

Energieeinsparung contra Behaglichkeit?

Projektleitung

Horst-Peter Schettler-Köhler

Hans-Peter Lawrenz

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn

Auftragnehmer

Prof. Dr.-Ing. Karsten Voss

Bergische Universität Wuppertal

Bauphysik und technische Gebäudeausrüstung btga

unter Mitarbeit von Dipl.-Ing. C. Hoffmann, W. Klein

Dr.-Ing. Jens Pfafferott

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg

unter Mitarbeit von Dipl.-Ing. D. Kalz, Dipl.-Ing. Chr. Neumann

Forschungen

In der Schriftenreihe Forschungen veröffentlichen das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) Ergebnisse der Ressortforschung zu den Themen Raumordnung, Städtebau, Wohnungswesen und Bauwesen.

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesministerium für Verkehr,
Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)
Invalidenstraße 44
10115 Berlin
www.bmvbs.bund.de

Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn
www.bbr.bund.de

Redaktion

Christian Erlewein, BBR, Bonn

Druck

BBR, Bonn

Verlag

Selbstverlag des Bundesamtes
für Bauwesen und Raumordnung
Deichmanns Aue 31–37
53156 Bonn

Bestellungen

Hans-Peter Lawrenz
E-Mail: hans-peter.lawrenz@bbr.bund.de
Stichwort: Forschungen 121

Nachdruck und Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Die vom Auftragnehmer vertretene Auffassung ist
nicht unbedingt mit der der Herausgeber identisch.

ISSN 1435-4659
ISBN 978-3-87994-453-8

Forschungen Heft 121
Bonn 2007

Inhalt

	Seite
Abstract	1
Kurzfassung	2
1 Einleitung	7
2 Thermische Behaglichkeit in Büroräumen unter sommerlichen Bedingungen	8
3 Rechtliche und normative Aspekte des sommerlichen Raumklimas	10
3.1 Öffentliches Baurecht	10
3.2 Privatrecht	12
3.3 Mietrecht	13
3.4 Arbeitsrecht	13
3.5 Praxis der Rechtsprechung	14
3.6 Fazit	15
4 Komfortkriterien in Normung, Richtlinien und Forschung	17
4.1 Statische Komfortmodelle	19
4.2 Adaptive Komfortmodelle	21
5 Komfortanalysen für ausgewählte Bürogebäude – Neubauten	23
5.1 „Normal“-Sommer	25
5.2 „Jahrhundert“-Sommer 2003	28
5.3 Fazit	28
6 Komfortanalysen für ausgewählte Bürogebäude – Bestandsgebäude	29
7 Szenarien – Ergebnisse von Simulationsrechnungen	32
7.1 Einzonenmodell nach DIN 4108-2:2003-07	34
7.1.1 Modellbildung	34
7.1.2 Ergebnisse	36
7.2 Dreizonenmodell analog DIN 4108-2:2003-07	37
7.2.1 Modellbildung	37
7.2.2 Ergebnisse	38
7.3 Potenziale und Grenzen der Passiven Kühlung	41
7.3.1 Lüftungsstrategie analog DIN 4108-2:2003-07	42
7.3.2 Freie Nachtlüftung	43
7.3.3 Ventilator unterstützte Nachtlüftung	45
7.3.4 Adiabate Kühlung	46
7.3.5 Aktive Kühlung (Referenzszenario)	48
7.3.6 Fazit	48
7.4 Potenziale und Grenzen von Sonnenschutzmaßnahmen	50
7.4.1 Passiver Sonnenschutz	51
7.4.2 Aktiver Sonnenschutz	54
7.4.3 Fazit	55
7.5 Auswirkungen des Klimawandels	56
7.5.1 Temperaturverhältnisse im Sommer 2003	56
7.5.2 Solarstrahlung im Sommer 2003	57
7.5.3 Fazit	58

	Seite
8 Kosten und Wirtschaftlichkeit	61
8.1 Referenzgebäude	61
8.2 Varianten der Technischen Gebäudeausrüstung	62
8.3 Investitionskosten	65
8.4 Elektrischer Energiebedarf	67
8.5 Nutzungskosten	68
8.6 Raumklima und Leistungsfähigkeit – Kosten (zu)hoher Raumtemperaturen	70
8.7 Fazit	70
8.8 Monetäre Bedeutung für den Gebäudebestand	71
Literatur	72
Anhang	75
A Test-Referenz Wetterdatensätze	76
B Vergleich ESP-r und TRNSYS	79
C Vergleich von Simulation und Praxis	80
D Dokumentation Kosten	82

Abstract

Energy saving versus summer thermal comfort? – A series of German verdicts concerning inadequate summer thermal comfort in commercial buildings has raised serious questions concerning the existing national building code's, claim to thermal comfort and sustainable building design. In this context the German Federal Office of Building and Regional Planning placed a contract to a working group of the University of Wuppertal and the Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems to investigate the framework, the legal situation, the physical possibilities and economic aspects.

The study undertaken is based on *a)* a detailed analysis of the operative temperatures, mainly measured in a number of new, energy efficient office buildings applying various measures of passive cooling and *b)* dynamic building simulations. To express the comfort expectations a set of national, European and international comfort standards were applied to the measured data and simulation results. This includes the new approaches with the definition of comfort classes as included in the draft prEN15251, the Dutch ISSO-74 and the ASHRAE-55.

Both, the measured data and simulations results underline, that the application of passive cooling measures such as efficient solar shading devices, solar control glass, activated thermal mass, night ventilation, earth-to-air heat exchanger, etc. result in suitable operative temperatures under a normal German summer climate. Taking the extreme summer conditions of 2003 as characteristic for a global warming scenario, comparable comfort can not be ensured: Rising ambient temperatures decrease the cooling potential of night ventilation, longer hot periods exceed the building's thermal storage capacity. Based on simulations it was found, that the demands set by the current German building code DIN 4108-2 do not ensure thermal comfort in free running indoor environments as generally expected by tenants, even in normal summers. Therefore modifications are required.

Economic considerations underline that highly selective solar control glass is the favourable measure to increase the summer thermal comfort and the robustness of buildings concerning user behaviour. The economy of heat extraction by night ventilation profits from the trend to install mechanical ventilation systems due to hygienic considerations in buildings with air tight envelopes.

Keywords: Office buildings, summer thermal comfort, comfort standards, building economy

Kurzfassung

Eine der wesentlichen Aufgaben einer Gebäudeplanung ist, für die jeweilige Nutzung angemessene Innenraumbedingungen durch den Entwurf, baukonstruktive Maßnahmen und technische Anlagen sicherzustellen. Die zunehmenden Anforderungen an Energieeinsparung und Klimaschutz fordern dazu heute ein Vorgehen, bei dem die Begrenzung der klimarelevanten Emissionen und des fossilen Energieverbrauchs besondere Beachtung finden.

Während für den Winterfall bewährte Konzepte den Einzug in die Baupraxis gefunden haben, hat vor allem der „Jahrhundertssommer 2003“ Mängel hinsichtlich der sommerlichen Situation offenbart:

- Aktuelle Gerichtsurteile bestätigten, dass vermietete Räume für die Nutzung angemessene sommerliche Raumtemperaturen aufweisen müssen. Ist dies nicht der Fall, liegt ein Mangel vor, der eine Mietminderung rechtfertigt und bauliche (Sonnenschutz) oder anlagentechnische (Kühlung) Nachrüstungen erforderlich macht. In Anbetracht der vorhergesagten globalen Klimaerwärmung steigen die Anforderungen an sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden.
- Zusätzliche Kühlung und Klimatisierung von Gebäuden steigert den Energieverbrauch. Die nationale Umsetzung der Gesamtenergieeffizienz-Richtlinie der EU fordert die Einführung von ganzheitlichen Primärenergiegrenzwerten, die die Kühlung und Klimatisierung einbeziehen und damit dem Mehrverbrauch zukünftig Grenzen setzen.

In diesem Kontext beauftragte das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung die Arbeitsgemeinschaft aus dem Lehrstuhl für Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung der Universität Wuppertal und dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg, zur Durchführung einer Forschungsarbeit mit dem Titel „Energieeinsparung contra Behaglichkeit?“. Die vorliegende Studie fasst die Ergebnisse zusammen.

Wegen der besonderen Relevanz, legen die Verfasser den Schwerpunkt der Betrachtung auf Büro- und Verwaltungsbauten. Im Vordergrund stehen dabei Gebäude ohne Teil- oder Vollklimaanlagen und mit hohem Potenzial zur individuellen Einwirkung der Nutzer auf das Raumklima. Sie bieten damit – im Sinne der Fragestellung für die vorliegende Forschungsarbeit – prinzipiell gute Voraussetzungen für einen sparsamen Umgang mit Energie bei hoher Behaglichkeit.

Die Rechtslage

Von herausragender Bedeutung für Bauherren und Gebäudeeigentümer sind die miet- und arbeitsrechtlichen Vorschriften. Das Mietrecht definiert, dass eine Mietsache in einem zum vertragsgemäßen Gebrauch – hier also dem Büro – geeigneten Zustand zu überlassen und während der Mietzeit in diesem Zustand zu erhalten ist. Allerdings sind die sich daraus ergebenden Anforderungen heute keinesfalls eindeutig, wenn *Räume ohne Klimaanlage und mit hoher Eingriffsmöglichkeit der Nutzer* auf das Raumklima realisiert werden. Dies erklärt den gerichtlichen Klärungsbedarf. In Ermangelung einer geeigneten normativen Festlegung oder anerkannten Regel der Technik beriefen sich richterliche Urteile zum sommerlichen Raumklima in einer fehlerhaften Interpretation zumeist auf den Teil 2 der heute nicht mehr gültigen DIN 1946, mit Ausgabe von 1960 bzw. 1994. Hierin wurden ausdrücklich nur für Gebäude mit raumluftechnischen Anlagen zur thermodynamischen Luftbehandlung Obergrenzen der Raumtemperatur in Abhängigkeit der Außentemperatur festgelegt. Ist keine Kühlfunktion realisiert, ist es physikalisch unmöglich, die dort genannten Raumtemperaturen sicher zu *gewährleisten!*

Die Interpretation des Miet- und Arbeitsrechts geht deutlich weiter als das Baurecht. Die Anforderungen gelten darüber hinaus unabhängig davon,

- ob baurechtliche Bestimmungen eingehalten wurden oder nicht und
- ob ein Neubau oder ein Bestandsgebäude betrachtet wird.

Die Analyse der baurechtlichen Aspekte des sommerlichen Raumklimas hat den hohen Stellenwert der DIN 4108-2:2003-07 („Wärmeschutz im Hochbau“) als im Rahmen des Nachweises nach der Energieeinsparverordnung EnEV:2004-12 rechtsverbindlich anzuwendenden technischen Regel aufgezeigt. Dies gilt unabhängig von der Einführung als technische Baubestimmung durch das jeweilige Bundesland. Allerdings werden ausschließlich Anforderungen für *Neubauten* und größere bauliche Ergänzungen bestehender Gebäude formuliert. Die DIN 4108-2:2003-07 ist ausdrücklich als Mindeststandard formuliert. Ihre Grenzwerte wurden für übliche Büronutzungen und die damit verbundenen inneren Wärmequellen rechnerisch ermittelt (144 Wh/m²d). In einer konkreten Planungsaufgabe ist somit zunächst kritisch zu prüfen, ob die vorgesehene Nutzung mit den getroffenen Annahmen zutreffend beschrieben wird (Büro, Arztpraxis, Reisebüro, etc.).

Die Einhaltung der in der DIN 4108-2:2003-07 formulierten Grenzwerte sichert nach der Erfahrung aus der vorliegenden Studie *nicht*, dass ein unkritisches sommerliches Temperaturverhalten eines Gebäudes erwartet werden kann. Gleichwohl wird mit der Einhaltung der baurechtlichen Anforderungen bei den Kunden einer Planung – also den Bauherren oder Mietern – diese Erwartungshaltung verbunden. Dies beruht unter anderem auf der in der Norm dargelegten Begründung für die gesetzten Anforderungen: Wird der Eindruck erweckt, bei Einhaltung der Grenzwerte auf eine Kühlung verzichten zu können, ist unmittelbar abzuleiten, dass *übliche Erwartungen* an das sommerliche Raumklima ohne Kühlung erfüllt werden. Dies ist mit den derzeit gültigen Grenzwerten nicht der Fall.

Um zukünftig die Erwartungen auch für nicht gekühlte oder klimatisierte Räume verbindlich zu definieren, werden derzeit mehrere Ansätze international und national verfolgt:

- prEN15251:2005-05: Bewertungskriterien für den Innenraum einschließlich Temperatur, Raumluftqualität, Licht und Lärm.
- VDI 6018: Behaglichkeit in Räumen.

Beide sollen Vergleichskriterien zur Verfügung stellen, die eine Klassifizierung von Räumen in unterschiedliche Komfortklassen erlauben. Damit können ein planerisches Ziel oder in einem Mietvertrag Eigenschaften von Mieträumen definiert werden. Die baurechtlichen Mindestanforderungen der DIN 4108-2:2003-07 sollten auf diese Komfortklassendefinition angepasst werden, um die derzeit vorhandenen Widersprüche zwischen Komforterwartungen und baurechtlichen Mindeststandards zukünftig zu vermeiden. Der derzeit vorhandene Interpretationsbedarf durch die Gerichte würde weitgehend beseitigt. Daher sind die diesbezüglichen Arbeiten aus Sicht der Autoren der vorliegenden Studie ausdrücklich zu begrüßen.

Wie bewerten wir thermische Behaglichkeit?

Thermische Behaglichkeit stellt sich ein, wenn:

- der Körper in einem thermischen Gleichgewicht mit der Umgebung steht und
- das Umgebungsklima unserer Erwartung entspricht.

Dementsprechend kann thermische Behaglichkeit nach zwei Modellen, dem Wärmebilanzmodell und dem Erwartungsmodell, beschrieben werden.

Das Wärmebilanzmodell berücksichtigt, dass das menschliche Wärmeempfinden im Wesentlichen vom thermischen Gleichgewicht des Körpers als Ganzem abhängt. Die dazugehörigen Umgebungsbedingungen für thermische Behaglichkeit sind in der DIN EN ISO 7730:1995-09 beschrieben.

Das Erwartungsmodell geht davon aus, dass sich thermischer Komfort dann einstellt, wenn das Umgebungsklima den Erwartungen der Nutzer entspricht. Demnach tolerieren wir im Sommer höhere und im Winter niedrigere Raumtemperaturen

(Adaption). Voraussetzung ist, auf das Raumklima Einfluss nehmen zu können. Das kann ein offenes Fenster, ein individuell bedienbarer Sonnenschutz oder ein individuell bedienbares Thermostatventil an einer Heizfläche sein. Die neue Europäische Vornorm prEN15251:2005-05, unterscheidet:

- Gebäude mit Einfluss des Nutzers von
- Gebäuden ohne Einfluss des Nutzers

auf das Raumklima. Vergleichbare Unterscheidungen und die dazugehörigen adaptiven Komfortmodelle wurden in den USA [ASHRAE 55:2004] und den Niederlanden bereits eingeführt [ISSO:2005]. Die niederländische Richtlinie ISSO-74 stellt dabei aus Sicht der Autoren der vorliegenden Studie den derzeit am weitesten entwickelten Komfortstandard dar.

Werden gemessene Raumtemperaturen aus Gebäuden ohne Kühlung und mit hohem Nutzereinfluss auf das Raumklima nach statischen und adaptiven Komfortkriterien analysiert, zeigt sich, dass die in der Praxis eingeführten und in der Wissenschaft diskutierten Komfortmodelle zu den gleichen qualitativen Aussagen kommen: Grundsätzlich werden diese Gebäude mit den adaptiven Komfortmodellen günstiger beurteilt als nach den statischen. Wesentlicher Grund dafür ist, dass die adaptiven Modelle die höhere Temperaturtoleranz explizit berücksichtigen, die nachgewiesenermaßen aus der Möglichkeit zum aktiven Nutzereingriff auf das Raumklima folgt.

Vergleichende Analysen anhand existierender Gebäude

Die Auswertung von über lange Zeiträume gemessenen Raumtemperaturen in neun exemplarisch untersuchten Büro Neubauten ohne aktive Kühlung zeigt, dass in einem normalen bis warmen Sommer das Komfortkriterium der alten DIN 1946-2:1994-01 für Gebäude mit raumluftechnischen Anlagen – unter realem Nutzerverhalten – an weniger als 5 % der Betriebszeit überschritten wurde (< 130 Stunden). Im extremen Sommer 2003 stießen jedoch diejenigen Gebäude, die ausschließlich durch Lüftung entwärmt werden, an ihre

(Komfort-) Grenze.

Bei allen untersuchten Gebäuden waren im Rahmen eines Förderprogramms frühzeitig entwerferische, bauphysikalische und gebäudetechnische Maßnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Raumklimas ergriffen worden. Dies ging jeweils deutlich über die Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz gemäß DIN 4108-2:2003-07 hinaus. Sie bilden daher nicht das übliche Baugeschehen ab. In Anbetracht ihrer dokumentierten Baukosten zeigen sie das heute kostenneutral Machbare auf.

Exemplarische Messungen in zwei Bestandsgebäuden zeigen, dass die Einhaltung der Komfortkriterien im Falle aktiver Kühlung kein Problem darstellt, während ohne Kühlung trotz wirksamem Sonnenschutz und moderater Fensterflächenanteile keine befriedigenden Ergebnisse erreicht wurden. Verbesserungspotenziale zeigen die durchgeführten Simulationsstudien auf.

Wege zu angenehmen Raumtemperaturen ohne aktive Kühlung

Die durchgeführten Simulationsrechnungen für einen Standort im gemäßigten Sommerklima haben ebenfalls gezeigt, dass ein Erfüllen der Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2:2003-7 den thermischen Komfort im Sinne der diskutierten – und von Gerichten verwendeten – Kriterien bereits in normalen Sommern bei realistischem Nutzerverhalten nicht sicherstellt. Die zusätzliche nächtliche Lüftung erbringt nur dann eine wesentliche Verbesserung der Situation:

- wenn baukonstruktiv sichergestellt ist, dass vorhandene massive Bauteile einen intensiven Wärmeaustausch mit der Raumluft haben und
- wenn ein ausreichender Luftwechsel *garantiert* werden kann (2 h^{-1}). Allein auf der Basis von freier Lüftung ist dies nur in Sonderfällen möglich; Regelfall ist die Ventilator unterstützte Nachtlüftung.

Um die Robustheit des Raumklimakonzepts insbesondere gegenüber einem unangepassten Nutzerverhalten zu sichern, eignet sich der Einsatz von neutralem Sonnenschutzglas. Dies gilt in besonderem Maße für vermietete Räumlichkeiten. Auch ohne Bedienung eines beweglichen Sonnenschutzes wird die externe Wärmelast vermindert. Nachteilig wirkt sich aufgrund der geringeren winterlichen Wärmegevinne der Anstieg des Heizwärmebedarfs um etwa 10 % aus (Basiswert 65 kWh/m²a). Sofern die nach wie vor an wenigen Stunden auftretenden Temperaturen oberhalb der jeweiligen Komfortbereiche gänzlich vermieden werden sollen, stellt eine indirekte Verdunstungskühlung bei vorhandener RLT-Anlage eine leistungsfähige Alternative dar. In gleicher Weise gilt dies für die Nutzung des Erdreichs oder des Grundwassers zur sommerlichen Kühlung, sofern die Standortpotenziale und die Baukonstruktion dies zulassen. Im Unterschied zur Nachtlüftung nimmt ihr Kühlpotential bei zeitweise steigenden Außentemperaturen nicht unmittelbar ab.

Die Bedeutung des Klimawandels

Kennzeichen des Klimawandels sind nach Aussagen unterschiedlicher Studien eine je nach Quelle mehr oder weniger intensive Zunahme der Jahresmitteltemperaturen sowie extremer Wetterereignisse. Zu letzteren zählen Verhältnisse wie im Sommer 2003.

Zur Analyse der Konsequenzen für den thermischen Komfort wurden die gemessenen Wetterdaten 2003 für einen sommerheißen Standort als Basis eines weiteren Simulationsszenarios gewählt (Freiburg i. Br.). Selbst unter Zugrundelegung eines adaptiven Komfortmodells und dementsprechend höheren zulässigen Raumtemperaturen genügt die Ventilator unterstützte Nachtlüftung nicht mehr, um das Referenzgebäude in einem komfortablen Bereich zu betreiben. Bei Zunahme der Außentemperatur nimmt das Kühlpotential der Nachtlüftung ab; die baukonstruktiv vorhandenen Wärmekapazitäten sind lang anhaltenden Hitzeperioden nicht mehr gewachsen. Diese Ergebnisse decken sich mit denen aus den Gebäude-

messungen in 2003.

Berücksichtigt man die ansteigenden Temperaturen im Winterhalbjahr relativieren sich zukünftig Maßnahmen zum winterlichen Wärmeschutz gegenüber solchen des sommerlichen Wärmeschutzes. Zwingende Voraussetzung für diese Einschätzung bleibt allerdings ein zeitgemäßer Wärmeschutz und demnach die wärmetechnische Sanierung von Bestandsgebäuden.

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Zum Verständnis der mit einem verbesserten sommerlichen Raumklima verbundenen Kosten wurden für ein Referenzgebäude die Investitions- und Nutzungskosten ermittelt.

Die Kosten der betrachteten Kühl- und Lüftungsstrategien unterscheiden sich bereits bei den Investitionen erheblich. Allerdings ist zu beachten, dass die Kosten nicht immer vollständig der Verbesserung des sommerlichen Raumklimas zugeordnet werden können. Beispiel: Während die Investition in eine Sonnenschutzverglasung allein dem Zweck der Senkung der sommerlichen Raumtemperaturen dient, leisten Lüftungsanlagen einen wesentlichen Beitrag zur Lufthygiene. Die heutigen Anforderungen hinsichtlich der luftdichten Bauweise, die dichte Personenbelegung in Bürogebäuden sowie die Minderung der Leistungsfähigkeit bei hohen CO₂-Konzentrationen sind wichtige Argumente für eine Ventilator unterstützte Lüftung. Daher wurden nur 50 % der Kosten bei der Verbesserung des sommerlichen Raumklimas in Ansatz gebracht. Wenn eine Ventilator unterstützte Lüftung zukünftig generell vorausgesetzt werden kann, verbessert sich die Wirtschaftlichkeit entsprechend deutlich.

Es ergibt sich folgendes Bild:

- Die komplette Ausstattung des Referenzgebäudes mit Sonnenschutzglas führt zu Mehrinvestitionen von 0,6 % der üblichen Bauwerkskosten für ein Bürogebäude mittleren Standards (+ 7 €/m²_{NGF}).
- Die einfache Abluftanlage als Mindestausstattung für die wirkungsvolle nächt-

liche Lüftung verursacht selbst bei anteiliger Kostenberücksichtigung mit 1,45 % bereits mehr als die doppelten Mehrinvestitionen (+ 16 €/m²_{NGF}).

- Komplette Zu- und Abluftsysteme unterstützt durch Ventilator-konvektoren oder eine Deckenkühlung führen zu Mehrkosten von 4,7 % bis 5,6 % (+ 50 € bis 60 €/m²_{NGF}).

Auch wenn die Kosten der Lüftungs- und Kühlungssysteme nur anteilig betrachtet werden, sind Sonnenschutzverglasungen deutlich kostengünstiger als alle Lüftungstechnischen Maßnahmen. An diesem Beispiel zeigt sich, dass Maßnahmen zur Verringerung der Kühllasten in der Regel wirtschaftlicher sind als solche zur Erhöhung der Wärmeabfuhr.

Betriebsenergieaufwand und Betriebskosten für einfache Abluftanlagen sind im Rahmen des Gesamtbedarfs typischer Bürogebäude vernachlässigbar gering. Demgegenüber schlagen Kühlung und Lüftungsfunktion bei den komplexeren Anlagenvarianten mit etwa 30 kWh/m²a Primärenergiebedarf zu Buche. Dies bedeutet je nach Baustandard 10 % (bei 300 kWh/m²a Basiswert, Altbau) bis 30 % (bei 100 kWh/m²a, energieeffizienter Neubau) Mehrbedarf. Demgegenüber stehen die Verbesserung der Lufthygiene und die Einhaltung der Komfortkriterien im Sommer.

Da in der Literatur sehr unterschiedliche Zahlen zum Bestand an Bürogebäuden in Deutschland genannt werden, sei hier nur beispielhaft eine Hochrechnung angeführt: Ausgehend von 67 Mio. m² nicht klimatisierter Büroflächen in Deutschland würde der Einsatz von Sonnenschutzglas im Rahmen von Sanierungen volkswirtschaftlich betrachtet Mehrkosten in der Größenordnung von knapp 470 Mio. € verursachen.

1 Einleitung

Die vorliegende Studie entstand als Resultat eines Forschungsauftrags des Bundesamts für Bauwesen und Raumordnung BBR an eine Arbeitsgemeinschaft aus dem Lehrstuhl für Bauphysik und technische Gebäudeausrüstung der Universität Wuppertal und dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg. Sie greift dabei in Teilbereichen auf umfangreiche Erfahrungen und Messdaten zurück, die die Arbeitsgemeinschaft im Rahmen der Begleitforschung zum Förderprogramm „Energieoptimiertes Bauen“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie BMWi erarbeitet hat. Die verwendeten Messdaten stammen von zahlreichen Universitäten und Instituten, die die Messungen an den einzelnen Objekten durchgeführt haben und ihre Daten dankenswerterweise zur Verfügung gestellt haben. Einen Überblick über die Erfahrungen und Ergebnisse dieses Förderprogramms gibt eine kürzlich erschienene Buchpublikation [Voss 2006].

Die Studie erläutert – nach einer kurzen Definition der Begrifflichkeiten des thermischen Komforts (Kapitel 2) – zunächst den rechtlichen Rahmen des sommerlichen Raumklimas mit dem Fokus auf Büro- und Verwaltungsgebäude. Dabei wird die erfolgte Rechtsprechung ebenso einbezogen wie die grundlegenden Anforderungen aus unterschiedlichen Rechtsbereichen (Kapitel 3).

In Vorbereitung umfangreicher Szenarienuntersuchungen mit dem Werkzeug der dynamischen Gebäudesimulation in Kapitel 7, werden in Kapitel 4 Komfortkriterien aus Normung, Richtlinien und Forschung kritisch erläutert. Anschließend werden diese Kriterien in den Kapiteln 5 und 6 zur Analyse umfangreicher raumklimatischer Langzeitmessdaten aus Neubauten und Bestandsgebäuden zu Grunde gelegt. Die Szenarienuntersuchungen konzentrieren sich auf der Basis von Typgebäuden zunächst auf Lüftungstechnische Maßnahmen zur Minderung der sommerlichen Raumtemperaturen (Kap. 7.3) und anschließend auf bauliche Maßnahmen zur Senkung der externen Wärmelast (Kap. 7.4). Die beispielhafte Berücksichti-

gung zusätzlicher Belastungen aufgrund des vorhergesagten globalen Temperaturanstiegs ergänzen die betrachteten Szenarien (Kap. 7.5).

Gegenstand des achten und letzten Kapitels sind die monetären Aspekte der untersuchten Szenarien in Hinblick auf die Investitions- und Nutzungskosten von Gebäuden. Die dazu durchgeführten Untersuchungen basieren auf einem Referenzgebäude als Abbild eines typischen Vertreters des Bestands. Die Ergebnisse beziehen den Energiebedarf ein und werden für eine Hochrechnung auf den deutschen Gebäudebestand eingesetzt.

Ein umfangreicher Anhang enthält weitere Information zum verbesserten Gesamtverständnis der durchgeführten Berechnungen und Analysen.

2 Thermische Behaglichkeit in Büroräumen unter sommerlichen Bedingungen

Thermische Behaglichkeit wird grundlegend nach zwei Hauptkriterien beschrieben: dem „Wärmebilanzmodell“ oder dem „Erwartungsmodell“. Die beiden Ansätze widersprechen sich nicht, sondern ergänzen einander:

Wärmebilanzmodell

Das menschliche Wärmeempfinden hängt im Wesentlichen vom thermischen Gleichgewicht des Körpers als Ganzem ab. Demnach stellt sich thermische Behaglichkeit dann ein, wenn die Parameter des Umgebungsklimas (Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte) so gewählt sind, dass sich bei gegebener körperlicher Tätigkeit und Bekleidung ein thermisches Gleichgewicht aus der Wärmeproduktion und der Wärmeabgabe einstellt. Dieses Gleichgewicht wird in der Norm DIN EN 7730:2003-10 durch das vorausgesagte mittlere Votum PMV (predicted mean vote) beschrieben [DIN EN 7730:2003-10]. „Thermische Behaglichkeit ist definiert als die Abwesenheit von solchen Impulsen der Kaltrezeptoren der Haut und der Warmrezeptoren des Temperaturregelzentrums im Stammhirn, die Anlass geben, die thermische Umgebung verändern zu wollen. Oder vereinfacht ausgedrückt: Thermische Behaglichkeit ist dann gegeben, wenn weder die Hauttemperaturschwelle von etwa 34 °C unterschritten noch die Stammhirntemperatur von etwa 37 °C überschritten ist.“ [Mayer 2005].

Erwartungsmodell

Thermischer Komfort stellt sich ein, wenn das Umgebungsklima den Erwartungen der Nutzer entspricht. Demnach tolerieren wir im Sommer höhere und im Winter niedrigere Raumtemperaturen. Entscheidend dabei ist, dass die (technischen) Möglichkeiten gegeben sind, auf das Raumklima Einfluss nehmen zu können. Das kann ein offenes Fenster, ein individuell bedienbarer Sonnenschutz oder ein individuell bedienbares Thermostatventil am Heizkörper sein.

Dieses Modell wird beispielsweise in der amerikanischen Norm ASHRAE 55 eingeführt [ASHRAE 55:2004].

Das Raumklima in Bürogebäuden wird konsequenterweise für Bürotätigkeit und typische Bekleidung beurteilt [DIN EN 7730:2003-10]:

- Aktivitätsrate: 1,2 met,
met = metabolic rate
- Bekleidungsgrad Sommer: 0,5 clo,
Bekleidungsgrad Winter: 1,0 clo,
clo = clothing rate

Es gilt also, die physikalischen Raumbedingungen derart bereitzustellen, dass die physiologische Wirkung (z. B. PMV-Index) durch den Nutzer positiv bewertet wird (Erwartungshaltung).

Im Folgenden wird zur Beurteilung des Raumklimas unbeachtet von örtlichen Unterschieden im Raum lediglich eine einheitliche operative Raumtemperatur, im Folgenden „Raumtemperatur“ genannt, als Bezugsgröße verwendet. Diese Raumtemperatur ist der Mittelwert von mittlerer Lufttemperatur und Strahlungstemperatur. Die Strahlungstemperatur bezeichnet dabei die flächengemittelte Temperatur aller Raumumschließungsflächen. Nach dieser Definition ist die operative Raumtemperatur in Raummitte zu messen bzw. mit Hilfe einer Simulation zu berechnen¹. Dieses Vorgehen begründet sich wie folgt: In Bürogebäuden mit einem zeitgemäßen Baustandard gemäß EnEV [EnEV:2004] stellen sich selten Raumbedingungen ein, die zu lokaler thermischer Unbehaglichkeit führen. Lokale Unbehaglichkeit kann zwar auch in einem Gebäude mit gutem Baustandard auftreten, ist aber meist auf kurzzeitig auftretende Effekte, beispielsweise Kaltluftabfall an einem weit geöffnetem Fenster im Winter oder direkter Sonneneinstrahlung bei geöffnetem Sonnenschutz im Sommer, zurückzuführen. Lokale Unbehaglichkeit kann nur durch detaillierte Untersuchungen und für ausgewählte Raumzustände bestimmt werden [Richter

(1)

Hinweis: Im Rahmen von individuellen Komfortuntersuchungen wird die operative Raumtemperatur häufig direkt am Arbeitsplatz gemessen. Da die lokale Positionierung des Arbeitsplatzes im Rahmen einer Studie aber nicht allgemeingültig definiert werden kann und die lokalen Unterschiede in einer globalen Bewertung gering ausfallen, wird die Raumtemperatur in Raummitte als Bezugsgröße gewählt.

2003]. Eine globale Langzeitbewertung durch Messung der „Raumtemperatur“ reicht daher zur Beurteilung des thermischen Komforts in einem realen Gebäude (Objektmessungen) oder einem bestimmten Gebäudetyp (Simulationsstudie) aus.

3 Rechtliche und normative Aspekte des sommerlichen Raumklimas

3.1 Öffentliches Baurecht

Für jedes *Neubauvorhaben* ist durch die entsprechenden Anforderungen in der Energieeinsparverordnung EnEV § 3, Absatz 4, 2004 [EnEV:2004] der Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2:2003-07 [DIN 4108-2: 2003-07] zu führen:

„Um einen energiesparenden sommerlichen Wärmeschutz sicherzustellen, sind bei Gebäuden, deren Fensterflächenanteil 30 vom Hundert überschreitet, die Anforderungen an die Sonneneintragskennwerte oder die Kühlleistung nach Anhang 1 Nr. 2.9 einzuhalten.“

Die Ausnahme bei Gebäuden geringerer Fensterflächenanteile unter 30 % verursacht in der Praxis Schwierigkeiten dahingehend, dass auch solche Gebäude Bereiche oder einzelne Räume aufweisen können, die die in der DIN 4108-2:2003-07 dargelegten Grenzwerte für den Sonneneintragskennwert nicht einhalten. Es kann daher nicht erwartet werden, dass sich ein Gebäude mit unter 30% Fensterflächenanteil in allen Räumen grundsätzlich unkritisch hinsichtlich des sommerlichen Raumklimas verhält. Innerhalb des Rechenverfahrens nach DIN 4108-2:2003-07 (dort Tabelle 7) gelten abhängig von der Orientierung und Neigung der Fenster erst deutlich niedrigere Quoten von 7 bis 15 % als nachweisfrei. Die Befreiung von der Pflicht zur Durchführung des Nachweises ist also nicht gleichzusetzen mit einer Befreiung von einer fachgerechten Planung bzw. der nutzungsgerechten Ausstattung derartiger Räume, um unangemessen hohen sommerlichen Temperaturen entgegenzuwirken.

Bei *bestehenden Gebäuden* gelten die gesetzlichen Anforderungen des sommerlichen Wärmeschutzes nur für Erweiterungsbauten, die selbst mehr als 30 m³ Bruttorauminhalt besitzen. Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz des Bestandsgebäudes bleiben dabei unbe-

rührt. Es ist allerdings bei der Auslegung dieses Sachverhalts zu beachten, dass das später zu diskutierende Miet- und Arbeitsrecht keine Unterscheidung zwischen Neubauten und Bestandsgebäuden kennt. Weiterhin heißt es unter Anhang 1, Nr. 2.9 der EnEV:

„2.9.1 Als höchstzulässige Sonneneintragskennwerte nach § 3 Abs. 4 sind die in DIN 4108-2: 2003-07, Abschnitt 8 festgelegten Werte einzuhalten. Der Sonneneintragskennwert des zu errichtenden Gebäudes ist nach dem dort genannten Verfahren zu bestimmen.“

2.9.2 Werden Gebäude mit Ausnahme von Wohngebäuden nutzungsbedingt mit Anlagen ausgestattet, die Raumluft unter Einsatz von Energie kühlen, so dürfen diese Gebäude abweichend von Nr. 2.9.1 auch so ausgeführt werden, dass die Kühlleistung bezogen auf das gekühlte Gebäudevolumen nach dem Stand der Technik und den im Einzelfall wirtschaftlich vertretbaren Maßnahmen so gering wie möglich gehalten wird. Dabei sind insbesondere die Maßnahmen zu berücksichtigen, die das unter Nr. 2.9.1 angegebene Berechnungsverfahren zur Verminderung des Sonneneintragskennwertes vorsieht.“

Die Begründung der Notwendigkeit liefert der Normtext DIN 4108-2:2003-07:

„Im Zusammenhang mit allgemeinen Energie-Einsparungsmaßnahmen im Hochbau muss darauf geachtet werden, dass durch bauliche Maßnahmen, verbunden mit der Nutzung eines Gebäudes, nicht unzumutbare Temperaturbedingungen in Gebäuden entstehen, die relativ aufwendige apparative und energieintensive Kühlmaßnahmen zur Folge haben. Daher macht es Sinn, dass bereits in der Planungsphase eines Gebäudes der sommerliche Wärmeschutz mit einbezogen wird, damit bereits durch bauliche Maßnahmen weitgehend verhindert wird, dass unzumutbar hohe Innentemperaturen entstehen. Es handelt sich um ein Nach-

weisverfahren mit standardisierten Randbedingungen. Im Einzelfall kann es zu Überschreitungen der unten genannten Werte kommen."

Besonders der letzte Satz ist in Bezug auf die nachfolgende Diskussion in Zusammenhang mit dem Miet- und Arbeitsrecht von Bedeutung.

Der Nachweis nach DIN 4108-2:2003-07 ist in jedem Falle zu führen, d. h.:

- bei Gebäuden *ohne* Anlagen zur Kühlung der Raumluft unter dem Aspekt der Begrenzung der sommerlichen Überhitzungsstunden,
- bei Gebäuden *mit* Anlagen zur Kühlung der Raumluft zur Begrenzung des Energieverbrauchs, hier aber nur im Rahmen wirtschaftlich vertretbarer Möglichkeiten zur Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen.

Wesentliche Konsequenz daraus ist, dass

- Gebäude *ohne* Anlagen zur Kühlung der Raumluft die Grenzwerte einhalten müssen,
- bei Gebäuden *mit* Anlagen zur Kühlung der Raumluft lediglich die Berechnung durchzuführen ist. Die Grenzwerte dürfen jedoch überschritten werden.

Die Norm spricht ausdrücklich und in Analogie zum winterlichen Wärmeschutz von bauphysikalischen *Mindestanforderungen* unter standardisierten Nutzungsbedingungen (unter anderem Tagessumme der internen Wärmequellen 144 Wh/m²d). Im Hinblick auf mögliche Forderungen aus dem Miet- und Arbeitsrecht hinsichtlich der Nutzungseignung von Räumen, sind in vielen Fällen höhere Anforderungen zu stellen. In jedem Fall ist im Rahmen des Nachweises zu überprüfen, ob die angestrebte Nutzung durch die normativ definierte Standardnutzung hinreichend übereinstimmend beschrieben wird: Höhe der internen Wärmequellen, Nutzungszeiten, etc. Bei Einhaltung der zulässigen Sonneneintragskennwerte wurde als Grundlage der Normung für diese Standardnutzungsbedingungen durch Simulationsrechnungen ermittelt, dass die der Klimazone entsprechenden Innentemperaturgrenzwerte (25,

26, bzw. 27 °C) an höchstens 10 % der Nutzungszeit überschritten werden. Die 10 % beziehen sich dabei ausdrücklich auf die jährliche Nutzungszeit, nicht etwa tägliche Nutzungszeiten.

Einige Bundesländer haben den zitierten Teil der DIN 4108-2:2003-07 von der Einführung als „Technische Baubestimmungen“ im Rahmen der Landesbauordnungen ausgenommen. Dies gilt beispielsweise für das Land Nordrhein-Westfalen [Ministerialblatt 2003]. Damit verzichten seine Landesbehörden aber nur auf die Überprüfung der diesbezüglichen Gebäudeeigenschaften im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens (öffentliches Baurecht). Es entfallen jedoch nicht die mit der EnEV formulierten diesbezüglichen Verpflichtungen des Bauherrn. Im Falle des Landes Nordrhein-Westfalen kann die Aufgabe der Überprüfung an die staatlich anerkannten Sachverständigen für Schall- und Wärmeschutz übertragen werden. Das Aufgabengebiet dieser Sachverständigen ist die Nachweispflicht nach § 2, Abs. 2 der Verordnung zur Umsetzung der EnEV [EnEV-UVO:2002]. Dazu zählt auch die stichprobenartige Überprüfung der Bauausführung auf der Baustelle. Die Baubehörde sammelt dann lediglich die Nachweise.

Bei Baumaßnahmen der öffentlichen Hand erfüllt der Bauherr auch die baurechtliche Kontrollfunktion. Dies ist ebenfalls in der jeweils landesspezifisch zur EnEV erlassenen Umsetzungsverordnung, beispielsweise für NRW in § 5 [EnEV-UVO:2002] festgehalten:

„Die für die Errichtung dieser Gebäude zuständigen Behörden haben darüber zu wachen, dass die Anforderungen der EnEV erfüllt werden.“

Die Landesbauordnung NRW sagt hierzu ergänzend in § 80 aus, dass bauliche Anlagen keiner Baugenehmigung, Bauüberwachung und Bauzustandsbesichtigung, bedürfen, wenn

- der öffentliche Bauherr die Leitung der Entwurfsarbeiten und die Bauüberwachung einer Baudienststelle des Bundes, eines Landes oder eines Landschaftsverbandes übertragen hat und

- die Baudienststelle mindestens mit einer Person, die aufgrund eines Hochschulabschlusses der Fachrichtung Architektur oder Bauingenieurwesen die Berufsbezeichnung Ingenieurin oder Ingenieur führen darf und die insbesondere die erforderlichen Kenntnisse des öffentlichen Baurechts, der Bautechnik und der Baugestaltung hat und sonstigen geeigneten Fachkräften ausreichend besetzt ist.

Solche Anlagen und Einrichtungen erfordern die Zustimmung der Obersten Bauaufsichtsbehörde, wenn sie genehmigungsbedürftig sind (Zustimmungsverfahren). Genau diese Behörden haben dann darüber zu wachen, dass die Anforderungen der EnEV erfüllt werden.

Für Gebäude des Bundes ist im Kontext des „Leitfadens nachhaltiges Bauen“ der Erlass „Bauliche und planerische Vorgaben für Baumaßnahmen des Bundes zur Gewährleistung der thermischen Behaglichkeit im Sommer“ vom 14. 11. 2005 zu beachten [Klimaerlass 2005]. Darin wird unabhängig vom Vorhandensein einer Kühlung die Einhaltung der Sonneneintragskennwerte verpflichtend. Weiterhin ist sicherzustellen, dass allenfalls „die operative Soll- Raumtemperatur von +26 °C in normalen Büroräumen ohne den Einsatz von maschineller Kühlung (u. a. Teil- und Vollklimaanlagen, maschinelle Nachtlüftung, Bauteiltemperierung) an maximal 200 h/a während durchschnittlicher Jahre überschritten wird.“ Präzise Aussagen über die dazu zu wählenden Randbedingungen und Rechenverfahren fehlen allerdings.

3.2 Privatrecht

Das Privatrecht eröffnet den Vertragspartnern grundsätzlich die freie Gestaltung ihrer Rechtsbeziehungen. Wird keine besondere Vereinbarung getroffen, hat der Bauherr Anspruch auf eine Planung nach den anerkannten Regeln der Technik. Die normative Einführung der DIN 4108-2:2003-07 durch den Bund im Rahmen der EnEV erhebt den darin beschriebenen sommerlichen Wärmeschutz in den Rang einer anerkannten Regel der Technik [Busse 2004]. Ein Bauherr muss daher

davon ausgehen, dass das in Auftrag gegebene Gebäude entsprechend geplant und ausgeführt wird.

Dies bedeutet, dass:

- ohne Einbau einer Kühlung die Bauweise in den Schranken der zulässigen Sonneneintragswerte nach DIN 4108-2:2003-07 erfolgt, oder
- bei Überschreiten der zulässigen Sonneneintragskennwerte sowie bei offensichtlich nicht den Standardnutzungsbedingungen entsprechender Nutzung, technische Einrichtungen zum Kühlen geplant und ausgeführt werden.

Abweichend davon, kann ein Bauherr jedoch die Pflichten seiner Planer verschärfen oder abmildern. Ein Beispiel dafür könnte eine Senkung der Investitionskosten für ein selbst genutztes Gebäude durch den Verzicht auf Sonnenschutzverglasungen sein. Mögliche Nutzungseinschränkungen werden dann bewusst in Kauf genommen, können aber bei einer späteren Vermietung Gründe für die Anzeige eines Mangels der Mietsache durch die Mieter sein, siehe unten. Die getroffene Vereinbarung mit dem Bauherrn befreit die Planer aus der diesbezüglichen Haftung, nicht aber den Bauherrn gegenüber dem Mieter.

