

Thermischer Komfort im Sommer in Bürogebäuden mit passiver Kühlung

Sebastian Herkel, Jens Pfafferott und Andreas Zeuschner

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Heidenhofstraße 2, D-79110 Freiburg
+49 (0)761 4588-5129 ; jens.pfafferott@ise.fraunhofer.de ; www.ise.fraunhofer.de

1 Einführung und Hintergrund

Der Extremsommer 2003 hat – verbunden mit dem 26 °C-Urteil von Bielefeld – der wissenschaftlichen Diskussion zum thermischen Komfort neuen Schwung gegeben. Im Fokus der – zum Teil polemisch geführten – Diskussion sind in erster Linie Gebäude mit hohem Glasflächenanteil und ohne ausreichenden Sonnenschutz. Passiv- und Niedrigenergie-Bürogebäude bringen die bauphysikalischen Voraussetzungen mit, einen hohen thermischen Komfort auch ohne Klimaanlage zu erreichen. Wo Kühlung / Klimatisierung nötig wird, kommen in energieoptimierten Gebäuden Systeme mit hoher Energieeffizienz zum Einsatz. Die Diskussion konzentriert sich heute noch auf Bürogebäude, wird aber zunehmend auch für Wohngebäude geführt.

Wie verhalten sich die Raumtemperaturen in Passiv- und Niedrigenergie-Bürogebäuden mit passiver Kühlung im Sommer? Für gut geplante und vernünftig betriebene Bürogebäude wurde der warme Sommer 2002 nicht zum Problemfall. Im Extremsommer 2003 kamen passiv gekühlte Gebäude aber an ihre Leistungsgrenze. Die Raumtemperaturen lagen im typischen Sommer 2004 fast immer im Komfortbereich.

Diese Studie stellt Gebäude aus dem Förderprogramm „Energieoptimiertes Bauen“ vor. In der Begleitforschung EnBau:Monitor [www.solarbau.de] werden Nicht-Wohngebäude evaluiert, deren Primärenergieverbrauch für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung unter 100 kWh/(m² a) liegt. Trotz der unterschiedlichen architektonischen und planerischen Ansätze verzichten alle geförderten Gebäude auf eine flächendeckende Klimatisierung zu Gunsten der passiven Kühlung.

Dazu werden Messdaten aus den Jahren 2002 und 2003 mit unterschiedlichen Kriterien zum thermischen Komfort im Sommer ausgewertet. Die Auswertung wurde zwar mit einem deutlich größeren Datensatz (vier Jahre) in 12 Gebäuden für alle im Folgenden genannten Komfortkriterien durchgeführt, dieser Beitrag beschränkt sich aber auf sechs ausgewählte Bürogebäude und vier Komfortkriterien.

2 Thermischer Komfort in Normen und Richtlinien

In Deutschland müssen die Arbeitsstätten-Richtlinien [ASR 2001] eingehalten werden. Aufgrund der nicht eindeutigen Aussage zur Raumtemperatur und fehlenden Richtlinien für Gebäude ohne RLT-Anlagen kommt es aber immer wieder zu juristischen Streitigkeiten zu sommerlichen Raumtemperaturen. Juristisch [Busse 2004]

kann in Gebäuden ohne RLT-Anlage lediglich die Einhaltung eines Baustandards nach der DIN 4108-2, nicht aber eine bestimmte Raumtemperatur gefordert werden.

Der DIN 4108-2 liegt zwar ein Komfortkriterium zu Grunde (Überschreitungshäufigkeit einer bestimmten Grenztemperatur in Abhängigkeit der Klimazone), sie ist aber selber kein Komfortkriterium. Während in der Planung dazu Randbedingungen bzgl. Wetter, Gebäudenutzung und Nutzerverhalten getroffen werden, muss eine konkrete Situation vor Ort mit messbaren Größen unter realen Randbedingungen bewertet werden. Welche Komfortkriterien stehen heute zur Verfügung, bewähren sich in der messtechnischen Evaluierung und können als Planungsgröße verwendet werden?

