizsystemen zählen die direkt befeuerten Hell- und Dunkelstrahler (dezentrale Wärmeerzeugung) und die zentral versorgten Deckenstrahlplatten (Wärmeübergabesystem mit zentraler Wärmeerzeugung). Fußbodenheizungen werden üblicherweise auch den Strahlungsheizsystemen zugerechnet.

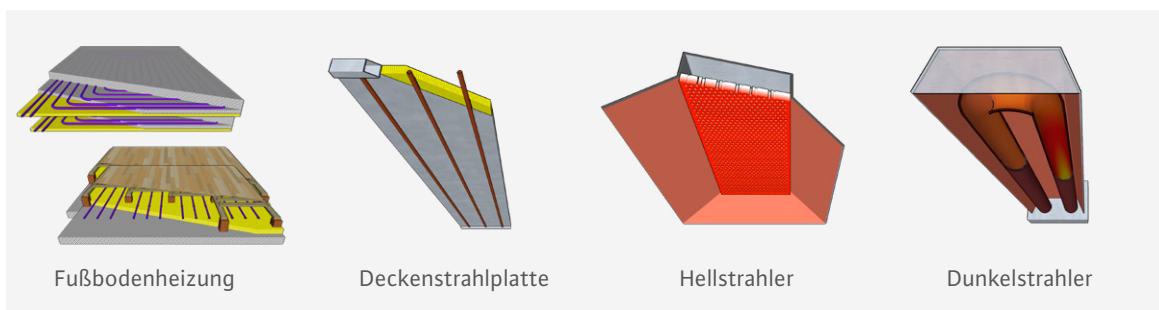


Abbildung 23: Strahlungsheizsysteme in Hallen, vereinfachte Darstellung

Strahlungsheizsysteme weisen folgende Vorteile auf:

- » Der Anstieg der Lufttemperatur über der Höhe bleibt sehr klein (besonders gering bei Fußbodenheizung). Ein möglichst kleiner Lufttemperaturanstieg ist sowohl in Bezug auf die Behaglichkeit als auch energetisch von Vorteil.
- » Es entstehen keine Zugerscheinungen oder sonstige unerwünschte Luftbewegungen durch das Heizsystem.
- » Die Absenkung der Lufttemperatur führt zur Verringerung von nutzungs-/produktions-/betriebsbedingten Lüftungswärmeverlusten.
- » Es ergeben sich z. T. kurze bis sehr kurze Aufheizzeiten (außer Fußbodenheizung).
- » Die Systeme erlauben sowohl vollflächige Beheizung als auch Teilflächenbeheizung/Temperaturzonierung.
- » Strahlungsheizungen eignen sich für eine Reihe von Anwendungsfällen, die früher als schwierig zu beheizen oder beinahe unbeheizbar galten, u. a.
 - » sehr hohe Räume bis über 20 m Raumhöhe,
 - » Gebäude mit extrem hoher thermischer Masse (speziell Hochtemperaturstrahler), wie alte Kirchenbauwerke, und
 - » Tor-/Verladebereiche mit häufigen und/oder lang anhaltenden Toröffnungsvorgängen bis hin zur
 - » Freiflächenbeheizung (speziell Hochtemperaturstrahler).
- » Zentral versorgte Strahlungsheizsysteme (Deckenstrahlplatten und z. T. Fußbodenheizung) können innerhalb gewisser Grenzen auch zur Raumkühlung eingesetzt werden.

Allerdings unterliegen Strahlungsheizungen auch gewissen Beschränkungen:

- » Zwischen Strahlerfläche(n) und Personen bzw. den zu beheizenden Bereichen muss eine Sichtverbindung bestehen.
- » Zur Vermeidung unzumutbarer Wärmeeinwirkungen auf Personen sind bei Hochtemperaturstrahlern (Hell-/Dunkelstrahler) Mindestaufhängehöhen einzuhalten (u.U. hohe Montagepositionen erforderlich).
- » Durch die direkte Erwärmung von Stoffen/Gegenständen im Strahlungsbereich können sich bei Hochtemperaturstrahlern u.U. unzulässig hohe Oberflächentemperaturen für bestimmte Anwendungsbereiche ergeben (z.B. Präzisionsfertigung, Pharmazie, Lebensmittel).
- » Direkt befeuerte Wärmeerzeuger (Hell-/Dunkelstrahler) sind nicht in Räumen mit leicht entzündlichen Stoffen in der Raumluft – z.B. leicht entzündliche Konzentrationen von Gasen, Nebeln/Dämpfen oder Stäuben – bzw. explosionsfähiger Atmosphäre einsetzbar.

Strahlungsheizsysteme finden Anwendung in Industrie-, Lager-, Ausstellungs- und Sporthallen, Logistikzentren, Sportstadien (Freiflächenbeheizung), Werkstätten, Gewächshäusern, Ställen, Kirchen, Museen, Waschanlagen, Freiluftgastronomie usw.

Dezentrale Hallenheizsysteme – unter den Strahlungsheizungen sind dies Hell- und Dunkelstrahler – weisen in der Regel vergleichsweise niedrige Investitionskosten auf. Besonders in Verbindung mit Erdgas als Energieträger haben dezentrale Strahlungsheizungen aufgrund ihrer Vorteile hierzulande weite Verbreitung gefunden. Zentral versorgte Hallenheizsysteme, wie Fußbodenheizung und Deckenstrahlplatte, verursachen hingegen oft geringere Wartungskosten, bieten mehr Flexibilität hinsichtlich der Wärmeerzeugung (u.a. Einbindung von Abwärme und/oder Erneuerbaren Energien¹⁷⁾ und können auch in Räumen mit Explosionsschutzanforderungen eingesetzt werden. Damit haben sich Strahlungsheizungen im Hallenbereich und z.T. darüber hinaus über ein weites Anwendungsfeld etabliert.

¹⁷ Erneuerbare Energien i.S.d. Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes; siehe auch Anhang 2 → Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz

Anhang

Anhang 1: Ermittlung der Heizlast

Die Dimensionierung einer Heizungsanlage baut auf der Ermittlung der notwendigen Heizlast der zu beheizenden Räume und des gesamten Gebäudes auf. Hierbei dient die Raumheizlast in erster Linie der Dimensionierung von Wärmeübergabesystemen im Raum; die Gebäudeheizlast zielt vorwiegend auf die Dimensionierung gebäudezentraler Wärmeerzeugungsanlagen ab. Mit dem Begriff Hallenheizung fasst man die hallenspezifischen Wärmeübergabesysteme, welche durch Zentralheizungsnetze versorgt werden, und die – überwiegend

erdgasbetriebenen – direkt befeuerten Hallenheizsysteme, welche Wärmeerzeugung und –übergabe in sich vereinen (dezentrale Hallenheizung), zusammen. In beiden Fällen ist zur Auslegung in aller Regel die Raumheizlast des betrachteten Hallenraums ausschlaggebend.

In Deutschland erfolgen Heizlastberechnungen üblicherweise nach DIN EN 12831 [13]. Die Norm beschreibt ein Verfahren zur Heizlastberechnung unter definierten Randbedingungen.

Wesentliche Begriffe DIN EN 12831

Lüftungswärmeverlust

Wärmeverlust durch Infiltration und nutzungsbedingte Lüftung

Norminnentemperatur

nach Norm vorgegebener Standardwert der operativen Raumtemperatur, welcher für die Berechnung der Normwärmeverluste verwendet wird; für die Planung/Auslegung können auch von den Normwerten abweichende Innentemperaturen vereinbart werden

Normaußentemperatur

Außenlufttemperatur, welche zur Berechnung der Normwärmeverluste verwendet wird

Transmissionswärmeverlust

Wärmeverlust durch die einen Raum begrenzenden Bauteile (z. B. Außenwände) aufgrund des Wärmedurchgangs, der durch den Temperaturunterschied zwischen beiden Bauteilseiten verursacht wird

Normheizlast

Wärmestrom (Heizleistung), der für die Einhaltung festgelegter Sollbedingungen notwendig ist (Einhaltung der Norminnentemperatur bei Normaußentemperatur)

Wärmeverlustkoeffizient

spezifischer auf die Temperaturdifferenz zwischen betrachtetem Raum und der Außenluft bezogener Wärmeverlust pro Zeiteinheit (Leistung); in W/K

Tabelle 12: Begriffe der Heizlastberechnung nach DIN EN 12831, Auswahl

In der Planung von Hallen ist die softwarebasierte Heizlastberechnung praxisüblich. Hierbei haben sich in der Praxis z. T. hersteller- und systemspezifische Berechnungsansätze zur Dimensionierung von Hallenheizungen etabliert, welche auf einer Heizlastberechnung nach DIN EN 12831 basieren und die Heizlast in Abhängigkeit vom einzusetzenden Heizsystem modifizieren. Insofern empfiehlt es sich, die Planung von Hallenheizsystemen

von einem auf diese Gebäudekategorie und die entsprechenden Heizsysteme spezialisierten Planungsunternehmen, ggf. in enger Abstimmung mit dem Hersteller des angedachten Hallenheizsystems, durchführen zu lassen. Einige Hersteller von Hallenheizsystemen bieten einen Teil der gerätespezifischen Planungsarbeiten, welche vor dem Einbau notwendig sind, für die von ihnen vertriebenen Heizsysteme selbst an.

