

# Die Norm ist zu grob

## Teil 4: Studie – Anteil der Hallenbeheizung am Gesamt-Endenergieverbrauch Deutschlands wird unterschätzt



Bild 1: Die gültige Wärmebedarfsberechnung ist für Hallen verbesserungsfähig

Im Hinblick auf die Novellierung der Energieeinsparverordnung macht die energetische Bewertung von Logistik- und Industriehallen nach der Planungs- und Berechnungsnorm DIN 18 599 Schwierigkeiten. Das Bundesbauministerium beauftragte deshalb zwei wissenschaftliche Institute mit der „Gesamtanalyse Energieeffizienz von Hallengebäuden“. Die Analyse sollte „Grundlagen für eine Weiterentwicklung der Norm und Vorschläge zur Erschließung weiterer Energie-sparpotenziale erarbeiten“, so steht es im Abschlussbericht. Hier einige interessante Details.

Auftragnehmer waren das das Institut für Technische Gebäudeausrüstung ITG, Dresden, und die Bauphysiker der Universität Kassel. Finanziert wurde die Arbeit mit Mitteln der der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesbauministeriums. Der Abschlussbericht umfasst 357 Seiten.

Die im Vorspann erwähnten Schwierigkeiten bestehen, weil sowohl die bauliche (Höhe, Geometrie) als auch die Nutzungsstruktur von Logistik-, Produktions-, Messe- und Turnhallen sowie die etwas andere Heizungs-, Lüftungs- und

eventuell Klimatechnik nicht in das übliche Bewertungsschema von „Nichtwohngebäuden“ passen. Sonderbauten wie Konzerthallen und ähnliches ohnehin ausgeklammert.



Bild 2: Die „Gesamtanalyse“ umfasst 357 Seiten

### Vielzahl von Einflüssen auf den Verbrauch

Aus der Praxis weiß man schon seit langem, dass die nach den Vorschriften berechneten Energiebedarfswerte um 20, 30 oder noch mehr Prozent über dem tatsächlichen Bedarf liegen. Stillschweigend machen deshalb einige Planer, Anlagenbauer und Systemlieferanten Abschläge an der Leistung. Die Norm berücksichtigt unter anderem nicht das dynamische Verhalten von Hallenheizsystemen, nur bedingt unterschiedliche Nutzung, nicht die Speicherfähigkeit des Lagerguts, nicht die Unterschiedlichkeit von Hallenheizsystemen in Bezug auf die Wärmeübergabe. Zumindest berücksichtigt sie diese Einflüsse auf den Verbrauch offenbar nicht ausreichend genug.

Das ITG und die Universität Kassel definierten deshalb als Basis ihrer Arbeit verschiedene Modellgebäude, „die einen repräsentativen Querschnitt der Gesamtheit typischer Hallenbauwerke darstellen“ (Endbericht), entwickelten ein thermisches Simulationsprogramm zur detaillierten Betrachtung der Thermodynamik in diesen

Objekten, kontrollierten die Qualität ihrer Software anhand dokumentierter Parameter- und Verbrauchswerte bestehender Hallen und verglichen schließlich die Ergebnisse der Simulationsrechnung mit denen einer gültigen normierten Energiebedarfsberechnung nach DIN 18 599.

Im Falle von Abweichungen leiteten sie in Bezug auf die betroffenen Bauteile und Parameter Empfehlungen für die Überarbeitung der DIN 18 599 ab. Sollten die Normenbearbeiter ihre Vorschläge übernehmen, fließen die folglich automatisch in die EnEV ein, da die Energieeinsparverordnung auf diese Regel der Technik aufbaut.

