

## **Sommer 2003 : Müssen unsere Bürogebäude klimatisiert werden?**

Jens Pfafferott <sup>1</sup>, Sebastian Herkel <sup>1</sup>, Andreas Wagner <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Gruppe Solares Bauen

<sup>2</sup> Universität Karlsruhe, Fakultät für Architektur, Fachgebiet Bauphysik und Technischer Ausbau

### **Abstract**

Der Sommer 2003 war für alle Gebäude – egal ob Wohngebäude, Fertigungshalle oder Bürogebäude, ob mit oder ohne Klimaanlage – der Härtestest für das Raumklima. Messkampagnen im Sommer 2003 zeigen, dass auch während Hitzeperioden allein mit natürlichen Wärmesenken gekühlt oder – wo erforderlich – der Energiebedarf für aktive Kühlung minimiert werden kann. Vorausgesetzt, Gebäudetechnik und Architektur sind konsequent auf einander abgestimmt.

### **1 Sommer 2003 und seine Auswirkungen auf die Planung**

Einzelne Stellungnahmen und Kurz-Artikel ([1], [2], [3] oder [4]) zum sommerlichen Temperaturverhalten in Gebäuden, die seit August 2003 erschienen sind, kritisieren bestimmte Gebäudekonzepte, stellen allgemeine Ansätze zur Vermeidung von Überhitzung vor oder suchen – in unterschiedlichen Richtungen – nach den Schuldigen für nicht-funktionierende Gebäude. Zentrale Themen der letzten Monate waren das so genannte 26 °C-Gerichtsurteil, zentrale und dezentrale Klimatisierung und die EU-Verordnung zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [5].

Im vorliegenden Artikel wird das sommerliche Temperaturverhalten in drei nicht-klimatisierten, über Nachtlüftung passiv gekühlten Gebäuden anhand von detaillierten Messungen in den Jahren 2002 und 2003 kritisch bewertet. Damit wollen wir einen Beitrag zu einer fundierteren Diskussion um das 26 °C-Thema liefern und Konzepte vorstellen, die auch ohne aktive Kühlung und ohne Luftbehandlung ein angenehmes Raumklima gewährleisten, siehe auch [6].

Welche Randbedingungen müssen wir bei der Planung von Gebäuden berücksichtigen, um ein angenehmes sommerliches Raumklima – mit oder ohne Klimaanlage bzw. aktive Kühlung – zu erreichen?

*Gesetze und Richtlinien.* Noch steht zwar kein allgemein gültiger Vergleichsmaßstab für das sommerliche Temperaturverhalten in nicht-klimatisierten Gebäuden zur Verfügung. Gesetze und Richtlinien geben aber einen Rahmen für die Bewertung vor:

- Die maximale (örtliche) operative Raumtemperatur soll nach DIN 1946 für Gebäude mit raumluftechnischen (RLT-)Anlagen 25 °C bis zu einer Außentemperatur von 26 °C nicht überschreiten und darf bei höheren

Außentemperaturen auch darüber liegen [7]. (Dieses Behaglichkeitskriterium ist weitgehend unabhängig vom Klima.)

- Die Lufttemperatur in Arbeitsräumen soll nach den Arbeitsstätten-Richtlinien 26 °C nicht überschreiten, darf bei darüber liegenden Außentemperaturen in Ausnahmefällen höher sein [8].
- Für nicht-klimatisierte Gebäude kann nach Rouvel [9] eine Grenztemperatur für die operative Raumtemperatur festgelegt werden, die an nicht mehr als 10 % der Aufenthaltszeit überschritten werden soll. Diese Grenztemperatur unterscheidet sich für drei Klimaregionen: Die Grenztemperatur für Gebiete mit höchsten Monatsmitteltemperaturen unter 16,5 °C wird mit 25 °C, für Gebiete mit höchsten Monatsmitteltemperaturen zwischen 16,5 und 18 °C mit 26 °C und für Gebieten mit höchsten Monatsmitteltemperaturen über 18 °C mit 27 °C angegeben. (Dieses Kriterium ist vom Klima abhängig.)
- Die Kühlleistung soll nach VDI 2078 für eine Raumtemperatur von 22 °C dimensioniert werden [10].
- Häufig werden Kühlanlagen gemäß VDI 2078 für die „abgebrochene Kühlung“ geplant [11]. Dabei wird als Randbedingung eine maximale Außentemperatur von 26 °C gewählt. Bei höheren Außentemperaturen steigt die Raumtemperatur über die Soll-Temperatur von 22 °C.
- Die DIN 4108 schreibt Mindestanforderungen für den sommerlichen Wärmeschutz vor [12], siehe auch EN 832 [13]. Grundsätzlich sind also in Gebäuden ohne raumluftechnische Anlagen die Mindestanforderungen an das Raumklima erfüllt, wenn der sommerliche Wärmeschutz dementsprechend umgesetzt wird. Selbstverständlich können im realen Gebäudebetrieb auch in diesen Gebäuden Raumtemperaturen auftreten, die nicht mit der Arbeitstättenrichtlinie vereinbar sind.

Damit stehen für Gebäude ohne raumluftechnische Anlage also noch keine verbindlichen Grenzwerte zur Verfügung. Der VDI hat daher einen Ausschuss zu den gesundheitstechnischen Anforderungen für Räume ohne RLT-Anlage konstituiert [14]. Ferner sei darauf hingewiesen, dass starre Grenzen für die Komfortbewertung in den letzten Jahren in Frage gestellt und dynamische Komfortkriterien diskutiert werden [15]. Obwohl die Komfortkriterien (z.B. nach DIN 1946) häufig streng als einzuhaltende Momentanwerte interpretiert werden, berücksichtigen auch konventionelle Planungshandbücher (z.B. Recknagel-Sprenger [11]) einen dynamischen Toleranzbereich.