Heizlastberechnung nach DIN EN 12831

1. Ermittlung der notwendigen Daten

- Raumgeometrie
- Flächen und wärmetechnische Eigenschaften der Außenbauteile
- Innentemperatur $\theta_{int,i}$
- Gebäudedichtheit
- Lage des Gebäudes, Normaußentemperatur θ_e und jahresmittlere Außentemperatur $\theta_{m,e}$

2. Berechnung der Wärmeverlustkoeffizienten H

- Transmissionswärmeverlustkoeffizienten H_T aller Bauteile, die
 - unmittelbar an Außenluft,
 - indirekt durch einen unbeheizten Raum an Außenluft,
 - an Erdreich oder
 - an einen auf eine deutlich abweichende Temperatur beheizten anderen Raum grenzen
- Lüftungswärmeverlustkoeffizient H_V des Raums
- z. T. Modifikationen der Randbedingungen zur Berücksichtigung des Strahlungsheizsystems nach DVGW G 638-1/2, z. B.
 - Anpassung Luftwechsel (indirekte Abgasführung)
 - Verringerung Lufttemperatur gegenüber Sollwert der operativen Temperatur

3. Berechnung der Wärmeverluste Φ

- Transmissionswärmeverlust: $\Phi_{T,i} = \sum (H_T)_i * (\theta_{int,i} - \theta_e)$
- Lüftungswärmeverlust: $\Phi_{V,i} = H_V * (\theta_{int,i} - \theta_e)$
- optional, zusätzliche Aufheizleistung: $\Phi_{RH,i}$
- z. T. Modifikationen der Randbedingungen zur Berücksichtigung des Strahlungsheizsystems nach DVGW G 638-1/2, z. B.
 - Anpassung Luftwechsel (indirekte Abgasführung)
 - Verringerung Lufttemperatur gegenüber Sollwert der operativen Temperatur

4. Berechnung der Heizlast des Raums i

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i}$$

ggf. systemspezifische Modifikation zur Auslegung des Hallenheizsystems nach DVGW G 638-1/2 und/oder Herstellerangaben

$$\Phi_{Auslegung} = \Phi_{12831} + X_{Hallenheizsystem} \text{ bzw. } \Phi_{Auslegung} = \Phi_{12831} * f_{Hallenheizsystem}$$

Tabelle 13: Ermittlung der Heizleistung eines Hallenheizsystems für einen beheizten Hallenraum i auf Basis der DIN EN 12831:2003-08 [13], schematisch

Die zur Auslegung der Heizungskomponenten heranzuziehenden Raumtemperaturen sollten zwischen Auftraggeber und dem mit der Auslegung beauftragten Unternehmen vereinbart werden. Für bestimmte Raumnutzungen nennt die DIN EN 12831 Anhaltswerte, deren Anwendung von der Norm empfohlen wird, sofern keine abweichenden Vereinbarungen getroffen wurden. Viele hallentypische Nutzungen werden in diesen Norm-/Standardwerten allerdings nicht berücksichtigt.

Darüber hinaus können einschlägige Richtlinien Anforderungen bezüglich der einzuhaltenden Raumtemperaturen stellen oder zumindest Hinweise zu deren Festlegung liefern – z. B. die Arbeitsstättenregel Raumtemperatur (ASR A3.5 [4]) oder die DIN 18032 [14], welche sich in Teil 1 mit den Planungsgrundlagen von Sporthallen und ähnlichen Räumen befasst (siehe auch 2.3).

Raumart	Norminnentemperatur θ_{int}
Büro-, Sitzungs- und Ausstellungsräume	20 °C
Verkaufsräume und Läden allgemein	20 °C
Theater- und Konzerträume	20 °C
Bade-, Dusch- und Umkleideräume	24 °C
WC-Räume	20 °C

Tabelle 14: Anhaltswerte der Norminnentemperatur nach DIN EN 12831, Auszug

Berechnungsbeispiel

Das nachfolgende Beispiel skizziert den Ablauf der Berechnung in groben Zügen.

Für eine Sporthalle ist die Auslegungsleistung zur Dimensionierung einer Heizungsanlage mit Dunkelstrahlern zu ermitteln – etwaige Nebenräume werden separat beheizt und sollen hier nicht berücksichtigt werden. Das DVGW-Arbeitsblatt G 638-2 [2] gibt für die Auslegung von Dunkelstrahlern überschlägig eine pauschale prozentuale Verringerung der Heizlast an und beschreibt zusätzlich eine angepasste Heizlastberechnung in Anlehnung an DIN EN 12831. Für das vorliegende Beispiel erfolgt die Berechnung der Heizlast ohne Eingriffe zur Berücksichtigung von Dunkelstrahlern und wird erst anschließend mit dem pauschalen Abschlag versehen.

Bekannt sind die vom Auftraggeber geforderte Innentemperatur, die maximale Auslastung, der Standort und die geometrischen Daten des Gebäudes sowie die Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenbauteile.

Der Auftraggeber gibt weiterhin an, dass nach Fertigstellung des Gebäudes eine Dichtheitsprüfung erfolgt und mit dem bauausführenden Unternehmen ein höchstens zulässiger Leckagevolumenstrom in Anlehnung an „Dichtheitsklasse II für Gebäude mit raumluftechnischer Anlage“ nach DIN V 18599-2:2011-12 vereinbart ist. Da die anlagentechnische Ausstattung zu diesem Zeitpunkt noch nicht vollständig geklärt ist, wird vereinbart, bei der Heizlastberechnung keine (Lüftungs-)Wärmerückgewinnung zu unterstellen.

Zusammenfassung der Berechnungsrandbedingungen (Eingangsgrößen)

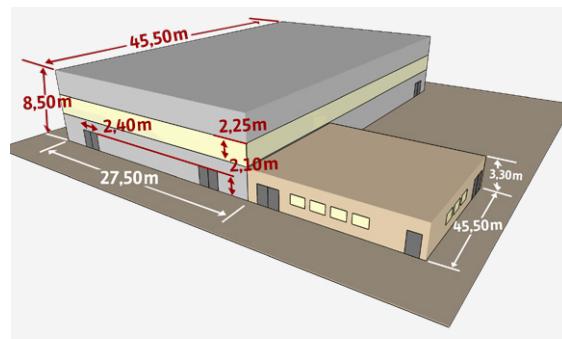


Abbildung 24: Sporthalle mit Nebengebäude

Auslegungsinnentemperatur (Vereinbarung mit Auftraggeber)	θ_{int}	°C	18
Auslegungsaußentemperatur (Norm- / Standardwert nach Standort)	θ_e	°C	-14
Jahresmittlere Außentemperatur (Norm- / Standardwert nach Standort)	$\theta_{m,e}$	°C	9,50
Außenluftvolumenstrom durch Nutzung (Volumenstrom überschlägig nach) · Auslastung gemäß AG: bis zu 100 Sportler, kein nennenswerter Publikumsbetrieb · Richtwert Volumenstrom nach DIN 18032-1 [7]: 60 m³/h je Sportler	V'_{min}	m³/h	6.000 ($n_{min} = 0,7 \text{ h}^{-1}$)
Kennwert Gebäudedichtheit nach Vereinbarung mit AG soll von einer Ausführung in Dichtheitsklasse II DIN V 18599-2:2011-12 [29] ausgegangen werden: $q_{50} = 2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ mit Bezug auf gesamte Hüllfläche	V'_{50}	m³/h	7.500 ($n_{50} = 0,9 \text{ h}^{-1}$)
Abschirmung	-	-	mittel/moderat durch umgebende Bebauung und/oder Bepflanzung
Raumfläche (Innenmaß) aus technischen Zeichnungen, Beschreibung des Bauvorhabens o. Ä.	A_R	m²	1.150
mittlere Innenhöhe aus technischen Zeichnungen, Beschreibung des Bauvorhabens o. Ä.	h_i	m	7,5
Innenvolumen	V_i	m³	8.625
Grundfläche (Außenmaß) aus technischen Zeichnungen, Beschreibung des Bauvorhabens o. Ä.	A_G	m²	1.251
Exponierter Umfang der Bodenplatte aus technischen Zeichnungen, Beschreibung des Bauvorhabens o. Ä.	P	m	131,00
geometrischer Parameter der Bodenplatte	B'	m	19,10

Tabelle 15: Berechnungsbeispiel Heizlast Sporthalle: Temperaturen, Lüftung / Gebäudedichtheit, Geometrie

Bauteil	Außenabmessungen		Bruttofläche (Außenmaß)	Nettofläche (Außenmaß)	konstruktiver Wärmedurch- gangskoeffizient U W/m²K
	m	m	A_{Brutto} m²	A_{Netto} m²	
Dach	27,50	45,50	1.251,25	1.251,25	0,20
Bodenplatte	27,50	45,50	1.251,25	1.251,25	0,45
Außenwand Nord	27,50	8,50	233,75	171,88	0,26
L Fensterband	27,50	2,25	61,88	61,88	1,20
Außenwand Süd	27,50	8,50	233,75	161,80	0,26
Fensterband	27,50	2,25	61,88	61,88	1,20
L Außentüren	4,80	2,10	10,08	10,08	1,60
Außenwand Ost	45,50	8,50	386,75	229,84	0,26
Abzug Anbau \triangleq	15,00	3,30	49,50	49,50	0,80
Innenwand an Flur zu Nebenräumen					
Außentür	2,40	2,10	5,04	5,04	1,60
L Fensterband	45,50	2,25	102,38	102,38	1,20
Außenwand West	45,50	8,50	386,75	284,38	0,26
L Fensterband	45,50	2,25	102,38	102,38	1,20

Tabelle 16: Berechnungsbeispiel Heizlast Sporthalle: Hüllflächenliste

Berechnung wesentlicher Zwischen- und Endergebnisse (Auszug)

Der Transmissionswärmeverlust der Halle unter Auslegungsbedingungen beträgt ca. 34 kW bzw. 30 W/m² mit Bezug auf die Raumfläche.

Bauteil	Außen-abmessungen		Brutto-fläche (Außen-maß)	Netto-fläche (Außen-maß)	Bauteil grenzt an	Temperatur des angrenzenden Bereichs	konstruktiver Wärmedurchgangskoeffizient	Wärme-brücken-zuschlag	gesamter / äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient	Korrekturfaktoren ^a	Gesamtkorrekturfaktor	Transmissionswärmeverlust-koeffizient ^a	Transmissionswärmeverlust		
	m	m ²	A _{Brutto}	A _{Netto}		°C	W/m ² K	ΔU _{WB}	U _{equiv}		Πf	H _T = A _{Netto} * U _{equiv} * Πf	W/K	W	
Dach	27,50	45,50	1.251,25	1.251,25	Außenluft	-14	0,20	0,05	0,25			1,00	1,00	312,81	10.010
Bodenplatte	27,50	45,50	1.251,25	1.251,25	Erdreich	9,5	0,45	0,05	0,50 → 0,17 ^b	1,45	1,00	0,27	0,39	81,93	2.622
Außenwand Nord	27,50	8,50	233,75	171,88	Außenluft	-14	0,26	0,05	0,31			1,00	1,00	53,28	1.705
L Fensterband	27,50	2,25	61,88	61,88	Außenluft	-14	1,20	0,05	1,25			1,00	1,00	77,34	2.475
Außenwand Süd	27,50	8,50	233,75	161,80	Außenluft	-14	0,26	0,05	0,31			1,00	1,00	50,16	1.605
Fensterband	27,50	2,25	61,88	61,88	Außenluft	-14	1,20	0,05	1,25			1,00	1,00	77,34	2.475
L Außentüren	4,80	2,10	10,08	10,08	Außenluft	-14	1,60	0,05	1,65			1,00	1,00	16,63	532
Außenwand Ost	45,50	8,50	386,75	229,84	Außenluft	-14	0,26	0,05	0,17			1,00	1,00	39,07	1.250
Abzug Anbau \triangleq	15,00	3,30	49,50	49,50	beheizten Raum	15	0,80		0,80			0,09	0,09	3,71	119
Außentür	2,40	2,10	5,04	5,04	Außenluft	-14	1,60	0,05	1,65			1,00	1,00	8,32	266
L Fensterband	45,50	2,25	102,38	102,38	Außenluft	-14	1,20	0,05	1,25			1,00	1,00	127,97	4.095
Außenwand West	45,50	8,50	386,75	284,38	Außenluft	-14	0,26	0,05	0,31			1,00	1,00	88,16	2.821
L Fensterband	45,50	2,25	102,38	102,38	Außenluft	-14	1,20	0,05	1,25			1,00	1,00	127,97	4.095
Transmissionswärmeverlust des Raums					Φ _{T,i}	absolut bezogen auf Raumfläche							W	34.070	
													W/m ²	29,63	