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass sich die bekannten und vielfach diskutierten Gerichtsurteile in Streitfällen zum sommerlichen Raumklima auf vermietete Räumlichkeiten bezogen: Nicht der Bauherr beklagte einen Mangel seines Bauwerks gegenüber den beauftragten Planern, sondern Mieter klagten erfolgreich wegen der Nichtübereinstimmung der Mietsache mit ihren Erwartungen (siehe 3.5). Unbeschadet der Frage, ob ein Mangel der Mietsache oder ein Bauwerksmangel vorliegt, sollte bereits der Planer die spätere Nutzung und die gegebenenfalls dadurch bedingten erhöhten Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz mit dem Bauherrn abklären. Hinsichtlich der Erwartung eines Mieters sind die nachfolgend diskutierten Aspekte von besonderer Bedeutung.

3.3 Mietrecht

Bei vermieteten Räumen besteht die rechtliche Verpflichtung eines Vermieters, die Mietsache in einem zum vertragsgemäßen Gebrauch geeigneten Zustand zu überlassen und sie während der Mietzeit in diesem Zustand zu erhalten (§ 535 I 2 BGB). Werden Räume als Büros vermietet, müssen sie dazu auch geeignet sein. Als Mangel gilt, wenn vermietete Räume „nicht so beschaffen sind, dass der nach dem Vertragszweck vorgesehene Beruf oder das vorgesehene Gewerbe in den Räumen in zulässiger Weise ausgeübt werden kann“ [OLG Rostock 2000]. Ein solcher Mangel kann nach Auffassung des Gerichts unabhängig von der Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik bestehen [BGH 1995]. Demnach würde es u. U. nicht ausreichen, die Vorgaben der DIN 4108-2:2003-07 eingehalten zu haben. Dies gilt insbesondere, wenn die planerisch absehbare Nutzung von der angenommenen Standardnutzung nach DIN 4108-2:2003-07 abweicht (interne Wärmequellen deutlich höher als 144 Wh/m²d).

3.4 Arbeitsrecht

Bürogebäude fallen in den Anwendungsbereich der Arbeitsstättenverordnung ASV [ASV 2002] bzw. der Arbeitsstättenrichtlinie ASR. Adressat der ASV ist der Arbeitgeber als „Beschäftigter“ (§ 1 Abs. 1, Satz 2 ASV), grundsätzlich ist er bei Einrichtung einer Arbeitsstätte im Hinblick auf die Raumtemperaturen dazu verpflichtet, den Arbeitnehmern ein den formulierten Anforderungen entsprechendes Raumklima zur Verfügung zu stellen. Die ASV § 6, Abs. 1-3² besagt dazu:

„In Arbeitsräumen muss während der Arbeitszeit eine unter Berücksichtigung der Arbeitsverfahren und der körperlichen Beanspruchung der Arbeitnehmer gesundheitlich zuträgliche Raumtemperatur vorhanden sein ...“.

Die Arbeitsstättenrichtlinien stellen keine verbindlichen Rechtsnormen dar, doch bringen sie, vergleichbar mit anderen Richtlinien, die sachverständigen Erfahrungen zum Ausdruck, so dass sie als doku-

mentierte, allgemein anerkannte Regeln oder gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse vom Arbeitgeber als maßstabsgerecht angesehen werden können. „Sie stellen mithin ein so genanntes antizipiertes Sachverständigengutachten dar“ [OLG Hamm 1994], [Steiner 2003].

In Abschnitt 1.1 ASR wird zunächst die Raumtemperatur als „Temperaturgröße aus der örtlichen Lufttemperatur und den Strahlungstemperaturen der einzelnen Umgebungsflächen“ definiert. Abschnitt 1.2 definiert die Lufttemperatur als „Temperatur der Luft ohne Einwirkung von Wärmestrahlung“ und wie diese gemessen wird. Abschnitt 3.3 legt fest, dass „die Lufttemperatur in Arbeitsräumen + 26 °C nicht überschreiten soll.“ Bei darüber liegender Außentemperatur darf in Ausnahmefällen die Lufttemperatur höher sein. Abschnitt 3.4 bestimmt, dass an Fenstern, Oberlichtern oder Glaswänden gegen direkte Sonneneinstrahlung wirksame Schutzvorrichtungen vorzusehen sind.

Seit 1996 gilt die ASV in allen Bundesländern für alle Arbeitsstätten [Steiner 2003]. Eine Ausnahme bilden so genannte „Alt-arbeitsstätten“. Diese fallen zwar in den Geltungsbereich der ASV, sind aber bereits vor in Kraft treten der Verordnung (1. Mai 1976) oder vor der Erweiterung auf die neuen Bundesländer im Jahr 1990 bzw. die Ausweitung auf alle Berufssparten³ im Jahr 1996 errichtet worden. Es gelten Sonderregeln (§ 56 ASV), die besagen, dass auf diese Altarbeitsstätten die Verordnung nicht anzuwenden ist. Sie ist nur dann anzuwenden, wenn Gefahren für Leben oder Gesundheit der Arbeitnehmer entstehen, sich die Nutzung, Arbeitsverfahren oder Arbeitsabläufe der Arbeitsstätte ändern, oder wesentliche Umbauten (die eine neue Baugenehmigung erfordern, [Steiner 2003]) vorgenommen werden.

In Folge der Vereinheitlichung der Arbeitsschutzgesetzgebung auf europäischer Ebene seit Anfang der 1990er Jahre werden die aus den Unfallverhütungsvorschriften abgeleiteten Anforderungen an das Raumklima mehr und mehr durch die Berufsgenossenschaften festgelegt. Der Wechsel in der Zuständigkeit und die damit einhergehenden Änderungen in den Vorschriften werden zum Zeitpunkt der Fertigstellung der vorliegenden Studie auch im

(2) Seit dem 8. August 2004 ist eine Neufassung der ArbStättV in Kraft [ArbStättV 2004]. Der Text des Absatzes (jetzt ArbStättV 2004 Anhang Anforderungen an Arbeitsstätten nach § 3, 3.5) ist gleich geblieben.

(3) Bis zu diesem Zeitpunkt waren freie Berufe, das Unterrichtswesen, Betriebe der Urproduktion und Eisenbahnunternehmungen von der Anwendbarkeit der ASV ausgenommen.

Hinblick auf die baulichen Mindestanforderungen und die Mindestanforderungen an das Raumklima in den entsprechenden Gremien diskutiert.

3.5 Praxis der Rechtsprechung

Das so genannte „26°C-Urteil von Bielefeld“ war nicht das erste Urteil dieser Art, hat aber im Kontext des „Jahrhundertssommers 2003“ eine besonders heftige Diskussion ausgelöst [LG Bielefeld 2003]: Eine Anwaltskanzlei hatte Räumlichkeiten eines Gebäudes in Gütersloh angemietet. Bei der Bauplanung waren die Anwälte teilweise beteiligt, es wurde die Klimatisierung von zwei Arbeitszimmern und einem Besprechungsraum festgelegt. Im Sommer heizten sich die übrigen Räume teilweise deutlich über 30 °C auf. Weiter blieben Werte zwischen 28 °C und 30 °C über lange Zeiträume nahezu unabhängig von der Außentemperatur konstant. Allein mit Lüften während der Morgenstunden ließen sich die Innenraumtemperaturen nicht senken. Nächtliches Lüften lehnte der Mieter aus Gründen des Versicherungsschutzes ab. Das Gericht verurteilt den Gebäu-

debetreiber zur Gewährleistung einer Raumlufttemperatur von maximal 26 °C, bei einer Außentemperatur von bis zu 32 °C. Bei höheren Außentemperaturen muss die Innentemperatur mindestens 6 °K unter der Außentemperatur liegen.

In der Sache vergleichbare Urteile wurden von folgenden Gerichten gesprochen: [OLG Köln 1993], [OLG Hamm 1995], [OLG Düsseldorf 1998], [OLG Rostock 2001] und [OLG Naumburg 2004]. Alle Gerichte berufen sich auf Fachgutachten, auf die Arbeitsstättenrichtlinie ASR 6 (hier: § 3 „Lufttemperaturen in Arbeitsräumen“), auf die, zum Zeitpunkt der jeweiligen Rechtsprechung teilweise nicht mehr gültige, DIN 1946-2:1960-4 bzw. DIN 1946-2:1994-01 (hier: Bild „Bereiche operativer Raumtemperaturen“), auf die DIN 4108-2:2003-07 (hier: Abschnitt 8 „Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz“) oder auf mehrere dieser Quellen. Unabhängig von der zu beurteilenden Situation vor Ort kommen alle Urteile zu dem Schluss, dass eine bestimmte Raumtemperatur entweder einzuhalten sei oder zumindest nur selten überschritten werden dürfe. Die Urteile stützen sich dabei auf die Gutachten von Sachverständigen. Die kritische Hinterfra-

Tabelle 3.1
Beispielhafte Urteile zum Wärmeschutz in gewerblich vermieteten Räumen und ihre Grundlagen

Urteil	Verkündung	Räumlichkeit	Grundlagen
LG Bielefeld AZ: 3 O 411/01	2003	Anwaltskanzlei, frei belüftet	Gewerbmietrecht in Verbindung mit ASR 6/3,3:2001 und DIN 1946-2:1960-04
KG Berlin AZ: 8 U 146/01	2002	klimatisiert	Gewerbmietrecht in Verbindung mit ASR 6/3,3:2001
OLG Rostock AZ: 3 U 83/98	2000	Arztpraxis, frei belüftet	Gewerbmietrecht in Verbindung mit ASR 6/1,3:1976 und DIN 1946-2:1960-04
OLG Düsseldorf AZ: 24 U 194/96	1998	Textilgeschäft, frei belüftet	Gewerbmietrecht und DIN 1946-2:1994-01
OLG Hamm AZ: 7 U 132/92	1994	mechanisch belüftet	Gewerbmietrecht in Verbindung mit ASR 6/1,3:1976 und DIN 1946-2:1960-04
OLG Köln AZ: 2 U 185/90	1991	frei belüftet	Gewerbmietrecht in Verbindung mit ASR 6/1,3:1976 und DIN 1946-2:1960-04, auch DIN 4108-2:1981-08

Allgemeine Anmerkungen

1 Alle hier diskutierten Urteile stützen sich auf das Mietrecht. Nur die Urteile aus Köln und Düsseldorf zitieren die zum jeweiligen Zeitpunkt gültige Fassung der DIN 1946-2.
2 Zu beachten ist, dass das LG Bielefeld eine dem OLG Hamm nachgeordnete Instanz ist. Es liegt deshalb nahe, dass sich das LG Bielefeld (Einzelrichter) der Rechtsprechung des ihm übergeordneten OLG angeschlossen hat.
3 Nur das Urteil aus Köln bezieht sich explizit auf die DIN 4108-2 und stellt deren Nichterfüllung ausdrücklich fest. Die Urteile aus Rostock und Düsseldorf deuten einen Verstoß gegen DIN 4108 an. Inwieweit

der Baustandard in den anderen Fällen der jeweils gültigen DIN 4108-2 entspricht, geht aus den Urteilen meist nicht hervor.
4 OLG Rostock und LG Bielefeld lassen eine Mietminderung zu. OLG Köln gewährt Anspruch auf nachträgliches Anbringen von Sonnenschutz und LG Bielefeld deutet Nachrüstungsanspruch von Klimageräten an, soweit andere Sonnenschutzmaßnahmen nicht ausreichend Erfolg versprechend sind.
5 Der Gültigkeitsbereich der ASR und insbesondere die Formulierung in der ASR 6 werden von unterschiedlichen Autoren und Gerichten unterschiedlich bewertet.

gung der normativen Festlegungen ist nicht Gegenstand der Gutachten.

Eine rechtswissenschaftliche Queranalyse der Urteile kommt unter Berücksichtigung der Soll-Regelung in der Arbeitsstättenrichtlinie ASR 6 zu folgendem Schluss: Juristisch kann in Gebäuden ohne RLT-Anlage lediglich die Einhaltung des Baustandards nach der DIN 4108-2:2003-07, nicht aber eine bestimmte Raumtemperatur gefordert werden [Busse 2004].

Während für Gebäude mit raumlufttechnischen Anlagen konkrete und eindeutige Vorgaben aus Normen, Richtlinien und anerkannten Handbüchern bekannt sind, steht die aktuelle Debatte um Gebäude ohne diese technische Ausstattung vor drei Problemfeldern:

- 1 *Grundlagen:* Die aktuelle Rechtsprechung verweist teilweise auf widersprüchliche Grundlagen für die Bewertung des Raumklimas. So stehen die Anforderungen an die Raumtemperatur aus der ASR 6 und aus der DIN 4108-2:2003-07 unkommentiert nebeneinander. Teilweise wird auch auf nicht zutreffende Normen verwiesen. So galt die DIN 1946-2:1994-01 ausdrücklich nur für Gebäude mit raumlufttechnischen Anlagen mit thermodynamischer Luftbehandlung (§ 4.1): „Mit RLT-Anlagen werden direkt die Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit, Luftfeuchte und Luftqualität in Räumen beeinflusst.“
- 2 *Fehlende Festlegung:* Wird nicht der Baustandard, sondern die Einhaltung bestimmter Temperaturen vorgeschrieben, stellt sich die Frage, wann welche Raumbedingungen bereitgestellt werden müssen. Ein Gebäude ohne eine entsprechende Gebäudeausrüstung (z. B. Klimaanlage oder Kühldecke) kann eine bestimmte Temperatur – physikalisch bedingt – prinzipiell nicht garantieren. Vielmehr wird die Raumtemperatur durch das Gebäude, seine Nutzung und das Nutzerverhalten bestimmt.
- 3 *Umsetzung in der Planungs- und Bau-praxis:* In vielen Bauvorhaben werden auch heute noch keine Festlegungen zwischen Bauherr und Planer / Architekt zur Bewertung des thermischen Komforts im Sommer getroffen. Finden demgegenüber explizit Vereinbarungen zwi-

schen den Projektbeteiligten statt, dann beziehen sich diese entweder, in Anlehnung an die Grundlage für DIN 4108-2:2003-07, auf die zulässige Zahl an Überhitzungsstunden („... soll an maximal 150 Stunden 25 °C überschreiten ...“) oder vereinbaren separate Komfortkriterien („... soll an warmen Tagen unter der Außentemperatur liegen ...“ oder „... der Behaglichkeitsbereich nach DIN 1946-2:1994-01 ist einzuhalten ...“).

Ein Lösungsweg zeigt sich auf, wenn nicht die Rechtsprechung und die Konkurrenz unterschiedlicher Normen und Richtlinien in den Fokus gestellt werden: Andere Länder haben bereits in den vergangenen Jahren damit begonnen, Komfortkriterien für unterschiedliche Gebäudeklassen und unterschiedliche Anforderungen an das Raumklima einzuführen. Diese werden im nachfolgenden Kapitel 4 mit vorgestellt.

3.6 Fazit

Die Zusammenstellung hat die Komplexität der Rechtslage verdeutlicht. Eindeutig ist dabei der hohe Stellenwert der DIN 4108-2:2003-07 als rechtsverbindlich anzuwendender Vorschrift bei der Planung von Neubauten hervorzuheben. Als ausdrücklicher „Mindeststandard“ sichert ihre Anwendung allerdings nicht zwingend, dass ein unkritisches sommerliches Temperaturverhalten in allen Teilen eines Gebäudes erwartet werden kann. Hierzu werden im nachfolgenden Kapitel Szenarien mit dem Werkzeug der Simulation untersucht. Insbesondere muss die kritische Überprüfung der realen Nutzungsbedingungen hinsichtlich der Übereinstimmung mit denen im normativen Nachweisverfahren im Einzelfall frühzeitig erfolgen.

Von herausragender Bedeutung für Bauherren ist die Tatsache, dass die arbeits- und mietrechtlichen Vorschriften immer zur Anwendung kommen. Dies gilt unabhängig davon

- ob es sich um einen Neubau oder ein Bestandsgebäude handelt,
- ob die Sonneneintragkennwerte eingehalten wurden, oder

- welche technischen Systeme zur Konditionierung eines Raumes eingesetzt werden.

Die sach- und zeitgemäße Interpretation der Vorschriften wird auch weiterhin die Gerichte beschäftigen. Dies gilt insbesondere angesichts der Erwartung eines globalen Temperaturanstiegs und der Zunahme extremer sommerlicher Wetterereignisse (siehe Kapitel 7.5). Einen ersten Eindruck hat der Sommer 2003 vermittelt. Angesichts solcher Aspekte sollte eine Planung heute nicht an den „Mindestwerten“ des sommerlichen Wärmeschutzes orientiert werden.

Für Bauherren bzw. Investoren und Betreiber sind die sich daraus ergebenden Anforderungen nicht eindeutig. Der Entwurf zur Europäische Norm prEN 15251:2005 „Bewertungskriterien für den Innenraum einschließlich Temperatur, Raumluftqualität, Licht und Lärm“ und die Arbeiten zur Richtlinie VDI 6018 „Behaglichkeit in Räumen“ (*Anm.*: wurde eingestellt) sollen hier zukünftig Vergleichskriterien zur Verfügung stellen, die eine Klassifizierung von Räumen in unterschiedliche Komfortklassen erlauben. Während die heute nicht mehr gültige DIN 1946-2:1994-01 ausschließlich für Räume mit RLT-Anlagen anzuwenden war, sollen die neuen Normen und Richtlinien allgemeingültig sein [prEN15251:2005] [VDI 6018: 2005]. Das nachfolgende Kapitel stellt sie im Kontext eingeführter und in der Wissenschaft diskutierter Komfortkriterien vor.

4 Komfortkriterien in Normung, Richtlinien und Forschung

In der Komfortforschung werden zwei unterschiedliche Wege zur Beurteilung des thermischen Komforts gewählt: Laboruntersuchungen und Feldstudien. Daraus ergeben sich zwei grundsätzlich verschiedene Herangehensweisen.

Laboruntersuchungen

Laboruntersuchungen haben zum Ziel, den Einfluss der unterschiedlichen Komfortgrößen wie Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftfeuchtigkeit oder Luftbewegung auf den Menschen in Abhängigkeit von Kleidung und Tätigkeit zu bestimmen. Daraus wurde durch Fanger [Fanger 1970] das so genannte PMV-Modell entwickelt, mit dessen Hilfe für bestimmte Raumbedingungen der Prozentsatz Unzufriedener PPD bestimmt werden kann (predicted percentage of dissatisfied). Dieses Modell liegt der DIN EN 7730:2003-10 zu Grunde. Das Modell geht davon aus, dass der Wärmehaushalt des Menschen ausgeglichen sein soll und ist damit unabhängig von den Außenbedingungen.

Feldstudien

Feldstudien berücksichtigen das Umfeld der Befragten. Die auf Feldstudien zurückzuführenden Modelle gehen dabei von einer thermischen Adaption des Menschen an das Umgebungsklima aus [Dear 1998]: Bei höheren Außentemperaturen werden höhere Raumtemperaturen akzeptiert. Vorausgesetzt, der Nutzer hat die Möglichkeit, sich an die Umgebung zu adaptieren. Diese Möglichkeit ist in natürlich belüfteten Gebäuden grundsätzlich gegeben, in vollklimatisierten Gebäuden hingegen nicht.

Die beiden Herangehensweisen werden häufig als konkurrierende Methoden diskutiert. Tatsächlich jedoch, ergänzen sich diese Ansätze. So unterscheidet die ASHRAE 55 seit der Ausgabe 2004 Gebäude *mit großem Einfluss des Nutzers auf das Raumklima* von Gebäuden *ohne* großen Einfluss des Nutzers auf das Raumklima. Diese Unterscheidung wurde durch mehrere Studien wissenschaftlich begründet und entspricht auch der praktischen Erfah-

rung: Wenn ein Nutzer sein Raumklima z. B. durch (Nicht-) Bedienen des Sonnenschutzes oder durch das (Nicht-) Öffnen eines Fensters beeinflussen kann, ist er „toleranter“ gegenüber dem Raumklima (siehe Literatur zu den einzelnen Komfortmodellen).

Der Wärmehaushalt des Menschen wird durch viele Randbedingungen beeinflusst. Hier soll – wie bereits dargestellt – nur die komfortable Raumtemperatur $\theta_{o,c}$ als Haupteinflussgröße bewertet werden. Die Erwartungen des Nutzers werden durch die Funktion des Gebäudes und durch das Außenklima beeinflusst. Im Folgenden werden zunächst nur Gebäude „mit großem Einfluss des Nutzers auf das Raumklima“, also ausschließlich frei oder zumindest optional frei belüftete Gebäude ohne Zuluftkonditionierung berücksichtigt.

Es sei an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass im Folgenden auch Kriterien vorgestellt werden, die zwar in der Praxis häufig angewendet werden, sich aber nicht explizit auf Komfortuntersuchungen beziehen. Das betrifft insbesondere die Dauerlinie nach DIN 4108-2: 2003-07 und die Arbeitsstättenrichtlinie ASR 6 sowie eingeschränkt die alte DIN 1946-2:1994-01 und die Vorschläge zum RLT-Anlagenbetrieb [RLT-Anlagenbau 2004].

Tabelle 4.1
Zusammenfassung der Normen und Richtlinien für den thermischen Komfort

Statisches Komfortmodell	Bezugsgröße	Grenztemperatur RTc [°C]	Bedingung	Komfortklassen
DIN 4108-2:2003-07 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz	Höchste Monatsmitteltemperatur $\theta_{e,m,h}$	$\theta_{o,c} = 25\text{ °C}$ $\theta_{o,c} = 26\text{ °C}$ $\theta_{o,c} = 27\text{ °C}$	$\theta_{e,m,h} \leq 16,5\text{ °C}$ $16,5\text{ °C} \leq \theta_{e,m,h} \leq 18\text{ °C}$ $\theta_{e,m,h} > 18\text{ °C}$	nein
Arbeitsstätten-Richtlinie zur Arbeitsstättenverordnung, ASR 6-1 Raumtemperaturen	Außen-temperatur θ_e	$\theta_{o,c} = 26\text{ °C}$	darf bei höheren Außentemperaturen überschritten werden	nein
DIN 1946-2:1994-01 Raumluftechnik, Gesundheits-technische Anforderungen	Außen-temperatur θ_e	$\theta_{o,c} = 25\text{ °C}$ $\theta_{o,c} = 25\text{ °C} + 1/3 \cdot (\theta_e - 26\text{ °C})$	$\theta_e \leq 26\text{ °C}$ $\theta_e > 26\text{ °C}$	nein
DIN 13779:2004-09 Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage	Enthält kein vergleichbares Komfortkriterium.			
DIN EN ISO 7730:2003-10 Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmungen und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit.		$\theta_{o,c} = 24,5\text{ °C}$ $\theta_{o,c} = 22\text{ °C}$		A: 94 % Akzeptanz $\pm 1,0\text{ °C}$ B: 90 % Akzeptanz $\pm 1,5\text{ °C}$ C: 85 % Akzeptanz $\pm 2,5\text{ °C}$
Adaptives Komfortmodell	Bezugsgröße	Grenztemperatur RTc [°C]	Bedingung	Komfortklassen
ISSO-74 Niederländische ATG-Richtlinie: Thermische behaaglijkheid (nur obere Grenzen)	Außentemperatur während der letzten drei Tage $\theta_{e,2.4}$	$\theta_{o,c} = 21,45\text{ °C} + 0,11 \cdot \theta_{e,2.4}$ $\theta_{o,c} = 17,8\text{ °C} + 0,31 \cdot \theta_{e,2.4}$	$\theta_{e,2.4} \leq \text{ca. } 10\text{ °C}$ $\theta_{e,2.4} > \text{ca. } 10\text{ °C}$	A: 90 % Akzeptanz $+ 2,5\text{ °C}$ B: 80 % Akzeptanz $+ 3,5\text{ °C}$ C: 65 % Akzeptanz $+ 4,2\text{ °C}$
ASHRAE 55 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy	Meteorologisches Monatsmittel der Außentemperatur $\theta_{e,m,meteo}$	$\theta_{o,c} = 17,8\text{ °C} + 0,31 \cdot \theta_{e,m,meteo}$		A: 90 % Akzeptanz $\pm 2,5\text{ °C}$ B: 80 % Akzeptanz $\pm 3,5\text{ °C}$
prEN 15251:2005-05 Bewertungskriterien für den Innenraum einschließlich Temperatur, Raumlufqualität, Licht und Lärm	Mittlere Außentemperatur $\theta_{e,m}$	$\theta_{o,c} = 17,8\text{ °C} + 0,31 \cdot \theta_{e,m}$		A: 94 % Akzeptanz $\pm 2,5\text{ °C}$ B: 90 % Akzeptanz $\pm 3,5\text{ °C}$ C: 85 % Akzeptanz $\pm 4,2\text{ °C}$

Als Bezugsgröße für den thermischen Komfort hat sich in allen Komfortmodellen der

- Stundenwert der operativen Raumtemperatur $\theta_{o,c}$

durchgesetzt. Die in Normen und Richtlinien beschriebenen bzw. in der Fachliteratur diskutierten Komfortkriterien unterscheiden sich allerdings darin, welche Außentemperatur als Bezugsgröße gilt:

- Stündliche Außentemperatur $\theta_{e, \text{Stunde}}$
- gleitendes Mittel der Außentemperatur $\theta_{e, \text{rm}}$
- monatliche Außentemperatur $\theta_{e, \text{m}}$
- saisonale Außentemperatur $\theta_{e, \text{Sommer/Winter}}$.

4.1 Statische Komfortmodelle

Überschreitungshäufigkeit für

Klimaregion $\theta_{e,m,h}$

DIN 4108-2:2003-07: DIN 4108 „Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden“ behandelt in Teil 2 die „Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“ und darin in Abschnitt 8 die „Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz“. Der DIN 4108-2:2001-03 liegt kein Komfortkriterium zu Grunde.

Die Grundlagen für die Bemessung des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2:2003-07 sind ausführlich in [Rouvel 2000] beschrieben. Die Anforderungen sind so festgelegt, dass eine bestimmte Grenztemperatur (hier auch $\theta_{o,c}$ genannt) in Abhängigkeit der Klimazone, definiert über die höchste Monatsmitteltemperatur $\theta_{e,m,h}$, eine bestimmte Anzahl an Stunden pro Jahr nicht überschreitet:

- $\theta_{o,c} = 25^\circ\text{C}$ für $\theta_{e,m,h} \leq 16,5^\circ\text{C}$
- $\theta_{o,c} = 26^\circ\text{C}$ für $16,5^\circ\text{C} \leq \theta_{e,m,h} \leq 18^\circ\text{C}$
- $\theta_{o,c} = 27^\circ\text{C}$ für $\theta_{e,m,h} \geq 18^\circ\text{C}$

Die Überschreitungshäufigkeit $H_{RT,C}$ beträgt 10% per Anno. Dabei ist für Bürogebäude mit 10 Stunden Anwesenheit pro Tag zu rechnen. In der Planung sind alle Tage des Jahres gleich zu behandeln, d. h. es werden 3 650 Aufenthaltsstunden betrachtet.

Der sommerliche Wärmeschutz wurde so festgelegt, dass Bürogebäude mit typischer Nutzung und typisch dimensionierten Glasflächen und Sonnenschutzvorrichtungen die Kriterien ohne Einsatz einer Kältemaschine erfüllen. Im Normtext der DIN 4108-2:2003-07 wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass eine Anwendung auf Gebäude mit Atrien oder Doppel-Glasfasaden nicht sinnvoll möglich ist.

Den Simulationsstudien in Kapitel 4 liegt demgegenüber ein realistisches Anwesenheitszeitprofil zugrunde, d. h. Werktag und Wochenenden werden gesondert berücksichtigt und ausgewertet. Es werden 261 Nutzungstage mit jeweils 11 Anwesenheitsstunden betrachtet.

Sollen gemäß eines echten Gebäudebetriebs zudem auch Feiertage und Urlaubstage (30 Tage Jahresurlaub) sowie die

reale Arbeitszeit von durchschnittlich 8 h berücksichtigt werden, können die ermittelten Stundenhäufigkeiten mit dem Faktor 0,48 gewichtet werden (219 Arbeitstage / 365 Jahrestages * 8 Arbeitstunden / 10 Bürostunden), da eine genaue Datierung der Abwesenheitszeiten nicht möglich ist. Somit ergibt sich die Aufenthaltszeit von 1750 h.

Die Wahl unterschiedlicher Bezugstemperaturen $\theta_{o,c}$ für drei Klimazonen (hier durch $\theta_{e,m,h}$ beschrieben) wird im Normtext damit begründet, dass bei höheren Anforderungen in sommer-warmen Regionen die Fensterfläche soweit reduziert werden müsste, dass eine ausreichende Tageslichtversorgung (in Anlehnung an die Arbeitsstätten-Richtlinien ASR 7 und sinngemäß ASR 5) andernfalls kaum ohne Klimaanlage gewährleistet werden könnte.

Unterschiedliche Maßnahmen, wie beispielsweise Bauschwere, verstärkte Nachtlüftung oder Sonnenschutzverglasung werden für die Klimaregion und unter Berücksichtigung der Neigung und Orientierung der Fensterflächen bewertet. Nach einem vorgeschriebenen Rechengang ergibt sich daraus der zulässige Sonneneintragswert. Über den Sonneneintragswert können dann die erforderlichen Sonnenschutzmaßnahmen festgelegt werden. Das Verfahren muss ggf. iterativ durchgeführt werden, bis der erforderliche sommerliche Wärmeschutz gegeben ist.

Damit wird deutlich, dass die DIN 4108-2:2003-07 zwar zur Planung herangezogen werden kann, nicht aber zur Komfortbewertung oder zur messtechnischen Beurteilung des realen Gebäudebetriebs. Eine festgelegte Überschreitungshäufigkeit kann nämlich nur für ein standardisiertes Wetter und definierte Randbedingungen gewährleistet werden: Während in der Planung die erforderlichen Randbedingungen bzgl. Wetter (Testreferenzjahre), Gebäudenutzung und Nutzerverhalten definiert werden, muss eine konkrete Situation vor Ort mit messbaren Größen unter realen Randbedingungen bewertet werden.

Raumtemperatur $\theta_{o,c}$ versus Stundenwert der Außentemperatur $\theta_{e,m,h}$

ASR 6, 2001: Die Arbeitsstättenrichtlinie ASR 6 gibt lediglich eine Soll-Temperatur von 26°C vor und ist nicht auf ein Komfortkriterium zurückzuführen. In vielen Ver-

öffentlichungen und auch in der oben diskutierten Rechtssprechung hat sich durchgesetzt, dass die Grenztemperatur von 26 °C bis zu einer (momentanen) Außentemperatur von 32 °C einzuhalten sei. Bei darüber liegenden Außentemperaturen ist demnach eine Temperaturdifferenz von 6 K zwischen innen und außen zu gewährleisten. Damit entspricht die Auslegung der ASR 6 zwar der Intention der Arbeitstättenverordnung, gesundheitlich unbedenkliche Arbeitsplätze anzubieten, eine wissenschaftliche Begründung für diese Bewertung wird aber nicht gegeben.

$$\theta_{o,c} = 26 \text{ °C für } \theta_e \leq 32 \text{ °C}$$

$$\theta_{o,c} = 26 \text{ °C} + 1 \cdot (\theta_e - 32 \text{ °C}) \text{ für } \theta_e > 32 \text{ °C}$$

DIN 1946-2:1994-01: In Ermangelung verbindlicher Richtlinien wurde bisher häufig auf diese Norm zurückgegriffen, die allerdings nur für Gebäude mit RLT-Anlage gilt. Diese Entwicklung wurde in mehreren Artikeln kritisch diskutiert, z. B. [Pfafferott 2004a] und [Hausladen 2004]. Die DIN 1946-2:1994-01 definiert in Abhängigkeit von der aktuellen Außentemperatur einen bestimmten Behaglichkeitsbereich.

$$\theta_{o,c} = 25 \text{ °C für } \theta_e \leq 26 \text{ °C}$$

$$\theta_{o,c} = 25 \text{ °C} + \frac{1}{2} \cdot (\theta_e - 26 \text{ °C}) \text{ für } \theta_e > 26 \text{ °C}$$

Die Norm wird seit Mai 2005 durch die DIN EN 13779:2004-09 „Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage“ ersetzt, die kein mit der DIN 1946-2:1994-01 vergleichbares Kriterium für die Bewertung des thermischen Komforts enthält. „Bei der Abstimmung hatte Deutschland gegen die Herausgabe der vorliegenden Fassung als EN-Norm gestimmt, da nach deutscher Expertenmeinung die Sachinhalte teilweise einer Revision bedürfen“ [DIN EN 13779:2004-09].

RLT-Anlagenbetrieb: Einen ähnlichen Ansatz – allerdings mit anderen Grenztemperaturen und ohne Berücksichtigung von Behaglichkeitsbereichen – geben anerkannte Handbücher wie z. B. das Taschenbuch der Heizungs- und Klimatechnik [Schramek 1999] für die Regelung von RLT-

Anlagen an. Diese Vorgaben werden ausdrücklich über die Erfahrung mit dem Betrieb von RLT-Anlagen begründet. Die Auslegung der Anlagen soll nach [VDI 2078:1994] erfolgen, die Regelung in Abhängigkeit der Außentemperatur:

$$\theta_{o,c} = 22 \text{ °C für } \theta_e \leq 24 \text{ °C}$$

$$\theta_{o,c} = 20 \text{ °C} + \frac{1}{2} \cdot (\theta_e - 20 \text{ °C}) \text{ für } \theta_e > 24 \text{ °C}$$

Die AMEV-Richtlinie schlägt für den Energie sparenden Betrieb von RLT-Anlagen eine vergleichbare Regelstrategie vor [RLT-Anlagenbau 2004].

Raumtemperatur $\theta_{o,c}$ versus saisonale

Außentemperatur θ_e , Sommer/Winter

DIN EN ISO 7730:2003-10: Die ISO 7730 unterscheidet basierend auf den Arbeiten von Fanger [Fanger 1970] lediglich den Winter- und Sommerfall, wonach sich der Wärmehaushalt des Menschen im Winter und Sommer lediglich durch die Wärmedämmeigenschaften der Kleidung verändert. Diese Komfortkriterien sind also allgemein für alle Räume unabhängig von der Gebäudetechnik für Heizen, Kühlen und Lüften gültig.

$$\theta_{o,c, \text{ Sommer}} = 24,5 \text{ °C}$$

$$\theta_{o,c, \text{ Winter}} = 22 \text{ °C}$$

Entsprechend des vorhergesagten Prozentsatzes an Unzufriedenen werden für den Sommer- und Winterfall Toleranzbereiche angegeben: Für Kategorie A (94 % Akzeptanz) gilt ein Behaglichkeitsbereich von $\pm 1,0 \text{ °C}$, für Kategorie B (90 % Akzeptanz) von $\pm 1,5 \text{ °C}$ und für Kategorie C (85 % Akzeptanz) von $\pm 2,5 \text{ °C}$.

Der Sommer wird im Folgenden nach der meteorologischen Regel festgelegt: Ein Sommertag ist ein Tag, an dem die maximale Außentemperatur über 25 °C liegt. Um einen durchgängigen Maßstab für die Bewertung zu erhalten wird für jeden Standort die Tagesmitteltemperatur über eine Regressionsanalyse bestimmt, an der die Tageshöchsttemperatur über 25 °C liegt. Diese Bezugstemperatur schwankt in Deutschland zwischen 18 °C und 21 °C und liegt bei den meisten ausgewerteten Projekten bei 19 °C oder 20 °C.

4.2 Adaptive Komfortmodelle

Raumtemperatur $\theta_{o,c}$ versus gleitendes

Mittel der Außentemperatur $\theta_{e,2.4}$

bzw. $\theta_{e,Rm}$

Die Komfortkriterien, die von einem „adaptive comfort“-Modell ausgehen, wurden auf Basis von Nutzerbefragungen entwickelt und rechnen mit dem gleitenden Mittel der Außentemperatur.

[Nicol + Raja 1997]: Dieses Modell wurde auf Basis einer multiplen Regressionsanalyse aus einer Vielzahl von Nutzerbefragungen nach unterschiedlichen Fragemethoden („post occupancy evaluation“ und „field studies on thermal comfort“) erstellt. Das gleitende Mittel (rm = running mean) wurde dabei wie folgt bestimmt:

$$\theta_{e,rm} = (1 - \alpha) \cdot \theta_{e,d, \text{gestern}} + \alpha \cdot \theta_{e,rm, \text{gestern}}$$

mit $\alpha = 0,8$

Die Komforttemperatur (mit einem Toleranzbereich von 2 °C) ergibt sich für natürlich belüftete Gebäude zu:

$$\theta_{o,c} = 11,7^\circ\text{C} + 0,6 \cdot \theta_{e,rm} (\pm 2^\circ\text{C})$$

[McCartney + Nicol 2002]: Eine neue Auswertung dieser Daten, erweitert um zusätzliche Datensätze liefert nach einer ähnlichen Auswertemethode ein verbessertes Komfortmodell für natürlich belüftete Gebäude:

$$\theta_{o,c} = 19,39^\circ\text{C} + 0,3 \cdot \theta_{e,rm} (\pm 2^\circ\text{C})$$

und $\theta_{o,c} \geq 22,9^\circ\text{C}$

ISSO-74, 2005: Die niederländische Richtlinie ISSO-74 ist seit 2005 in einer geänderten Fassung gültig [Kurvers 2005]. Sie beschreibt die Kriterien für den thermischen Komfort in natürlich belüfteten Gebäuden [Raue 2004] und wählt als Bezugstemperatur den Verlauf der Außentemperatur während der letzten drei Tage, wodurch die thermische Adaption im Komfortkriterium berücksichtigt wird:

$$\theta_{e,2.4} = (\theta_{e,d} + 0,8 \cdot \theta_{e,d, \text{gestern}} + 0,4 \cdot \theta_{e,d, \text{vor 2 Tagen}} + 0,2 \cdot \theta_{e,d, \text{vor 3 Tagen}}) / 2,4$$

Diese so genannte ATG-Richtlinie („adaptive temperatuurgrenswaarden“ niederländisch für „adaptive Temperaturgrenzwerte“) entstand aus einer Meta-Analyse anderer bekannter Komfortmodelle und führt Komforttemperaturen und Akzeptanzbereiche aus anderen Studien zusammen, [Linden 2002] und [Linden 2006]:

$$\theta_{o,c} = 21,45^\circ\text{C} + 0,11 \cdot \theta_{e,2.4} \text{ für } \theta_{e,2.4} \leq 10^\circ\text{C}$$

$$\theta_{o,c} = 17,8^\circ\text{C} + 0,31 \cdot \theta_{e,2.4} \text{ für } \theta_{e,2.4} > 10^\circ\text{C}$$

Der Behaglichkeitsbereich wird in Abhängigkeit der Nutzerakzeptanz festgelegt, und zwar $\pm 2,5^\circ\text{C}$ für Klasse A (90 % Akzeptanz), $\pm 3,5^\circ\text{C}$ für Klasse B (80 % Akzeptanz) und $\pm 4,2^\circ\text{C}$ für Klasse C (65 % Akzeptanz).

Für Gebäude mit RLT-Anlage gilt ein modifiziertes Kriterium.

Raumtemperatur $\theta_{o,c}$ versus Monatswert

der Außentemperatur $\theta_{e,m}$ bzw. $\theta_{e,m,meteo}$

Basierend auf früheren Arbeiten zum thermischen Komfort in natürlich belüfteten Gebäuden, wurden in mehreren internationalen Arbeitsgruppen Modelle für den thermischen Komfort entwickelt, wobei das Monatsmittel der Außentemperatur $\theta_{e,m}$ als Bezugsgröße für die thermische Adaption gewählt wird.

[Humphreys 1978]: Eine Studie aus den 1970er Jahren stellt das „Grundmodell“ für die Bewertung des thermischen Komforts in natürlichen Gebäuden zur Verfügung:

$$\theta_{o,c} = 11,9^\circ\text{C} + 0,53 \cdot \theta_{e,m} (\pm 2^\circ\text{C})$$

Der Toleranzbereich konnte auch in späteren Studien bestätigt werden und entspricht einem Akzeptanzniveau von ungefähr 90 %.

[Nicol + Humphreys 2002]: Ausgehend von dieser Datenbasis wurde die Datenbank deutlich erweitert und nach der gleichen mathematischen Methode ausgewertet. Die Komforttemperatur liegt demnach bei sommerlichen Außentemperaturen rund 2 K höher als in der ersten Studie angenommen.

$$\theta_{o,c} = 13,5^\circ\text{C} + 0,54 \cdot \theta_{e,m} (\pm 2^\circ\text{C})$$

ASHRAE 55, 2004: Einen ganz ähnlichen Ansatz verfolgen de Dear und Brager [Dear 2002], deren Arbeiten weitgehend in der ASHRAE 55 berücksichtigt wurden. Auf Grundlage der weltweit angelegten Studie rp-884 wurden Nutzerbefragungen mit dem Ziel ausgewertet, eine Richtlinie für unterschiedliche Wettersituationen und Klimazonen zu entwickeln. Als Eingabe wird das meteorologische Monatsmittel $\theta_{e, m, \text{meteo}}$ verwendet.

$$\theta_{o, c} = 17,8^{\circ}\text{C} + 0,31 \cdot \theta_{e, m, \text{meteo}}$$

Der Behaglichkeitsbereich wird in Abhängigkeit der Nutzerakzeptanz festgelegt, und zwar $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ für 90 % Akzeptanz und $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$ für 80 % Akzeptanz. Für Gebäude mit RLT-Anlage gilt ein anderer Behaglichkeitsbereich.

prEN15251:2005-05: Auf Europäischer Ebene wird aktuell an einer Norm zur Beurteilung des Raumklimas gearbeitet. In diesem Normvorschlag werden natürlich belüftete Gebäude von klimatisierten Gebäuden unterschieden. Für natürlich belüftete Gebäude wird folgender Zusammenhang für die Komforttemperatur vorgeschlagen:

$$\theta_{o, c} = 17,8^{\circ}\text{C} + 0,31 \cdot \theta_{e, m}$$

Ähnlich wie in ASHRAE 55 wird der Behaglichkeitsbereich in Abhängigkeit der Nutzerakzeptanz festgelegt, allerdings mit anderen Bezugsgrößen: Der Temperaturbereich beträgt $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ für 94 % Akzeptanz (Klasse A) und $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$ für 90 % Akzeptanz (Klasse B). Zusätzlich wird eine Klasse C mit einer Akzeptanz von 85 % und einem Temperaturbereich von $\pm 4,2^{\circ}\text{C}$ definiert.

5 Komfortanalysen für ausgewählte Bürogebäude – Neubauten

Die folgende Analyse verwendet Daten aus umfangreichen Feldmessungen an Gebäuden, die im Rahmen des Programms „Energieoptimiertes Bauen“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie gefördert wurden. In der dazugehörigen Begleitforschung werden Nicht-Wohngebäude evaluiert, deren Primärenergieverbrauch für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung unter $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ liegt [Voss 2006]. Entsprechend den Förderrichtlinien wird bei allen Bauten auf eine aktive Kühlung oder Klimatisierung der Büroflächen verzichtet. Für diese Gebäudegruppe wird nachfolgend der thermische Komfort im Sommer einheitlich bewertet.

Dazu wurden die durch die beteiligten Hochschulen und Institute zur Verfügung gestellten Messdaten der Jahre 2001 bis 2004 nach den vorgestellten Kriterien analysiert. Aufgrund der meteorologischen Besonderheit des „Jahrhundertsommers 2003“ wird diese Auswertung in einem separaten Kapitel dargestellt.

Die nachfolgenden Tabellen stellen die Bürogebäude vor, die für die Auswertung herangezogen wurden. Dabei werden Einzel-, Gruppen- und Großraumbüros mit unterschiedlicher Lage im Gebäude und verschiedener Orientierung berücksichtigt. Alle Projekte werden detailliert in [Voss 2006] vorgestellt.