*Gerichtsurteile.* Da das thermische Gebäudeverhalten nicht einheitlich bewertet wird, kommt es immer wieder zu Gerichtsurteilen ([16], [17] und [18]), die die Einhaltung bestimmter Grenzwerte einfordern. Voss diskutiert mögliche Auswirkungen dieser Urteile auf die Planung energieeffizienter Bürogebäude [19] und fordert eine Diskussion über Behaglichkeitskriterien im Rahmen der Normungsarbeit und im Zusammenhang mit Richtlinien zur „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ (EU-Richtlinie vom Januar 2003 [20]).

*Planungshandbücher.* Neben typischen Grundlagen- und Lehrbüchern (z.B. [21]) stehen dem Gebäudetechnikplaner Handbücher zur Verfügung, die sowohl die

konventionelle Klima- und Lüftungstechnik (z.B. [11]) als auch neue Ansätze und Technologien der Gebäudelüftung (z.B. [22] oder [23]) praxisnah vorstellen. Darüber hinaus geben – neben den gängigen Normen und Richtlinien (z.B. [10] oder [12]) – auch Leitfäden (z.B.[24] oder [25]) Hinweise für eine energiegerechte Planung der Gebäudetechnik.

*Passive Kühlung.* Einerseits wird im Recknagel-Sprenger [11] festgestellt: „In Bürohäusern ist die Fensterlüftung in nur etwa 25 bis 30 % der jährlichen Bürozeit wirtschaftlich und physiologisch zu vertreten. In der übrigen Jahreszeit sind raumlüfttechnische Anlagen mit kontrolliertem Luftwechsel zu empfehlen.“ Andererseits ist aus der ProKlimA-Studie [26] bekannt, dass Nutzer sich in nicht-klimatisierten Räumen häufig wohler fühlen, obwohl die Komfortbedingungen schlechter als in klimatisierten Räumen ist.

Zur Planung passiver Kühlkonzepte stehen den Planungsbüros heute – neben komplexen Programmen zur thermischen Gebäudesimulation – validierte Auslegungstools (z.B. das Programm LESOCOOL [27]) und detaillierte Planungshandbücher (z.B. [28] oder [29]) zur Verfügung. Darüber hinaus liegen mehrjährige Betriebserfahrungen aus Gebäuden mit passiver Kühlung vor [6].

*Anforderungen.* An Bürogebäude werden hohe Anforderungen gestellt. So müssen sie sich durch hohe Nutzungsqualität bei gleichzeitig geringen Betriebskosten auszeichnen. Am Beispiel von drei Gebäuden wird im Folgenden gezeigt, wo Potentiale und Grenzen im Sommer für überwiegend natürlich belüftete und passiv gekühlte Bürogebäude liegen.

## 2 Drei Kühlkonzepte: Klimaanlage, aktive und passive Kühlung

Lüftung und Klimatisierung sollen die Raumlüftung hinsichtlich Reinheit, Temperatur, Feuchte und Bewegung innerhalb bestimmter Komfortgrenzen halten. Klimaanlagen heizen / kühlen und befeuchten / entfeuchten entsprechend dieser Vorgaben und regeln den Luftvolumenstrom. Demgegenüber können in einem passiv gekühlten Gebäude – mit offenbaren Fenstern und Lüftungsanlage – Temperatur und Feuchte nicht beliebig eingestellt werden. Vielmehr variieren Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Raum je nach Wetter und Nutzungsbedingungen (z.B. Fensteröffnung, Betrieb einer Lüftungsanlage oder Nutzung des Sonnenschutzes). Neben der Kühlung sorgt Nachtlüftung auch für eine Entfeuchtung: Die kühle Nachtluft wird im Gebäude erwärmt, wodurch sich die relative Luftfeuchtigkeit reduziert. Am Tag stellen sich Werte zwischen 40 und 60 % ein (gemessen am Fraunhofer ISE). Das liegt gerade in dem Bereich, der auch von Klimaanlagen bereitgestellt werden soll [11].

Aber nicht jedes Gebäude kann passiv gekühlt werden. Daher müssen in der Planung die Grenzen der passiven Kühlung für z.B. wechselnde Nutzungsanforderungen bestimmt werden. Wenn Gebäude aktiv gekühlt werden müssen, kann die aktive Kühlung z.B. über eine Bauteilkühlung oder Kühlsegel realisiert werden, ohne dass eine flächendeckende Vollklimatisierung mit den verbundenen Vor- und Nachteilen einer thermodynamischen Luftbehandlung notwendig wird. Eine Vollklimaanlage wird dann nur in Sondernutzungsbereichen (z.B. Seminar- oder Serverräume) eingesetzt.

Energiesparende Bürogebäude bauen auf einem Gebäudekonzept auf, das den Heizenergieverbrauch durch einen hohen Wärmedämmstandard und den

Elektroenergieverbrauch z.B. durch verbesserte Tageslichtnutzung, Beleuchtungsautomatisierung oder energiesparende Bürogeräte reduziert. Um auf eine aktive Kühlung verzichten zu können, werden bereits in der Planungsphase solare und innere Wärmelasten durch wirksamen Sonnenschutz und konsequente Geräteauswahl (z.B. Flachbildschirme) beschränkt. Die reduzierten Wärmelasten können durch die Lüftung abgeführt werden, Bild 1:

- Dabei machen Erdwärmetauscher tagsüber das gegenüber der Außenluft kühlere Erdreich nutzbar.
- Unter Berücksichtigung einer entsprechend hohen thermischen Speichermasse kann die Wärme mit der kühlen Nachtluft abgeführt werden, so dass auf eine aktive Kühlung verzichtet werden kann.
- In Abgrenzung dazu können Gebäude auch über eine Bauteilkühlung passiv gekühlt werden. Dann wird das kühle Erdreich (Sole-Anwendung) oder die Nachtlüftung (Kühlturm) genutzt. Hier besteht auch eine einfache Möglichkeit, ein Back Up-System (z.B. Kompressionskältemaschine) in das System einzubinden.