a Wärmetransferkoeffizienten nach DIN EN 12831 sind so zu ermitteln, dass sie sich auf die Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur beziehen. Bei Bauteilen, welche nicht an Außenluft grenzen, erfolgt daher eine „Temperaturkorrektur“ des Transmissionswärmetransferkoeffizienten. Bei erdreichberührten Bauteilen sind darüber hinaus weitere Korrekturen einzubeziehen (u. a. in Abhängigkeit von der Grundwassertiefe).

b Im Rahmen der Betrachtungen nach DIN EN 12831 werden konstruktive (nur auf das Bauteil bezogene) U-Werte von erdreichberührten Bauteilen in äquivalente U-Werte umgerechnet, welche die im Vergleich mit außenluftangrenzenden Bauteilen andersartigen Wärmetransportvorgänge durch das an das Bauteil angrenzende Erdreich einbeziehen.

Tabelle 17: Berechnungsbeispiel Heizlast Sporthalle: Berechnung des Transmissionswärmeverlustes

Die Lüftungswärmeverluste der Halle unter Auslegungsbedingungen und bei voller Auslastung betragen ca. 70 kW bzw. 61 W/m² mit Bezug auf die Raumfläche.

Die Heizlast der Halle beträgt ca. 105 kW bzw. 91 W/m² mit Bezug auf die Raumfläche. Sofern mit dem Auftraggeber vereinbart, kann die Normheizlast des Raums um einen Aufheizzuschlag für schnelleres Aufheizen nach Betriebsunterbrechungen erhöht werden.

Bei Einsatz von Dunkelstrahlern kann nach DVGW-Arbeitsblatt G 638-2 [2] in allerster Näherung ein pauschaler Leistungsabschlag von 15 % zur Berücksichtigung einer gegenüber der operativen Solltemperatur abgesenkten Lufttemperatur angerechnet werden. Hierach wäre eine Gesamtleistung von ca. 90 kW bzw. 78 W/m² mit Bezug auf die Raumfläche zu installieren.

Außenluftvolumenstrom durch Nutzung \triangleq Zuluftvolumenstrom bei maschineller Lüftung	V'_{\min}	m^3/h	6.000
Kennwert Gebäudedichtheit	V'_{50}	m^3/h	7.500
Abschirmungskoeffizient	e	—	0,03
Höhenkorrekturfaktor	ε	—	1,0
Infiltrationsvolumenstrom	V'_{inf}	m^3/h	450
rechnerischer Volumenstrom des Raums bei maschineller Lüftung ohne Wärmerückgewinnung	V'	m^3/h	6.450
volumenspezifische Wärmekapazität der Luft	$C_p * \rho$	$\text{Wh}/\text{m}^3\text{K}$	0,34
Lüftungswärmeverlustkoeffizient	H_v	W/K	2.193
Lüftungswärmeverlust	Φ_v	W	70.176
		W/m^2	61,02

Tabelle 18: Berechnungsbeispiel Heizlast Sporthalle: Berechnung des Lüftungswärmeverlustes

Anhang 2: Energiesparrechtliche Rahmenbedingungen

Energieeinsparverordnung

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) – derzeit in der Fassung EnEV 2014 [12] mit neuen Anforderungen seit dem 01.01.2016 – stellt energetische Anforderungen an Gebäude, welche in ihrem Geltungsbereich errichtet werden. Diese Anforderungen betreffen den Primärenergiebedarf, den baulichen Wärmeschutz und den sommerlichen Wärmeschutz des Gebäudes sowie weitere technische Details (z. B. Rohrleitungsdämmung, Regelung von Heizungspumpen usw.).

Die Energieeinsparverordnung und das von ihr referenzierte Berechnungsverfahren DIN V 18599 [10] berücksichtigen die Eigenschaften von Hallengebäuden und den darin eingesetzten Heizsystemen implizit teilweise durch eine Unterscheidung der Anforderungen, Berechnungsansätze und -randbedingungen anhand der mittleren Raumhöhe und Raumtemperatur sowie durch Berechnungsoptionen für übliche Hallenheizsysteme.

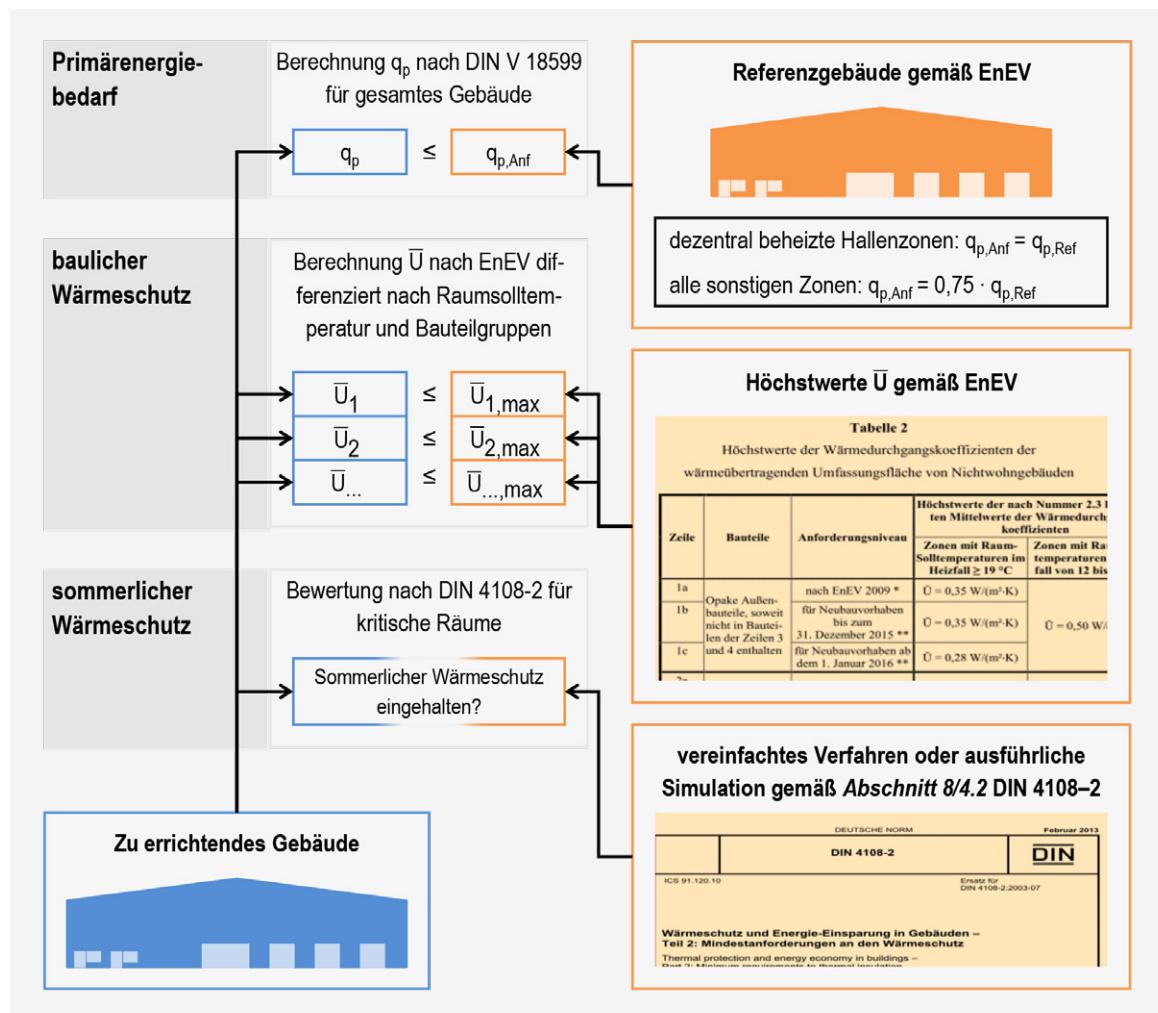


Abbildung 25: Wesentliche EnEV-Anforderungen (Kriterien des Energiebedarfsausweises) für Nichtwohngebäude im Überblick

Primärenergiebedarf

Die Einhaltung der EnEV-Anforderung zum Jahresprimärenergiebedarf eines zu errichtenden Gebäudes ist mit dem sogenannten Referenzgebäudeverfahren nachzuweisen. Hierbei wird eine Energiebedarfsberechnung sowohl für das zu errichtende Gebäude unter Zugrundelegung seiner energetischen Eigenschaften als auch für ein hinsichtlich Geometrie und Nutzung identisches Referenzgebäude mit einer nach EnEV festgelegten baulichen und anlagen-technischen Ausstattung durchgeführt. Das Referenzgebäude der EnEV 2014 mit neuen Anforderungen seit dem 01.01.2016 entspricht hierbei weitestgehend dem Referenzgebäude der Vorgängerfassung EnEV 2009. Zur Einhaltung der primärenergetischen EnEV-Anforderung muss seit dem 01.01.2016 der Primärenergiebedarf eines

zu errichtenden Gebäudes den des Referenzgebäudes um mindestens 25 % unterschreiten; d.h. der Primärenergiebedarf des zu errichtenden Gebäudes darf höchstens 75 % des Referenzgebäude-Primärenergiebedarfs betragen. Dezentral beheizte Hallen/Hallenzonen unterliegen diesbezüglich einer Ausnahme und müssen abweichend nur den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes einhalten – sie unterliegen damit im Wesentlichen noch dem Anforderungsniveau der EnEV 2009.¹⁸ Werden an Bestandsgebäuden Maßnahmen durchgeführt, welche in den Geltungsbereich der EnEV fallen, gelten die Anforderungen der Verordnung in der Regel als eingehalten, wenn der Primärenergiebedarf des Bestandsgebäudes das 1,4-fache des Referenzgebäude-Primärenergiebedarfs nicht überschreitet.

