

Erdgasbetriebene Warmluftheizungen

Effiziente Beheizung für Hallen im Gewerbe

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Grundlagen der Wärmeversorgung in Hallen mit Luftheizungen	4
2.1 Besonderheiten der Nutzung und Konditionierung von Hallen	4
2.2 Wärmephysiologische und betriebsbedingte Anforderungen	5
3. Energieträger	8
4. Hallenheizsysteme im Überblick	10
5. Luftheizungen	12
5.1 Systemüberblick	12
5.1.1 Wärmeerzeugung	12
5.1.2 Geräteanordnung, Montagearten und Luftverteilung	15
5.1.3 Warmluftrückführung	18
5.1.4 Sonderanwendung Torluftschleier	19
5.2 Doppelnutzung zur Beheizung und Belüftung, ggf. Kühlung	20
5.3 Anwendungsbereich von Luftheizungen	21
6. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	22
6.1 Allgemeines	22
6.2 Statische Amortisationszeit	22
6.3 Jahresgesamtkosten nach VDI 2067-1	22
6.4 Berechnungsbeispiele	23
6.4.1 Allgemeines	23
6.4.2 Randbedingungen	23
6.4.3 Ergebnisse	26
6.5 Grundsätzliche Tendenzen bei Hallenheizsystemen	34
Anhang	35
Anhang 1 Ermittlung der Heizlast	35
Anhang 2 Energiesparrechtliche Rahmenbedingungen Energieeinsparverordnung	40
Anhang 3 Hersteller und Anbieter (Auswahl)	51
Anhang 4 Literaturverzeichnis	53
Anhang 5 Bildnachweis	58

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. Im Kontext der besonderen Anforderungen, welche Hallengebäude an ein Heizsystem stellen, haben sich speziell auf diesen Anwendungsbereich zugeschnittene Hallenheizsysteme etabliert. Heizungssysteme mit Erdgas als Brennstoff sind

aufgrund ihrer Vorteile im Hallenbereich weit verbreitet. Hallenheizsysteme werden u. a. nach ihrem vorwiegenden Wärmetransportmechanismus in Luft- und Strahlungsheizsysteme unterteilt.

Die vorliegende Broschüre verschafft einen Überblick über die Besonderheiten bei der Beheizung von Hallengebäuden und geht hierbei in erster Linie auf Luftheizsysteme ein.

2. Grundlagen der Wärmeversorgung in Hallen mit Luftheizungen

2.1 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.

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 i. d. R. 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.

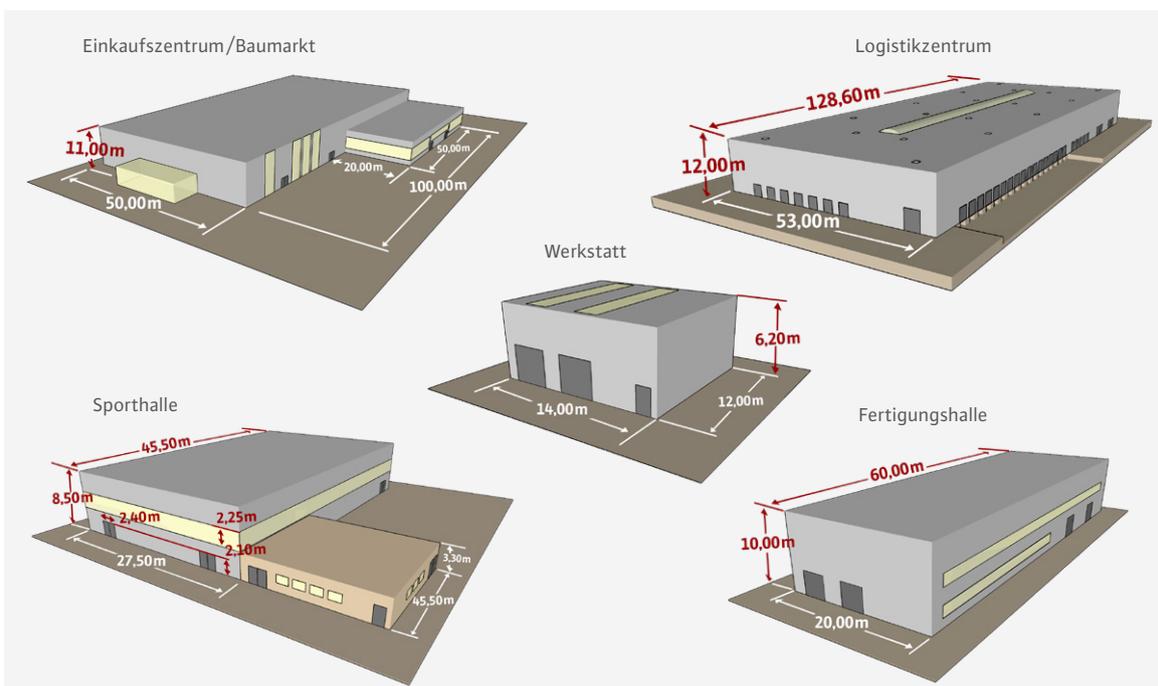


Abbildung 1: Typische Hallengebäude, beispielhafte Auswahl

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 träges 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.

In Hallen wird daher in aller Regel ein etwas geringerer thermischer Komfort akzeptiert.

2.2 Wärmephysiologische und betriebsbedingte Anforderungen

Das thermische Behaglichkeitsempfinden des Menschen hängt von vielen verschiedenen Einflussgrößen ab. Durch einschlägige Richtlinien werden Grenzwerte bestimmter behaglichkeitsrelevanter Größen formuliert.



Abbildung 2: Wesentliche Einflüsse auf die thermische Behaglichkeit

Darüber hinaus haben sich verschiedene Ansätze zur Beurteilung der Behaglichkeit etabliert – u. a. die sogenannte Behaglichkeitsnorm DIN EN ISO 7730 [28]. Nach ihr sind einerseits die thermische Behaglichkeit als Ganzes und andererseits die einzelnen Behaglichkeitskriterien lokal zu bewerten. Betrachtet werden

- » das Zugluftrisiko,
- » die Strahlungstemperaturasymmetrie,
- » zulässige Oberflächentemperaturen und
- » der Lufttemperaturgradient.

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 an diesem Ort 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. Liegt eine deutliche Abweichung zwischen Strahlungs- und Lufttemperatur vor (z. B. bei Einsatz von Hochtemperatur-Strahlungsheizungen) oder herrschen sehr hohe Strömungsgeschwindigkeiten, kann entweder der Strahlungs- oder der Luftanteil die Temperaturempfindung dominieren. Für eine Beurteilung üblicher Luftheizsysteme in zeitgemäß wärmegeprägten Gebäuden kann davon ausgegangen werden, dass Luft-, Strahlungs- und Empfindungstemperatur nahezu identisch sind.¹ Damit bietet sich die Lufttemperatur hier als ein geeignetes Kriterium zur Beurteilung der Temperaturempfindung und zur Regelung heizungstechnischer Komponenten an. Die Arbeitsstättenregel² Raumtemperatur (ASR A3.5 [32]) enthält Mindestwerte der Lufttemperatur für Arbeitsräume in Abhängigkeit von Körperhaltung und Aktivitätsgrad.

Da Luftheizsysteme auf eine erzwungene Durchmischung der Raumluft angewiesen sind, müssen neben der Temperatur auch die Strömungsgeschwindigkeiten in Bereichen zum andauernden Personenaufenthalt berücksichtigt werden. Die einschlägige Literatur benennt für Aufenthaltsbereiche in der Regel Obergrenzen zwischen 0,15 und 0,2 m/s. Die Behaglichkeitsnorm DIN EN ISO 7730 [28] enthält u. a. ein mathematisches Modell zur Beurteilung des Zugluftrisikos. Bei sehr hohen Temperaturen werden i. d. R. auch höhere Strömungsgeschwindigkeiten akzeptiert, mitunter sogar als angenehmer empfunden als „stehende Luft“ – so kann im Sommerfall bzw. in sehr warmen Gegenden durch moderat erhöhte Strömungsgeschwindigkeit u. U. Energie zur Raumkühlung gespart werden.

1 Vgl. auch [25].

2 Die Technischen 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.

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

Tabelle 1: Mindestwerte der Lufttemperatur in Arbeitsräumen nach ASR A3.5:2014 [32]

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

Tabelle 2: Praxisübliche Raumtemperaturen in Hallen

Gebäude-/Raumtyp	Kategorie ^a	Operative Temperatur, Heizperiode [°C]	Maximale mittlere Luftgeschwindigkeit ^b , Heizperiode [m/s]
Büro, Konferenzraum, Hörsaal, Cafeteria/Restaurant, Klassenraum	A	22,0 ± 1,0	0,10
	B	22,0 ± 2,0	0,16
	C	22,0 ± 3,0	0,21
Kindergarten	A	20,0 ± 1,0	0,10
	B	20,0 ± 2,5	0,15
	C	22,0 ± 3,5	0,19
Kaufhaus	A	19,0 ± 1,5	0,13
	B	19,0 ± 3,0	0,15
	C	19,0 ± 4,0	0,18

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.

b Die Werte beruhen beispielhaft auf einem Turbulenzgrad von 40 %, einer relativen Luftfeuchte von 40 % bei Gleichheit zwischen Lufttemperatur und operativer Temperatur. Die angegebenen Werte beziehen sich jeweils auf die Untergrenze des angegebenen Temperaturbereichs, jedoch geringstenfalls auf 20 °C.

Tabelle 3: Beispielhafte Gestaltungskriterien für unterschiedliche Nutzungen nach DIN EN ISO 7730 [28]

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 4: Übliche Hallennutzungen und Nutzungszeiten sowie wesentliche Einflüsse auf thermische Konditionierung

In vielen Hallen resultieren Anforderungen an die thermische Konditionierung nicht allein aus dem Aufenthalt von Personen, sondern auch – teils vorwiegend oder gar ausschließlich – aus der technologischen und/oder wirtschaftlichen Nutzung. 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.

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.

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 [41]. 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 i. d. R. gasbetriebenen dezentralen Hallenheizungen (siehe auch Abbildung 4) – kann jedoch von einer ähnlichen Verteilung ausgegangen werden.

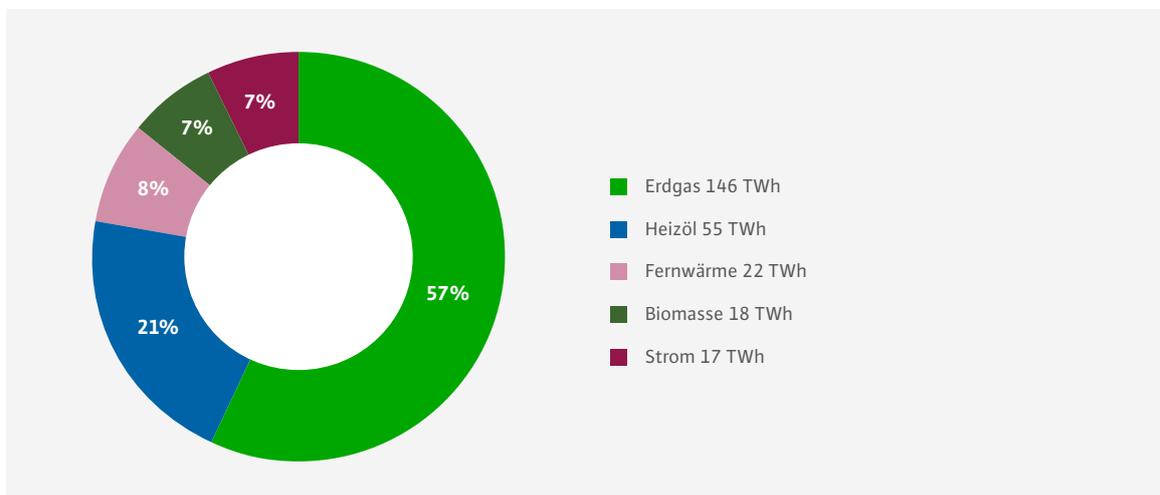


Abbildung 3: Energieverbrauch für Raumheizung, Warmwasser und Prozesswärme im Sektor GHD in Deutschland 2013 [41]

Energieträger	spezifische Emissionen [g/kWh _{H1}]				
	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	606	576	0,34	0,57	0,04
Holzpellets	25	22	0,12	0,27	0,06

Tabelle 5: Energiespezifische Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen verschiedener Energieträger [46]

Erdgas

Erdgas ist – bis auf wenige Gegenden vor allem im ländlichen Raum – heute fast überall 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:
 - ▷ Erdgas 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; einfach abzuführende, gasförmige Verbrennungsprodukte
 - ▷ Einsatz in allen üblichen dezentralen Hallenheizsystemen möglich – einige dieser Systeme (Hellstrahler) funktionieren ausschließlich 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 NO_x-Ausstoß sicherstellen.
- » Mit seiner vergleichsweise geringen Emissionsbelastung ist Erdgas unter den fossilen Energiequellen ein relativ umweltschonender Energieträger für den Einsatz in Heizungsanlagen. Darüber hinaus steht Bio-Erdgas aus erneuerbaren Quellen zur Verfügung.
- » vergleichsweise hohes Einsparpotenzial durch Brennwert- gegenüber Heizwertnutzung

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

Strom ist praktisch überall verfügbar. Der Anteil von Energien aus erneuerbaren Quellen an der Stromproduktion nimmt stetig zu und lag 2016 bei ca. 32 %. Wird der vergleichsweise teure Energieträger zur Wärmeerzeugung genutzt, dann kommen hierzu in aller Regel Wärmepumpen zum Einsatz. In bestimmten Fällen, besonders bei sehr kleinen Leistungs- und Energieanforderungen, wird 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 ein überall verfügbarer Brennstoff und kann – ähnlich wie Erdgas – in den meisten auf Verbrennung basierenden Wärmeerzeugern eingesetzt werden. Bestimmte Wärmeerzeuger (Hellstrahler) können allerdings ausschließlich mit gasförmigen Brennstoffen betrieben werden. Für einen Betrieb mit Heizöl muss eine entsprechende Tankanlage und ein Lagerraum vorhanden sein. Im Vergleich zu Erdgas verursacht die Verbrennung von Heizöl höhere Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen.

Holz

Holz wird zur Verbrennung überwiegend in Form industriell hergestellter Pellets, als Stückholz oder als Hackschnitzel eingesetzt. Pellets sind heutzutage so gut wie überall verfügbar. Holz wird als nahezu CO₂-neutraler Brennstoff betrachtet, weist bei der Verbrennung allerdings höhere Emissionen an anderen Luftschadstoffen 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; handbeschildete Holzkessel sind im gewerblichen Bereich sowie in Großanlagen relativ unüblich.

4. Hallenheizsysteme im Überblick

Hallenheizsysteme können nach mehreren Kriterien unterschieden werden. Eine zweckmäßige Unterteilung der heutzutage üblichsten 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.