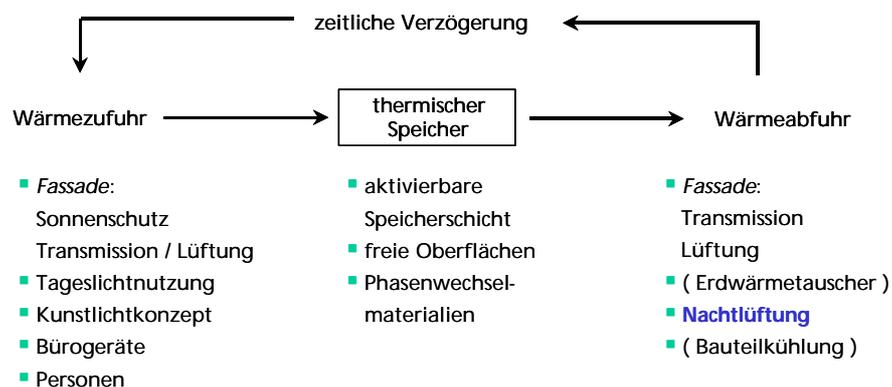


Bild 1: Prinzip der passiven Kühlung: Die Wärmezufuhr wird über die thermische Speicherfähigkeit gepuffert. Die Wärme kann dann zeitlich verzögert abgeführt. Alle drei vorgestellten Gebäude nutzen Nachtlüftung, eines davon zusätzlich einen Erdwärmetauscher als (luftgeführte) passive Kühlung. Kein Gebäude ist mit einer Bauteilkühlung (wassergeführte passive Kühlung) ausgestattet.

### 3 Vorstellung der Bürogebäude

Die drei Bürogebäude, in denen das Temperaturverhalten für die Jahre 2002 und 2003 verglichen wird, wurden im Rahmen des SolarBau-Förderprogramms des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit realisiert [30]. Die Gebäude werden detailliert auf der Internet-Seite zum Begleitforschungsprogramm SolarBau:Monitor [31] vorgestellt:

- Im Verwaltungsgebäude Pollmeier werden Raumtemperatur und Energiebilanz in einem Großraumbüro (535 m<sup>2</sup>, Raumhöhe 3 m) mit Süd-Orientierung ausgewertet, Bild 2.
- Im Institutsgebäude des Fraunhofer ISE wurden insgesamt 16 Büros im 1. und 2. OG eines Gebäudeflügels mit Süd-Orientierung (18,4 m<sup>2</sup>, Raumhöhe 3,3 m)

ausgewertet, Bild 3. Entsprechend der Nutzung unterscheidet sich die Energiebilanz und das Temperaturverhalten von Raum zu Raum. In diesem Artikel werden Mittelwerte für alle 16 Büros verwendet.

- Im Passiv-Bürohaus Lamparter werden zwei Büros mit jeweils 20,2 m<sup>2</sup> Grundfläche und einer Raumhöhe von 2,95 m mit Süd-West- bzw. Nord-Ost-Orientierung ausgewertet, Bild 4.



Bild 2: Das Verwaltungsgebäude der Pollmeier Massivholz GmbH ist ein weitgehend natürlich belüftetes Bürogebäude ohne aktive Klimatisierung.



Bild 3: Das Institutsgebäude des Fraunhofer ISE in Freiburg verfügt aufgrund der unterschiedlichen Nutzung in den einzelnen Gebäudeteilen über verschiedene passive Kühlstrategien. Die externen Wärmelasten werden bei sehr guter Tageslichtausbeute durch das Fassadenkonzept reduziert.



Bild 4: Im Bürohaus Lamparter in Weilheim wird der sommerliche Wärmeschutz durch effektiven Sonnenschutz, Nachtlüftung und Erdwärmetauscher in das Passivhauskonzept einbezogen.

#### 4 Sommer 2003

Aus einer Pressemitteilung des Deutschen Wetterdienstes (DWD) vom August 2003 [32]: „Alle drei Sommermonate waren erheblich zu warm. Der Juni und der August waren im Gebietsmittel jeweils die wärmsten seit Beginn der Gebietsmittelzeitreihe im Jahr 1901. [...] Damit wurde auch der gesamte klimatologische Sommer zum Rekordsommer. Die mittlere Tagestemperatur betrug etwa 19,6 °C und lag damit 3,4 Grad über dem Referenzwert.“ Der „Jahrhundertsommer“ 2003 wird zwar durch die numerischen Klimamodelle gut wiedergegeben, bleibt aber ein typisches Einzelereignis. Rein statistisch ergibt sich laut DWD – auch unter Berücksichtigung der anthropogenen Erwärmung – eine Wiederkehrzeit von über 1000 Jahren. Der Sommer 2003 eignet sich daher **nicht** als allgemeingültiger Vergleichsmaßstab: Würden Gebäude auf Grundlage dieser Wetterdaten geplant, müsste (fast) jedes Gebäude aktiv klimatisiert / gekühlt werden.

Dennoch gibt der Vergleich mehrere Gebäude für den Sommer 2003 wichtige Hinweise auf die Planung von Gebäuden mit behaglichen Raumtemperaturen im Sommer ohne Einsatz aufwändiger Gebäudetechnik. Bild 5 zeigt die Außentemperatur im Sommer für den Standort Freiburg: Die sommerlichen Tagesmitteltemperaturen liegen im langjährigen Durchschnitt bei 18,5 °C. Im Sommer 2002 lag die Durchschnittstemperatur bei 20 °C und im Sommer 2003 bei 23,6 K.

