

Wird die thermische Bauteilaktivierung kaputt aktiviert?

Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Glück, F+E TGA, Jößnitz (Plauen)

Die derzeitige Euphorie zum Einsatz der thermischen Bauteilaktivierung lässt in vielen Fällen die tiefgründige Überlegung - mitunter sogar die seriöse Planung - vermissen, sodass die Gefahr besteht eine gute Lösung durch Fehlschläge in Misskredit zu bringen. Modernität eines Verfahrens und Reduzierung der Investitionskosten allein reichen nicht aus, um ein System dauerhaft am Markt zu platzieren. Letztlich entscheiden die Langzeitkriterien über den dauerhaften Bestand einer technischen Lösung. Deshalb sind die Vor- und Nachteile jedes Systems unter den gegebenen Randbedingungen genau abzuwägen. Im Weiteren wird versucht die relevanten Merkmale zu betrachten. Detaillierungen finden sich in [1].

1. Behaglichkeit

Die Forderungen für thermisch behagliche Bedingungen nach DIN 1946 Teil 2

- operative Raumtemperatur (Empfindungstemperatur) $t_E = 22 \text{ °C} \dots 25 \text{ °C}$
- minimale Lufttemperatur $t_{L,\min,0,1} = 21 \text{ °C}$ in der Höhe $h_0 = 0,1 \text{ m}$
- maximaler vertikaler Lufttemperaturgradient $g_{Lt} = 2 \text{ K/m}$ im Bereich von $0,1 \text{ m}$ bis $1,1 \text{ m}$

ergeben im Sommerfall die maximal zulässige Strahlungstemperatur der Umgebungsflächen t_U beim Bezugspunkt in $h = 1,1 \text{ m}$ Höhe von

$$t_{U,\max} = 2 t_E - t_{L,\min,1,1\text{m}} = 2 t_E - (t_{L,\min,0,1\text{m}} + g_{Lt} (h - h_0))$$

$$t_{U,\max} = 2 \cdot 25 \text{ °C} - (21 + 1 \dots 2) \text{ K}$$

$$t_{U,\max} = 28 \text{ °C} \dots 27 \text{ °C}.$$

Diese Oberflächentemperaturen können im Bürobereich mit den üblichen inneren und äußeren Lasten in der Regel nur mit thermisch aktiven Oberflächen (Kühldecken, thermischer Bauteilaktivierung usw.) eingehalten werden. Nur-Luft-Klimatisierungen oder im Raum installierte reine Konvektionssysteme können in der Regel nicht die Einhaltung dieser Forderungen gewährleisten. Eine ausführliche Darstellung findet sich in [2]. In den Bildern 1 und 2 sind die Zusammenhänge (Temperaturen und Behaglichkeitsbereiche) für den Sommer- und den Winterfall grafisch dargelegt.

Aus wärmephysiologischer Sicht ist die thermische Bauteilaktivierung zu befürworten.

2. Umweltenergienutzung

Umweltenergie zum Kühlen oder Heizen - beispielsweise durch freie Kühlung (Kühltürme), Erdkollektoren, Langzeitspeicher, Solarkollektoren einfacher Bauart bereitgestellt - kann direkt oder mit geringer Temperaturveränderung durch Kältemaschinen bzw. Wärmepumpen nur dann wirtschaftlich eingesetzt werden, wenn die Kühl- oder Heizmedientemperaturen nahe an der Raumtemperatur liegen. Große Kühl- oder Heizflächen im Raum - wie z. B. durch die thermische Bauteilaktivierung gegeben - bieten die beste Voraussetzung zum Erreichen dieses Zieles.

Das optimale Dargebot von Umweltenergie ist in vielen Fällen zeitlich begrenzt. So sind beispielsweise die Effekte der freien Kühlung bei nächtlichen Temperaturen am günstigsten, solare Heizenergie kann zwischen 10⁰⁰ Uhr bis 16⁰⁰ Uhr vorteilhaft aufgenommen werden usw. Falls diese Energie nicht anderweitig speicherbar ist, kann die Speichermasse des Bauwerks herangezogen werden. Besonders kostengünstig ist die Energiespeicherung in einem raumbegrenzenden Bauteil (Decke, Wand). Dies ist der eigentliche Einsatzbereich der thermischen Bauteilaktivierung wie er ursprünglich konzipiert und auch publiziert wurde. Im Kühlfall ist dies auch gut machbar, denn auf die nächtliche Speicherphase folgt bei Bürobetrieb unmittelbar die Verbrauchsphase am Tag. Im Heizfall ist dies leider nicht in dieser Idealform gegeben. Ausführliche Beispielrechnungen, die auch die Geometrie der Rohrregister berücksichtigen, sind in [1] vorgestellt.

