

Gesundheits Ingenieur

Haustechnik · Bauphysik · Umwelttechnik

Herausgegeben von K. W. USEMANN

133. Jahrgang 2012 · Heft 1 · Seite 1 – 64

unter Mitwirkung von F. Baum, H. Erhorn und H.-J. Moriske

in Verbindung mit dem Umweltbundesamt, Fachbereich Umwelt und Gesundheit, Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Ökologie, Berlin-Dahlem; Bayerischen Landesamt für Umweltschutz, Augsburg und der Gesundheitstechnischen Gesellschaft, Berlin.

Neue Außenlufttemperaturen für die Heizlastberechnung

Norbert Nadler

Seit der Ausgabe der alten Heizlastnorm DIN 4701 [1] haben sich die für die Berechnung verwendeten Außenlufttemperaturen für die alten Bundesländer nicht geändert. Im aktuell gültigen nationalen Beiblatt der Heizlastnorm DIN EN 12831 Bbl. 1 [2] wurden zwar die neuen Bundesländer hinzugefügt und die Jahresmittelwerte angegeben, die Datenbasis der Außenlufttemperaturen ist aber immer noch zum Großteil der Zeitraum von 1951 bis 1970. Das heißt, der Klimawandel, der in den 80er-Jahren einsetzte, ist noch nicht berücksichtigt.

Seit März 2011 sind nun aktualisierte und erweiterte Testreferenzjahre erschienen, die auch extrem kalte Jahre beinhalten. Der Bezugszeitraum ist hier von 1988 bis 2007. Gedacht sind diese Testreferenzjahre für dynamische Heizlastberechnungen mittels Simulationsprogramme. Für diesen Beitrag wurden die Daten der neuen Testreferenzjahre derart aufbereitet, dass sie auch für die stationäre Berechnung nach DIN EN 12831 geeignet sind.

1. Einleitung

Der Autor möchte vorausschicken, dass nach seiner Überzeugung die Heizlast auch dynamisch, also zeitabhängig unter Berücksichtigung der Wärmespeicherung sowie der Wärmequellen, zu ermitteln ist. Ein solches Verfahren wird für die Kühllastberechnung schon seit Jahren erfolgreich angewendet und wäre mit einem Kühllastprogramm mit veränderten Klimadaten sofort einsatzbereit.

Leider konnte sich aber die dynamische Heizlastberechnung in der Fachwelt noch nicht durchsetzen, obwohl sie projektbezogener ist und mit einem realistischen Außenlufttemperaturverlauf rechnet. Im Folgenden wird daher auf die stationäre Berechnung eingegangen, bei der von einer konstanten Außenlufttemperatur mit unendlicher Andauer ausgegangen wird.

Aus der Kühllastberechnung ist bekannt, dass sich der Mittelwert der zeitabhängigen Kühl- bzw. Heizlast im eingeschwungenen Zustand aus den zeitgemittelten Werten der Aktionsgrößen errechnen lässt. Als Aktionsgröße wird hier nur die Außenlufttemperatur betrachtet, Reaktionsgröße ist jeweils die Transmissionsheizlast und die Lüftungsheizlast aufgrund eines Außenluftwechsels. Die Gesamtreaktion „Heizlast“ setzt sich aus Transmission, Lüftung und Aufheizzuschlägen zusammen. Will man Letztere in die Berechnung einbeziehen, sollte man doch eher auf eine dynamische Heizlastberechnung übergehen. Die Aufheizzuschläge werden daher hier nicht weiter betrachtet. Transmission und Lüftung werden getrennt untersucht, da sich einzelne Effekte gegenseitig aufheben können und die Anteile an der Gesamtheizlast vorab nicht bekannt sind.

Nach der DIN 4701 ist die „Außentemperatur“¹ als Zweitagesmittelwert, der in den Jahren 1951 bis 1970 zehnmal erreicht oder unterschritten wurde, definiert. Die Tabellen wurden in Stufungen von 2 K mit einer oberen Grenze von -10°C angegeben.

CSE Nadler, Dipl.-Ing. Norbert Nadler, Arnstädter Straße 7, 16515 Oranienburg. E-Mail: n.nadler@cse-nadler.de.

¹ Gemeint ist die Außenlufttemperatur.

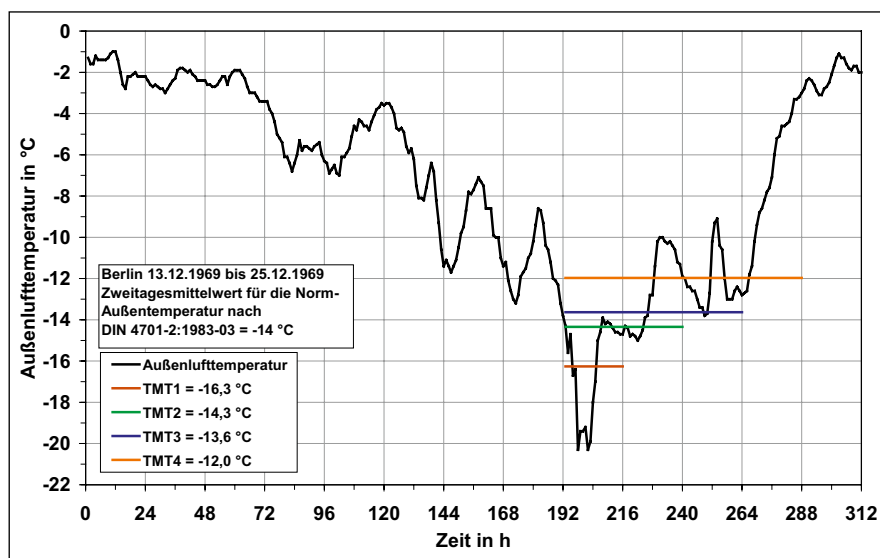


Bild 1. Verlauf der Außenlufttemperatur während einer realen Kälteperiode in Berlin.

Bild 1 zeigt den Verlauf der Außenlufttemperatur während einer realen Kälteperiode in Berlin. Der eingetragene Zweitagesmittelwert (TMT2) wird zeitweise deutlich unterschritten. Die Trägheit der Baukonstruktion, die Ungleichzeitigkeit der maximalen Last und die bei der Dimensionierung der Heizungsanlage vernachlässigten Wärmequellen wirken dieser Unterschreitung entgegen. D.h., der Innentemperaturabfall hielt sich derart in Grenzen, dass die Verwendung des Zweitagesmittelwertes für die Dimensionierung bisher ausreichend war. Bei der Entwicklung der Norm wurde ein Innentemperaturabfall von 1 bis 1,5 K während extremer Kälteperioden zugelassen [3].

Mit zunehmendem Mittelungszeitraum steigt der gemittelte Wert der Außenlufttemperatur an. Das hat zu Folge, dass die Heizlast kleiner wird. Die Frage ist, welcher Mittelungszeitraum ist für die Heizlastberechnung notwendig, um eine Unter- bzw. Überdimensionierung zu vermeiden.

2. Testreferenzjahre (TRY)

Die Testreferenzjahre stellen eine Sammlung stündlicher Klimadaten für ein Jahr dar und sind für die thermische Gebäudesimulation konzipiert. Zur Einführung der Testreferenzjahre in Deutschland erstellte erstmals *Jahn* [4] und [5] ein TRY für Berlin. An dieser Arbeit anknüpfend wurden in einem interdisziplinären Forschungsprojekt zusammen mit Meteorologen weitere Testreferenzjahre flächendeckend für Westdeutschland entwickelt [6]. Dabei wurde das Altbundesgebiet in 12 Klimazonen eingeteilt, für die jeweils von einer Wetterstation repräsentative Datensätze angefertigt wurden (Repräsentanzstation). In einer Überarbeitung erschienen 2004 neue Testreferenzjahre [7], die das gesamte Bundesgebiet (nun 15 Klimazonen) umfassen und auch Dreimonatsperioden für extreme Witterungsverhältnisse im Winter und Sommer bereitstellten. Die Extrem-TRY's waren für vergleichende Berechnungen der Heiz- bzw. Kühllast gedacht. Für die Kühllastberechnung waren die Sommer-TRY's jedoch nicht ausreichend, weil sie den Monat September nicht

beinhalteten, der i. d. R. für südorientierte Räume maßgeblich ist. Die VDI 2078 [8] stellte zu diesem Zeitpunkt schon ganzjährige Klimadaten in Form von zwölf verschiedenen Monatstagen bereit.

Die nunmehr vorliegenden neuen Extrem-TRY's beinhalten ein komplettes Jahr mit einem warmen Sommer bzw. mit einem kalten Winter. Für die 8760 Stunden im Jahr werden 19 Klimaparameter je Stunde (z. B.: Lufttemperatur, Strahlung, Feuchte, Wind) angegeben. Für jede der 15 Klimaregionen in Deutschland werden drei verschiedene TRY's bereitgestellt, die einen unterschiedlichen Anwendungszweck erfüllen sollen:

- „Jahr“ mittlere Witterungsverhältnisse für Energieverbrauchsrechnungen
- „Sommer“ extrem warmes Jahr für Kühllastberechnung
- „Winter“ extrem kaltes Jahr für Heizlastberechnung

Der Bezugszeitraum, welcher der Auswertung zugrunde liegt, ist:

- 1988 bis 2007 → TRY 2007 (mit Klimawandel)
- 2021 bis 2050 → TRY 2050 (prognostiziert anhand lokaler Klimamodelle)

Die prognostizierten Klimadaten gehen von einer weiteren Klimaerwärmung aus. Je nach zu erwartender Lebensdauer des Gebäudes steht es dem Planer frei, die prognostizierten Klimadaten für die Dimensionierung der Anlagen oder für Analysezwecke zu verwenden.