Heizverfahren und Art oder Anordnung der Raumheizflächen	f <sub>h</sub>	
	5 m bis 10 m	10 m bis 15 m
Überwiegend Strahlung		
Warmer Fußboden	1	1
Warme Decke (Temperaturniveau < 40°C)	1,15	nicht geeignet
Abwärts gerichtete Strahlung mittlerer und hoher Temperatur aus großen Höhen	1	1,15
Überwiegend Konvektion		
Natürliche Warmluftkonvektion	1,15	nicht geeignet
Zwangskonvektion Warmluft		
Querstrom aus niedriger Höhe	1,3	1,6
Abwärtsgerichtet aus großer Höhe	1,21	1,45
Querstrom mittlere und hoher Temperatur aus mittlerer Höhe	1,15	1,3

Bild 3: Gültige Raumhöhenkorrekturen nach DIN EN 12831

Wärmeübergabe			Lufttemperaturanstieg
			[K/m]
Warmluftheizung	ohne Warmluftführung (Deckenventilatoren)	seitlicher Luftauslass	1
	mit Warmluftführung (Deckenventilatoren)	Luftauslass von oben	0,6
			0,20...0,40
Dunkelstrahler			0,20
Hellstrahler			0,20
Deckenstrahlplatten			0,20...0,30
Fußbodenheizung			0,10

Bild 4: Temperaturanstieg mit der Höhe

### DIN 18 599 mit Sicherheitszuschlag

Das eingesetzte Simulationsprogramm gestattet detaillierte Aussagen zu den Temperaturverläufen in der Halle. Die Wissenschaftler teilten ihre Analyse auf zwei Durchläufe auf: In der ersten Simulationsrechnung spielte die Heizungsanlage noch keine Rolle. Dieser Teil bemühte sich, zunächst eine systemunabhängige Wär-

mebilanz aufzustellen unter Berücksichtigung von Einflussgrößen wie: Wärmeabgabe von Geräten und Personen, Verschattung durch Nachbarbebauung, Anteile Konvektion und Strahlung, Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmespeicherkapazität der verwendeten Baustoffe und andere Einflussfaktoren auf das thermische Verhalten des Gebäudes.

Die Anlagentechnik berücksichtigen die Bearbeiter erst in einem zweiten Simulationsdurchgang. Durch diese Trennung ließen und lassen sich die gewonnenen Zwischenergebnisse konkret der Bauphy-



Bild 5: Typische Hallengrößen [m<sup>2</sup>] nach Modellgebäudedatenbank ZUB Kassel: Lebensmittelmarkt (klein) 1 152, Lebensmittelmarkt (mittel) 2 520, Lebensmittelmarkt (groß) 6 900, Non-Food-Markt 672, Elektrofachmarkt 5 400, Baumarkt 5 850, Möbelhaus 30 060, Produktionshalle (klein) 1 028, Produktionshalle (groß) 7 951, Logistikhalle 11 208, Sporthalle (Einfeldhalle) 1 261, Sporthalle (Dreifeldhalle) 1 614 (Bilder 1 und 5: Kreilac-Quattro)

sik beziehungsweise der HLK-Technik zuordnen.

Wie erwähnt, befasst sich ein Kapitel des fast 360-seitigen Berichts mit dem Vergleich erfasster Verbrauchsdaten ausgewählter realer Hallenbauten mit den Simulationsergebnissen als auch mit den

korrespondierenden Energiebedarfswerten nach DIN 18 599. Das Ergebnis: „Für alle betrachteten Fälle ergeben sich Bedarfs-Verbrauchs-Verhältnisse über Eins. Mit Energiebedarfberechnungen nach DIN 18 599 wird der reale Verbrauch generell überschätzt.“ (Zitat aus dem Forschungsbericht)

### Im Sinne der Ressourceneffizienz

Die mittleren Bedarfs-Verbrauchs-Verhältnisse sehen so aus:

- Hellstrahler 1,85
- Dunkelstrahler 1,43
- Warmluftreizeuger 1,37

Die Untersuchungen bezogen sich auf diese drei dezentralen Wärmeerzeuger (Wärmeübergabesysteme), weil die Auswertung von Bestandsobjekten mit diesen Anlagen sowohl die größte mittlere Abweichung vom Normwert als auch die größte Streuung innerhalb der erfassten spezifischen Verbräuche von Hallen mit gleichen Systemen erbrachte. Die Studie empfiehlt deshalb, „im Sinne einer exakteren Abbildung zukünftig stärker zu unterscheiden, und zwar solche Einflussfaktoren wie Gebäude- und Nutzungsparameter, zum Beispiel geometrische Verhältnisse, Innentemperaturen, Nutzungszeiten, als auch Anlagenparameter, zum Beispiel Aufteilung der Wärmeabgabe in Konvektion und Strahlung, in die Berechnung einfließen zu lassen“.