Hallenheizsysteme	
gebäudezentrale Wärmeerzeugung	dezentrale Wärmeerzeugung
<p style="text-align: center;">Wärmeerzeugung</p> <p>Umweltwärme, Abwärme</p> <ul style="list-style-type: none"> · Solarthermie · Prozessabwärme <p>Heizkessel</p> <ul style="list-style-type: none"> · Niedertemperaturkessel · Brennkessel · Erdgas, Biogas, Flüssiggas, Heizöl <p>Wärmepumpen</p> <ul style="list-style-type: none"> · gasmotorisch (Erdgas, Biogas) · Sorption (Erdgas, Biogas ...) · elektromotorisch (Elektroenergie) · Wärmequellen: Erdreich/Sole, Luft, Grundwasser, Solarthermie, Abwärme usw. <p>Nah-/Fernwärme</p> <p>KWK-Anlagen</p> <ul style="list-style-type: none"> · motorisches Blockheizkraftwerk · Brennstoffzelle · Erdgas, Biogas, Heizöl usw. 	<p style="text-align: center;">Wärmeerzeugung und Wärmeübergabe in Funktionseinheit</p> <p>Warmluftheizer</p> <ul style="list-style-type: none"> · Standard- oder Brennwertgerät · mit zusätzlicher Warmluftrückführung oder ohne · Erdgas, Biogas, Flüssiggas, Heizöl <p>Hellstrahler</p> <ul style="list-style-type: none"> · unterschiedliche Ausführungen hinsichtlich Strahlungseffizienz · ein-, mehrstufige oder modulierende Leistungsregelung · Erdgas, Biogas, Flüssiggas <p>Dunkelstrahler</p> <ul style="list-style-type: none"> · unterschiedliche Ausführungen hinsichtlich Strahlungseffizienz · ein-, mehrstufige oder modulierende Leistungsregelung · Standard- oder Brennwertgerät · Erdgas, Biogas, Flüssiggas, Heizöl
Wärmeverteilung	
Wärmeübergabe	
<p>Luftheizer/Luftheizer</p> <ul style="list-style-type: none"> · mit zusätzlicher Warmluftrückführung oder ohne · hohe oder niedrige Ausblastemperatur <p>Industriefußbodenheizung</p> <ul style="list-style-type: none"> · unterschiedliche Ausführungen der Bodendämmung <p>Deckenstrahlplatten</p> <ul style="list-style-type: none"> · unterschiedliche Ausführungen hinsichtlich Strahlungseffizienz 	

Abbildung 4: Hallenheizsysteme unterteilt nach Wärmeerzeugung, Überblick

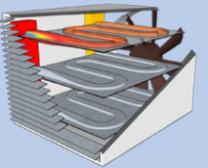
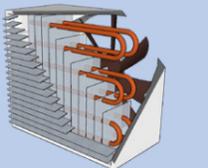
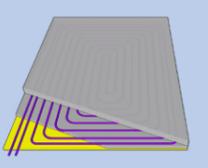
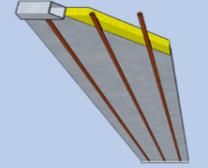
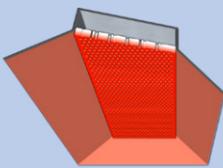
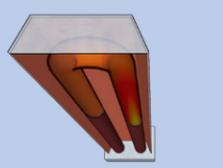
	Luftheizung		Industriefußbodenheizung	Deckenstrahlplatte	Strahlungsheizung	
	 direkt befeuerter Warmluftzeuger	 indirekt beheizter Luftherhitzer/Luftheizer	 Industriefußbodenheizung	 Deckenstrahlplatte	 Gas-Infrarot-Hellstrahler	 Gas-Infrarot-Dunkelstrahler
Funktionsweise	Die Wärmeerzeugung erfolgt durch einen in das Gerät integrierten Gas- oder Ölbrenner. Das verbrennende Brennstoff-Luft-Gemisch wird durch einen Abgas-Luft-Wärmeübertrager geführt. Ein Ventilator saugt Raum-, Außen- oder Mischluft an, leitet sie über den Wärmeübertrager und mit nunmehr erhöhter Temperatur in den Raum. Die für den Betrieb des Warmluftzeugers 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 Luftherhitzers 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. 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. an der Platte selbst statt.	Das Brenngas-Luft-Gemisch wird an einer hochtemperaturbeständigen porösen Brennoberfläche nahezu flammenlos verbrannt, wobei sich die Brennerfläche 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 (vorwiegend durch Verbrennungsabgase, welche i. d. R. über die Raumluft abgeführt werden) statt.	Die Wärmeerzeugung erfolgt durch einen in das Gerät integrierten Gas- oder Ölbrenner. 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	· raumluftabhängige und -unabhängige Betriebsweise · Abgasanlage je Gerät oder Sammelabgasanlage, ggf. als Luft-Abgassystem ausgeführt · Brennwertgeräte verfügbar	–	–	–	· raumluftabhängige und unabhängige Betriebsweise (Luftzufuhr) · Abgasführung i. d. R. über Raumluft, seltener durch Abgasabsaugung geräteweise	· 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, Rohrabstand 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 Gerätebetrieb	ja	ja	nein	nein	nein	nein
Nutzung als Lüftungssystem	ja	ja	nein	nein	nein	nein
Nutzung als Kälteübergabesystem	nein, → Hybridgeräte 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 Explosionsschutzanforderungen 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. Luftheizungen

5.1 Systemüberblick

5.1.1 Wärmeerzeugung

Luftheizungen für Hallen werden hinsichtlich der Wärmeerzeugung in zwei Gruppen unterteilt – in solche Geräte, welche die Wärme mittels eines integrierten Brenners selbst erzeugen, und solche, die an ein wasser- oder dampfführendes Wärmeverteilnetz (Zentralheizung) angeschlossen werden.

Dezentrale Wärmeerzeugung: direkt befeuerte Warmluftheizer

Die Wärmeerzeugung erfolgt durch einen in das Gerät integrierten Gas- oder Ölbrenner. Das verbrennende Brennstoff-Luft-Gemisch wird durch einen Abgas-Luft-Wärmeübertrager geführt. Das Gerät übernimmt hierbei nicht nur die Wärmeerzeugung, sondern auch die Übergabe der Wärme an den zu beheizenden Raum: Ein Ventilator saugt Raum-, Außen- oder Mischluft an, leitet sie über den Wärmeübertrager und mit nunmehr erhöhter Temperatur in den Raum.

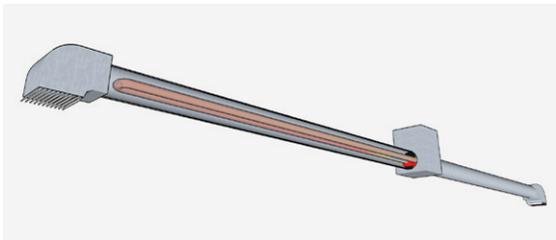


Abbildung 5: Deckenmontierter Warmluftheizer (Bauform mit langgestrecktem „Rohr-in-Rohr“-Abgas-Luft-Wärmeübertrager), nach unten ausblasend, Luftauslässe mit Ausblaspalouisen

Warmluftheizer werden sowohl in raumluftabhängiger als auch raumluftunabhängiger Betriebsweise angeboten – d. h., die notwendige Verbrennungsluft wird entweder dem Aufstellungsraum entnommen oder als Außenluft zugeführt. Die Abfuhr der Verbrennungsabgase erfolgt

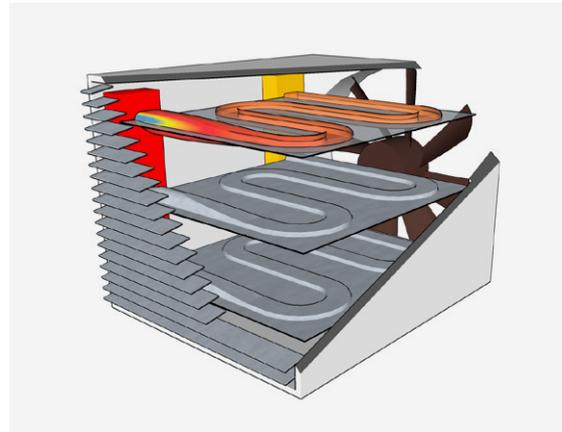


Abbildung 6: Warmluftheizer; seitlicher Luftauslass mit Ausblaspalouise, nahezu horizontal ausblasend eingestellt

entweder über eine Abgasanlage je Gerät oder durch eine Sammelabgasanlage für mehrere Warmluftheizer. Bei raumluftunabhängigem Betrieb werden Verbrennungsluft- und Abgasführung oft in einem Luft-Abgas-System kombiniert, welches die von außen angesaugte Verbrennungsluft mit Wärme der Verbrennungsabgase vorwärmt. Warmluftheizer sind auch als Brennwertgeräte verfügbar, welche die Verbrennungsabgase unter günstigen Betriebsbedingungen bis zur Kondensation des enthaltenen Wasserdampfs abkühlen können und so eine bessere Brennstoffausnutzung erreichen.

Warmluftheizer sind in der Regel nicht in Räumen mit leicht entzündlichen Stoffen – z. B. brennbaren Konzentrationen von Gasen, Nebeln/Dämpfen oder Stäuben – in der Raumluft bzw. explosionsfähiger Atmosphäre einsetzbar.^{3,4}

3 Es sind die Brand- und Explosionsschutzanforderungen nach geltendem Recht, anerkannten Regeln der Technik und im Kontext des jeweiligen Landesbaurechts zu berücksichtigen. Eine Zusammenstellung wesentlicher Regelungen kann unter anderem den RLT-Richtlinien des Herstellerverbands Raumluftheizerische Geräte e. V. entnommen werden – RLT-Richtlinie 02 [27] geht insbesondere auf Explosionsschutzanforderungen ein.

4 Eine Aufstellung außerhalb des zu beheizenden Raumes und kanalgebundene Luftführung kann zulässig sein.

**Zentrale Wärmeerzeugung:
indirekt beheizter Luftherhitzer, Luftheizer**

Luftherhitzer beziehen die notwendige Heizwärme von einem externen Wärmeerzeuger – z. B. dem Heizkessel der Zentralheizung – über ein Wärmeverteilnetz. Sie werden für den Anschluss an warm-/heißwasser- und dampfführende Wärmeverteilnetze angeboten. Der Luftherhitzer übernimmt hierbei nur die Wärmeübergabe an den zu

beheizenden Raum: Ein Ventilator saugt Raum-, Außen- oder Mischluft an, leitet sie über den extern beheizten Wärmeübertrager und bläst sie mit nunmehr erhöhter Temperatur in den Raum.

Ein Betrieb in Bereichen mit Explosionsschutzanforderungen ist bei entsprechender Geräteausführung möglich.

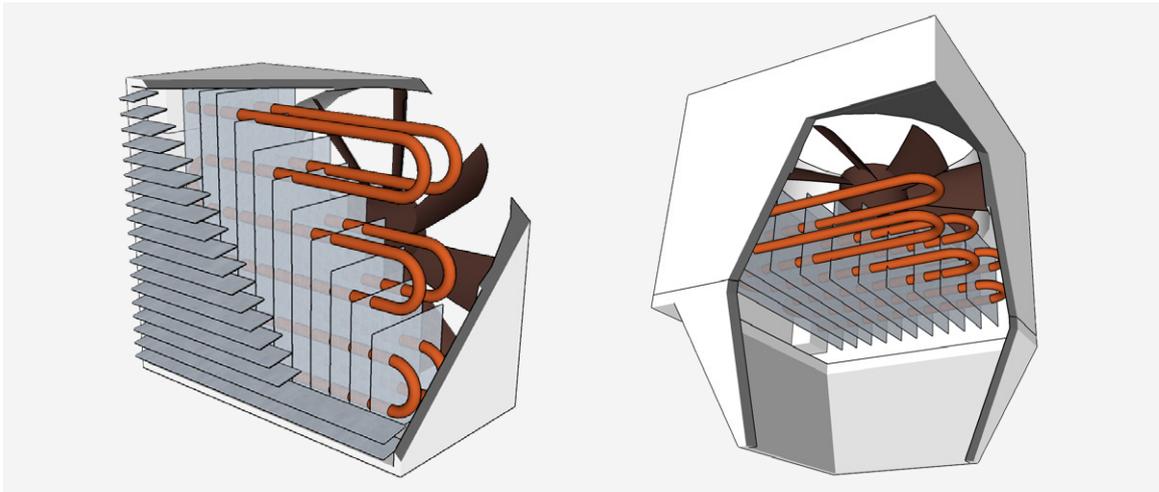


Abbildung 7: Wandmontierter Luftherhitzer mit Ausblaskalousie (links); decken-/dachmontierter Luftherhitzer mit Ausblaskonus/-düse (rechts)

**Solar-Luft-Kollektoren:
solare Lufther- oder -vorwärmung**

Neben der aktiven Erwärmung von Luft durch zentrale oder dezentrale Wärmeerzeugung besteht auch die Möglichkeit, Luft mit Solar-Luft-Kollektoren durch solare Strahlungsenergie zu erwärmen. Solar-Luft-Kollektoren wandeln Solarstrahlung in konvektiv nutzbare Wärme um – sie nehmen Energie aus Sonnenstrahlung an Absorberflächen auf und geben einen Teil dieser Energie an Luft ab, welche den Kollektor durchströmt.

Die Kollektoren werden zur Erwärmung der Raumluft oder Außenluftvorwärmung genutzt. Sie werden sowohl in der Heizungs- und Raumlufttechnik als auch im Bereich der (Niedertemperatur-)Prozesswärme eingesetzt.

Solar-Luft-Kollektoren werden in einer Vielzahl technisch unterschiedlicher Varianten ausgeführt, welche sich vor allem hinsichtlich

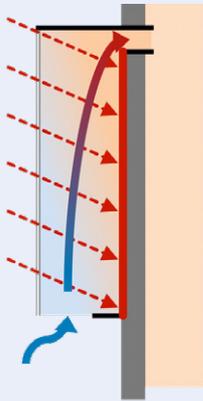
- » Luftzufuhr/Luftführung,
 - » ggf. Abschirmung gegen Außenluft und
 - » Ausführung des Absorbers
- unterscheiden (siehe Infokasten). Es gibt sowohl wand- als auch dachmontierte Geräte.

Auf dem deutschen Markt sind Solar-Luft-Systeme bisher noch recht wenig verbreitet – besonders im Vergleich mit wasserführenden Solarthermieanlagen, welche u. a. in der aktuellen Energieeinsparverordnung [2] als Referenzgebäudeausführung der Trinkwassererwärmung vorgesehen sind.



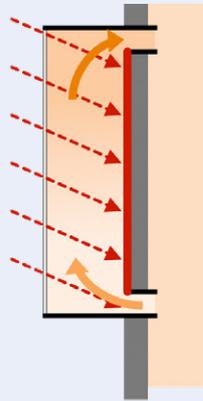
Abbildung 8: Hallenwand mit Solar-Luft-Kollektor, System LUBI Wall: offener Kollektor mit perforierter transparenter Abdeckung für Außenluftbetrieb

Kategorisierungsmöglichkeiten von Solar-Luft-Kollektoren



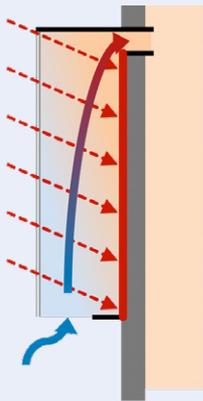
Offene Bauweise

Bei offenen Kollektoren hat das Luftvolumen des Kollektors unmittelbaren Kontakt zur Außenluft – Sie können ausschließlich Außenluft aufnehmen. Offene Kollektoren dienen der Erwärmung von Außenluft zur unmittelbaren Verwendung oder in Vorbereitung weiterer Konditionierungsschritte (z. B. Vorwärmung für RLT-Anlage).



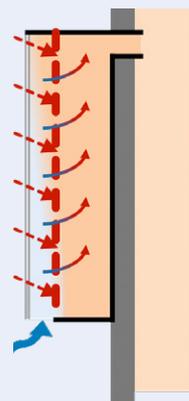
Geschlossene Bauweise

Geschlossene Kollektoren nehmen Luft über Anschlussstutzen auf – ihnen kann sowohl Innenluft (Umluftbetrieb) als auch Außenluft (Betrieb als offener Kollektor) zugeführt werden. Sie können somit genutzt werden, um die Temperatur der Innenluft zu erhöhen oder – wie offene Kollektoren – zur Vorwärmung von Außenluft.



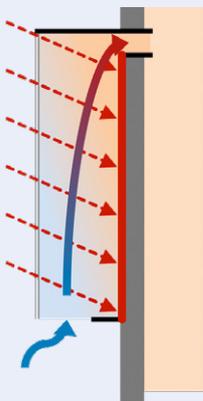
Überströmter Absorber

Handelt es sich beim Absorber um eine geschlossene Fläche, kann dieser im Betrieb von Luft nur überströmt werden.



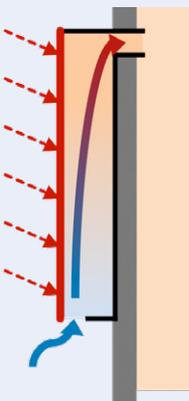
Durchströmter Absorber

In einigen Kollektoren werden hingegen luftdurchlässige Absorber (z. B. perforiertes Blech oder Fasermaterial) eingesetzt und im Betrieb von Luft durchströmt.



Verglaster Absorber

Verglaste Absorber sind zur Außenluft hin mit einer transparenten Abdeckung versehen. Die vom Absorber erwärmte Luft kann, je nach Bauweise, im Hohlraum zwischen Abdeckung und Absorber, in einem Hohlraum hinter dem Absorber oder auf beiden Seiten des Absorbers strömen.



Offener Absorber

Offene Absorber haben unmittelbaren Kontakt zur Außenluft. Auch bei offenen Absorbern existieren sowohl Konzepte mit geschlossener (hinterströmter) Absorberfläche als auch solche mit luftdurchlässigem Absorber, welcher von Außenluft durchströmt wird.

5.1.2 Geräteanordnung, Montagearten und Luftverteilung

In einer Vielzahl von Hallen – besonders in Montage- und Fertigungs- sowie Lager-/Logistikhallen – kommen üblicherweise Systeme zum Einsatz, welche im zu beheizenden Raum montiert werden und Warmluft unmittelbar an den Raum abgeben. Diese werden je nach Anwendungsfall in Wand- oder Deckenmontage ausgeführt. Der für den Hallenbetrieb notwendige Außenluftwechsel kann in solchen Nutzungen meistens durch freie Lüftung oder optionale Außenluftanbindung eines oder mehrerer Luftheizgeräte sichergestellt werden.