Als Bezugsgröße für den thermischen Komfort (hier: Stundenwert der Raumtemperatur) hat sich die Außentemperatur durchgesetzt. Die folgenden Klassen von Komfortkriterien werden in der Fachliteratur und in Richtlinien und Normen diskutiert.

Komfortkriterium : Raumtemperatur vs. Stundenwert der Außentemperatur

In Ermangelung verbindlicher Richtlinien wird häufig auf die DIN 1946 zurückgegriffen, die allerdings nur für Gebäude mit RLT-Anlage gelten. Diese Entwicklung wurde in mehreren Artikeln kritisch diskutiert, z.B. [Pfafferott 2004] und [Hausladen 2004]. Die DIN 1946 definiert in Abhängigkeit von der aktuellen Außentemperatur einen bestimmten Behaglichkeitsbereich. Einen ähnlichen Ansatz – allerdings mit anderen Grenztemperaturen und ohne Berücksichtigung von Behaglichkeitsbereichen – verfolgen z.B. die VDI 2078, die Auslegungskriterien nach dem Taschenbuch der Heizungs- und Klimatechnik [Schramek 1999] aber auch das Bielefelder 26 °C-Urteil, vgl. [Busse 2004].

Komfortkriterium : Raumtemperatur vs. Tageswert der Außentemperatur

Eine neue Richtlinie für den thermischen Komfort in natürlich belüfteten Gebäuden [Raue 2004] aus den Niederlanden wählt statt der aktuellen Außentemperatur den Verlauf der Außentemperatur während der letzten drei Tage, wodurch die thermische Adaption im Komfortkriterium berücksichtigt wird. Der Behaglichkeitsbereich wird in Abhängigkeit der Nutzerakzeptanz festgelegt. Für Gebäude mit RLT-Anlage gilt ein modifiziertes Kriterium. Auf einem ähnlichen, aber etwas einfacheren Modell bauen die Komfortkriterien auf, die das Monatsmittel der Außentemperatur berücksichtigen.

Komfortkriterium : Raumtemperatur vs. Monatswert der Außentemperatur

Basierend auf frühen Arbeiten zum thermischen Komfort in natürlich belüfteten Gebäuden [Humphreys 1981] haben Humphreys und Nicol [Nicol 2002] ein adaptives Modell für den thermischen Komfort entwickelt. Einen ganz ähnlichen Ansatz verfolgen de Dear und Brager [Dear 2002], deren Arbeiten weitgehend in der ASHRAE 55 berücksichtigt wurden. Auf Grundlage einer weltweit angelegten Studie wurden Nutzerbefragungen mit dem Ziel ausgewertet, eine Richtlinie für unterschiedliche Wettersituationen und Klimazonen zu entwickeln. Für Gebäude mit RLT-Anlage gilt ein modifiziertes Kriterium.

Komfortkriterium : Raumtemperatur vs. saisonale Außentemperatur

Die ISO 7730 unterscheidet basierend auf den Arbeiten von Fanger [Fanger 1970] lediglich den Winter- und Sommerfall. Entsprechend des vorhergesagten Prozentsatzes an Unzufriedenen werden für den Sommer- und Winterfall Toleranzbereiche angegeben. Diese Komfortkriterien sind allgemein für alle Räume unabhängig von der Gebäudetechnik für Heizen, Kühlen und Lüften gültig.

3 Messkampagne und Datenauswertung

Die folgende Tabelle stellt die Bürogebäude, die für die folgende Auswertung herangezogen wurden, vor. Dabei werden Einzel-, Gruppen- und Großraumbüros mit unterschiedlicher Lage im Gebäude und verschiedener Orientierung berücksichtigt. Alle Projekte werden detailliert in [SolarBau 2005] vorgestellt.

Tabelle: Passiv- und Niedrigenergie-Bürogebäude und Messkampagnen.