3. Investitionskosten

Die relativ niedrigen Investitionskosten werden meistens sehr positiv beurteilt, da in der Regel nur die flächenbezogenen Preise der Systeme verglichen werden. Richtig ist es, die leistungsbezogenen Preise in Relation zu setzen. Diese triviale Gegebenheit sei nochmals untersetzt:

- Betonkernaktivierung mit 80 DM/m² bei 35 W/m² ⇒ 2,29 DM/W
- Kühlsegel mit 275 ... 150 DM/m² bei 120 W/m² ⇒ 2,29 ... 1,25 DM/W.

(Die genannten Werte sind Angeboten bzw. Herstellerangaben entnommen und beinhalten die Geschossverrohrung mit.)

Bei geschickter Konstruktion eines Kühlsegels als Multifunktionselement - siehe auch [2] - z. B. mit integrierter Luftzufuhr und Beleuchtung sind die genannten Preisreduzierungen für Segel möglich. Damit stellt selbst bei reinem "Investorendenken" die thermische Bauteilaktivierung keine "zwingende" Notwendigkeit" dar.

Verteuernd wirkt allerdings, dass man bei Einsatz von Kühlsegeln in der Regel eine individuelle Raumtemperaturregelung verwirklicht, woraus dann auch ein erheblicher Komfortgewinn und Energieeinsparungen resultieren.

4. Modernität - Modetrend

Einem Modetrend ohne technisch-wirtschaftliche Grundlage in *allen* Fällen umsetzen zu wollen, hat sich bisher stets negativ auf eine "lange Lebenszeit der Neuheit" ausgewirkt. Dies wirkt sich dann leider auch negativ auf die Anwendungsfälle aus, für die das System eigentlich prädestiniert ist.

Die thermische Bauteilaktivierung ist bisher in ihrem facettenreichen Betriebsverhalten (Behaglichkeit, Speicherfähigkeit, Energiekosten usw.) ungenügend untersucht und die bestehenden Restriktionen sind nicht deutlich genug herausgearbeitet worden. Stattdessen wurde dieses System als "Alleskönner" undifferenziert dargestellt.

Oftmals werden die Ergebnisse schöneredet und vorgesehene Anlagen-Redundanzen, die die Funktionstüchtigkeit erst ermöglichen, verschwiegen. Wer dies nicht durchschaut, wird später enttäuscht sein (die "Doppelfassade" lässt grüßen!).

5. Regelung und Steuerung

Die bisherigen Entwicklungsziele der Heiz- und Kühlsysteme waren in der Regel auf einen trägheitsarmen Betrieb ausgerichtet, der alle auftretenden Lasten möglichst zeitgleich kompensieren konnte. Der thermischen Bauteilaktivierung liegt eine völlig veränderte Philosophie zugrunde. Es wird möglichst viel Umweltenergie prognosegesteuert unter Berücksichtigung des möglichen Lastverlaufs und des Witterungsverlaufs im Bauteil eingespeichert. Die Entladung des Speicherbauteils erfolgt rein passiv ohne Einflussmöglichkeit des Raumnutzers, was den Akzeptanzwillen des Nutzers voraussetzt.

Wegen der relativ kleinen Unter- oder Übertemperaturen der Decke zum Raum ist der Selbstregelleffekt sehr gut. Die Selbstregelung ist aber auch stets mit einer Energieverschwendung verbunden, da letztendlich die Raumtemperaturen vom Sollwert abweichen. Die thermoaktive Decke verkörpert schließlich einen "direktwirkenden Proportionalregler".

Es können im Tagesgang Raumtemperaturabweichungen von der "Norm" auftreten und die in den Raum eingetragenen Lasten sind möglicherweise sogar in einer 24-Stunden-Periode nicht

kompensierbar (anhaltende Hitzeperiode).

Theoretisch könnte natürlich die thermische Bauteilaktivierung bezüglich der Wasserkreise so gestaltet werden, dass eine Einzelraumregelung möglich wäre. Im "Normalfall" wird die gesamte Deckenfläche ohne Rücksicht auf spätere Raumaufteilungen mitunter sogar über unterschiedliche Nutzer- bzw. Mietbereiche hinweg mit Rohrregistern eines steuerbaren Wasserkreises belegt. Außerdem ist die Wirkung der Kühl- und/oder Heizfunktion geschossübergreifend gewünscht.