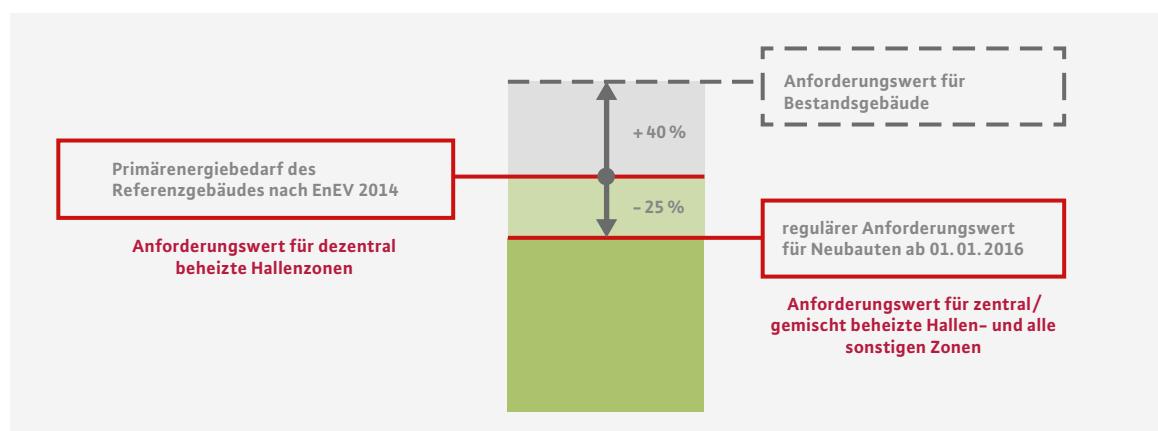


Abbildung 26: Primärenergieanforderungswert nach EnEV

Durch Anwendung des Referenzgebäudeverfahrens werden die spezifische Gebäudeeigenschaften wie Größe und Geometrie des Baukörpers – also auch die physischen Dimensionen der realen Halle – berücksichtigt und fließen in die Festlegung des Anforderungswertes ein. Darüber hinaus sieht die Referenzgebäudeausführung für Hallenzonen eine Beheizung durch ein spezifisches Hallenheizsystem – dezentraler erdgasbetriebener Warm-luftheizer – vor.

Der Primärenergiebedarf gemäß EnEV ist für Nichtwohngebäude, zu denen auch Hallen zählen, mit einer entsprechenden Software nach DIN V 18599 zu berechnen. Das umfangreiche Berechnungsverfahren ist nur mit spezieller Berechnungssoftware zu handhaben – eine händische Berechnung ist praktisch unmöglich.

18 Die EnEV spricht im Kontext dieser Ausnahmeregelung von „Gebäudezonen mit mehr als 4 m Raumhöhe, die durch dezentrale Gebläse- oder Strahlungsheizungen beheizt werden“. Die Ausnahme betrifft nur solche Hallenzonen, welche ausschließlich durch dezentrale Hallenheizsysteme beheizt werden – bei einer gemischten Beheizung der Zone durch dezentrale und zentrale Hallenheizsysteme gelten die regulären Anforderungen ohne Ausnahmeregelung. Nach bisherigem Kenntnisstand soll die Ausnahmeregelung in dieser Form nicht mehr im kommenden Gebäudeenergiegesetz, welches die Regelungen der EnEV und des EEWärmeG in sich vereinen und beide Werke ablösen wird, enthalten sein. Ob und ggf. inwiefern im fertigen Gesetz zwischen zentralen und dezentralen Hallenheizsystemen unterschieden werden wird, ist derzeit noch nicht bekannt.

Baulicher Wärmeschutz

Die Anforderungen der EnEV an den baulichen Wärmeschutz werden für Nichtwohngebäude durch festgelegte mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten definiert, welche das zu errichtende Gebäude nicht überschreiten darf. Diese mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten ergeben sich als flächengewichtete Mittelwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten aller in die Betrachtung einbezogenen Bauteile.¹⁹ Die Betrachtung wird für bestimmte nach EnEV definierte Bauteilgruppen geführt – opake²⁰ Außenbauteile, transparente Außenbauteile usw. Zusätzlich wird hinsichtlich des Temperaturniveaus unterschieden (siehe Tabelle 19).

Besonders bei Hallengebäuden ist zu berücksichtigen, dass erdreichberührende Bodenplatten – sie zählen zu den opaken Außenbauteilen – nur bis zu einem Abstand von 5 m zur jeweils nächsten Außenwand (→ 5-m-Randstreifen) in die Mittelwertbildung einbezogen werden und ihr konstruktiver Wärmedurchgangskoeffizient hierbei zusätzlich mit dem Faktor 0,5 gewichtet wird. Bodenplatten haben in dieser Bewertung also ein geringeres Gewicht als andere opake Außenbauteile.

Die entsprechenden Anforderungswerte wurden zum 01.01.2016 ebenfalls verschärft – analog zum Primärenergiebedarf sind dezentral beheizte Hallenzonen von dieser Verschärfung ausgenommen (vgl. auch Fußnote 18). Hieraus ergibt sich für Hallengebäude die Besonderheit, dass die betroffenen Bauteile der enthaltenen (Hallen-)Zonen in der Nachweisführung zur Einhaltung der

Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz sowohl nach den Temperaturniveaus „ $12^{\circ}\text{C} \leq \theta < 19^{\circ}\text{C}$ “ und „ $\theta \geq 19^{\circ}\text{C}$ “ als auch nach zentraler und dezentraler Beheizung gruppiert werden müssen. Der Verordnungsgeber sieht hierbei eine getrennte Bewertung von dezentral beheizten Hallenzonen und allen sonstigen Zonen vor, sodass sich für ein Gebäude bis zu vier Gruppen von Zonen ergeben, für welche der Nachweis geführt werden muss:

- » dezentral beheizte Hallenzonen, unterteilt in
 - Gruppe aller enthaltenen Zonen mit $12^{\circ}\text{C} \leq \theta < 19^{\circ}\text{C}$,
 - Gruppe aller enthaltenen Zonen mit $\theta \geq 19^{\circ}\text{C}$,
- » alle sonstigen Zonen, unterteilt in
 - Gruppe aller enthaltenen Zonen mit $12^{\circ}\text{C} \leq \theta < 19^{\circ}\text{C}$,
 - Gruppe aller enthaltenen Zonen mit $\theta \geq 19^{\circ}\text{C}$,

In jeder dieser Gruppen ist die Einhaltung des zulässigen Höchstwertes für bis zu vier Bauteilkategorien nachzuweisen (siehe Tabelle 19).

Sommerlicher Wärmeschutz

Die EnEV fordert für zu errichtende Gebäude einen ausreichenden baulichen sommerlichen Wärmeschutz und konkretisiert, dass die diesbezüglichen Anforderungen der DIN 4108 2:2013-02 [15] einzuhalten sind. Die Einhaltung dieser Anforderungen kann durch ein vereinfachtes Verfahren (Abschnitt 8.3 DIN 4108-2) oder durch thermische Simulationen (Abschnitt 8.4 DIN 4108-2) nachgewiesen werden.

Bauteilgruppe	Anforderungsniveau	Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U} [W/m ² K]	
		Zonen mit $\theta_{i,h,soll} \geq 19^{\circ}\text{C}$	Zonen mit $12 \leq \theta_{i,h,soll} < 19^{\circ}\text{C}$
opake Außenbauteile	bis 31.12.2015 ^a seit 01.01.2016 ^b	0,35 0,28	0,50
transparente Außenbauteile	bis 31.12.2015 ^a seit 01.01.2016 ^b	1,9 1,5	2,8
Vorhangfassade	bis 31.12.2015 ^a seit 01.01.2016 ^b	1,9 1,5	3,0
Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	bis 31.12.2015 ^a seit 01.01.2016 ^b	3,1 2,5	3,1

a immer noch gültig für dezentral beheizte Hallenzonen seit 01.01.2016
b reguläres Anforderungsniveau seit 01.01.2016

Tabelle 19: Anforderungen der EnEV an den baulichen Wärmeschutz zu errichtender Gebäude

19 Siehe Anlage 2 Nummern 1.3 und 2.3 sowie Tabelle 2 EnEV.

20 Lichtundurchlässig.

Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz

Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG [16]) fordert für neu errichtete Gebäude die anteilige Deckung des Wärme-/Kälteenergiebedarfs²¹ aus Erneuerbaren Energien im Sinne des Gesetzes. Das Gesetz unterscheidet zwischen verschiedenen Formen Erneuerbarer Energien und bietet dementsprechend unterschiedliche Erfüllungsoptionen an. Neben Optionen zur unmittelbaren Nutzung Erneuerbarer Energien führt das Gesetz sogenannte Ersatzmaßnahmen auf, welche auch

dann eine Einhaltung des Gesetzes ermöglichen, wenn für ein Bauvorhaben im Geltungsbereich²² des EEWärmeG die unmittelbare Nutzung Erneuerbarer Energien nicht möglich oder wirtschaftlich nicht sinnvoll ist.

Das EEWärmeG erlaubt explizit die Kombination und anteilige Anrechnung aller im Gesetzestext aufgeführten Erfüllungsoptionen. Hierbei sind alle Erfüllungsoptionen – durch unmittelbare Nutzung Erneuerbarer Energien sowie durch Ersatzmaßnahmen – gleichberechtigt.