Diese Anpassung kommt vor allem den Investitionen zugute: Im Prinzip darf es mindestens eine Gerätegröße kleiner

oder eine geringere Anzahl von Wärmeerzeugern sein. Insofern kommt die Arbeit auch den Zielen des kürzlich vom Bundesumweltministerium verabschiedeten Ressourcen-Effizienz-Programm ProgRes entgegen. Das hält sich zwar letztlich aus Energiebetrachtungen heraus, konzentriert sich weitgehend auf stoffliche Produkte, unterstützt aber natürlich die ganzheitliche Betrachtung: den reduzierten Einsatz von Energie und Rohstoffen.

### Niedertemperatur und Abwärme

Das ITG und die Universität Kassel sehen keinen gravierenden Vorteil für diese oder jene Heiztechnik in niedrigen Hallen. Die Betonung liegt auf niedrig und Heiztechnik. Die EnEV Energieeinsparverordnung ist eine reine Wärmeverordnung. Sie bezieht den energetischen Aufwand für einen Kühlbedarf nicht mit ein. Der Abschlussbericht des ITG und der Universität Kassel klammert deshalb in seinem Fazit und Ergebnissen den Bonus von thermoaktiven Böden aus, gegenüber Strahlungsheizungen und Warmluftheizungen auch kühlen oder Niedertemperatur, eventuell die Abwärme aus den Produktionsprozessen, einbinden zu können.

Zum Wärmebedarf. Die DIN 18 599 geht davon aus, dass für hohe Räume durch den Lufttemperaturanstieg über die Raumhöhe im Vergleich zu einem Raum mit konstanter Innentemperatur (Sollwert) ein Mehrbedarf entsteht. Dieser Mehrbedarf wird formelmäßig über den Teilnutzungsgrad  $\eta_L$  erfasst. Die objekt-spezifische Temperaturzunahme hängt von verschiedenen Randbedingungen ab:

- vom Wärmeübergabesystem (Warmluftheizung, Fußbodenheizung usw.). Bei Warmluftheizungen hängt der Lufttemperaturanstieg stark von der erzwungenen Durchmischung der Raumluft ab
- Unterschied zwischen Innen- und Außentemperatur sowie baulicher Wärmeschutz
- Bei Hell- und Dunkelstrahlern nimmt die Verschattung durch zum Beispiel

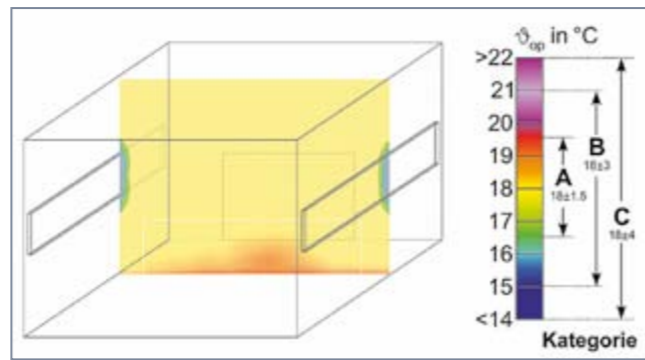


Bild 6: Operative Raumtemperaturen bei Einsatz einer Fußbodenheizung (für eine Halle mit 7 m Höhe)