In manchen Nutzungen, wie Verkaufs- und Versammlungsstätten, ergibt sich durch das jeweilige Landesbaurecht oft die Notwendigkeit maschineller Belüftung. In solchen Nutzungen ist die Zuluft i. d. R. gleichmäßig auf große bis sehr großen Grundflächen verteilt einzubringen, welche u. U. durch Regale und ähnliche Einbauten unterteilt werden. Mitunter wird eine aufwändigere Konditionierung der Raumluft gefordert (z. B. Kühlung an warmen Tagen, Be-/Entfeuchtung, Reinigung/Filterung usw.). Die Luft wird in solchen Fällen oft zumindest teilweise zentral konditioniert – z. B. durch eine zentrale RLT-/Klimaanlage – und mit Luftkanälen verteilt. Bei kanalgebundener Luftverteilung kommen je nach Anwendungsfall sowohl zentral angeordnete Luftheizungen oder RLT-Anlagen als auch im Raum montierte Luftheizer zum Einsatz. Bei zentralen RLT-/Klimaanlagen – welche je nach Anwendungsfall auch zu Heizzwecken eingesetzt werden können – ist die Aufdachmontage außerhalb der thermischen Gebäudehülle sehr verbreitet.

Hinsichtlich der Ausblasrichtung innerhalb des zu beheizenden Raums kann grob zwischen seitlich/waagrecht und nach unten ausblasenden Luftauslässen unterschieden werden. Viele Luftheizsysteme werden mit einstellbaren Luftauslässen ausgeführt – sehr verbreitet bei Hallen-Luftheizungen sind Ausblasjalousien mit verstellbaren Lamellen. Diese erlauben sowohl das Neigen des konzentrierten Ausblasstrahls als auch seine Auffächerung für eine höhere Induktionswirkung sowie einen rascheren Abbau der Strömungsgeschwindigkeit oder das Anblasen eines größeren Flächenbereichs.



Abbildung 9: Luftheizer mit Deckenluftverteiler, horizontal bis schräg ausblasend einstellbar

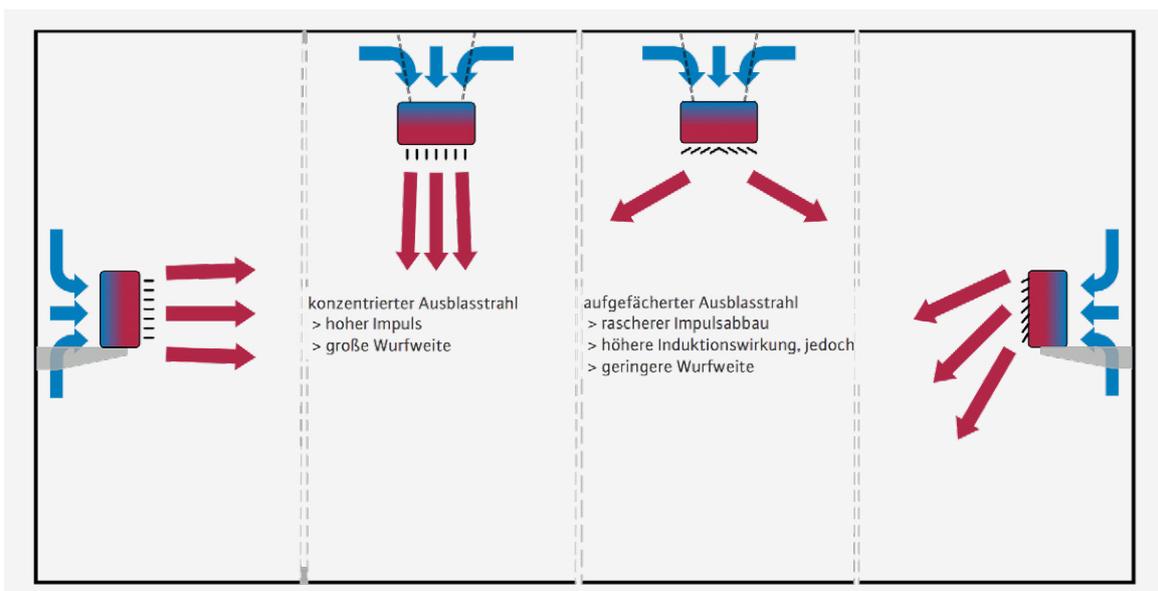


Abbildung 10: Wand- und deckenmontierte Luftheizergeräte, Variation der Ausblasrichtung beispielhaft durch Verstellung der Ausblasjalousie

Darüber hinaus sind Luftauslässe – sowohl für direkte Montage an Luftheizgeräten als auch für kanalgebundene Luftführung – in einer Vielzahl von Ausführungen erhältlich. Tabelle 7 zeigt eine beispielhafte Auswahl typischer Luftauslässe. Hinsichtlich der Anordnung von Luftheizungen bzw. Luftauslässen im Raum, mindestens einzuhaltender oder maximal zulässiger Montagehöhen

sowie der Wand- und Zwischenabstände sind die jeweiligen Herstellervorgaben zu beachten – angesichts der großen Bandbreite an Luftauslässen, deren Variationen, Einstellmöglichkeiten sowie Kombinationen mit unterschiedlich leistungsstarken Heizgeräten lassen sich diese geometrischen Parameter kaum allgemeingültig quantifizieren.

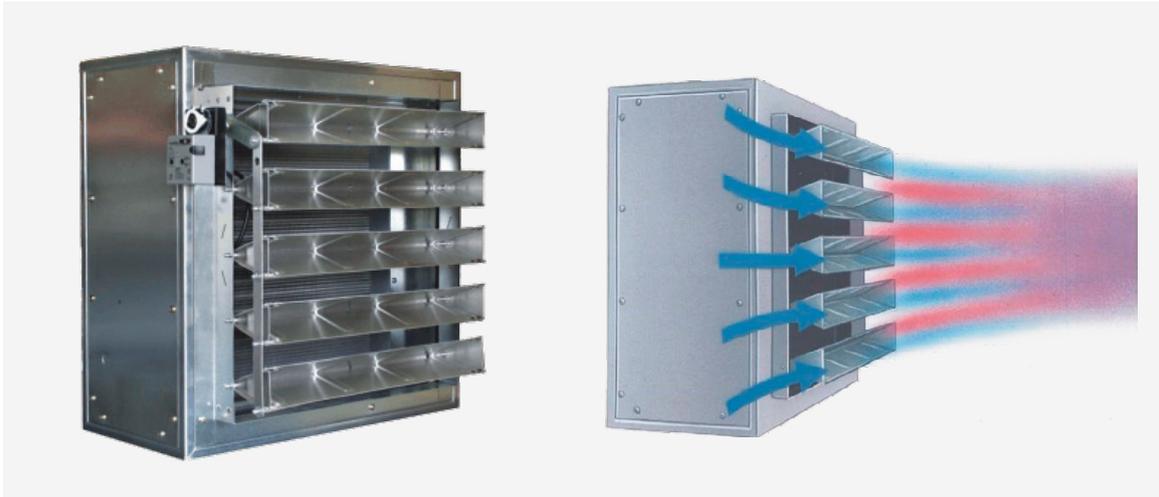


Abbildung 11: Luftheizgerät mit Induktionsjalousie (siehe auch Tabelle 7), Produktabbildung und schematische Darstellung Wirkprinzip

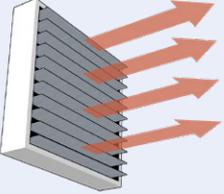
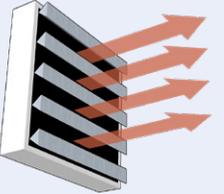
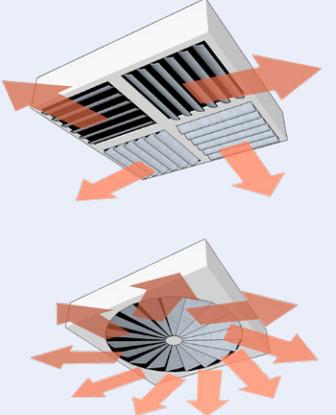
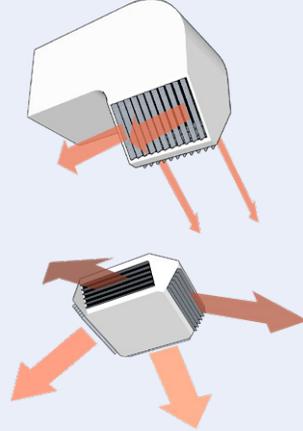
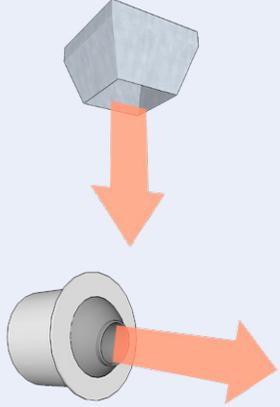
Ausblasjalousie	Induktionsjalousie	Drallauslass	Luftverteiler	Weitwurfdüse
				
<ul style="list-style-type: none"> · i. d. R. einstellbare Lamellen (manuell oder motorisch), universeller Luftauslass mit großem Verstellbereich · vorwiegend (Hallen-)Heizung, auch Lüftung/Kühlung · Wand- und Deckenauslässe, sowohl für Luftkanäle als auch Gerätemontage · auch Verwendung in bzw. Kombination mit anderen Luftauslässen (u. a. Luftverteiler oder bestimmte Bauformen von Drallauslässen) 	<ul style="list-style-type: none"> · z. T. einstellbar, relativ universeller Luftauslass für Heizzwecke · vorwiegend (Hallen-)Heizung · i. d. R. zur direkten Gerätemontage für Wand und Decke · höhere Induktionswirkung als Ausblasjalousie → stärkere Durchmischung zwischen Ausblasstrahl und Raumluft bei verringerter, aber noch verhältnismäßig hoher Wurfweite 	<ul style="list-style-type: none"> · vorwiegend Lüftung/Klimatisierung, z. T. Heizung · in Großräumen i. d. R. als Deckenauslass ausgeführt · unterschiedlichste Ausführungen für nahezu alle Raumhöhen und unterschiedliche Nutzungen von Wohn-/Büro- bis Hallenbereich · Varianten für Luftkanäle sowie Montage an Heiz-/Kühlgeräten · Ausblasrichtung bei vielen Ausführungen verstellbar zwischen horizontal-radial und vertikal: <ul style="list-style-type: none"> · Betrieb als horizontal ausblasender Drallauslass vorwiegend für Lüftung/Kühlung · vertikal ausblasend auch Heizbetrieb (Funktion dann vergleichbar einfacher Ausblasjalousie) 	<ul style="list-style-type: none"> · Heizung, Lüftung, Klimatisierung · i. d. R. als Deckenauslass in Hallen verhältnismäßig geringer Raumhöhen (flache Bauform typisch für Verkaufsstätten und ähnliche Nutzungen) · Varianten für Luftkanäle sowie Gerätemontage · Ausblasrichtung i. d. R. verstellbar – Verstellbereich abhängig von Bauform 	<ul style="list-style-type: none"> · konzentrierter Ausblasstrahl mit hoher Wurfweite · sehr unterschiedliche Ausführungen – von einfachen Ausblaskonen (siehe auch Abbildung 7) bis zu automatisch verstellbaren Düsen mit strömungsoptimiertem Düsenprofil – abhängig von Nutzung, u. a.: <ul style="list-style-type: none"> · Lüftung, u. U. mit Heizung/Kühlung · Erwärmung/Trocknung von Werkstücken, Halbzeugen oder Lagergut · Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit bei sehr hoch montierten Luftheizgeräten · Wand- und Deckenauslässe · Varianten für Luftkanäle sowie Gerätemontage · je nach Ausführung verstellbar oder starr

Tabelle 7: Luftauslässe, Auswahl

5.1.3 Warmluftrückführung

In sehr hohen beheizten Räumen kann sich durch thermischen Auftrieb der warmen Luft ein signifikanter Temperaturanstieg über der Höhe einstellen. Dies ist besonders bei rein konvektiven Heizsystemen zu beobachten. Die Aufheizung des bodennahen Aufenthaltsbereichs kann sich durch den Aufstieg der warmen Luft stark verzögern, während der Dachbereich unnötig überheizt wird. Die Überheizung des Dachbereichs deutlich über die notwendige Temperatur hinaus erhöht u. a. die Transmissionswärmeverluste des Gebäudes.

Ist der Lufttemperaturgradient auch im Aufenthaltsbereich deutlich spürbar – also bei einer merklichen Temperaturdifferenz zwischen Fuß- und Kopfbereich – ergeben sich hieraus zusätzlich Behaglichkeitseinbußen.

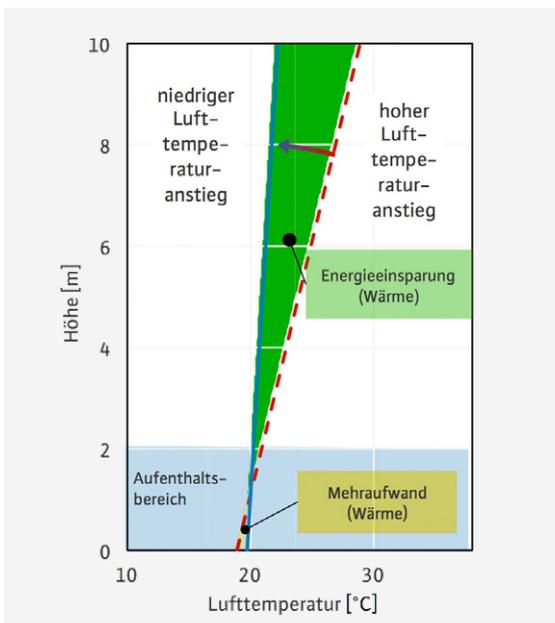


Abbildung 12: Lufttemperaturverlauf über Hallenhöhe, beispielhaft: Auswirkung einer Verringerung des Temperaturanstiegs bei gleichbleibender Temperatur im Aufenthaltsbereich

Bei Luftheizungen in Hallen ist aus Gründen der Behaglichkeit und der Energieeffizienz daher besonders auf eine Minimierung dieser Temperaturschichtung zu achten. Hierfür können verschiedene Ansätze verfolgt werden, ggf. auch in Kombination:

- » Verringerung der Lufttemperatur des Ausblasstrahls, z. B. durch
 - » Verringerung der Systemtemperaturen bei Luftherzern, Einsatz von Brennwertgeräten mit entsprechend geringeren Ausblastemperaturen bei Warmluftherzeugern
 - » aktive Beimischung von Raumluft mit ventilatorgestützten Systemen



Abbildung 13: Warmluftherzeuger mit Thermovent-Mischluftverteiler zur aktiven Beimischung von Raumluft in den Ausblasstrahl

- » passive Beimischung von Raumluft/Erhöhung der Induktionswirkung mit speziellen Luftauslässen
- » Einsatz von Systemen zur Rückführung warmer Raumluft aus dem Decken-/Dachbereich in den bodennahen Bereich, z. B. Deckenventilatoren oder kanalgebundene Warmluftückführung
- » ggf. kanalgebundene Luftzufuhr zum Heizgerät aus dem wärmeren Decken-/Dachbereich
- » zusätzliche Nutzung des Luftherzers/Warmluftherzeugers (Heizfunktion aus) zur Umwälzung der aufgeheizten Raumluft bei deckenmontierten Geräten oder kanalgebundener Luftzufuhr aus dem Dachbereich
- » Ausblasrichtung entgegen thermischem Auftrieb: senkrecht oder schräg nach unten gerichtete Luftauslässe bzw. entsprechend eingestellte Ausblasjalousien
- » Gewährleistung möglichst freier Ausblasstrecken bis auf Bodenniveau

Mehrere der Ansätze zielen auf eine stärkere Durchmischung der Raumluft bis auf Bodenniveau ab und können zu einem Anstieg der Strömungsgeschwindigkeit in diesem Bereich führen. Gleichwohl müssen unbehagliche Strömungsgeschwindigkeiten in Bereichen für den andauernden Personenaufenthalt vermieden werden. Hier muss in der Regel ein Kompromiss gefunden werden. Hallen weisen üblicherweise Bereiche unterschiedlicher Benutzung auf; so bietet es sich beispielsweise an, in Bereichen ohne Behaglichkeitsanforderungen – z. B. Lagerflächen und i. d. R. nur sporadisch genutzte Verkehrswege – für eine starke Durchmischung der Raumluft zu sorgen und in Bereichen zum andauernden Personenaufenthalt hingegen auf angemessen geringe Strömungsgeschwindigkeiten zu achten.