Gebäude	Büros	Messzeitraum
Fraunhofer ISE (Freiburg)	20	01.01.2002 – 31.12.2003
DB Netz AG (Hamm)	9	01.08.2001 – 31.07.2002
Pollmeier Massivholz GmbH (Creuzburg)	1	15.03.2002 – 31.10.2003
Passiv-Bürohaus Lamparter (Weilheim a.d. Teck)	2	01.01.2002 – 31.08.2003
KfW Bankengruppe (Frankfurt / M)	15	01.06.2003 – 31.01.2004
Balanced Office Building (Aachen)	9	01.01.2003 – 31.12.2003

In dieser Studie werden die Komfortkriterien auf Gebäude, die sich durch eine hohe bauphysikalische Qualität auszeichnen, angewendet. Neben dem Gebäude und seiner Gebäudetechnik selbst ist das Nutzerverhalten zu berücksichtigen, da die Nutzer die Raumtemperaturen maßgeblich beeinflussen [Herke 2004]. Hier werden also Gebäude unter realer Nutzung und damit verbunden mit dem individuellen Nutzerverhalten zu internen Wärmelasten, Fenstern und Sonnenschutz bewertet.

Datenausfälle und Messfehler werden ausgenommen. Zur besseren Vergleichbarkeit wird die Betriebszeit für jedes Gebäude mit 08:00 – 18:00 Uhr an Werktagen festgelegt und die Überschreitungshäufigkeit generell auf die mittlere Betriebszeit in den Jahren 2002 und 2003 in den genannten Gebäuden von 2.450 h/a bezogen.

Abb. 1 stellt exemplarisch die Auswertung für das Jahr 2002 in einem Großraumbüro vor. Kritisch zu bewerten ist eine Überschreitung der Komfortkriterien bei hohen Außentemperaturen, denn die Nutzer können – falls gewünscht – einer Unterschreitung der Komforttemperatur im Winter durch zusätzliches Heizen und im Sommer durch Fensterschließen, i.e. Verringerung der (Lüftungs-)Wärmeverluste, entgegenwirken. Eine Überschreitung bei niedrigen Außentemperaturen wird meist durch hohe interne und solare Wärmelasten verursacht, die aber durch Fensteröffnen abgeführt werden können. Die Auswertung berücksichtigt daher nur eine Überschreitung bei einer Tagesmitteltemperatur der Außenluft von über 15 °C. (Dieser Wert kann nur im Diagramm zur ISO 7730 direkt grafisch abgelesen werden.) Im Sommer 2002 wer-

den die unterschiedlichen Komfortkriterien nur selten überschritten, je nach Kriterium an 0,1 – 1,1 % der Aufenthaltszeit.