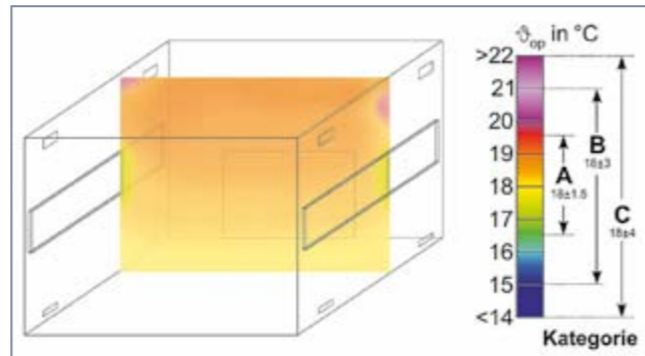


Bild 7: Operative Raumtemperaturen bei Einsatz einer Luftheizung

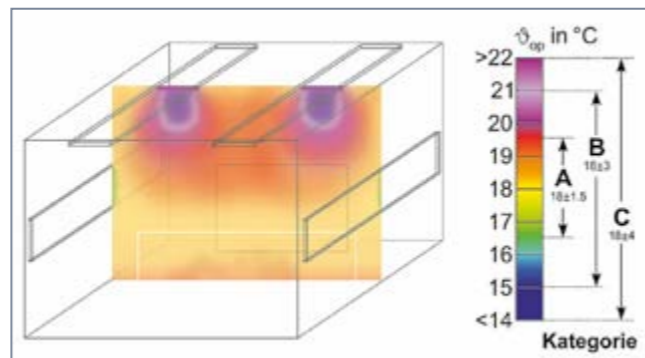


Bild 8: Operative Raumtemperaturen bei Einsatz einer Strahlplattenheizung

Hochregale oder Kranbahnen oder auch die Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung Einfluss auf die Temperaturverteilung.

### Korrekturfaktoren für hohe Hallen

Den Temperaturgradient definiert die Norm über den Lufttemperaturanstieg je Meter Raumhöhe (K/m). Die Studienbearbeiter sehen hier die Flächenheizung (Betonkernaktivierung) eindeutig im Vorteil: „In den durchgeführten Gebäudesimulationen war praktisch kein Lufttempe-

raturanstieg über der Höhe zu erkennen.“

Bei Warmluftheizungen dagegen kann im ungünstigsten Fall (seitlicher Luftaustlass) dieser Gradient auf 1 K/m anwachsen. Das geht merklich zu Lasten des Energiebedarfs. Die Studie schlägt deshalb für die Normung und damit für die Novellierung der EnEV in der Bedarfsberechnung die Berücksichtigung eines Lufttemperaturanstiegs nach Bild 4 vor.

Die Bilder 2 bis 4 veranschaulichen die vertikale Temperaturschichtung in einer 7 m hohen Halle. Aus Vereinfachungsgründen setzen die Wissenschaftler einen linearen Temperaturanstieg an. In realo wird der Verlauf aufgrund von verschiedenen Einflüssen nichtlinear sein. Des Weiteren enthalten die Empfehlungen eine Gewichtung nach Nutzungs- und Nichtnutzungszeiten im Verhältnis 1:1.

Der Tabelle 3 ist also ein 12-Stunden-Betrieb (1,5 Schichten) unterstellt. Die weiße Linie umrandet den Aufenthaltsbereich bis 1,5 m Höhe. Bei allen drei Systemen herrscht in dieser Zone der Sollwert von 17 bis 18 °C. In Bezug auf die Behaglichkeit unterscheiden sich Fußbodenheizung (thermoaktive Böden), Strahlplattenheizung und Luftheizung nicht. Sichtbar wird jedoch die Wärmeverdichtung der Luftheizung und der Strahlplattenheizung unter der Hallendecke. Dieses Temperaturpolster führt zwangsläufig zu höheren

- Nutzungsprofil Nr. 22 Werkstatt, Montage, Fortigung gemäß DIN V 18599-10 Ausgabe 2007
  - normal beheizt => Sollinnentemperatur Heizfall 21 °C
  - niedrig beheizt < 19 °C => Sollinnentemperatur Heizfall 17 °C
- Nutzungsprofil Nr. 22 Gewerbliche und industrielle Hallen gemäß DIN V 18599-10 Ausgabe 2011
  - Nr. 22.1 schwere Arbeit, stehende Tätigkeit => Sollinnentemperatur Heizfall 15 °C
  - Nr. 22.2 mittelschwere Arbeit, überwiegend stehende Tätigkeit => Sollinnentemperatur Heizfall 17 °C
  - Nr. 22.3 leichte Arbeit, überwiegend sitzende Tätigkeit => Sollinnentemperatur Heizfall 20 °C
- neu Nutzungsprofil Nr. 41 Lagerhallen, Logistikhallen => Sollinnentemperatur Heizfall 12 °C