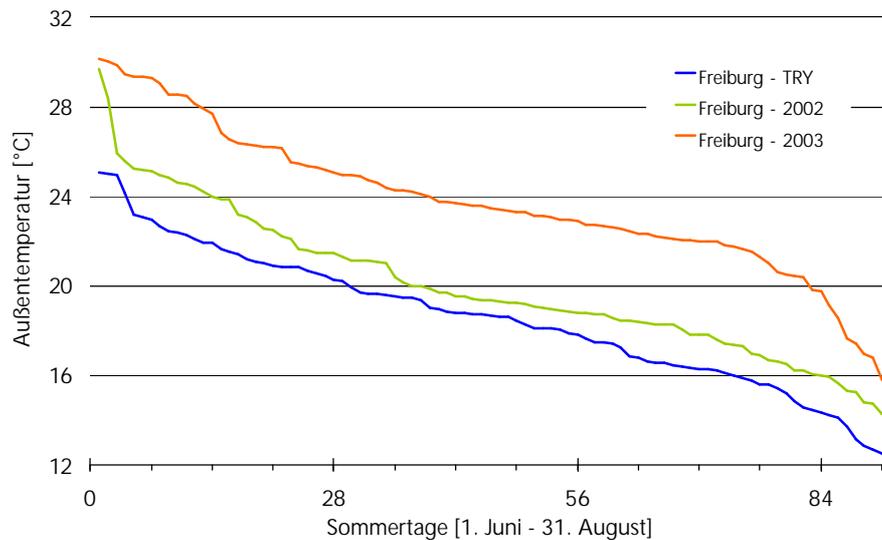


Bild 5: Außentemperatur in Freiburg an 92 Sommertagen (Messung am Fraunhofer ISE): Der Sommer 2002 war rund 1,5 K und der Sommer 2003 knapp 5,2 K wärmer als der Durchschnittssommer (Testreferenzjahr TRY).

## 5 Raumtemperaturen im Behaglichkeitsfeld nach DIN 1946

Die operative Raumtemperatur beschreibt das arithmetische Mittel aus der Luft- und der flächengemittelten Strahlungstemperatur eines Raumes. (Sie kann mit einem Globe-Thermometer gemessen werden.) Da die operative Raumtemperatur der gefühlten Temperatur entspricht, wird sie meist als Behaglichkeitskriterium gewählt.

Demgegenüber wird hier die Lufttemperatur (hier: Raumtemperatur) in einzelnen Räumen ausgewertet, weil diese in den Gebäuden erfasst wird bzw. die Gebäude auf Basis der Lufttemperatur einheitlich ausgewertet werden können. Die Messwerte wurden in folgenden Zeiträumen erfasst:

Tabelle 1: Zeiträume für die Messdatenauswertung.

	2002	2003
Lamparter	1. Aug 2001 – 31. Jul 2002	1. Okt 2002 – 30. Sep 2003
Pollmeier	31. Mrz 2002 – 1. Apr 2003	1. Nov 2002 – 31. Okt 2003
Fraunhofer ISE	1. Jan 2002 – 31. Dez 2002	24. Sep 2002 – 23. Sep 2003

Werden die Raumtemperaturen über der Außentemperatur aufgetragen (Bild 6), zeigt sich bei allen drei Projekten qualitativ die gleichen Zusammenhänge:

- Erwartungsgemäß liegen die Raumtemperaturen bis zu einer bestimmten Außentemperatur (vergleichbar der Heizgrenze eines Gebäudes) zwischen 20 und 24 °C. Bei Lamparter liegt die Temperatur verhältnismäßig hoch, weil das Passiv-Bürohaus über eine Luftheizung beheizt wird. Im Großraumbüro bei Pollmeier

liegen die winterlichen Raumtemperaturen ebenfalls verhältnismäßig hoch und damit im typischen Rahmen für Großraumbüros.

- Bei höheren Außentemperaturen steigt die Raumtemperatur an, weil die Gebäude nicht gekühlt werden. Dieser Temperaturanstieg stellt sich in Abhängigkeit von Wärmegewinn, -verlust und -speicherkapazität ein. Die Steigung  $\Delta RT / \Delta AT$  charakterisiert also das Gebäudeverhalten.
- In allen drei Projekten ist diese Steigung im Sommer 2003 deutlich größer als im Sommer 2002. Damit treten im Sommer 2003 nicht nur höhere Raumtemperaturen (hohe Außentemperatur), sondern auch häufiger Raumtemperaturen außerhalb des Behaglichkeitsfeldes auf. Die Steigung  $\Delta RT / \Delta AT$  im realen Gebäudebetrieb ist größer als die durch die DIN 1946 vorgegebene Steigung  $\Delta RT / \Delta AT = 1/3$ .

Dieses Verhalten lässt sich mit Hilfe der Speicherkapazität des Raumes erklären: Wenn der thermische Speicher eines Raumes (massive, nicht abgehängte Betondecken in den Gebäuden) geladen ist, kann er den Wärmeeintrag nicht mehr puffern. Während im Sommer 2002 nur kurzzeitig hohe Außentemperaturen auftraten, war der Sommer 2003 durch zwei langanhaltende Hitzeperioden geprägt. Infolgedessen hat sich die gesamte Baukonstruktion im Sommer 2003 erwärmt. Da die Wärmeeinträge nicht mehr gepuffert werden können, verhalten sich die Gebäude im Sommer 2003 thermisch leichter als im Sommer 2002:

- Am deutlichsten zeigt sich dieses Verhalten im Fraunhofer ISE, weil hier auch die Nachttemperaturen (Nachtlüftung) an mehreren Nächten nicht mehr unter 22 °C sank.
- Obwohl die Büros im Gebäude Lamparter zusätzlich durch einen Erdwärmetauscher mit kühler Zuluft versorgt werden, treten hier vereinzelt Raumtemperaturen über 28 °C auf.
- Im Gebäude Pollmeier hat die im Sommer 2003 reduzierte Speicherkapazität den geringsten Einfluss, weil durch verhältnismäßig geringe interne und solare Wärmelasten die thermische Speicherkapazität ohnehin nicht vollständig genutzt werden muss, um ausreichend niedrige Raumtemperaturen zu gewährleisten.