Anders als im Heizfall kann an warmen Sommertagen sowie in warmen Gegenden die Behaglichkeit durch moderat erhöhte Luftbewegung⁵ verbessert werden, sodass geringerer oder gar kein Aufwand für Raumkühlung zu betreiben ist.

5 Bei höheren Raumtemperaturen werden tendenziell auch höhere Strömungsgeschwindigkeiten akzeptiert. Dies wird u. a. in der Behaglichkeitsnorm DIN EN ISO 7730 berücksichtigt – hier nimmt mit steigender Temperatur auch die zulässige Strömungsgeschwindigkeit der Luft zu.

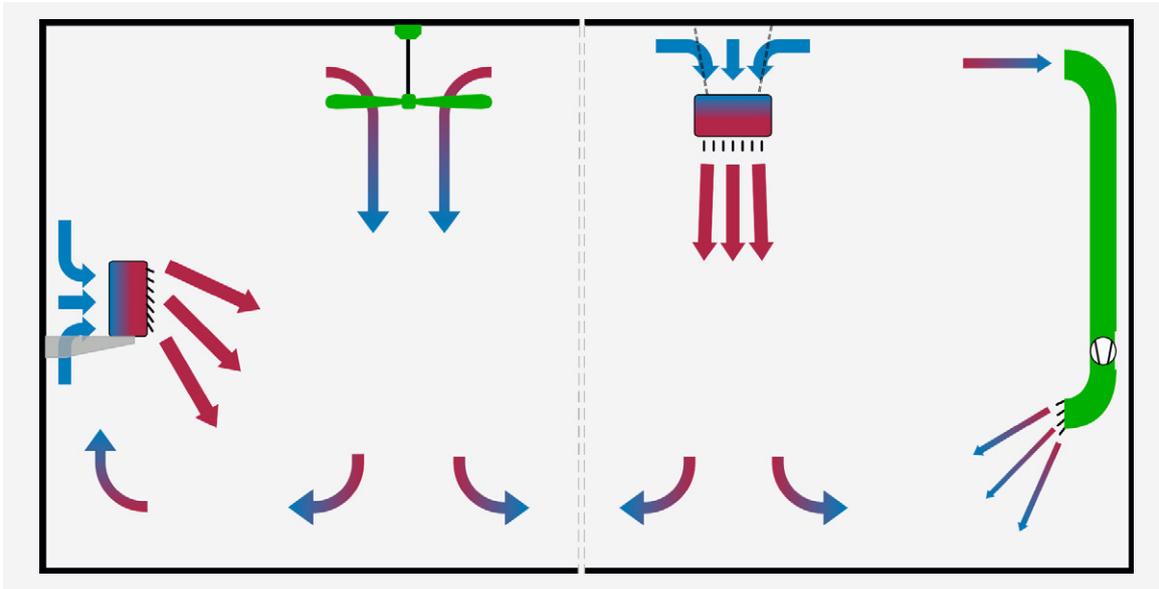


Abbildung 14: Luftheizung, beispielhafte Variation der Warmluftrückführung: Deckenventilator (links), kanalgebundene Warmluftrückführung (rechts)

5.1.4 Sonderanwendung Torluftschleier

Ein Torluftschleier bzw. eine Torluftschleieranlage besteht aus einem oder mehreren speziellen Gebläsen, welche einen im Vergleich zu seiner Breite sehr flachen Luftstrahl hoher Strömungsgeschwindigkeit entlang der Öffnungsfläche des Tores erzeugen.

Durch diese „Luftwand“ kann der Transport von Luft und ggf. anderen Gasen oder Schwebstoffen durch das öff-

nete Tor hindurch verringert werden. Torluftschleier werden häufig an oft oder länger anhaltend zu öffnenden Außentoren/-türen montiert, um den Kaltlufteinfall durch diese zu verringern. Der Luftstrom des Torluftschleiers kann hierbei leicht nach außen geneigt oder auch parallel zur Wand geführt werden. In manchen Anwendungsfällen werden Torluftschleier mit automatischen Toren/Türen kombiniert – teils auch als Schleuse ausgeführt (z. B. Kaufhaustür).

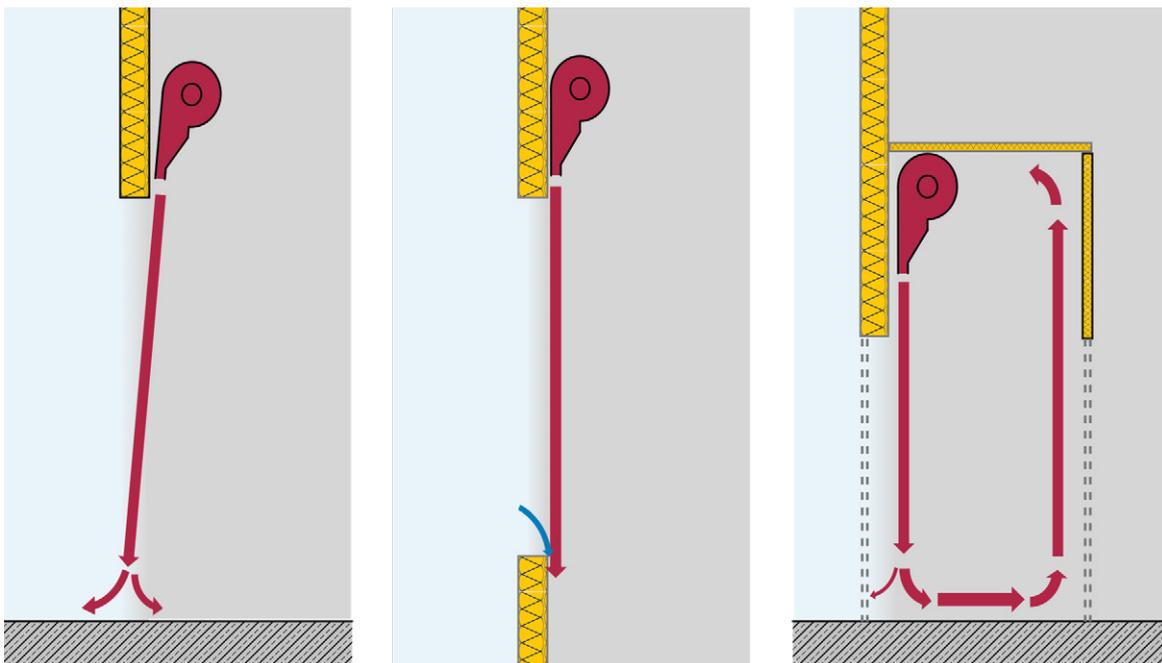


Abbildung 15: Nach unten blasender Torluftschleier (links); horizontaler Torluftschleier (rechts); Torluftschleier in Schleuse mit Automatik-türen (z. B. Kaufhaustür)

Torluftschleier können nach mehreren Kriterien unterschieden werden, u. a.:

- » Erwärmung des Luftstrahls
 - › beheizt (Torluftschleier mit eigenem Heizelement)
 - › unbeheizt (Gerät ohne zusätzliche Nachheizung)
- » Ausblasrichtung
 - › vertikal (oben-unten oder unten-oben)
 - › horizontal
 - › nach außen
 - › nach innen (z. T. mit speziellen Absaugöffnungen im Torbereich)

Torluftschleier an Außentoren dienen vordergründig der Minimierung des Kaltlufteintritts aus Gründen der Behaglichkeit oder zur Einhaltung technologischer Anforderungen. Während des Betriebs eines Torluftschleiers bei offenem Tor ergeben sich in gewissem Maß Lüftungswärmeverluste – je nach Bauweise entweder durch einen Transport warmer Innenluft nach außen oder durch Induktion kalter Außenluft nach innen (siehe auch schematische Darstellung Abbildung 15). Darüber hinaus fällt Energiebedarf für den Antrieb des Luftstrahls an. Für eine energetische Bewertung des Torluftschleiers müsste dieser Gesamtaufwand den Lüftungswärmeverlusten des geöffneten Tores – ohne Torluftschleier – gegenübergestellt werden. Bisher sind die energetischen Effekte von Torluftschleieranlagen jedoch nicht abschließend untersucht und finden beispielsweise in einer Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599 [29]⁶ keine Berücksichtigung.

Je nach Anwendungsfall können sich auch alternative bauliche Maßnahmen oder Kombinationen aus Torluftschleiern und baulichen Maßnahmen zur Verminderung des Kaltlufteintritts bei häufigen Tordurchquerungen anbieten, z. B.:

- » Schnellauftore, automatische Türen
- » thermisch entkoppelte Verladeschleusen zur Ankopplung von Verladeeinheiten/Containern
- » Vorräume/Schleusen mit doppelten Türen

5.2 Doppelnutzung zur Beheizung und Belüftung, ggf. Kühlung

Die meisten Luftheizungen für Hallen sind mit Außenluftanschluss verfügbar, wodurch das System auch zur aktiven Belüftung eingesetzt werden kann – hierbei sind besonders die folgenden Betriebsarten denkbar:

- » Heizbetrieb mit Umluft im Aufheizfall und im regulären Heizbetrieb
- » Heizbetrieb mit Außenluft bzw. Außenluftanteil (Mischluft) zur Lüftererneuerung während der Beheizung

- » Lüftungsbetrieb ohne Beheizung zur Lüftererneuerung oder auch zur passiven Anköhlung durch erhöhte Nachtlüftung
- » Luftumwälzung ohne Beheizung (ggf. auch durch oder in Verbindung mit Warmluftrückführung) zur Erhöhung der Behaglichkeit im Sommerfall durch moderat erhöhte Strömungsgeschwindigkeit



Abbildung 16: Warmlüfterzeuger mit Außenluftanschluss über Dach und Raumlufteinlass für Um-, Misch- und Außenluftbetrieb

Luftheizungen mit Lüftungsfunktionen können auch mit Wärmeübertragern zur Wärmerückgewinnung zwischen Ab- und Zuluft ausgestattet werden, sofern die Abluft durch das Gerät geführt wird.

Indirekt beheizte Lüfterhitzer können darüber hinaus prinzipiell auch zur aktiven Raumkühlung eingesetzt werden, indem sie – bei Kühlbedarf – nicht mehr durch das Wärmeverteiler-, sondern durch ein Kaltwassernetz gespeist werden. Dasselbe Gerät kann also je nach Bedarf als Wärme- oder Kälteübergabesystem betrieben werden. Hierbei ist auf eine Freigabe des Herstellers für Kühlbetrieb zu achten; ggf. muss das Gerät mit Kondensatwanne/Kondensatablauf ausgestattet sein.

Reine Warmlüfterzeuger können hingegen nicht zum aktiven Kühlbetrieb genutzt werden. Allerdings bietet der Markt Hybridsysteme, welche sowohl die dezentrale Brenneinheit mit Abgas-Luft-Wärmeübertrager als auch ein zusätzliches wasserführendes Heizregister enthalten (vgl. 5.1.1, 5.1.2). Diese Geräte erlauben sowohl den Betrieb als dezentrales Hallenheizsystem als auch die hydraulische Anbindung an ein wasserführendes Verteilnetz – je nach Geräteausführung kann damit auch ein Kühlbetrieb wie bei Lüfterhitzern möglich sein.

⁶ Die Vornormenreihe DIN V 18599 beschreibt das Berechnungsverfahren, welches im Rahmen der Energieausweiserstellung [2] für Nichtwohngebäude nach Energieeinsparverordnung zwingend anzuwenden ist.

5.3 Anwendungsbereich von Luftheizungen

Luftheizungen erlauben eine sehr gleichmäßige Beheizung großer Flächen.

Da Luftheizungen hinsichtlich Ausblastemperatur, -richtung und -volumenstrom in der Regel sehr variabel sind, können Mindestabstände zwischen Luftauslass und Aufenthaltsbereichen je nach System kleiner gewählt werden als die Mindestabstände zu Hochtemperatur-Strahlungsheizungen. Natürlich muss ein unmittelbares Anblasen mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten von Aufenthaltsbereichen bzw. Arbeitsplätzen dabei vermieden werden. Anders als Strahlungsheizungen sind Luftheizungen nicht auf eine Sichtverbindung zwischen Heizgerät und zu beheizendem Bereich angewiesen – Hindernisse können bis zu einem gewissen Maß umströmt werden. So können Luftheizungen u. a. zweckmäßig da eingesetzt werden, wo Strahlungsheizungen aufgrund der verschattenden Wirkung von Halleneinbauten ausscheiden. Aus energetischen Gründen sollten bei Planung und Einbau von Luftheizungen dennoch zumindest weitgehend ungestörte Ausblasstrecken vorgesehen werden, wo möglich.

Der Einsatz von Luftheizungen bietet sich oft auch an, wenn ohnehin Lüftungsanforderungen bestehen – diese können dann in der Regel teilweise oder vollständig durch das Luftheizsystem erfüllt werden. So kann die Luftheizung auch zur Erneuerung der Raumluft oder für eine erhöhte Nachtlüftung zwischen sehr warmen Tagen eingesetzt werden.

Bei adäquater Planung, Dimensionierung und anlagentechnischer Ausführung können mit zeitgemäßen Luftheizungen auch Temperaturunterschiede im Höhenverlauf äußerst klein gehalten werden. In Verbindung mit einer leistungsfähigen Warmluft rückführung können Luftheizungen auch in Hallen mit Raumhöhen um 20 m extrem geringe Temperaturgradienten über der Höhe einhalten; entsprechende Anlagen kommen besonders dann in Frage, wenn die gleichmäßige Beheizung technischen Aspekten geschuldet ist – beispielsweise zur Minimierung von Fertigungstoleranzen bei der Bearbeitung sehr großer Bauteile.

Eine Teilbeheizung einzelner Bereiche innerhalb eines verbundenen Großraums ist mit Luftheizungen nur bedingt möglich – naturgemäß sorgt die notwendige und gewollte erzwungene Luftbewegung für einen allmählichen Lufttemperaturausgleich. Eine grobe Unterteilung – z. B. zur Nutzung einer Hallenhälfte als kühlerem Lagerbereich und der zweiten Hälfte als etwas höher temperiertem Montage-/Produktions- und Aufenthaltsbereich – mit relativ weichem Temperaturübergang zwischen den Be-

reichen kann dennoch realisierbar sein. Wird eine ausgeprägte Teilflächenbeheizung einzelner Bereiche (z. B. vereinzelter Arbeitsplätze) angestrebt, ohne dass eine räumliche Abtrennung möglich ist, können hierfür andere Heizsysteme eingesetzt werden – in vielen Hallen werden unterschiedliche Hallenheizsysteme kombiniert.

Als mögliche Konstellationen seien nur beispielhaft genannt:

- » Beheizung von (Hoch-)Regallagern, Logistikhallen mit Güterleitsystemen oder auch Fertigungshallen mit starker Verschattung durch große Werkzeugmaschinen und sonstige Einbauten
 - › Grundtemperierung durch Warmluft erzeuger oder Lufterhitzer in Zwischengängen
 - › zusätzliche Arbeitsplatzbeheizung durch Strahlungsheizungen in Verlade-/Kommissionierbereichen
- » Beheizung von Hallenkomplexen mit Sonderanforderungen
 - › Beheizung großer weitgehend unverschatteter Flächen (z. B. Lagerflächen, Verkehrswege, Arbeitsbereiche) durch Hell-/Dunkelstrahler
 - › Beheizung von Sonderbereichen mit Explosionschutzanforderungen (leicht entzündliche Chemikalien, Stäube, Dämpfe, Lacknebel usw.) durch ex-geschützte Lufterhitzer
- » Beheizung von Sporthallen
 - › Betrieb einer Luftheizung als reguläres Heizsystem und zur Lufterneuerung (mit/ohne Heizbetrieb)
- » Spitzenlastheizung zur Ergänzung von Nieder-temperaturwärme
 - › Grundtemperierung durch NT-Fußbodenheizung oder thermische Bauteilaktivierung (Wärmepumpe, hydraulisch eingebundene Prozesswärme usw.)
 - › Betrieb einer Luftheizung als schnelle Aufheizreserve im Umluftbetrieb und ggf. zur Lufterneuerung mit Außenluftanteil
- » gleichmäßige Beheizung hoher Räume aus technologischen Gründen und Vermeidung lokal/höhenabhängig variabler Strahlungswärmeeinträge (Hochtemperaturstrahlungsheizungen)⁷
 - › Kombination einer Luftheizung mit einer leistungsfähigen kanalgebundenen Warmluft rückführung, Betrieb mit hoher Luftumwälzung; ggf. zusätzliche bedarfsgeführt gesteuerte Abluftöffnungen im Dachbereich zur Vermeidung von Abwärmestaus (z. B. thermische Lasten durch Produktionsmaschinen).