Schlussfolgernd ist bei alleiniger thermischer Bauteilaktivierung der beschriebenen Gestaltung festzustellen:

- Es ist keine individuelle Regelung der Raumtemperaturen möglich!
- Grenzwerte für die Raumtemperaturen können nicht gewährleistet werden!
- Eine Abrechenbarkeit der verbrauchten Energie ist bei kleinen Mietbereichen meistens nicht gegeben!

6. Lüftungssysteme

Eine Lüftungsanlage zur Sicherung des hygienisch bedingten Außenluftbedarfs sollte parallel zu offenbaren Fenstern vorhanden sein. Zur Einhaltung einer Obergrenze der Raumlufffeuchte ist diese praktisch unabdingbar notwendig. Lässt man die Lüftungsanlage weg, dann ist die Deckentemperatur so hoch einzustellen, dass keine Kondensation auftreten kann. Damit wird jedoch das mögliche wärmetechnische Leistungspotential der Decke reduziert.

Würde man durch eine Lüftungsanlage Raumlufffeuchten unterhalb der Schwülegrenze $x = 11,5 \text{ g}_w/\text{kg}_{iL}$ gewährleisten, dann läge die maximale Taupunkttemperatur bei $16 \text{ }^\circ\text{C}$. Die übliche Betriebsweise der thermischen Bauteilaktivierung wäre problemlos möglich.

Verzichtet man auf eine Lüftungsanlage und trifft die Annahmen

- einfacher Luftwechsel pro Stunde
- Raumvolumen pro Person 25 m^3
- Wasserdampfabgabe des Menschen 70 g/h bei $26 \text{ }^\circ\text{C}$

so folgt daraus eine Raumlufffeuchte, die um $\Delta x = 2,4 \text{ g}_w/\text{kg}_{iL}$ über der aktuellen Außenluftfeuchte liegt. Hierbei sind keine Besucher und keine weiteren Feuchtequellen (z. B. Pflanzen) berücksichtigt worden. Als kleiner Zuschlag werde eine Erhöhung auf $\Delta x = 3 \text{ g}_w/\text{kg}_{iL}$ vorgenommen.

Die zur Deckentemperatur zugehörige Sättigungsfeuchte x_S beträgt:

Deckentemperatur	22 °C	23 °C	24 °C
Sättigungsfeuchte	17 g _w /kg _{tL}	18 g _w /kg _{tL}	19 g _w /kg _{tL}

Ausgehend von der Deckentemperatur ergeben sich somit die kritischen Außenluftzustände bei einer absoluten Feuchte von $x_{AL} = x_S - \Delta x$:

Deckentemperatur	22 °C	23 °C	24 °C
kritische Außenluftfeuchte	14 g _w /kg _{tL}	15 g _w /kg _{tL}	16 g _w /kg _{tL}

Die DIN 4710 gibt beispielsweise für Mannheim folgende Häufigkeiten an:

Außenluftfeuchte x_{AL}	≥ 14 g _w /kg _{tL}	≥ 15 g _w /kg _{tL}	≥ 16 g _w /kg _{tL}
jährl. mittlere Stundenzahl	22,1 h	5,7 h	1,3 h

Würde man eine Deckentemperatur (Oberfläche) von 22 °C realisieren, bestünde an 22 h/a Kondensationsgefahr. Die sogenannte Hygrostabilität des Raumes sollte als Risikominderung in Anbetracht der angenommenen geringen Feuchteentwicklung nicht zusätzlich angesetzt werden.

Besonders ungünstig wirkt sich die ungleiche Raumnutzung aus. Räume mit geringer Wärmelast und/oder hoher Feuchtelast sind besonders gefährdet.

Ein Absperren des Wasserkreises bei Kondensationsgefahr (Taupunktfühler, Fensterkontakte usw.) ist im Gegensatz zu üblichen Kühldecken oder Kühlsegeln infolge der großen Speichermasse und der daraus resultierenden Trägheit wirkungslos.

7. Zusatzsysteme

Zusatzsysteme zur trägheitsarmen Heizung werden sehr häufig angewandt. Zusatzsysteme zur trägheitsarmen Kühlung sind unbedingt in die Betrachtung einzubeziehen, um die thermische Bauteilaktivierung zu einem vollwertigen System zur Lastkompensation zu entwickeln.