Bild 6 zeigt neben der Abhängigkeit zwischen Raum- und Außentemperatur auch die Komfortgrenzen nach DIN 1946.

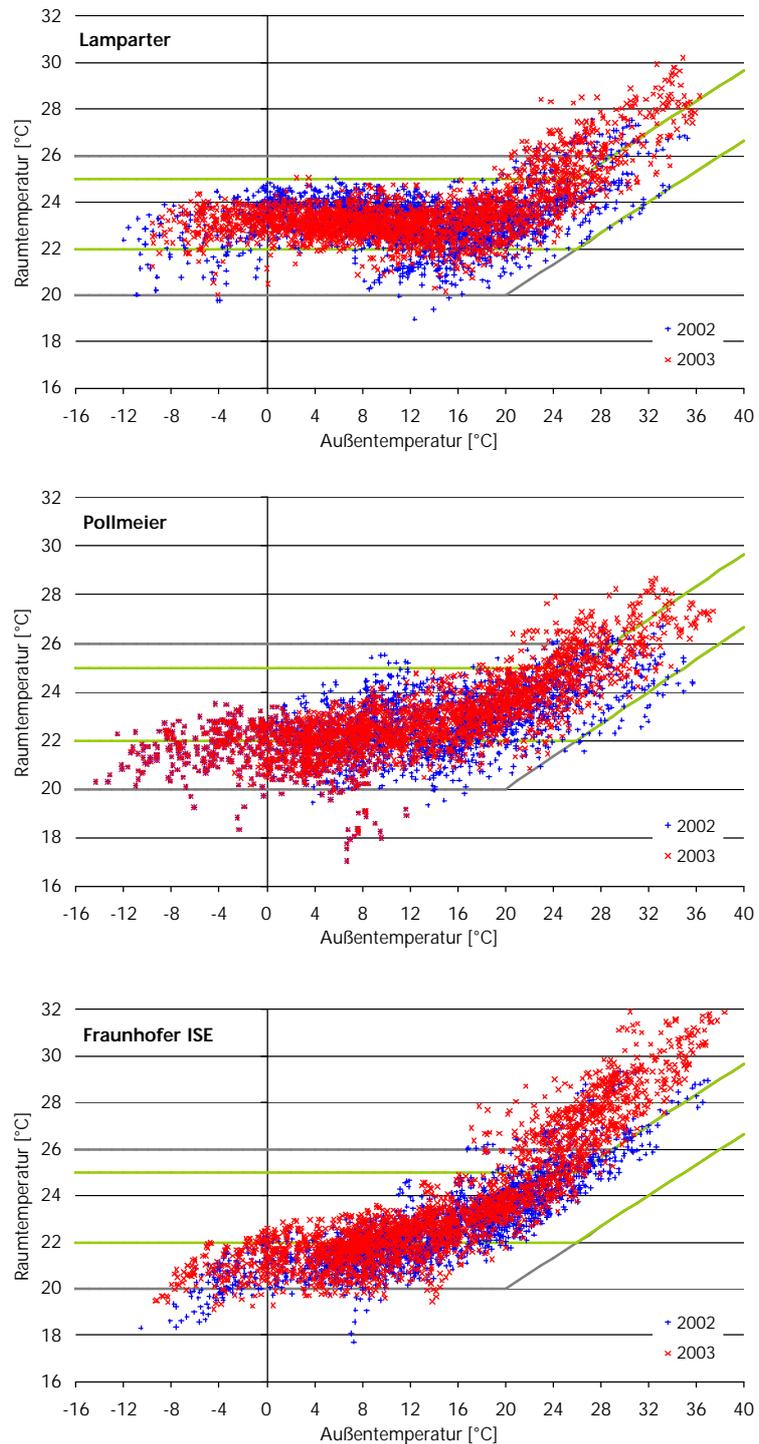


Bild 6: Raum-(luft-)temperatur im Behaglichkeitsfeld nach DIN 1946. Auswertung ausschließlich für die Betriebsstunden.

## **6 Raumtemperaturen als Dauerlinie über die Betriebszeit**

In Bild 7 werden die Raumtemperaturen sortiert. Erwartungsgemäß treten in 2003 deutlich mehr Überhitzungsstunden (Raumtemperatur  $> 26\text{ °C}$ ) auf als 2002. Auffällig ist jedoch, dass die maximalen Raumtemperaturen in 2003 deutlich höher als 2002 liegen, obwohl die maximalen Außentemperaturen sich nur geringfügig unterscheiden. Das ist ein weiterer Hinweis darauf, dass aufgrund der langanhaltenden Hitzeperioden im Sommer 2003 das Gebäude Temperaturspitzen nicht mehr dämpfen konnte.