Erfüllung EEWärmeG zu 100 %		Einschränkungen/zusätzliche Anforderungen	
Nutzung Erneuerbarer Energien			
Solare Strahlungsenergie	15 %	Deckung des (Gebäude-)Bedarfs an Erzeugernutzwärme-/kälte (Nutzenergie, Übergabe-, Verteil- und Speicherverluste) durch die Anlage zur Nutzung der jeweiligen Erneuerbaren Energie	Zertifizierung der Kollektoren „Solar Keymark“
Feste Biomasse	50 %		Einhaltung der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen und Mindestwert Kesselwirkungsgrad
Flüssige Biomasse	50 %		Erfüllung Nachhaltigkeitsverordnung und Einsatz mit Brennwertkessel
Gasförmige Biomasse mit KWK	30 %		Nutzung nur in KWK-Anlagen (+ Anforderungen KWK) und Einhaltung von Nachhaltigkeitsforderungen
Gasförmige Biomasse mit Brennwertkesseln	30 %		Nur anrechenbar für Bestandsgebäude der öffentlichen Hand
Geothermie und Umweltwärme	50 %		Wärmemengen- und „Stromzähler“ sowie Mindestwerte JAZ
Ersatzmaßnahmen			
Anlagen zur Nutzung von Abwärme	50 %	Deckung des (Gebäude-)Bedarfs an Erzeugernutzwärme-/kälte (Nutzenergie, Übergabe-, Verteil- und Speicherverluste) durch die jeweilige Anlage	Bei Nutzung durch Wärmepumpen: Anforderungen wie bei Geothermie und Umweltwärme Bei Nutzung mit Wärmeübertrager in zentraler Lüftungsanlage: Wärmerückgewinnungsgrad (WRG-Grad) $\geq 70\%$ und Leistungszahl ≥ 10 (Begriffsdefinition: Die Leistungszahl ist das Verhältnis zwischen Abwärmenutzung und Stromeinsatz bei der WRG) Sonstige Nutzung: nach Stand der Technik
KWK-Anlagen	50 %		Nutzung hocheffizienter Anlagen: Primärenergieeinsparung gegenüber getrennter Erzeugung von Wärme und Elektroenergie
Maßnahmen zur Einsparung von Energie	-15 %	bezogen auf EnEV-Anforderungen	$q_P \leq 0,85 * q_{P, \text{Anforderung}}$ und $H'_{T, \text{Anforderung}} \leq 0,85 * H'_{T, \text{Anforderung}}$ bzw $\bar{U} \leq 0,85 * \bar{U}_{\text{Anforderung}}$
Nah-/Fernwärme/-kälte	50 %	Deckung des (Gebäude-)Bedarfs an Erzeugernutzwärme-/kälte (Nutzenergie, Übergabe-, Verteil- und Speicherverluste) durch Nah-/Fernwärme/-kälte, welche ihrerseits das EEWärmeG nach einer oder mehreren der obenstehenden Optionen (außer Einsparung von Energie) erfüllt	

Tabelle 20: Erfüllungsoptionen EEWärmeG, Übersicht

21 Das Gesetz versteht hierunter die Summe aus Wärme-/Kältebedarf und den hiermit verbundenen Aufwänden für Übergabe, Verteilung und Speicherung. Das durch die EnEV referenzierte Berechnungsverfahren DIN V 18599 spricht an dieser Stelle von der Erzeugernutzwärme/-kälte(-abgabe).

22 Der Geltungsbereich des EEWärmeG in Bezug auf Nichtwohngebäude umfasst in der Regel alle zu errichtenden Gebäude, die in den Geltungsbereich der EnEV fallen.

Bei Kombination mehrerer Erfüllungsoptionen sind die relativen Erfüllungsgrade aller einbezogenen Optionen zu addieren. Das Gesetz ist eingehalten, wenn sich in Summe ein Gesamterfüllungsgrad ≥ 1 bzw. $\geq 100\%$ ergibt.

Berechnung des Gesamterfüllungsgrades EEWärmeG mit Einhaltebedingung:

$$\sum_{\substack{\text{alle genutzten} \\ \text{Erfüllungsoptionen i}}} \left(\frac{\text{Deckungsanteil}_i, \text{ist}}{\text{Deckungsanteil}_i, 100\%} \right) \geq 100\%$$

Hallen mit zentraler Wärme- und ggf. Kälteerzeugung können im Allgemeinen Erneuerbare Energien im Sinne des Gesetzes zur Wärme-/Kälteerzeugung wenigstens in Anteilen nutzen. Für dezentral beheizte Hallen gestaltet sich die Einhaltung insofern schwieriger, als die meisten vom EEWärmeG beschriebenen Erfüllungsoptionen nicht mit dezentralen Hallenheizsystemen nutzbar sind. Oft muss die Einhaltung der Anforderungen des EEWärmeG für dezentral beheizte Hallen zu einem wesentlichen Anteil oder gänzlich durch die Ersatzmaßnahme „Einsparung von Energie“ – also durch Unterschreitung der EnEV-Anforderungen – erfolgen.²³

Energetische Bewertung – Energiebilanz nach DIN V 18599

Allgemeines

Die Vornormenreihe DIN V 18599 [10] beschreibt ein Verfahren zur Berechnung des Energiebedarfs, welcher für die Konditionierung (Beheizung, Beleuchtung usw.) eines Gebäudes unter definierten Nutzungsbedingungen notwendig ist. Das Verfahren berücksichtigt die wesentlichen

- » bauphysikalischen Eigenschaften des Gebäudes,
- » energetisch relevanten Parameter der Anlagentechnik zur Konditionierung des Gebäudes und
- » Randbedingungen der Nutzung sowie solare und interne Wärmegewinne.

Mit dem universellen Verfahren können Wohn- und Nichtwohngebäude jeweils als Neubauten oder auch Bestandsgebäude mit marktüblichen Konditionierungssystemen abgebildet werden.

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

Da sich der Nachweis der Einhaltung des EEWärmeG wesentlich auf Ergebnisse der Energiebedarfsberechnung nach EnEV stützt, ist die DIN V 18599 auch für diesen Nachweis bei Nichtwohngebäuden in der Regel unabdingbar.

Wesentliche Begriffe der EnEV und DIN V 18599

Energiebedarf

Der Energiebedarf eines Gebäudes ist die Energiemenge, die das Gebäude unter standardisierten Randbedingungen gemäß Berechnung auf Grundlage eines definierten Berechnungsverfahrens verbrauchen würde. Energiebedarfswerte lassen somit nur bedingt Rückschlüsse auf tatsächliche oder zu erwartende Energieverbräuche zu. Sie eignen sich jedoch gut für objektive Vergleiche zwischen unterschiedlichen Gebäude-/Anlagentechnikvarianten oder auch zur Beschreibung der energetischen Qualität eines konditionierten Gebäudes – z. B. in Form des Energiebedarfsausweises.

Konditionierung

Unter Konditionierung verstehen EnEV und DIN V 18599 die Herstellung bestimmter Raumbedingungen, wie Temperatur, Luftqualität und Helligkeit, durch anlagentechnische Systeme. Im Rahmen des öffentlich-rechtlichen Nachweises nach EnEV werden folgende Konditionierungsarten betrachtet: Heizung, Trinkwassererwärmung, Kühlung, Beleuchtung und Lüftung.

> Fortsetzung auf der nächsten Seite

²³ Eine Unterschreitung der seit 01.01.2016 verschärften EnEV-Anforderungen um bis zu 25 % zur Erfüllung des EEWärmeG würde eine wesentliche Erschwerung für dezentral beheizte Hallen bedeuten. Der Verordnungsgeber ging auf diesen Umstand ein, indem dezentral beheizte Hallen von den seit 01.01.2016 geltenden Verschärfungen der EnEV ausgenommen wurden. Nach bisherigem Kenntnisstand soll die Ausnahmeregelung in dieser Form nicht mehr im kommenden Gebäudeenergiegesetz, welches die Regelungen der EnEV und des EEWärmeG in sich vereinen und beide Werke ablösen wird, enthalten sein. Ob und ggf. inwiefern im fertigen Gesetz zwischen zentralen und dezentralen Hallenheizsystemen unterschieden werden wird, ist derzeit noch nicht bekannt.

Wesentliche Begriffe der EnEV und DIN V 18599

Nutz-, End- und Primärenergie

Bei der Bilanzierung energieumsetzender Systeme lassen sich unterschiedliche Bilanzräume definieren. In der Bewertung von Gebäuden einschließlich ihrer Anlagentechnik haben sich die Begriffe Nutz-, End- und Primärenergie etabliert, wie sie auch in der DIN V 18599 verwendet werden.

Der Begriff **Nutzenergie** bezieht sich auf die Energie menge, welche zur Erfüllung einer bestimmten Aufgabe – der Konditionierung – unmittelbar am Ort der Nutzung unter idealisierten Bedingungen aufgewendet werden müsste. Das kann beispielsweise die Wärmemenge sein, welche einem Raum zur Aufrechterhaltung einer definierten Innentemperatur unter idealisierten Bedingungen zuzuführen wäre – also die Summe der Lüftungs- und Transmissionswärmeverluste. Nutzenergie ist daher weder anlagen- noch energieträgerspezifisch.

Endenergie bezieht darüber hinaus auch spezifische Energieverluste der Anlagentechnik ein. Diese können z. B. durch die Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe der jeweiligen Energie entstehen. Eine definierte Menge an Endenergie entspricht einer bestimmten Menge des eingesetzten Energieträgers (Kubikmeter Erdgas, Liter Heizöl usw.). Endenergie ist energieträgerspezifisch zu betrachten – Endenergiemengen unterschiedlicher Energieträger können nicht unmittelbar verglichen oder miteinander verrechnet werden. Die DIN V 18599 gibt Endenergiemengen im Fall von Brennstoffen brennwertbezogen an. Die Grenzen des Bilanzrahmens einer endenergetischen Betrachtung werden in der Regel durch die Gebäudegrenzen gebildet.

Bei einer **primärenergetischen** Betrachtung wird zusätzlich der Aufwand berücksichtigt, welcher für Erschließung, Transport und Bereitstellung der notwendigen Energie an der Gebäudegrenze notwendig ist. Somit erlaubt die primärenergetische Betrachtung auch einen Vergleich verschiedener Energieträger. Primärenergiemengen nach DIN V 18599 werden heizwertbezogen angegeben.

Nutzung/Nutzungsprofil/Katalognutzung

Für Energiebedarfsberechnungen nach DIN V 18599 müssen wesentliche Parameter der Nutzung des betrachteten Gebäudes oder der betrachteten Gebäudezone(n) bekannt sein – wie z. B. Raumtemperatur, Nutzungszeiten, Beleuchtungsstärke usw. Für verschiedene typische Nutzungen werden diese Parameter in

DIN V 18599-10 katalogartig aufgeführt. Mitunter wird in Bezug auf die in der Norm aufgeführten Nutzungen bzw. Nutzungsprofile auch von Katalognutzungen gesprochen.