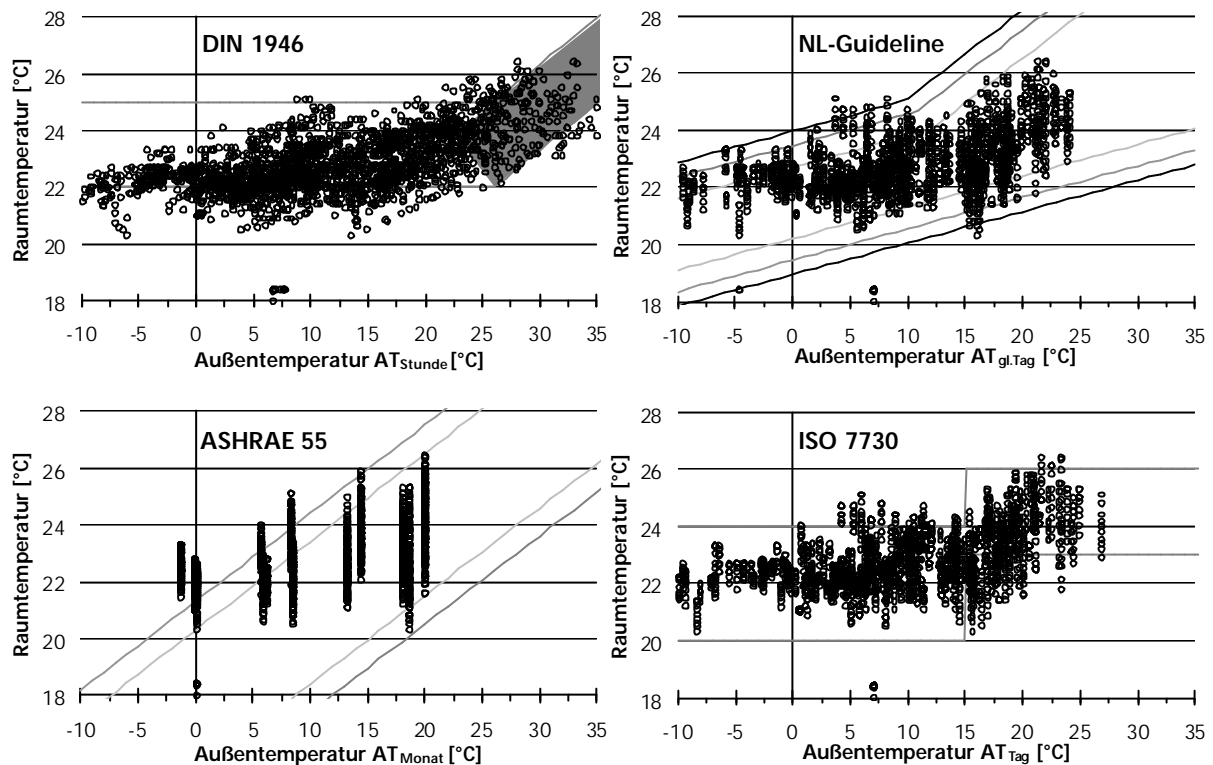


Abb. 1: Bewertung der Raumtemperaturen im Großraumbüro Pollmeier für 2002 während der Betriebszeit nach vier unterschiedlichen Kriterien für den thermischen Komfort: DIN 1946 mit Komfortbereich für normale Büronutzung, NL-Guideline mit Komfortklassen A, B und C (entsprechend 90%, 80% bzw. 65 % Zufriedene), ASHRAE 55 mit 90%- und 80 %-Akzeptanzbereich sowie ISO 7730 mit 90 %-Akzeptanzbereich.

Abb. 2 zeigt die Überschreitungshäufigkeit nach den vier Kriterien für die verschiedenen Gebäude getrennt nach 2002 und 2003. Dabei werden die Überschreitungshäufigkeiten für die einzelnen Büros berechnet und dann ein Mittelwert gebildet. Erwartungsgemäß werden die Anforderungen nach DIN 1946 (für Gebäude mit RLT-Anlage) häufiger überschritten als nach ASHRAE 55 und der Niederländischen Richtlinie, die eine höhere Nutzerakzeptanz in natürlich belüfteten Gebäuden (Möglichkeit zum Nutzereingriff) berücksichtigen. Obwohl alle Kriterien – im Gegensatz zur Auslegungsanforderung nach DIN 4108 – das Wetter (hier: Außentemperatur) berücksichtigen, liegt die Überschreitungshäufigkeit im Extremsommer 2003 deutlich höher als im warmen Sommer 2002.

Besonders ausgeprägt ist das am Fraunhofer ISE zu erkennen, da der Sommer 2003 in Freiburg nicht nur durch hohe Außentemperaturen (in den Kriterien berücksichtigt) sondern auch lang anhaltende Hitzeperioden geprägt war. Das Gebäude konnte durch die Nachtluft nicht mehr ausreichend gekühlt werden (zu hohe Nachttemperatur), und die Raumtemperatur stieg trotz der hohen thermischen Masse des Gebäudes sukzessive an, weil die thermische Speicherkapazität vollständig genutzt war.