Das Zusatzkühlsystem kann beispielsweise an der Oberfläche des Speicherbauteiles [1] oder in einer weiteren Raumbegrenzungsfläche (Wand, Fußboden) [1] integriert sein oder aber ein separates Konvektionssystem [2] darstellen.

Damit wäre dann die Gewährleistung der Raumkonditionen nach DIN 1946 Teil 2 zu ermöglichen und die üblichen Qualitätsparameter für eine RLT-Anlage kämen zur gewohnten, vertragsrechtlichen Geltung.

Die Gewerkeverantwortung ist auch bei Einsatz der thermischer Bauteilaktivierung sicherzustellen!

8. Funktionstüchtigkeit und wirtschaftlicher Betrieb

Die Funktionstüchtigkeit ist zuerst für die Extremfälle - Winter und Sommer - zu betrachten. Selbstverständlich müssen bei Beheizung die Soll-Raumtemperaturen auch ohne innere Lasten gewährleistet sein. Leider wird diese Selbstverständlichkeit in einigen Fällen auch zur Disposition gestellt, in dem man "Temperaturunterschreitungshäufigkeiten" mittels Simulationen bestimmt. Der Extremfall Sommer darf - falls die DIN 1946 Teil 2 *nicht* die Grundlage der Planung darstellte - Überschreitungen zulassen. Hierbei sei aber ausdrücklich auf die Unterschiede zwischen den tatsächlichen Häufigkeiten der Außenluftzustände und den Testreferenzjahrdaten, die die Maximalwerte der Temperaturen und vor allem der Feuchten abschneiden [3].

Die Funktionstüchtigkeit des Systems unter Übergangsbedingungen muss sehr exakt überprüft werden, denn diese treffen für die hauptsächlichste Betriebszeit zu. Das Primat der Untersuchung liegt darin, dass gleichzeitiges Heizen und Kühlen der Systeme bzw. der installierten Zusatzsysteme ausgeschlossen wird.

Betrachtet man die Bilder 1 und 2, dann stellt $t_E = 22 \text{ °C}$ den markanten Grenzwert zwischen Heizen und Kühlen dar. Dieser Wert erfüllt die sommerlichen und winterlichen Anforderungen gleichermaßen. Es ist aus energiewirtschaftlicher Sicht wichtig, zwischen Heizen und Kühlen ein sogenanntes "Energienullband" zu legen, in dem weder geheizt noch gekühlt wird. Dies bedeutet beispielsweise, dass unterhalb $t_E = 22 \text{ °C}$ geheizt und oberhalb $t_E = 25 \text{ °C}$ gekühlt werden sollte.

Dies wird durch

- das wärmetechnisch träge Bauteil und
- die über Raumgrenzen führenden Rohrregister

nicht immer eindeutig möglich sein. Somit lautet die Mindestforderung

- Kühlen in den thermisch hochbelasteten Räumen

- keine Wärmeaufnahme des aktivierten Bauteils in den Räumen mit Heizbedarf.

Dies ist z. B. dadurch zu erreichen, dass in der Übergangszeit, in der bereits teilweise Heizbedarf ansteht, die Kaltwassertemperatur auf $\geq 22\text{ °C}$ angehoben wird.

Die Ladezeiten sind natürlich ebenfalls zu optimieren. Die Zeiträume mit der jeweils günstigsten Medienbereitstellung - bezogen auf die gewünschte Temperatur - sind bevorzugt zu nutzen. Die Ladung kann beendet werden, wenn sich die Rücklauftemperatur der Vorlauftemperatur bis auf eine einstellbare Differenz angeglichen hat.

9. Konventionelle und geothermische Kälte- und/oder Wärmebereitstellung

Wird die Kälte und/oder die Wärme konventionell erzeugt ist die thermische Bauteilaktivierung *kein* geeigneter Einsatzfall. Beispielsweise erfolgt in zahlreichen Fällen die Kaltwasserbereitstellung auch bei Einsatz von Deckenkühlung undifferenziert mit 6 °C und auch die freie Kühlung über Kühlturm während der Übergangszeit wird schaltungsmäßig gar nicht vorgesehen. Durch Speicherverluste und nicht beeinflussbare, oftmals unnötige Wärmeströme vom Bauteil an den Raum bzw. umgekehrt treten höhere Verbräuche als bei zeitgleicher Bedarfsdeckung auf.