⁷ Hochtemperatur-Strahlungsheizungen wie Hell- und Dunkelstrahler stellen in Relation zu den Raumverhältnissen, in denen sie üblicherweise eingebaut werden, punkt- oder linienförmige Strahlungsquellen dar, welche Strahlung „aufgefächert“ in den Raum abgeben. Der Energieeintrag auf eine von solchen Heizstrahlern bestrahlte Fläche steigt mit sinkender Entfernung zur Strahlungsquelle überproportional an.

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 – i. d. R. 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 einfach 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 [40] 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:

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

Kostenarten nach VDI 2067 [40]	
kapital-gebundene Kosten	in Jahreskosten umgerechnete ggf. verzinste Investitionskosten, verursacht durch: <ul style="list-style-type: none"> · Anlagentechnik: <ul style="list-style-type: none"> Wärmeerzeuger, Rohrleitungen, Wärmeübergabesysteme usw. · bauliche Maßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> Technikzentrale, ggf. Brennstofflager usw. · Maßnahmen zum Schall- und Wärmeschutz · Anschlusskosten
bedarfs-gebundene Kosten	· Energieträger der Wärme-/Kälteerzeugung (ggf. Grundpreis und Arbeitspreis) <ul style="list-style-type: none"> · Hilfsenergie · Betriebsstoffe (Schmiermittel ...)
betriebs-gebundene Kosten	· Bedienung <ul style="list-style-type: none"> · Inspektion · Reinigung und Wartung · Instandsetzung
sonstige Kosten	· Planung <ul style="list-style-type: none"> · Versicherung, Steuern · allgemeine Abgaben, anteilige Verwaltungskosten · Gewinn und Verlust · Abbruch- und Entsorgungskosten

Tabelle 8: Beispiele für Bestandteile der Kostenarten nach VDI 2067-1 [40]

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 statischen Amortisationszeit sowie der Jahresgesamtkosten nach VDI 2067-1 anhand einfacher Berechnungsbeispiele verdeutlicht. Hierbei werden für eine Sporthalle⁸ sowie eine Fertigungshalle folgende Investitionsszenarios betrachtet:

- » erstmaliger Einbau einer Heizungsanlage in einem neu errichteten Gebäude und hierbei Vergleich zweier hinsichtlich Energieeffizienz und Investitionskosten unterschiedlicher Ausführungsvarianten
- » Austausch der Heizungsanlage eines Bestandsgebäudes gegen eine energieeffizientere Heizung

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 dezentrale Warmluft erzeuger eingesetzt werden. Das baulich verbundene Nebengebäude wird separat mit Wärme versorgt und fließt nicht in die Betrachtung ein.

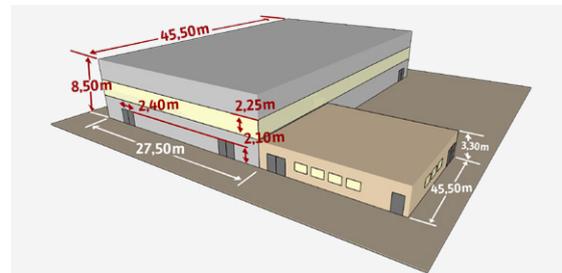


Abbildung 17: Sporthalle (siehe Anhang)

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 gesamte Gebäude soll mit erdgasbetriebenen dezentralen Warmluft erzeugern beheizt werden.

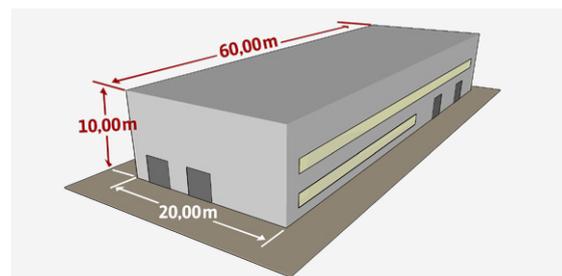


Abbildung 18: Fertigungshalle

⁸ Bei Gebäuden der öffentlichen Hand, zu welchen viele Sporthallen zählen, werden Investitionen zur Errichtung/Modernisierung von Gebäuden sowie der 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 Invest- und den 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. für die jeweiligen Entscheidungsträger eine besonders große Rolle.

Ausführung der Heizungsanlage und Energiekosten

Verglichen werden beispielhaft zwei unterschiedliche technische Ausführungen der Heizungsanlage:

» **Standardausführung**

An den Außenwänden sind Warmlufterzeuger in Standardausführung mit seitlichen Luftauslässen montiert – zur gleichmäßigen Luftverteilung sind insgesamt mehrere Geräte an unterschiedlichen Positionen angeordnet.

» **verbesserte Ausführung**

Es werden ein oder zwei deckenmontierte Warmlufterzeuger in energetisch verbesserter Ausführung (u. a. Brennwertnutzung) montiert. Für eine gleichmäßige Luftverteilung und Warmluftrückführung aus dem Decken- in den Aufenthaltsbereich werden Deckenventilatoren montiert.

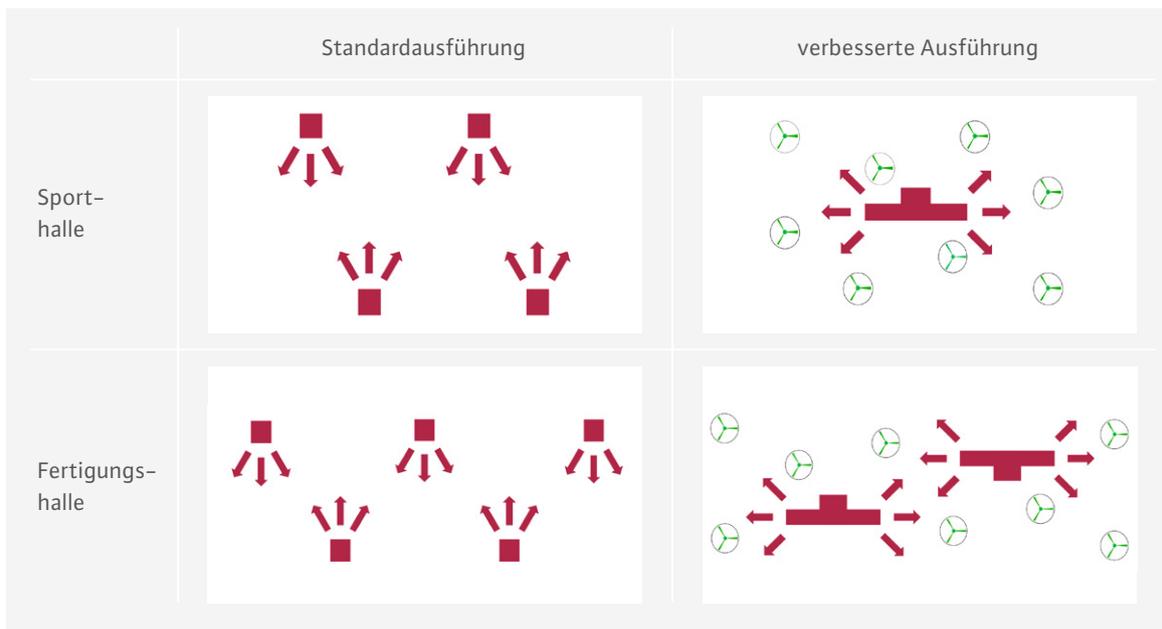


Abbildung 19: Hallengrundriss mit Heizgeräten und ggf. Ventilatoren, vereinfacht

Wesentliche Anlageneigenschaften, Energiekennwerte und Kosten sind in den Tabellen 9 und 10 zusammengefasst.

Variante	Wärmeerzeugung	Wärmeübergabe	Energieverbrauch ¹	Kosten ^{2,3}
Standardausführung	<ul style="list-style-type: none"> · nicht kondensierend · ein-/zweistufig 	<ul style="list-style-type: none"> · seitlicher Luftauslass, keine Warmluftrückführung · Raumtemperaturregelung: P-Regler 	<ul style="list-style-type: none"> · Sporthalle · Erdgas: 134.899 kWh_{HI} · Hilfsenergie Heizung: 1.196 kWh · Fertigungshalle · Erdgas: 90.450 kWh_{HI} · Hilfsenergie Heizung: 773 kWh 	<ul style="list-style-type: none"> · Sporthalle · Investitionskosten (bei Neuinstallation): 12.000 € · Wartung: 250 €/Gerät (4 Geräte) · Fertigungshalle · Investitionskosten (bei Neuinstallation): 11.500 € · Wartung: 250 €/Gerät (5 Geräte)
verbesserte Ausführung	<ul style="list-style-type: none"> · kondensierend (Brennwertnutzung) · mehrstufig/modulierend 	<ul style="list-style-type: none"> · Luftauslass von oben mit zusätzlicher PI-geregelter Warmluftrückführung · Raumtemperaturregelung: PI-Regler 	<ul style="list-style-type: none"> · Sporthalle · Erdgas: 102.622 kWh_{HI} · Hilfsenergie Heizung: 1.687 kWh · Fertigungshalle · Erdgas: 67.054 kWh_{HI} · Hilfsenergie Heizung: 1.091 kWh 	<ul style="list-style-type: none"> · Sporthalle · Investitionskosten: 16.560 € · Wartung: 550 €/Gerät (1 Gerät) · Fertigungshalle · Investitionskosten: 15.840 € · Wartung: 550 €/Gerät (2 Geräte)
<p>1 Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599 [29] mit angepassten Nutzungsparametern</p> <p>2 Investitionskosten überschlagen auf Basis der BMVBS-Online-Publikation 08/12 [45], netto</p> <p>3 Wartungskosten überschlagen nach Herstellerangaben, netto</p>				

Tabelle 9: Berechnungsbeispiel Wirtschaftlichkeit, Eigenschaften Warmluftheizer

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

Tabelle 10: Berechnungsbeispiel Wirtschaftlichkeit, Kostendaten

6.4.3 Ergebnisse

Sporthalle – statische Amortisationszeit

Beispiel 1: Vergleich alternativer Ausführungsvarianten
Eine neu errichtete Sporthalle gemäß Anhang 1 (Abbildung 17) ist erstmalig mit einer Heizungsanlage auszustatten. Hierbei sollen dezentrale Warmlufterzeuger

eingesetzt werden und es besteht die Auswahl zwischen einer Standardausführung und einer energetisch verbesserten Ausführung gemäß Tabelle 9. Eine einfache Wirtschaftlichkeitsbetrachtung soll aufzeigen, inwieweit sich die Mehrinvestition für die verbesserte Ausführung lohnt.

Variante		Standardausführung	verbesserte Ausführung
Investitionskosten [€]		12.000	16.560
			Mehrkosten: 4.560
Energieverbrauch	Erdgas [kWh _{HI} /a]	134.899	102.622
	Strom (Hilfsenergie) [kWh/a]	1.196	1.687
Energiekosten	Erdgas [€/a]	6.957	5.343
	Strom (Hilfsenergie) [€/a]	262	370
	Σ	7.219	5.713
			Einsparung: 1.506
Wartungskosten	pro WLE [€/a]	250	550
	Geräteanzahl	4	1
	Σ	1.000	550
			Einsparung: 450
Amortisationszeit der energetischen Verbesserung gegenüber der Standardausführung [a]		–	2,33

Tabelle 11: Berechnungsbeispiel statische Amortisationszeit, Neuinstallation oder ohnehin anstehende Modernisierung

Die Kostenübersicht (Tabelle 11) zeigt, dass die Investitionskosten der verbesserten Ausführung ca. 4.600 € über denen der Standardausführung liegen. Gleichzeitig ergeben sich durch die höhere wärmebezogene Energieeffizienz deutlich geringere Energiekosten für Erdgas und durch den Betrieb zusätzlicher Ventilatoren (Warm- luftrückführung) höhere Energiekosten für Strom. Durch die geringere Geräteanzahl – nur ein Wärmeerzeuger statt vier Geräten – fallen die jährlichen Wartungskosten geringer aus. In Summe betragen die jährlichen Kosten für Energie und Wartung bei der verbesserten Ausführung ca. 1.900 € weniger.

Bei Einbau der verbesserten Ausführung erreicht die kumulierte Kosteneinsparung nach ca. 2,3 Jahren das Maß der ursprünglichen Investitionsmehrkosten – die Investitionsmehrkosten der verbesserten Ausführung gegenüber der Standardausführung hätten sich also bereits nach 2,3 Jahren amortisiert.

Beispiel 2: Energetische Modernisierung (Austausch intakter Komponenten)

Die alte (Hallen-)Heizungsanlage einer bestehenden Sporthalle nach Anhang 1 (Abbildung 17) ist intakt und darf nach geltendem Recht weiterhin betrieben werden. Im Rahmen einer energetischen Modernisierung soll sie jedoch zur Verringerung des Energieverbrauchs durch eine energieeffizientere Heizung ersetzt werden.

Für das vorliegende Berechnungsbeispiel wird angenommen, dass die Bestandsanlage energetisch und betriebskostenmäßig der in Tabelle 9 beschriebenen Standardausführung entspricht; für die neue Anlage werden die Eigenschaften der verbesserten Ausführung unterstellt. Die Demontage-/Entsorgungskosten der alten Anlage seien in Relation zu den sonstigen Investitionskosten der neuen Anlage vernachlässigbar gering.

Variante		Bestandsanlage (wie Standardausführung)	neue Anlage (wie verbesserte Ausführung)
Investitionskosten	[€]	–	16.560
Energieverbrauch	Erdgas [kWh _{HI} /a]	134.899	102.622
	Strom (Hilfsenergie) [kWh/a]	1.196	1.687
Energiekosten	Erdgas [€/a]	6.957	5.343
	Strom (Hilfsenergie) [€/a]	262	370
	Σ	7.219	5.713 Einsparung: 1.506
Wartungskosten	pro WLE [€/a]	250	550
	Geräteanzahl	4	1
	Σ	1.000	550 Einsparung: 450
Amortisationszeit der energetischen Verbesserung gegenüber der Standardausführung [a]		–	8,46

Tabelle 12: Berechnungsbeispiel statische Amortisationszeit, energetische Modernisierung ohne Ohnehin-Maßnahmen

Gemäß Kostenübersicht (Tabelle 12) betragen die kompletten Investitionskosten der neuen Anlage ca. 16.600 €. Die Verringerung der jährlichen Kosten für Energie und Wartung beträgt ca. 1.900 €.

Unter diesen Randbedingungen erreicht die kumulierte Kosteneinsparung nach 8,5 Jahren das Maß der ursprünglichen Investitionskosten des Anlagenaustauschs – der Austausch der intakten, aber energetisch weniger effizienten alten Anlage gegen die neue energetisch verbesserte Anlage hätte sich also nach 8,5 Jahren amortisiert. Müsste die alte Anlage ohnehin ersetzt werden, ergäbe sich eine deutlich geringere Amortisationszeit – analog zu Berechnungsbeispiel 1.

Sporthalle – Jahresgesamtkosten VDI 2067-1

Es werden dieselben Berechnungsbeispiele wie zur statischen Amortisationszeit unter den in Tabelle 9 und 10 genannten Randbedingungen herangezogen – dieses Mal jedoch nicht anhand der Amortisationszeit, sondern anhand der mittleren Jahresgesamtkosten für einen festgelegten Betrachtungszeitraum. Eventuelle Restwerte von Anlagen(komponenten) werden vereinfachend vernachlässigt.

Beispiel 1: Vergleich alternativer Ausführungsvarianten
Eine neu errichtete Sporthalle gemäß Anhang 1 (Abbildung 17) ist erstmalig mit einer Heizungsanlage auszustatten. Hierbei sollen dezentrale Warmlufterzeuger eingesetzt werden und es besteht die Auswahl zwischen einer Standardausführung und einer energetisch verbesserten Ausführung gemäß Tabelle 9. Anhand der durchschnittlichen Jahresgesamtkosten über einen Nutzungszeitraum von 15 Jahren soll beleuchtet werden, inwieweit sich die Mehrinvestition für die verbesserte Ausführung lohnt.