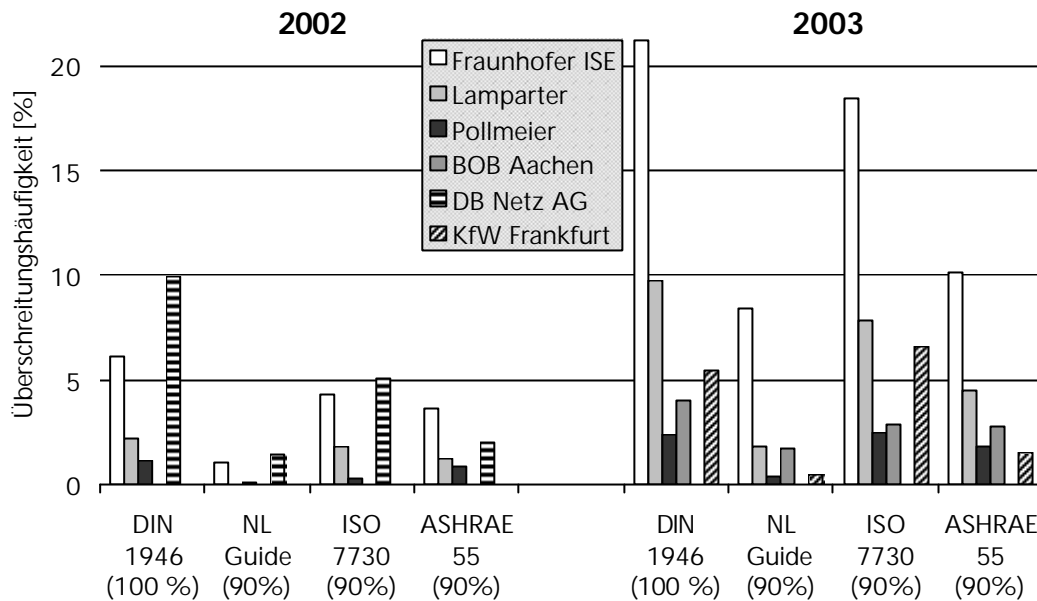


Abb. 2: Überschreitungshäufigkeit der Komfortgrenzen nach DIN 1946 (keine Angabe des Anteils Zufriedener) sowie der Niederländischen Richtlinie, der ISO 7730 und der ASHRAE 55 jeweils für ein Akzeptanzniveau von 90 %.

4 Fazit

Eine Auswertung der Raumtemperatur in passiv gekühlten Bürogebäuden zeigt, dass in einem normalen bzw. warmen Sommer 2002 die gängigen Komfortkriterien für natürlich belüftete Gebäude – unter realem Nutzerverhalten – an weniger als 5 % der Betriebszeit überschritten werden. Bei extremen Wetterlagen wie im Sommer 2003 stoßen diese Gebäude aber an ihre (Komfort-)Grenze. Passiv- und Niedrigenergie-Bürogebäude liefern auch ohne maschinelle Kühlung / Klimatisierung einen hohen thermischen Komfort, dabei wird – vergleichbar dem variablen Sonnenschutz – die Wärmeabgabe im Sommer, z.B. durch Bauteilkühlung oder Nachtlüftung, erhöht.

Die DIN 4108-2 legt einen Baustandard unabhängig von der Nutzung des Gebäudes fest. Wie kann eine darüber hinausgehende Regelung für passiv gekühlte Gebäude aussehen? Mehrere Studien belegen, dass Nutzer in natürlich belüfteten Gebäuden im Sommer höhere Raumtemperaturen als komfortabel empfinden. Das sollte auch bei der Planung von passiv gekühlten Gebäuden berücksichtigt werden. Die DIN 1946 eignet sich daher nur eingeschränkt als Bewertungsmaßstab. Werden in der Planung realistische Nutzermodelle für Fenster- und Sonnenschutzbedienung sowie die internen Wärmelasten angenommen, kann die Niederländische Richtlinie gut zur Komfortbewertung herangezogen werden. Dieses Vorgehen muss mit dem Auftraggeber vereinbart werden, so lange eine nationale Richtlinie hierzu fehlt.