Weiterhin sind in den neuen TRY's Algorithmen für die Berücksichtigung von urbanen Wärmeinseln und Korrekturen für die Geländehöhe bei von der Repräsentanzstation abweichende Höhenlagen (mehr als 100 m) enthalten.

3. Vergleich der Zweitagesmitteltemperaturen und der Jahresmitteltemperaturen

Für die Angleichung der Winter-TRY's an die stationäre Heizlastberechnung zeigt das Bild 2 die Zweitagesmitteltemperaturen und die Jahresmitteltemperaturen im Vergleich mit den Daten der DIN EN 12831 [2, Tab. 1].

Für Berlin wäre z. B. die Außenlufttemperatur von -14°C auf ca. -12°C anzuheben. Bei einer Betrachtung bis zum Jahr 2050 müsste die Auslegung sogar für ca. -6°C erfolgen. Für eine der in Bild 2 enthaltenen Klimazonen wäre eine Absenkung von -10°C auf ca. -13°C erforderlich. In der Prognose müsste allerdings auch hier eine Anhebung auf ca. -4°C erfolgen.

Zu bedenken ist, dass bei dem bisherigen Berechnungsverfahren nach DIN EN 12831 mit jedem Grad Temperaturerhöhung eine Absenkung der Heizlast um etwa 3% verbunden ist.

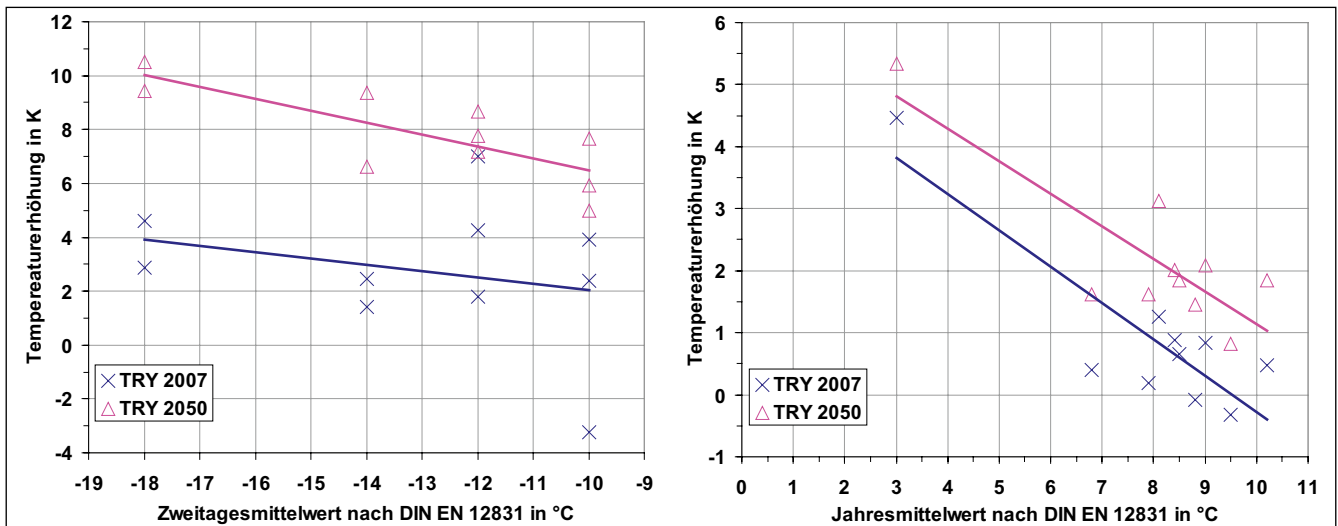


Bild 2. Temperaturerhöhung der TRY-Daten gegenüber der DIN EN 12831 [2] für verschiedene Klimazonen bei gleicher Repräsentanzstation.

Die Veränderungen bei den Jahresmitteltemperaturen fallen erwartungsgemäß nicht so stark aus. Auch hier ergibt sich für TRY 2007 bei zwei Klimazonen eine Absenkung, für TRY 2050 jedoch eine Anhebung der Jahresmitteltemperatur.

Die Daten der DIN EN 12831 in *Bild 2* gelten für die gleiche Repräsentanzstation der Klimazone. Es ist jedoch zu beachten, dass in der Norm bei gleicher Klimazone unterschiedliche Zweitagesmitteltemperaturen vorhanden sind. Die Unterschiede innerhalb einer Klimazone betragen 2 bis 8 K (s. *Bild 3*). Mit unterschiedlichem Urbanisierungsgrad oder Höhenlagen lässt sich das nicht mehr begründen, vgl. z.B. Wendelstein und Waren (Klimazone 4) mit einem Höhenunterschied von ca. 60 m aber 8 K Temperaturunterschied. Das bedeutet, dass sich für einzelne Orte wesentlich größere Unterschiede ergeben können, als in *Bild 2* für die Zweitagesmitteltemperaturen dargestellt sind. Im Beispiel Wendelstein würde sich die Zweitagesmitteltemperatur von -20°C auf -12°C bei Auslegung nach TRY 2007 erhöhen. Bei den Jahresmitteltemperaturen sind in [2, Tab. 1] die Werte innerhalb einer Klimazone identisch.

Es liegt hier also ein Widerspruch zur Erkenntnis der Meteorologen vor, dass Deutschland auch für extreme klimatische Verhältnisse in Klimazonen eingeteilt werden kann. Demnach müsste einer Klimazone auch nur eine Zweitagesmitteltemperatur zugeordnet sein. Neben dem Effekt der Klimaerwärmung wird damit die Forderung nach einer dringenden Überarbeitung der Außenlufttemperaturen verstärkt.

Insgesamt ist nach *Bild 2* mit einer deutlichen Erwärmung zu rechnen, was in der Heizlastberechnung auch seinen Niederschlag finden sollte. Das liegt auch im Sinne der *Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)* [9], die Empfehlun-

gen für das Bauwesen enthält. Klimawandel und Extremwerte werden durch Messdaten aktuell vom Deutschen Wetterdienst in [10, Anh. H.1] bestätigt. Danach werden Kälteextreme seltener und die Anzahl der „Heißen Tage“ (Temperaturmaximum mind. 30°C) werden zunehmen.

4. Abhängigkeit der Transmissionsheizlast von der Bauschwere

Die DIN EN 12831 bietet für Gebäude in schwerer Bauweise eine Außenlufttemperaturkorrektur an (s. *Tabelle 1*). Abhängig von der Gebäudezeitkonstante wird der Zweitagesmittelwert um 1 bis 4 K angehoben. Die Gebäudezeitkonstante ist in dieser Norm allerdings für den Innentemperaturabfall bei unterbrochenem Heizbetrieb definiert und hat mit einer Außenlufttemperaturreaktion im Grundsatz nichts zu tun.

Für die Berechnung der Transmission ist eine Zeitkonstante maßgeblich, die sich aus der Aktion „Außentemperatur vor Außenbauteilen“ ergibt. Dadurch wird auch die

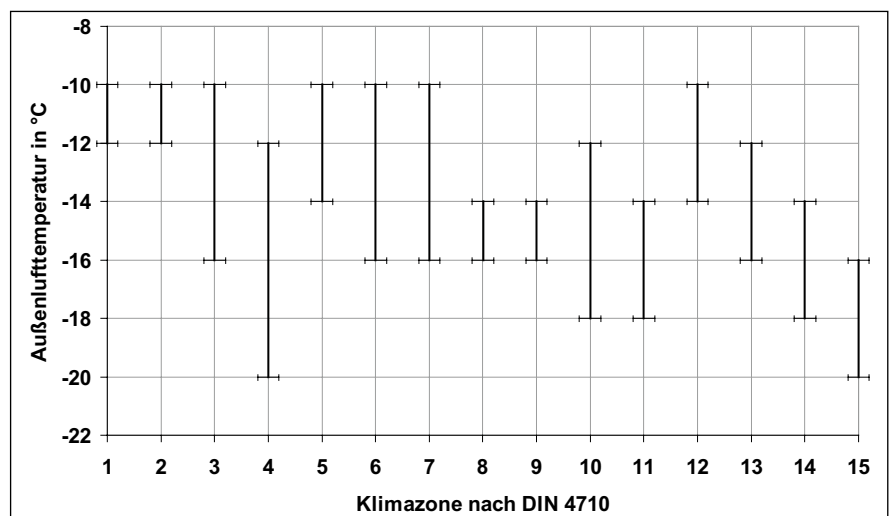


Bild 3. Bereich der Außenlufttemperaturen aus DIN EN 12831 [2, Tab. 1] innerhalb der jeweiligen Klimazone.

Tabelle 1. Außenlufttemperaturkorrektur nach DIN EN 12831 [2].