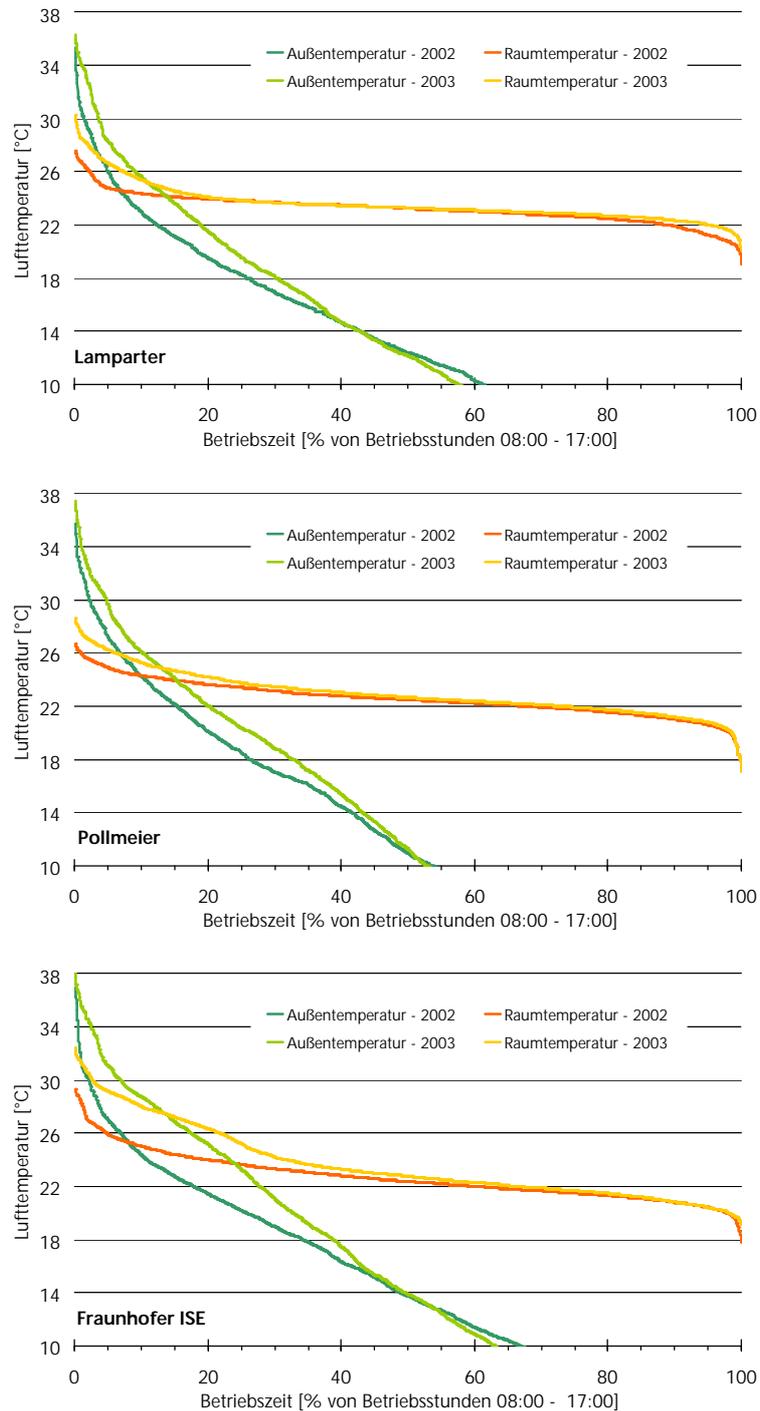


Bild 7: Dauerlinien der Außen und Raumtemperatur für die Betriebszeit im Jahr 2002 und 2003.

## 7 Raumtemperatur + Energiebilanz

Die Raumtemperatur stellt sich im thermodynamischen Gleichgewicht von Wärmegewinn, -verlust und -speicherung ein. Dem Planer stehen von der einfachen

Faustformel bis hin zur dynamischen Gebäudesimulation Modelle mit ganz unterschiedlicher Detaillierungstiefe zur Verfügung, um die zu erwartenden Raumtemperaturen für den Sommerfall abschätzen bzw. berechnen zu können (s.a. Kapitel 1).

Keller [33] reduziert die Energiebilanz auf die wesentlichen Einflussgrößen, ohne die thermodynamischen Abhängigkeiten zu vereinfachen. Damit steht eine physikalisch einheitliche Beschreibung des thermischen Gebäudeverhaltens zur Verfügung, die Raumtemperatur und Energiebilanz zusammenführt. Dieses Modell kann hier nicht im Detail vorgestellt werden. Messdaten aus vergleichbaren Messkampagnen wurden von Herkel und Pfafferoth bereits erfolgreich mit Hilfe dieses Modells ausgewertet, Literatur [34] und [35].

Tabelle 2 stellt die wichtigsten Größen der Energiebilanz und die mittlere Raum- und Außentemperatur während der Betriebszeit für die drei Gebäude vor:

- Aufgrund vergleichbarer Baukonstruktionen liegt die Speicherkapazität in den drei Projekten in der gleichen Größenordnung, so dass sich die Raumtemperatur nur aufgrund unterschiedlicher Wärmegewinne und -verluste unterscheidet. Die Gebäude Lamparter und Fraunhofer ISE haben deutlich höhere Wärmelasten als Pollmeier. Dieser Wärmeeintrag wird in diesen beiden Gebäuden durch deutlich höhere Luftwechsel als im Gebäude Pollmeier abgeführt.
- Im Sommer 2002 liegen (vergleichbare Außentemperatur an den drei Standorten) die Raumtemperaturen in den Gebäuden Lamparter und Fraunhofer ISE rund 2 °C, im Gebäude Pollmeier – wegen der verhältnismäßig geringen Wärmelasten – nur 1,4 °C über der Außentemperatur.
- Im deutlich wärmeren Sommer 2003 ist die Temperaturerhöhung der Raum- gegenüber der Außentemperatur geringer: Das Gebäude steht bei insgesamt höheren Temperaturen im thermodynamischen Gleichgewicht mit der Außentemperatur. Am ausgeprägtesten zeigt sich dieser Effekt am Fraunhofer ISE in Freiburg.

Tabelle 2: Energiebilanz (Werktage) und Raumtemperatur (nur Betriebszeit) für den Sommer 2002 und 2003.