Tabelle 5.1

Untersuchte Gebäude aus dem Förderprogramm „Energieoptimiertes Bauen“ des BMWi. Umfangreiche Informationen zu den Gebäuden enthält die Dokumentation in [Voss 2006]



Tabelle 5.2
Kurzbeschreibung der hier relevanten Teile der technischen Gebäudeausrüstung

	Freie Lüftung	RLT-Anlage	Funktion	Erd-Luft-register	Bauteil-kühlung	Nachtlüftung
Fraunhofer ISE, Gebäude C (Freiburg)	qFE	FO	–	nein	nein	m
Fraunhofer ISE, Gebäude A (Freiburg)	qFE	ZU	HK	ja	nein	f
DB Netz AG (Hamm)	qFE	AU	HK	ja	nein	f
Pollmeier Massivholz GmbH (Creutzburg)	ZE	FO	–	nein	nein	m
Passiv-Bürohaus Lamparter (Weilheim)	qFE	AU	HK	ja	nein	f
KfW Bankengruppe (Frankfurt / M.)	eFE	AU	H	nein	tlw	f
Balanced Office Building (Aachen)	eFE	AU	H	nein	ja	m
Passiv-Bürohaus ENERGON (Ulm)	eFE	AU	HK	nein	ja	f
Nullemissionsfabrik SOLVIS (Braunschweig)	eFE	FO	–	nein	nein	m
TMZ (Erfurt)	eFE	AU	HK	nein	ja	–

eFE = einseitige Fensterlüftung, qFE = mit großem Anteil Querströmung, ZE = Zuluftelemente, FO = reine Abluftanlage, ZU = reine Zuluftanlage, AU = Zu- und Abluftanlage mit Außenluft, H = Heizen, K = Kühlen, Nachtlüftung: f = frei und m = maschinell

Tabelle 5.3
Kennzeichen der Messkampagnen. Insgesamt standen 18 vollständige Datensätze zur Auswertung zur Verfügung.

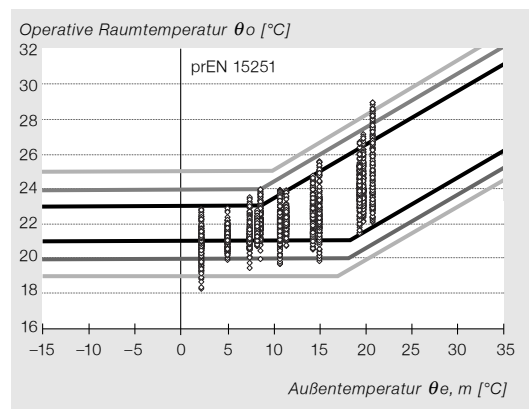
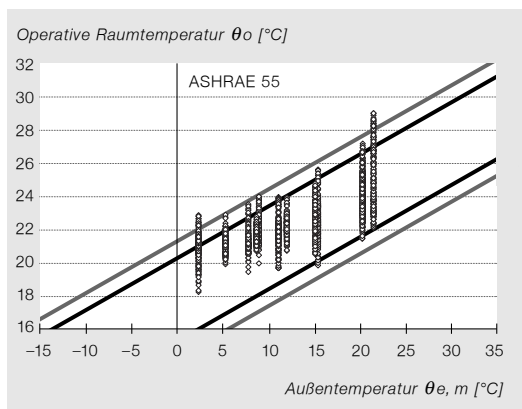
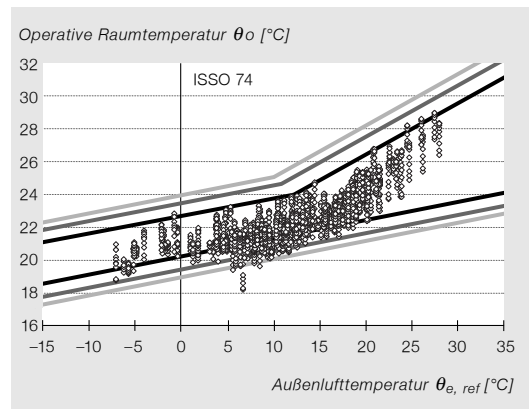
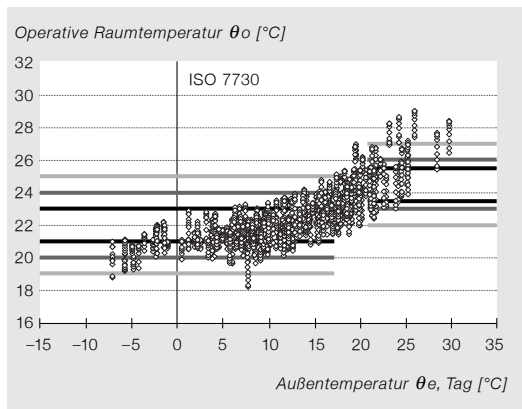
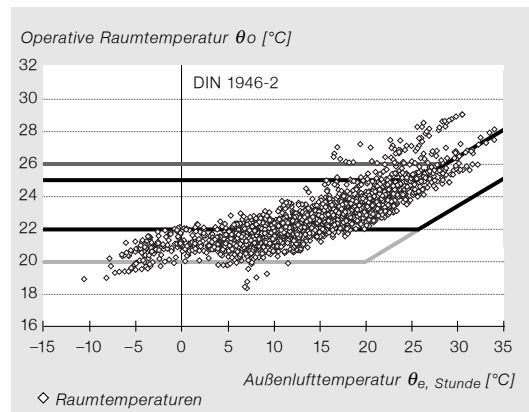
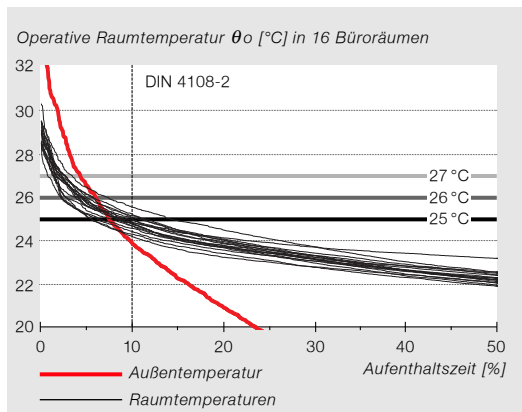
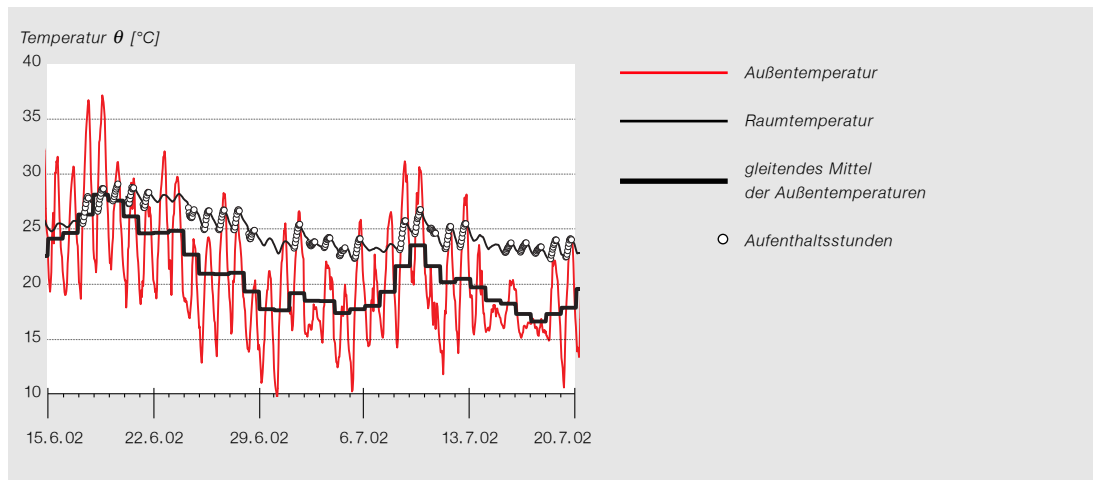
Gebäude	Messzeitraum	Sommerperiode
Fraunhofer ISE, Gebäude C, Freiburg: 16 Gruppenbüros, südorientiert	01. 01. 2002 – 31. 12. 2003	2002 + 2003
Fraunhofer ISE, Gebäude A, Freiburg: 6 Gruppenbüros, ostorientiert	01. 01. 2002 – 31. 12. 2003	2002 + 2003
DB Netz AG, Hamm: 9 Gruppenbüros, südorientiert bzw. an Atrium angrenzend	01. 08. 2001 – 31. 07. 2002	2001 + 2002
Pollmeier Massivholz GmbH, Creutzburg: Großraumbüro mit allen Orientierungen	15. 03. 2002 – 31. 10. 2003	2002 + 2003
Passiv-Bürohaus Lamparter, Weilheim: 2 Gruppenbüros, nordost bzw. südwest	01. 06. 2001 – 31. 08. 2003	2001, 2002 + 2003
KfW Bankengruppe, Frankfurt / M.: 15 Einzel- oder Gruppenbüros diverser Orientierungen	01. 06. 2003 – 31. 01. 2005	2003 + 2004
Balanced Office Building, Aachen: 8 süd- bzw. nordorientierte Gruppenbüros	01. 01. 2003 – 31. 12. 2003	2003
Passiv-Bürohaus ENERGON, Ulm: 20 Gruppenbüros diverser Orientierungen	01. 01. 2004 – 31. 12. 2004	2004
Nullemissionsfabrik SOLVIS, Braunschweig: 7 südorientierte Gruppenbüros	01. 02. 2004 – 31. 01. 2005	2004
Technologiezentrum, Erfurt: 42 Gruppenbüros diverser Orientierungen, teilweise ungenutzt	01. 01. 2003 – 31. 12. 2004	2003 + 2004

Nachfolgend werden die Komfortkriterien auf Gebäude angewendet, die sich nahezu alle durch eine hohe bauphysikalische Qualität auszeichnen. Neben dem Gebäude und seiner Gebäudetechnik selbst ist das Nutzerverhalten zu berücksichtigen, da die Nutzer die Raumtemperaturen maßgeblich beeinflussen [Pfafferott 2004b]. Hier werden also Gebäude unter realer Nutzung und damit verbunden mit dem individuellen Nutzerverhalten zu internen Wärmelasten, Fenstern und Sonnenschutz bewertet. Zur besseren Vergleichbarkeit wird die Betriebszeit für jedes Gebäude mit 8.00 – 18.00 Uhr an Werktagen festgelegt. Jeder Raum wird zunächst einzeln ausgewertet. Zum Gebäudevergleich wird aus diesen Werten ein Mittelwert gebildet. Kritisch zu bewerten ist eine Überschreitung der Komfortkriterien bei hohen Außentemperaturen. Die Auswertung berücksichtigt daher nur eine Überschreitung bei einer Tagesmitteltemperatur der Außenluft von über 15°C. Die Nutzer können einer Unterschreitung der Komforttemperatur im Winter durch zusätzliches Heizen und im Sommer durch Fensterschließen entgegenwirken. Eine Überschreitung bei niedrigen Außentemperaturen wird meist durch hohe interne und solare Wärmelasten verursacht, die aber durch Fensteröffnen abgeführt werden können.

5.1 „Normal“-Sommer

Abb. 5.1 stellt die Auswertung für das Jahr 2002 im Gebäude des Fraunhofer ISE vor: Die Zeitreihe zeigt exemplarisch den Verlauf der Raumtemperatur für fünf Wochen getrennt nach An- und Abwesenheitszeit sowie die unterschiedlichen Bezugstemperaturen. Die Dauerlinie zeigt, dass die Raumtemperaturen bei hohen Außentemperaturen sich von Raum zu Raum um bis zu 2 K unterscheiden. Die Auswertung nach den gängigen Kriterien DIN 1946-2:1994-01, DIN EN 7730:2003-10, Niederländische Richtlinie ISSO-74, ASHRAE 55 und prEN15251:2005 wird jeweils für den Median der 15 Büros gezeigt. Im Sommer 2004 werden die unterschiedlichen Komfortkriterien nur selten überschritten, je nach Kriterium an 0,2 – 3,9 % der Aufenthaltszeit.

Abb. 5.1
Raumtemperaturen 2002 (Mittel- und Einzelwerte aus 16 Büros) im Gebäude des Fraunhofer ISE, Freiburg



Die folgende Tabelle stellt die Auswertung nach den unterschiedlichen Komfortkriterien vor.

Tabelle 5.4
Überschreitungshäufigkeit in % für folgende Komfortkriterien bei den ausgewählten Gebäuden: Arbeitsstättenrichtlinie ASR 6, DIN 1946-2:1994-01 ohne RLT-Anlagenbetrieb, DIN 1946-2:1994-01 mit RLT-Anlagenbetrieb, Nicol 1997, McCartney + Nicol 2002, Niederländische Richtlinie ISSO-74, Humphreys 1978, Nicol + Humphreys 2002, ASHRAE 55, prEN1 5251:2005 und DIN EN 7730:2003-10

	θ_e			$\theta_{e, rm}$						$\theta_{e, m}$						$\theta_{e, Sommer}$		
	ASR6	DIN 1946-2:1994-01	RLT-Anlagenbetrieb	Nicol 1997	McCartney + Nicol 2002	ISSO 74 (90%)	ISSO 74 (80%)	ISSO 74 (65%)	Humphreys 1978	Nicol+Humphreys 2002	ASH-RAE 55 (90%)	ASH-RAE 55 (80%)	prEN-15251 (94%)	prEN-15251 (90%)	prEN-15251 (85%)	ISO 7730 (94%)	ISO 7730 (90%)	ISO 7730 (85%)
SOLVIS 2004	3,0	5,5	21,1	15,6	0,2	0,8	0,1	0,0	21,4	14,0	3,3	0,7	4,4	1,0	0,3	13,7	7,0	2,1
LAMPARTER 2001	1,0	1,6	18,0	8,4	0,5	0,1	0,0	0,0	8,8	2,9	0,7	0,1	1,0	0,2	0,0	7,4	2,5	0,3
LAMPARTER 2002	1,4	2,1	16,3	4,6	1,9	0,0	0,0	0,0	7,9	1,5	1,1	0,2	1,1	0,2	0,0	10,0	4,9	1,2
LAMPARTER 2003	6,2	9,4	22,3	2,1	0,6	1,4	0,4	0,3	11,5	4,8	4,1	1,9	4,6	2,4	1,2	13,3	9,4	4,9
POLLMEIER 2002	0,1	0,7	24,1	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	13,5	5,2	0,6	0,0	0,7	0,0	0,0	9,8	2,5	0,2
POLLMEIER 2003	0,1	3,0	36,9	8,9	0,3	6,0	0,4	0,0	20,3	5,6	2,0	1,0	2,4	0,2	0,0	16,1	5,8	0,8
BOB Aachen 2003	1,3	3,7	24,4	8,7	0,6	5,0	0,2	0,0	13,8	6,4	2,2	0,6	3,1	1,1	0,4	8,5	4,8	1,4
DB Netz AG 2001	2,0	6,5	31,5	16,1	0,0	0,1	0,0	0,0	26,8	6,8	1,4	0,0	2,1	0,2	0,0	19,5	9,5	1,8
DB Netz AG 2002	4,1	10,5	34,9	14,3	0,2	1,3	0,0	0,0	31,6	8,4	2,0	0,2	3,1	0,3	0,1	26,2	16,7	6,5
ENERGON 2004	0,6	1,7	15,8	7,4	0,8	1,1	0,3	0,1	14,3	5,5	1,7	0,8	2,3	1,1	0,6	6,6	3,2	1,3
TMZ Erfurt 2003	19,5	23,0	36,2	19,7	11,7	15,9	10,9	7,2	26,2	18,0	16,0	11,0	17,2	12,1	8,7	27,6	24,1	19,3
TMZ Erfurt 2004	10,4	14,8	31,3	20,1	8,0	9,7	5,2	3,5	24,1	15,6	10,5	6,4	11,7	7,1	4,9	21,8	17,0	11,9
ISE Geb. C 2002	3,7	6,1	35,1	10,5	0,5	1,0	0,6	0,0	23,4	9,5	3,1	0,9	4,0	1,3	0,5	22,1	11,3	4,1
ISE Geb. C 2003	18,5	22,5	26,6	14,1	5,4	9,3	3,2	1,3	26,9	11,9	10,2	5,2	12,2	6,3	3,4	27,7	22,2	14,4
ISE Geb. A 2002	3,4	5,3	32,2	10,4	0,9	0,7	0,1	0,0	20,9	8,5	3,2	1,4	3,9	1,6	0,8	18,0	9,3	3,2
ISE Geb. A 2003	15,0	18,8	34,9	10,2	3,2	5,2	1,4	0,4	21,8	9,2	7,4	3,3	9,0	4,2	2,1	23,6	17,4	10,1
KfW Frankfurt 2003	2,1	2,7	12,7	0,8	0,1	0,4	0,2	0,1	3,2	0,8	0,6	0,2	0,7	0,3	0,2	4,8	3,2	1,6
KfW Frankfurt 2004	1,7	2,8	25,2	5,2	0,3	0,6	0,2	0,2	12,1	5,0	1,1	0,4	1,7	0,5	0,3	9,6	3,9	1,3

Die folgende Tabelle zeigt die zahlenmäßige Auswertung der Dauerlinie für die Überschreitung der Grenztemperaturen ($\theta_{o,c}$) 24, 25, 26, 27 und 28 °C. Zum Vergleich zeigt die Tabelle auch den Verlauf der Außentemperatur (θ_e).

Tabelle 5.5

Dargestellt sind a) die prozentuale Überschreitungshäufigkeit (zahlenmäßige Auswertung der Dauerlinien) der Raumtemperaturen (θ_o) ausgewählter Gebäude in Bezug auf eine gewählte Grenztemperatur und b) die prozentuale Überschreitungshäufigkeit der Außentemperatur (θ_e) für die Standorte ausgewählter Gebäude in Bezug auf die jeweilige Grenztemperatur. Vergleichend angegeben sind die Ergebnisse der Simulationsstudie, Typgebäude III, Szenario III unter Verwendung von a) Testreferenzwetter TRY 13 und b) ISE Wetter Sommer 2003. Damit werden ausgewählte Gebäude (Lamparter, ISE, Typgebäude III, etc.) in verschiedenen Jahren verglichen.

	$\theta_{e,24}$	$\theta_{e,25}$	$\theta_{e,26}$	$\theta_{e,27}$	$\theta_{e,28}$	$\theta_{o,24}$	$\theta_{o,25}$	$\theta_{o,26}$	$\theta_{o,27}$	$\theta_{o,28}$
SOLVIS 2004	4,6	3,5	2,4	1,9	1,3	11,6	6,3	3,0	1,1	0,2
LAMPARTER 2001	6,9	5,6	4,2	3,3	2,2	7,6	3,4	1,0	0,2	0,0
LAMPARTER 2002	4,7	3,2	2,5	2,0	1,4	6,7	3,0	1,5	0,5	0,0
LAMPARTER 2003	12,5	10,2	8,2	6,6	5,2	16,3	12,0	7,3	4,1	1,8
POLLMEIER 2002	9,2	7,5	5,9	4,5	3,5	8,9	2,1	0,2	0,0	0,0
POLLMEIER 2003	20,4	17,2	13,8	11,2	9,2	20,6	10,1	2,5	0,4	0,0
BOB Aachen 2003	15,3	12,2	9,8	7,8	6,0	13,1	6,5	2,2	0,3	0,0
DB Netz AG 2001	4,8	3,4	2,7	2,0	1,4	16,8	7,4	2,0	0,3	0,0
DB Netz AG 2002	5,6	4,3	3,3	2,6	1,9	22,8	12,2	4,3	1,0	0,1
ENERGON 2004	3,6	2,6	1,7	1,2	0,8	5,1	2,0	0,6	0,2	0,0
TMZ Erfurt 2003	13,4	11,4	9,6	7,5	6,3	29,1	24,7	19,8	14,7	9,6
TMZ Erfurt 2004	8,1	6,0	4,8	3,6	2,6	21,0	15,6	10,4	5,5	2,5
ISE Geb. C 2002	9,8	7,4	6,0	4,2	3,1	16,8	8,8	4,1	2,0	0,8
ISE Geb. C 2003	20,8	17,9	15,0	12,4	10,2	28,2	23,8	19,3	13,6	8,3
ISE Geb. A 2002	9,8	7,4	6,0	4,2	3,1	14,6	7,6	3,8	2,0	1,0
ISE Geb. A 2003	20,8	17,9	15,0	12,4	10,2	25,7	20,9	15,8	10,0	6,1
KfW Frankfurt 2003	17,5	15,1	12,5	10,0	8,0	8,8	5,3	3,0	1,5	0,6
KfW Frankfurt 2004	11,8	9,8	7,1	5,5	4,2	10,2	4,9	1,8	0,8	0,4
Szenario III, TRY13	6,1	4,8	3,6	2,4	1,2	10,0	4,7	1,9	0,4	0,0
Szenario III, ISE 2003	20,8	17,9	15,0	12,4	10,2	28,2	24,8	22,4	18,9	15,5

5.2 „Jahrhundert“-Sommer 2003

Abb. 5.2 zeigt die Überschreitungshäufigkeit nach Anforderungen aus fünf der vorgestellten Komfortkriterien für vier Gebäude bezogen auf die Jahre 2002 und 2003. Dabei werden die Überschreitungshäufigkeiten für die einzelnen Büros berechnet und dann ein Mittelwert gebildet. Erwartungsgemäß werden die Anforderungen nach DIN 1946-2:1994-01 (für Gebäude mit RLT-Anlage) häufiger überschritten als nach ASHRAE 55 und der Niederländischen Richtlinie ISSO-74, die eine höhere Nutzerakzeptanz in natürlich belüfteten Gebäuden (Möglichkeit zum Nutzereingriff) berücksichtigen.

Obwohl diese Kriterien das Wetter (hier: Außentemperatur) berücksichtigen, liegt die Überschreitungshäufigkeit im Extrem-sommer 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 durch lang anhaltende Hitzeperioden geprägt war. Das Gebäude konnte durch die Nachtluft nicht mehr ausreichend gekühlt werden (hohe Nachttemperaturen), und die Raumtemperatur stieg trotz der hohen thermischen Masse des Gebäudes sukzessive an, weil die thermische

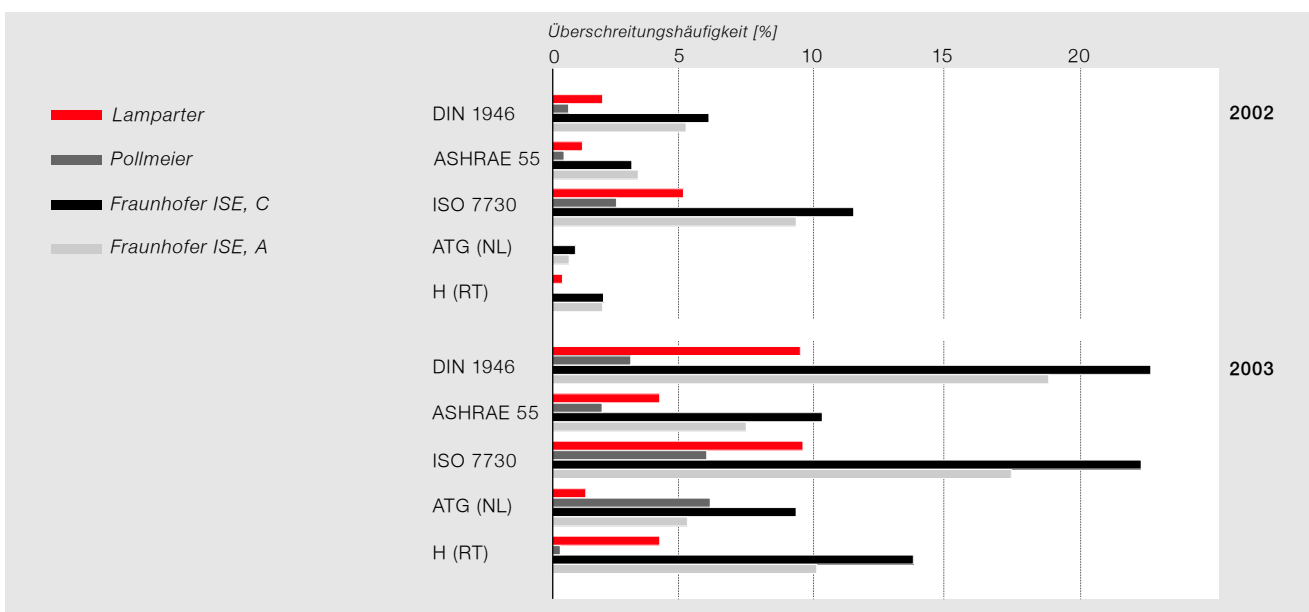
Speicherkapazität vollständig genutzt war. Die Anforderungen, die der DIN 4108-2:2003-07 zugrunde liegen, werden von (fast) allen Gebäuden in beiden Sommern erfüllt. Nur das C-Gebäude des Fraunhofer ISE liegt im Extremsommer 2003 mit einer Überschreitungshäufigkeit von knapp 14 % über den Anforderungen. Das ist auf das Extremwetter zurückzuführen: Während die DIN 4108-2:2003-07 sommer-heiße Regionen bereits ab einer Monatshöchsttemperatur von 18 °C definiert, lag die Monatsmitteltemperatur im August 2003 in Freiburg bei 24,6 °C. Für alle vier Projekte lagen die Monatshöchsttemperaturen in beiden Jahren deutlich über 18 °C, so dass als Grenztemperatur $\theta_{o,c}=27\text{ °C}$ gewählt wurde.

5.3 Fazit

Eine Auswertung der Raumtemperatur in den untersuchten Neubauten zeigt, dass im normalen bzw. warmen Sommer 2002 die gängigen Komfortkriterien für die untersuchten 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.

Abb. 5.2

Überschreitungshäufigkeit der Komfortgrenzen nach DIN 1946-2:1994-01 (keine Angabe des Anteils Zufriedener) sowie der Niederländischen Richtlinie ISSO-74, der DIN EN 7730:2003-10 und der ASHRAE 55 jeweils für ein Akzeptanzniveau von 90 % sowie die Überschreitungshäufigkeit in Anlehnung an DIN 4108-2:2003-07



6 Komfortanalysen für ausgewählte Bürogebäude – Bestandsgebäude

Neben den bereits vorgestellten Neubauten, wurden im Rahmen der Forschungsarbeiten der Universität Wuppertal raumklimatische Messungen in zwei Bestandsgebäuden in Wuppertal und Basel (Schweiz) vorgenommen, Tabelle 5 [Hoffmann 2006b]. Dabei liegen Messergebnisse nur über Zeiträume von etwa einem Monat im Sommer 2004 vor. Damit sind die Ergebnisse nur bedingt vergleichbar, werden jedoch trotzdem zum verbesserten Gesamtverständnis nachfolgend aufgeführt. Auf ein separates Fazit wird allerdings verzichtet.

Das 7-geschossige, zweibündige Gebäude in Wuppertal aus dem Jahre 1972 ist mit den Hauptfassaden nach Osten und Westen ausgerichtet. Die meisten Büros werden als Ein- oder Zweipersonenbüros genutzt. Einige Gruppenbüros bieten Raum für bis zu fünf Personen. Das Gebäude wird ausschließlich über Fenster der Bandfassade belüftet. Der außen angebrachte Lamellensonnenschutz wird manuell bedient.

Das 14-geschossige Gebäude in Basel wurde 1957 errichtet und seine Fassade 1980 teilweise saniert. Es besitzt symmetrisch Büros in allen vier Himmelsrichtungen. Üblich sind Ein- und Zweipersonenbüros sowie etwa ein Besprechungsraum je Geschoss. Die Belüftung erfolgt über eine Zu- und Abluftanlage; zusätzlich sind die Fenster der Bandfassade offenbar. Über die Lüftungsanlage wird im Sommer das Gebäude gekühlt (keine Entfeuchtung). Die Kälteeinspeisung erfolgt über ein Nahkältenetz. Der außen liegende Sonnenschutz wird ausschließlich manuell bedient.

Tabelle 6.1
Untersuchte Gebäude aus dem Bestand [Hoffmann 2006b]



Tabelle 6.2
Kurzbeschreibung der hier relevanten Teile der technischen Gebäudeausrüstung

	Freie Lüftung	RLT-Anlage	Funktion	Erd-Luftregister	Bauteil-kühlung	Nacht-lüftung
Verwaltungsgebäude, Basel (CH)	eFE	AU	HK	nein	nein	*
Verwaltungsgebäude, Wuppertal	eFE	–	–	nein	nein	–

eFE = einseitige Fensterlüftung, AU = Zu- und Abluftanlage, H = Heizen, K = Kühlen, Nachtlüftung: f = frei und m = maschinell
* Anlage läuft Tag und Nacht, 365 Tage im Jahr

Tabelle 6.3
Kennzeichen der beiden Messkampagnen an Bestandsgebäuden

	Büros	Messzeitraum	Sommerperiode
Verwaltungsgebäude, Basel (CH)	22	10. 07. 2004 bis 18. 08. 2004	2004
Verwaltungsgebäude, Wuppertal	21	28. 07. 2004 bis 25. 08. 2004	2004

Die gemessenen Raumtemperaturen zeichnen ein unterschiedliches Bild (Abb. 5, 6). Bedingt durch die aktive Kühlung der Zuluft liegt das Temperaturniveau im Gebäude in Basel grundsätzlich niedriger. Erwartungsgemäß werden hier – zu Lasten des Energieverbrauchs – sämtliche Komfortkriterien eingehalten, die Überschreitungshäufigkeiten sind sehr gering (Abb. 6.3). Ohne aktive Kühlung weist das Gebäude in Wuppertal unter dem Blickwinkel der DIN 1946-2:1994-01 deutlich ungünstigere sommerliche Verhältnisse auf, wenngleich gemäß der Niederländischen Richtlinie ISSO-74 nahezu die Klasse A erreicht wird.

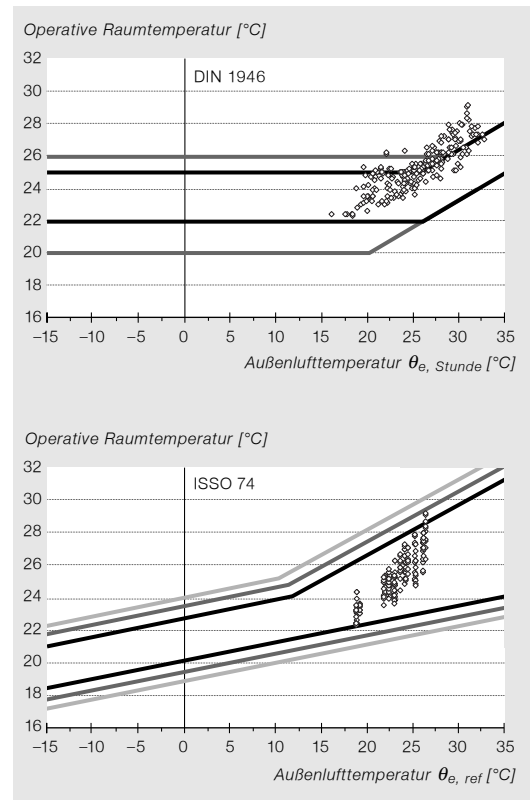


Abb. 6.1
Raumtemperaturen im Gebäude Wuppertal nach der Komfortauswertung anhand der DIN 1946 und der Niederländischen Richtlinie ISSO-74. Zu beachten sind die geringeren Messzeiträume als in den zuvor vorgestellten Neubauten.

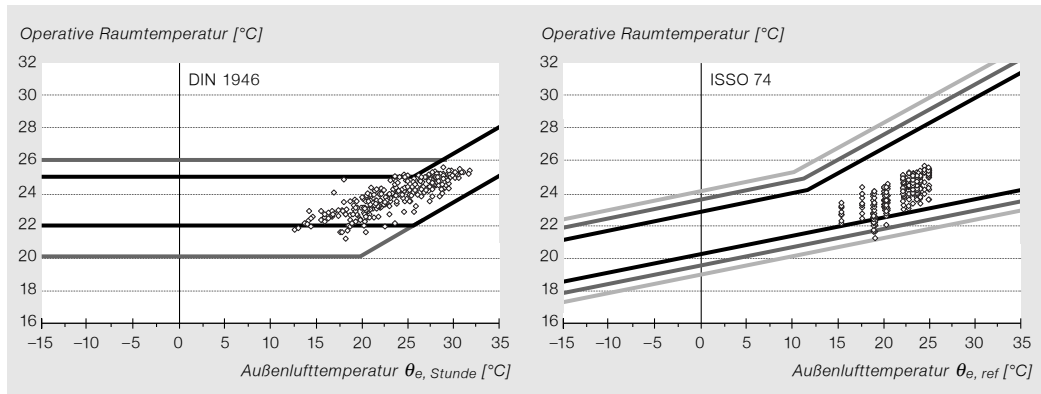


Abb. 6.2
Raumtemperaturen im Gebäude Basel nach der Komfortauswertung anhand der DIN 1946-2:1994-01 und der Niederländischen Richtlinie ISSO-74. Zu beachten sind die geringeren Messzeiträume als in den zuvor vorgestellten Neubauten.

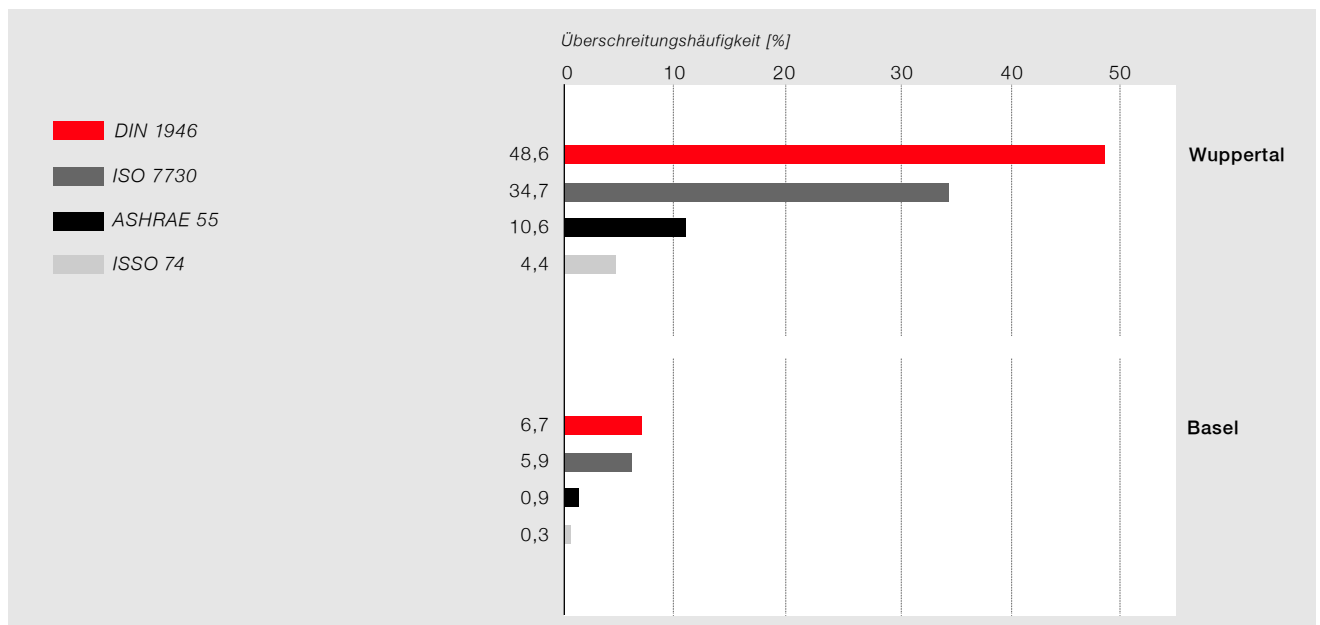


Abb. 6.3
Mittlere Überschreitungshäufigkeit für jeweils alle Räume des Gebäudes in Wuppertal (28. Juli 2004 bis zum 25. August 2004) und in Basel (10. Juli 2004 bis zum 18. August 2004). Bei der ASHRAE 55, der Niederländischen Richtlinie ISSO-74 und der ISO 1130:2003-10 wurden die Überschreitungen der Akzeptanzgrenze von 90 %, bei der DIN 1946-2:1994-01 werden die Empfehlungsgrenzen gewertet.

7 Szenarien – Ergebnisse von Simulationsrechnungen

Die nachfolgend dargestellten Untersuchungen fassen die Ergebnisse umfangreicher Studien mit dem Werkzeug der dynamischen Gebäudesimulation zusammen. Die Simulationen bilden das thermische Verhalten einer oder mehrerer gekoppelter Räume als Ergebnisse der Einflüsse von Außenklima, Bauphysik, technischer Gebäudeausrüstung und Nutzerverhalten ab. Sämtliche Rechnungen wurden mit dem Programm ESPr in der Version 10 durchgeführt (siehe Anhang B).

Für die Komfortuntersuchung und -bewertung werden zunächst drei Typräume bzw. -gebäude definiert. Ausgangspunkt und Validierungsbasis bildet das *Typgebäude I*. Dieses Gebäudemodell bildet einen Raum nach, wie er den Berechnungen zur DIN 4108-2:2003-07 zugrunde gelegt wurde (1-Zonen-Modell, [Rouvel 2000]). Darauf aufbauend werden die Eigenschaften dieses Typraums zu einem 3-Zonen-Modell erweitert, um den Realitätsbezug zu erhöhen (*Typgebäude II*). Ein 3-Zonenmodell koppelt zwei unterschiedlich orientierte Büroräume mit einer dazwischen liegenden Verkehrsfläche. In einem dritten Schritt wird ein Typgebäude mit einer heute bauüblichen Geometrie und einer dem heutigen Baustandard ent-

sprechenden Bau- und Betriebsweise definiert (*Typgebäude III*). Die wesentlichen Unterschiede der drei Typgebäude sind in Tabelle 7 zusammengefasst. Die Simulationen werden mit Standardwetterdatensätzen für unterschiedliche Klimaregionen (Testreferenzjahre für die in der DIN 4108-2:2003-07 definierten Klimazonen) gerechnet. Eine zusammenfassende Darstellung der Klimadaten zeigt Anhang A.

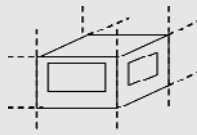
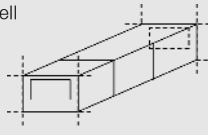
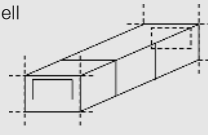
Jedes Typgebäude wird exemplarisch jeweils für die beiden Komfortkriterien

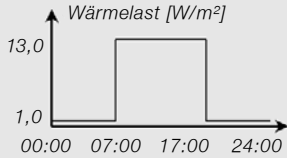
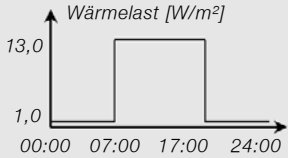
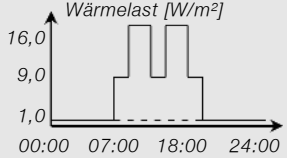
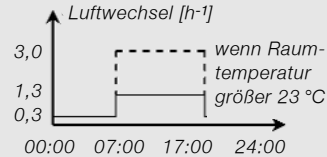
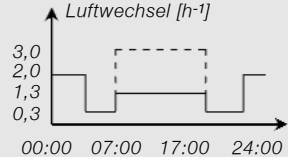
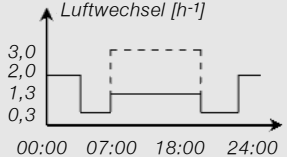
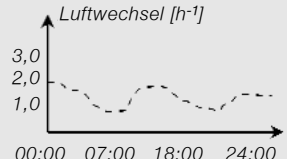
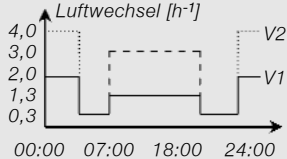
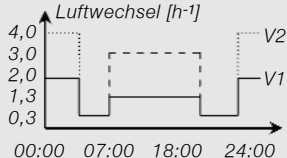
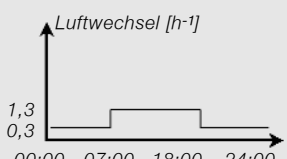
- ATG-Richtlinie und
- DIN 1946-2:1994-01

analysiert und mit der Darstellung der Jahresdauerlinie nach DIN 4108-2:2003-07 verglichen.

Der Bezug auf die nicht mehr gültige DIN 1946-2:1994-01 wurde beibehalten, da sie im Unterschied zu der sie ersetzenden Norm DIN EN 13779:2004-09 Kriterien für die Bewertung des thermischen Komforts enthält. Die Niederländische Richtlinie ISSO-74 stellt zum Zeitpunkt dieser Veröffentlichung die aktuellste Variante der Komfortbewertung dar und ähnelt der EN 15215:2005.

Tabelle 7.1
Grundlagen und Nutzung der Typgebäude I, II und III

	Typgebäude I	Typgebäude II	Typgebäude III
Geometrie	Eckraum 	3-Zonen-Modell 	3-Zonen-Modell 
Bauphysik	nach DIN 4108-2:2003-07	nach DIN 4108-2:2003-07	dem heutigen Baustandard entsprechend
Wetterdaten	alte Testreferenzjahre (vor 2004)	neue Testreferenzjahre (nach 2004)	neue Testreferenzjahre (nach 2004)
Klimaregion A	TRY 11 (Hof)	TRY 2 (Rostock)	TRY 2 (Rostock)
Klimaregion B	TRY 3 (Essen)	TRY 13 (Passau)	TRY 13 (Passau)
Klimaregion C	TRY 7 (Freiburg)	TRY 12 (Mannheim)	TRY 12 (Mannheim)
Nutzung	Bürraum mit 2 Personen	Bürraum mit 2 Personen	Bürraum mit 2 Personen

Nutzungszeiten	365 Tage / Jahr, ohne Berücksichtigung von Wochenenden und Feiertagen	365 Tage / Jahr, ohne Berücksichtigung von Wochenenden und Feiertagen	365 Tage / Jahr, mit Berücksichtigung von Wochenenden, aber ohne Feiertage
Anwesenheitszeit	10 Stunden / Tag	10 Stunden / Tag	11 Stunden / Tag
interne Lasten	144 Wh/(m ² d) 	144 Wh/(m ² d) 	156 Wh/(m ² d) 
Bauweise	leicht (nach VDI 2078:1994-10)	leicht (nach VDI 2078:1994-10)	schwer (nach VDI 2078:1994-10)
Lüftungsstrategie	Szenario I nach DIN 4108-2:2003-07, ohne Nachtlüftung 	Szenario I nach DIN 4108-2:2003-07, mit Nachtlüftung 	Szenario I nach DIN 4108-2:2003-07, mit Nachtlüftung 
Szenario II	—	—	freie Lüftung 
Szenario III	—	—	Abluftanlage 
Szenario IV	—	—	adiabate Kühlung 
Szenario V	—	—	aktive Kühlung 

7.1 Einzonenmodell nach DIN 4108-2:2003-07

7.1.1 Modellbildung

Für die Validierung der sommerlichen Komfortuntersuchung eines Typgebäudes dient der von Rouvel beschriebene Eckbüroraum mit zwei Außenfassaden gemäß Abb. 3 [Rouvel 2000]. Die Außenfassaden haben die Ausrichtung Süd bzw. Ost. In Anlehnung an die VDI 2078 wird der Raum mit einer Bauschwere von 300 kg/m^2 der Kategorie „leicht“ zugeordnet. In der Tabelle 7.2 sind die geometrischen Rahmendaten des Eckraumes zusammengefasst. Dem Modell sind Wandaufbauten entsprechend Tabelle 7.3 zugrunde gelegt. Dies entspricht der DIN 4108-2:2003-07 Standardsimulation. Entsprechend den Angaben in Tabelle 7.2 und Tabelle 7.3 ergibt sich die auf die Nettogrundfläche bezogene Wärmespeicherfähigkeit (nach DIN 4108-2:2003-07) zu $54 \text{ Wh}/(\text{Km}^2)$.