Gebäudezeitkonstante in h	Außenlufttemperaturkorrektur in K
< 100	0
100 bis 140	+ 1
141 bis 210	+ 2
211 bis 280	+ 3
> 280	+ 4

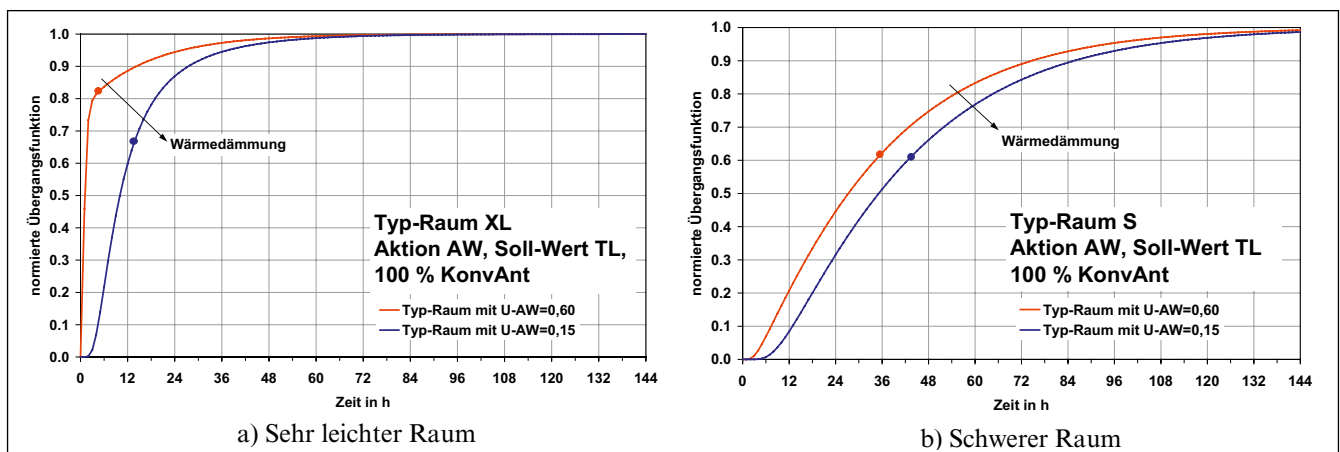
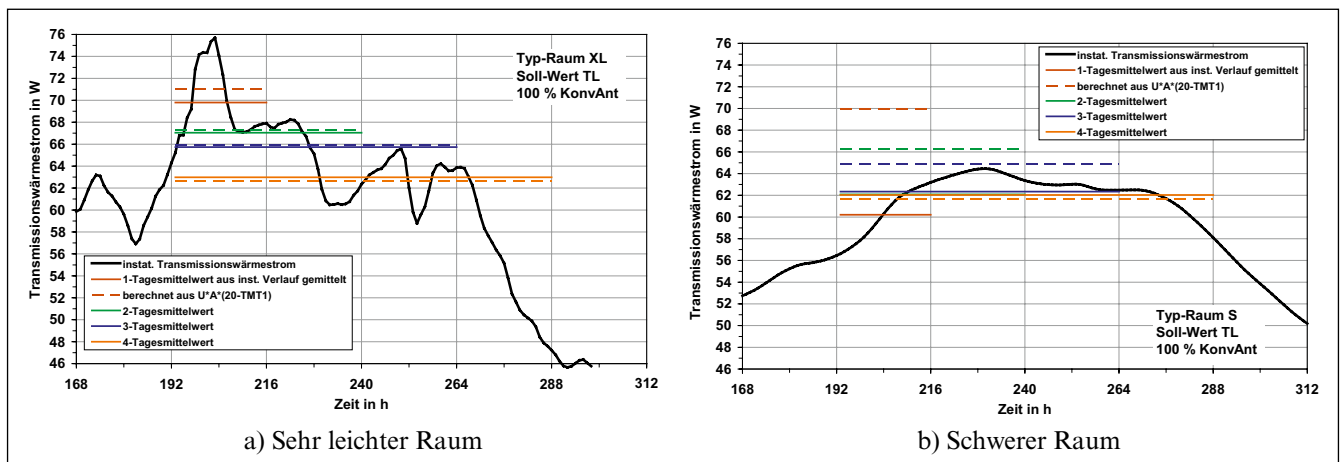
Wirkung einer außen angebrachten Wärmedämmung erfasst.

In *Bild 4* ist für einen sehr leichten (XL) und einen schweren Typ-Raum (S) die normierte Übergangsfunktion der Heizlast für die Aktion AW (Außentemperatursprung vor einer Außenwand) dargestellt. Im Typ-Raum XL ist eine sehr leichte, im Typ-Raum S eine sehr schwere Außenwand (24 cm Beton) vorhanden. Raumgeometrie und genauer Aufbau gehen aus [11] hervor. Für beide Räume wurde als Variation auf der Außenseite eine zusätzliche Wärmedämmung aufgebracht. Man entnimmt dem Bild, dass sich durch die äußere Wärmedämmung die Transmission träger verhält, obwohl sich die Bauschwere kaum verändert hat. Die Bezeichnung „schwer“ als Synonym für die

Wärmespeicherfähigkeit ist daher nicht ganz zutreffend, wird aber im Folgenden beibehalten. Bei dem sehr leichten Raum ist ein stärkerer Zuwachs der Wärmespeicherfähigkeit durch die zusätzliche Wärmedämmung zu verzeichnen.

Die auf den stationären Endwert normierte Übergangsfunktion stellt das Zeitverhalten einer Reaktionsgröße auf eine sprunghafte Aktion grafisch dar. Um das Zeitverhalten wertmäßig zu beschreiben, eignet sich die Summenzeitkonstante, die durch einen Punkt auf der Kurve gekennzeichnet ist. Die Summenzeitkonstante ist die Summe aller Zeitkonstanten des Übertragungsmodells ist proportional der Fläche über der normierten Übergangsfunktion und daher ein Maß für die Wärmespeicherung. Sie ist analytisch aus dem Frequenzgang oder aus den Gewichtsfaktoren sowie numerisch aus der normierten Übergangsfunktion berechenbar. Je höher die Summenzeitkonstante ist, desto träger verhält sich das System und umso geringer wird die Heizlast ausfallen.

Aus dem *Bild 4* entnimmt man somit auch, dass ein Vielfaches der Summenzeitkonstante als Mittelungszeitraum notwendig ist, um alle Vorgänge genügend genau zu erfassen. Für den Typ-Raum XL wäre ein Zweitagesmittelwert ausreichend. Nach 48 h hat die normierte Über-

**Bild 4.** Normierte Übergangsfunktion der Heizlast für die Aktion AW in 2 Räumen mit unterschiedlicher Bauschwere jeweils für eine ungedämmte ($U = 0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$) und eine von außen gedämmte ($U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$) Außenwand.**Bild 5.** Instationärer Transmissionswärmestrom durch eine $3,5 \text{ m}^2$ große Außenwand im Vergleich mit stationärer Berechnung mit Mittelwerten der Außenlufttemperatur. Anm.: Die grüne durchgezogene Linie für den 2-Tagesmittelwert in b) ist verdeckt. Durchgezogene Linie: Tatsächlicher Mittelwert aus instationärem Verlauf. Gestrichelte Linie: Stationär berechnet mit Mittelwert der Außenlufttemperatur.

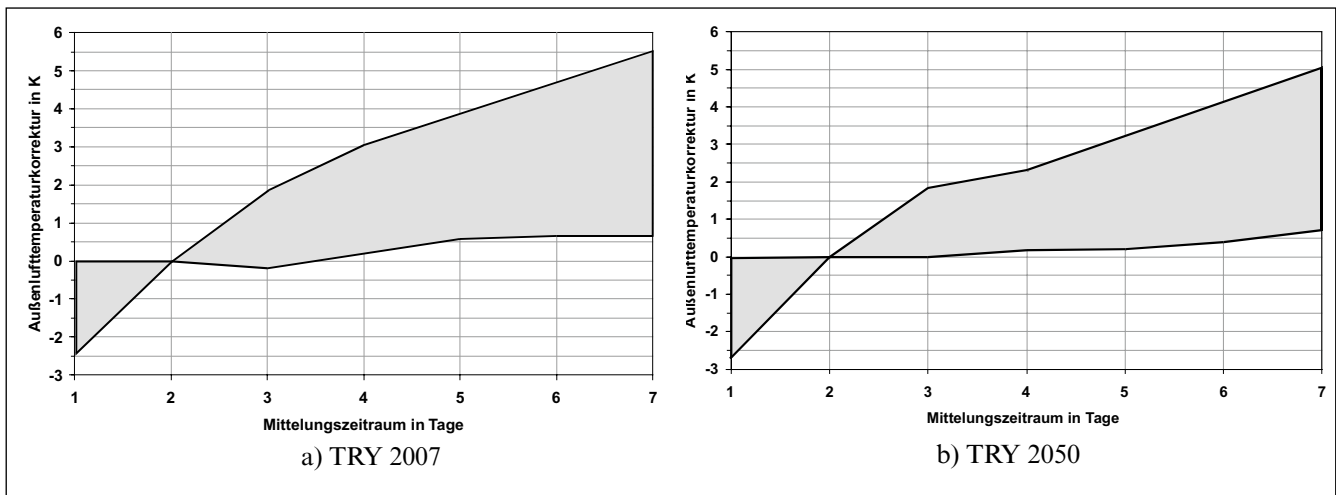


Bild 6. Bereich der Außenlufttemperaturkorrekturen für die Klimazonen nach Testreferenzjahr in Abhängigkeit vom Mittelungszeitraum.

gangsfunktion über 95% des Endwertes erreicht. Beim Typ-Raum S wäre dagegen mindestens ein 4 bis 5-Tagesmittelwert erforderlich. Der Zeitraum bis mind. 95% des Endwertes ist der minimale Mittelungszeitraum für die stationäre Berechnung.