Ein Abwandeln der in Normteil 10 aufgeführten Nutzungen oder das Neuerstellen von Nutzungsprofilen ist im Rahmen der Nachweisführung nach EnEV in der Regel nicht zulässig. Sobald eine reale Nutzung einer der aufgeführten (Katalog-)Nutzungen des Normteils 10 zugeordnet werden kann, sind für die Berechnung die Nutzungsrandbedingungen dieser Katalognutzung ohne Veränderung zu verwenden – auch dann, wenn sich zwischen realer Nutzung und Katalognutzung Abweichungen ergeben (wie z. B. abweichende Temperaturen oder Nutzungszeiten). Lediglich für Fälle, in denen DIN V 18599-10 keine entsprechung der realen Nutzung enthält, darf ein neues Nutzungsprofil für die Nachweisführung erstellt werden.

Wärmedurchgangskoeffizient

Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) beschreibt – üblicherweise flächenbezogen –, von welcher Wärmemenge ein Bauteil (z. B. eine Außenwand) durchströmt wird, wenn zwischen den Medien auf beiden Seiten des Bauteils eine Temperaturdifferenz von 1 K besteht. Er umfasst den Wärmeübergang zwischen Innenluft und Bauteil, den Wärmetransport innerhalb des Bauteils sowie ggf. den Wärmeübergang zwischen Bauteil und Außenluft. Im Rahmen von Betrachtungen zum Energiebedarf wird der U-Wert in der Regel vereinfacht als eine konstante Eigenschaft des Bauteils und der Einbausituation (z. B. waagerecht oder senkrecht) betrachtet.

Zone/Gebäudezone

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

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

Die Normenreihe DIN V 18599 umfasst in der durch die EnEV 2014 referenzierten Fassung (2011–12) elf Normteile.

Die Energiebilanzierung nach DIN V 18599 beginnt auf der Nutzenseite mit der Ermittlung des Nutzenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung und Trinkwassererwärmung. In der weiteren Berechnung werden dem Nutzenergiebedarf sukzessive durch die Anlagen-technik verursachte Energieverluste in den Bilanzabschnitten Übergabe, Verteilung, Speicherung und Erzeugung aufgeschlagen. Das Ergebnis dieser Betrachtung sind Endenergiebedarfswerte auf Basis des jeweiligen Energieträger-Brennwertes. Mithilfe von Primärenergiefaktoren erfolgt schließlich eine Bewertung des Aufwands der Erschließung und Bereitstellung der entsprechenden Energieträger an der Gebäudegrenze – hierbei ist zu berücksichtigen, dass Primärenergiebedarfswerte nach DIN V 18599, anders als Endenergiwerte, heizwertbezogen angegeben werden.

In Energiebedarfsberechnungen nach DIN V 18599 können die spezifischen Eigenschaften sowohl von Hallengebäuden als auch der darin üblicherweise eingesetzten Heizsysteme berücksichtigt werden.

Normteil	Inhalt
Teil 1	energetische Gesamtbilanzierung, Begriffe, Zonierung und Bewertung von Energieträgern
Teil 2	Nutzenergiebedarf der Beheizung/Kühlung von Gebäudezonen
Teil 3	Nutzenergiebedarf der energetischen Luftaufbereitung
Teil 4	Nutz- und Endenergiebedarf der Beleuchtung
Teil 5	Endenergiebedarf von Heizsystemen
Teil 6	Endenergiebedarf von Lüftungsanlagen, Luftheizungsanlagen und Kühlsystemen für Wohngebäude
Teil 7	Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für Nichtwohngebäude
Teil 8	Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen
Teil 9	End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen
Teil 10	Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten
Teil 11	Gebäudeautomation

Tabelle 22: Normteile der DIN V 18599:2011–12 [10], Überblick

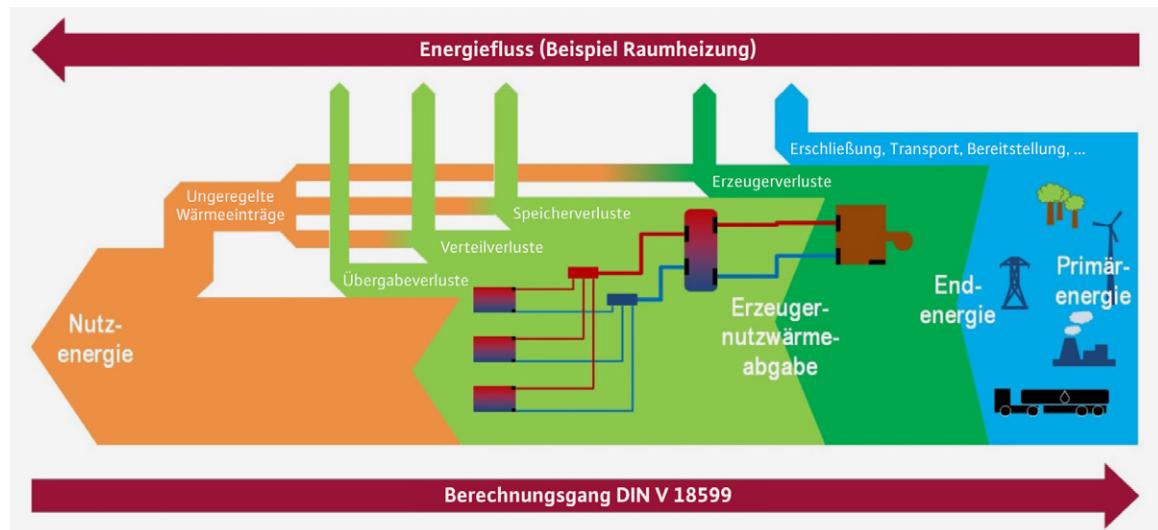


Abbildung 27: Energiefluss zwischen Energieübergabe auf Nutzenseite und Primärenergiebezug nach DIN V 18599, Beispiel Heizung

Nutzungsprofile

Die DIN V 18599 führt im Normteil 10 alle wesentlichen nutzungsrelevanten Eingabegrößen für eine Vielzahl von Nutzungsprofilen katalogmäßig auf und beschreibt darüber hinaus, wie individuelle Nutzungsprofile zu erstellen sind. Im Rahmen der Nachweisführung nach EnEV darf nach derzeitiger Lesart der Verordnung jedoch ausschließlich auf die Katalognutzungen nach DIN V 18599-10 zurückgegriffen werden, sofern die tatsächliche

Nutzung einer dieser Katalognutzungen zugeordnet werden kann – auch bei Abweichungen der Nutzungsrandbedingungen zwischen realer und katalogisierter Nutzung. Das Abwandeln einer Katalognutzung – z. B. Anpassung der Nutzungszeiten, da diese in der Realität kürzer oder länger ausfallen – ist im Nachweisfall nicht gestattet. Ein individuell erstelltes Nutzungsprofil darf nur dann angewendet werden, wenn der realen Nutzung keine der aufgeführten Katalognutzungen zugeordnet werden kann.

Nutzung	Raumsoll-temperatur $\theta_{i,h,soll}$ °C	jährliche Nutzungs-tage $d_{nutz,a}$ d/a	Mindest- außenluft- volumen- strom V_a m ³ /m ² h	Beleuchtungs- stärke \bar{E}_m lx	Interne Wärme- quellen $q_{l,p} + q_{l,fac}$ Wh/(m ² ·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	–

Tabelle 23: Typische Hallen-Nutzungsprofile nach DIN V 18599-10:2011-12

Überlegungen zur Einhaltung energetischer Anforderungen

Das energetische Anforderungsniveau an Hallengebäude und ihre Anlagentechnik wird im Wesentlichen durch die Kombination der Regelsetzungen Energieeinsparverordnung (EnEV) und Erneuerbare-Energien-Wärmegegesetz (EEWärmeG) definiert.

Die EnEV legt in ihren beiden Hauptanforderungen fest, wie hoch der Primärenergiebedarf eines zu errichtenden Gebäudes ausfallen darf und wie gut der bauliche Wärmeschutz – differenziert nach Bauteilgruppen – im Mittel mindestens sein muss.

Das EEWärmeG fordert die Nutzung Erneuerbarer Energien und legt hierbei den energetischen Mindestdeckungsanteil an Erneuerbaren Energien für die Beheizung und Kühlung eines Gebäudes fest. Zusätzlich definiert das Gesetz sogenannte Ersatzmaßnahmen, welche z. T. die

Erfüllung des Gesetzes ohne unmittelbare Nutzung Erneuerbarer Energien ermöglichen – hierunter fallen besonders

- » die Nutzung von Abwärme (auch durch Wärmerückgewinnung in Lüftungsanlagen) und
- » die Unterschreitung von EnEV-Anforderungen durch Maßnahmen zur Einsparung von Energie.

Im Bereich der Hallengebäude hat die Ersatzmaßnahme „Einsparung von Energie“ wesentliche Bedeutung. Besonders in dezentral beheizten Hallen wird das EEWärmeG in den allermeisten Fällen anteilig oder sogar vollständig auf dem Weg dieser Ersatzmaßnahme eingehalten. Die Anforderungen beider Regelsetzungen müssen daher immer im Zusammenhang betrachtet werden.

Zur Festlegung einer EnEV-konformen energetischen Ausführung einer Halle kann sich grundsätzlich erst einmal an der Ausführung des Referenzgebäudes nach Anlage 2 Tabelle 1 EnEV orientiert werden.