Kurzzeitmessungen eignen sich nicht oder nur auf Grundlage einer aufwändigen modellbasierten Datenauswertung zur Bewertung des thermischen Komforts im Gebäude. Die Entwicklung eines Kurzzeit-Messverfahrens ist – auch im Sinne einer Qualitätskontrolle – wichtig. Hier ist weiterer Forschungsbedarf gegeben.

Danksagung. Die Studie wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit im Rahmen des Förderprogramms „Energieoptimiertes Bauen“ (Projektträger PTJ) und des InnoNet-Projektes QUALIPASS (Projektträger vdi|vde-it) gefördert. Die Autoren bedanken sich für die Datenbereitstellung bei Kathrin Schlegel (ZUB Kassel), Mathias Wambsganß (ip5 Karlsruhe), Michael Kleber (fbta Karlsruhe), Ingo Repke (FH Köln), Andreas Gerber (FH Biberach) und Peter Seeberger (HfT Stuttgart).

Literatur

- [ASHRAE 55:2004] *Thermal environmental conditions for human occupancy*. ASHRAE Inc., Atlanta, USA, 2004.
- [ASR 2001] *Arbeitsstätten-Richtlinien zur Arbeitsstättenverordnung, ASR 6-1 Raumtemperaturen*. Ausgabe Mai 2001.
- [Busse 2004] F. Busse. *Klimaanlage par ordre du mufti? Zu den Anforderungen an den Wärmeschutz für Arbeitsräume im Sommer*. NJW 28/2004.
- [Dear 2002] R.J. de Dear und G.S. Brager. *Thermal comfort in naturally ventilated buildings – revisions to ASHRAE Standard 55*. Energy and Buildings 34 (2002).
- [DIN 4108:2003] *Thermal protection and energy economy in buildings: Part 2 – Minimum requirements to thermal insulation, Part 6 – Calculation of annual heat and annual energy use*. Beuth, 2003.
- [DIN 1946:1994] *Raumlufttechnik (Teil 2: Gesundheitstechnische Anforderungen)*. Beuth, 1994.
- [Fanger 1970] P.O. Fanger. *Thermal Comfort*. Danish Technical Press, 1970.
- [Hausladen 2004] G. Hausladen, R.T. Hellwig, W. Nowak, E.-R. Schramek und T. Grothmann. *26 °C – falsch verstandener Arbeitsschutz?* Bauphysik 26, Heft 4, 2004.
- [Herkel 2004] S. Herkel, J. Pfafferott und U. Knapp. *Hybrid ventilation and user behaviour in summer*. 25th AIVC Conference, Prague, Czech Republic, 2004.
- [Humphreys 1981] M.A. Humphreys. *The dependence of comfortable temperatures upon indoor and outdoor climates*, in: K. Cena, S.A. Clark (eds.), Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort, Elsevier, 1981.
- [ISO 7730:2003] *Gemäßigtes Umgebungsklima – Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit*. Beuth, 2003.
- [Nicol 2002] J.F. Nicol, M.A. Humphreys. *Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings*. Energy and Buildings 34 (2002).
- [Pfafferott 2004] J. Pfafferott, S. Herkel und A. Wagner. *Sommer 2003 – Müssen unsere Bürogebäude klimatisiert werden?* HLH Bd. 55, Nr. 3 (März), 2004.
- [Raue 2004] A.K. Raue, A.C. Boersta, A.C. van der Linden und S.R. Kurvers. *Natvent buildings versus HVAC buildings – a new Dutch thermal comfort guideline*. 25th AIVC Conference, Prague, Czech Republic, 2004.
- [Schramek 1999] E.-R. Schramek (Hrsg.). *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik*. Oldenbourg Verlag, 1999.
- [SolarBau 2005] K. Voss, G. Löhnert, S. Herkel, A. Wagner und M. Wambsganß. *Bürogebäude mit Zukunft*. TÜV-Verlag, Köln, 2005.
- [VDI 2078:1994] *Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume*. Beuth, 1994.