Um diesen Sachverhalt zu verdeutlichen, ist im *Bild 5* die Transmissionsheizlast für den in *Bild 1* dargestellten Verlauf der Außenlufttemperatur und für die beiden Wandtypen aus *Bild 4* (ohne Wärmedämmung) berechnet. Der Unterschied zwischen der durchgezogenen farbigen Linie und der gestrichelten Linie gleicher Farbe zeigt den Fehler der stationären Berechnung mit $\Phi_T = S(5) \cdot (T_I - T_A)$ an. Die Innentemperatur T_I beträgt 20°C, die Außenlufttemperatur T_A ist für verschiedene Mittelungszeiträume gewählt. $S(5)$ ist der stationäre Endwert der Übergangsfunktion, der sich aus $S(5) \approx U \cdot A$ abschätzen lässt. Um das Prinzip zu verdeutlichen, wurde in dieser Darstellung allerdings der stationäre Endwert eingesetzt, der auch die Strahlungs- und Luftankopplung an den übrigen Raum berücksichtigt. Dadurch erklären sich die geringen Unterschiede zwischen den gestrichelten Linien gleicher Farbe in beiden Räumen.

Für den sehr leichten Raum ist der Fehler bei Verwendung des 2-Tagesmittelwertes verschwindend gering. Beim schweren Raum trifft das erst bei dem 4-Tagesmittelwert zu.

Neben den Fehlern bezüglich des Mittelungszeitraumes ist auch der Innentemperaturabfall zu betrachten, der sich aus der Differenz zwischen maximaler instationärer Heizlast und dem ermittelten Wert der gestrichelten Linie ergibt. Für eine solche Untersuchung sind allerdings weitere Parameter maßgeblich, z. B. Flächengröße der Außenwand, Nachbarraumtemperatur usw. Auch die Andauer einer Unterschreitung des Sollwertes sollte dabei bewertet werden. Die VDI 2078 bietet einen Algorithmus für den Innentemperaturabfall bei Unterdimensionierung an. Bei der stationären Heizlastberechnung muss man sich auf die Voruntersuchung zur Normentwicklung [3] verlassen. In den folgenden Beispielen liegt der Innentemperaturabfall jedoch immer unter 1 K.

Ergänzend zu *Bild 2* sind im *Bild 6* die Außenlufttemperaturen für weitere Mittelungszeiträume bezogen auf

den Zweitagesmittelwert eingetragen. Der angegebene Bereich kennzeichnet die obere und untere Grenze aller Klimazonen in Deutschland. Innerhalb des Bereiches sind die nicht dargestellten Verläufe der einzelnen Klimazonen sehr unterschiedlich. Die große Auffächerung des Bereiches belegt jedoch, dass die Außenlufttemperaturkorrektur entgegen der *Tabelle 1* abhängig von der Klimaregion gewählt werden muss und nicht nur in Abhängigkeit von der Wärmespeicherfähigkeit.

Geht man für einen schweren Raum nach *Bild 4b* von einem 4-Tagesmittelwert aus, so wäre eine Außenlufttemperaturkorrektur nach *Bild 6a* je nach Klimaregion von ca. 0 bis 3 K erforderlich. Damit ist schon fast der Gesamtbereich der *Tabelle 1* (0 bis 4 K) erreicht. Die Auffächerung für das TRY 2050 fällt zwar geringer aus, erfasst aber im angegebenen Beispiel immer noch 0 bis 2 K.

Für die praktische Anwendung bedeutet das, man müsste je nach Wärmespeicherfähigkeit der Außenwand einen Mittelungszeitraum festlegen und für die jeweilige Klimaregion die Außenlufttemperaturkorrektur bestimmen. Für die Festlegung der Wärmespeicherfähigkeit müsste die qualitative Einteilung in „leicht“, „mittel“ und „schwer“ ausreichend sein. Diesen Speicherklassen ordnet man dann den Zwei-, Drei- bzw. Viertagesmittelwert zu.

4.1 Einfluss des Heizsystems

Für die Einschätzung des Zeitverhaltens zur Auswahl des Mittelungszeitraumes müssen noch einige Besonderheiten beachtet werden. Die Übergangsfunktion in *Bild 4* bezieht sich auf ein rein konvektives Heizsystem (RLT-Anlage), wobei die Raumlufttemperatur den Sollwert der Raumtemperaturregelung darstellt (Soll-Wert TL). Die Zielgröße bei der stationären Heizlastberechnung ist jedoch die operative Temperatur (Soll-Wert TOP), die mit dem Bauherrn zu vereinbaren ist.

Das *Bild 7* zeigt daher die normierten Übergangsfunktionen für verschiedene Anlagentypen, die sich durch den Konvektivanteil der Wärmeabgabe unterscheiden und für die operative Temperatur als Sollwert.

Man erkennt, dass Anlagen mit abnehmendem Konvektivanteil schneller reagieren müssen und damit eine

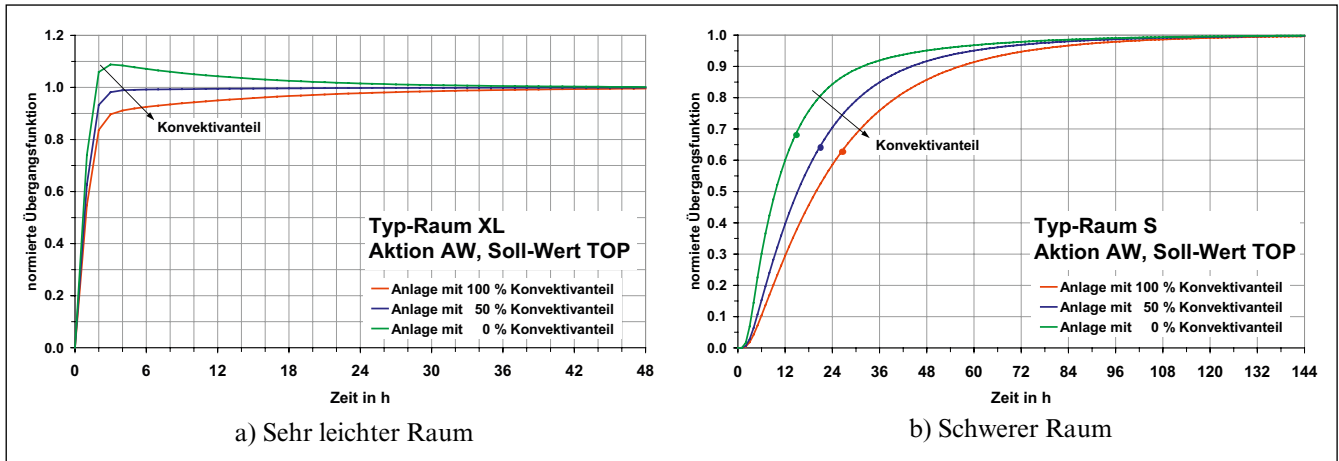


Bild 7. Normierte Übergangsfunktion der Transmissionsheizlast für zwei Räume mit unterschiedlicher Bauschwere in Abhängigkeit vom Konvektivanteil der Anlage und für die Sollwertgröße „operative Temperatur TOP“.

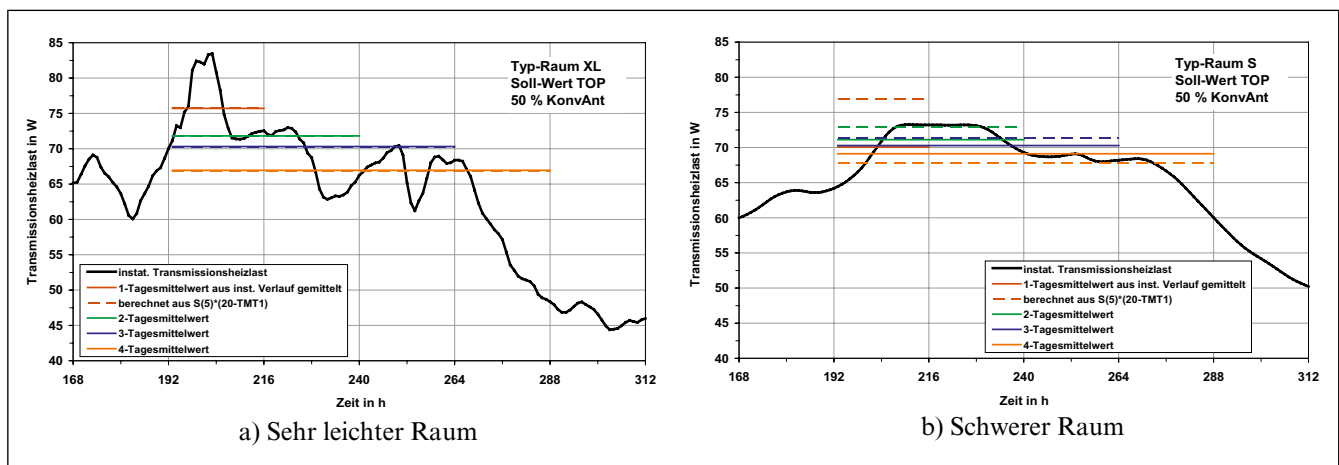


Bild 8. Instationäre Transmissionsheizlast durch eine 3,5 m² große Außenwand im Vergleich mit stationärer Berechnung mit Mittelwerten der Außenlufttemperatur.