Zeile	Bauteil/System	Eigenschaft	Referenzausführung	
			$\theta_{i,h,soll} \geq 19^\circ\text{C}$	$12^\circ\text{C} \leq \theta_{i,h,soll} < 19^\circ\text{C}$
1.1	Außenwand	Wärmedurchgangskoeffizient [W/m ² K]	0,28	0,35
1.3	Wand gegen Erdreich, Bodenplatte	Wärmedurchgangskoeffizient [W/m ² K]	0,35	0,35
1.4	Dach	Wärmedurchgangskoeffizient [W/m ² K]	0,20	0,35
1.6	Lichtbänder	Wärmedurchgangskoeffizient [W/m ² K]	2,40	2,40
		Gesamtenergiedurchlassgrad g _⊥	0,55	0,55
		Lichttransmissionsgrad T _{D65}	0,48	0,48
1.7	Lichtkuppeln	Wärmedurchgangskoeffizient [W/m ² K]	2,70	2,70
		Gesamtenergiedurchlassgrad g _⊥	0,65	0,64
		Lichttransmissionsgrad T _{D65}	0,59	0,59
1.8	Fenster, Fenstertüren	Wärmedurchgangskoeffizient [W/m ² K]	1,30	1,90
		Gesamtenergiedurchlassgrad g _⊥	0,60	0,60
		Lichttransmissionsgrad T _{D65}	0,78	0,78
1.11	Wärmebrückenzuschlag	Wärmedurchgangskoeffizient [W/m ² K]	0,05	0,10
2.1	Lampenart, Vorschaltgerät	stabförmige Leuchtstoffröhre mit elektronischem Vorschaltgerät		
	Beleuchtungsart	· in den Zonen der Nutzungen 6 und 7 nach Tabelle 5 DIN V 18599-10:2011-12: wie beim ausgeführten Gebäude · sonst: direkt/indirekt		
3.4	Heizung bei Raumhöhen > 4 m	Dezentrales Heizsystem: · Wärmeerzeuger gemäß Tabelle 50 DIN V 18599-5:2011-12 · Dezentraler Warmlufterzeuger · nicht kondensierender Betrieb · Leistung zwischen 25 und 50 kW (pro Gerät) · Erdgas · Leistungsregelung 1 (einstufig bzw. ohne Anpassung der Verbrennungsluftmenge) · Wärmeübergabe gemäß Tabelle 13 DIN V 18599-5:2011-12 · Systemgebläse: Radialventilator · seitlicher Luftauslass ohne Warmlufrückführung · Raumtemperaturregelung: P-Regler		

Tabelle 24: Ausführung des Referenzgebäudes nach Anhang 2 Tabelle 1 EnEV, Auszug

Hierbei gilt:

- » Dezentral beheizte Hallen(zonen) dürfen zur Einhaltung der EnEV den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes nicht überschreiten. Muss das EEWärmeG vollständig durch Unterschreitung der EnEV-Anforderungen eingehalten werden – das ist bei dezentral beheizten Hallen die Regel –, ist eine zusätzliche Unterschreitung des Referenzgebäude-Primärenergiebedarfs um mindestens 15 % notwendig.²⁴
- » Zentral und gemischt beheizte Hallen(zonen) müssen zur Einhaltung der EnEV den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes um mindestens 25 % unterschreiten. Bei alleiniger Einhaltung des EEWärmeG durch Unterschreitung der EnEV-Anforderungen müsste dieser Wert nochmals um 15 % unterschritten werden – allerdings bestehen bei zentraler Beheizung in aller Regel Optionen zur

Nutzung Erneuerbarer Energien, u. a. Nutzung von Umweltwärme mit Wärmepumpen und Nutzung von Holz als Brennstoff.

Verbesserungen gegenüber dem Referenzgebäude sind prinzipiell in allen Ausstattungsmerkmalen denkbar, welche für das Referenzgebäude definiert sind. Für Hallen sind das besonders

- » die gesamte Heizungsanlage,
- » das Beleuchtungssystem und
- » die Ausführung des baulichen Wärmeschutzes.

Mit Blick auf die Anlagenparameter üblicher Hallenheizsysteme nach DIN V 18599-5 (auszugsweise in Tabelle 25 und 26) kann das Heizsystem gegenüber der Referenzgebäudeausführung, einem erdgasbetriebenen Warmluftzeuger in energetisch relativ ungünstiger Ausführung, deutlich verbessert werden.

Ausführung der Wärmeübergabe		mittlerer Vertikaler Lufttemperaturanstieg [K/m] → kleiner ist besser	Teilnutzungsgrad der systemspezifischen Wärmeverluste über Außenbauteile → größer ist besser	
Luftheizung ohne zusätzliche Warmluftrückführung (Deckenventilatoren)	seitlicher Luftauslass (Wandgerät) ...	1,00 ...	1,00 ...	
Dunkelstrahler, Hellstrahler		0,35	1,00	
Deckenstrahlplatten	Standardausführung verbesserte Ausführung verbesserte Ausführung und Einhaltung Außenwandabstand A $\geq 0,5$ (h _{DSP} – 1,1 m)	0,40 0,30 1,00	0,95 0,97 1,00	
Fußbodenheizung	ohne Dämmung Mindestdämmung DIN 4108-2 Mindestdämmung DIN EN 1264 thermisch entkoppelt	Überdeckung ≤ 10 cm Überdeckung > 10 cm Überdeckung ≤ 10 cm Überdeckung > 10 cm Überdeckung ≤ 10 cm Überdeckung > 10 cm	0,10 0,10 0,10 0,10 0,10 0,10	0,86 0,81 0,90 0,85 0,95 0,90 1,00

Tabelle 25: Heizsystemspezifische Kenngrößen von Strahlungsheizungen nach DIN V 18599-5:2011-12: Bilanzabschnitt Wärmeübergabe, Ausführung des Referenzgebäudes (Luftheizung) rot eingeraumt

24 Muss das EEWärmeG nur anteilig durch Unterschreitung der EnEV-Anforderungen eingehalten werden, verringert sich die notwendige Unterschreitung entsprechend.

Abgassystem	Leistungsregelung ^a	Erzeugerwirkungsgrad $\eta_{h,gen}^a$ → größer ist besser
nicht kondensierend	einstufig oder mehrstufig/modulierend ohne Anpassung der Verbrennungsluftmenge	0,91
	mehrstufig/modulierend mit Anpassung der Verbrennungsluftmenge	0,93
kondensierend (Brennwertnutzung)	einstufig oder mehrstufig/modulierend ohne Anpassung der Verbrennungsluftmenge	1,01
	mehrstufig/modulierend mit Anpassung der Verbrennungsluftmenge	1,04

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

Tabelle 26: Heizsystemspezifische Kenngrößen von Strahlungsheizungen nach DIN V 18599-5:2011-12: Bilanzabschnitt Wärmeerzeugung – Erzeugerwirkungsgrade von Strahlungsheizungen mit Abgasanlagen (bei Hellstrahlern ohne Abgasanlage abweichende Berechnung von $\eta_{h,gen}$), Ausführung des Referenzgebäudes (Luftheizung) rot eingeklammert

Wesentliche Einflüsse auf den **Beleuchtungsenergiebedarf** haben die Art der eingesetzten Lampen/Leuchten²⁵, die Beleuchtungsart und nutzungsabhängig auch die Beleuchtungssteuerung.

Beim **baulichen Wärmeschutz** sind – ggf. mit Ausnahme der größtenteils ungedämmten Bodenplatte – mit den heute im Hallenbau üblichen Bauweisen und Bauteilkennwerten moderate bis deutliche Verbesserungen gegenüber der Referenzgebäudeausführung möglich.

25 Beim Einsatz von LED-Systemen sollten diese innerhalb der Energiebedarfsberechnung mit produkt spezifischen Kennwerten (Lampen-Lichtausbeute nach Datenblatt) anstatt mit Standardwerten eingegeben werden. Die in der Normfassung 2011-12 hinterlegten Standardwerte für LED-Systeme entsprechen nicht mehr dem heute üblichen Stand.

Anhang 3 Hersteller und Anbieter (Auswahl)

Firma	Angebot Strahlungsheizungen		
	Hell-/Dunkelstrahler	Deckenstrahlplatten	Fußbodenheizungen
Abacus AG Margeritenstraße 16 91074 Herzogenaurach	T: 09132 7416-0 F: 09132 7416-29 info@abacusag.com www.abacusag.com	●	
Colt International GmbH Briener Straße 186 47533 Kleve	T: 02821 990-0 F: 02821 990-204 colt-info@coltgroup.com www.colt-info.de	●	
ETAPART AG Wilhelm-Maybachstraße 10-12 72108 Rottenburg	T: 07472 925-0 F: 07472 925-199 etapart@etapart.de www.etapart.de	●	
Gewea Hallenheizungen GmbH Klosterhofweg 78 41199 Mönchengladbach	T: 02166 256930 F: 02166 2569320 mail@gewea.de www.gewea.de	●	
GoGas Goch GmbH & Co. KG Zum Ihnedieck 18 44265 Dortmund	T: 0231 46505-0 www.gogas.com info@gogas.com	●	
Kübler GmbH Am Bubenpfad 2 67065 Ludwigshafen	T: 0621 57000-0 F: 0621 57000-57 direkt@kuebler-hallenheizungen.de www.kuebler-hallenheizungen.de	●	
Mark Deutschland GmbH Max-Planck-Straße 16 46446 Emmerich am Rhein	T: 02822 97728-0 F: 02822 97728-10 info@mark.de www.mark.de	●	●
Pender Strahlungstechnik GmbH Industriestraße 49 68526 Ladenburg	T: 06203 9266-0 F: 06203 9226-28 info@pender.de www.pender.de	●	
REHAU AG + Co Rheniumhaus Otto-Hahn-Straße 2 95111 Rehau	T: 09283 77-0 F: 09283 1016 info@rehau.com www.rehau.com		●
Roth Werke GmbH Am Seerain 2 35232 Dautphetal	T: 06466 922-0 F: 06466 922-100 www.roth-werke.de		●

Anhang 3 Hersteller und Anbieter (Auswahl)

Firma	Angebot Strahlungsheizungen		
	Hell-/ Dunkel- strahler	Decken- strahl- platten	Fußboden- heizungen
Schulte GmbH Am Auwald 24 99755 Ellrich	T: 036332 290-0 F: 036332 290-81 info@schulte-gmbh.com www.hallenheizung.de	●	
Schwank GmbH Bremerhavener Straße 43 / PF 620249 50735 / 50695 Köln	T: 0221 7176-0 F: 0221 7176-288 info@schwank.de www.schwank.de	●	
Uponor GmbH Industriestraße 56 97437 Haßfurt	T: 09521 690-0 info.de@uponor.com www.uponor.de		●

Anhang 4 Literaturverzeichnis

Bau- und Energiesparrechtlicher Rahmen

- [12] 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)
- [16] EEWärmeG 2015
Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegegesetz – EEWärmeG), zuletzt geändert durch Artikel 9 G vom 20.10.2015
- [28] Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz, MVKVO:
2014-07 Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Verkaufsstätten (Muster-Verkaufsstättenverordnung – MVKVO); Fassung September 1995 [...], zuletzt geändert durch Beschluss der Fachkommission Bauaufsicht vom Juli 2014, 07/2014
- [34] Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz, MBO:
2016-05 Musterbauordnung – MBO – Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 13.05.2016, 05/2016
- [35] Bauordnungen der Länder (vgl. MBO)
- [44] Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz, M-FeuVO: 2005
Muster-Feuerungsverordnung, 2005
- [45] Feuerungsverordnungen der Länder (vgl. M-FeuVO)
- [46] Anforderungen an den Brand- und Explosionsschutz nach geltendem Recht/Landesbaurecht (siehe auch RLT-Richtlinien, besonders RL 02)
- [47] 1. BlmSchV:2010-01
Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BlmSchV), 1/2010