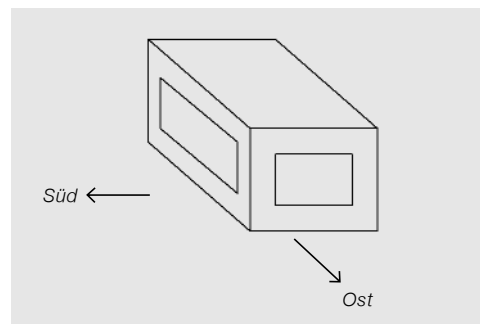


Abb. 7.1
Skizze des Eckraumes mit den Abmessungen $3,6 \text{ m}$ und $6,0 \text{ m}$ und einer lichten Raumhöhe von $3,35 \text{ m}$ nach [Rouvel 2000]

Tabelle 7.2
Eigenschaften des Eckraumes nach [Rouvel 2000]

Abmessungen [m]	$3,60 \times 6,00$
Bauweise [kg/m^2]	leicht (< 300)
Fensterflächenanteil Südfassade [%]	50 (Bezug: Außenwandfläche)
Fensterflächenanteil Ostfassade [%]	Klimazone A (Hof): 25 Klimazone B (Essen): 13 Klimazone C (Freiburg): kein Fenster
Lichte Raumhöhe [m]	$3,35$

Der Raum befindet sich in einer unverschatteten Lage, und über die beiden Innenwände sowie Decke und Boden wird keine Wärme mit der Umgebung ausgetauscht (adiabate Randbedingung). Die Räume werden als Büros genutzt, wobei die Wärmeentwicklung in Folge der Nutzung durch Personen und Büroausstattung pauschal durch die internen Lasten beschrieben wird.

Zur Gewährleistung des sommerlichen Wärmeschutzes muss der Eckraum entsprechend den Sommer-Klimazonen unterschiedlich ausgelegt werden (vergleiche Anhang A). Als eine mögliche Maßnahme wurden unterschiedlich große Fensterflächen auf der Ostfassade des Raumes gewählt: Die im Bezug auf die Außenfassade prozentuale Größe des Ostfenster beträgt 25% für die Sommer-Klimazone A und 13% für die Sommer-Klimazone B. Für die Sommer-Klimazone C muss auf das Fenster der Ostfassade verzichtet werden. Die Komfortuntersuchung des Eckraumes wird für die Sommer-Klimaregionen A, B und C durchgeführt.

Die Fensterflächengröße der Südfassade bleibt für alle Sommer-Klimazonen konstant. Verwendet wird eine Zweifachverglasung mit einem Gesamtenergiedurchlassgrad von $g=62 \%$ und einem Wärmedurchgangskoeffizienten von $1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Der Abminderungsfaktor aufgrund des Rahmenanteils des Fensters beträgt $F_F=0,7$.

Im vorliegenden Modell wird für die Fenster eine außen liegende variable Sonnenschutzeinrichtung mit folgenden Abminderungsfaktoren berücksichtigt: Für die Sommer-Klimazone A und B beträgt der Abminderungsfaktor $F_c=0,3$ und für die Sommer-Klimazone C wird F_c auf $0,21$ reduziert.

Anmerkung: Da im vereinfachten Verfahren der DIN EN 832 [DIN EN 832:1998-12] Sonnenschutzeinrichtungen nur pauschal durch einen ganzjährigen mittleren Abminderungsfaktor für die Sonneneinstrahlung berücksichtigt werden können, muss dieser aus dem Verhältnis der tatsächlich während des gesamten Jahres durch das Fenster in den Raum eingetragenen Wärme unter Berücksichtigung eines Sonnenschutzes zu der Gesamtenergie ohne Sonnenschutz errechnet werden. Da der

Tabelle 7.3
Wandaufbauten der opaken Flächen [Rouvel 2000]

		Kennwerte und Einheit		
Bauteil	Schicht	Wärmeleitfähigkeit λ [W/(mK)]	Wärmespeicherfähigkeit c_p [kJ/(m³K)]	Schichtdicke d [m]
Außenwand $U_{AW}=0.45 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	Gipsplatte	0,41	900	0,019
	Aluminium	200,00	2160	0,002
	PUR-Hartschaum	0,03	60	0,060
	Aluminium	200,00	2160	0,002
Innenwand	Porenbeton	0,29	800	0,120
Decke / Fußboden	Metall	58,00		0,001
	Mineralwolle	0,04		0,020
	Luftschicht waagerecht		R=0,17 m²K/W	
	Normalbeton	2,10	2400	0,160
	Mineralwolle	0,04	150	0,040
	Estrich	1,40	2100	0,050
	Fußbodenbelag	0,17	300	0,010

Sonnenschutz in der Regel nicht immer geschlossen ist, sondern nur während Zeiten mit direkter Sonneneinstrahlung auf die Fenster, muss der Abminderungsfaktor des Sonnenschutzes F_c zur Nachbildung der mittleren Verhältnisse korrigiert werden. Nach [Rouvel 2000] bestimmt sich der mittlere, auf die Hellzeit (nach Sonnenaufgang und vor Sonnenuntergang) bezogene Abminderungsfaktor für einen Sonnenschutz, $F_{C, kor}$ zu:

Ost- und West-Fenster:

$$F_{C, kor} = F_c \cdot 0,72 + 0,27$$

Übrige Fenster (außer Nord-Fenster):

$$F_{C, kor} = F_c \cdot 0,86 + 0,14$$

Nord-Fenster:

$$F_{C, kor} = 1$$

Nutzungsbedingungen
(nach [Rouvel 2000])

Nutzungszeiten: Die Aufenthaltszeit der Nutzer in den Büroräumen beträgt 10 Stunden, beginnend ab 7.00 Uhr. Für die ausschließlich auf die Bürozeit bezogene Komfortauswertung werden die Zeiten von 7.00 bis 17.00 Uhr während 365 Tagen herangezogen (3 650 Aufenthaltsstunden). Somit wird jeder Wochentag als Werktag betrach-

tet. Wochenenden, Feier- und Urlaubstage werden nicht gesondert berücksichtigt. Damit geht die Auswertung konform mit der DIN 4108-2:2003-07 [DIN 4108-2:2003-07].

Interne Wärmegewinne: Die mittleren internen Wärmelasten bezogen auf die Nettogrundfläche des betrachteten Eckraumes betragen entsprechend DIN 4108-2:2003-07 für Nichtwohngebäude 6 W/m² bzw. 144 Wh/(m²d) [DIN 4108-2:2003-07]. Dieser Wert ist also als Mittelwert auf 24 h bezogen zu verstehen. Für das vorliegende Modell wurde folgendes internes Lastprofil gewählt: In der Anwesenheitszeit der Nutzer wird eine Wärmelast von 13 W/m² bedingt durch Wärmeeinträge der Menschen, technische Geräte und Beleuchtungen angenommen. In den Zeiten, in denen die Büroräume nicht genutzt werden, wird eine interne Last von 1 W/m² zugrunde gelegt.

Heizperiode: Die Raumsolltemperatur soll ganzjährig bei 20 °C liegen, d. h. bei Unterschreitung der Solltemperatur wird sofort geheizt. Dieser Annahme liegt ein absolut trägheitsloses bzw. ideales Heizsystem zugrunde. Da für die Komfortauswertung im Besonderen die Sommerperiode betrachtet wird, bleiben Effekte wie zum Beispiel Nachtabsenkung der Heizsoll-

temperatur ohne Berücksichtigung.

Luftwechsel: Die mittlere Luftwechselrate durch Infiltration und Fensteröffnen wird entsprechend DIN 4108-2:2003-07 zu $n=0,7\text{ h}^{-1}$ (Luftwechselrate ohne Nachweis der Luftdichtheit) angesetzt. Das Eckbüro ist für zwei Personen ausgelegt und der erforderliche spezifische Volumenstrom beträgt pro Person $40\text{ m}^3/\text{h}$ [Rouvel 2000]. Bei der gegebenen Bürogröße ergibt sich ein erforderlicher hygienischer Frischluftwechsel von $n=1,3\text{ h}^{-1}$ während der Aufenthaltszeit (7.00 bis 17.00 Uhr) der Nutzer. Außerhalb der Aufenthaltszeit ist mit einer Luftwechselrate von $n=0,3\text{ h}^{-1}$ (Grundluftwechsel entsprechend der Dichtheit des Gebäudes) zu rechnen, sofern keine genaueren Angaben zur Luftdichtheit vorhanden sind. Die DIN 4108-2:2003-07 definiert Randbedingungen für eine erhöhte Luftwechselrate im Sommer. Überschreitet die Raumtemperatur 23 °C , kann die mittlere Luftwechselrate während der Aufenthaltszeit bis auf 3 h^{-1} erhöht werden, um ein zu starkes Ansteigen der Raumtemperatur durch erhöhte Lüftung zu vermeiden. Noch höhere Luftwechselraten als 3 h^{-1} sind aus praktikablen Gründen nicht mehr sinnvoll und dürfen daher nicht zum Ansatz gebracht werden. Eine erhöhte Nachtlüftung ist in dem gegebenen Beispiel nicht vorgesehen [Rouvel 2000].

Anmerkung: Nach DIN EN 832 [DIN EN 832:1998-12] muss zur Berücksichtigung des Lüftungsverhaltens ein zeitlich gewichteter, mittlerer Luftwechsel verwendet werden.

$$n_{24} = (n_{NL} \cdot t_{NL} + n_{TL} \cdot t_{TL}) / 24$$

n_{NL} Luftwechselrate außerhalb der Anwesenheitszeit

n_{TL} Luftwechselrate während der Anwesenheitszeit

t_{NL} Mittlere Zeit des Nachtlüftens

t_{TL} Mittlere Zeit des Taglüftens

Mit den gesetzten Werten für die Luftwechsel von $n_{NL}=0,3\text{ h}^{-1}$ und $n_{TL}=1,3\text{ h}^{-1}$ ergibt sich bei der zu berücksichtigenden Aufenthaltszeit der Nutzer ein mittlerer Luftwechsel von $0,7\text{ h}^{-1}$.

7.1.2 Ergebnisse

Abb. 7.2 zeigt die Dauerlinie der Raumtemperatur des Eckraumes für die Testreferenzjahre 11, 3 und 7. Werden die nach [Rouvel 2000] angewandten Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz berücksichtigt, kann die der Sommer-Klimazone entsprechende Grenztemperatur an 90% der Aufenthaltszeit eingehalten werden. Dennoch führt die leichte Bauweise des Eckraumes zu erheblichen Übertemperaturen. Damit kann der thermische Komfort entsprechend den Komfortkriterien (Abb. 7.3 und Abb. 7.4) nicht gewährleistet werden.

Abb. 7.2

Verlauf der operativen Raumtemperatur (θ_o) in $^{\circ}\text{C}$ und der Außenlufttemperatur (θ_e) in $^{\circ}\text{C}$ während der Aufenthaltszeit für den Eckraum der alten Testreferenzjahre für sommerkühle (TRY 11), sommergemäßigte (TRY 3) und sommerheiße (TRY 7) Regionen

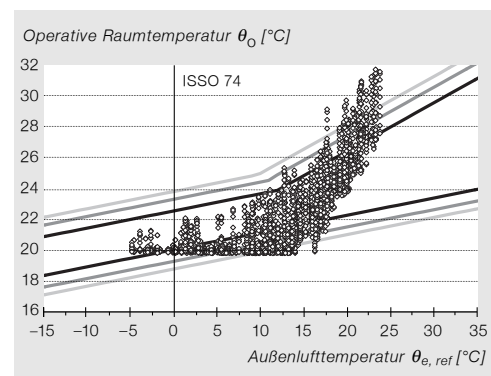
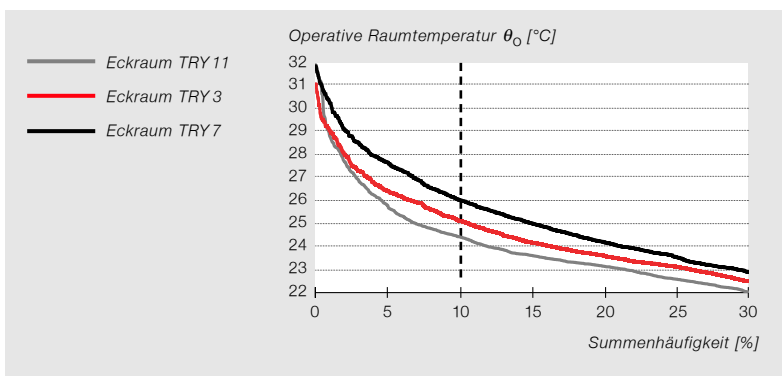


Abb. 7.3

Komfortauswertung nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74: Operative Raumtemperatur (θ_o) in $^{\circ}\text{C}$ des Eckraumes in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,ref}$) in $^{\circ}\text{C}$ des Testreferenzjahres für sommergemäßigte Regionen

7.2 Dreizonenmodell analog DIN 4108-2:2003-07

7.2.1 Modellbildung

Ausgangspunkt für die Komfortuntersuchungen des zweiten Typgebäudes - und im weiteren Verlauf für das Typgebäude III - ist ein so genanntes „Drei-Zonen-Modell“ gemäß Abb. 7.5 und Tabelle 7.4. Abweichend vom zuvor untersuchten Typgebäude I handelt es sich jeweils um zwei Büroräume in den Abmessungen 3,90 m Breite und 5,20 m Länge, die durch einen Flur mit einer Länge von 2,60 m verbunden sind. Die lichte Raumhöhe beträgt 3,0 m. Das Modell wird gesondert in der Nord-Süd-Ausrichtung und in der Ost-West-Ausrichtung betrachtet. Die Räume befinden sich im dritten Stockwerk eines sechsgeschossigen Gebäudes (siehe auch Kapitel 5). Das Gebäude befindet sich in einer unverschatteten Lage (Reduktionsfaktor Verschattung / Verschmutzung beträgt 0,75). Die Räume werden als Büros genutzt und sind für jeweils zwei Nutzer ausgelegt. Die bauphysikalischen Rahmendaten entsprechen dem „Typgebäude I“, d.h. dem Modell sind Wandaufbauten entsprechend Tabelle 7.3 zugrunde gelegt. Dies entspricht der DIN 4108-2:2003-07 Standardsimulation. Alle Räume werden als Büros genutzt und nachfolgend als Nord-Büro, Süd-Büro, Ost-Büro und West-Büro bezeichnet.

Im vorliegenden Modell wird für alle Fenster eine außen liegende Sonnenschutzeinrichtung (Abminderungsfaktor

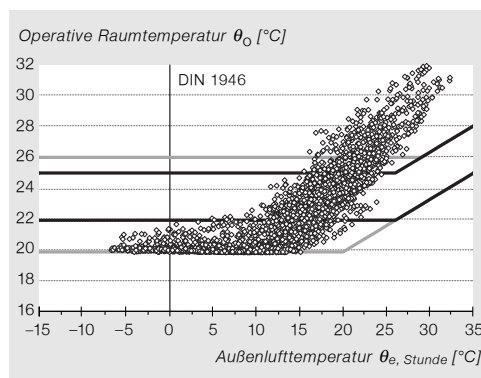


Abb. 7.4
Komfortauswertung nach der DIN 1946-2:1994-01: Operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] des Eckraumes in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_e, Stunde$) in [°C] des Testreferenzjahres für sommergemäßigte Regionen

Tabelle 7.4
Eigenschaften des Typengebäudes II.

Abmessungen [m]	13,0 x 39 (Achismaß)
Geschoßfläche [m²]	507
Bauweise [kg/m²]	Mittelschwer (300 - 400) bis leicht (<300)
Fensterflächenanteil [%]	40 (Bezug: Außenwandfläche)
Bauraster [m]	1,3
Lichte Raumhöhe [m]	> 3,0
Stockwerke	6

Abb. 7.5
Skizze der jeweiligen Büroräume und des Flurs in Nord-Süd-Ausrichtung und in Ost-West-Ausrichtung

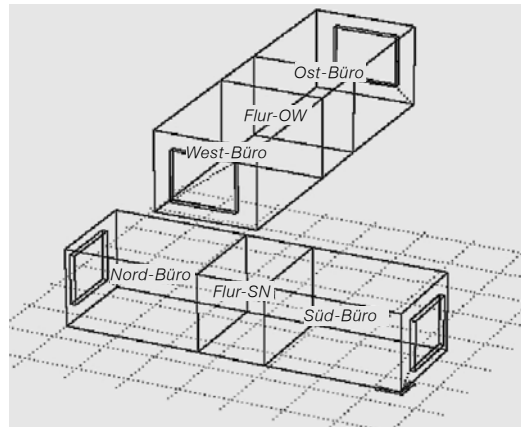


Tabelle 7.5
Geometrische Rahmendaten der Büroräume und des Flurs

	Büroraum	Flur
Breite [m]	3,90	3,90
Länge [m]	5,20	2,60
Raumhöhe [m]	3,00	3,00
Raumvolumen [m³]	60,84	30,42
Grundfläche [m²]	20,28	10,14
Opake Flächen [m²]	90,48	59,28
Fensterfläche [m²]	4,68	—
Fläche der Außenwand [m²]	11,7	—

F_c 2,5) berücksichtigt, die bedarfsgerecht betätigt werden kann. Bei einer direkten Einstrahlung größer 200 W/m^2 ist der Sonnenschutz komplett geschlossen, ansonsten wird ein komplett geöffneter Sonnenschutz angenommen⁴.

Nutzungsbedingungen

Nutzungszeiten der Büroräume: Die Aufenthaltszeit der Nutzer in den Büroräumen beträgt 10 Stunden, beginnend ab 7.00 Uhr. Für die ausschließlich auf die Bürozeit bezogene Komfortauswertung werden die Zeiten von 7.00 bis 17.00 Uhr während 365 Tagen herangezogen (3650 Aufenthaltsstunden). Somit wird jeder Wochentag als Werktag betrachtet. Wochenenden, Feier- und Urlaubstage werden nicht gesondert berücksichtigt. Damit geht die Auswertung konform mit der DIN 4108-2:2003-07.

Interne Wärmegewinne: Für das vorliegende Modell wurde ein dem Typgebäude I analoges internes Lastprofil gewählt: In der Aufenthaltszeit der Nutzer wird eine Last von 13 W/m^2 bedingt durch Wärmeeinträge der Menschen, technische Geräte und Beleuchtungen angenommen. In den Zeiten, in denen die Büroräume nicht genutzt werden, wird eine interne Last von 1 W/m^2 zugrunde gelegt. Der Flur ist vom Eintrag interner Wärmeeinträge ausgenommen.

Heizperiode: Die Raumsolltemperatur soll ganzjährig bei 20 °C liegen, d. h. bei Unterschreitung der Solltemperatur wird sofort geheizt. Auch beim Typgebäude II bleiben Effekte wie zum Beispiel Nachtabsenkung der Heizsolltemperatur ohne Berücksichtigung.

Luftwechsel: Die mittlere Luftwechselrate⁵ durch Infiltration und Fensteröffnen wird entsprechend DIN 4108-2:2003-07 zu $n=0,7 \text{ h}^{-1}$ (Luftwechselrate ohne Nachweis

der Luftdichtheit) angesetzt. Das Büro ist für zwei Personen ausgelegt und der erforderliche spezifische Volumenstrom beträgt pro Person $40 \text{ m}^3/\text{h}$. Bei einer Bürogröße von $60,8 \text{ m}^3$ ergibt sich ein erforderlicher hygienischer Frischluftwechsel von $n=1,3 \text{ h}^{-1}$ während der Aufenthaltszeit (7.00 bis 17.00 Uhr) der Nutzer. Im weiteren wird eine dem Typgebäude I analoge Lüftungsstrategie gewählt, mit der Ausnahme, dass Nachtlüftung zum Einsatz kommt: Wird die Raumtemperatur von 23 °C während der Abwesenheit der Nutzer überschritten, darf die mittlere Luftwechselrate auf 2 h^{-1} erhöht werden. Dies ist zulässig, insofern die Lüftungsanlage für einen Nachtluftwechsel von 2 h^{-1} ausgelegt ist. Der Flur ist im gegebenen Beispiel lufttechnisch nicht an die Büroräume gekoppelt. Daher erfolgt die Wärmeübertragung bei Temperaturunterschieden nur durch die trennenden Bauteile.

7.2.2 Ergebnisse

Abbildungen 7.6 bis 7.8 zeigen die operative Raumtemperatur (θ_o) und die jeweilige Außenlufttemperatur (θ_e) exemplarisch für das Süd-Büro des Typgebäudes II für den 11. bis 17. August. Abb. 7.9 zeigt die Jahresdauerlinie der operativen Raumtemperatur während der Aufenthaltszeit für alle Büros in der sommergemäßigten Region TRY 13. Tabelle 7.6 zeigt in der Auswertung für alle Sommerklima-Regionen, dass die jeweilige Grenztemperatur von 25 , 26 bzw. 27 °C an 3 bis 6 % der Aufenthaltszeit, also deutlich seltener als 10 % (Mindestanforderung der DIN 4108-2:2003-07), überschritten wird.

(4) In der vorliegenden Untersuchung wurden operative Raumtemperaturen exemplarisch für das „Typgebäude II“ unter Einsatz eines Sonnenschutzes mit Regelung ab 200 W/m^2 und unter Gebrauch von ganzjährig gemittelten Abminderungsfaktoren für einen Sonnenschutz nach den von [Rouvel 2000] gefundenen Näherungsformeln berechnet. Im Ergebnis zeigen sich nur marginale Differenzen, sodass im weiteren Verlauf der Komfortuntersuchung der Sonnenschutz nach der Einstrahlung geregelt wird.

(5) Die mittlere auf 24 h bezogene Luftwechselrate.

Tabelle 7.6
Überschreitungshäufigkeit nach DIN 4108-2:2003-07 für die drei Sommerklima-Regionen

	Grenztemperatur	Überschreitungshäufigkeit für 3650 h/Jahr Aufenthaltszeit
Region A, sommerkühl TRY 2 (Rostock)	25 °C	3 %
Region B, sommergemäßigigt TRY 13 (Passau)	26 °C	6 %
Region C, sommerheiß TRY 12 (Mannheim)	27 °C	5 %

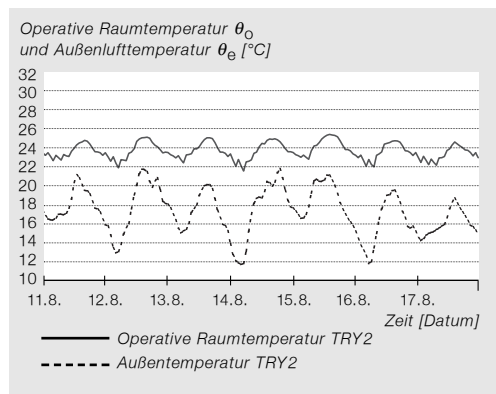


Abb. 7.6
Außen-temperatur (θ_e) in [°C] und operative Raum-temperatur (θ_o) in [°C] exemplarisch für das Süd-Büro des Typgebäudes II für eine Woche im Monat August (11.08. bis 17.08.) für das Testreferenzjahr sommerkühler Gebiete (TRY2)

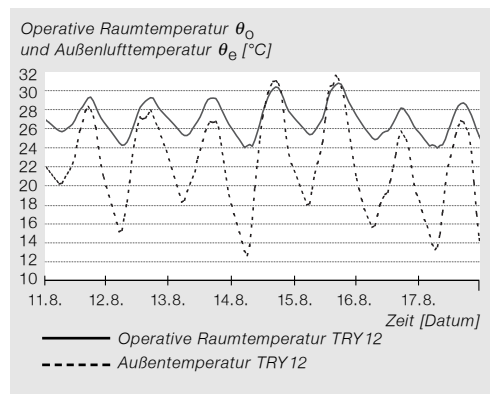


Abb. 7.7
Außen-temperatur (θ_e) in [°C] und operative Raum-temperatur (θ_o) in [°C] exemplarisch für das Süd-Büro des Typgebäudes II für eine Woche im Monat August (11.08. bis 17.08.) für das Testreferenzjahr sommerheißer Gebiete (TRY12)

Der Temperaturverlauf für die einzelnen Zonen (= Räume) ist sehr ähnlich (Abb. 7.9), mit maximalen Raumtemperaturen im West-Büro. Somit kann das thermische Verhalten jeder einzelnen Zone mit der mittleren Raumtemperatur aller vier Zonen hinlänglich genau abgebildet werden. Abb. 7.10 und Abb. 7.11 zeigen die Komfortanalyse sowohl nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74 als auch nach den Kriterien der DIN 1946-2:1994-01.

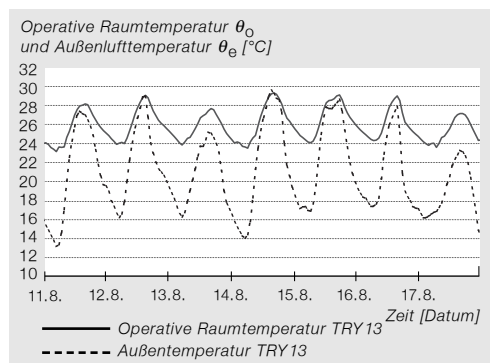


Abb. 7.8
Außen-temperatur (θ_e) in [°C] und operative Raum-temperatur (θ_o) in [°C] exemplarisch für das Süd-Büro des Typgebäudes II für eine Woche im Monat August (11.08. bis 17.08.) für das Testreferenzjahr sommergemäßigter Gebiete (TRY13)

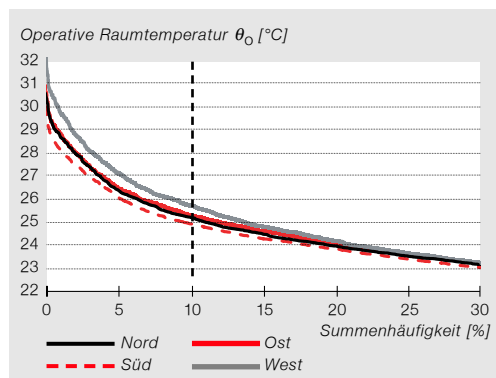


Abb. 7.9
Dauerlinie der operativen Raumtemperatur (θ_o) in [°C] für alle Büroräume des Typgebäudes II für das Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

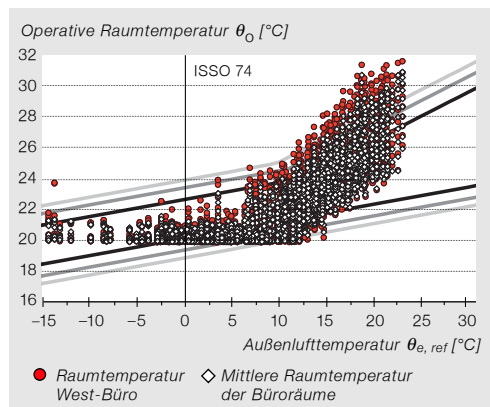


Abb. 7.10
Komfortauswertung nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74: Operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] des West-Büros in Gegenüberstellung der mittleren operativen Raumtemperatur aller Büros (Nord-, Süd-, Ost- und Westausrichtung) des Typgebäudes II in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,ref}$) in [°C]; Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

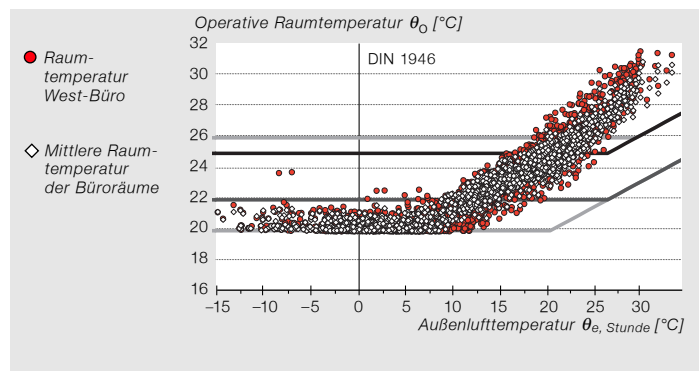


Abb. 7.11
Komfortauswertung nach der DIN 1946-2:1994-01: Operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] des West-Büros in Gegenüberstellung der mittleren operativen Raumtemperatur aller Büros (Nord-, Süd-, Ost- und Westausrichtung) des Typgebäudes II in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,Stunde}$) in [°C]; Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

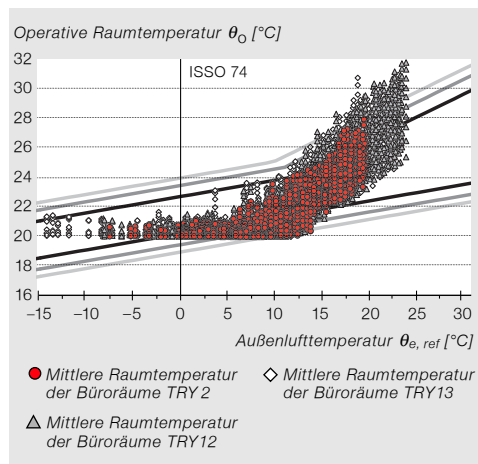


Abb. 7.12
Komfortauswertung nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] aller Büros des Typgebäudes II in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,ref}$) in [°C]; Testreferenzjahre sommerkühler, sommergemäßigter und sommerheißer Regionen

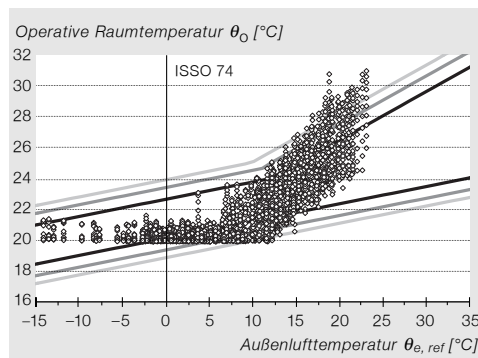


Abb. 7.13
Komfortauswertung nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] des Typgebäudes II in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,ref}$) in [°C]; Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

Abb. 7.14
Komfortauswertung nach DIN 1946-2:1994-01: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] des Typgebäudes II in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,Stunde}$) in [°C]; Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

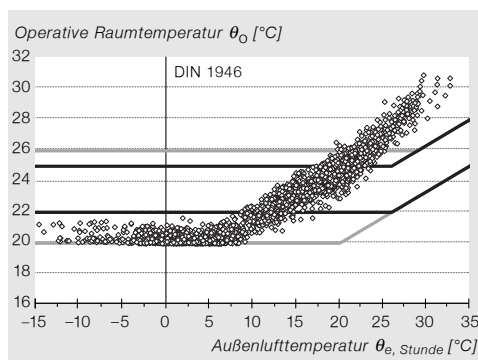


Abb. 7.16
Komfortauswertung nach DIN EN 7730-2003-10: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] des Typgebäudes II in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,Tag}$) in [°C]; Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

Abb. 7.12 stellt die mittleren operativen Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur für die TRY-Regionen 2, 12 und 13 nach der Niederländischen Komfortrichtlinie ISSO-74 dar. Die Ergebnisse verletzen für alle drei Klimaregionen die einzuhaltenden Komfortkriterien. Besonders kritische Werte erhält man für die „gemäßigten“ und „sommerheißer“ Klimazonen. Im Folgenden wird exemplarisch nur auf die Klimaregion B eingegangen (als gemäßigte Zone repräsentativ für das gesamtdeutsche Wetter).

Abb. 7.13 bis Abb. 7.16 zeigen die mittlere operative Raumtemperatur in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur an einem „gemäßigten“ Klimastandort nach den Kriterien der Niederländischen Richtlinie ISSO-74, der DIN 1946-2:1994-01, der ASHrae 55-Norm und nach der Richtlinie der DIN EN 7730:2003-10. Entsprechend den jeweiligen Kriterien kann der thermische Komfort für die Nutzer nicht garantiert werden, obwohl die nach DIN 4108-2:2003-07 aufgestellte Raumgrenztemperatur von 26° C im Mittel nur an 6% der Aufenthaltszeit überschritten wird (Abb. 7.9).

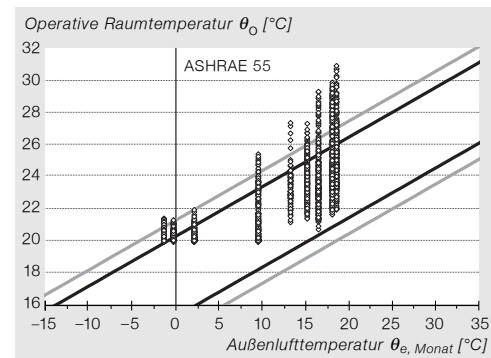
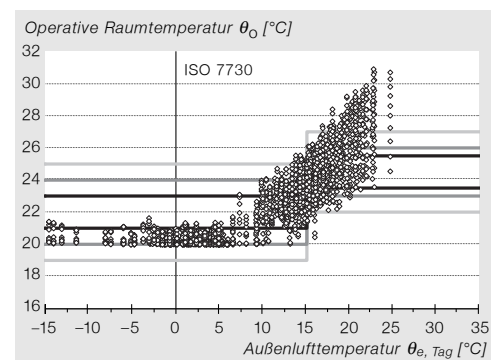


Abb. 7.15
Komfortauswertung nach ASHRAE 55: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] des Typgebäudes II in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,Monat}$) in [°C]; Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen



7.3 Potenziale und Grenzen der Passiven Kühlung

Basierend auf den bisherigen Untersuchungen behandeln die beiden nachfolgenden Kapitel Möglichkeiten und Grenzen von Lüftungstechnischen (Kapitel 4.3.1) und baulichen Maßnahmen (Kapitel 4.3.2) zur Verbesserung des thermischen Komforts. Sämtliche Maßnahmen lassen sich unter dem Oberbegriff der „passiven Kühlung“ zusammenfassen, da nur Wärmelasten vermindert werden oder – mit Ausnahme eines Referenzszenarios – auf natürliche Wärmesenken zurückgegriffen wird [Zimmermann, 2003]. Als Modellbeispiel für die Beurteilung des sommerlichen Komforts wird das bereits vorgestellte geometrische Modell des Typgebäudes II herangezogen.

Abweichend davon, werden Bauteilaufbauten gewählt, die in Tabelle 7.7 dargestellt sind. Das Typengebäude gehört in die Baualtersklasse zwischen den 60er und den 80er Jahren. Die Annahmen gehen von einer schweren ($<400 \text{ kg/m}^2$) oder mittelschweren ($300 - 400 \text{ kg/m}^2$) Bauweise aus. Für alle Fenster wird eine außen liegende Sonnenschutzvorrichtung berücksichtigt, bestehend aus Metalllamellen mit einem Abminderungsfaktor von $F_C=0,25$ gemäß [DIN 4108-2:2003-07], die bedarfsgerecht betätigt werden kann. Bei einer direkten Einstrahlung größer 200 W/m^2 ist der Sonnenschutz komplett geschlossen, ansonsten wird ein komplett geöffneter Sonnenschutz angenommen.

Nutzungsbedingungen

Die Nutzungsbedingungen werden gegenüber den beiden vorangegangenen Modellen an eine typische Büronutzung angepasst. Hier geht es also weniger darum, ein standardisiertes bauphysikalisches Modell abzubilden, als vielmehr das thermische Gebäudeverhalten unter möglichst realistischen Randbedingungen. Dementsprechend werden in diesem dritten Modell die Nutzungszeiten und die Büronutzung wie folgt geändert.

Nutzungszeiten der Büroräume: Die tägliche Nutzungszeit der Büroräume beträgt 11 Stunden, beginnend ab 7.00 Uhr. Eine Arbeitswoche hat fünf Werktagen. Für die ausschließlich auf die Bürozeit bezogene

Zonen	4 Büro-Räume, entsprechend der Himmelsrichtung (Süd-Büro, Nord-Büro, Ost-Büro, West-Büro)
Nutzung der Büroräume	2 Personen
Nutzungszeiten	261 Nutzungstage pro Jahr, Tägliche Nutzungszeit 11 h, „Vollbetriebsfaktor“ für Personen und Geräte 6 h pro Tag
Interne Lasten	$156 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$
Bauweise	Schwer (spezifische Speicherkapazität $> 200 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ nach VDI 2078:1996)
Bauteileigenschaften	U-Wert opake Bauteile $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, U-Wert Verglasung $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, g-Wert der Verglasung 58%
Fensterflächenanteil	40%, Rahmenanteil 30%
Reduktionsfaktor Verschattung / Verschmutzung	0,75
Sonnenschutz	außen liegende Metalllamellen Abminderungsfaktor nach DIN 4108-2:2003-07: 0,25

Tabelle 7.7
Grundlagen des Typgebäudes III und dessen Nutzung

Komfortauswertung werden die Zeiten von 7.00 bis 18.00 Uhr während 261 Nutzungstagen pro Jahr herangezogen (also 2871 Aufenthaltstunden jährlich). Wochenenden werden im Lastprofil, in der Lüftungsstrategie und in der Auswertung gesondert berücksichtigt.

Interne Wärmegevinne: Die mittleren internen Wärmeeinträge bezogen auf die Nettogrundfläche des betrachteten Büroraumes betragen $6,50 \text{ W/m}^2$ bzw. $156 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$. Für das vorliegende Modell wurde folgendes internes Lastprofil gewählt (Abb. 7.17):

Während der Aufenthaltszeit der Nutzer: Die tägliche Nutzungszeit der Büroräume beträgt 11 h, wobei ein „Vollbetriebsfaktor“ für Personen und Geräte von 6 h pro Tag bestimmt wurde. Dementsprechend wird für die Büroräume folgendes Lastprofil, bedingt durch Wärmeeinträge der Menschen, technischen Geräte und Beleuchtungen, angenommen: Von 7.00 bis 9.00 Uhr betragen die internen Wärmegevinne $9,4 \text{ W/m}^2$, von 9.00 bis 12.00 Uhr 16 W/m^2 , von 12.00 bis 13.00 Uhr $9,4 \text{ W/m}^2$, von 13.00 bis 16.00 Uhr 16 W/m^2 und von 16.00 bis 18.00 Uhr $9,4 \text{ W/m}^2$. Die Hauptlast der internen Wärmeeinträge liegt somit zwischen 9.00 und 12.00 Uhr und zwischen 13.00 und 16.00 Uhr. Der Flur ist vom

Eintrag interner Wärmeeinträge ausgenommen.

Während der Abwesenheitszeit der Nutzer: In den Zeiten, in denen die Büroräume nicht genutzt werden, wird eine interne Last von 1 W/m^2 zugrunde gelegt.

Während des Wochenendes: An den Wochenenden beträgt die interne Last 1 W/m^2 .

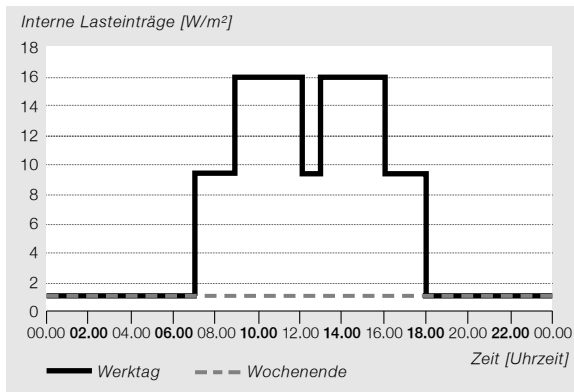


Abb. 7.17
Interne Wärmeeinträge in $[\text{W/m}^2]$ der jeweiligen Büroräume für einen Werktag und für das Wochenende

Heizperiode: Die Raumsolltemperatur soll ganzjährig bei 20°C liegen, d. h. bei Unterschreitung der Solltemperatur wird sofort geheizt. Da für die Komfortauswertung im Besonderen die Sommerperiode betrachtet wird, bleiben Effekte wie zum Beispiel Nachtabsenkung der Heizsolltemperatur ohne Berücksichtigung.

Tabelle 7.8
Untersuchte Systeme

	Bezeichnung	Kurzbeschreibung
Szenario I	Modell nach DIN 4108-2:2003-07	Lüftung der Büros erfolgt über festgelegten Luftwechsel gemäß DIN 4108-2:2003-07
Szenario II	Freie Lüftung	Lüftung der Büros erfolgt durch Querlüftung über elektrisch ansteuerbare Zuluft Elemente in der Fassade
Szenario III	Abluftanlage	Lüftung der Büros über eine Abluftanlage und Zuluft Elemente in der Fassade. Die Anlage wird auch zur Nachtlüftung verwendet.
Szenario IV	Zu-/Abluft mit adiabater Kühlung	Nachtlüftung über eine Abluftanlage und Zuluft Elemente in der Fassade. Adiabate Kühlung der Zuluft.
Szenario V	Aktive Kühlung	Be- und Entlüftung der Büros mit einer Zu-/Abluftanlage. Kühlung der Büros erfolgt über Ventilator-konvektoren im Umluftbetrieb. Die Kälteerzeugung erfolgt über eine Kompressionskältemaschine.

Maßnahmen

Für diese Nutzungsbedingungen werden fünf unterschiedliche Maßnahmen zur passiven Kühlung bewertet. Die nachfolgend betrachteten Szenarien unterscheiden sich nur in der angenommenen Lüftungsstrategie, im Nutzerverhalten und in den verwendeten Wetterdatensätzen. Es werden die in Tabelle 7.8 dargestellten Systeme analysiert und in den jeweiligen Kapiteln gesondert beschrieben.

Das Luftknotenmodell besteht aus einem Luftknoten in jeder der sechs Zonen (Büros und Flurs) sowie weiteren Luftknoten außerhalb des Gebäudes auf der Süd-, Nord-, Ost- und Westseite. In diesem Modell sind folgende Komponenten abgebildet: Türen von den jeweiligen Büros in den Flur, Außenfenster, Undichtheiten und der Lüftungsstrategie entsprechende Abluftventilatoren. Die einzelnen Luftknotenpunkte sind über diese Komponenten verknüpft. Damit ist die Einstellung eines realistischen Luftwechsels, in Abgrenzung zu dem bisher fest vorgegebenen Luftwechsel (Typgebäude I und II) gewährleistet.

7.3.1 Lüftungsstrategie analog DIN 4108-2:2003-07

Die für das Szenario I gewählte Lüftungsstrategie entspricht der des Typgebäudes II und damit den Vorgaben nach [DIN 4108-2:2003-07]:

- Mittlere Luftwechselrate: $n=0,7\text{ h}^{-1}$
- Hygienischer Frischluftwechsel während der Aufenthaltszeit der Nutzer: $n=1,3\text{ h}^{-1}$
- Grundluftwechsel außerhalb der Anwesenheitszeit: $n=0,3\text{ h}^{-1}$
- Erhöhte Luftwechselrate im Sommer während der Anwesenheit bei einer Raumtemperatur größer 23 °C : $n=3,0\text{ h}^{-1}$
- Erhöhter Nachtluftwechsel außerhalb der Anwesenheitszeit bei einer Raumtemperatur größer 23 °C : $n=2,0\text{ h}^{-1}$
- Der Flur ist lufttechnisch nicht an die Büroräume gekoppelt.

Das Szenario wurde für sämtliche 15 Testreferenzjahre gerechnet. Im Folgenden werden exemplarisch nur die Ergebnisse der Region 13 („sommertemperate“ Klimazone B) dargestellt.

7.3.2 Freie Nachtlüftung

Die Lüftung der Büros erfolgt über freie Querlüftung. In der Fassade sind dazu automatisch betätigte Zuluftelemente positioniert. Im einfachsten Falle sind dies Kippfenster. Der Markt bietet darüber hinaus schalldämmte Zuluftelemente als Fassadeneinbauteile an. Die Überströmung der Luft innerhalb des Gebäudes erfolgt über öffnbare Klappen über den Türen. Auch hier gibt es Sonderlösungen mit schalldämmten Luftdurchlässen.

Das vorliegende Modell sieht eine innen-temperaturabhängige Regelung für die freie Lüftung vor. Überschreitet die Raumlufttemperatur während der Zeit von 7.00 bis 18.00 Uhr einen Wert von 23 °C , kippt der Nutzer das Fenster. Für die Betätigung der Innentüren (Verbindung Büroraum mit dem jeweiligen Flur) wird eine zeitabhängige Regelung vorgesehen: Die Türen sind während der Aufenthaltszeit von 11 h für je zwei Stunden vormittags (7.00 bis 9.00 Uhr) und zwei Stunden nachmittags (16.00 bis 18.00 Uhr) geöffnet.