Kann die Energie ohne mengenmäßige Einschränkung und ohne bedeutende Mehrkosten während der Nutzungszeit bereitgestellt werden, dann ist die thermische Bauteilaktivierung ebenfalls nicht wirtschaftlich einsetzbar. Dies trifft auf die meisten geothermischen Nutzungen zu.

Die Energiespeicherung in Bauteilen mit passiver Entladung nur einzusetzen, um unterschiedliche Elektroenergetarife beim Antrieb von Kältemaschinen oder Wärmepumpen zu nutzen, ist in den meisten Fällen nicht gerechtfertigt. Gleiches gilt für den nächtlichen Betrieb der Kältemaschinen, nur um die Maschinen zur Investitionskostenersparnis kleiner gestalten zu können. Wegen des in der Regel erhöhten Mehrverbrauchs an Primärenergie infolge der Verluste verbietet sich beides ohnehin. In den genannten Fällen ist der Einsatz von Latentwärmespeichern bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit zu untersuchen, da sich deren Energieverluste infolge der bedarfsgerechten Entnahme nur auf die reinen Speicherverluste begrenzen.

10. Ideale Voraussetzungen für die thermische Bauteilaktivierung

Wenn kostengünstige Energie nur zeitlich begrenzt zur Verfügung steht - beispielsweise

durch den Temperaturtagesgang geprägt -, dann ist es aus umweltrelevanten und aus kostenmäßigen Gesichtspunkten vorteilhaft diese Energie bis zur Bedarfsanforderung zwischenspeichern. Wenn die Masse des Baukörpers ohnehin verfügbar ist - d. h. die Geschossdecken massiv in einer Dicke von etwa 300 mm ausgeführt sind -, liegen optimale Bedingungen für den Einsatz der thermischen Bauteilaktivierung vor.

Ziel der Ingenieurarbeit muss es sein, die vorgegebene Speichermasse maximal mit kostengünstiger Kälte/Wärme zu beladen. Dazu ist der Speicher zu optimieren, wobei die Geometrie des Rohrsystems eine maßgebliche Größe darstellt [1]. Kleine Rohrabstände - wie beispielsweise bei speziellen Kapillarrohrmatten für den Betoneinsatz - stellen optimale thermodynamische Eigenschaften dar.

Generell gelten die Grundsätze:

- *Treffen die genannten Voraussetzungen zu, dann stellt die thermische Bauteilaktivierung ein Kleinod der TGA dar. (Das System ist zu schade für den Missbrauch durch Fachkollegen, die von Blüte zu Blüte fliegen, um daraus Nektar saugen zu wollen!)*
- *Nur die Energie, die nichts kostet und deren Bereitstellung die Umwelt nicht belastet, darf anschließend verschwendet werden.*

Literatur

[1] GLÜCK, B.: Thermische Bauteilaktivierung. C. F. Müller Verlag 1999 (ISBN 3-7880-7674-7)

Kostenlos erhältlich unter:

<http://www.rom-umwelt-stiftung.de> (⇒ Arbeit bisher ⇒ Projekt 9)

[2] GLÜCK, B.: Wärmephysiologisches Empfinden beim Einsatz thermisch aktiver Raumumfassungen und konvektiv arbeitender Wärmeübertragerelemente zur Raumkühlung. erscheint in HLH

[3] GLÜCK, B.: Testreferenzjahr - ein Vorschlag zur Neudefinition und Ergänzung. Gesundheits-Ingenieur 1995, Heft 5