höhere Leistung benötigen. Für eine reine Strahlungsheizung (0% Konvektivanteil) im sehr leichten Raum erscheint die Form der Übergangsfunktion wie bei einem Vorhaltglied mit Verzögerung 2. Ordnung (PDVZ2-Glied). Die Vorhaltzeit geht mit einem negativen Vorzeichen in die Summenzeitkonstante ein und kann dazu

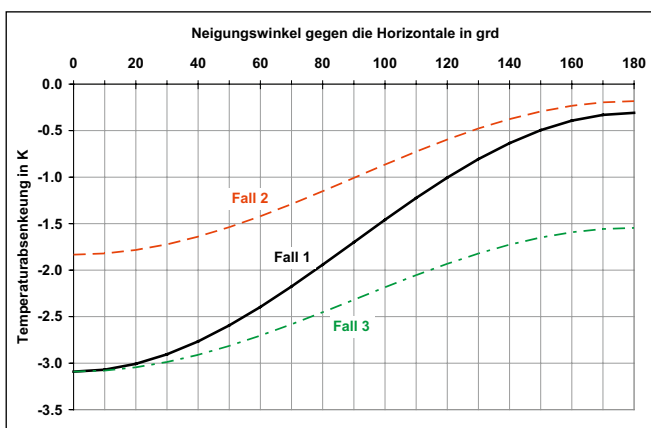


Bild 9. Temperaturabsenkung infolge langwelliger Wärmeabstrahlung an den klaren Himmel. Winterfall mit -14°C Außenlufttemperatur, 4 m/s Windgeschwindigkeit.

führen, dass die Summenzeitkonstante negativ wird. Auf eine Punktmarkierung in *Bild 7a* wurde daher verzichtet.

Analog zu *Bild 5* erfolgt in *Bild 8* der Vergleich zwischen stationärer und instationärer Berechnung für ein Heizsystem mit 50% Konvektivanteil. Die höheren Anforderungen bei diesem System bewirken, dass man hier mit kürzeren Mittelungszeiträumen rechnen sollte, etwa beim leichten Raum mit dem Eintagesmittelwert und beim schwereren Raum mit dem Dreitägesmittelwert.

Voraussetzung für diese Berechnung ist, dass für den Konvektivanteil der Heizung eine ideale Raumluftdurchmischung vorliegt und dass der Strahlungsanteil sich gleichmäßig auf alle Oberflächen verteilt. Zum Beispiel könnte eine ungünstige Aufstellung eines Heizkörpers oder eine ineffektive Luftströmung eine noch höhere Leistung erfordern.

4.2 Außentemperatur statt Außenlufttemperatur?

In [12] wurde der Begriff „Außentemperatur“ definiert, um auch die langwellige Wärmeabstrahlung an den klaren (unbewölkten) Himmel, der sich diatherman verhält, in der Transmissionsrechnung zu erfassen. Dieser Effekt, der auch messtechnisch nachgewiesen wurde, bewirkt, dass

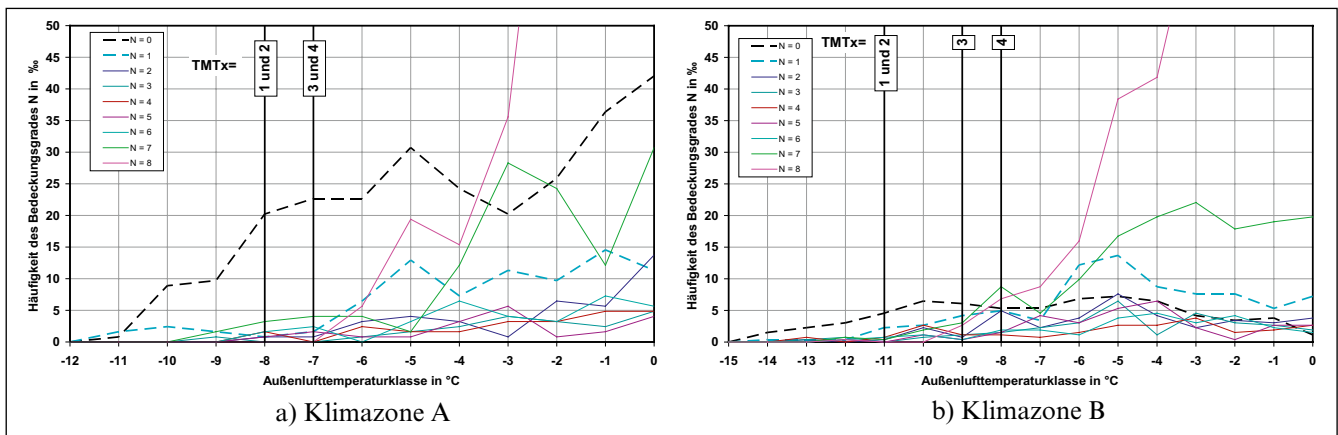


Bild 10. Häufigkeitsverteilung des Bedeckungsgrades bei Außenlufttemperaturen unter 0°C für zwei Klimazonen.

die der Berechnung zugrunde liegende Außentemperatur unterhalb der Außenlufttemperatur liegen muss. Die Temperaturabsenkung ist in *Bild 9* beispielhaft dargestellt.

Bei Dächern kann die Temperaturabsenkung in diesem Beispiel bis zu 3 K unter der Außenlufttemperatur betragen. Bei vertikalen Außenbauteilen (90°) mit normalem Oberflächenmaterial (z. B. Putz) beträgt die Temperaturabsenkung 1,5 bis 2 K. Liegt dem betrachteten Außenbauteil ein Parkplatz oder ein anderes Gebäude mit Metallfassade gegenüber, kann die Temperaturabsenkung 2,0 bis 2,5 K betragen. Das sind schon Größenordnungen, die im Vergleich mit der *Tabelle 1* zu bewerten sind.

In der VDI 2078 ist die langwellige Wärmeabstrahlung an den klaren Himmel in der kombinierten Außentemperatur enthalten, die zusätzlich zur Außentemperatur die Absorption der kurzwelligigen Sonnenstrahlung berücksichtigt. Anhand der vorliegenden Testreferenzjahre, die auch den stündlichen Bedeckungsgrad des Himmels angeben, kann nun beurteilt werden, ob die Temperaturabsenkung bei der Transmissionsrechnung berücksichtigt werden muss.

Hierzu ist in *Bild 10* die Häufigkeitsverteilung des Bedeckungsgrades für stündliche Außenlufttemperaturen unter 0°C beispielhaft für zwei Klimazonen angegeben.

Die Bedeckungsgrade $N = 0$ Achtel und $N = 1$ Achtel sind gestrichelt dargestellt, um die Häufigkeit des klaren bzw. des fast klaren Himmels hervorzuheben. Die stündlichen Außenlufttemperaturen sind in 1 K-Temperaturklassen eingeteilt. Eingetragen als senkrechte Linien sind auch die x -Tagesmitteltemperaturen ($x = 1 \dots 4$) der Außenlufttemperatur, die ebenfalls in eine 1 K-Temperaturklasse eingeordnet sind. Diese x -Tagesmitteltemperaturen errechnen sich aus den stündlichen Außenlufttemperaturen und korrespondieren daher mit der linken und rechten Umgebung der Außenlufttemperaturklassen.

Bisher ging man davon aus, dass bei besonders extremen Temperaturen ein klarer Himmel vorliegt. Die Unter-

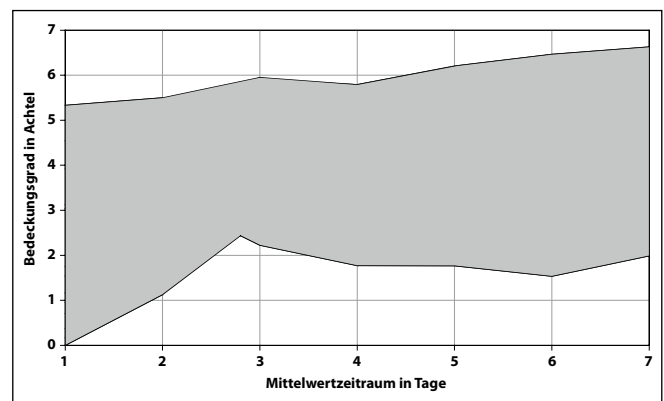


Bild 11. Bereich der gemittelten Bedeckungsgrade für die Klimazonen nach Testreferenzjahr 2007 in Abhängigkeit vom Mittelwertzeitraum.

suchung hat jedoch ergeben, dass eine deutliche Dominanz des klaren Himmels bei tiefen Temperaturen nur in fünf von 15 Klimazonen auftritt, wie z. B. in *Bild 10a* dargestellt. Die anderen Klimazonen verhalten sich eher wie in *Bild 10b* angegeben.