Die Nachtlüftung erfolgt ebenfalls über freie Querlüftung. Dazu sind die Zuluftelemente bzw. Fenster in der Fassade elektrisch bedienbar und auf die Gebäudeleittechnik aufschaltbar. Das der Nachtlüftung unterliegende Regelprinzip öffnet die Zuluftelemente, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

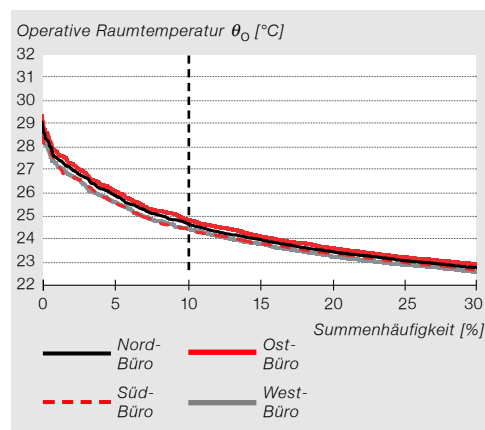


Abb. 7.18
Dauerlinie der operativen Raumtemperatur (θ_O) in $[\text{°C}]$ für alle Büroräume des Modells „DIN 4108-2:2003-07“; Testreferenzjahr sommertemperate Regionen

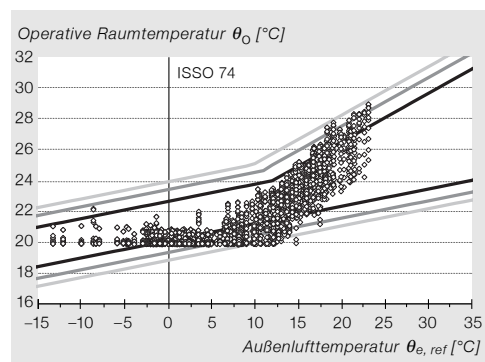


Abb. 7.19
Komfortauswertung nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_O) in $[\text{°C}]$ aller Büros des Modells „DIN 4108-2:2003-07“ in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,ref}$) in $[\text{°C}]$; Testreferenzjahr sommertemperate Regionen

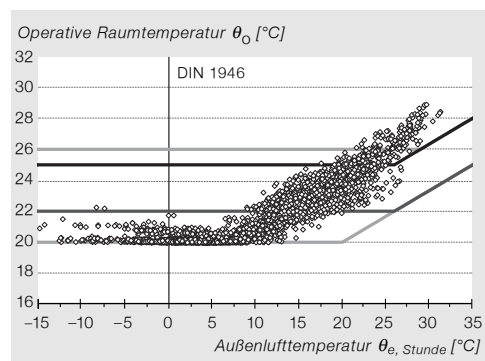


Abb. 7.20
Komfortauswertung nach DIN 1946-2:1994-01: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_O) in $[\text{°C}]$ aller Büros des Modells „DIN 4108-2:2003-07“ in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,Stunde}$) in $[\text{°C}]$; Testreferenzjahr sommertemperate Regionen

- die Raumtemperatur ist größer 20 °C und
- die Außenlufttemperatur ist geringer als die Raumlufttemperatur.

Auch dieses Szenario wurde für sämtliche 15 Testreferenzjahre gerechnet, im Folgenden werden exemplarisch nur die Ergebnisse der Region 13 („gemäßigte“ Klimazone B) dargestellt.

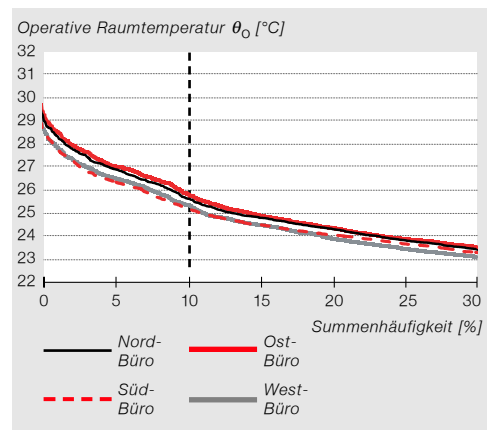


Abb. 7.21
Dauerlinie der operativen Raumtemperatur (θ_o) in [°C] für alle Büroräume des Modells „Freie Lüftung“; Testreferenzjahr sommergemäßiger Regionen

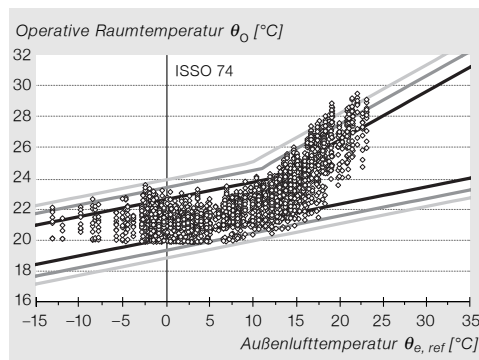


Abb. 7.22
Komfortauswertung nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] aller Büros des Modells „Freie Lüftung“ in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,ref}$) in [°C]; Testreferenzjahr sommergemäßiger Regionen

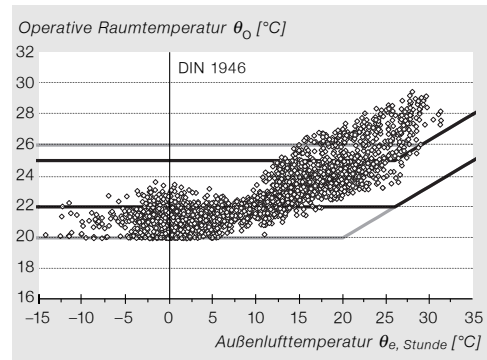
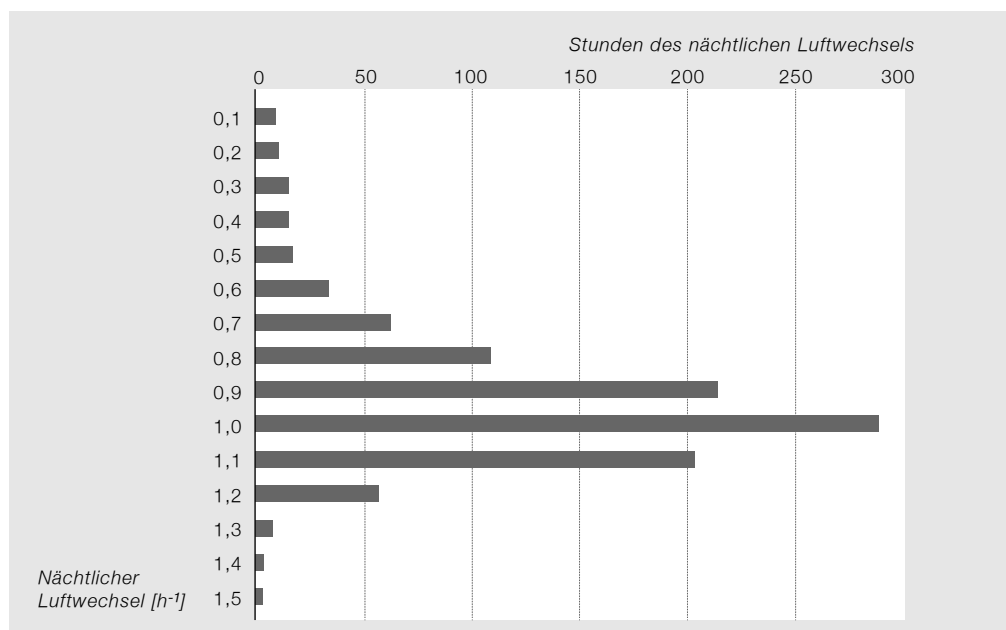


Abb. 7.23
Komfortauswertung nach der DIN 1946-2:1994-01: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] aller Büros des Modells „Freie Lüftung“ in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,Stunde}$) in [°C]; Testreferenzjahr sommergemäßiger Regionen

Abb. 7.24
Anzahl der Stunden nächtlichen Luftwechsels exemplarisch für das Südbüro des Modells „Freie Lüftung“; Testreferenzjahr sommergemäßiger Regionen: Monate Juni, Juli und August



7.3.3 Ventilator unterstützte Nachtlüftung

In einer weiteren Variante wird die freie Lüftung durch eine Ventilator unterstützte Lüftung ersetzt. Die Büros werden über eine Abluftanlage entlüftet. Frischluft strömt über manuell bedienbare Zulufluelemente in der Fassade nach, Abluft wird über einen Schacht mit einem Dachventilator abgesaugt. Im Unterschied zum vorhergehenden Szenario stellen sich damit die Luftwechsel nicht als Resultat von Druck- und /oder Temperaturunterschieden ein, sondern sie werden durch Ventilatoren aufgeprägt. Während der Anwesenheit der Nutzer beträgt der hygienische Frischluftwechsel $1,3 \text{ h}^{-1}$.

Für die Nachtlüftung werden zwei Fälle mit unterschiedlich hohen Luftwechseln (bezogen auf die Büroräume) betrachtet: 2 h^{-1} und 4 h^{-1} . Die Fenster- und Türenbetätigung während der Anwesenheit sowie die Nachtlüftung erfolgen analog der in Kapitel 7.3.2 beschriebenen Regelstrategie.

Auch für dieses Szenario werden die Simulationsergebnisse exemplarisch für das Testreferenzjahr der Region 13 („sommergemäigte“ Klimazone B) dargestellt.

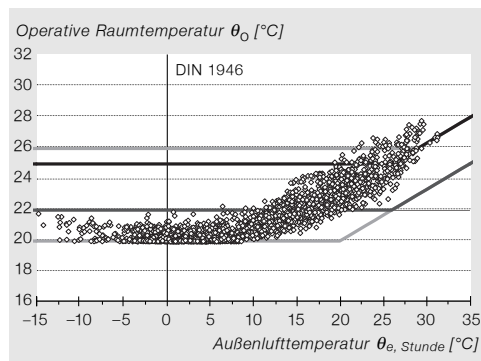


Abb. 7.27 Komfortauswertung nach der DIN 1946-2:1994-01: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] aller Büros des Modells „Ventilator unterstützte Nachtlüftung“ mit einem Nachtluftwechsel von 2 h^{-1} in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e, \text{Stunde}}$) in [°C]; Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

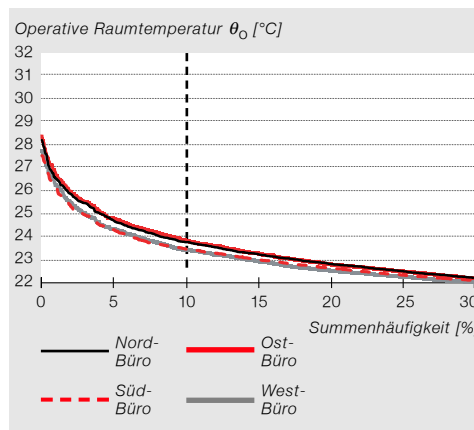


Abb. 7.25 Dauerlinie der operativen Raumtemperatur (θ_o) in [°C] für alle Büroräume des Modells „Ventilator unterstützte Nachtlüftung“ mit einem Nachtluftwechsel von 2 h^{-1} , Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

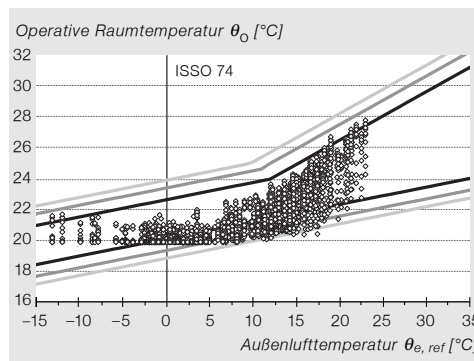


Abb. 7.26 Komfortauswertung nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] aller Büros des Modells „Ventilator unterstützte Nachtlüftung“ mit einem Nachtluftwechsel von 2 h^{-1} in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e, \text{ref}}$) in [°C]; Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

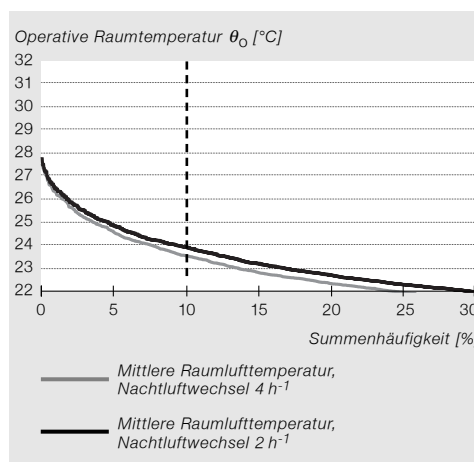


Abb. 7.28 Dauerlinie der mittleren operativen Raumtemperatur (θ_o) in [°C] des Modells „Ventilator unterstützte Nachtlüftung“ mit einem Nachtluftwechsel von 2 h^{-1} und 4 h^{-1} , Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

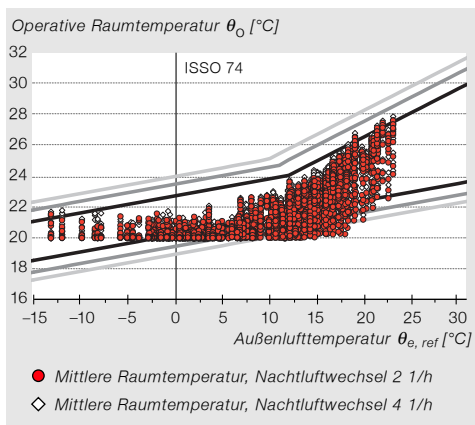


Abb. 7.29
Komfortauswertung nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in $^{\circ}\text{C}$ aller Büros des Modells „Ventilator unterstützte Nachtlüftung“ mit einem Nachtluftwechsel von 2 und 4 h^{-1} in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,\text{ref}}$) in $^{\circ}\text{C}$; Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

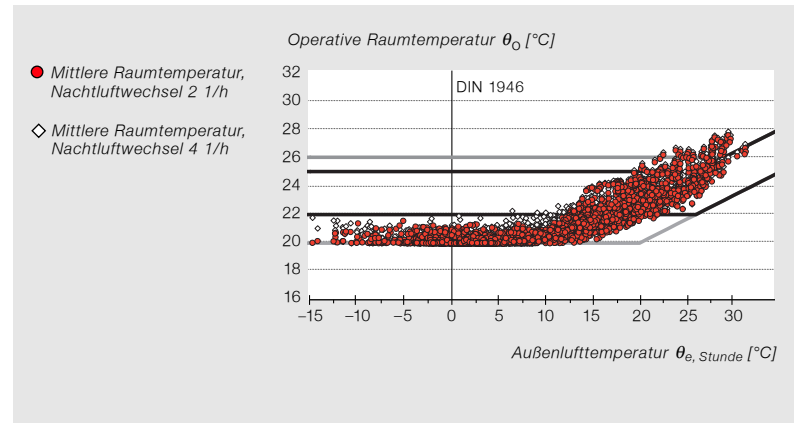


Abb. 7.30
Komfortauswertung nach der DIN 1946-2:1994-01: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in $^{\circ}\text{C}$ aller Büros des Modells „Ventilator unterstützte Nachtlüftung“ mit einem Nachtluftwechsel von 2 und 4 h^{-1} in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,\text{Stunde}}$) in $^{\circ}\text{C}$; Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

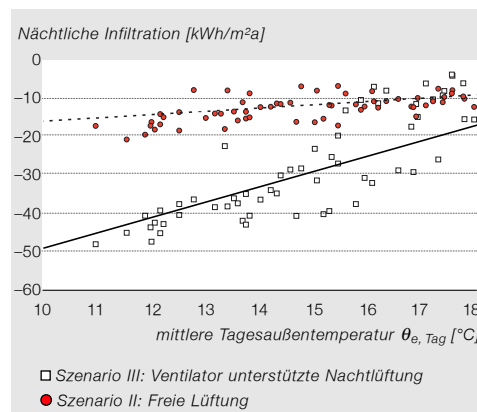


Abb. 7.31
Vergleich der nächtlichen Wärmeabfuhr in $[\text{Wh}/\text{m}^2\text{d}]$ exemplarisch für das Süd-Büro: Freie Lüftung und Ventilator unterstützte Nachtlüftung mit einem Nachtluftwechsel von 2 h^{-1} ; Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen: Monate Juni, Juli, August

7.3.4 Adiabate Kühlung

In einer vierten Variante wurde das Gebäude mit einer kompletten Zu- und Abluftanlage zur ventilatorunterstützten Lüftung versehen. Darüber hinaus wird das bisherige Simulationsmodell in folgender Weise ergänzt:

- Während der Anwesenheitszeit der Nutzer: Um zusätzlich den hygienisch bedingten Frischluftwechsel von 1,3 h^{-1} während der Anwesenheit der Nutzer zur Kühlung zu nutzen, wird eine indirekte adiabatische Verdunstungskühlung installiert, d.h. die Abluft wird befeuchtet. Über einen Luft-/Luft-Wärmeübertrager (Wirkungsgrad 80 %) wird die dazu erforderliche Verdunstungswärme der Zuluft entnommen.
- Außerhalb der Anwesenheitszeit der Nutzer: Die Nachtlüftung folgt dem dargestellten Lüftungsszenario bei Ventilator unterstützter Lüftung mit einem 2-fachen Luftwechsel.

Die Büroräume sind für zwei Nutzer ausgelegt. Die stündliche Wasserdampfzuzugabe⁶ pro Mensch beträgt rund $50 \text{ g}_{\text{Wasser}}/(\text{h} \cdot \text{Pers})$ [Recknagel 1999]. Damit ergibt sich für das jeweilige Büro eine Feuchtequelle von $100 \text{ g}_{\text{Wasser}}/(\text{h} \cdot \text{Büro})$, die in der Simulation berücksichtigt wurde. Diese Feuchtezunahme reduziert geringfügig das Befeuchtungspotential der Abluft und damit die erreichbare Kühlleistung für die Zuluft.

(6) Durchschnittliche Wasserdampfzuzugabe eines normal bekleideten, sitzenden Menschen bei leichter Tätigkeit und ruhiger Luft, Luftfeuchte von 30 % bis 70 % [Recknagel 1999].

Abb. 7.32 illustriert die Jahresdauerlinie der Außentemperatur und der Zulufttemperatur für den hygienischen Frischluftwechsel während der Anwesenheit. Durch adiabate Kühlung kann die Temperatur der den Räumen zugeführten Frischluft in einem Bereich von 2 bis 6,5 K reduziert werden. Für das Gebäudemodell „Abluftanlage und Kühlung“ werden die Simulationsergebnisse exemplarisch wieder für das Testreferenzjahr der Region 13 („gemäßigte“ Klimazone) dargestellt.

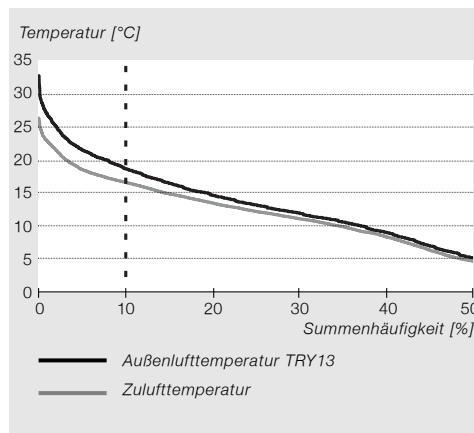


Abb. 7.32 Jahresdauerlinie der Außentemperatur (θ_o) in $^{\circ}\text{C}$ des Testreferenzjahres für sommergemäßigte Regionen und die Zulufttemperatur nach dem adiabaten Wäscher

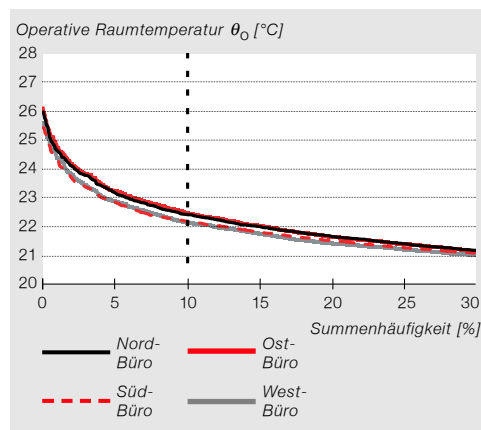


Abb. 7.33 Dauerlinie der operativen Raumtemperatur (θ_o) in $^{\circ}\text{C}$ für alle Büroräume des Modells „Adiabate Kühlung“, Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

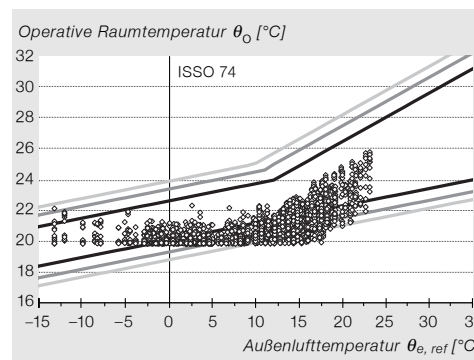


Abb. 7.34 Komfortauswertung nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in $^{\circ}\text{C}$ aller Büros des Modells „Adiabate Kühlung“ in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,ref}$) in $^{\circ}\text{C}$, Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

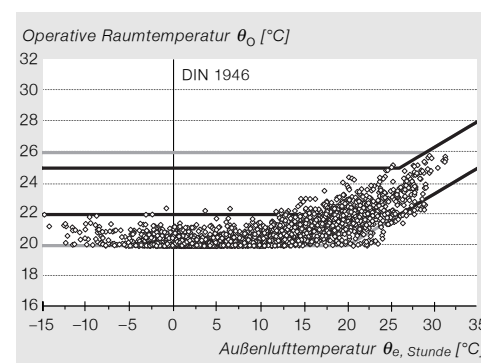


Abb. 7.35 Komfortauswertung nach der DIN 1946-2:1994-01: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in $^{\circ}\text{C}$ aller Büros des Modells „Adiabate Kühlung“ in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,Stunde}$) in $^{\circ}\text{C}$, Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

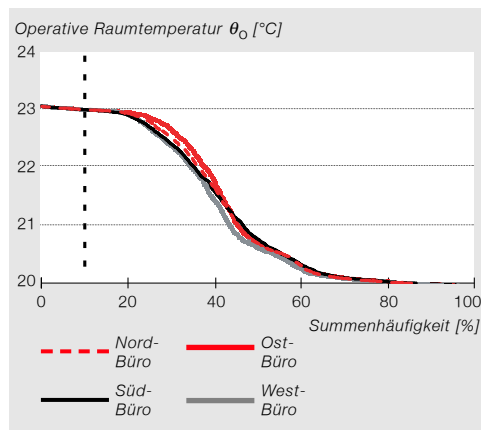


Abb. 7.36
Dauerlinie der operativen Raumtemperatur (θ_o) in [°C] für alle Büroräume des Modells „Aktive Kühlung“, Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

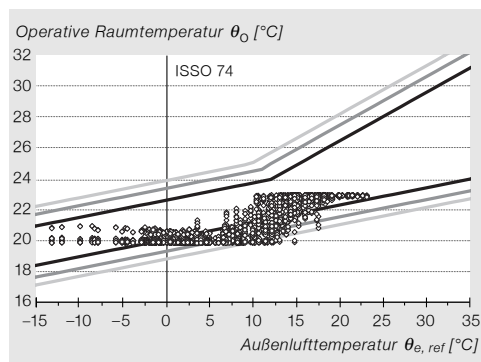


Abb. 7.37
Komfortauswertung nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] aller Büros des Modells „Aktive Kühlung“ in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,ref}$) in [°C], Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

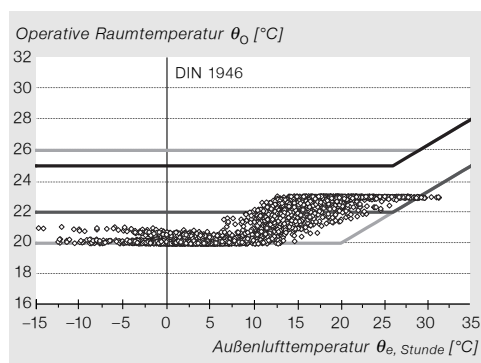


Abb. 7.38
Komfortauswertung nach der DIN 1946-2:1994-01: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] aller Büros des Modells „Aktive Kühlung“ in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,Stunde}$) in [°C], Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

7.3.5 Aktive Kühlung (Referenzszenario)

Die Büros werden wie zuvor über eine Zu- und Abluftanlage mechanisch be- und entlüftet. Während der Anwesenheit der Nutzer beträgt der hygienische Frischluftwechsel $1,3 \text{ h}^{-1}$ (bezogen auf die Bürofläche). Außerhalb der Nutzungszeit der Büros wird ein Grundluftwechsel von $0,3 \text{ h}^{-1}$ angenommen.

Zusätzlich zur Lüftung ist im vorliegenden Modell eine Kühlung über Ventilatorconvektoren oder über Deckenkühlelemente vorgesehen. Die spezifische Kühlleistung beträgt je Büro 35 W/m^2 Nettogrundfläche. Die aus internen Wärmelasten, solaren Lasten und Lüftungslasten entstehenden Gesamtlasten betragen für die Büroräume des Typgebäudes maximal 30 W/m^2 bzw. 610 W/Büroraum . Damit ist die angenommene spezifische Kühlleistung von 35 W/m^2 ausreichend, um eine maximale Raumtemperatur von 23 °C zu gewährleisten.

Eine mögliche Taupunktunterschreitung und damit einhergehende Kondensation an den Kühlelementen wurde exemplarisch für das Süd-Büro untersucht. An ca. 770 Stunden ist die Kühlung in Betrieb. Während dieser Zeit wird die entsprechende Taupunkttemperatur nie unterschritten.

7.3.6 Fazit

Die Komfortauswertung des Typgebäudes III in einer an die Randbedingungen der DIN 4108-2:2003-07 angepassten Nutzung an einem „gemäßigten“ Klimastandort (Klimazone B) zeigt nach unterschiedlichen Kriterien ganz deutlich, dass der thermische Komfort nicht garantiert werden kann, obwohl die nach DIN 4108-2:2003-07 aufgestellte Grenztemperatur von 26 °C im Mittel nur an 4,8 % der Aufenthaltszeit überschritten wird.

Demnach wurden zunächst Verbesserungspotentiale durch Änderung der Gebäudelüftung untersucht.

Freie Lüftung

Die Auswertung für das Modell „Freie Lüftung“ verdeutlicht, dass die in der DIN 4108-2:2003-07 festgelegte Grenztemperatur von 26 °C für die sommergemäßigte Klimazone B an knapp 9 % der Aufenthaltszeit überschritten wird. Der Anstieg der Über-

schreitungshäufigkeit gegenüber der Lüftungsstrategie nach DIN 4108-2:2003-07 erklärt sich durch die geringeren Luftwechsel. Da unter sommerlichen Bedingungen die Temperaturunterschiede zwischen Raumluft und Umgebung eher gering ausfallen, sind der freien Lüftung mit Hilfe von Thermik im Unterschied zu winterlichen Bedingungen enge Grenzen gesetzt.

Nach den Kriterien der Niederländischen Richtlinie ISSO-74 und der alten DIN 1946-2:1994-01 kann der thermische Komfort nicht gewährleistet werden. Freie Nachtlüftung setzt architektonische Formen wie Atrien oder freie Geschossverbindungen als Auftriebszonen voraus, die im Neubau gezielt eingesetzt werden. In Bestandsbauten werden allein durch Querlüftung keine ausreichenden Volumenströme erbracht, so dass solche Ansätze speziell in der Sanierung wenig Erfolg versprechend sind. Alternativ können Druckunterschiede auf Grund von Windanströmungen eines Gebäudes zur Durchlüftung genutzt werden. Allerdings sind die bodennahen Windverhältnisse recht unsicher. Speziell im Sommer dominieren niedrige Windgeschwindigkeiten. Erst bei hohen oder exponierten Gebäuden lassen sich diese Potenziale sinnvoll nutzen.

Ventilator unterstützte Nachtlüftung

Für das Modell „Ventilator unterstützte Nachtlüftung“ wird die festgelegte Grenztemperatur von 26 °C an 1,9 % (2-facher Nachtluftwechsel) bzw. 1,7 % (4-facher

Nachtluftwechsel) der Aufenthaltszeit überschritten. Nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74 werden die Komfortkriterien mit dem Modell „Abluftanlage“ für die Akzeptanzklassen B und C eingehalten, aber nach der DIN 1946-2:1994-01 kann der thermische Komfort der Nutzer während der gesamten Aufenthaltszeit noch nicht ganz gewährleistet werden. Die Ergebnisse sind jedoch deutlich günstiger, als bei der freien Lüftung. Eine weitere Steigerung des Luftwechsels bringt kaum noch signifikante Verbesserungen, erhöht aber den elektrischen Energieaufwand.

Adiabate Kühlung

Mit einer adiabaten Kühlung während der Nutzungszeit werden für die Büroräume sowohl die Komfortkriterien der Niederländischen Richtlinie ISSO-74 (Komfortklasse A) als auch der DIN 1946:1994-01 erfüllt.

Aktive Kühlung

Unter Einsatz einer Kühlung über Ventilator-konvektoren oder Deckenkühlelemente mit einer spezifischen Kühlleistung von etwa 35 W/m² erreichen die Raumtemperaturen der einzelnen Büroräume maximal 23 °C. Es werden damit weder die festgelegte Grenztemperatur von 26 °C überschritten, noch werden die Kriterien der untersuchten Komfortmodelle verletzt. Es ist eindeutig, dass mit aktiver Kühlung der thermische Komfort der Nutzer gewährleistet werden kann.

Tabelle 7.9
Zusammenstellung der Komfortauswertung des Typgebäudes III; Szenarien I bis V.
Die Auswertung beschränkt sich auf die mittlere operative Raumtemperatur aller Büroräume.

Szenario der Lüftungsstrategie	DIN 4108-2:2003-07	Freie Lüftung	Abluftanlage		Adiabate Kühlung	Aktive Kühlung
			2 h ⁻¹	4 h ⁻¹		
Überschreitungshäufigkeit nach DIN 4108-2:2003-07	4,8 %	8,7 %	1,9 %	1,7 %	0 %	0 %
Niederländische Richtlinie ISSO-74	Akzeptanzklasse C erfüllt	nicht erfüllt	Akzeptanzklasse B erfüllt		Akzeptanzklasse A erfüllt	Akzeptanzklasse A erfüllt
Überschreitungshäufigkeit DIN 1946-2:1994-01 [h]	238	363	116	81	3	2

Alternative: Wärmesenke Erdreich

Alle dargestellten Szenarien basieren – mit Ausnahme der aktiven Kühlung – auf der Wärmeabfuhr an die Umgebungsluft. Dies hat insbesondere den Vorteil der potentiellen Nutzung für die Sanierung von Bestandsgebäuden hinsichtlich einer Verbesserung des sommerlichen Raumklimas. All diese Konzepte stoßen bei lang anhaltend hoch-sommerlichen Perioden oder einer Klimaerwärmung an ihre Grenzen. Wenn die Umgebungsluft dauerhaft und über mehrere Stunden am Tag über der Behaglichkeitstemperatur liegt und das Potenzial für Nachtlüftung – beispielsweise während lang anhaltender Hitzeperioden – gering ist, stellt sich die Frage nach einer Alternative zur Wärmesenke Umgebungsluft. Konventionelle Klimaanlage und aktive Kühlung über Kompressionskältemaschinen stellen zwar eine Alternative dar, sind aber mit einem entsprechenden Energieverbrauch und Kosten für deren Betrieb verbunden. Darüber hinaus geben die dazugehörigen Rückkühlwerke thermodynamisch bedingt Wärme an die Umgebung ab, was gerade im städtischen Umfeld zu einer weiteren Erwärmung führt.

Das Erdreich stellt eine weitere unabhängige Wärmesenke dar. Dabei wird der Effekt genutzt, dass das Erdreich wie ein saisonaler Wärmespeicher funktioniert: Durch die große thermische Masse reagiert das Erdreich träge auf Änderungen der Umgebungstemperatur. Mit zunehmender Tiefe wird die Schwankung der Umgebungstemperatur gedämpft und zeitlich verzögert. Je nach Erdreich werden saisonale Schwankungen zwischen 5 und 10 m Tiefe soweit gedämpft, dass das Erdreich eine nahezu konstante Temperatur über das Jahr hat. Die sich einstellende Mitteltemperatur liegt in der Regel rund ein Grad über dem Jahresmittel der Außenlufttemperatur. Zusätzlich kann die Erdtemperatur durch einen Grundwasserstrom beeinflusst werden.

Das Erdreich kann über Luft oder Wasser als sommerliche Wärmesenke nutzbar gemacht werden:

- Im oberflächennahen Erdreich kommen vorteilhaft Luft-Erdregister zum Einsatz, wenn eine entsprechende Fläche um das Gebäude zur Verfügung steht. Die Zuluft

kann im Sommer um bis zu 10 °K abgekühlt werden. Voraussetzung für den Einsatz eines Luft-Erdregisters ist der Betrieb einer Zuluftanlage. Im Winter kann die Zuluft erwärmt und insbesondere damit die abluftseitige Frostfreiheit eines Luft / Luft-Wärmeübertragers sicher gewährleistet werden [Pafferott 2006]. Eine Variante stellen soledurchströmte Wärmetauscher dar: Die Wärme wird über soledurchflossene Leitungen in das Erdreich ein- bzw. ausgekoppelt und anschließend über einen Sole-Luft-Wärmeübertrager an das Lüftungssystem übertragen.

- Erdsonden werden bis zu 100 m tief gebohrt und nutzen damit ein Kältepotential bei einem nahezu konstanten Temperaturniveau. Die Kälte kann entweder über ein Kühlregister in der Zuluftanlage oder ein Flächenkühlsystem – beispielsweise eine Bauteilaktivierung oder ein Deckensegel – abgegeben werden. Im Winter kann die Erdsonde als Wärmequelle für eine Wärmepumpe, das Kühlregister als Vorheizregister und das Flächenkühlsystem als Flächenheizung dienen [Voss 2006].

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wurden Kühlsysteme mit Erdreich oder Grundwasser als Wärmesenke nicht betrachtet. Hierzu ist eine erweiterte, vergleichende Untersuchung erforderlich.

7.4 Potenziale und Grenzen von Sonnenschutzmaßnahmen

Die richtige Auswahl und Bedienung von Sonnenschutzvorrichtungen tragen zu angenehmen Klima- und auch Sehbedingungen in Büroräumen bei [VBG BGI 827], [Voss 2006b].

Blendschutz

Fast jeder Büroarbeitsplatz ist heute auch ein Bildschirmarbeitsplatz. Blendschutzvorrichtungen bewirken, dass Blendung am Arbeitsplatz durch Sonne und zu viel Tageslicht vermieden wird. Ihre richtige Auswahl und Bedienung ist für die Blendschutzwirkung wichtig. Andererseits sind genügend Licht und eine gute Sichtverbindung nach außen wichtig für das Wohlbe-

finden der Menschen in Räumen. Nicht jede Blendschutzeinrichtung bietet auch Sonnenschutz (z. B. viele raumseitig angebrachte Systeme ohne Kombination mit speziellen Verglasungen); nicht jede Sonnenschutzmaßnahme gleichzeitig ausreichenden Blendschutz (z. B. Sonnenschutzglas). Sonnen- oder Blendschutzvorrichtungen sollen nicht unnötig oder in ungeeigneter Weise den Tageslichteinfall einschränken oder verhindern. Entsprechend der Arbeitsstättenverordnung muss in Arbeitsräumen eine Sichtverbindung nach außen gewährleistet werden. Detaillierte Informationen für die Auswahl von geeigneten Blendschutzvorrichtungen an Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen finden sich in [VBG BGI 827].

Sonnenschutz

Räume erwärmen sich besonders dann, wenn die Sonne ungehindert durch die Fenster einstrahlt. Während diese Wirkung im Winter den Heizwärmebedarf reduziert (passive Solarenergienutzung), führt sie unter sommerlichen Bedingungen zu Kühllasten bzw. unkomfortabel hohen Raumtemperaturen. Zweckmäßige Vorrichtungen an den Fenstern begrenzen diesen Temperaturanstieg in Räumen. Die Lage der Sonnenschutzvorrichtung (innen, zwischen den Scheiben des Fensters oder außen) ist für die Effizienz hinsichtlich des Wärmeschutzes von großer Bedeutung: Bei einem *identischen* System verhindert das außen angebrachte System grundsätzlich besser das Eindringen von Sonnenenergie in den Raum als ein raumseitig angebrachtes. Sonnenschutzeinrichtungen werden in der DIN 4108-2:2003-07 mit Abminderungsfaktoren F_c bewertet [DIN 4108-2:2003-07] bzw. zukünftig gemäß [prEN 14501:2004] nach ihrer Leistungsfähigkeit klassifiziert. Im Hinblick auf den thermischen Komfort werden nachfolgend unterschiedliche Sonnenschutzvorrichtungen bzw. -strategien für die Klimazone B aufbauend auf das Simulationsmodell „Ventilator unterstützte Nachtlüftung“ (Kapitel 7.3.3) vorgestellt. Die Auswertung wird aus Gründen der Übersichtlichkeit nur für die sommergemäßigte Klimazone B, also für den Wetterdatensatz des Testreferenzjahres 13, in Anhang A vorgestellt. Die Aussagen für die sommerkühle und die sommerheiße Kli-

mazone A bzw. C kommen zu den gleichen Ergebnissen.

7.4.1 Passiver Sonnenschutz

So genannte *Sonnenschutzverglasungen* werden durch geeignete Beschichtung auf der Innenseite der Außenseite dafür optimiert, möglichst nur den Lichtanteil der Solarstrahlung durchzulassen. Im physikalisch optimierten Fall ist der Lichttransmissionsgrad (T_{vis}) von Sonnenschutzverglasungen doppelt so hoch wie der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert). Sonnenschutzverglasungen allein bieten in Gebäuden ohne Kühlung oder Klimatisierung keinen ausreichenden Sonnenschutz und vor allen Dingen keinen Blendschutz. Deshalb sind zusätzliche bewegliche Vorrichtungen notwendig. Wesentlicher Vorteil der Sonnenschutzverglasung ist allerdings ein „Basissonnenschutz“ unabhängig vom Umgang der Nutzer mit beweglichen Systemen [Voss 2006]. Das in der Simulation verwendete Sonnenschutzglas hat einen g-Wert von 34 % und einen U-Wert von $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Es repräsentiert damit bereits einen extremen Vertreter der farbneutralen Sonnenschutzgläser. Verglichen damit besaß das bisher betrachtete Wärmeschutzglas einen g-Wert von 58 % und damit verbunden – ohne beweglichen Sonnenschutz – den 1,7-fachen Wärmeeintrag. Sonnenschutzgläser verursachen herstellungsbedingt Mehrkosten gegenüber den üblichen Wärmeschutzverglasungen. Bis hinunter zu g-Werten um 40 % liegen die Mehrkosten heute nach den Erfahrungen aus aktuellen Bauvorhaben bei rund 40 € je m^2 Glasfläche. Da die Mehrkosten in der jüngsten Vergangenheit gesunken sind, kann erwartet werden, dass zukünftig auch noch leistungsfähigere Sonnenschutzverglasungen zu diesen Preisen angeboten werden. Daher wird dieser Preis bei der wirtschaftlichen Bewertung zu Grunde gelegt.

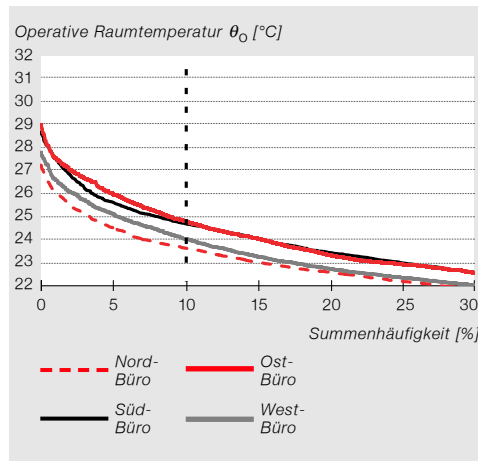


Abb. 7.39
Dauerlinie der operativen Raumtemperatur (θ_0) in [°C] für alle Büroräume mit Sonnenschutzverglasung

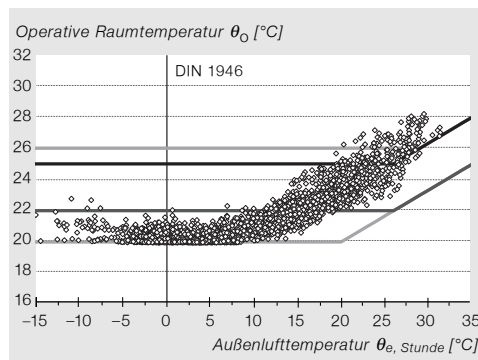


Abb. 7.41
Komfortauswertung nach der DIN 1946-2:1994-01: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_0) in [°C] aller Büros mit Sonnenschutzverglasung in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e, \text{Stunde}}$) in [°C], Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

Im Folgenden (Abb. 7.42 bis Abb. 7.44) wird die Wirkung eines kombinierten Sonnenschutzes betrachtet: Ein Sonnenschutzglas dient als Basissonnenschutz und das jeweilige Fenster wird mit einem zusätzlichen beweglichen Sonnen-/Blendschutz ausgerüstet.

- Sonnenschutzglas: g-Wert von 34 % und U-Wert von 1,1 W/(m²K)
- Aktive Sonnen-/Blendschutzvorrichtung: Außen liegende Jalousie mit einem Abminderungsfaktor von $F_c=0,25$.

Ein so genannter *statischer Sonnenschutz* kann durch Überhänge, Gitterroste oder Dachüberstände gebildet werden. Im vorliegenden Beispiel wird dazu ein horizontaler, opaker Überhang als durchlaufender Fassadenumgang in einer Abmessung von

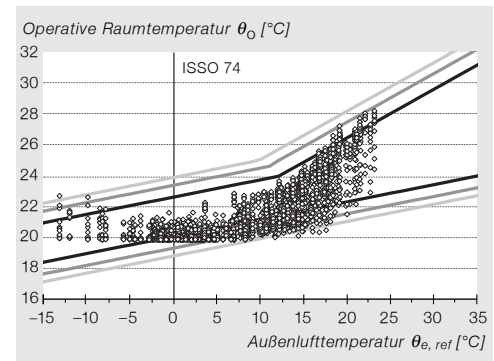


Abb. 7.40
Komfortauswertung nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_0) in [°C] aller Büros mit Sonnenschutzverglasung in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e, \text{ref}}$) in [°C], Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen.

0,90 m betrachtet. Dieser Sonnenschutz wurde so ausgelegt, dass bei einer Sonnenstandshöhe von 63° (sommerlicher Sonnenhöchststand) keine direkte Sonnenstrahlung in die Büroräume gelangt. Statische Verschattungen sind – bedingt durch die jahreszeitlich variierende Sonnenhöhe – nur an Fassaden mit näherungsweise Südorientierung wirksam. Als Vergleich dienen die simulierten Raumtemperaturen für den Fall, dass weder aktiver noch passiver Sonnenschutz vorhanden ist. Die Fenster haben dann die in Kapitel 7.3 beschriebenen Charakteristika (g-Wert: 58 %, U-Wert: 1,1 W/(m²K)).

Kosten für diese Art des passiven Sonnenschutzes können in der vorliegenden Studie nicht angegeben werden. Die Systeme bilden in hohem Maße eine Synergie mit der Architektur eines Gebäudes und können daher nur in einer Gesamtkostenrechnung betrachtet werden.