Variante		Standardausführung	verbesserte Ausführung
Investitionskosten	[€]	12.000	16.560
Zinsfaktor		1,03	1,03
Annuitätsfaktor nach VDI 2067 für eine Nutzungsdauer von 15 Jahren	–	0,08	0,08
kapitalgebundene Kosten	[€/a]	1.005	1.387 Mehrkosten: 382
Energieverbrauch	Erdgas [kWh _{HI} /a]	134.899	102.622
	Strom (Hilfsenergie) [kWh/a]	1.196	1.687
Energiekosten	Erdgas [€/a]	6.957	5.343
	Strom (Hilfsenergie) [€/a]	262	370
	Σ	7.219	5.713 Einsparung: 1.506
Wartungskosten	pro WLE [€/a]	250	550
	Geräteanzahl	4	1
	Σ	1.000	550 Einsparung: 450
Jahresgesamtkosten	[€/a]	9.224	7.650 Einsparung: 1.574

Tabelle 13: Berechnungsbeispiel Jahresgesamtkosten, Neuinstallation oder ohnehin anstehende Modernisierung

Im Vergleich der zwei unterschiedlichen Ausführungsvarianten über eine Nutzungszeit von 15 Jahren betragen die mittleren jährlichen Kapitalkosten bei der verbesserten Ausführung ca. 380 € mehr als bei der Standardausführung. Gleichzeitig ergeben sich durch die höhere wärmebezogene Energieeffizienz deutlich geringere Energiekosten für Erdgas und durch den Betrieb zusätzlicher Ventilatoren etwas höhere Energiekosten für Strom. Durch die geringere Geräteanzahl – nur ein Wärmeerzeuger statt vier Geräten – fallen die jährlichen Wartungskosten geringer aus. In Summe betragen die jährlichen Kosten für Energie und Wartung bei der verbesserten Ausführung ca. 1.900 € weniger.

Die durchschnittlichen Jahresgesamtkosten nach VDI 2067-1 betragen ca. 9.220 €/a für die Standardausführung bzw. ca. 7.650 €/a für die verbesserte Ausführung.

Für die verbesserte Ausführung ergibt sich unter den hier angenommenen Randbedingungen bei einer Betrachtung über 15 Jahre ein Jahresgesamtkostenvorteil von ca. 1.600 €.

Beispiel 2: Energetische Modernisierung (Austausch intakter Komponenten)

Die alte Heizungsanlage einer bestehenden Sporthalle nach Anhang 1 (Abbildung 17) ist intakt und darf nach geltendem Recht weiterhin betrieben werden. Im Rahmen einer energetischen Modernisierung soll sie jedoch zur Verringerung des Energieverbrauchs durch eine energieeffizientere Heizung ersetzt werden.

Für das vorliegende Berechnungsbeispiel wird angenommen, dass die Bestandsanlage energetisch der in Tabelle 9 beschriebenen Standardausführung entspricht; für die neue Anlage werden die Eigenschaften der verbesserten Ausführung unterstellt. Die Demontage-/Entsorgungskosten der alten Anlage seien in Relation zu den sonstigen Investitionskosten der neuen Anlage vernachlässigbar gering.

Variante		Bestandsanlage (wie Standardausführung)	neue Anlage (wie verbesserte Ausführung)
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 _{HI} /a]	134.899	102.622
	Strom (Hilfsenergie) [kWh/a]	1.196	1.687
Energiekosten	Erdgas [€/a]	6.957	5.343
	Strom (Hilfsenergie) [€/a]	262	370
	Σ	7.219	5.713 Einsparung: 1.506
Wartungskosten	pro WLE [€/a]	250	550
	Geräteanzahl	4	1
	Σ	1.000	550 Einsparung: 450
Jahresgesamtkosten	[€/a]	8.219	7.650 Einsparung: 569

Tabelle 14: Berechnungsbeispiel Jahresgesamtkosten, Neuinstallation oder ohnehin anstehende Modernisierung

Im Vergleich zur Bestandsanlage – welche noch weiter genutzt werden könnte, ohne Kapitalkosten zu verursachen – müssen für die neue Anlage im Laufe des Betrachtungszeitraums von 15 Jahren jährlich mittlere Kapitalkosten in Höhe von ca. 1.400 € aufgebracht werden. Gleichzeitig betragen die jährlichen Kosten für Energie und Wartung bei der neuen Anlage ca. 1.900 € weniger.

Die Jahresgesamtkosten der neuen Anlage betragen ca. 7.650 €; die Jahresgesamtkosten der Bestandsanlage betragen ca. 8.220 €.

Der Jahresgesamtkostenvorteil der neuen Anlage gegenüber der Bestandsanlage beträgt unter diesen Randbedingungen bei einer Betrachtung über 15 Jahre ca. 570 €.

Fertigungshalle – statische Amortisationszeit

Beispiel 1: Vergleich alternativer Ausführungsvarianten
Eine neu errichtete Fertigungshalle (Abbildung 18) ist erstmalig mit einer Heizungsanlage auszustatten. Hierbei sollen dezentrale Warmlufterzeuger eingesetzt werden

und es besteht die Auswahl zwischen einer Standardausführung und einer energetisch verbesserten Ausführung gemäß Tabelle 9. Eine einfache Wirtschaftlichkeitsbetrachtung soll aufzeigen, inwieweit sich die Mehrinvestition für die verbesserte Ausführung lohnt.

Variante		Standardausführung	verbesserte Ausführung
Investitionskosten [€]		11.500	15.840
			Mehrkosten: 4.340
Energieverbrauch	Erdgas [kWh _{HI} /a]	90.450	67.054
	Strom (Hilfsenergie) [kWh/a]	773	1.091
Energiekosten	Erdgas [€/a]	4.735	3.565
	Strom (Hilfsenergie) [€/a]	169	239
	Σ	4.904	3.804
			Einsparung: 1.100
Wartungskosten	pro WLE [€/a]	250	550
	Geräteanzahl	5	2
	Σ	1.250	1.100
			Einsparung: 150
Amortisationszeit der energetischen Verbesserung gegenüber der Standardausführung [a]		–	3,47

Tabelle 15: Berechnungsbeispiel statische Amortisationszeit, Neuinstallation oder ohnehin anstehende Modernisierung

Die Kostenübersicht (Tabelle 15) zeigt, dass die Investitionskosten der verbesserten Ausführung ca. 4.300 € über denen der Standardausführung liegen. Gleichzeitig ergeben sich durch die höhere wärmebezogene Energieeffizienz geringere Energiekosten für Erdgas und durch den Betrieb zusätzlicher Ventilatoren (Warmluftrückführung) höhere Energiekosten für Strom. Durch die geringere Geräteanzahl – zwei Wärmeerzeuger statt fünf Geräten – fallen die jährlichen Wartungskosten etwas geringer aus. In Summe betragen die jährliche Kosten für Energie und Wartung bei der verbesserten Ausführung 1.250 € weniger.

Bei Einbau der verbesserten Ausführung erreicht die kumulierte Kosteneinsparung nach ca. 3,5 Jahren das Maß der ursprünglichen Investitionsmehrkosten – die Investitionsmehrkosten der verbesserten Ausführung gegenüber der Standardausführung hätten sich also bereits nach 3,5 Jahren amortisiert.

Beispiel 2: Energetische Modernisierung (Austausch intakter Komponenten)

Die alte (Hallen-)Heizungsanlage einer bestehenden Fertigungshalle (Abbildung 18) ist intakt und darf nach geltendem Recht weiterhin betrieben werden. Im Rahmen einer energetischen Modernisierung soll sie jedoch zur Verringerung des Energieverbrauchs durch eine energieeffizientere Heizung ersetzt werden.

Für das vorliegende Berechnungsbeispiel wird angenommen, dass die Bestandsanlage energetisch und betriebskostenmäßig der in Tabelle 9 beschriebenen Standardausführung entspricht; für die neue Anlage werden die Eigenschaften der verbesserten Ausführung unterstellt. Die Demontage-/Entsorgungskosten der alten Anlage seien in Relation zu den sonstigen Investitionskosten der neuen Anlage vernachlässigbar gering.

Variante		Bestandsanlage (wie Standardausführung)	neue Anlage (wie verbesserte Ausführung)
Investitionskosten	[€]	–	15.840
Energieverbrauch	Erdgas [kWh _{HI} /a]	90.450	67.054
	Strom (Hilfsenergie) [kWh/a]	773	1.091
Energiekosten	Erdgas [€/a]	4.735	3.565
	Strom (Hilfsenergie) [€/a]	169	239
	Σ	4.904	3.804
			Einsparung: 1.100
Wartungskosten	pro WLE [€/a]	250	550
	Geräteanzahl	5	2
	Σ	1.250	1.100
			Einsparung: 150
Amortisationszeit der energetischen Verbesserung gegenüber der Standardausführung [a]		–	12,67

Tabelle 16: Berechnungsbeispiel statische Amortisationszeit, energetische Modernisierung ohne Ohnehin-Maßnahmen

Gemäß Kostenübersicht (Tabelle 16) betragen die kompletten Investitionskosten der neuen Anlage ca. 15.800 €. Die Verringerung der jährlichen Kosten für Energie und Wartung beträgt 1.250 €.

Unter diesen Randbedingungen erreicht die kumulierte Kosteneinsparung nach 12,7 Jahren das Maß der

ursprünglichen Investitionskosten des Anlagenaustauschs – der Austausch der intakten, aber energetisch weniger effizienten alten Anlage gegen die neue, energetisch verbesserte Anlage hätte sich also nach 12,7 Jahren amortisiert. Müsste die alte Anlage ohnehin ersetzt werden, ergäbe sich eine deutlich geringere Amortisationszeit – analog zu Berechnungsbeispiel 1.

Fertigungshalle – Jahresgesamtkosten VDI 2067-1

Es werden dieselben Berechnungsbeispiele wie zur statischen Amortisationszeit unter den in Tabelle 9 und 10 genannten Randbedingungen herangezogen – dieses Mal jedoch nicht anhand der Amortisationszeit, sondern anhand der mittleren Jahresgesamtkosten für einen festgelegten Betrachtungszeitraum. Eventuelle Restwerte von Anlagen(komponenten) werden vereinfachend vernachlässigt.

Beispiel 1: Vergleich alternativer Ausführungsvarianten

Eine neu errichtete Fertigungshalle (Abbildung 18) ist erstmalig mit einer Heizungsanlage auszustatten. Hierbei sollen dezentrale Warmluftherzeuger eingesetzt werden und es besteht die Auswahl zwischen einer Standardausführung und einer energetisch verbesserten Ausführung gemäß Tabelle 9. Anhand der durchschnittlichen Jahresgesamtkosten über einen Nutzungszeitraum von 15 Jahren soll beleuchtet werden, inwieweit sich die Mehrinvestition für die verbesserte Ausführung lohnt.

Variante		Standardausführung	verbesserte Ausführung
Investitionskosten	[€]	11.500	15.840
Zinsfaktor		1,03	1,03
Annuitätsfaktor nach VDI 2067 für eine Nutzungsdauer von 15 Jahren	–	0,08	0,08
kapitalgebundene Kosten	[€/a]	963	1.327 Mehrkosten: 364
Energieverbrauch	Erdgas [kWh _{HI} /a]	90.450	67.054
	Strom (Hilfsenergie) [kWh/a]	773	1.091
Energiekosten	Erdgas [€/a]	4.735	3.565
	Strom (Hilfsenergie) [€/a]	169	239
	Σ	4.904	3.804 Einsparung: 1.100
Wartungskosten	pro WLE [€/a]	250	550
	Geräteanzahl	5	2
	Σ	1.250	1.100 Einsparung: 150
Jahresgesamtkosten	[€/a]	7.117	6.230 Einsparung: 887

Tabelle 17: Berechnungsbeispiel Jahresgesamtkosten, Neuinstallation oder ohnehin anstehende Modernisierung

Im Vergleich der zwei unterschiedlichen Ausführungsvarianten über eine Nutzungszeit von 15 Jahren betragen die mittleren jährlichen Kapitalkosten bei der verbesserten Ausführung ca. 360 € mehr als bei der Standardausführung. Gleichzeitig ergeben sich durch die höhere wärmebezogene Energieeffizienz geringere Energiekosten für Erdgas und durch den Betrieb zusätzlicher Ventilatoren höhere Energiekosten für Strom. Durch die geringere Geräteanzahl – zwei Wärmeerzeuger statt fünf Geräten – fallen die jährlichen Wartungskosten geringer aus. In Summe betragen die jährlichen Kosten für Energie und Wartung bei der verbesserten Ausführung 1.250 € weniger.

Die durchschnittlichen Jahresgesamtkosten nach VDI 2067-1 betragen 7.117 €/a für die Standardausführung bzw. ca. 6.230 €/a für die verbesserte Ausführung.

Für die verbesserte Ausführung ergibt sich unter den hier angenommenen Randbedingungen bei einer Betrachtung über 15 Jahre ein Jahresgesamtkostenvorteil von ca. 890 €.

Beispiel 2: Energetische Modernisierung (Austausch intakter Komponenten)

Die alte (Hallen-)Heizungsanlage einer bestehenden Fertigungshalle (Abbildung 18) ist intakt und darf nach geltendem Recht weiterhin betrieben werden. Im Rahmen einer energetischen Modernisierung soll sie jedoch zur Verringerung des Energieverbrauchs durch eine energieeffizientere Heizung ersetzt werden.

Für das vorliegende Berechnungsbeispiel wird angenommen, dass die Bestandsanlage energetisch der in Tabelle 9 beschriebenen Standardausführung entspricht; für die neue Anlage werden die Eigenschaften der verbesserten Ausführung unterstellt. Die Demontage-/Entsorgungskosten der alten Anlage seien in Relation zu den sonstigen Investitionskosten der neuen Anlage vernachlässigbar gering.

Variante		Bestandsanlage (wie Standardausführung)	neue Anlage (wie verbesserte Ausführung)
Investitionskosten	[€]	–	15.840
Zinsfaktor		–	1,03
Annuitätsfaktor nach VDI 2067 für eine Nutzungsdauer von 15 Jahren	–	–	0,08
kapitalgebundene Kosten	[€/a]	–	1.327
Energieverbrauch	Erdgas [kWh _{HI} /a]	90.450	67.054
	Strom (Hilfsenergie) [kWh/a]	773	1.091
Energiekosten	Erdgas [€/a]	4.735	3.565
	Strom (Hilfsenergie) [€/a]	169	239
	Σ	4.904	3.804 Einsparung: 1.100
Wartungskosten	pro WLE [€/a]	250	550
	Geräteanzahl	5	2
	Σ	1.250	1.100 Einsparung: 150
Jahresgesamtkosten	[€/a]	6.154	6.230 Mehraufwendung: 77

Tabelle 18: Berechnungsbeispiel Jahresgesamtkosten, Neuinstallation oder ohnehin anstehende Modernisierung

Im Vergleich zur Bestandsanlage – welche noch weiter genutzt werden könnte, ohne Kapitalkosten zu verursachen – müssen für die neue Anlage im Laufe des Betrachtungszeitraums von 15 Jahren jährlich mittlere Kapitalkosten in Höhe von ca. 1.330 € aufgebracht werden. Gleichzeitig betragen die jährlichen Kosten für Energie und Wartung bei der neuen Anlage 1.250 € weniger.

Die Jahresgesamtkosten der neuen Anlage betragen 6.230 €; die Jahresgesamtkosten der Bestandsanlage betragen ca. 6.150 €.

Durch den Anlagenaustausch ergibt sich kein Jahresgesamtkostenvorteil, sondern ein Mehraufwand von ca. 80 €/a. Somit ist der Anlagenaustausch unter diesen Randbedingungen ganz knapp unwirtschaftlich, wenn die Investitionsmehrkosten innerhalb des vorgegebenen Betrachtungszeitraums von höchstens 15 Jahren durch die erzielten Kosteneinsparungen erwirtschaftet werden müssen.⁹ Bei einer längeren Nutzungsdauer kann sich hingegen wieder ein Jahresgesamtkostenvorteil – d. h. Wirtschaftlichkeit – für den Anlagenaustausch ergeben.

9 Die Berechnung der Jahresgesamtkosten führt für dieses Szenario zu einer anderen Aussage (→ tendenziell unwirtschaftlich) als die analoge Betrachtung anhand der statischen Amortisationszeit (→ wirtschaftlich: Amortisation nach knapp 13 Jahren; siehe Seite 28). Der Unterschied ist auf die abweichenden Herangehensweisen beider Verfahren zurückzuführen:

- Berechnung einer Amortisationszeit ⇔ Berechnung der mittleren laufenden Kosten für eine vorgegebene Zeitspanne
- Vernachlässigung von Kapitalzinsen bei der statischen Amortisationszeit (tendenziell optimistischer Überschlag im Vergleich zur Jahresgesamtkostenrechnung).

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 dezentrale Hallenheizungen nach derzeitiger EnEV [2] geringeren energetischen Anforderungen als ihre zentral versorgten Pendanten (sofern ausschließlich dezentrale Hallenheizungen in der betrachteten Zone eingesetzt werden)¹⁰ – 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 Montagehöhe¹¹ montiert werden, da der obere Hallenbereich durch Einbauten wie Güterleit-systeme, Kranbahnen und Fahrraum der Kräne versperrt ist. Für eine gleichmäßige Ausleuchtung und zur Verhinderung 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 Warmluftherzeuger eingebaut.