Bild 9: Bei der Berechnung zu betrachtende Nutzungsprofile. Neu ist Nr. 41 für personallose Logistikhallen, Innentemperatur 12 °C

Transmissionsverlusten gegenüber der Betonkernaktivierung.

### Bodendämmung, wenn „Aufenthaltsraum“

Allerdings verliert sie, die Betonkernaktivierung, das was sie an der Fassade einspart, unter Umständen über die Bodenplatte. Nämlich dann, wenn die Fundamentsohle von Hallen als Aufenthaltsräume – mit ständigem Personal – nicht ausreichend isoliert ist. Auch darauf gehen ITG und Universität Kassel ausführlich ein. Sie unterscheiden zwischen einem ungedämmten, einem normal und

einem ideal gedämmten Boden. Hell- und Dunkelstrahler sowie Luftheizungen tangiert die Isolierung zum Erdreich hin moderat. Bei Fußbodenheizungen dagegen, die die Wärme relativ dicht oberhalb einer Kühlfläche transportieren, macht sich eine bessere Dämmung sofort in Bedarf/Verbrauchs-Reduzierungen bemerkbar.

Die Auftragnehmer des Forschungsprojekts „Gesamtanalyse Energieeffizienz von Hallengebäuden“ schreiben mit Blick auf die Wärmeschutznorm DIN 4108, es sei zu erkennen, dass eine komplett oder weitgehend ungedämmte Bodenplatte, wie sie in der Praxis des Hallenbaus auch heute oft

vorzufinden ist, die Mindestanforderung nicht erfüllt, falls es sich bei dem betrachteten Raum um einen Aufenthaltsraum handelt. Der Begriff des Aufenthaltsraums wird im Rahmen der DIN 4108 allerdings nicht definiert. Bezüglich des „Aufenthaltsraums“ besteht durchaus Interpretationspotenzial.

ITG und Uni Kassel sprechen von einem durchschnittlicher Verbrauch von etwa 65 kWh/m<sup>2</sup>a für eine zeitgemäß gedämmte Halle mit moderner Anlagentechnik. Dieser Verbrauchswert entspricht in etwa dem des Baujahrs 2009.

### Halbierter Verbrauch

Nach einer Abschätzung auf Basis verschiedener Daten des Statistischen Bundesamtes, das selbst jedoch nur Wohn- und Nichtwohngebäude sieht und nicht weiter zwischen Hallen und beispielsweise Bürobauten unterscheidet, entstanden zwischen 1980 und 2009 ca. 400 Mio. m<sup>2</sup> Hallennutzfläche. Dieser Fläche ordnet das Gutachten „Gesamtanalyse“ in einem Szenario einen Jahresheizenergieverbrauch von ca. 61 Mrd. kWh zu – und damit 10% des deutschen Gesamt-Jahresendenergieverbrauchs Raumwärme beziehungsweise 31% des Jahresendenergieverbrauchs Raumwärme für Nichtwohngebäude.

„Bei kompletter energetischer Ertüchtigung auf aktuelles Neubauniveau ergibt sich ein Einsparpotenzial von etwa 35 Mrd. kWh/a. In erster Näherung kann davon ausgegangen werden, dass sich dieses Einsparpotenzial im Verhältnis 1:1 durch bauliche und anlagenseitige Maßnahmen ergibt. Die Annahmen zur bestehenden beheizten Hallennutzfläche wurden für dieses Szenario konservativ getroffen.“

Das heißt nichts anderes, als dass eine anlagentechnisch und bauphysikalisch optimierte neue Halle gegenüber einer durchschnittlichen Ausführung im Bestand mit dem halben Energiebedarf auskommen sollte.