Da die x -Tagesmitteltemperaturen in einem Bereich liegen, in dem auch höhere Bedeckungsgrade auftreten, ist für das stationäre Berechnungsverfahren der passende x -Tagesmittelwert des Bedeckungsgrades zu bestimmen. In *Bild 11* sind solche Werte enthalten und man erkennt, dass sich durch die Tagesmittelwertbildung und durch die teilweise geringe Dominanz des klaren Himmels ein großer Streubereich des mittleren Bedeckungsgrades für alle Klimazonen ergibt. Es bestätigt sich, dass nur bei den genannten fünf Klimazonen ein klarer Himmel vorherrscht und dass auch nur beim Eintagesmittelwert.

Man kann daher bei dem stationären Verfahren auf die Berücksichtigung der Temperaturabsenkung verzichten. Bei einem Vergleich mit der dynamischen Heizlastberechnung ist dieser Unterschied jedoch zu beachten.

Fall	Emissionsgrad der Wandoberfläche	Emissionsgrad der terrestrischen Umgebung
1	0,90 (normal)	0,90 (normal)
2	0,50 (Metallfassade)	0,90 (normal)
3	0,90 (normal)	0,50 (Parkplatz)

5. Lüftungsheizlast

Für Übertragungssysteme mit Durchgriff ist die Summenzeitkonstante nicht ausreichend, um das Zeitverhal-

ten des Systems zu kennzeichnen. Ein Durchgriff entsteht, wenn sofort nach dem Einsetzen einer Aktion eine Reaktion notwendig ist. Für die Lüftungsheizlast bedeutet dies, dass sie sofort vorhanden ist, sobald kalte Luft in den Raum eindringt.

Bei der reinen Luftheizung ist von der Anlage die folgende konvektive Last sofort in vollem Umfang abzudecken

$$\Phi_L = \dot{V}_{ZU} \cdot (c \cdot \rho)_L \cdot (T_{RL} - T_{ZU}) \quad (1)$$

Φ_L Lüftungsheizlast eines Raumes in W
 \dot{V}_{ZU} Zuluftvolumenstrom in den Raum in m³/h
 T_{ZU} Zulufttemperatur in °C
 T_{RL} Raumlufttemperatur in °C
 $(c \cdot \rho)_L = 0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \text{ K})$ spezifische volumetrische Wärmekapazität der Luft

Als Zulufttemperatur ist im Falle eines Außenluftwechsels die Außenlufttemperatur einzusetzen. Die DIN EN 12831 setzt jedoch vereinfachend die Norm-Außentemperatur ein, welche die o.g. Außenlufttemperaturkorrektur beinhaltet. Da diese Korrektur nur für die Transmissionslast bei schwerer Bauweise gilt, ist diese Vereinfachung nicht nachvollziehbar und physikalisch unsinnig.

Der Mittelungszeitraum für die Außenlufttemperatur müsste bei Systemen mit Durchgriff so klein wie möglich

sein. Da es sich hier aber um ein stationäres Rechenverfahren handelt, kommt nur der Eintagesmittelwert in Betracht.

Bei Heizungsanlagen mit Strahlungsanteil ist der Durchgriff größer als bei der reinen Luftheizung. Der Durchgriff errechnet sich aus

$$D(\Phi_L) = \frac{\Phi_L}{\beta_K} \quad (2)$$

$D(\Phi_L)$ Durchgriff der Lüftungsheizlast eines Raumes in W
 β_K Konvektivanteil der Anlage
 $1 - \beta_K$ Strahlungsanteil der Anlage

Für die RLT-Anlage ist $\beta_K = 1$, für die reine Strahlungsheizung gilt $\beta_K = 0$. Im Extremfall muss also die reine Strahlungsheizung eine theoretisch unendlich hohe Leistung aufbringen, um den Sollwert der Raumtemperatur sofort beim Auftreten einer Lüftungsheizlast aufrechtzuerhalten. Übliche Platten- und Gliederheizkörper haben einen Konvektivanteil von 0,5 bis 0,9.

Ein unendlich hoher Durchgriff ist ebenfalls bei der Fußbodenheizung vorhanden, auch wenn der Konvektivanteil größer als 0 ist. Um die Wärmespeichermasse oberhalb der Rohre sofort zu erwärmen, ist eine unendlich hohe Leistung notwendig. Da diese nicht erbracht werden kann, wird der gewählte Sollwert unterschritten. Man

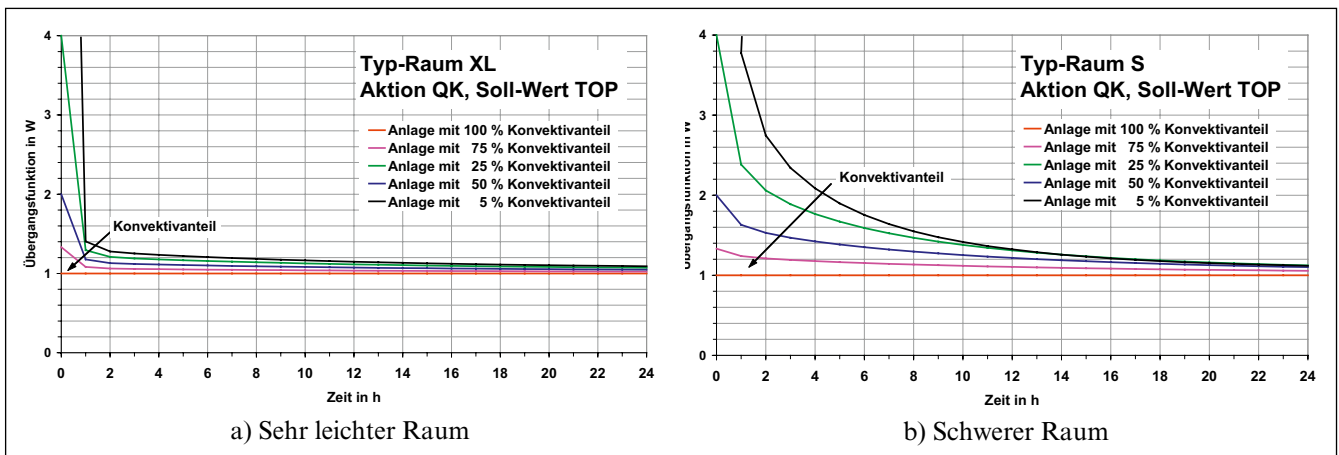


Bild 12. Übergangsfunktion der Lüftungsheizlast in Stundenschritten für zwei Räume mit unterschiedlicher Wärmespeichereigenschaft unter Variation des Konvektivanteils der Anlage. Sollwertgröße ist die operative Temperatur.

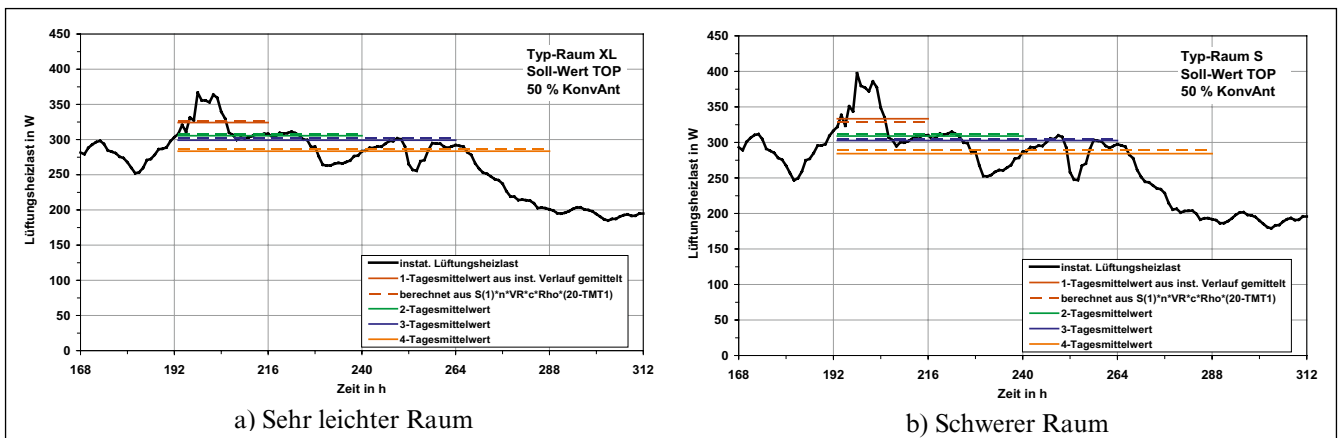


Bild 13. Instationäre Lüftungsheizlast bei 0,5-fachem Luftwechsel im Vergleich mit stationärer Berechnung mit Mittelwerten der Außenlufttemperatur. 50% Konvektivanteil der Anlage. Sollwert ist die operative Temperatur TOP.

müsste daher bei solchen Systemen den Innentemperaturabfall projektbezogen berechnen und bewerten.

Um das Zeitverhalten bei Heizsystemen mit $\beta_K \leq 1$ zu veranschaulichen, sind in *Bild 12* die Übergangsfunktionen der Aktion QK (konvektive Wärmebelastungen innen, s. [11]) für die o. g. zwei Räume dargestellt.