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

Bei Luftheizungen lohnt sich der Mehraufwand für Einbau und Antrieb einer adäquat dimensionierten Anlage zur Warmluftrückführung sowohl energetisch als auch hinsichtlich der jährlichen Gesamtkosten ab einer gewissen Raumhöhe oder bei geringer Anzahl von Heizgeräten bzw. Warmluftauslässen fast immer. Der Mehrbedarf an Hilfsenergie wird durch die erzielte Brennstoffeinsparung in aller Regel überkompensiert (vgl. 5.1.3 sowie 6.4). Insbesondere bei mittleren bis hohen Hallen sollten entsprechende Systeme vorgesehen werden.

¹⁰ Siehe Ausführungen zum verringerten Anforderungsniveau der EnEV für dezentrale Hallenheizungen, Seite 44. Nach bisherigem Kenntnisstand soll die besagte 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.

¹¹ Bei Hochtemperatur-Strahlungsheizungen ist in jedem Fall die Mindestmontagehöhe des entsprechenden Gerätetyps zu berücksichtigen.

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 erdgasbetriebe-

nen – 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 [16]. 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, welcher 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 19: 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
<p>1. Ermittlung der notwendigen Daten</p> <ul style="list-style-type: none"> · Raumgeometrie · Flächen und wärmetechnische Eigenschaften der Außenbauteile · Innentemperatur $\theta_{int,i}$ · Gebäudedichtheit · Lage des Gebäudes, Normaußentemperatur θ_e und jahresmittlere Außentemperatur $\theta_{m,e}$
<p>2. Berechnung der Wärmeverlustkoeffizienten H</p> <ul style="list-style-type: none"> · Transmissionswärmeverlustkoeffizienten H_T aller Bauteile, die <ul style="list-style-type: none"> · 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
<p>3. Berechnung der Wärmeverluste Φ</p> <ul style="list-style-type: none"> · Transmissionswärmeverlust: $\Phi_{T,i} = \sum(H_T)_i \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e)$ · Lüftungswärmeverlust: $\Phi_{V,i} = H_{v,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e)$ · optional, zusätzliche Aufheizleistung: $\Phi_{RH,i}$
<p>4. Berechnung der Heizlast des Raums i</p> $\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i}$
<p>ggf. hersteller-/systemspezifische Modifikation zur Auslegung des Hallenheizsystems</p> $\Phi_{Auslegung} = \Phi_{12831} + X$

Tabelle 20: Ermittlung der Heizleistung eines Hallenheizsystems für einen beheizten Hallenraum i auf Basis der DIN EN 12831:2003-08 [16], 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 [32]) oder die DIN 18032 [7], welche sich in Teil 1 mit den Planungsgrundlagen von Sporthallen und ähnlichen Räumen befasst (siehe auch 2.2).

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

Tabelle 21: 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 Luftheizung (als Wärmeübergabe oder als dezentrales Hallenheizsystem) zu ermitteln – etwaige Nebenräume werden separat beheizt und sollen hier nicht berücksichtigt werden.

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 raumlufttechnischer 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)

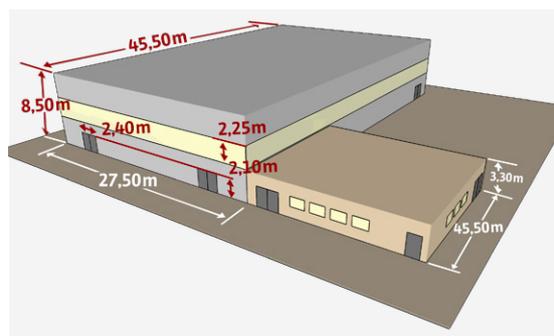


Abbildung 20: Sporthalle mit Nebengebäude

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 m ³ /h je Sportler	V'_{min} m ³ /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} m ³ /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 m ²	1.150
mittlere Innenhöhe aus technischen Zeichnungen, Beschreibung des Bauvorhabens o. Ä.	h_i m	7,5
Innenvolumen	V_i m ³	8.625
Grundfläche (Außenmaß) aus technischen Zeichnungen, Beschreibung des Bauvorhabens o. Ä.	A_G m ²	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 22: Berechnungsbeispiel Heizlast Sporthalle: Temperaturen, Lüftung/Gebäudedichtheit, Geometrie

Bauteil	Außenabmessungen		Bruttofläche (Außenmaß)	Nettofläche (Außenmaß)	konstruktiver Wärmedurchgangskoeffizient U W/m ² K
	m	m	A_{Brutto} m ²	A_{Netto} m ²	
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 \triangle	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 23: 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	Außenabmessungen		Bruttofläche (Außenmaß)	Nettofläche (Außenmaß)	Bauteil grenzt an	Temperatur des angrenzenden Bereichs	konstruktiver Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmebrücken-zuschlag	gesamter/ äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient	Korrekturfaktoren ^a		Gesamtkorrekturfaktor	Transmissionswärmeverlustkoeffizient ^a	Transmissionswärmeverlust	
															A_{Brutto}
	m		m ²	m ²		°C	W/m ² K						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 Innenwand an Flur in Nebengebäude	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					$\Phi_{T,i}$	absolut								W	34.070
						bezogen auf Raumfläche								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 erdreichberührenden 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 erdreichberührenden Bauteilen in äquivalente U-Werte umgerechnet, welche die im Vergleich mit außenluftangrenzenden Bauteilen andersartigen Wärmetransportvorgänge durch das an das Bauteil angrenzende Erdreich einbeziehen.

Tabelle 24: Berechnungsbeispiel Heizlast Sporthalle: Berechnung des Transmissionswärmeverlustes

Die Lüftungswärmeverluste der Halle unter Ausle-
gungsbedingungen 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 Auftrag-
geber vereinbart, kann die Normheizlast des Raums um
einen Aufheizzuschlag für schnelleres Aufheizen nach
Betriebsunterbrechungen erhöht werden.

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	$C_p \cdot \rho$	Wh/m ³ K	0,34
Lüftungswärmeverlustkoeffizient	H_v	W/K	2.193
Lüftungswärmeverlust	Φ_v	W W/m ²	70.176 61,02

Tabelle 25: Berechnungsbeispiel Heizlast Sporthalle: Berechnung des Lüftungswärmeverlustes

Anhang 2: Energiesparrechtliche Rahmenbedingungen Energieeinsparverordnung

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) – derzeit in der Fassung EnEV 2014 [2] – 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 [29] berücksichtigen die Eigenschaften von Hallengebäuden und den darin eingesetzten Heizsystemen implizit teilweise durch eine Unterscheidung der Anforderungen, durch Berechnungsansätze und -randbedingungen anhand der mittleren Raumhöhe und Raumtemperatur sowie durch Berechnungsoptionen für übliche Hallenheizsysteme.

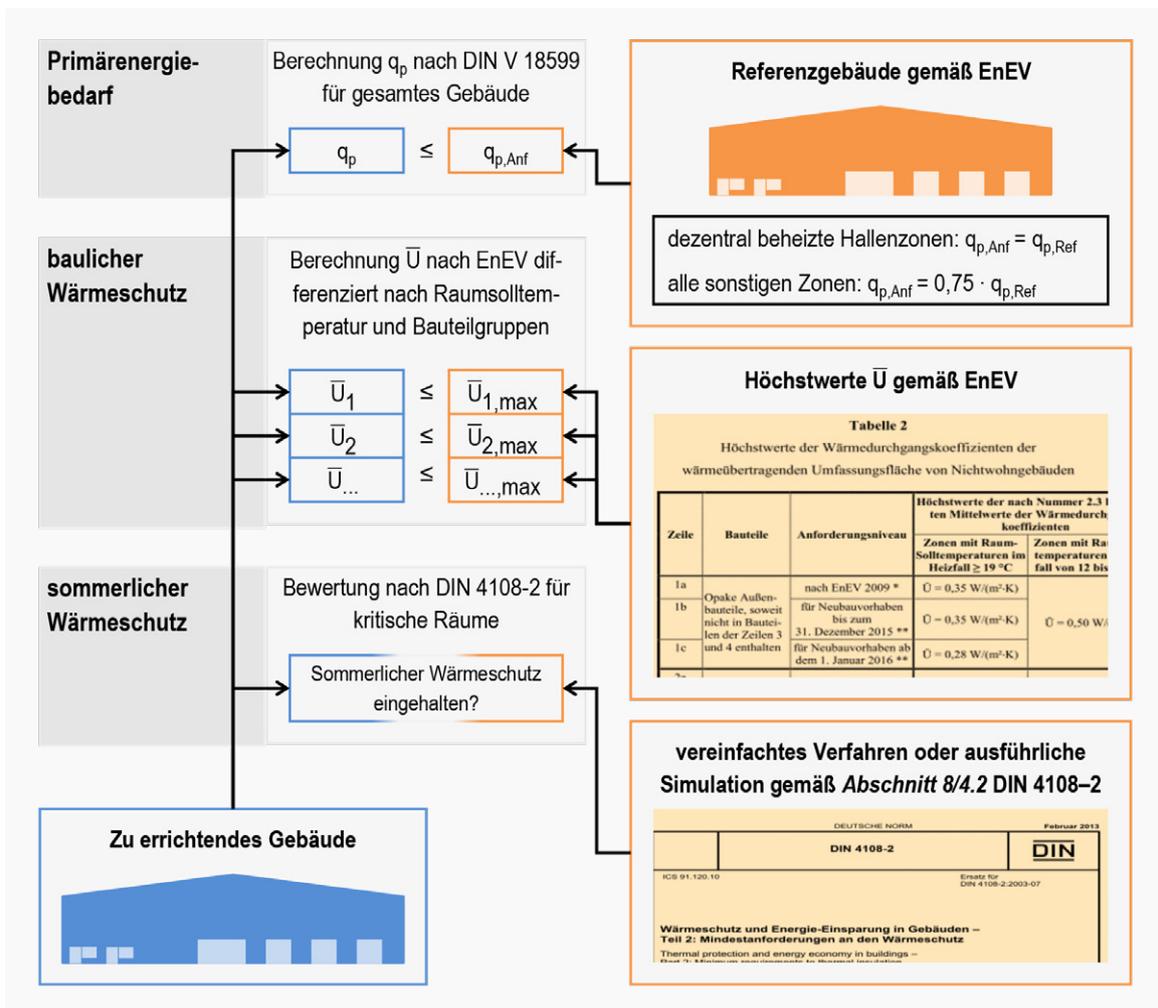


Abbildung 21: Wesentliche EnEV-Anforderungen (Kriterien des Energiebedarfsausweises) für Nichtwohngebäude im Überblick

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 anlagentechnischen Ausstattung durchgeführt. Das Referenzgebäude der EnEV 2014 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 2009.¹² 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.

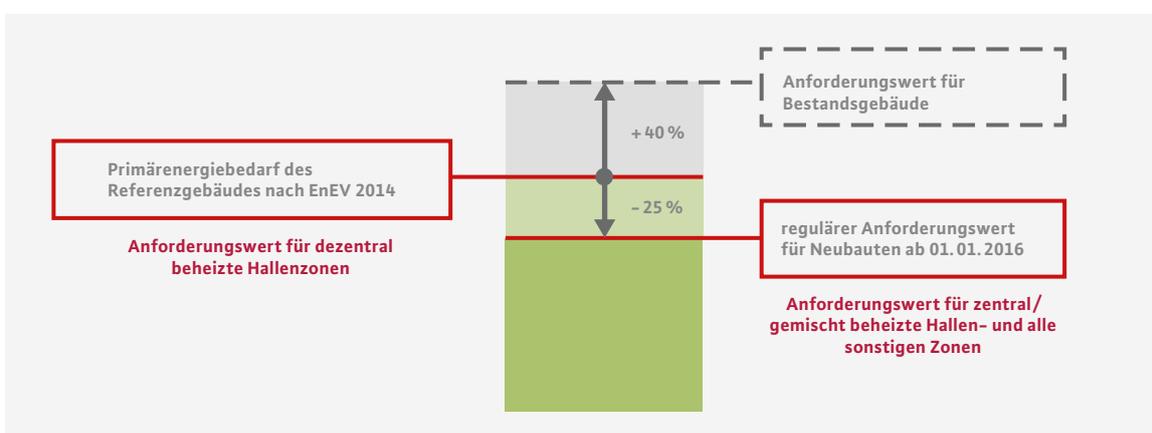


Abbildung 22: Primärenergieanforderungswert nach EnEV

Durch Anwendung des Referenzgebäudeverfahrens werden 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 Wärmeluftherzeuger – 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.

12 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.¹³ Die Betrachtung wird für bestimmte nach EnEV definierte Bauteilgruppen geführt – opake¹⁴ Außenbauteile, transparente Außenbauteile usw. Zusätzlich wird hinsichtlich des Temperaturniveaus unterschieden (siehe Tabelle 26).

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 mit dem 01.01.2016 ebenfalls verschärft – analog zum Primärenergiebedarf sind dezentral beheizte Hallenzonen von dieser Verschärfung ausgenommen (vgl. auch Fußnote 10). 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 „ $12\text{ °C} \leq \theta < 19\text{ °C}$ “ und „ $\theta \geq 19\text{ °C}$ “ 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 $12\text{ °C} \leq \theta < 19\text{ °C}$
 - › Gruppe aller enthaltenen Zonen mit $\theta \geq 19\text{ °C}$
- » alle sonstigen Zonen, unterteilt in
 - › Gruppe aller enthaltenen Zonen mit $12\text{ °C} \leq \theta < 19\text{ °C}$
 - › Gruppe aller enthaltenen Zonen mit $\theta \geq 19\text{ °C}$

In jeder dieser Gruppen ist die Einhaltung des zulässigen Höchstwertes für bis zu 4 Bauteilkategorien nachzuweisen (siehe Tabelle 26).

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 [10] 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 $\theta_{i,h,soll} \geq 19\text{ °C}$	Zonen mit $12 \leq \theta_{i,h,soll} < 19\text{ °C}$
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 26: Anforderungen der EnEV an den baulichen Wärmeschutz zu errichtender Gebäude

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

14 Lichtundurchlässig.

Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz

Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG [1]) fordert für neu errichtete Gebäude die anteilige Deckung des Wärme-/Kälteenergiebedarfs¹⁵ 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 Geltungsbereich¹⁶ 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) ≥ 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	$q_p \leq 0,85 \cdot q_{p,Anforderung}$ und $H'_{T} \leq 0,85 \cdot H'_{T,Anforderung}$ bzw. $\dot{U} \leq 0,85 \cdot \dot{U}_{Anforderung}$
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 27: Erfüllungsoptionen EEWärmeG, Übersicht

15 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).

16 Der Geltungsbereich des EEWärmeG in Bezug auf Nichtwohngebäude umfasst i. d. R. 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.

Gesamterfüllungsgrad =

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

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.¹⁷

Energetische Bewertung – Energiebilanz nach DIN V 18599

Allgemeines

Die Vornormenreihe DIN V 18599 [29] 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 wesentlichsten

- » 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

¹⁷ 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 Ordnungsgeber 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 Energiemenge, 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 i. d. R. durch die Gebäudegrenzen gebildet.

Bei einer **primärenergetischen** Betrachtung wird zusätzlich der Aufwand berücksichtigt, welcher für Erschließung, Transport und Bereitstellung der notwendigen Energie 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 i. d. R. 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 i. d. R. vereinfacht als eine konstante Eigenschaft des Bauteils und der Einbausituation (z. B. waagrecht 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 zониert – 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.

Tabelle 28: Begriffe aus EnEV und DIN V 18599, Auswahl

Die Normenreihe DIN V 18599 umfasst in der durch die EnEV 2014 referenzierten Fassung (2011-12) 11 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 Anlagentechnik 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 Endenergiewerte, heizwertbezogen angegeben werden.