		Lamparter		Pollmeier <sup>7</sup>		Fraunhofer ISE	
Wärmelast <sup>1</sup>	[Wh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> d)]	252		184		282	
Luftwechsel Tag <sup>2</sup>	[h <sup>-1</sup> ]	4 – 7 <sup>6</sup>		2 – 4		3 – 5	
Luftwechsel Nacht (mind.) <sup>3</sup>	[h <sup>-1</sup> ]	6 – 8 (frei)		1 – 6 (mind. 1)		5 – 8 (mind. 4)	
Speicherkapazität <sup>4</sup>	[Wh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> K)]	ca. 25		ca. 25		ca. 25	
		2002	2003	2002	2003	2002	2003
Außentemperatur <sup>5</sup>	[°C]	21,4	23,6	21,8	24,2	22,5	27,0
Raumtemperatur <sup>5</sup>	[°C]	23,4	24,8	23,2	24,6	24,6	27,4
Temperaturdifferenz	[K]	2,0	1,2	1,4	0,4	2,1	0,4

<sup>1</sup> mittlere Wärmelast für Werktage (Summe aus internen und solaren Wärmegevinen)

<sup>2</sup> typischer Luftwechsel, mechanischer Mindest-Luftwechsel am Tag zwischen 0,8 und 1,2 h<sup>-1</sup>

<sup>3</sup> typischer Luftwechsel während der Nacht (mechanischer Mindest-Luftwechsel)

<sup>4</sup> aktivierbare, thermische Speicherkapazität

<sup>5</sup> mittlere Temperatur in der Sommerperiode während der Betriebsstunden

<sup>6</sup> davon ca. 1,2 h<sup>-1</sup> mechanische Zuluft aus Erdwärmetauscher

<sup>7</sup> mechanische Nachtlüftung wird durch manuelle Öffnung der Fenster unterstützt

## 8 Fazit

Minimierung der Wärmegevinne, effiziente Wärmeabfuhr und Nutzung der Bauteile als thermische Speicher sind Grundvoraussetzung für die passiver Kühlung. Im Gebäudekonzept für natürlich belüftete und passiv gekühlte Bürogebäude muss bereits in der Planung das Nutzerverhalten berücksichtigt werden. Zur Planung stehen heute in der Praxis erprobte Werkzeuge zur Verfügung, um das Gebäudekonzept, die Anlagentechnik und deren Betriebsführung zu optimieren.

Der Sommer 2003 war ein Extremsommer. „Die 26 °C-Frage“ sollte daher nicht ausschließlich für diese Sommersituation diskutiert werden. Zumal auch klimatisierte Gebäude nicht immer behagliche Raumtemperaturen gewährleisten konnten. Leider stehen aus konventionellen Bürogebäuden nur wenige, belastbare Messwerte zur Verfügung. Allerdings fielen bei Außentemperaturen von über 38 °C und einer Wasserbeladung von 14 g/kg viele Klimaanlage aus oder mussten – z.B. mit Hilfe von Rasensprengern – notdürftig gekühlt werden. Da klimatisierte Gebäude auf eine Kühlung angewiesen sind, treten bei Ausfall der Klimaanlage deutlich höhere Raumtemperaturen als in Gebäuden mit optimiertem Gebäudekonzept ohne aktive Kühlung auf.

Eine einzelne Aussage aus dem Sommer 2003 wirft ein Schlaglicht auf die Bedeutung des Nutzerverhaltens: „Die Leute glauben nicht, dass Sonnenschutz bei hohen Außentemperaturen noch was bringt und lassen die Jalousie oben.“ Ähnlich verhält es sich mit dem Lüftungsverhalten, wodurch sowohl über die solaren als auch die Lüftungswärmegevinne die Raumtemperatur weiter ansteigt. Das Fraunhofer ISE arbeitet zur Zeit an der messtechnischen Bewertung des Nutzerverhaltens unter verschiedenen Randbedingungen.

Heutige Gebäude sind hinsichtlich interner und solarer Wärmelasten an der Grenze der Leistungsfähigkeit der passiven Kühlung. Wenn Wärmelasten reduziert werden, müssen Gebäude im mitteleuropäischen Klima nicht aktiv gekühlt werden. Vernünftiges Nutzerverhalten vorausgesetzt, kann eine einfache Lüftungsanlage die Grundlüftung gewährleisten, während der Nutzer durch offenbare Fenster den Luftwechsel – falls erwünscht – erhöhen kann. Mitunter werden einfache Back Up-Systeme notwendig, um während kritischer Wettersituationen das Büro zusätzlich (auch aktiv) zu kühlen ohne eine Vollklimatisierung notwendig zu machen.

Mit den Messdaten aus Lang- und Kurzzeitmessungen (z.B. Luftwechsellmessungen, Thermografie, Komfortmesstechnik, Temperaturen, Meteorologie und Nutzerverhalten) werden allerdings nicht nur realisierte Konzepte bewertet, sondern auch die verwendeten Planungswerkzeuge validiert. Ergebnis ist eine erhöhte Planungssicherheit für Kühlkonzepte. Ziel dabei ist, passive Kühlung – wo möglich – einzusetzen oder den Energieverbrauch für die aktive Kühlung / Klimatisierung – wo notwendig – zu minimieren.

Wenn Gebäude sorgfältig geplant und vernünftig betrieben werden, müssen in unserem Klima Büros nicht flächendeckend klimatisiert werden! Das ist eine Herausforderung, die Bauherren einfordern sollten und der sich Architekten und Planer stellen können. Passive Kühlung ist zwar noch neu, aber in der Baupraxis eingeführt. Mehrjährige Betriebserfahrungen zeigen, dass Gebäude mit reduzierter Gebäudetechnik im Winter und – vor allen Dingen – im Sommer funktionieren.