Erst wenn der Konvektivanteil der Anlage kleiner als 100% ist, wirkt sich die Wärmespeicherfähigkeit der Umfassungskonstruktion auf die Lüftungsheizlast aus. Die Auswirkung ist dergestalt, dass sich mit abnehmendem Konvektivanteil die Lüftungsheizlast erhöht (Werte > 1), und zwar beim schweren Raum mehr, als beim leichten Raum.

Man beachte auch den gegenläufigen Effekt zur Transmissionsheizlast. Eine höhere Wärmespeicherfähigkeit des Raumes wirkt sich bei der Transmission heizlastmindernd aus. Dagegen erhöht sich die Lüftungsheizlast bei einem schweren Raum für Systeme mit $\beta_K < 1$. Bei der Transmission wird die Aktionsgröße „Außentemperatur“ durch die Baukonstruktion gedämpft. Je „schwerer“ die Baukonstruktion, desto geringer ist die Heizlast. Bei der Lüftung findet eine solche Dämpfung nicht statt. Der Strahlungsanteil der Heizung kann nur über die sekundäre Erwärmung der inneren Bauteile die Belastung ausgleichen. Je „schwerer“ die Baukonstruktion, desto mehr Strahlungsleistung muss aufgebracht werden, um die inneren Oberflächentemperaturen anzuheben.

Man erkennt aus dem *Bild 12*, dass auch beim schweren Raum mit einem Konvektivanteil von ca. 50% der Eintagesmittelwert ausreichen müsste, um alle Vorgänge zu erfassen. Das bestätigt auch *Bild 13* durch den geringen Unterschied zwischen durchgezogener und gestrichelter farbiger Linie beim Eintagesmittelwert.

Die Außenlufttemperaturkorrektur nach DIN EN 12831 bei der Berechnung der Lüftungsheizlast wirkt sich also genau in die falsche Richtung aus. Statt einer Minderung bei zunehmender Bauschwere müsste bei der Lüftungsheizlast für Systeme mit Strahlungsanteil eine Erhöhung erfolgen.

Für die Raumlufttemperatur in Glg. 1 wird in der Norm näherungsweise die Norm-Innentemperatur eingesetzt. Bei konvektiven Heizsystemen wird die Raumlufttemperatur zum Ausgleich kalter Außenflächen über der Norm-Innentemperatur liegen, die eine empfundene (operative) Temperatur darstellt. Die Lüftungsheizlast wird daher für diese Systeme zu gering berechnet. Bei Strahlungsheizsystemen kann das umgekehrt sein. In der alten DIN 4701 [1] wurde der Unterschied zwischen Raumluft- und Norm-Innentemperatur durch die Außenflächenkorrektur Δk_A berücksichtigt. Im aktuellen nationalen Beiblatt 1 der DIN EN 12831 ist diese Korrektur nicht mehr enthalten. Dagegen empfiehlt das europäische Hauptblatt der DIN EN 12831 [13, Anh. B.2] eine Korrektur vorzunehmen, wenn der Unterschied mehr als 1,5 K beträgt.

Somit ergeben sich drei Gründe, die dafür sprechen, dass die Lüftungsheizlast in der DIN EN 12831 unzureichend bemessen wird:

1. Aufgrund der sofort wirkenden Last müsste der Mittelungszeitraum der Außenlufttemperaturen kürzer gewählt werden.

2. Die Außenlufttemperaturkorrektur nach *Tabelle 1* dürfte bei der Lüftungsheizlast nicht angesetzt werden. Eventuell wäre eine entgegengesetzte Korrektur bei Heizsystemen mit Strahlungsanteil und großer Bauschwere notwendig.
3. Anstelle der Norm-Innentemperatur müsste die Raumlufttemperatur verwendet werden, um eine Unterbemessung bei konvektiven Heizsystemen bzw. eine Überbemessung bei Strahlungsheizsystemen zu vermeiden.

In der korrigierten und erweiterten Kühllastberechnung nach [11] wird grundsätzlich zwischen Raumluft- und operativer Temperatur unterschieden.

6. Handlungsempfehlung

Aus den o. g. Erkenntnissen lässt sich folgende Vorgehensweise bei der Heizlastberechnung ableiten:

1. Zunächst sollte bestimmt werden, ob man mit den Daten aus dem TRY 2007, aus dem TRY 2050 oder mit einem Mittelwert aus beiden rechnen möchte. Der Mittelwert aus dem bisherigen Verlauf und dem prognostizierten Verlauf der Außenlufttemperaturen wäre wohl am Besten geeignet, das zukünftige Teillastverhalten bei einer derzeitigen Auslegung mit den Daten aus dem TRY 2007 zu untersuchen. Bezüglich der Auswahl der Daten für die Dimensionierung der Anlage sollte diese Option mit dem Bauherrn unter eingehender Beratung und unter Berücksichtigung der Lebensdauer der Anlage abgestimmt werden.
2. Durch die Auswahl des Ortes wird die Klimazone festgelegt. Für jede Klimazone stehen zweimal 1 bis 4 Tagesmitteltemperaturen (TMT1 bis TMT4) sowie die Jahresmitteltemperatur zur Verfügung. Die Berechnung erfolgt nunmehr mit drei statt mit zwei Temperaturen, getrennt für die Lüftungsheizlast, Transmissionsheizlast und Wärmeverluste an das Erdreich bzw. an andere Gebäudeeinheiten oder Gebäude.
3. Es ist die Bauschwere des Gebäudes anzugeben, eingeteilt in „leicht“, „mittel“ und „schwer“. Diese Angabe sollte raumweise erfolgen, z. B. für ein Bad mit wandhohen Fliesen in einem Gebäude leichter Bauart oder für einen Dachausbau in einem Gebäude schwerer Bauart.
4. Weiterhin ist eine Angabe über das zum Einsatz kommende Heizsystem erforderlich. Hierbei muss nur zwischen einem „überwiegend konvektiven Heizsystem“ (RLT-Anlage, Konvektoren, Plattenheizkörper mit mehreren Konvektionsreihen) und einem „überwiegend Strahlungsheizsystem“ (Radiatoren, Deckenstrahler, Fußboden- und Deckenheizung) unterschieden werden.

Daraus ergeben sich die zu verwendenden Tagesmittelwerte für den jeweiligen Ort (s. *Tabelle 2*). Aufgrund des Durchgriffs ist für die Lüftungsheizlast immer der Eintagesmittelwert zu verwenden. Bei der Transmissionsheizlast geht die Bauschwere des Gebäudes ein und es erfolgt

Tabelle 2. Auswahl der Tagesmittelwerte der Außenlufttemperaturen für die Heizlastberechnung. TMT_x bedeutet x-Tagesmitteltemperatur.

	Bauschwere des Gebäudes		
	leicht	mittel	schwer
Heizlastart	überwiegend konvektives Heizsystem		
Transmission	TMT2	TMT3	TMT4
Lüftung	TMT1	TMT1	TMT1
Heizlastart	überwiegend Strahlungsheizsystem		
Transmission	TMT1	TMT2	TMT3
Lüftung	TMT1	TMT1	TMT1

Tabelle 3. Angabe der verwendeten Tagesmittelwerte der Außenlufttemperaturen für die Heizlastberechnung nach DIN EN 12831.

Heizlastart	Typ-Raum XL	Typ-Raum S
Transmission	TMT2 aus [2]	TMT2 aus [2]+4 K
Lüftung	TMT2 aus [2]	TMT2 aus [2]+4 K

eine Verschiebung zu tieferen Temperaturen beim Strahlungsheizsystem.

7. Beispielrechnung

Um die Auswirkungen der neuen Außenlufttemperaturen auf das Endergebnis zu untersuchen, wird ein Vergleich der Transmissions- und Lüftungsheizlast mit den Ergebnissen der bisherigen Rechnung nach DIN EN 12831 [2] hergestellt. In *Tabelle 3* sind hierzu die verwendeten Tagesmittelwerte der Norm zur Gegenüberstellung mit der *Tabelle 2* angegeben.

Die Berechnungen wurden für die o.g. zwei Typ-Räume, für vier Klimaregionen und für die zwei genannten Heizsysteme durchgeführt. Da eine Transmission an das Erdreich nicht enthalten ist, findet auch kein Vergleich bezüglich der Jahresmitteltemperaturen statt.

In *Tabelle 4* und *5* sind die Berechnungsergebnisse zusammengestellt. Die TRY-Ergebnisse sind auf die Ergebnisse einer Berechnung nach DIN EN 12831 bezo-

gen. Somit besteht eine Unabhängigkeit vom $U \cdot A$ -Wert des Außenbauteils und vom Außenluftwechsel. Beiden Ergebnissen liegt die gleiche Repräsentanzstation bzw. Ort zugrunde. Zusätzlich wird der Ort Wendelstein mit der Repräsentanzstation der Klimaregion 4 verglichen, da in dieser Klimaregion die höchsten Temperaturunterschiede in der Norm [2, Tab. 1] vorliegen (s. *Bild 3*).