Anhang 4 Literaturverzeichnis

Nationale Normen

- [3] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN ISO 7730:2006-05; 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 [...], 2006
- [7] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 419-2:2006-12 Hellstrahler mit Brenner ohne Gebläse für gewerbliche und industrielle Anwendung – Teil 2: Rationelle Energienutzung; Deutsche Fassung EN 419-2:2006, 12/2006
- [8] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 416-2:2006-10 Gasgeräte-Heizstrahler – Dunkelstrahler mit einem Brenner mit Gebläse für gewerbliche und industrielle Anwendung – Teil 2: Rationelle Energienutzung; Deutsche Fassung EN 416-2:2006, 10/2006
- [10] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN V 18599:2011-12 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teile 1 bis 11, 2011
- [13] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 12831:2003-08 Heizungsanlagen in Gebäuden, Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast, August 2003
- [14] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN 18032-1:2014-11 Sporthallen – Hallen und Räume für Sport und Mehrzwecknutzung – Teil 1: Grundsätze für die Planung, 11/2014
- [15] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN 4108-2:2013:02 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Februar 2013
- [17] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN 3388-2:1979-09 Abgas-Absperrvorrichtung für Feuerstätten für flüssige oder gasförmige Brennstoffe, mechanisch betätigtes Abgasklappe; Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung, 09/1979
- [18] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN 3388-4:1984-12 Abgasklappe für Gasfeuerstätten, thermisch gesteuert, gerätegebunden; Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung, 12/1984
- [19] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN 4755:2004-11 Ölfeuerungsanlagen – Technische Regel Ölfeuerungsinstallation (TRÖ) – Prüfung, 11/2004

Anhang 4 Literaturverzeichnis

- [20] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 12831 Beiblatt 1:2008-07 Heizsysteme in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast – Nationaler Anhang NA, Juli 2008
- [21] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 50156-1:2016-03; VDE 0116-1:2016-03 Elektrische Ausrüstung von Feuerungsanlagen und zugehörige Einrichtungen – Teil 1: Bestimmungen für die Anwendungsplanung und Errichtung; Deutsche Fassung EN 50156-1:2015, 03/2016
- [22] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 50156-2:2016-03; VDE 0116-2:2016-03 Elektrische Ausrüstung von Feuerungsanlagen und zugehörige Einrichtungen – Teil 2: Bestimmungen für den Entwurf, die Entwicklung und die Baumusterprüfung von Sicherheitsbauteilen und Teilsystemen [...], 03/2016
- [23] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 676:2008-11 Automatische Brenner mit Gebläse für gasförmige Brennstoffe; Deutsche Fassung EN 676:2003+A2:2008, 11/2008
- [25] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 298:2012-11 Feuerungsautomaten für Brenner und Brennstoffgeräte für gasförmige oder flüssige Brennstoffe; Deutsche Fassung EN 298:2012, 11/2012
- [29] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 15251:2012-12; Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik, 2012
- [37] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 416-1:2009-09 Gasgeräte-Heizstrahler – Dunkelstrahler mit einem Brenner mit Gebläse für gewerbliche und industrielle Anwendung – Teil 1: Sicherheit; Deutsche Fassung EN 416-1:2009, 09/2009
- [38] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 419-1:2009-07 Hellstrahler mit einem Brenner ohne Gebläse für gewerbliche und industrielle Anwendung – Teil 1: Sicherheit; Deutsche Fassung EN 419-1:2009, 07/2009
- [39] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 14037-1:2016 An der Decke frei abgehängte Heiz- und Kühlflächen für Wasser mit einer Temperatur unter 120 °C – Teil 1: Vorgefertigte Deckenstrahlplatten [...] – Technische Spezifikationen und Anforderungen; Deutsche Fassung EN 14037-1:2016, 12/2016
- [40] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 14037-2:2016-12 An der Decke frei abgehängte Heiz- und Kühlflächen für Wasser mit einer Temperatur unter 120 °C – Teil 2: Vorgefertigte Deckenstrahlplatten zur Raumheizung – Prüfverfahren für die Wärmeleistung; Deutsche Fassung EN 14037-2:2016, 12/2016

Anhang 4 Literaturverzeichnis

- [41] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 14037-3:2016-12
An der Decke frei abgehängte Heiz- und Kühlflächen [...] – Teil 3:
Vorgefertigte Deckenstrahlplatten [...] – Wärmetechnische Umrechnungen,
Bewertungsmethoden und Festlegung der Strahlungs-Wärmeleistung; [...],
12/2016
- [42] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 14037-4:2016-12
An der Decke frei abgehängte Heiz- und Kühlflächen für Wasser mit einer
Temperatur unter 120 °C – Teil 4: Vorgefertigte Deckenstrahlplatten zur
Raumheizung – Prüfverfahren für die Kühlleistung; Deutsche Fassung
EN 14037-4:2016, 12/2016
- [43] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 14037-5:2016-12
An der Decke frei abgehängte Heiz- und Kühlflächen für Wasser mit
einer Temperatur unter 120 °C – Teil 5: Offene oder geschlossene
Deckenheizflächen – Prüfverfahren für die Wärmeleistung; Deutsche
Fassung EN 14037-5:2016, 12/2016

Weitere Richtlinien und Arbeitsblätter

- [1] DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., DVGW G
638-1:2003-11 Heizungsanlagen mit Heizstrahlern ohne Gebläse
(Hellstrahlern); Planung – Installation – Betrieb und Instandsetzung,
11/2003
- [2] DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V., DVGW
G 638-2:2010-03 Heizungsanlagen mit Dunkelstrahlern, 03/2010
- [4] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Ausschuss für
Arbeitsstätten, Technische Regeln für Arbeitsstätten – Raumtemperatur –
ASR A3.5, Juni 2010, geändert GMBI 2014
- [9] VDI Verein Deutscher Ingenieure, VDI 2067-1:2012-09 Wirtschaftlichkeit
gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen der Kostenberechnung, 09/2012
- [24] DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., DVGW G
600:2008-04/2014-07 Technische Regel für Gasinstallationen; DVGW-
TRGI; mit Ergänzungen vom Mai 2008 und Juli 2014, 07/2014
- [31] ArbStättV:2015-08 Verordnung über Arbeitsstätten
(Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV), 08/2015
- [34] 1. BImSchV:2010-01 Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-
Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere
Feuerungsanlagen – 1. BImSchV), 01/2010
- [44] BVF Bundesverband Flächenheizung und Flächenkühlung e. V.,
BVF Richtlinie 13:2015-01 Beheizte Fußbodenkonstruktionen im
Sporthallenbau, 01/2015

Anhang 4 Literaturverzeichnis

Sonstige Literatur

- [5] Universität Stuttgart IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung im Auftrag des BDEW, Beitrag des Gewerbes im Smart Market mit Fokus auf erdgasspezifische Anwendungen, 02/2016
- [6] IINAS GmbH – Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien, GEMIS: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme, Version 4.94
- [11] Schmidt Reuter Integrale Planung und Beratung GmbH im Auftrag des BBR/BBSR, Ermittlung von spezifischen Kosten energiesparender Bauteil-, Beleuchtungs-, Heizungs- und Klimatechnikausführungen für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur EnEV 2012; Endbericht, 06/2012
- [26] ITG Dresden Forschung und Anwendung GmbH; Weber EnergieConsult, figawa-Studie Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien in Hallengebäuden – Neubau und Bestand (EEEEH), Schlussbericht, 10/2015
- [27] EnEV 2009: Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 29. April 2009, 2009
- [30] ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden Forschung und Anwendung GmbH; Universität Kassel FB Bauphysik, Gesamtanalyse Energieeffizienz von Hallengebäuden, Abschlussbericht, 30.6.2011
- [32] B. Glück, Ein Vorschlag zur verbesserten Darstellung und Messung der operativen Raumtemperatur; in: gi Gesundheitsingenieur – Haustechnik – Bauphysik – Umwelttechnik 127 (2006), 2006
- [33] M. H. Spitzner, Hitzeschutz; Online-Zeitschriftenartikel, erschienen in mikado 8.2014, Kissing, 08/2014

Anhang 5 **Bildnachweis**

Titel: Veröffentlichung mit freundlicher Genehmigung des
Technikmuseums „Hugo Junkers“ Dessau

Abbildung 7: Schwank GmbH

Abbildung 10: GoGaS Goch GmbH & Co. KG

Abbildung 11: Kübler GmbH

Abbildung 14: FRENGER SYSTEMEN BV Heiz- & Kühltechnik GmbH

Abbildung 16: BVF Bundesverband Flächenheizungen und Flächenkühlungen e.V.

Abbildung 17: GoGaS Goch GmbH & Co. KG

Abbildung 18: Schwank GmbH

Abbildung 19: oben: FRENGER SYSTEMEN BV Heiz- & Kühltechnik GmbH
unten: Kübler GmbH

restliche

Abbildungen: ITG Dresden

Herausgeber

BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
Reinhardtstraße 32
10117 Berlin

Telefon +49 30 300199-0
Telefax +49 30 300199-3900
E-Mail info@bdew.de
www.bdew.de

Ansprechpartner BDEW

Geschäftsbereich Vertrieb, Handel und gasspezifische Fragen
Livia Beier
E-Mail livia.beier@bdew.de

Redaktion

ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden
Forschung und Anwendung GmbH
Bayreuther Straße 29
01187 Dresden

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

Layout und Satz

EKS – DIE AGENTUR
Energie Kommunikation Services GmbH
www.eks-agentur.de

Stand: Mai 2018

**Haftungsausschluss**

Die vorliegende Broschüre wurde nach bestem Wissen und Gewissen erstellt.
Sie dient zur Information, erhebt jedoch nicht den Anspruch, fehlerfrei zu sein.
Daher sind Haftungs- und Regressansprüche – soweit gesetzlich zulässig –
ausgeschlossen.
Auch kann eine Vollständigkeit der angegebenen Kontaktadressen und
Internet-Links nicht gewährte werden. Bei Anmerkungen oder erforderlichen
Änderungen nehmen Sie bitte Kontakt zu uns auf.