In Energiebedarfsberechnungen nach DIN V 18599 können sowohl die spezifischen Eigenschaften von Hallengebäuden als auch von den 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 29: Normteile der DIN V 18599:2011-12 [29], Überblick

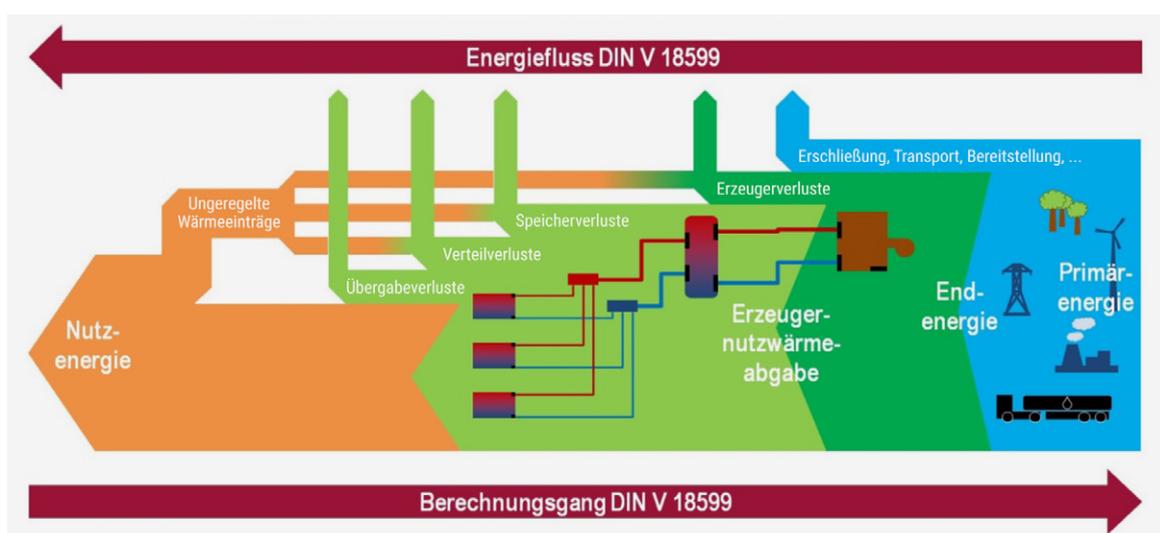


Abbildung 23: Energiefluss zwischen Energieübergabe auf Nutzenseite und Primärenergiebezug nach DIN V 18599, Beispiel Heizung

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 Nut-

zung 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	Raumsolltemperatur $\theta_{i,h,soll}$ °C	jährliche Nutzungstage $d_{nutz,a}$ d/a	Mindestaußenluftvolumenstrom V_a m^3/m^2h	Beleuchtungsstärke \bar{E}_m lx	Interne Wärmequellen $q_{l,p} + q_{l,fac}$ Wh/($m^2 \cdot d$)
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 30: 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-Wärmegesetz (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 (siehe auch 0). 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 Anhang 2 Tabelle 26 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_{\perp}	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_{\perp}	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_{\perp}	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	<ul style="list-style-type: none"> · 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: <ul style="list-style-type: none"> · Wärmeerzeuger gemäß Tabelle 50 DIN V 18599-5:2011-12 <ul style="list-style-type: none"> · 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 <ul style="list-style-type: none"> · Systemgebläse: Radialventilator · seitlicher Luftauslass ohne Warmluftrückführung · Raumtemperaturregelung: P-Regler 		

Tabelle 31: Ausführung des Referenzgebäudes nach Anhang 2 Tabelle 26 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.¹⁸
- » 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. zur Nutzung von Umweltwärme mit Wärmepumpen und zur 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 32 und 33) kann das **Heizsystem** gegenüber der Referenzgebäudeausführung, einem erdgasbetriebenen Warmluftheizer in energetisch relativ ungünstiger Ausführung, deutlich verbessert werden, beispielsweise durch

- » Einbau von Deckenventilatoren zur Warmluftrückführung und/oder
- » Brennwerttechnik im Fall dezentraler Warmluftheizer.

Ausführung der Wärmeübergabe		mittlerer Vertikaler Lufttemperaturanstieg [K/m] → kleiner ist besser
Luftheizung ohne zusätzliche Warmluftrückführung (Deckenventilatoren)	seitlicher Luftauslass (Wandgerät)	1,00
	seitlicher Luftauslass (Wandgerät), System mit geringer Ausblastemperatur ^a	0,35
	Luftauslass von oben (Deckengerät)	0,60
	Luftauslass von oben (Deckengerät), System mit geringer Ausblastemperatur ^a	0,35
Luftheizung mit zusätzlicher Warmluftrückführung (Deckenventilatoren)	2-Punkt-geregelte Warmluftrückführung	0,35
	PI-geregelte Warmluftrückführung	0,25
<small>a Die Ausblastemperatur darf max. 15 K über der Innenraumsolltemperatur liegen. Die angegebenen Kennwerte dürfen nur bei einer lichten Raumhöhe ≤ 6 m angewendet werden – für größere lichte Raumhöhen ist ungeachtet der Ausblastemperatur mit den Kennwerten des entsprechenden Systems „seitlicher Luftauslass (Wandgerät)“ bzw. „Luftauslass von oben (Deckengerät)“ zu rechnen.</small>		

Tabelle 32: Heizsystemspezifische Kenngrößen von Luftheizungen nach DIN V 18599-5:2011-12: Bilanzabschnitt Wärmeübergabe – mittlere vertikale Lufttemperaturanstiege, Ausführung des Referenzgebäudes rot eingerahmt

18 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
<p>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.</p>		

Tabelle 33: Heizsystemspezifische Kenngrößen von Luftheizungen nach DIN V 18599-5:2011-12: Bilanzabschnitt Wärmeerzeugung – Erzeugerwirkungsgrade von Warmluftherzeugern, Ausführung des Referenzgebäudes rot eingerahmt

Wesentliche Einflüsse auf den **Beleuchtungsenergiebedarf** haben die Art der eingesetzten Lampen/Leuchten¹⁹, 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.

19 Beim Einsatz von LED-Systemen sollten diese innerhalb der Energiebedarfsberechnung mit produktspezifischen 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	direkt befeuerte Warmluft- erzeuger	indirekt beheizte Lufterhitzer
AL-KO Therm AG Hauptstraße 248–250 89343 Jettingen-Scheppach	T: 08225 39-0 F: 08225 39-2113 info.therm@al-ko.de www.al-ko.com	●
DencoHappel GmbH Südstraße 48 44625 Herne	T: 02325 468-00 F: 02325 468-222 info@dencohappel.com www.dencohappel.com/de	● ●
Doll Wärmetechnik GmbH Industriegebiet Schlattwiesen 72116 Mössingen	T: 07473 7711 F: 07473 23778 info@air-heater.com www.air-heater.com	● ●
GoGas Goch GmbH & Co. KG Zum Ihnedieck 18 44265 Dortmund	T: 0231 46505-0 info@gogas.com www.gogas.com	●
Gustav Nolting GmbH Orbker Straße 38 32729 Detmold	T: 05231 6001-0 F: 05231 6001-51 /-25 info@gustav-nolting-gmbh.de www.gustav-nolting-gmbh.de	●
Hoval GmbH Humboldtstraße 30 85609 Aschheim-Dornach	T: 089 922097-0 F: 089 922097-77 info.de@hoval.com www.hoval.de	● ●
Kampmann GmbH Friedrich-Ebert-Straße 128–130 49811 Lingen (Ems)	T: 0591 7108-0 F: 0591 7108-300 info@kampmann.de www.kampmann.de	●
LK Metallwaren GmbH Am Falbenholzweg 39 91126 Schwabach	T: 09122 699-0 F: 09122 699-149 info@lk-metall.de www.lk-metall.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	● ●
Maschinen- und Apparatebau Hagen GmbH Langenscheider Straße 41 58339 Breckerfeld	T: 02338 9182-0 F: 02338 9182-60 mua@mua.de www.mua.de	●

Anhang 3 Hersteller und Anbieter (Auswahl)

Firma		direkt befeuerte Warmluft- erzeuger	indirekt beheizte Lufterhitzer
Nordluft Wärme- und Lüftungstechnik GmbH & Co. KG Robert-Bosch-Straße 5 49393 Lohne	T: 04442 889-0 F: 04442 889-59 info@nordluft.com www.nordluft.com	●	●
Remko GmbH & Co. KG Im Seelenkamp 12 32791 Lage	T: 05232 606-0 F: 05232 606-260 info@remko.de www.remko.de	●	●
Robur GmbH Paulinenstraße 94 88046 Friedrichshafen	T: 07541 603391-0 F: 07541 603391-90 info@robur-gmbh.de www.robur-gmbh.de	●	
Schulte Lufttechnik GmbH Möhnestraße 2 59519 Möhnesee	T: 02924 9707-0 F: 02924 9707-150 info@schulte.ag www.schulte-hallenheizung.de	●	
Theod. MAHR Söhne GmbH Hüttenstraße 27 52068 Aachen	T: 0241 9560-0 F: 0241 9560-101 info@mahr-heizung.de www.mahr-heizung.de	●	●
Wolf GmbH Industriestraße 1 84048 Mainburg	T: 08751 74-0 F: 08751 74-1600 info@wolf-heiztechnik.de www.wolf-heiztechnik.de	●	●

Anhang 4 Literaturverzeichnis

Bau- und Energiesparrechtlicher Rahmen

- [1] EEWärmeG 2015
Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG), zuletzt geändert durch Artikel 9 G vom 20.10.2015
- [2] 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)
- [3] 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
- [4] Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz, MBO: 2016-05 Musterbauordnung – MBO – Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 13.05.2016, 05/2016
- [5] Bauordnungen der Länder (vgl. MBO)
- [6] Anforderungen an den Brand- und Explosionsschutz nach geltendem Recht/Landesbaurecht (siehe auch RLT-Richtlinien, besonders RL 02)

DIN-Normen

- [7] DIN 18032-1:2014-11 Sporthallen – Hallen und Räume für Sport und Mehrzwecknutzung – Teil 1: Grundsätze für die Planung, 11/2014
- [8] DIN 3388-2:1979-09 Abgas-Absperrvorrichtung für Feuerstätten für flüssige oder gasförmige Brennstoffe, mechanisch betätigte Abgasklappen; Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung, 09/1979
- [9] DIN 3388-4:1984-12 Abgasklappen für Gasfeuerstätten, thermisch gesteuert, gerätegebunden; Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung, 12/1984
- [10] DIN 4108-2:2013:02 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Februar 2013
- [11] DIN 45635-56:1986-10 Geräuschmessung an Maschinen; Luftschallemission, Hüllflächen- und Kanal-Verfahren; Warmlufterzeuger, Luftheizer, Ventilatorteile von Luftbehandlungsgeräten, 10/1986

Anhang 4 Literaturverzeichnis

- [12] DIN 4755:2004-11 Ölfeuerungsanlagen – Technische Regel Ölfeuerungsinstallation (TRÖ) – Prüfung, 11/2004
- [13] DIN EN 1020:2010-05 Gasbefeuerte Warmluftherzeuger mit verstärkter Konvektion für den nicht-häuslichen Gebrauch mit einer Nennwärmebelastung nicht über 300 kW, mit Gebläse zur Beförderung der Verbrennungsluft und/oder der Abgase [...], 05/2010
- [14] DIN EN 1196:2011-11 Gasbefeuerte Warmluftherzeuger für den häuslichen und den nicht-häuslichen Gebrauch – Zusätzliche Anforderungen an kondensierende Warmluftherzeuger; Deutsche Fassung EN 1196:2011, 11/2011
- [15] DIN EN 12792:2004-01 Lüftung von Gebäuden – Symbole, Terminologie und graphische Symbole; Deutsche Fassung EN 12792:2003, 01/2004
- [16] DIN EN 12831:2003-08 Heizungsanlagen in Gebäuden, Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast, August 2003
- [17] DIN EN 12831 Beiblatt 1:2008-07 Heizsysteme in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast – Nationaler Anhang NA, Juli 2008
- [18] DIN EN 1319:2010-10 Warmluftherzeuger mit erzwungener Konvektion zum Beheizen von Räumen für den häuslichen Gebrauch, mit gebläseunterstützten Gasbrennern mit einer Nennwärmebelastung gleich oder kleiner als 70 kW; Deutsche Fassung EN 1319:2009, 10/2010
- [19] DIN EN 13779:2007-09 Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme, Dezember 2009
- [20] DIN EN 13842:2004-10 Ölbeheizte Warmluftherzeuger – Ortsfest und ortsbeweglich für die Raumheizung; Deutsche Fassung EN 13842:2004, 10/2004
- [21] DIN EN 15251:2012-12; Eingangsparmeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik, 2012
- [22] DIN EN 298:2012-11 Feuerungsautomaten für Brenner und Brennstoffgeräte für gasförmige oder flüssige Brennstoffe; Deutsche Fassung EN 298:2012, 11/2012
- [23] 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

Anhang 4 Literaturverzeichnis

- [24] 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
- [25] DIN EN 621:2010-04 Gasbefeuerte Warmlufterzeuger mit erzwungener Konvektion zum Beheizen von Räumen für den nicht-häuslichen Gebrauch mit einer Nennwärmebelastung nicht über 300 kW, ohne Gebläse zur Beförderung der Verbrennungsluft und/oder der Abgase [...], 04/2010
- [26] DIN EN 676:2008-11 Automatische Brenner mit Gebläse für gasförmige Brennstoffe; Deutsche Fassung EN 676:2003+A2:2008, 11/2008
- [27] DIN EN 778:2010-03 Gasbefeuerte Warmlufterzeuger mit erzwungener Konvektion zum Beheizen von Räumen für den häuslichen Gebrauch mit einer Nennwärmebelastung nicht über 70 kW, ohne Gebläse zur Beförderung der Verbrennungsluft und/oder der Abgase [...], 03/2010
- [28] 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
- [29] 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

Anhang 4 Literaturverzeichnis

Weitere Richtlinien und Arbeitsblätter

- [30] ArbStättV:2015-08 Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV), 08/2015
- [31] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Ausschuss für Arbeitsstätten, Technische Regeln für Arbeitsstätten – Lüftung – ASR A3.6, Januar 2012, geändert und ergänzt GMBI 2013
- [32] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Ausschuss für Arbeitsstätten, Technische Regeln für Arbeitsstätten – Raumtemperatur – ASR A3.5, Juni 2010, geändert GMBI 2014
- [33] DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., DVGW G 600:2008-04/2014-07 Technische Regeln für Gasinstallationen; DVGW-TRGI; mit Ergänzungen vom Mai 2008 und Juli 2014, 07/2014
- [34] Herstellerverband Raumluftechnische Geräte e. V., RLT-Richtlinie 01:2016-08 Allgemeine Anforderungen an Raumluftechnische Geräte, 08/2016
- [35] Herstellerverband Raumluftechnische Geräte e. V., RLT-Richtlinie 02:2016-08 Explosionsschutzanforderungen an Raumluftechnische Geräte, 08/2016
- [36] Herstellerverband Raumluftechnische Geräte e. V., RLT-Richtlinie 03:2016-08 EG-Konformitätsbewertung von Raumluftechnischen Geräten
- [37] Herstellerverband Raumluftechnische Geräte e. V., RLT-Richtlinie 04:2007-03 Lüftungsanlagen mit Entrauchungsfunktion – Raumluftechnische Geräte mit Funktionserhalt im Entrauchungsbetrieb, 03-2007
- [38] Herstellerverband Raumluftechnische Geräte e. V., RLT-Richtlinie Zertifizierung 2015-08a Prüfrichtlinie und Zertifizierungsprogramm zur Bewertung der Energieeffizienz von Raumluftechnischen Geräten [...]
- [39] 1. BImSchV:2010-01 Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV), 01/2010
- [40] VDI Verein Deutscher Ingenieure, VDI 2067-1:2012-09 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen der Kostenberechnung, 09/2012

Anhang 4 Literaturverzeichnis

Sonstige Literatur

- [41] 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
- [42] EnEV 2009: Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 29. April 2009, 2009
- [43] B. Glück, Ein Vorschlag zur verbesserten Darstellung und Messung der operativen Raumtemperatur; in: gi Gesundheitsingenieur – Haustechnik – Bauphysik – Umwelttechnik 127 (2006), 2006
- [44] ITG Dresden Forschung und Anwendung GmbH; Weber EnergieConsult, figawa-Studie Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien in Hallengebäuden – Neubau und Bestand (EEEEH), Schlussbericht, 10/2015
- [45] 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
- [46] IINAS GmbH – Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien, GEMIS: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme, Version 4.94
- [47] ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden Forschung und Anwendung GmbH; Universität Kassel FB Bauphysik, Gesamtanalyse Energieeffizienz von Hallengebäuden, Abschlussbericht, 30.6.2011
- [48] M. H. Spitzner, Hitzeschutz; Online-Zeitschriftenartikel, erschienen in mikado 8.2014, Kissing, 08/2014
- [49] ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden Forschung und Anwendung GmbH; Hochschule Zittau-Görlitz, Messtechnische Untersuchungen zur thermischen Behaglichkeit in Hallengebäuden mit Luftheizungen, Abschlussbericht, 2013

Anhang 5 **Bildnachweis**

Titel: [fotolia.com/tl6781](https://www.fotolia.com/tl6781)

Abbildung 8: GoGas GmbH

Abbildung 9: Wolf GmbH

Abbildung 11: Wolf GmbH

Abbildung 13: LK-Metallwaren GmbH

Abbildung 16: LK-Metallwaren GmbH

restliche
Abbildungen: ITG Dresden

Tabelle 4: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.

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 gewährt werden. Bei Anmerkungen oder erforderlichen Änderungen nehmen Sie bitte Kontakt zu uns auf.