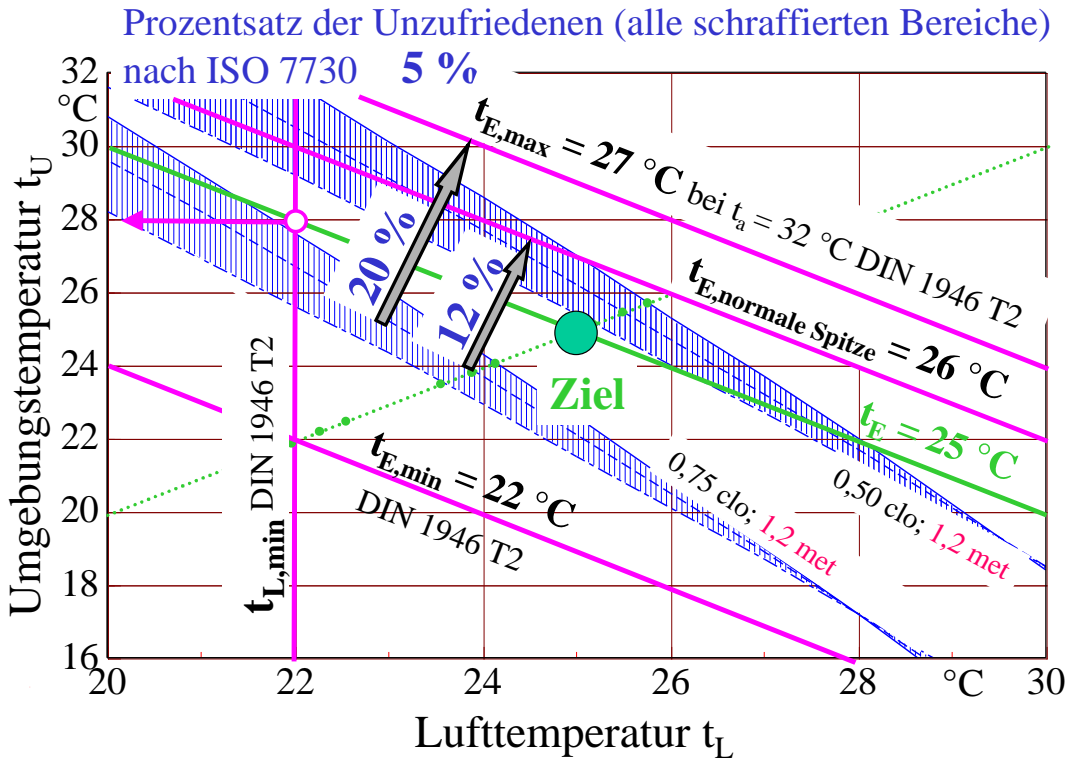


Bild 1 Behaglichkeitsbereiche und zulässige Temperaturen im Sommerfall nach ISO 7730 und nach DIN 1946 Teil 2

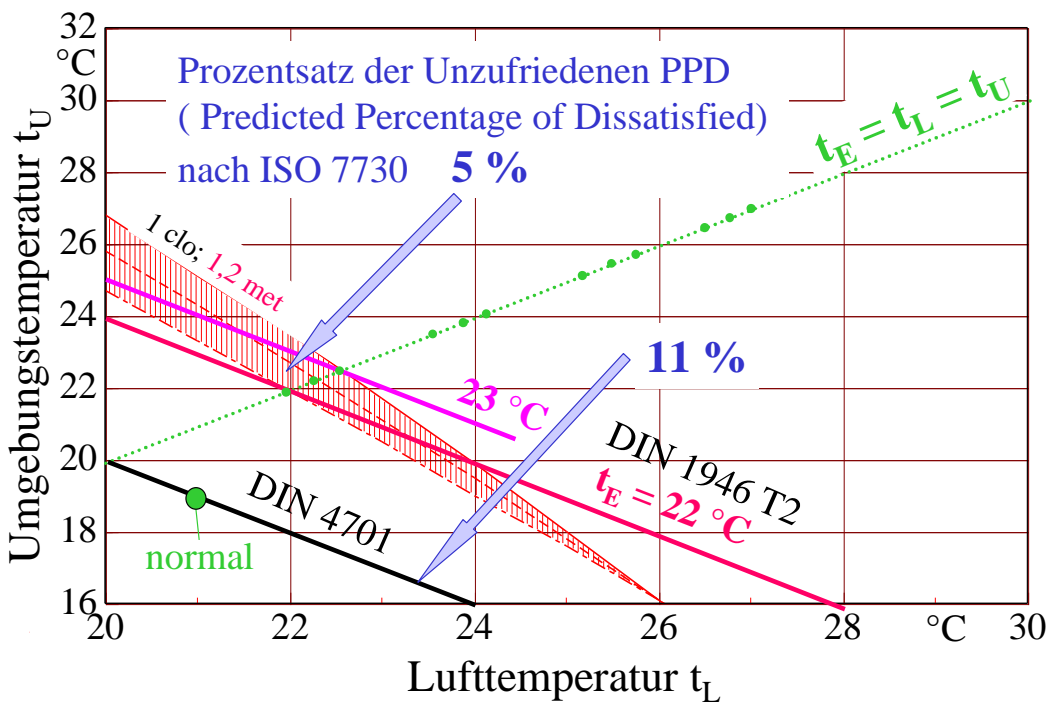


Bild 2 Behaglichkeitsbereich und zulässige Temperaturen im Winterfall nach ISO 7730 und nach DIN 1946 Teil 2 und nach DIN 4701 für die Heizlastermittlung