## Danksagung

Die Autoren möchten Peter Seeberger (Hochschule für Technik, Stuttgart), Katrin Schlegel (Zentrum für Umweltbewusstes Bauen, Kassel) und Christian Neumann (solares bauen GmbH, Freiburg) für die Bereitstellung der Messdaten aus dem Passiv-Bürohaus Lamparter und dem Verwaltungsgebäude Pollmeier sowie die Diskussion der Messwerte bedanken. Karsten Voss (Bergische Universität, Wuppertal) möchten wir für seine kritische Begleitung der Projekte und Messkampagnen danken. Die Arbeiten wurden im Rahmen des Förderprogramms „Solar optimiertes Bauen“ des Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (Projektträger Forschungszentrum Jülich, Dr. H.-G. Bertram) durchgeführt.

## Literatur

- [1] M. Schmidt in Editorial zu HLH 10/2003.
- [2] U. Franzke in Vorwort zu KI 10/2003.
- [3] Top-Thema „Kühlpflicht für deutsche Bürogebäude?“ in CCI.Print 7/2003.
- [4] A. Trogisch: Müssen sommerliche Raumtemperaturen zum Streitfall werden?, in: <http://wissen.cci-promotor.de>
- [5] Themenliste „Das bewegt die Branche!“ in CCI.Print 13/2003.
- [6] BINE-Themen-Info I/03: Passive Kühlung mit Nachtlüftung, unter <http://www.bine.info>.
- [7] DIN 1946 Raumluftechnik (VDI-Lüftungsregeln), Beuth-Verlag, 1994.

- [8] Arbeitsstätten-Richtlinien zur Arbeitsstättenverordnung, ASR 6 (Raumtemperaturen), Ausgabe Mai 2001.
- [9] P. Deutscher, M. Elsberger, L. Rouvel: Sommerlicher Wärmeschutz: Eine einheitliche Methodik für die Anforderung an den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz, Bauphysik 22 (2000) Heft 2 und 3.
- [10] VDI 2078 Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln), Beuth-Verlag, 1994.
- [11] E. Schramek, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 03/04, Oldenbourg, 2003 (in German).
- [12] DIN 4108, Teil 2: Wärmeschutz und Energieeinsparung im Hochbau, Beuth-Verlag, 2001.
- [13] EN 832 Thermal performance of buildings, Beuth Verlag, 1998 (in German).
- [14] VDI-Ausschuss zu den gesundheitstechnischen Anforderungen für Räume ohne RLTA-Anlage, VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung, September 2003.
- [15] Special Issue on Thermal Comfort, Energy and Buildings 34, 2002.
- [16] Urteil des Oberlandesgerichtes Hamm, in: Stellungnahme der Konferenz der ständigen Bauphysik-Professoren an wissenschaftlichen Hochschulen zu einem Urteil des Oberlandesgerichtes in Hamm, Bauphysik 19, Heft 3, 1997.
- [17] Urteil des Oberlandesgerichts Rostock, in: GI 123, Heft 6, 2002.
- [18] Urteil des Landesgerichts Bielefeld, in: cci.print 7/03, 2003.
- [19] K. Voss, G. Löhnert und A. Wagner: Energieeinsatz in Bürogebäuden (Teil 1 + 2), Bauphysik 25, Heft 2 + 6, 2003.
- [20] H.-D. Hegner, Die neue EU-Richtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“, Bauphysik 24, Heft 5, 2002.
- [21] H. Rietschel and H. Esdorn, Raumklimotechnik, Springer, 1995.
- [22] M. Liddament, A guide to energy efficient ventilation, AIVC, Coventry, Great Britain, 1996.
- [23] P. Heiselberg (Hrsg.), Principles of hybrid ventilation, Aalborg University, Dänemark, 2002.
- [24] Energie im Hochbau SIA 380/4, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, 1995.
- [25] Leitfaden Energie im Hochbau, Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit (Wiesbaden), 2000.
- [26] W. Bischof, M. Bullinger und B. Kruppa: ProKlima-Studie, 2003. Informationen unter <http://www.med.uni-jena.de/ark/>
- [27] C. Roulet, J. van der Maas and F. Flourentzos, A planning tool for passive cooling of buildings, Solar Energy and Building Physics Laboratory, Swiss Federal Institute of Technology, 1994.

- [28] F. Allard and M. Santamouris, Natural ventilation in buildings: a design handbook, James & James, 1998.
- [29] M. Zimmermann, Handbuch der passiven Kühlung, EMPA, Duebendorf, Schweiz, 1999.
- [30] K. Voss, G. Löhnert, A. Wagner: Energieeffizienz und Solarenergienutzung im Nichtwohnungsbau – Konzepte und Bauten, Fraunhofer ISE, Freiburg, 2001. Bezug über <http://bine.fiz-karlsruhe.de>
- [31] Internetplattform: <http://www.solarbau.de>, hier: Gebäude- und Projektbeschreibung unter <http://www.solarbau.de/monitor/doku> und Auswertung unter <http://www.solarbau.de/monitor/analyse/arbeitshilfen>.
- [32] Deutscher Wetterdienst: Der Rekordsommer 2003. Presseinformation unter <http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/prod/spezial/temp/>
- [33] B. Keller, Klimagerechtes Bauen, Teubner, 1997.
- [34] S. Herkel, J. Pfafferott, M. Wambsganß: Design, Monitoring and Evaluation of a Low Energy Office Building with Passive Cooling by Night Ventilation. EPIC/AIVC-Conference, Lyon 2002.
- [35] J. Pfafferott und S. Herkel, Evaluation of a parametric model and building simulation for design of passive cooling by night ventilation, Building Simulation 2003, Eindhoven, Netherlands, 2003.