Es ergeben sich sehr unterschiedliche Abweichungen zu der bisherigen Berechnung nach DIN EN 12831. Teilweise ist sogar eine höhere Lüftungsheizlast notwendig, was auch mit der Verwendung des Eintagesmittelwertes begründbar ist, der gegenüber dem Zweitagesmittelwert niedriger ist. In der Prognose (TRY 2050) sind bis zu 32% Überdimensionierungen zu erwarten, wenn nach der derzeit gültigen Norm ausgelegt wird. Die Orte in der Klimaregion C scheinen in der Norm völlig überbewertet zu sein. Beim Heizsystem mit Strahlungsanteil fallen die Unterschiede zur Norm etwas geringer aus, weil die Verwendung kürzerer Zeitmittelwerte dem Effekt der Klimaerwärmung entgegen wirkt.

8. Fazit

In letzter Zeit wurden Untersuchungen veröffentlicht, die belegen, dass ca. 80% der Heizungsanlagen ineffektiv arbeiten. Ein nicht unerheblicher Anteil dieser Anlagen ist überdimensioniert. Auch für den Einsatz erneuerbarer Energietechnologien ist eine Überdimensionierung aus technischen und finanziellen Gründen ungünstig. Die Leistung solcher Technologien hat gegenüber der konventionellen Technik ein begrenztes Potenzial. Die Heizlast sollte daher genauer und vor allem projektbezogener ermittelt werden.

Darüber hinaus verschaffen der Physik zuwider laufende Berechnungsvorschriften keine Planungssicherheit. Das ist ein Aspekt, der bei der Einführung von vereinfachten Rechenmethoden bisher zu wenig Beachtung fand, besonders bei der DIN EN 12831.

Ein Grund für die Überdimensionierungen könnte sein, dass die Außenlufttemperaturen nach DIN EN

Tabelle 4. Heizlastberechnung für vier Klimaregionen im Vergleich zu den Ergebnissen der DIN EN 12831 [2].
Konvektives Heizsystem.

Heizlastart	Typ-Raum XL			Typ-Raum S		
	TRY 2007 [%]	TRY 2050 [%]	Mittel [%]	TRY 2007 [%]	TRY 2050 [%]	Mittel [%]
Klimaregion A						
Transmission	-7	-19	-13	0	-16	-8
Lüftung	-6	-17	-12	6	-6	0
Klimaregion B						
Transmission	-4	-27	-16	0	-19	-10
Lüftung	3	-19	-8	17	-9	4
Klimaregion C						
Transmission	-22	-27	-25	-11	-20	-16
Lüftung	-20	-27	-23	-9	-16	-13
Klimaregion D						
Transmission	-8	-28	-18	-2	-24	-13
Lüftung	-6	-22	-14	5	-13	-4
Wendelstein						
Transmission	-21	-32	-26	-16	-30	-23
Lüftung	-20	-30	-25	-11	-22	-17

Tabelle 5. Heizlastberechnung für vier Klimaregionen im Vergleich zu den Ergebnissen der DIN EN 12831 [2].
Heizsystem mit Strahlungsanteil.

Heizlastart	Typ-Raum XL			Typ-Raum S		
	TRY 2007 [%]	TRY 2050 [%]	Mittel [%]	TRY 2007 [%]	TRY 2050 [%]	Mittel [%]
Klimaregion A						
Transmission	-6	-17	-12	4	-11	-3
Lüftung	-6	-17	-12	6	-6	0
Klimaregion B						
Transmission	3	-19	-8	3	-19	-8
Lüftung	3	-19	-8	17	-9	4
Klimaregion C						
Transmission	-20	-27	-23	-10	-19	-14
Lüftung	-20	-27	-23	-9	-16	-13
Klimaregion D						
Transmission	-6	-22	-14	0	-22	-11
Lüftung	-6	-22	-14	5	-13	-4
Wendelstein						
Transmission	-20	-30	-25	-13	-26	-19
Lüftung	-20	-30	-25	-11	-22	-17

12831 die Klimaerwärmung nicht berücksichtigen. In diesem Beitrag werden daher Außenlufttemperaturen aus neueren meteorologischen Studien vorgestellt. Weiterhin wird der sinnvolle Einsatz dieser Daten gezeigt, der sich an dem Zeitverhalten von Gebäude und Anlage orientiert. Daraus folgt eine Anleitung, wie ein stationäres Rechenverfahren bei einem eigentlich instationären Vorgang angewendet werden muss. Mit dem vorliegenden Aufsatz erfolgt auch ein Abgleich zur dynamischen Heizlastberechnung mittels direkter Verwendung der neuen TRY-Daten.

Eine einheitliche Tendenz der Klimaregionen ist nicht erkennbar, weder bei der Erhöhung der Zweitagesmitteltemperatur gegenüber der Norm noch bei der Erhöhung der Mehrtagesmitteltemperatur für schwere Räume. Daraus ergibt sich, dass die sog. Außenlufttemperaturkorrektur auch in Abhängigkeit der Klimaregion zu wählen ist.

Für die Lüftungsheizlast wird vorgeschlagen, grundsätzlich den Eintagesmittelwert zu verwenden. Bei der Transmissionsheizlast sollte man unterscheiden zwischen leichter, mittlerer und schwerer Bauweise sowie der Art des Heizsystems und diesen einen Ein- bzw. Mehrtagesmittelwert zuordnen. In der DIN EN ISO 15927-5 [14] wird ebenfalls empfohlen, solche Mehrtagesmittelwerte für die Heizlastberechnung zu generieren.

Die Satzung des DIN e. V. sieht vor, DIN-Normen alle fünf Jahre hinsichtlich der Notwendigkeit einer Überarbeitung zu überprüfen. Für das Beiblatt 1 bedeutet das, dass unter Berücksichtigung der Einspruchsfrist frühestens 2014 ein neuer Weißdruck vorliegen könnte. Allerdings wurde auch ein neues Hauptblatt angekündigt, wodurch sich die Neuausgabe des Beiblattes weiter verzögern könnte.

Da der Autor den noch verbleibenden Zeitraum bis zu einer Überarbeitung der Außenlufttemperaturen für zu lang hält, hat er einige große Softwareunternehmen angeschrieben. Als minimale Softwareänderung mit der Möglichkeit einer händischen Eingabe wäre nur die Berechnung der Lüftungsheizlast mit einer von der Transmissionsheizlast getrennten Außenlufttemperatur notwendig. Leider war keines der Unternehmen bereit, eine entspre-

chende Änderung in ihrem Heizlastprogramm derzeit vorzunehmen. Hier kann nur die Nachfrage der Kunden etwas bewirken. Heutzutage entscheiden die Softwareunternehmen was und wie in der TGA-Branche geplant wird.

Vorstehende Ausführungen wären jedoch nicht notwendig, wenn man wie bei der Kühllastberechnung ein dynamisches Verfahren anwenden würde. Dadurch könnte auch der Innentemperaturabfall bei der zwangsweisen Unterdimensionierung speicherbehafteter Heizsysteme projektbezogen berechnet werden.

Literatur

- [1] DIN 4701:1983-03: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden. Teil 1: Grundlagen der Berechnung, Teil 2: Tabellen, Bilder, Algorithmen.
- [2] DIN EN 12831 Beiblatt 1:2008-07: Heizsysteme in Gebäuden. Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast. Nationaler Anhang NA.
- [3] *Esdorn, H. und Wentzloff, G.*: Neuvorschläge zum Entwurf DIN 4701 „Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden“. Teil II: Zum Einfluß der Gebäudespeicherfähigkeit auf die Norm-Außentemperatur. HLH Bd. 32 (1981) Nr. 10, S. 394–401.
- [4] *Jahn, A.*: Das Test-Referenzjahr. Teil 1: Test-Referenzjahre • Grundlagen • Datenauswahlverfahren und internationale Aktivitäten. HLH 1977-6, S. 199–206. Teil 2: Ein Test-Referenzjahr für Berlin (TRY Berlin). HLH 1977-7, S. 257–265.
- [5] *Jahn, A.*: Methoden der energetischen Prozessbewertung raumlufttechnischer Anlagen und Grundlagen der Simulation. Diss. TU Berlin, 1978.
- [6] *Blümel, K., Hollan, E., Kähler, M., Peter, R. und Jahn, A.*: Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland. Forschungsbericht BMFT-FB-T86-051, 1986.
- [7] *Christoffer, J., Deutschländer, T. und Webs, M.*: Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse. Deutscher Wetterdienst, Abteilung Klima- und Umweltberatung, Offenbach am Main, 2004.
- [8] VDI 2078:1994-10: Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume. (VDI-Kühllastregeln).

- [9] Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS). Vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen.
- [10] Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Vom Bundeskabinett am 31. August 2011 beschlossen.
- [11] *Nadler, N.*: Korrekturvorschläge zum EDV-Verfahren der VDI 2078. Teil 1a: Algorithmen. HLH Bd. 54 (2003) Nr. 8, S. 59–66.
- [12] *Nadler, N.*: Kombinierte Außentemperatur mit langwelligen Reflexionen an der terrestrischen Umgebung. Gesundheits-Ingenieur 118 (1997) Nr. 6, S. 310–315. Abstract mit Rechenbeispielen im C.A.T.S.-Newsletter August 2006.
- [13] DIN EN 12831:2003-08: Heizungsanlagen in Gebäuden. Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast.
- [14] DIN EN ISO 15927-5:2005-03: Wärme und feuchteschutztechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung und Darstellung von Klimadaten – Teil 5: Daten zur Bestimmung der Norm-Heizlast für die Raumheizung.