Abb. 7.45 zeigt die Jahresdauerlinie der operativen Raumtemperatur [°C] in den Büroräumen über die Anwesenheitszeit für die Fälle: Büroräume Süd, Ost und West mit statischer Verschattung (bezeichnet „passiv“) und für Büroräume ohne jegliche Sonnenschutzvorrichtung (bezeichnet „ohne“). Wird das Süd-Büro mit einem statischen Sonnenschutz ausgestattet, so liegt die Überschreitungshäufigkeit der Grenztemperatur von 26°C bei rund 5 %. Wird im Vergleich dazu auf jeglichen Sonnenschutz verzichtet, wird die Grenztemperatur an 12 % der Aufenthaltszeit überschritten. Unter Verwendung einer statischen Verschattung wird

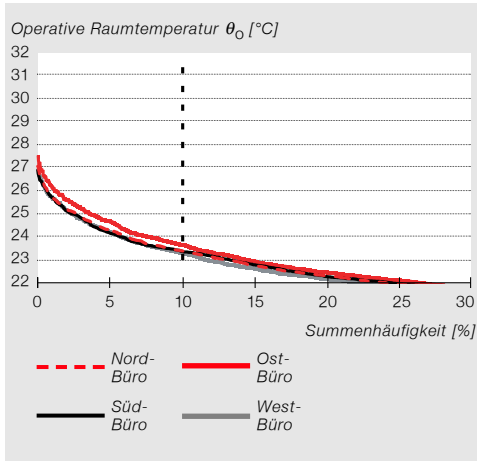


Abb. 7.42 Dauerlinie der operativen Raumtemperatur (θ_o) in [°C] für alle Büroräume mit kombiniertem Sonnenschutz: Sonnenschutzverglasung und beweglicher, außen liegender Sonnenschutz, der bei einer Einstrahlung von 200 W/m^2 geschlossen wird, Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

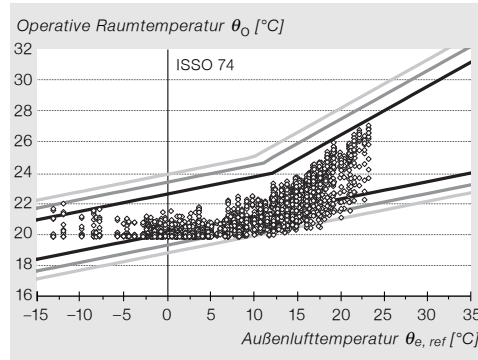


Abb. 7.43 Komfortauswertung nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] aller Büros mit kombiniertem Sonnenschutz in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,ref}$) in [°C]: Sonnenschutzverglasung und beweglicher, außen liegender Sonnenschutz, der bei einer Einstrahlung von 200 W/m^2 geschlossen wird, Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

die operative Raumtemperatur im Süd-Büro im Vergleich zu dem Referenzfall ohne Sonnenschutzvorrichtungen in einem Bereich von 1,3 bis zu 2 K reduziert. Für die Büroräume in Ost- und Westausrichtung ist eine statische Verschattung praktisch wirkungslos, d. h. die operativen Raumtemperaturen für das Ost- und Westbüro mit und ohne Sonnenschutz sind nahezu identisch. Im Ost-Büro liegen die Raumtemperaturen an 12,5 % der Aufenthaltsstunden über 26°C ; das Zielgebiet der DIN 4108-2:2003-07 ist somit nicht erfüllt. Im West-Büro ist das 10%-Kriterium der DIN 4108-2:2003-07 für die Klimazone B gewährleistet.

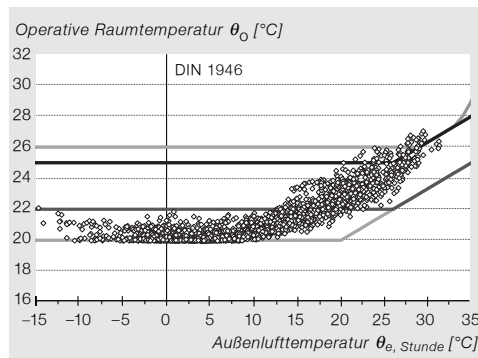


Abb. 7.44 Komfortauswertung nach der DIN 1946-2:1994-01: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] aller Büros mit kombiniertem Sonnenschutz in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,Stunde}$) in [°C]: Sonnenschutzverglasung und beweglicher, außen liegender Sonnenschutz, der bei einer Einstrahlung von 200 W/m^2 geschlossen wird, Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

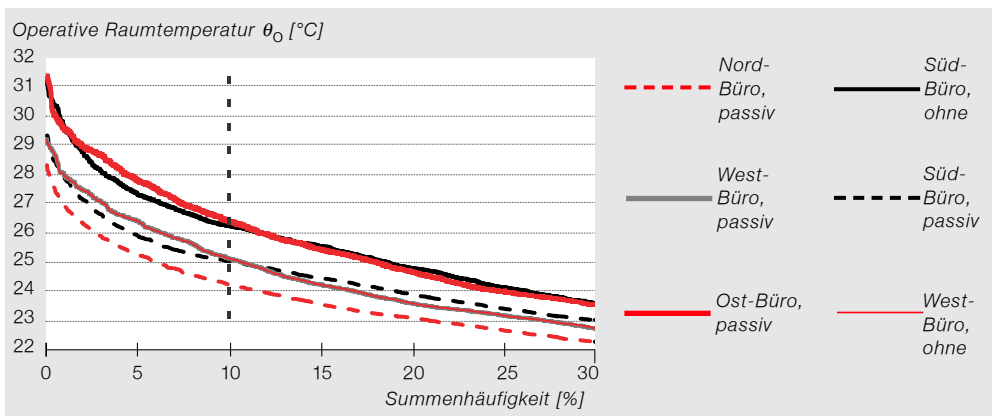


Abb. 7.45 Dauerlinie der operativen Raumtemperatur (θ_o) in [°C] für alle Büroräume mit statischer Verschattung (passiv) und ohne Sonnenschutzvorrichtung (ohne), Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

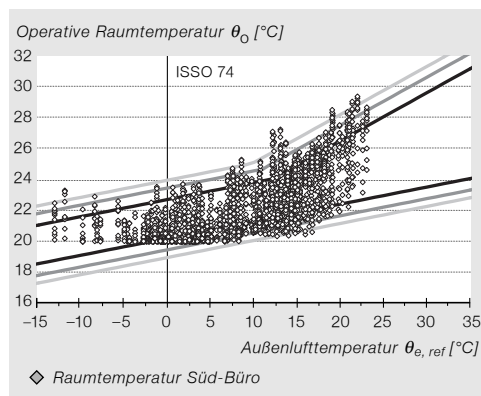


Abb. 7.46
Komfortauswertung nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74: Operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] des Süd-Büros mit statischer Verschattung in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,ref}$) in [°C], Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

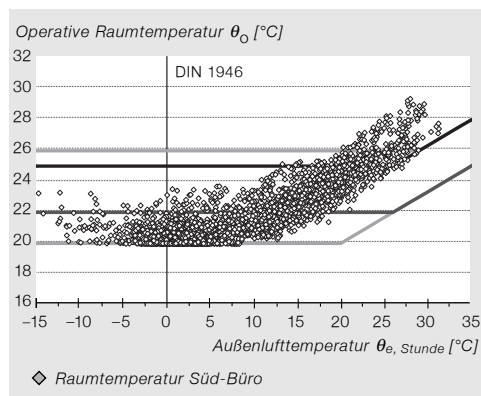


Abb. 7.47
Komfortauswertung nach der DIN 1946-2:1994-01: Operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] des Süd-Büros mit statischer Verschattung in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,Stunde}$) in [°C], Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

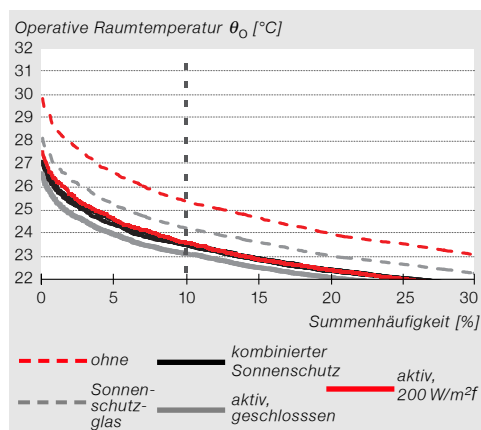


Abb. 7.48
Dauerlinie der mittleren operativen Raumtemperatur (θ_o) in [°C] für alle Büroräume des Modells „Ventilator unterstützte Nachtlüftung“. Sonnenschutz ist immer geschlossen, Sonnenschutz schließt bei Einstrahlung von 200 W/m^2 , Verwendung von Sonnenschutzglas, kombinierter Sonnenschutz (Verwendung von Sonnenschutzglas und aktivem Sonnenschutz, der bei einer Einstrahlung von 200 W/m^2 schließt) und kein Sonnenschutz, Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

Die Komfortauswertung für alle Büroräume mit passiver Sonnenschutzvorrichtung nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74 zeigt, dass die mittlere operative Raumtemperatur aller Büro-Räume (Nord, Süd, Ost, West) nicht die Anforderungen der Akzeptanzklassen A (94 %) und B (90 %) erfüllt. An relativ wenigen Stunden überschreiten die Raumtemperaturen auch die Komfortanforderungen der Akzeptanzklasse C (85 %). In Abb. 7.46 ist die operative Raumtemperatur des Süd-Büros aufgetragen. Es zeigt sich, dass auch die Anforderungen der Akzeptanzklasse C der Niederländischen Richtlinie ISSO-74 nicht gewährleistet werden können. Die Komfortanforderungen der DIN 1946-2:1994-01 (Abb. 7.47) können von keinem der vier Büroräume erfüllt werden.

7.4.2 Aktiver Sonnenschutz

Für die Potenzialstudie der aktiven Sonnenschutzvorrichtung wurden exemplarisch – wiederum basierend auf dem Szenario „Ventilator unterstützte Nachtlüftung“ – folgende drei Szenarien untersucht:

- Sonnenschutz ganztägig geschlossen,
- Sonnenschutz schließt bei Einstrahlung von 200 W/m^2 auf die jeweilige Fassade,
- Sonnenschutz schließt bei Einstrahlung von 150 W/m^2 auf die jeweilige Fassade.

Die Ergebnisse werden mit dem Referenzfall verglichen, in dem weder aktiver noch passiver Sonnenschutz vorhanden ist⁷. Als Sonnenschutzvorrichtung wurde eine außen angebrachte Jalousie mit einem Abminderungsfaktor $F_C=0,25$ nach DIN 4108-2:2003-07 modelliert.

Die operativen Raumtemperaturen der einzelnen Büroräume unterscheiden sich für die jeweiligen Szenarien der Sonnenschutzvorrichtung nur um $0,5 \text{ K}$. Aus diesem Grund wird für die Auswertung die mittlere operative Raumtemperatur aller Büroräume herangezogen. Abb. 7.48 zeigt die Jahresdauerlinie der mittleren operativen Raumtemperatur in den Büroräumen über die Anwesenheitszeit von 2870 Stunden für die untersuchten Varianten. Sind die Büroräume ohne jegliche Sonnenschutzvorrichtung ausgestattet, wird die operative Grenztemperatur von 26 °C an ca. 7 % der Anwesenheitszeit überschritten.

(7) Es werden vereinfacht nur die Zustände „komplett geschlossen“ oder „komplett geöffnet“ betrachtet. Verschiedene Jalousiestellungen oder Lamellenneigungen werden nicht berücksichtigt.

Unter Verwendung eines gantztägig geschlossenen Sonnenschutzes reduzieren sich die mittleren operativen Raumtemperaturen und die Grenztemperatur wird kaum überschritten. Zwischen diesen beiden Extremwerten liegen die anderen sich einstellenden operativen Raumtemperaturen. Für die sich einstellenden Raumtemperaturen spielt es kaum eine Rolle, ob der Sonnenschutz bei einer Einstrahlung von 200 oder 150 W/m² aktiviert wird: Die Grenztemperatur wird in beiden Fällen an rund 2,0 % der Aufenthaltszeit überschritten.

Die Abb. 7.49 und Abb. 7.50 zeigen die Komfortauswertung nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74 bzw. nach der DIN 1946-2:1994-01 für die mittlere operative Raumtemperatur aller Büros mit aktiver Sonnenschutzvorrichtung im Vergleich ohne Sonnenschutz im Vergleich ohne Einsatz von Sonnenschutz. Unter Verwendung eines aktiven Sonnenschutzes kann in jedem Fall die nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74 charakterisierte Akzeptanzklasse B gewährleistet werden; bei gantztägig geschlossenem Sonnenschutz sogar die Akzeptanzklasse A. Die Komfortkriterien nach DIN 1946-2:1994-01 werden auch nicht mit einer aktiven Sonnenschutzvorrichtung erfüllt.

7.4.3 Fazit

Neben der Aufgabe des Blendschutzes am Arbeitsplatz ist eine wirksame Sonnenschutzvorrichtung für den thermischen Komfort in Bürogebäuden unabdingbar. Dabei ist ein außen angebrachter, auf die Sonneneinstrahlung der Fassade automatisch gesteuerter Sonnenschutz erheblich effizienter als eine statische Verschattung, die nur auf einer nach Süden ausgerichteten Fassade die Raumtemperaturen reduziert. Das größte Potenzial zur Reduzierung der operativen Raumtemperaturen hat – wie erwartet – ein gantztägig geschlossener, außen liegender Sonnenschutz. Dies ist allerdings eine unzulässig optimistische Annahme. Manuell zu bedienende Sonnenschutzvorrichtungen werden vom Nutzer nach der Stärke der Blendung am Arbeitsplatz betätigt und somit über weite Zeiten trotz hoher Außentemperaturen geöffnet. Diese Erfahrung basiert auf Messungen an Gebäuden, die die Grundlage der Datenanalyse für die vorliegende Studie lieferten [Voss 2006].

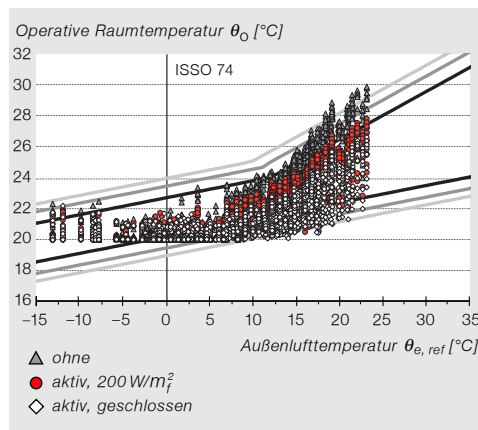


Abb. 7.49
Komfortauswertung nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] aller Büros mit aktivem Sonnenschutz im Vergleich ohne Sonnenschutzvorrichtung für das Modell „Ventilator unterstützte Nachtlüftung“ in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,ref}$) in [°C], Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

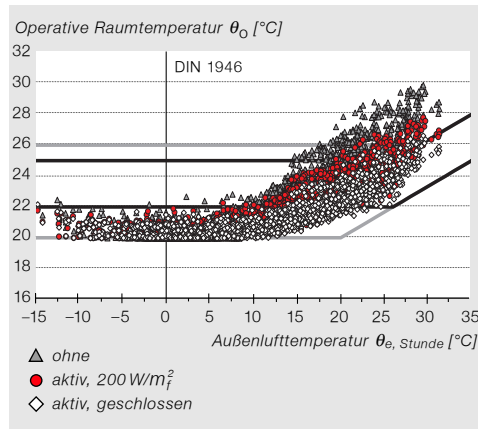


Abb. 7.50
Komfortauswertung nach der DIN 1946-2:1994-01: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] aller Büros mit aktivem Sonnenschutz im Vergleich ohne Sonnenschutzvorrichtung für das Modell „Ventilator unterstützte Nachtlüftung“ in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,Stunde}$) in [°C], Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen

Tabelle 7.10
Zusammenfassung der Komfortauswertung für den Einsatz unterschiedlicher Sonnenschutzsysteme. Die Darstellung beschränkt sich auf die mittlere operative Raumtemperatur aller Büroräume

	Ohne Sonnenschutz	Passiver Sonnenschutz		Aktiver Sonnenschutz		Kombinierter Sonnenschutz
	(g=58%)	Statische Verschattung	Sonnenschutzglas (g=34%)	Geschlossen bei $I > 200 \text{ W/m}^2$	Immer geschlossen	Passiv: Sonnenschutzglas (g=34%) Aktiv: $I > 200 \text{ W/m}^2$
Überschreitungshäufigkeit nach DIN 4108-2:2003-07	7 %	5 %	2,8 %	1,9 %	0,4 %	0,8 %
Niederländische Richtlinie ISSO-74	nicht erfüllt	nicht erfüllt	Akzeptanzklasse B erfüllt	Akzeptanzklasse B erfüllt	Akzeptanzklasse A erfüllt	Akzeptanzklasse A erfüllt
Überschreitungshäufigkeit DIN 1946-2:1994-01 [h]	357	270	164	116	30	51

Ein passiver Sonnenschutz auf der Basis einer starren baulichen Einrichtung und in besonderer Weise ein Sonnenschutzglas reduzieren die Anforderungen an den zusätzlichen Sonnen- und Blendschutz, ersetzen aber vor allem den Blendschutz nicht. Somit müssen heute nicht mehr zwingend außen angebrachte Sonnenschutzvorrichtungen eingesetzt werden. Bei *guter Planung* erlauben auch Systeme im Scheibenzwischenraum oder raumseitig angebrachte Systeme *in Kombination mit einem passiven Sonnenschutz* niedrige sommerliche g-Werte. Dies ist insbesondere für die Sanierung von Bestandsgebäuden von hoher Bedeutung. Ohne einen passiven Sonnenschutz, sind außen angebrachte Vorrichtungen zu empfehlen. Besonders die Sonnenschutzverglasungen bewirken unter winterlichen Bedingungen eine Zunahme des Heizwärmebedarfs, da sich die nutzbaren Solargewinne verringern. Sie sollten damit nur in neuen bzw. sanierten Gebäuden mit einem zeitgemäßen Wärmeschutz eingesetzt werden. Starre bauliche Elemente wirken winkelselektiv⁸ und sind daher nicht im gleichen Maße nachteilig zu bewerten. Allerdings reduzieren sie das Tageslichtangebot im Raum. Somit steigt der elektrische Energiebedarf der Beleuchtung.

7.5 Auswirkungen des Klimawandels

Gemäß des Deutschen Wetterdienstes ist das Jahr 2003 für ganz Europa als das wärmste Jahr seit 500 Jahren einzustufen [DWD Klimastatusbericht]. Im Sommermittel 2003 (Juni bis August) lag die Anomalie der Lufttemperatur über ganz Mitteleuropa bei Werten zwischen +2 und +5 °C. Laut Klimastatusbericht 2003 des Deutschen Wetterdienstes passt so ein warmer Sommer gut zu der von numerischen Klimamodellen vorhergesagten anthropogenen Erwärmung in Folge der Zunahme der Konzentration strahlungsaktiver Spurengase in der Atmosphäre. Bei untersuchten Zeitreihen fand der Deutsche Wetterdienst einen auffällig starken Anstieg der Überschreitungswahrscheinlichkeiten oberer Schwellen innerhalb der letzten Dekaden. Dies gilt auch und in besonderem Maße für

die untersuchten Monats- und Sommermittel, die täglichen Maximaltemperaturen und etwas schwächer ausgeprägt bei den entsprechenden Minimaltemperaturen. Betrachtet man z. B. die Häufigkeiten der Hitzetage pro Jahr, so findet man hierfür fast ausschließlich signifikant positive Trends. Bei einer weiteren Zunahme der mittleren Lufttemperatur, wie sie durch die Klimamodelle unter Berücksichtigung der zu erwartenden Treibhausgasemissionen vorhergesagt wird, ist auch in Europa mit einer Zunahme und Intensivierung extremer Ereignisse, d. h. hoher Temperaturen wie im Sommer 2003, zu rechnen. Die Witterung der Jahre 2002 und 2003 könnte daher schon einen Vorgeschmack auf unser zukünftiges europäisches Klima geliefert haben. Dennoch kann der Sommer 2003 als typisches Einzelergebnis kaum als Beweis für diese Prognosen gelten [DWD Klimastatusbericht].

Im Folgenden wird auf die Klimagrößen Lufttemperatur und Sonnenscheindauer, die den extremen Sommer 2003 primär charakterisieren, näher eingegangen. Eine ausführliche klimatologische Analyse des „Rekordsommers 2003“ findet sich im Klimastatusbericht 2003 des Deutschen Wetterdienstes [DWD Klimastatusbericht].

7.5.1 Temperaturverhältnisse im Sommer 2003

Alle drei Sommermonate waren erheblich zu warm. Der Juni und der August waren im Gebietsmittel von Deutschland jeweils die wärmsten seit Beginn der Gebietsmittelzeitreihe, d. h. beginnend mit dem Jahre 1901. Auch die Lufttemperaturen des Monats Juli lagen ebenfalls erheblich über den Mittelwerten der internationalen klimatologischen Referenzperiode 1961–1990. Die mittlere Tagestemperatur betrug etwa 19,6 °C und lag damit 3,4 °C über dem Referenzwert. Mit Ausnahme einiger Stationen in Nord- und Nordwestdeutschland war dies also der heißeste Sommer seit Beginn der Messreihen im Jahre 1901. Der bisherige Temperaturextremwert für ganz Deutschland (40,2 °C am 27.07.1983, gemessen in Gärnersdorf bei Amberg) wurde mehrmals eingestellt und zwar am 09.08. in Karlsruhe und am 13.08. in Karlsruhe und Freiburg i. Breisgau [DWD Klimastatusbericht].

(8) Im Unterschied zu Sonnenschutzverglasungen wird die einfallende Einstrahlung z. B. bei einem Überhang an einer Südfassade bei großen Sonnenhöhenwinkeln (Sommer) deutlich stärker gemindert, als bei geringen Sonnenhöhenwinkeln (Winter).

So ergaben sich auch neue Rekorde für die Anzahl meteorologischer „Sommertage“ (Temperaturmaximum mindestens 25 °C) und meteorologisch „heißer Tage“ (Temperaturmaximum mindestens 30 °C). Im Oberrheingebiet registrierte man bis zu 53 solcher heißen Tage und bis zu 83 Sommertage (Freiburg i. Breisgau), d. h. nur an 9 der 92 Tage des Sommers wurde kein meteorologischer Sommertag verzeichnet.

Abb. 7.51 vergleicht die Jahresdauerlinien der Außentemperaturen für die Messstation des Fraunhofer ISE in Freiburg für die Jahre 2002, 2003, 2004, das neue Testreferenzjahr 12 (Klimazone C) für die Region Oberrheingraben (Referenzstation Mannheim) und die Monatsmittelwerte gemäß DIN V 4108-6:2003-06 für Freiburg und Deutschland. In der Messperiode 2002–2004 gab es drei verschiedene Verteilungen der Außentemperatur: Das Jahr 2002 zeichnet sich durch einen sehr milden Winter aus, das Jahr 2003 hatte einen außergewöhnlich heißen Sommer mit lang anhaltenden Hitzeperioden und das Jahr 2004 folgt in etwa dem Testreferenzjahr 12. Kühlkonzepte, die die nächtliche Entwärmung des Gebäudes nutzen, sind auf entsprechend niedrige Nachttemperaturen angewiesen. Eine ausreichend hohe Temperaturdifferenz zwischen innen und außen wird erzielt, wenn die Nachttemperaturen über mehrere Stunden unter 20 °C liegen. Ein guter Bewertungsmaßstab dafür ist eine Tiefsttemperatur von 18 °C. Die Tiefsttemperatur lag 2003 an 42 Tagen über 18 °C (Abb. 7.52), womit das Kühlpotential in 2003 an manchen Tagen nicht zur Verfügung stand und über die gesamte Sommerperiode deutlich eingeschränkt war.

7.5.2 Solarstrahlung im Sommer 2003

Hinsichtlich der Sonnenscheindauer gab es im Jahr 2003 nur überdurchschnittliche Monate. Das Flächenmittel der Globalstrahlung für das Bundesgebiet betrug im Jahr 2003 1170 kWh/m². Damit lag die Strahlung 12,8 % über dem vieljährigen Flächenmittel. An keinem Ort Deutschlands wurde der Einstrahlungswert (Jahressumme der Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche) von 1000 kWh/m² unterschritten. Im Jahr 2003 lag der niedrigste Einstrahlungswert 4 % über dem vieljährigen Flächenmittel Deutschlands. Spitzenreiter des Jah-

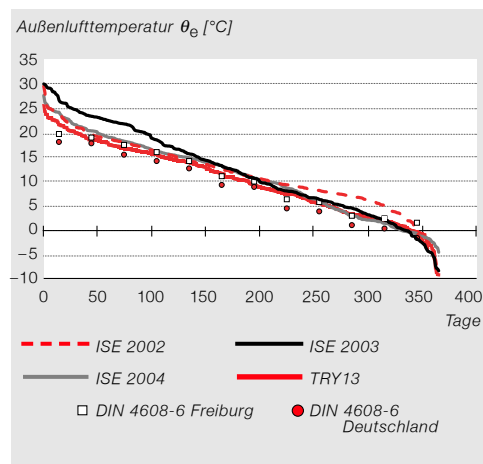


Abb. 7.51 Jahresdauerlinie der mittleren Tagestemperaturen für die Messung des Fraunhofer ISE 2002, 2003, 2004 und das Testreferenzjahr 12 (Region Oberrheingraben, Freiburg). Zum Vergleich wurden die Monatsmittelwerte gemäß DIN V 4108-6:2003-06 angegeben für Freiburg und für Deutschland

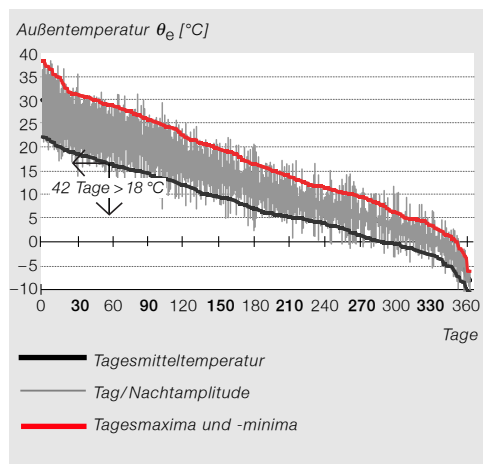


Abb. 7.52 Jahresdauerlinie der mittleren Tagesaußentemperaturen (θ_e) [°C] und der Tagesmaxima und -minima sowie Tag/Nachtamplituden der jeweiligen mittleren Tagesaußentemperatur für die Messung des Fraunhofer ISE, Freiburg im Jahr 2003

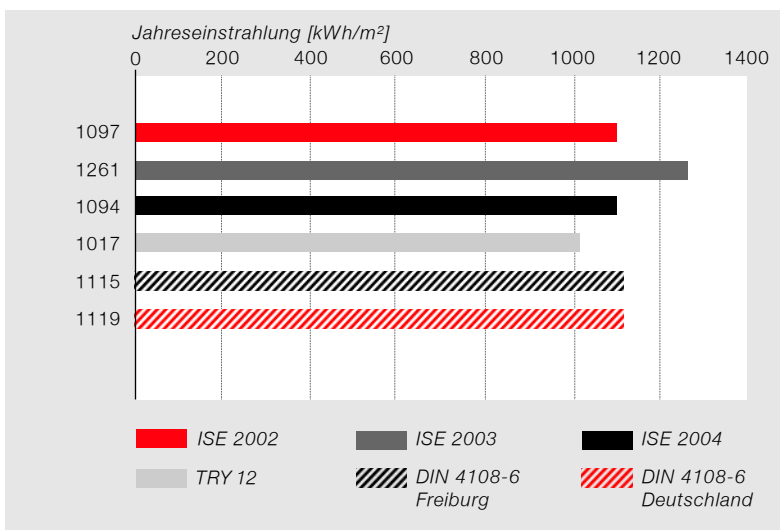


Abb. 7.53
Jahressummen der global horizontal Einstrahlung. Verglichen werden die Werte für die Messung des Fraunhofer ISE 2002- 2004, das Testreferenzjahr 12 sowie die Summenwerte für Freiburg und Deutschland gemäß DIN V 4108-6:2003-06.

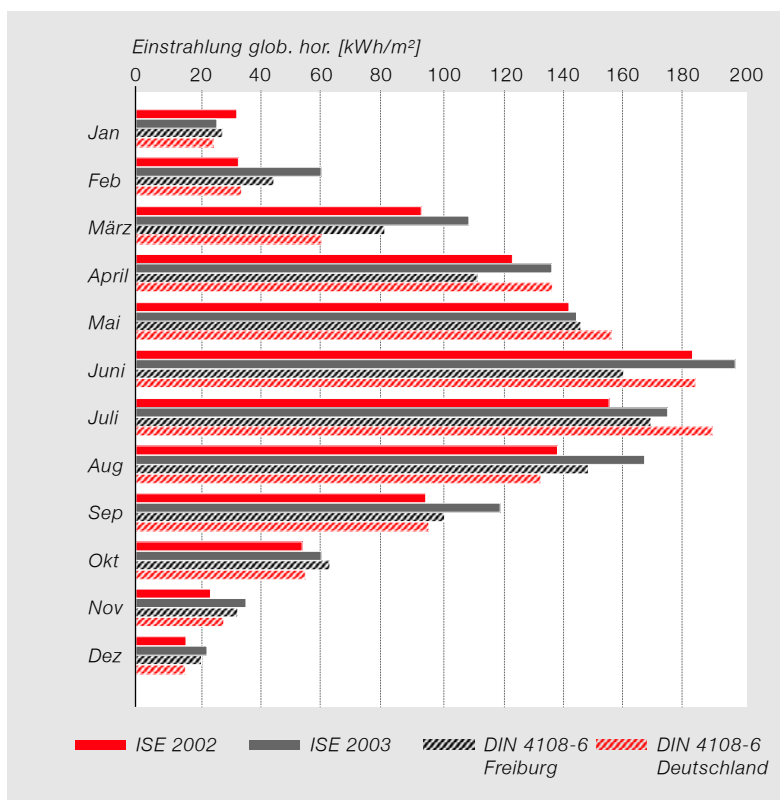


Abb. 7.54
Monatssummen der global horizontal Einstrahlung. Verglichen werden die Werte für die Messung des Fraunhofer ISE 2002 und 2003 sowie die Summenwerte gemäß DIN V 4108-6:2003-06 für Freiburg und Deutschland.

res erreichten über 1300 kWh/m². Die Bereiche mit derart hohen Werten erstreckten sich schwerpunktmäßig östlich des Lechs und südlich der Donau bzw. von Karlsruhe nach Stuttgart. Das Gebietsmittel der Sonnenscheindauer für das Jahr 2003 betrug 2014 Stunden. Das sind 485 Stunden oder 32% über dem Normalwert [DWD Klimastatusbericht]. Der am Fraunhofer ISE in Freiburg gemessene Einstrahlungswert in 2003 betrug 1261 kWh/m² (Abb. 7.53). Sie liegt damit deutlich über den langjährigen Werten von 1109 kWh/m² des alten Testreferenzjahres 7 (Referenzstation Freiburg).

7.5.3 Fazit

Ausgehend von den dargestellten Prognosen wird es zu einem globalen Temperaturanstieg kommen. Extreme Sommer mit lang andauernden Hitzeperioden und hohen Außentemperaturen werden sich häufen. Dies hat einen entscheidenden Einfluss sowohl auf den Betrieb und Energiebedarf als auch auf den thermischen Komfort in Nichtwohngebäuden.

Im Folgenden wird solch ein Szenario vorgestellt: Gewählt wurde ein realistisches Gebäudemodell (Typgebäude III) mit dem Lüftungskonzept „Ventilator unterstützte Nachtlüftung“ (Kapitel 7.3.3). Anhand der im Jahr 2003 am Fraunhofer ISE in Freiburg gemessenen Wetterparameter (Abb. 7.51 bis Abb. 7.54) sollen die thermischen Komfortbedingungen in den Büroräumen bestimmt und ausgewertet werden.

Abb. 7.55 illustriert die Dauerlinie der mittleren Raumtemperatur für alle Büroräume. Die Grenztemperatur von 27°C (sommerheiße Klimazone C) wurde an 19% der Aufenthaltszeit überschritten. Während die DIN 4108-2:2003-07 „sommerheiße“ Regionen bereits ab einer mittleren Monatshöchsttemperatur von 18°C definiert, lag die Monatsmitteltemperatur im August 2003 in Freiburg bei 24,6°C.

Abb. 7.56 und Abb. 7.57 zeigen die Überschreitungshäufigkeit nach den Komfortkriterien der Niederländischen Richtlinie ISSO-74 und der DIN 1946-2:1994-01. Obwohl die Normen das Wetter (hier: Außentemperatur) berücksichtigen, liegt die Überschreitungshäufigkeit im Rekordsommer 2003 deutlich höher als unter Verwendung der Wetterdatensätze der Testreferenzjahre. Ursache sind nicht nur die

hohen Außentemperaturen sondern auch die lang anhaltenden Hitzeperioden. Das Gebäude kann durch die Nachtlüftung nicht mehr ausreichend gekühlt werden (an mehr als 42 Tagen lag die Mindesttagstemperatur über 18 °C (Abb. 7.52), und die Raumtemperaturen steigen sukzessiv an, da die thermische Speicherkapazität erschöpft ist.

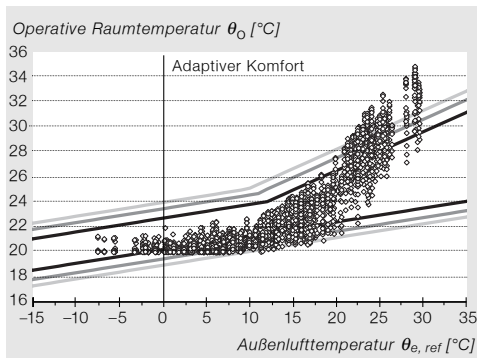


Abb. 7.56
Komfortauswertung nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] aller Büros mit aktivem Sonnenschutz für das Modell „Ventilator unterstützte Nachtlüftung“ in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,ref}$) in [°C]; ISE Wetter 2003 (Veränderte Skalierung der Ordinate)

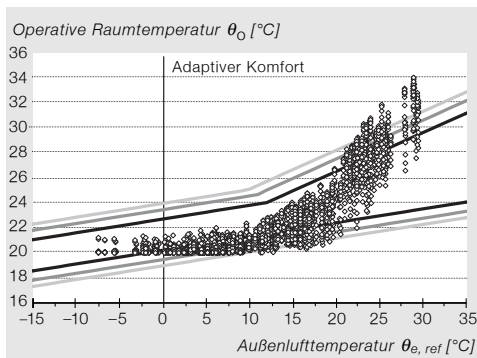


Abb. 7.58
Komfortauswertung nach der Niederländischen Richtlinie ISSO-74: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] aller Büros mit kombiniertem Sonnenschutz (Sonnenschutzglas und außen liegende Sonnenschutzvorrichtung) für das Modell „Ventilator unterstützte Nachtlüftung“ in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,ref}$) in [°C]; ISE Wetter 2003 (Veränderte Skalierung der Ordinate)

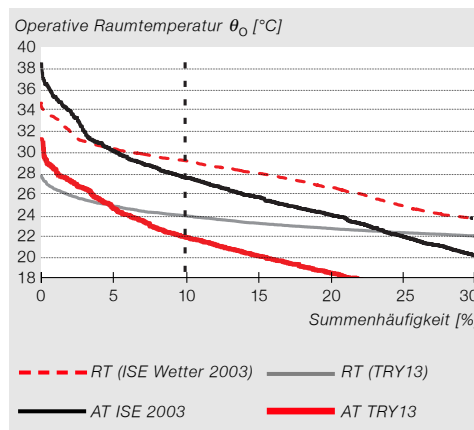


Abb. 7.55
Dauerlinie der operativen Raumtemperatur (θ_o) in [°C] für alle Büroräume des Szenarios „Ventilator unterstützte Nachtlüftung“, gemessene Wetterparameter am Fraunhofer ISE, Freiburg 2003, vergleichend mit der mittleren operativen Raumtemperatur unter Verwendung des Testreferenzwetterdatensatzes für sommergemäßigte Regionen. Dauerlinie der gemessenen Außentemperatur am ISE 2003 und die Außentemperatur des bisher verwendeten Testreferenzjahres sommergemäßigter Regionen (TRY13)

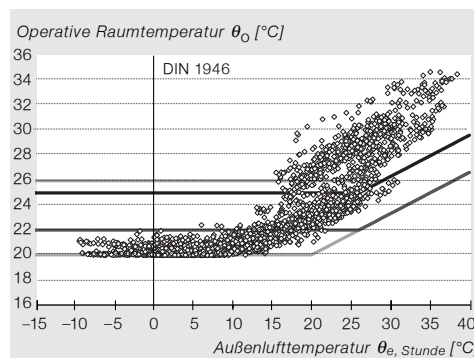


Abb. 7.57
Komfortauswertung nach der DIN 1946-2:1994-01: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] aller Büros mit aktivem Sonnenschutz für das Modell „Ventilator unterstützte Nachtlüftung“ in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,Stunde}$) in [°C]; ISE Wetter 2003 (Veränderte Skalierung der Abszisse und Ordinate)

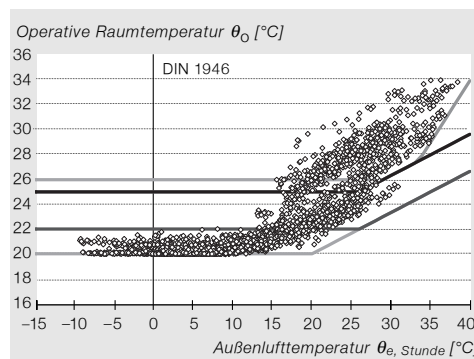


Abb. 7.59
Komfortauswertung nach der DIN 1946-2:1994-01: Mittlere operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] aller Büros mit kombiniertem Sonnenschutz (Sonnenschutzglas und außen liegende Sonnenschutzvorrichtung) für das Modell „Ventilator unterstützte Nachtlüftung“ in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ($\theta_{e,Stunde}$) in [°C]; ISE Wetter 2003. (Veränderte Skalierung der Abszisse und Ordinate)

Tabelle 7.11
**Zusammenfassung der Komfortauswertung für das Modell „Ventilator unterstützte
 Nachtlüftung“ unter Verwendung der im Jahr 2003 am ISE gemessenen Wetterdaten**

	Aktiver Sonnenschutz Wärmeschutzglas (g=58 %) Aktiv: Geschlossen bei $I > 200 \text{ W/m}^2$		Kombinierter Sonnenschutz Passiv: Sonnenschutzglas (g=34 %) Aktiv: Geschlossen bei $I > 200 \text{ W/m}^2$	
	<i>2-facher Nachtluftwechsel</i>	<i>4-facher Nachtluftwechsel</i>	<i>2-facher Nachtluftwechsel</i>	<i>4-facher Nachtluftwechsel</i>
<i>Überschreitungshäufigkeit nach DIN 4108-2:2003-07 [%]</i>	19,0 %	14,0 %	16,0 %	12,3 %
<i>Niederländische Richtlinie ISSO-74</i>	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt
<i>Überschreitungshäufigkeit DIN 1946-2:1994-01 [h]</i>	705	608	659	564

8 Kosten und Wirtschaftlichkeit

In den nachfolgenden Kapiteln werden für ausgewählte Varianten der lüftungstechnischen Maßnahmen aus Kapitel 7.3 die Investitions- und Nutzungskosten auf der Basis eines Referenzgebäudes bestimmt.

8.1 Referenzgebäude

Das gewählte Referenzgebäude basiert auf den Angaben zu dem Dreizonenmodell aus Kapitel 7.2.1 und erweitert dies zu einem sechsgeschossigen, zweibündigen Bürohaus. Die Aufteilung des Grundrisses ist Abb. 8.1 zu entnehmen. Danach gibt es einen Erschließungs- und einen Sanitärkern. Das Bauraster beträgt 1,3 m, die kleinste mögliche Bürobreite (Achismaß) liegt demnach bei 2,6 m. Die lichte Raumhöhe beträgt 3,0 m. Daraus ergibt sich bei typischer Möblierung ein Potenzial für etwa 20 Arbeitsplätze pro Etage. Da die Fläche der einzelnen Geschosse mehr als 400 m² beträgt, wird in der Mitte des Flures eine Trennung in zwei Brandabschnitte vorgesehen. Mit dieser Teilung werden in der Regel hohe Freiheitsgrade hinsichtlich der Brandlasten und Luftführung innerhalb des Brandabschnittes erreicht. Ein zweiter Fluchtweg ist als eine außen liegende Treppe vorgesehen. Detaillierte Pläne der jeweiligen Lüftungskonzepte sind im Anhang D enthalten.

Für dieses Typengebäude mit Büronutzung wird im Weiteren eine Kostenschätzung zu den verschiedenen Lüftungs- und Kühlsystemen aus den untersuchten Szenarien nach Kapitel 7.3 vorgestellt. Als Referenzvarianten werden zwei Systeme mit jeweils einer Zu- und Abluftanlage und Kälteerzeugung über eine Kompressionskältemaschine untersucht. Die Kälteverteilung erfolgt in einem Fall über Ventilator-konvektoren, im anderen Fall über Deckenkühlelemente. Allerdings können nur die Maßnahmen, wie sie bei einem Neubau erfolgen würden, kostenmäßig berücksichtigt werden. Ein Versuch, die Kosten für Sanierungsmaßnahmen anzugeben, wäre unrealistisch, da in der Schätzung von einem Typengebäude ausgegangen wurde, also die Beschaffenheit und der Zustand

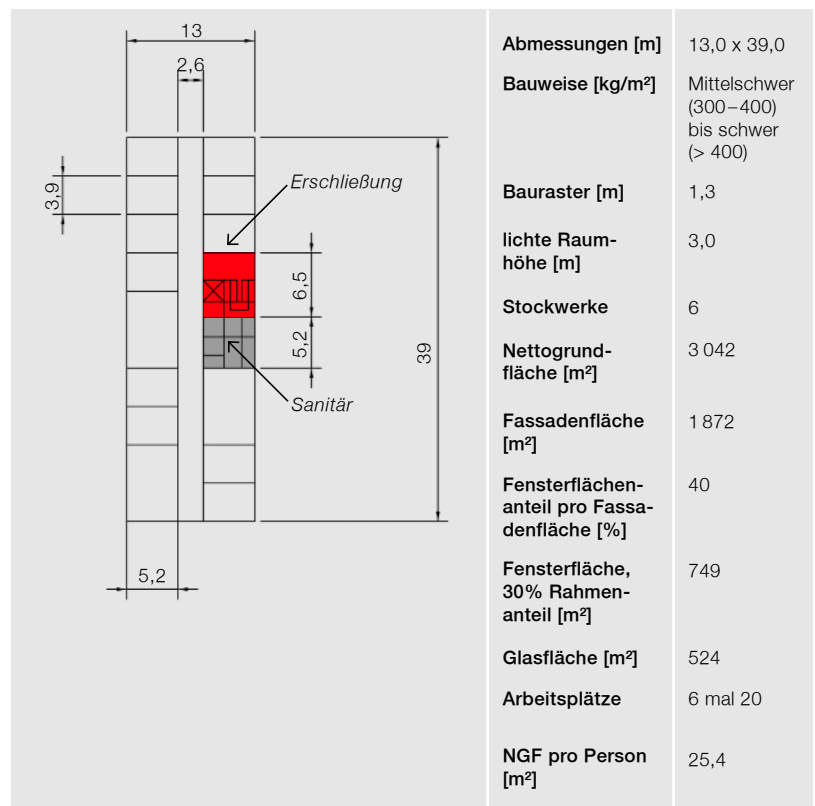


Abb. 8.1 Grundriss und Eigenschaften des Referenzgebäudes

Bezeichnung	Kurzbeschreibung
1 freie Lüftung	Lüftung der Büros erfolgt durch Querlüftung über elektrisch ansteuerbare Zuluft Elemente in der Fassade. WC werden über separate Abluftanlage belüftet.
2 Abluftanlage	Lüftung der Büros über eine Abluftanlage und Zuluft Elemente in der Fassade. Die Anlage wird auch zur Nachtlüftung verwendet WC werden über separate Abluftanlage belüftet.
3 Zu-/Abluftanlage mit Luftkühlung	Be- und Entlüftung der Büros mit einer Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung. WC haben separaten Abluftstrang. Kühlung der Büros erfolgt über Ventilator-konvektoren im Umluftbetrieb. Die Kälteerzeugung erfolgt über eine Kompressionskältemaschine.
4 Zu-/Abluftanlage mit Deckenkühlung	Be- und Entlüftung der Büros mit einer Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung. WC haben separaten Abluftstrang. Kühlung der Büros erfolgt über Deckenkühlelemente. Die Kälteerzeugung erfolgt über eine Kompressionskältemaschine.

Tabelle 8.1 Untersuchte Systeme

der Bausubstanz nicht bekannt sind. Weitere Kosten, die nicht berücksichtigt sind, sind die für den Abbruch vorhandener Bauteile und die Planungskosten. Die betrachteten Systeme im Einzelnen zeigt Tabelle 8.1.

8.2 Varianten der technischen Gebäudeausrüstung

Freie Nachtlüftung

Die Lüftung der Büros erfolgt über natürliche Querlüftung, vgl. hierzu die Komfortauswertung in den Kapiteln 7.3.2 und 7.3.6. In der Fassade sind in jeder 2. Achse (alle 2,6 m) Zuluftelemente positioniert, die Überströmung zum Flur erfolgt über die Bürotüren oder evtl. auch Oberlichter über den Türen. Die Nachtlüftung erfolgt ebenfalls über Querlüftung. Dazu sind die Zuluftelemente in der Fassade elektrisch bedienbar und auf die Gebäudeleittechnik aufgeschaltet. Die WC-Räume erhalten eine Abluftanlage. Die Volumenströme werden entsprechend Arbeitsstättenrichtlinien ausgelegt. Die Nachströmung für die WC-Räume erfolgt über Zuluftelemente in der Fassade des Flurbereichs und der Erschließung.

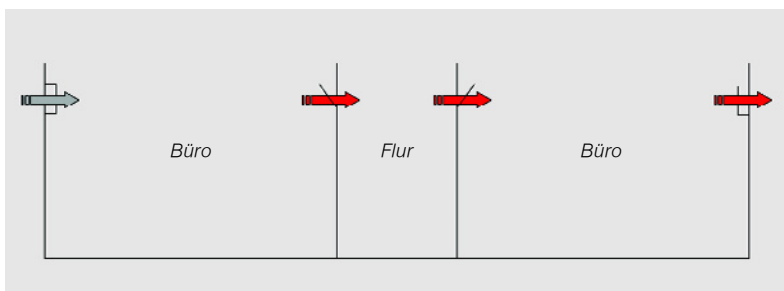


Abb. 8.2
Schema freie Lüftung: schematischer Schnitt durch ein Stockwerk des Gebäudes

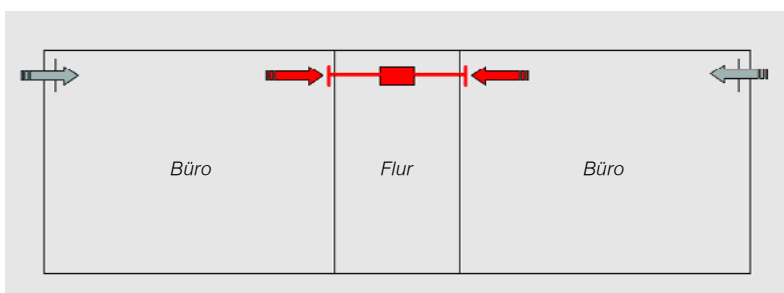


Abb. 8.3.
Schema Abluftanlage: schematischer Schnitt durch ein Stockwerk des Gebäudes

Ventilator unterstützte Nachtlüftung

Die Büros werden über eine Abluftanlage entlüftet, vgl. hierzu die Komfortauswertung in den Kapiteln 7.3.3 und 7.3.6. Die Frischluft strömt über manuell bedienbare Zuluftelemente in der Fassade nach. Die Abluft wird über einen Schacht mit einem Dachventilator abgesaugt. Die Lüftungsöffnungen sind jeweils in jeder 2. Achse (alle 2,6 m) positioniert, um maximale Flexibilität zu erhalten. Die Kanalführung der Abluftanlage erfolgt im Flurbereich und im WC. Der Flur muss daher eine Abdeckung von mindestens 30 cm, der WC Bereich mindestens 70 cm, erhalten. Jeder Abluftabgang besitzt eine Irisblende zum Einregulieren, einen Telephonieschalldämpfer und eine einfache Abluftöffnung mit Abdeckung. In der Mitte des Flures befindet sich aus brandschutztechnischen Gründen eine F 90-Trennung.

Die Abluftanlage ist so ausgelegt, dass eine Nachtlüftung mit einem Luftwechsel von 2 1/h (bezogen auf die Büroräume) möglich ist. Auf jedem Geschoss ist ein Volumenstromregler für die Abluft vorgesehen, so dass eine geschossweise Regelung bzw. Abschaltung erfolgen kann. Der Ventilator wird über eine Konstantdruckregelung betrieben.

Der Lüftungsschacht wird komplett in F 90 ausgeführt. Pro Geschoss ist eine Brandschutzklappe für die Abluft notwendig. Für die Positionierung des Schachtes bietet sich die an den WC-Bereich grenzende Bürofläche an (siehe Schema im Anhang). Tabelle 8.2 stellt die Angaben zur Auslegung der Anlage zusammen. Die WC erhalten eine Abluftanlage. Die Volumenströme werden entsprechend Arbeitsstättenrichtlinien ausgelegt. Die Nachströmung für die WC erfolgt über Zuluftelemente in der Fassade des Flurbereichs und der Erschließung.

Aktive Kühlung: Zu-/Abluftanlage mit Ventilator-konvektoren

Die Büros werden über eine Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung gelüftet. Die Lüftungszentrale befindet sich auf dem Dach. Die Kühlung erfolgt über Ventilator-konvektoren, die auch zur Beheizung verwendet werden können. Zur Kälteerzeugung wird eine Kompressionskältemaschine mit Rückkühlwerk eingesetzt.

Dieses Konzept wird hinsichtlich des Komforts in Kapitel 7.3.5 und 7.3.6 bewertet. Die Zu- und Abluftauslässe sind abwechselnd in jeder Achse (alle 1,3 m) positioniert. Die Ventilatorkonvektoren befinden sich in jeder 2. Achse (alle 2,6 m). Die Kanalführung der Lüftungsanlage erfolgt im Flurbereich und im WC. Der Flur muss daher eine Abdeckung von mindestens 50 cm, der WC Bereich von mindestens 70 cm erhalten. Jeder Zu- und Abluftauslass besitzt eine Irisblende zum Einregulieren, einen Telephonieschalldämpfer und einen Luftauslass. In der Mitte des Flures befindet sich aus brandschutztechnischen Gründen eine F90-Trennung. Auf jedem Geschoss wird ein Volumenstromregler für Zu- und Abluft vorgesehen, so dass eine geschossweise Regelung bzw. Abschaltung erfolgen kann. Die Ventilatoren werden über eine Konstantdruckregelung betrieben.

Die Lüftungsschächte werden komplett in F90 ausgeführt. Pro Geschoss sind zwei Brandschutzklappen für Zu- und Abluft notwendig. Für die Positionierung des Schachtes bietet sich die an den WC-Bereich grenzende Bürofläche an (siehe Schema im Anhang). Die WC erhalten eine Abluftanlage. Die Volumenströme werden entsprechend Arbeitsstättenrichtlinien ausgelegt. Die Nachströmung für die WC-Räume erfolgt über zusätzliche Zuluftauslässe im Flurbereich.

Zur Anbindung der Ventilatorkonvektoren müssen Steigleitungen und horizontale Verteilleitungen verzogen werden. Die Umstellung zwischen Heizen und Kühlen erfolgt für das ganze Gebäude saisonal. Weiterhin müssen für den Kühlbetrieb Kondensatleitungen vorgesehen werden. Insgesamt wird dadurch ein Brüstungskanal notwendig und 3 bis 4 vertikale Schächte im Fassadenbereich. Für je 2 Achsen wird ein Raumbediengerät erforderlich, über das der Konvektor angesteuert wird.

Aktive Kühlung: Zu-/Abluftanlage mit Deckenkühlung

Die Büros werden über eine Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung gelüftet. Die Lüftungszentrale befindet sich auf dem Dach. Die Kühlung erfolgt über Deckenkühlelemente, die – bei sehr gutem Wärmeschutz – auch zur Beheizung verwendet

Lüftung Büros	
Personen pro Geschoss (Maximalbelegung)	34
Spez. Volumenstrom pro Person [m³/h]	40
Volumenstrom pro Geschoss Taglüftung [m³/h]	1 350
Luftwechsel tags (bezogen auf Bürofläche) [1/h]	1,3
Luftwechsel für Nachtlüftung (bezogen auf Bürofläche) [1/h]	2,0
Volumenstrom pro Geschoss bei Nachtlüftung [m³/h]	2 050
Anzahl der Zuluftelemente / Abluftöffnungen pro Geschoss	24
Volumenstrom pro Zuluftelement / Abluftöffnung tags/nachts [m³/h]	55/90
Max. Volumenstrom für Gesamtgebäude [m³/h]	12 500
erforderliche Bruttoschachtfläche [m²]	1
Dimension Sammelschacht in Flur [mm x mm]	400 x 150
Dimension Abgänge Büro [DN]	100
Lüftung WC	
Luftwechsel gemäß ASR [1/h]	5
Volumenstrom WC pro Geschoss [m³/h]	300
Gesamtvolumenstrom [m³/h]	1 800
erforderliche Bruttoschachtfläche [m²]	0.2

Tabelle 8.2
Auslegungsdaten Abluftanlage

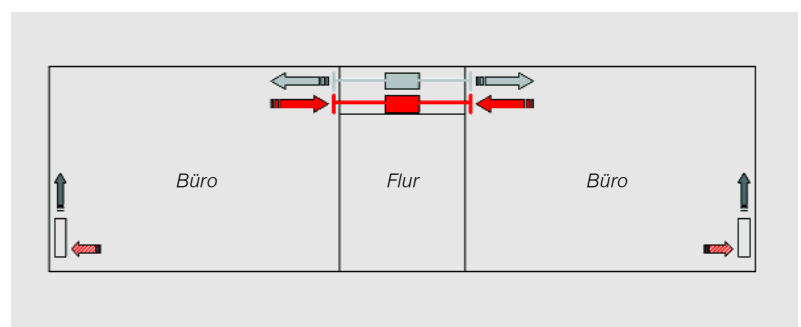


Abb. 8.4:
Schema Zu-/ Abluftanlage mit Kühlung über Ventilatorkonvektoren: schematischer Schnitt durch ein Stockwerk des Gebäudes

Lüftung Büros	
Personen pro Geschoss	34
spez. Volumenstrom pro Person [m ³ /h]	40
Volumenstrom pro Geschoss [m ³ /h]	1 350
Luftwechsel (bezogen auf Bürofläche) [1/h]	1,3
Anzahl der Zu- bzw. Abluftöffnungen pro Geschoss	24
Volumenstrom pro Auslass [m ³ /h]	55
<i>max. Volumenstrom für Gesamtgebäude [m³/h]</i>	<i>8 000</i>
<i>erforderliche Bruttoschachtfläche [m²]</i>	<i>2</i>
<i>Dimension Sammelschächte in Flur [mm x mm]</i>	<i>400 x 150</i>
<i>Dimension Zu- / Abluftgänge Büro [DN]</i>	<i>100</i>
<i>ungefähre Abmaße Lüftungsgerät L x T x H [m]</i>	<i>10 x 1,5 x 2,5</i>
Kühlung Büros	
<i>spezifische Kühlleistung für Büros, geschätzt [W/m²]</i>	<i>35</i>
<i>erforderliche Kühlleistung je 2-Achs-Büro [W]</i>	<i>470</i>
<i>Kühlleistung Gesamtgebäude [kW]</i>	<i>70</i>
<i>erforderliche Bruttoschachtfläche für Steigleitungen [m²]</i>	<i>0,05</i>
Lüftung WC	
Luftwechsel gemäß ASR [1/h]	5
Volumenstrom WC pro Geschoss [m ³ /h]	300
Gesamtvolumenstrom [m ³ /h]	1 800
erforderliche Bruttoschachtfläche [m ²]	0,2

Tabelle 8.3
Auslegungsdaten Zu-/Abluftanlage mit Ventilatorconvektoren.
Abweichende Angaben zum Szenario Abluftanlage sind kursiv hervorgehoben.

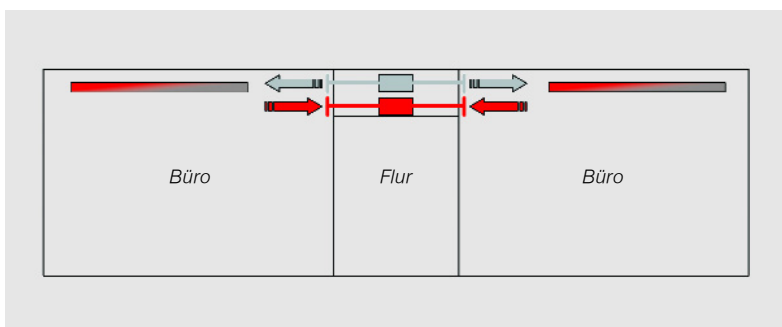


Abb. 8.5
Schema Zu-/Abluftanlage mit Deckenkühlung – schematischer Schnitt durch ein Stockwerk des Gebäudes

werden können. Zur Kälteerzeugung wird eine Kompressionskältemaschine mit Rückkühlwerk eingesetzt. Dieses Konzept wird hinsichtlich des Komforts in Kapitel 7.3.5 und 7.3.6 bewertet. Die Zu- und Abluftauslässe sind abwechselnd in jeder Achse (alle 1,3 m) positioniert. Die Deckenkühlelemente befinden sich ebenfalls in jeder Achse, um die erforderliche Kühlleistung bereitstellen zu können. Die Kanalführung der Lüftungsanlage und die Kälteverteilung erfolgen im Flurbereich und im WC. Der Flur muss daher eine Abdeckung von mindestens 50 cm, der WC Bereich von mindestens 70 cm erhalten. Jeder Zu- und Abluftauslass besitzt eine Irisblende zum Einregulieren, einen Telephonieschalldämpfer und einen Luftauslass. In der Mitte des Flures befindet sich aus brandschutztechnischen Gründen eine F90-Trennung.

Auf jedem Geschoss wird ein Volumenstromregler für Zu- und die Abluft vorgesehen, so dass eine geschossweise Regelung bzw. Abschaltung erfolgen kann. Die Ventilatoren werden über eine Konstantdruckregelung betrieben. Die WC erhalten eine Abluftanlage. Die Volumenströme werden entsprechend Arbeitsstättenrichtlinien (ASR 37/1 - Toilettenräume) ausgelegt. Die Nachströmung für die WC-Räume erfolgt über zusätzliche Zuluftauslässe im Flurbereich.

Die Lüftungsschächte werden komplett in F90 ausgeführt. Pro Geschoss sind zwei Brandschutzklappen für Zu- und Abluft notwendig. Für die Positionierung der Schächte bietet sich die an den WC-Bereich grenzende Bürofläche an (siehe Schema im Anhang D).

Zur Anbindung der Deckenkühlelemente müssen Steigleitungen und horizontale Verteilungen verzogen werden. Die Umstellung zwischen Heizen und Kühlen erfolgt für das ganze Gebäude saisonal. Weiterhin müssen Feuchtefühler zur Vermeidung von Kondensation bzw. zur Vorlauftemperaturregelung vorgesehen werden. Für je 2 Achsen wird ein Raumbediengerät erforderlich, über das die Deckenkühlung (und evtl. die Deckenheizung) angesteuert wird.

8.3 Investitionskosten

Die Kosten wurden zum Großteil anhand von Ausschreibungsergebnissen ermittelt⁹. Zu einem kleineren Teil wurden Bruttolistenpreise von Herstellern verwendet. Die Genauigkeit der Kosten wird auf +/- 15 % geschätzt. Die größten Ungenauigkeiten bestehen beim Gewerk Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (MSR). Die genannten Kosten sind Nettokosten. Folgende Kosten wurden bei der Kostenermittlung nicht berücksichtigt.

- Kosten für die Planung
- Kosten für Kabelzuarbeiten (Gewerk Elektro für MSR)
- Kosten einer evtl. notwendigen Neu- oder Umverlegung von Elektroinstallationen (z. B. Flurbeleuchtung)
- Die Kosten von großen Deckendurchbrüchen sind nicht berücksichtigt, da hierfür eine statische Überprüfung am konkreten Objekt notwendig ist
- Evtl. notwendige Schallschutzmaßnahmen für die Dachaufbauten (Schutz der umliegenden Gebäude)
- Kosten für Neu- oder Umbau von Deckenabhängungen
- Bei der Abluftanlage die Kosten für den Einbau der Zuluftelemente in die Fassade.

Anmerkung: Die Gesamtkosten des Systems werden stark beeinflusst durch die Kosten der Zuluftelemente. Wird hier auf einfache Lösungen (z. B. Eigenbau, evtl. mit Verzicht auf Schallschutz) zurückgegriffen, können die Kosten deutlich reduziert werden. Lösungen, die wegen des Wärmeschutzes mit einer automatischen Verschlussklappe ausgestattet sind, liegen am oberen Ende der Spannweite.

- Beim Zu- und Abluftsystem mit Ventilator-konvektoren die Kosten für einen notwendigen Brüstungskanal

Ausgehend von den dargestellten Grundlagen ergeben sich für die vier Systeme die in Abb. 8.6 bis Abb. 8.9 und Tabelle 8.5 aufgeführten Kosten. Abb. 8.10 zeigt die spezifischen Kosten der Anlagen im Vergleich.

Lüftung Büros	
Personen pro Geschoss	34
spez. Volumenstrom pro Person [m³/h]	40
Volumenstrom pro Geschoss [m³/h]	1 350
Luftwechsel (bezogen auf Bürofläche) [1/h]	1,3
Anzahl der Zu- bzw. Abluftöffnungen pro Geschoss	24
Volumenstrom pro Auslass [m³/h]	55
<i>max. Volumenstrom für Gesamtgebäude [m³/h]</i>	<i>8 000</i>
<i>erforderliche Bruttoschachtfläche [m²]</i>	<i>2</i>
<i>Dimension Sammelschächte in Flur [mm x mm]</i>	<i>400 x 150</i>
<i>Dimension Zu- / Abluftgänge Büro [DN]</i>	<i>100</i>
<i>ungefähre Abmaße Lüftungsgerät L x T x H [m]</i>	<i>10 x 1,5 x 2,5</i>
Kühlung Büros	
spezifische Kühlleistung für Büros, geschätzt [W/m²]	35
<i>erforderliche Kühlleistung je 2-Achs-Büro [W]</i>	<i>470</i>
<i>Kühlleistung Gesamtgebäude [kW]</i>	<i>70</i>
<i>spez. Kühlleistung der Deckenkühlelemente [W/m²]</i>	<i>60</i>
<i>Deckenbelegung mit Kühlelementen [m²]</i>	<i>58</i>
<i>insgesamt erforderliche Deckenkühlelemente [m²]</i>	<i>1 150</i>
<i>erforderliche Bruttoschachtfläche für Steigleitungen [m²]</i>	<i>0,05</i>
Lüftung WC	
Luftwechsel gemäß ASR [1/h]	5
Volumenstrom WC pro Geschoss [m³/h]	300
Gesamtvolumenstrom [m³/h]	1 800
erforderliche Bruttoschachtfläche [m²]	0,2

Tabelle 8.4
Auslegungsdaten Zu-/Abluftanlage mit Deckenkühlung.
Abweichende Angaben zum Szenario Abluftanlage sind kursiv hervorgehoben.

(9)
Die Ausschreibungsergebnisse basieren auf Projekten der „Solares Bauen Ingenieurgesellschaft mbH“, Freiburg.

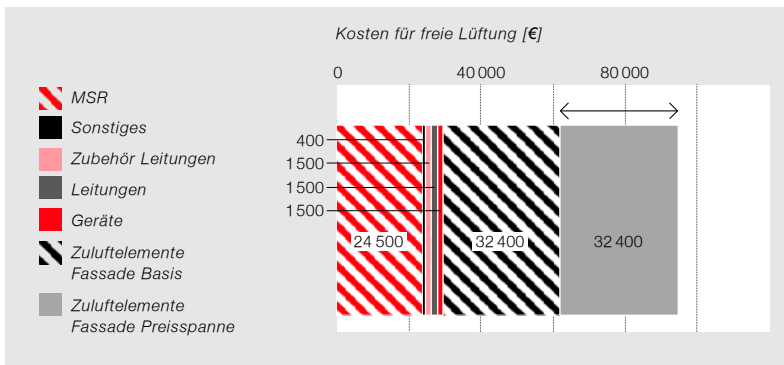


Abb. 8.6
Kosten für freie Lüftung
Gesamtkosten: 61 800 bis 94 200 € Spezifische Kosten: 20 bis 31 €/m²NGF
 Die Kosten pro Überströmelement können zwischen 200 und 400 € pro Stück variieren, die Kosten = 200 € sind daher als „Preisspanne“ gesondert ausgewiesen. Besonderheiten: Kosten für Überströmelemente im Flur sind nicht berücksichtigt.

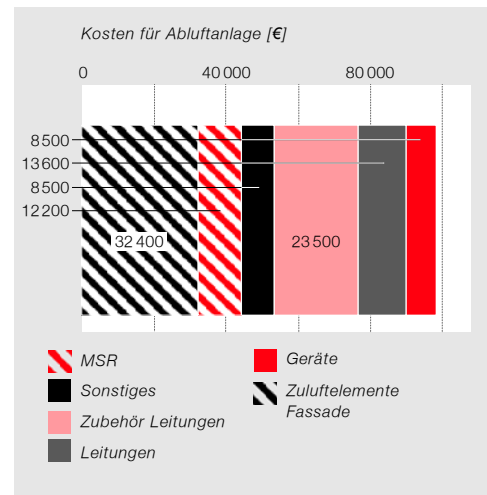


Abb. 8.7
Kosten für eine Abluftanlage
Gesamtkosten: 98 700 €
Spezifische Kosten: 32 €/m²NGF
 Besonderheiten: Die Kosten für den Einbau der Zuluftelemente in die Fassade sind nicht berücksichtigt. Die Gesamtkosten des Systems werden durch die Kosten der Zuluftelemente in der Fassade stark beeinflusst. Wird hier auf einfache Lösungen (z. B. Eigenbau, evtl. mit Verzicht auf Schallschutz) zurückgegriffen, können die Kosten deutlich reduziert werden.

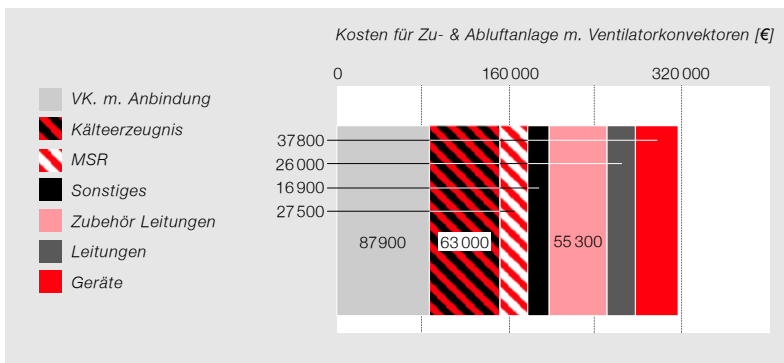


Abb. 8.8
Kosten für eine Zu- und Abluftanlage mit Ventilatorconvektoren (VK)
Gesamtkosten: 314 400 € Spezifische Kosten: 103 €/m²NGF
 Besonderheiten: Die Kosten für einen notwendigen Brüstungskanal werden nicht berücksichtigt.

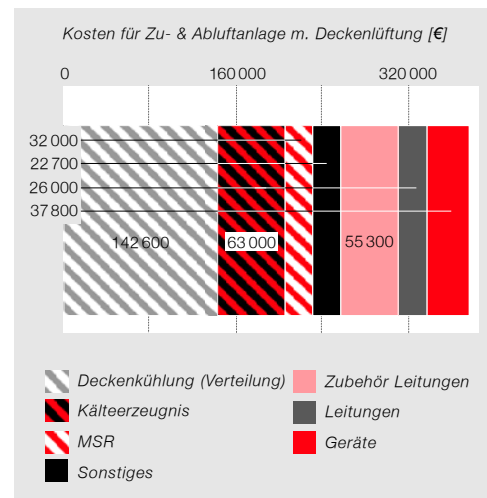


Abb. 8.9
Kosten für eine Zu- und Abluftanlage mit Deckenkühlung
Gesamtkosten: 379 400 €
Spezifische Kosten: 124 €/m²NGF

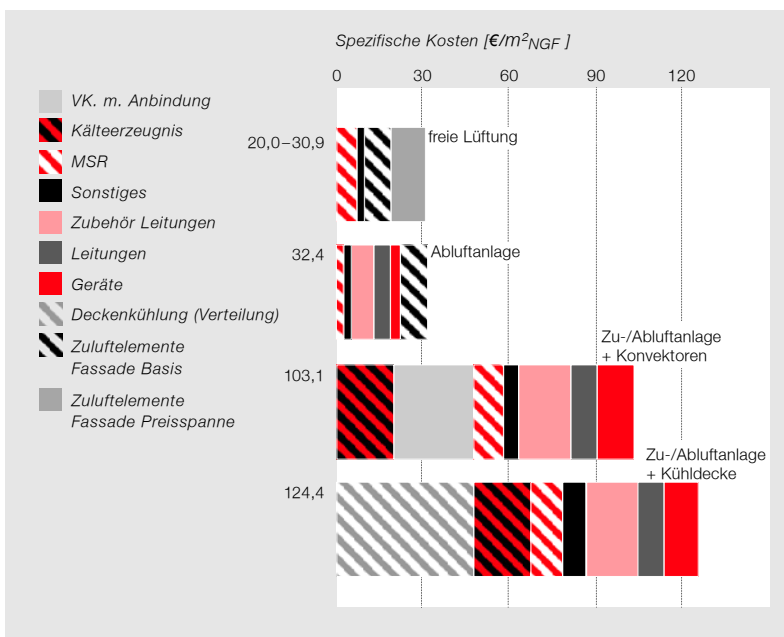


Abb. 8.10
Spezifische Kosten für die unterschiedlichen Systeme

Baugruppe	freie Lüftung	Abluftanlage	Zu-/Abluftanlage mit Ventilator-konvektoren	Zu-/Abluftanlage mit Deckenkühlung
Lüftungsgeräte [€]	1 500	8 500	37 800	37 800
Lüftungsleitungen inkl. Dämmung [€]	1 500	13 600	26 000	26 000
Zubehör Lüftungsleitungen [€]	1 500	23 500	55 300	55 300
Zuluftelemente Fassade [€]	32 400 – 64 800	32 400	87 900	
Ventilator-konvektoren mit Anbindeleitungen [€]				142 600
Deckenkühlung mit Anbindeleitungen [€]				
Kälteerzeugung [€]			63 000	63 000
MSR [€]	24 500	12 200	27 500	32 000
Kernbohrungen, Durchbrüche, Montagestahl [€]	400	8 500	16 900	22 700
Gesamtkosten [€]	61 800 – 94 200	98 700	314 400	379 400
spez. Gesamtkosten* [€/m²]	20 – 31	32	103	124

Tabelle 8.5

Vergleich Kosten, alle Kosten in € und € pro m²_{NGF}. Anmerkung: Bei der Variante mit Zu- und Abluftanlage mit Ventilator-konvektoren könnte sich – bei einem Bestandsgebäude mit vorhandenen und geeigneten Heizkörpern – eine Verringerung der Investitionskosten auf 223 300 € ergeben (73 €/m²).

8.4 Elektrischer Energiebedarf

Für jedes Lüftungssystem wurde anhand der Motoraufnahmeleistungen der Anlagenkomponenten und der angenommenen Betriebszeiten der Anlagen der Energiebedarf ermittelt. Der Energiebedarf für die Kühlung wurde anhand der Berechnungssystematik „Klimakälte“ erstellt, die Bestandteil der „Methodik zur Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden (MEG)“ ist [MEG 2005]. Das Verfahren ermöglicht eine vereinfachte Abschätzung des Strombedarfs für die Klimatisierung des gesamten Gebäudes. Weiterführende Betrachtungen sind auf der Basis der [DIN V 18599:2005-07] möglich.

Die Annahmen und Berechnungsgrundlagen für jedes System finden sich im Anhang. Abb. 8.11 zeigt den Energiebedarf für die Systeme und die jeweiligen Stromkosten pro Jahr.

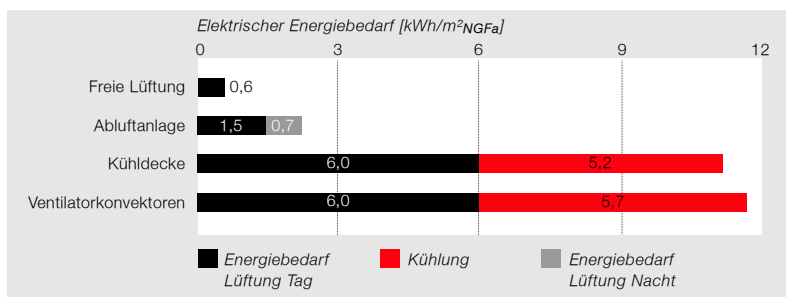


Abb. 8.11 Der Energiebedarf für die Systeme. Lüftung und Kühlung sind separat aufgeführt. Der Energiebedarf für Freie Lüftung berücksichtigt die elektrisch bedienbaren Zuluftelemente, während bei der Abluftanlage mit manuell bedienbaren Zuluft-elementen der Ventilatorstrom berücksichtigt wird. Die beiden anderen Szenarien berücksichtigen den Strombedarf für eine Zu- und Abluftanlage.

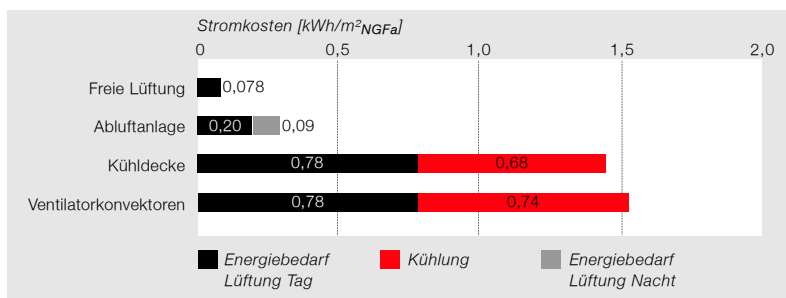


Abb. 8.12 Jährliche Stromkosten für die Systeme. Als Stromkosten wurden 0,13 € pro kWh angenommen. Dies stellte die obere Grenze der in /Recknagel et. al., 2001/ angegebenen Spanne (0,08 bis 0,13 €) dar. Die obere Grenze wurde deshalb verwendet, da die Anlagen für einen Zeitraum von 20 Jahren betrachtet werden (Abschnitt 5), und so mit einer Preissteigerung zu rechnen ist.

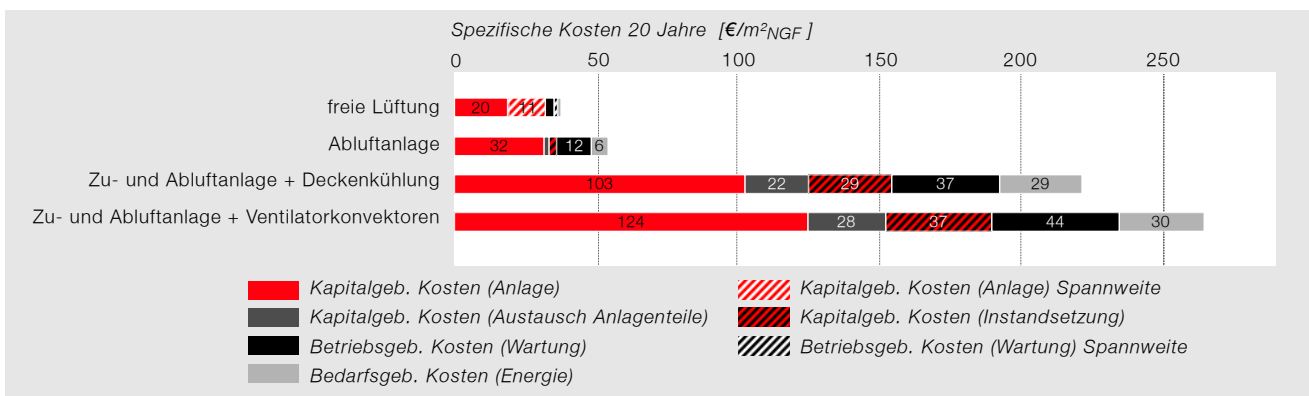


Abb. 8.13

Spezifische Kosten über 20 Jahre. Die Preisspannweite für die Zuluftelemente in der Fassade ist gesondert ausgewiesen. Die Kosten-Gruppe „Austausch Anlagenteile“ berücksichtigt die Bauteile, die eine kürzere rechnerische Lebensdauer als 20 Jahre haben und somit ersetzt werden müssen. Für das Kompaktgerät der Zu- und Abluftanlage der Konzepte „Ventilatorconvektor“ und „Deckenkühlung“ gab es nur einen Gesamtpreis. Um die Anlagen-, Wartungs- und Instandsetzungskosten für das Kompaktgerät zu berechnen, wurden für die Ventilatoren und die Filter anteilige Preise bei Lüftungsfirmen erfragt. Die Filter machen rund 1,2 %, die Ventilatoren rund 20 % der Kosten für das Kompaktgerät aus.

8.5 Nutzungskosten

Bei der Ermittlung der Kosten werden nach [VDI 2067 2000] prinzipiell vier Gruppen berücksichtigt:

- Kapitalgebundene Kosten (einschl. Instandsetzung und Erneuerung)
- Bedarfs- (Verbrauchs-) gebundene Kosten (Energiekosten)
- Betriebsgebundene Kosten (Wartung)
- Sonstige Kosten (z.B. Versicherung, Steuern), hier nicht berücksichtigt.

Im Rahmen der nachfolgenden Kostenbetrachtung über einen Nutzungszeitraum von 20 Jahren, werden die zukünftige Preisentwicklung und die Teuerungsrate nicht berücksichtigt. Die gegebenen Werte sind daher vorwiegend dazu geeignet, die Anlagen qualitativ miteinander zu vergleichen. Im Vergleich mit realen Kosten können die gegebenen Werte unter Umständen abweichen.

Die Kosten für die Instandsetzung und Wartung der Anlagen wurden mittels der in [VDI 2067:2000-09] genannten Faktoren ermittelt. Diese werden als prozentualer Wert gegeben, der sich aus den Kosten der Anlagenkomponente errechnet. Die [VDI 2067:2000-09] nennt auch rechnerische Nutzungsdauern für die einzelnen Anlagenkomponenten. Ist die Nutzungsdauer kürzer (z.B. 12 Jahre) als der Betrachtungszeitraum, so wird davon ausgegangen, dass die Komponente kostengleich

ersetzt wird und es werden die anteiligen Kosten für die verbleibende Nutzungsdauer (hier 8 Jahre) zu den Ausgangskosten hinzuaddiert.

Die spezifischen Kosten der Anlage über einen Nutzungszeitraum von 20 Jahren zeigt Abb. 8.13. Danach dominieren beim Konzept „freie Lüftung“ die kapitalgebundenen Kosten. Beim Konzept „Abluftanlage“ entstehen Kosten im Bereich „Wartung“ hauptsächlich für den Ventilator. Bei beiden Konzepten sind die Energiekosten sehr gering.

Diese werden erst bei den Konzepten „Ventilatorconvektor“ und „Deckenkühlung“ spürbar, wenngleich sie auch hier nur 13 oder 11 % der Gesamtkosten ausmachen. Da der Nutzungszeitraum auf 20 Jahre festgelegt ist, müssen hier Anlagenteile, die eine kürzere Lebensdauer haben, ausgetauscht werden. Diese Kosten gehören zu den kapitalgebundenen Kosten „Anlage“, sind aber in der Grafik zur Kenntlichmachung als „Austausch Anlagenteile“ ausgewiesen. Kurzlebigere Anlagenteile sind die Ventilatoren (12 Jahre), Ventile für die Kühlung (Ventilatorconvektoren und Kühldecke), die Kompressionskältemaschine (15 Jahre) und die Filter in der Lüftungsanlage. Der vierteljährliche Austausch der Filter macht 7 % der Anlagengesamtkosten aus. Die Kosten für Wartung und Instandsetzung liegen für die Konzepte „Ventilatorconvektor“ und „Deckenkühlung“ bei rund 30 % der Gesamtkosten.

	Betrachtung Investitionsjahr				Betrachtung Nutzungsdauer 20 Jahre			
	Kosten Anlage [€/m ² NGFa]	Instand setzung [€/m ² NGFa]	Wartung [€/m ² NGFa]	Energie [€/m ² NGFa]	Kosten Anlage [€/m ² NGFa20]	Instand setzung [€/m ² NGFa20]	Wartung [€/m ² NGFa20]	Energie [€/m ² NGFa20]
Freie Lüftung								
Geräte	0,49	0,02	0,08		0,82	0,33	1,64	
Leitungen	0,49	0,00	0,01		0,51	0,00	0,10	
Zubehör Leitungen	0,49	0,00	0,00		0,48	0,00	0,07	
Dämmung	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	
Sonstiges	0,13	0,00	0,00		0,13	0,00	0,00	
MSR	8,03	0,00	0,00		8,03	0,00	0,00	
Zuluftelemente Fassade	10,62	0,00	0,05		15,93	0,00	1,59	
Zuluftelemente Fassade Preisspanne	10,62	0,00	0,05					
Summe von bis	20,26 30,89	0,02 0,02	0,14 0,20	0,08 0,08	20,59 31,21	0,33 0,33	2,88 3,94	1,57 1,57
Abluftanlage								
Geräte	2,79	0,09	0,46		4,64	1,86	9,29	
Leitungen	4,46	0,00	0,04		4,45	0,00	0,89	
Zubehör Leitungen	7,70	0,00	0,04		7,70	0,00	0,77	
Dämmung	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	
Sonstiges	2,79	0,00	0,00		2,77	0,00	0,00	
MSR	4,00	0,00	0,00		4,00	0,00	0,00	
Zuluftelemente Fassade	10,62	0,00	0,05		10,62	0,00	1,06	
Summe	32,36	0,09	0,60	0,29	34,19	1,86	12,01	5,70
Zu- und Abluft mit Ventilatorkonvektoren								
Geräte	12,39	0,20	1,02		25,57	4,09	20,45	
Leitungen	8,52	0,00	0,09		8,54	0,00	1,71	
Zubehör Leitungen	17,70	0,00	0,09		17,70	0,00	1,77	
Dämmung	0,46	0,00	0,00		0,44	0,09	0,00	
Sonstiges	5,54	0,00	0,00		5,55	0,00	0,00	
MSR	9,02	0,00	0,00		9,00	0,00	0,00	
Ventilatorkonvektoren mit Anbindung	28,82	0,62	0,01		30,65	12,41	0,16	
Kälteerzeugung	20,66	0,55	0,28		27,54	11,02	5,51	
Summe	103,11	1,38	1,48	1,52	124,99	27,61	29,60	30,43
Zu- und Abluft mit Kühldecke								
Geräte	12,39	0,20	1,02		25,57	4,09	20,45	
Leitungen	8,52	0,00	0,09		8,54	0,00	1,71	
Zubehör Leitungen	17,70	0,00	0,09		17,70	0,00	1,77	
Dämmung	0,46	0,00	0,00		0,44	0,09	0,00	
Sonstiges	7,44	0,00	0,00		7,44	0,00	0,00	
MSR	10,49	0,00	0,00		10,50	0,00	0,00	
Deckenkühlung (Verteilung)	46,75	1,03	0,35		54,63	20,53	6,94	
Kälteerzeugung	20,66	0,55	0,28		27,54	11,02	5,51	
Summe	124,43	1,79	1,82	1,46	152,36	35,72	36,38	29,11

Tabelle 8.6 Kapitalgebundene und bedarfs- und betriebsgebundene Kosten für die unterschiedlichen Anlagen

8.6 Raumklima und Leistungsfähigkeit – Kosten (zu)hoher Raumtemperaturen

Eine Gegenüberstellung von Nutzungskosten und thermischem Komfort baulicher Varianten legt es nahe, zu untersuchen, in welcher Weise der unterschiedliche thermische Komfort monetär zu bewerten ist. Dazu stellt sich die Frage, wie die Arbeitsleistung im Büro mit der Temperatur zusammenhängt. Ein nachgewiesener Zusammenhang würde es gestatten, unter Berücksichtigung der jeweiligen Personalkosten den betriebs- und volkswirtschaftlichen Schaden (zu)hoher Raumtemperaturen zu berechnen, bzw. die Grenzkosten von wirtschaftlich lohnenswerten Investitionen in Klimatechnik oder wirkungsvollem Sonnenschutz zu bestimmen.

In den 70er und 80er Jahren wurden zu solchen Fragen Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur durchgeführt [Wyon 1986]. Die Minderung der Leistungsfähigkeit ist demnach abhängig von der Temperatur und der Kleidung. Diese Arbeit ist eine der wenigen, die wirkliche Werte für die Leistungsminde- rung angeben können. Allerdings fanden die Untersuchungen in *klimatisierten* Räumen statt, berücksichtigten also keine Adaption. Dort konnten die Nutzer keinen Einfluss auf das Raumklima nehmen und auch ihre Kleidung nicht verändern. In anderen Untersuchungen konnte im Unterschied dazu gezeigt werden, dass zwischen der gemessenen Lufttemperatur und der selbst bewerteten Produktivität kein Zusammenhang besteht [McCartney 2002]. Diese Ergebnisse zeigen, dass ein Zusammenhang zwischen dem Bewerten einer Temperatur – also der Behaglichkeit – und der Produktivität besteht, nicht aber zur Temperatur selbst. Einen Überblick zu diesem Themenkreis gibt [Hellwig 2005].

Vor diesem Hintergrund wird in der vorliegenden Untersuchung auf die Monetarisierung der Auswirkungen (zu)hoher Raumtemperaturen verzichtet. Gleichwohl liegt ein Forschungsbedarf vor.

8.7 Fazit

Die Kosten der betrachteten Lüftungs- und Kühlsysteme unterscheiden sich bereits bei den Investitionen erheblich: Die einfache Abluftanlage als Mindestausstattung für eine wirkungsvolle nächtliche Lüftung verursacht Investitionsmehrkosten in der Größenordnung von 32 € pro m² NGF oder 812 € pro Arbeitsplatz (120 Arbeitsplätze im Gebäude). Komplette Zu- und Abluftsysteme – unterstützt durch Ventilator-konvektoren oder eine Deckenkühlung - sind mit 103 bis 124 € pro m² oder 2 616 bis 3 150 € pro Arbeitsplatz 3 bis 4-mal teurer (Nettokosten). Bei üblichen Bauwerkskosten von 1 100 € pro m² (netto, NGF bezogen, mittlerer Standard [BKI 1999]) bedeutet dies eine Kostensteigerung um knapp 3 % (Abluftanlage) bis 11 % (Zu-, Abluftanlage mit Kühlfunktion).

Allerdings ist zu beachten, dass diese Kosten nicht vollständig der Verbesserung des sommerlichen Raumklimas zugeordnet werden können. Beispiel: Während die Investition in eine Sonnenschutzverglasung allein dem Zweck der Senkung der sommerlichen Raumtemperaturen dient, leisten Lüftungsanlagen einen wesentlichen Beitrag zur Lufthygiene. Die heutigen Anforderungen hinsichtlich der luftdichten Bauweise, die dichte Personenbelegung in Bürogebäuden sowie die Minderung der Leistungsfähigkeit bei zu hohen CO₂-Konzentrationen sind wichtige Argumente für eine Ventilator unterstützte Lüftung. Im Folgenden werden daher als Schätzung nur 50 % der Kosten bei Investition und Nutzung bezüglich baulicher Massnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Raumklimas zugeordnet. Daraus ergibt sich folgendes Bild: Die komplette Ausstattung des Gebäudes mit Sonnenschutzglas führt zu einer Mehrinvestition von knapp 7 € pro m² NGF oder 175 € pro Arbeitsplatz¹⁰. Auch wenn die Kosten der Lüftungs- und Kühlungs-systeme nur anteilig betrachtet werden, sind Sonnenschutzverglasungen damit deutlich kostengünstiger als alle Lüftungstechnischen Maßnahmen. Wenn eine Ventilator unterstützte Lüftung zukünftig aufgrund lufthygienischer Anforderungen generell vorausgesetzt werden kann, verbessert sich die Wirtschaftlichkeit allerdings deutlich.

(10) 750 m² Fensterfläche bei einer Glasfläche von 525 m², 40 % Fensterflächenanteil an der Fassadenfläche von 1872 m², 30 % Rahmenanteil bei der Fensterfläche, Mehrkosten 40 € pro m² Glasfläche, siehe Kapitel 7.4.1

Betriebsenergieaufwand und Betriebskosten für einfache Abluftanlagen sind im Rahmen des Gesamtbedarfs typischer Bürogebäude vernachlässigbar gering. Demgegenüber schlagen Kühlung und Lüftungsfunktion bei den komplexeren Anlagenvarianten mit etwa 30 kWh/m²a Primärenergiebedarf zu Buche. Dies bedeutet – je nach Baustandard – 10% (bei 300 kWh/m²a Basiswert) bis 30% (bei 100 kWh/m²a) Mehrbedarf. Demgegenüber stehen die Verbesserung der Lufthygiene und die Einhaltung der Komfortbedingungen im Sommer.

Die Konzepte „Ventilatorkonvektoren“ und „Kühldecke“, die hier im Zusammenhang mit einer Kompressionskälteanlage untersucht wurden, können im Sinne eines sparsamen Umgangs mit Energie bei sehr hohem thermischem Komfort dann von Interesse sein, wenn deutliche Kältequellen, wie z. B. Erdreich und Grundwasser, zur Verfügung stehen. In diesem Fall würden die Energiekosten sinken, dafür aber die Investitionskosten steigen. Daher sind die durchgeführten Berechnungen auf diesen Fall nicht übertragbar.

8.8 Monetäre Bedeutung für den Gebäudebestand

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden umfangreiche Recherchen zur Klärung der verfügbaren statistischen Informationen über den Bestand an Büro- und Verwaltungsgebäuden durchgeführt. Eine detaillierte Zusammenstellung wurde daraufhin in [Hoffmann 2006a] veröffentlicht. Auf eine Darstellung wird daher an dieser Stelle verzichtet.

Die Untersuchung der Datenlage zeigt, dass bereits die publizierten Flächenangaben zum Gebäudebestand eine erhebliche Bandbreite aufzeigen. Die Angaben zum zugehörigen Endenergieverbrauch sind nicht eindeutig.

Beispielhaft werden hier die Flächenangaben nach [Bruckmann 2002] zur Hochrechnung der erforderlichen Investitionen in Bestandsgebäuden angesetzt: Von den in Summe 186 Mio. m² Bürofläche (Nettogrundfläche) werden 67 Mio. m² als nicht klimatisiert angesetzt. Die zusätzliche Ausstattung dieses Bestands mit Sonnen-

schutzglas würde im Rahmen einer Sanierung demnach unter den Rahmenbedingungen des dargestellten Referenzgebäudes Mehrinvestition von etwa 469 Mio. € erfordern. Die erforderlichen Mehrkosten bei kompletten Zu- und Abluftanlagen mit Kühlung liegen demgegenüber bei 6,9 bis 8,3 Mrd. € (50 % angerechnet, siehe oben). Angesichts der unsicheren Datenlage sind diese Angaben ebenfalls sehr unsicher.

Literatur

- [ArbStättV 2004] *Verordnung über Arbeitsstätten*
- [ASHRAE 55: 2004] *Thermal environmental conditions for human occupancy*. ASHRAE Inc., Atlanta, USA
- [ASR 2001] *Arbeitsstätten-Richtlinien zur Arbeitsstättenverordnung, ASR 6-1 Raumtemperaturen*. Ausgabe Mai
- [BauR 2002] *Mangel: Soll-Beschaffenheit von Treppenanlagen nach Arbeitsstätten-VO*, Baurecht, S. 1562, Heft 10
- [BGH 1995] vgl. insoweit schon BGH NJW – RR 1995, S. 472
- [BKI 1999] *BKI Baukosten 1999, Teil 1 – Kostenkennwerte für Gebäude*, Stuttgart
- [Busse 2004] Busse, F.: *Klimaanlage par ordre du mufti – Zu den Anforderungen an den Wärmeschutz für Arbeitsräume im Sommer*, NJW, 28, S. 1982-1985
- [Bruckmann 2002] Bruckmann, O., Eisenheimer, F., Mai, M. et al.: *Teilbericht zum Forschungsvorhaben: Energiebedarf bei der technischen Erzeugung von Kälte*, Universität Essen, Institut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik (IATK)
- [Christoffer 2005] Christoffer, J., Deutschland, T. und Webs, M.: *Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse TRY*, Deutscher Wetterdienst (DWD), Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach a. Main
- [Dear 1998] de Dear, R.J.: *A global database of thermal comfort field experiments*. ASHRAE Transactions SF-98-11-1 (RP-884)
- [Dear 2002] de Dear, R.J. und Brager, G.S.: *Thermal comfort in naturally ventilated buildings – revisions to ASHRAE Standard 55*. Energy and Buildings 34
- [DIN 1946-2:1994-01] *Raumlufttechnik, Teil 2: Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln)*, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [DIN 4108-2:2003-07] *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz*, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [DIN V 4108-6:2003-06] *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs*, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [DIN EN 13779:2004-09] *Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen Lüftungs- und Klimaanlagen*. Beuth
- [DIN EN 832: 1998-12] *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Berechnung des Heizenergiebedarfs*. Beuth
- [DIN EN ISO 7730:2003-10] *Gemäßigtes Umgebungsklima – Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit*. Beuth
- [DWD Klimastatusbericht] *Deutscher Wetterdienst. Klimastatusbericht 2003*. Deutscher Wetterdienst Offenbach, <http://www.ksb.dwd.de>
- [EnEV 2004] *Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden EnEV*, Neufassung
- [Fanger 1970] Fanger, P.O.: *Thermal Comfort*. Danish Technical Press
- [Frank 2005] Frank, Th.: *Climate Change impacts on building heating and cooling energy demands in Switzerland, Energy and Buildings*, 37, S. 1175-1185
- [Hausladen 2004] Hausladen, G., Hellwig, R.T., Nowak, W., Schramek, E.-R. und Grothmann, T.: *26 °C – falsch verstandener Arbeitsschutz?* Bauphysik 26, Heft 4
- [Hellwig 2005] Hellwig, R.T.: *Komfortforschung*, in [Voss 2006] Voss, K., Löhnert, L., Herkel, S., Wagner, A. und Wambsganß, A. (Hrsgb.): *Bürogebäude mit Zukunft – Konzepte, Analysen, Erfahrungen*, 2. Auflage, Solarpraxis
- [Hochschulen 1997] *„Stellungnahme zu einem Urteil des Oberlandesgerichtes Hamm“*, Bauphysik Jg. 19, Heft 3, S. 97-99
- [Hoffmann 2005] Hoffmann, C., Voss, K.: *Das Potential der passiven Kühlung im Gebäudebestand Bürobauten – Vorschlag einer Typologie*. Bauphysik 06/2005 S. 346-358

- [Hoffmann 2006] Hoffmann, C.: *Sanierung als zweite Chance – Umsetzung passiver Kühlkonzepte in Betongebäuden*, Dissertation, Universität Wuppertal, Veröffentlichung in Planung
- [Hoffmann 2006a] Hoffmann, C.: *Was wissen wir über den Gebäudebestand an Nichtwohn- und Bürogebäuden in Deutschland und Europa – eine Literaturrecherche*, Gesundheitsingenieur, Heft 2
- [Humphreys 1978] Humphreys, M.A.: *Outdoor temperatures and comfort indoors*. *Building Research and Practice*
- [ISSO 2004] *Thermische Behaaglijkheid*, Publication 74, ISSO, Rotterdam
- [Klimaerlass 2005] *Bauliche und planerische Vorgaben für Baumaßnahmen des Bundes zur Gewährleistung der thermischen Behaglichkeit im Sommer*, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Berlin
- [Kolmetz 1996] Kolmetz, S.: *Thermische Bewertung von Gebäuden unter sommerlichen Randbedingungen – Ein vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung von Raumtemperaturen in Gebäuden im Sommer und deren Häufigkeit*, Dissertation, Universität Gesamthochschule Kassel
- [Kurvers 2005] Kurvers, S.R., van der Linden, A.C., Boerstra, A.C. und Raue, A.K.: *Adaptieve temperatuurgrenswaarden (ATG)*. ISSO 74, nieuwe richtlijn beoordeling thermische binnenklimaat, TVVL Magazine v. 34(6), S. 42-49
- [LG Bielefeld 2003] *Bielefelder Klimaurteil*, LG Bielefeld, 2003, zitiert in [Steiner, et. al., Hrsg.]
- [Linden 2002] van der Linden, A. C., Boerstra, A. C., Raue, A. K. und Kurvers, S. R.: *Thermal indoor climate building performance characterized by human comfort response*, Energy and Buildings 34, S. 737-744
- [Linden 2006] van der Linden, A. C., Boerstra, A. C., Raue, A. K., Kurvers, S. R., de Dear, R. J.: *Adaptive temperature limits: A new guideline in The Netherlands*, Energy and Buildings 38, S. 8-17
- [Mayer 2005] Mayer, E.: *Wohlfühlen – Thermische Behaglichkeit*, in: Voss, K., Löhnert, L., Herkel, S., Wagner, A., Wambsganß, A. (Hrsgb.): *Bürogebäude mit Zukunft – Konzepte, Analysen, Erfahrungen*, 2. Auflage, Solarpraxis Verlag, Berlin
- [McCartney + Nicol 2002] McCartney, K., Nicol, J. F.: *Developing an adaptive control algorithm for Europe*. Energy and Buildings 34
- [McCartney 2002] McCartney, K., Humphreys, M. A.: *Thermal comfort and productivity*. In: Proceedings Indoor Air, 822-827
- [MEG 2005] www.meg.ds-plan.de
- [Ministerialblatt 2003] *Liste der technischen Baubestimmungen*, Ministerialblatt für das Land NRW, Nr. 38, 9/2003
- [Nicol + Humphreys 2002] Nicol, J.F. und Humphreys, M.A.: *Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings*, Energy and Buildings 34
- [Nicol + Raja 1997] Nicol, J.F., Raja, I.: *Modelling temperature and human behaviour in buildings*. Sustainable Building Conference, Brighton, UK
- [OLG Düsseldorf 1998] NJW-RR 1898, 1307
- [OLG Hamm 1995] *Raumtemperaturgrenzen in gemieteten Gewerberäumen (Reisebüro)*, Urteil: 7 U 132/93, NJW - RR, 143
- [OLG Köln 1993] in NJW-RR, 46
- [OLG Naumburg 2004] NJW - RR, 299 (nur Leitsatz)
- [OLG Rostock 2000] *Sommerliche Aufheizung der Mieträume*, NJW - RR, 802
- [Pfafferott 2004a] Pfafferott, J., Herkel, S. und Wagner, A.: *Sommer 2003 – Müssen unsere Bürogebäude klimatisiert werden?* HLH Bd. 55, Nr. 3 (März)
- [Pfafferott 2004b] Pfafferott, J.: *Enhancing the design and operation of passive cooling concepts*. Fraunhofer IRB Verlag
- [Pfafferott 2006] Pfafferott, J.: *Luft-/Erdregister*, in Voss, K., Löhnert, L., Herkel, S., Wagner, A., Wambsganß, A. (Hrsgb.): *Bürogebäude mit Zukunft – Konzepte, Analysen, Erfahrungen*, 2. Auflage, Solarpraxis
- [prEN 14501:2004] *Blinds and Shutters – Thermal and visual Comfort – Performance characteristics and classification*, draft

- [prEN15251:2005-05] *Bewertungskriterien für den Innenraum einschließlich Temperatur, Raumluftqualität, Licht und Lärm, Entwurf*
- [Raue 2004] Raue, A.K., Boersta, A.C., van der Linden, A.C. und Kurvers, S.R.: *Natvent buildings versus HVAC buildings – a new Dutch thermal comfort guideline*. 25th AIVC Conference, Prague, Czech Republic
- [Recknagel 1999] Recknagel, Sprenger, Schramek: *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2000*. R. Oldenbourg Verlag München, 69. Auflage
- [Recknagel 1999] Recknagel, Sprenger, Schramek: *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2000*. R. Oldenbourg Verlag München, 69. Auflage
- [Richter 2003] Richter, W.: *Handbuch der thermischen Behaglichkeit (Heizperiode)*. Wirtschaftsverlag NW
- [RLT-Anlagenbau 2004] *Arbeitskreis Maschinen und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV): Hinweise zur Planung und Ausführung von Raumlufttechnischen Anlagen für öffentliche Gebäude*, Berlin. Bezug über Geschäftsstelle des AMEV im Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen.
- [Rouvel 2000] Rouvel, L., Deutscher, P. und Elsberger, M.: *Sommerlicher Wärmeschutz (Teil 1 bis 3)*. Bauphysik 22 (Heft 2, 3 und 4)
- [Schramek 1999] Schramek, E.-R. (Hrsg.): *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik*. Oldenbourg Verlag
- [Steiner et. al., Hrsg., 2003] Steiner, J., Wecke, S., Rother, M., et al., Hrsg.: *Eine Dokumentation zur Entwicklung und Begründung der neuen Klimarechtsprechung im Kontext der Arbeitsstättenverordnung und Arbeitsstättenrichtlinien sowie dessen Folgen für die TGA-, Bau- und Immobilienwirtschaft*, Promoter Verlags- und Förderungsges. mbH, Karlsruhe
- [EnEV-UVO:2002] *Verordnung zur Umsetzung der Energieeinsparverordnung*, Ministerium für Städtebau und Wohnen, Kultur und Sport des Landes NRW, Düsseldorf
- [VBG BGI 827 2002] *Sonnenschutz im Büro – Hilfen für die Auswahl von geeigneten Blend- und Wärmeschutzvorrichtungen an Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen*. Verwaltungs-Berufgenossenschaft, SP 2.5 BGI 827, Hamburg
- [VDI 2078:1994] *Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume*. Beuth
- [VDI 6018:2005] *Richtlinienausschuss zur VDI 6018 „Behaglichkeit in Räumen“*. VDI, Düsseldorf
- [Voss 2005] Voss, K., Hoffmann, C. und Neumann, C.: *Zwischenbericht: Kosten unterschiedlicher Lüftungssysteme bei Sanierungsvorhaben*, Zwischenbericht, Lehrstuhl für Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung, Fachbereich Architektur, Design und Kunst, Bergische Universität Wuppertal.
- [Voss 2006] Voss, K., Löhnert, L., Herkel, S., Wagner, A., Wambsganß, A. (Hrsgb.): *Bürogebäude mit Zukunft – Konzepte, Analysen, Erfahrungen*, 2. Auflage, Solarpraxis
- [Voss 2006b] Voss, K., Kuhn, T., Herkel, S., Nitz, P., Hellström, B. und Wall, M.: *Solar Control*, in: Santamouris, M. (Hrsgb): *Advances in Passive Colling*, James & James, London, in Druck
- [Wyon 1986] Wyon, D.P.: *The effects of indoor climate on productivity and performance*. VVS & energi; Organ für VVS-Tekniska Föreningen, 3, S. 59-65
- [Zimmermann 2003] Zimmermann, M. (ed): *Handbuch der Passiven Kühlung*, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, ISBN 3-8167-6267-0

Anhang

A. Test-Referenz Wetterdatensätze

Die in dieser Dokumentation beschriebenen Simulationen werden mit Wetterdaten eines Referenzjahres gerechnet. Dies erlaubt die Betrachtung der Häufigkeitsverteilung der auftretenden Raumtemperaturen. Bei den Testreferenzjahren (TRY) handelt es sich um Datensätze ausgewählter meteorologischer Elemente für jede Stunde eines Jahres für verschiedene Regionen der Bundesrepublik Deutschland. Basierend auf einer Faktoren- und Clusteranalyse wurde die Bundesrepublik Deutschland in 15 Regionen untergliedert [Christoffer 2005]. Für jede Region wurde eine Repräsentanzstation bestimmt und ein Testreferenzjahr erstellt. Dabei ersetzen seit 2004 15 neue Testreferenzjahre die bisherigen 12 alten TRY-Datensätze.

Die Testreferenzjahre beinhalten den charakteristischen Witterungsverlauf eines kompletten Jahres. Sie basieren auf verschiedenen realen Witterungsabschnitten, die für alle Testreferenzjahre bzw. für jede Region identisch sind. Die Witterungsabschnitte wurden so ausgewählt, dass die Jahresmittelwerte der einzelnen Wetterelemente an den Repräsentanzstationen möglichst gut mit den dreißigjährigen Mittelwerten übereinstimmen. Mit Glättungs- und Interpolationsverfahren wurden die Daten aus den verschiedenen Witterungsabschnitten geeignet aneinander angepasst (für das neue TRY die Jahre 1961 bis 1990, Klimanormalperiode der World Meteorological Organisation, WMO). Im Gegensatz zu den vorangegangenen TRY-Datensätzen, liegen für die neuen Testreferenzjahre Messdaten anstatt Rechenwerte der direkten und diffusen Sonnenstrahlung vor. Verbleibende Lücken in den Strahlungsmessdaten wurden mit einem geeigneten Strahlungsmodell stundenweise berechnet.

Ein Testreferenzjahr zeichnet den charakteristischen Wetterverlauf der entsprechenden Region nach, und die aus den TRY-Daten gebildeten Mittelwerte stimmen mit den realen über längere Zeiträume (Jahreszeit, Heizperiode, Jahr) überein. So liefert die thermische Gebäudesimulation mittels eines dynamischen Rechenverfahrens und einem Testreferenzjahr für den jeweiligen Standort hinreichend genaue

Ergebnisse. Der Raumtemperaturverlauf kann für das gesamte Jahr angegeben werden.

Um regionale Unterschiede der sommerlichen Klimaverhältnisse zu berücksichtigen, wird in der DIN 4108-2 [DIN 4108-2:2003-07] eine Differenzierung der Grenzwertanforderung nach drei Klimaregionen für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vorgenommen: (a) sommerkühle, (b) gemäßigte und (c) sommerheiße Gebiete. Der Grenzwert der Innentemperatur, der an nicht mehr als 10 % der Aufenthaltszeit (bei Bürogebäuden üblicherweise 10 h/d) in beheizten Gebäuden überschritten werden soll, ist aus Tabelle A.1 ersichtlich.

Entsprechend den in der DIN 4108-2:2003-07 aufgeführten Sommer-Klimaregionen, werden das Typgebäude I (Kapitel 7.1) und die Typgebäude II (Kapitel 7.2) und III (Kapitel 7.3) mit jeweils drei TRY-Wetterdatensätzen gerechnet:

(i) Typgebäude I: Eckraum nach DIN 4108-2:2003-07

Die außenklimatische Basis bilden analog [Rouvel 2000] die alten Testreferenzjahre: TRY 11 ($\theta_{e,m,h} = 15,4^\circ\text{C}$)⁽¹¹⁾ für die Region der südöstlichen Mittelgebirge mit der Repräsentanzstation Hof als Beispiel für sommerkühle Gebiete, TRY 3 ($\theta_{e,m,h} = 17,4^\circ\text{C}$) für die Region Niederrheinisch-westfälische Bucht und Emsland mit der Repräsentanzstation Essen für gemäßigte Gebiete und TRY 7 ($\theta_{e,m,h} = 19,5^\circ\text{C}$) für die Region Oberrheingraben und unteres Neckartal mit der Repräsentanzstation Freiburg i. B. für sommerheiße Gebiete. Im Kapitel 7 werden die Sommer-Klimazonen wie folgt referenziert: (a) „sommerkühle“ Klimazone mit „TRY 11“, (b) „gemäßigte“ Klimazone B mit „TRY 3“ und (c) die „sommerheiße“ Klimazone mit „TRY 7“.

(ii) Typgebäude II: Drei-Zonen-Modell nach DIN 4108-2:2003-07 und Typgebäude III: Drei-Zonen-Modell

Die außenklimatische Basis bilden die neuen Testreferenzjahre: TRY 2 ($\theta_{e,m,h} = 16,5^\circ\text{C}$) für die Region der Ostseeküste mit der Repräsentanzstation

(11) Höchsterwert der mittleren monatlichen Außentemperatur ($\theta_{e,m,h}$).

Rostock-Warnemünde als Beispiel für sommerkühle Gebiete, TRY 13 ($\theta_{e,m,h} = 17,5^\circ\text{C}$) für die Region Schwäbisch-fränkisches Stufenland mit der Repräsentanzstation Passau für gemäßigte Gebiete und TRY 12 ($\theta_{e,m,h} = 19,5^\circ\text{C}$) für die Region Oberrheingraben und unteres Neckartal mit der Repräsentanzstation Mannheim für sommerheiße Gebiete¹².

Im Verlauf dieses Dokumentes (Kapitel 7.3.1 bis 7.3.5) werden die Sommer-Klimazonen wie folgt referenziert: (a) „sommerkühle“ Klimazone mit „TRY 2“, (b) „sommerngemäßigte“ Klimazone B mit „TRY 13“ und (c) die „sommerheiße“ Klimazone mit „TRY 12“.

Sommer-Klimaregion	A Sommerkühle Gebiete	B Sommerngemäßigte Gebiete	C Sommerheiße Gebiete
Grenz-Raumtemperatur	25 °C	26 °C	27 °C
Höchstwert der mittleren monatlichen Außentemperatur für Klimaregion	$\theta_{e,m,h} \leq 16,5^\circ\text{C}$	$16,5^\circ\text{C} < \theta_{e,m,h} < 18^\circ\text{C}$	$\theta_{e,m,h} \geq 18^\circ\text{C}$
Gewähltes altes Testreferenzjahr (TRY)	11 (Hof)	3 (Essen)	7 (Freiburg)
Gewähltes neues Testreferenzjahr (TRY)	2 (Rostock)	13 (Passau)	12 (Mannheim)
Höchstwert der mittleren monatlichen Außentemperatur des gewählten TRY	$\theta_{e,m,h}$ (Hof) = 15,4 °C $\theta_{e,m,h}$ (Rostock) = 16,5 °C	$\theta_{e,m,h}$ (Essen) = 17,4 °C $\theta_{e,m,h}$ (Passau) = 17,5 °C	$\theta_{e,m,h}$ (Freiburg) = 19,5 °C $\theta_{e,m,h}$ (Mannheim) = 19,5 °C

Tabelle A.1

Grenzwerte der Innentemperaturen für die Sommer-Klimaregionen gemäß [DIN 4108-2:2003-07], gewählte TRY und Höchstwert der mittleren monatlichen Außentemperatur der gewählten TRY.

(12)

Die alten und die neuen Testreferenzjahre sind in der Bezeichnung der entsprechenden Regionen und in den dazugehörigen Repräsentanzstationen nicht konform.

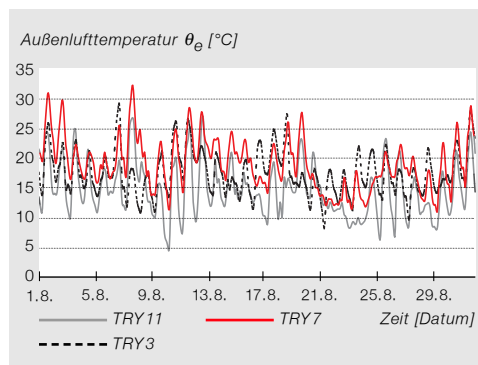


Abb. A.1
Außenlufttemperatur (θ_e) in [°C] des Monats August der alten Testreferenzjahre (TRY) für sommerkühle, sommergemäßigte und sommerheiße Regionen

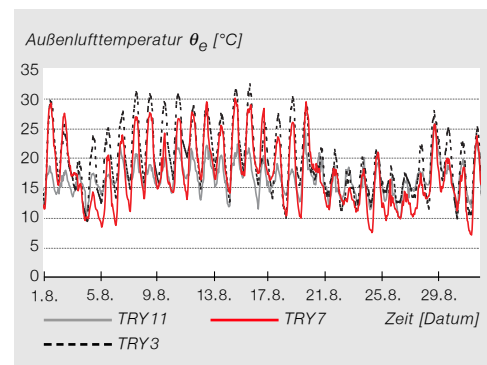


Abb. A.2
Außenlufttemperatur (θ_e) in [°C] des Monats August der neuen Testreferenzjahre (TRY) für sommerkühle, sommergemäßigte und sommerheiße Regionen

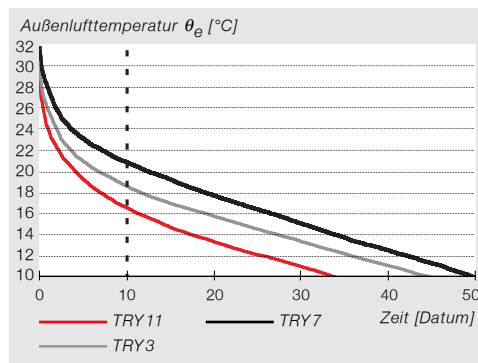


Abb. A.3
Jahresdauerlinie der Außentemperaturen (θ_e) in [°C] der alten Testreferenzjahre (TRY) für sommerkühle, sommergemäßigte und sommerheiße Regionen

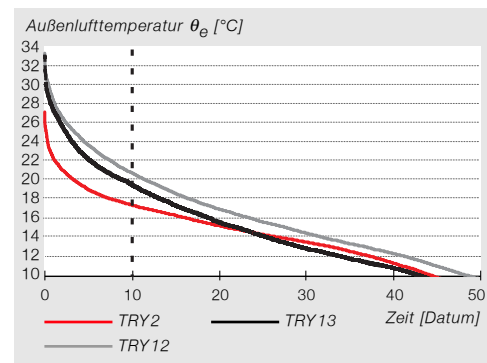


Abb. A.4
Jahresdauerlinie der Außentemperaturen (θ_e) in [°C] der neuen Testreferenzjahre (TRY) für sommerkühle, sommergemäßigte und sommerheiße Regionen

In Abb. A.1 und Abb. A.2 ist der Verlauf der Außentemperatur für die Testreferenzjahre exemplarisch für den Monat August dargestellt.

Abb. A.3 und Abb. A.4 zeigen die Jahresdauerlinie der Außentemperatur für die Testreferenzjahre.

In die hier beschriebenen Simulationsrechnungen fließen die folgenden sechs Wetterdaten des TRY-Datensatzes für die jeweilige Region ein: Direkte und diffuse Sonnenbestrahlungsstärke bezogen auf die horizontale Fläche in [W/m²], Lufttemperatur in [°C], Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über dem Grund in [m/s], Windrichtung in 10 m Höhe über dem Grund in [°] und die relative Luftfeuchte in [%].

B. Vergleich ESP-r und TRNSYS

Die diesem Dokument unterliegenden Simulationsrechnungen aller Modelle wurden mit dem Programm ESP-r der Version 10 gerechnet.

Das ESP-Gebäudemodell wurde mit dem Simulationsprogramm TRNSYS verglichen.

Für den Vergleich ESP und TRNSYS wurden exemplarisch die Resultate des in Kapitel 7.2 beschriebenen Modells „Typgebäude II“ herangezogen. Zur Vereinfachung wurde mit einem konstanten einfachen Luftwechsel ($1h^{-1}$) über 24 Stunden gerechnet. Die nachfolgenden Abbildungen Abb. B 1 bis Abb. B 3 zeigen exemplarisch für das Süd-Büro (Monat Juni) die operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C], die solaren Wärmeinträge in [kW] und die Infiltration in [kW] im Vergleich der Simulationsumgebungen ESP-r und TRNSYS. Es zeigt sich, dass die Ergebnisse in sehr guter Näherung übereinstimmen.

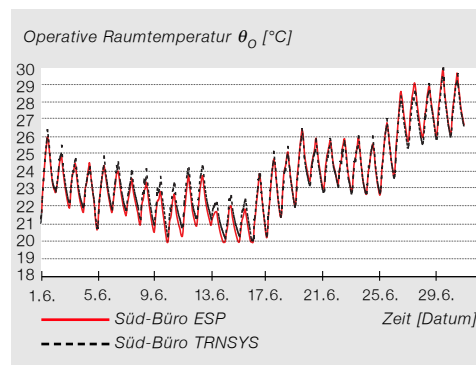


Abb. B.1
Operative Raumtemperatur (θ_o) in [°C] exemplarisch für das Süd-Büro des Typgebäudes II, Monat Juni im Vergleich der Simulationsumgebungen ESP-R und TRNSYS

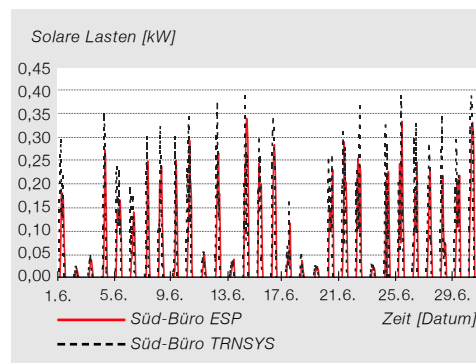


Abb. B.2
Solare Wärmeinträge in [kW] exemplarisch für das Süd-Büro des Typgebäudes II, Monat Juni, im Vergleich der Simulationsumgebungen ESP-R und TRNSYS

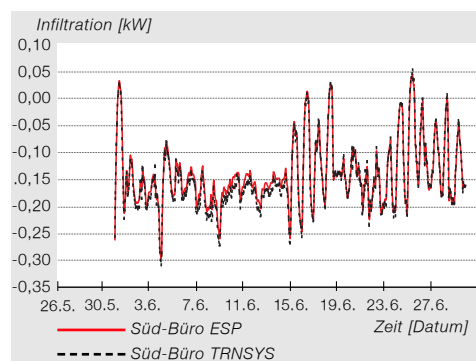


Abb. B.3
Infiltration in [kW] exemplarisch für das Süd-Büro des Typgebäudes II, Monat Juni, im Vergleich der Simulationsumgebungen ESP-R und TRNSYS

C. Vergleich von Simulation und Praxis

Die folgende Analyse vergleicht die Ergebnisse aus der Komfortuntersuchung für das simulierte Typgebäude III (realistisches Gebäudemodell, Kapitel 7.3) mit Messwerten aus Gebäuden, die im Rahmen des Programms *Energieoptimiertes Bauen* gefördert wurden (Kapitel 5.1). Von der Simulationsstudie wurde folgendes Szenario gewählt: Typgebäude III, Lüftungsstrategie „Ventilator unterstützte Nachtlüftung“. Das definierte Typgebäude III ähnelt in seiner eingesetzten Lüftungsstrategie dem C-Gebäude des Fraunhofer ISE, welches ebenfalls über eine Abluftanlage und maschinelle Nachtlüftung verfügt (vgl. Tabelle 5.3). Die Gegenüberstellung der Ergebnisse aus der Komfortauswertung umfasst die in Kapitel 4 vorgestellten fünf Normen: DIN 1946-2:1994-01, ASHRAE 55, DIN EN 7730:2003-10, Niederländische Richtlinie ISSO-74 und DIN 4108-2:2003-07.

Abb. C 1 illustriert die Überschreitungshäufigkeit der Komfortgrenzen nach den oben genannten Komfortkriterien jeweils für das Jahr 2002 bzw. das Testreferenzjahr sommergemäßigter Regionen (TRY 13) für die Simulation und für das Jahr 2003. Dabei stimmen die Simulationsergebnisse für das Szenario mit gemäßigten Wetterdaten (TRY 13) in guter Näherung mit den Messergebnissen überein. Für den Extremsommer 2003 gibt es eine große Diskrepanz zwischen Mess- und Simulationsergebnissen. Für alle Richtlinien außer der DIN EN 7730:2003-10 übertreffen die Überschreitungshäufigkeiten der Simulation bei weitem die Messergebnisse. Das Modell mit dem Wetterdatensatz des Rekordsommers 2003 stößt viel eher an seine Komfortgrenzen und überschreitet zulässige Werte für den thermischen Komfort in einem größeren Ausmaß als in einem realistischen Gebäude.

Die Ursache dafür liegt beim Nutzerverhalten. Realistisches, individuelles Nutzerverhalten bezüglich Fenster- und Türenbetätigung, welches maßgeblich die Raumtemperaturen beeinflusst, kann in der Simulation erstens nur modellhaft abgebildet werden und zweitens unterliegt das Verhalten einem festgesetzten Schema (Kapitel 7.3), dass auf extreme Wettersituationen nicht gesondert reagiert. Der reale Nutzer betätigt z. B. den Sonnenschutz individuell (in Simulation bei Einstrahlung von 200 W/m_f^2) und reagiert mit gezieltem Fensteröffnen bzw. -schliessen auf die momentanen Außen- und Raumtemperaturen.

Fazit

Um in einer Simulation realistische Ergebnisse zu erhalten, sollten die implementierten Nutzermodelle offensichtlich so genau wie möglich abgebildet werden. Im Besonderen ist dies zutreffend für Szenarien unter Verwendung von „extremen“ Wetterdaten, wie denen des Jahres 2003, da der Nutzer sein Verhalten den äußeren Bedingungen anpasst.

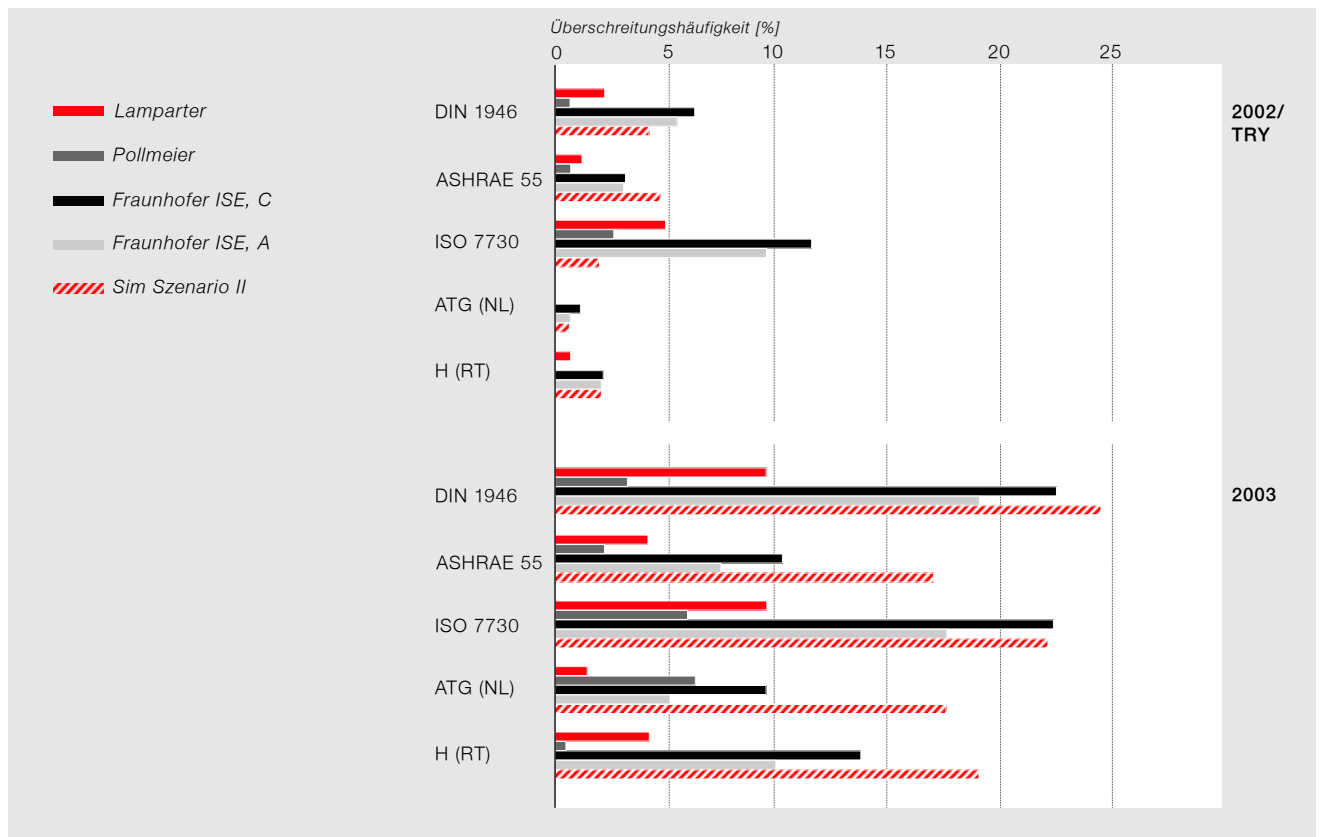


Abb. C.1
Überschreitungshäufigkeit der Komfortgrenzen nach DIN 1946-2:1994-01 (keine Angabe des Anteils Zufriedener) sowie der Niederländischen Richtlinie ISSO-74, der DIN EN 7730:2003-10 und der ASHRAE 55 jeweils für ein Akzeptanzniveau von 90% sowie der Überschreitungshäufigkeit in Anlehnung an DIN 4108-2:2003-07

	$\theta_{e,24}$	$\theta_{e,25}$	$\theta_{e,26}$	$\theta_{e,27}$	$\theta_{e,28}$	$\theta_{o,24}$	$\theta_{o,25}$	$\theta_{o,26}$	$\theta_{o,27}$	$\theta_{o,28}$
SOLVIS 2004	4,6	3,5	2,4	1,9	1,3	11,6	6,3	3,0	1,1	0,2
LAMPARTER 2001	6,9	5,6	4,2	3,3	2,2	7,6	3,4	1,0	0,2	0,0
LAMPARTER 2002	4,7	3,2	2,5	2,0	1,4	6,7	3,0	1,5	0,5	0,0
LAMPARTER 2003	12,5	10,2	8,2	6,6	5,2	16,3	12,0	7,3	4,1	1,8
POLLMEIER 2002	9,2	7,5	5,9	4,5	3,5	8,9	2,1	0,2	0,0	0,0
POLLMEIER 2003	20,4	17,2	13,8	11,2	9,2	20,6	10,1	2,5	0,4	0,0
BOB Aachen 2003	15,3	12,2	9,8	7,8	6,0	13,1	6,5	2,2	0,3	0,0
DB Netz AG 2001	4,8	3,4	2,7	2,0	1,4	16,8	7,4	2,0	0,3	0,0
DB Netz AG 2002	5,6	4,3	3,3	2,6	1,9	22,8	12,2	4,3	1,0	0,1
ENERGON 2004	3,6	2,6	1,7	1,2	0,8	5,1	2,0	0,6	0,2	0,0
TMZ Erfurt 2003	13,4	11,4	9,6	7,5	6,3	29,1	24,7	19,8	14,7	9,6
TMZ Erfurt 2004	8,1	6,0	4,8	3,6	2,6	21,0	15,6	10,4	5,5	2,5
ISE Geb. C 2002	9,8	7,4	6,0	4,2	3,1	16,8	8,8	4,1	2,0	0,8
ISE Geb. C 2003	20,8	17,9	15,0	12,4	10,2	28,2	23,8	19,3	13,6	8,3
ISE Geb. A 2002	9,8	7,4	6,0	4,2	3,1	14,6	7,6	3,8	2,0	1,0
ISE Geb. A 2003	20,8	17,9	15,0	12,4	10,2	25,7	20,9	15,8	10,0	6,1
KfW Frankfurt 2003	17,5	15,1	12,5	10,0	8,0	8,8	5,3	3,0	1,5	0,6
KfW Frankfurt 2004	11,8	9,8	7,1	5,5	4,2	10,2	4,9	1,8	0,8	0,4
Szenario III, TRY13	6,1	4,8	3,6	2,4	1,2	10,0	4,7	1,9	0,4	0,0
Szenario III, ISE 2003	20,8	17,9	15,0	12,4	10,2	28,2	24,8	22,4	18,9	15,5

Tabelle C.1
Überschreitungshäufigkeit (vgl. Tabelle 5.3, Kapitel 5)

D. Dokumentation Kosten

Berechnung Strombedarf für Variante „Freie Lüftung“

Betrieb	Wert	Quelle
<i>Lüftungsanlage WC</i>		
Luftwechsel [1/h]	5	
Volumenstrom WC pro Geschoss [m ³ /h]	300	
Gesamtvolumenstrom [m ³ /h]	1800	
Betriebsstunden täglich [H]	14	DIN 18599
Arbeitstage Jahr [D]	250	DIN 18599
Betriebsstunden Jahr [H]	3 500	
Ventilator		
<i>Dachventilator WCs (2 000 m³/h) inkl. Jalousieklappe + Zubehör Preisliste Rosenberg, Typ DV 400-4 E (750 €)</i>		
Motoraufnahmeleistung [kW]	0,52	
Energiebedarf Lüftung WC [kWh/a]	1 820	
[kWh/m²a]	0,60	
Kosten Strom [€/kWh]	0,13	Rechnagel Sprenger 03/04
[€/a]	236,60	
[€/m²]	0,08	

Tabelle D.1
Grundlagen und Berechnungsergebnisse für das System „freie Lüftung“

Berechnung Strombedarf für Variante „Abluftanlage“

Betrieb	Wert	Quelle
<i>Lüftungsanlage WC</i>		
Luftwechsel [1/h]	5	
Volumenstrom WC pro Geschoss [m ³ /h]	300	
Gesamtvolumenstrom [m ³ /h]	1800	
Betriebsstunden täglich [H]	14	DIN 18599
Arbeitstage Jahr [D]	250	DIN 18599
Betriebsstunden Jahr [H]	3 500	
Ventilator		
<i>Dachventilator WCs (2 000 m³/h) inkl. Jalousieklappe + Zubehör Preisliste Rosenberg, Typ DV 400-4 E (750 €)</i>		
Motoraufnahmeleistung [kW]	0,52	
Energiebedarf Lüftung WC [kWh/a]	1 820	
[kWh/m²a]	0,60	

Tabelle D.2
Grundlagen und Berechnungsergebnisse. Anmerkung Nachtlüftung: von Juni bis September von jeweils 22 bis 6 Uhr morgens, exklusive Wochenenden: 88 Tage

Lüftung Büros		
Volumenstrom pro Geschoss tags [m³/h]	1 350	
Volumenstrom pro Geschoss nachts [m³/h]	2 050	
Luftwechsel tags (Bezug Bürofl.) [1/h]	1,3	
Luftwechsel nachts (Bezug Bürofl.) [1/h]	2	
Ventilator		
<i>Dachventilator Büros (13.000 m³/h) inkl. Jalousieklappe + Zubehör Preisliste Rosenberg, Typ DV 900-8 D (6300 €)</i>		
Motoraufnahmeleistung [kW]	3	
Taglüftung		
Motoraufnahmeleistung Taglüftung [kW]	0,86	
Betriebsstunden täglich [H]	13	DIN 18599
Arbeitstage Jahr [D]	250	DIN 18599
Betriebsstunden Jahr [H]	3 250	
Energiebedarf Taglüftung [kWh/a]	2 795	
[kWh/m²a]	0,92	
Nachtlüftung		
Motoraufnahmeleistung Nachtlüftung [kW]	3	
Betriebsstunden täglich [H]	8	DIN 18599
Arbeitstage Jahr [D]	88	DIN 18599
Betriebsstunden Jahr [H]	704	
Energiebedarf Nachtlüftung [kWh/a]	2 112	
[kWh/m²a]	0,69	
Gesamtenergiebedarf (Büros und WC) [kWh/m²a]	2,21	
Kosten Strom [€/kWh]	0,13	Recknagel Sprenger 03/04
[€/a]	874,5	
[€/m²]	0,29	

*Berechnung Strombedarf für Variante
Raumkühlung über Konvektoren*

Betrieb	Wert	Quelle
Lüftungsanlage WC		
Luftwechsel [1/h]	5	
Volumenstrom WC pro Geschoss [m³/h]	300	
Gesamtvolumenstrom [m³/h]	1800	
Betriebsstunden täglich [H]	14	DIN 18599
Arbeitstage Jahr [D]	250	DIN 18599
Betriebsstunden Jahr [H]	3 500	
Ventilator		
<i>Dachventilator WCs (2 000 m³/h) inkl. Jalousieklappe + Zubehör Preisliste Rosenberg, Typ DV 400-4 E (750 €)</i>		
Motoraufnahmeleistung [kW]	0,52	
Energiebedarf Lüftung WC [kWh/a]	1 820	
[kWh/m²a]	0,60	
Lüftung Büros		
Volumenstrom pro Geschoss tags [m³/h]	1 350	
Luftwechsel tags (Bezug Bürofl.) [1/h]	1,3	
Ventilator		
<i>Lüftungszentralgerät (ZU 11.000 m³/h; AB 8.500 m³/h) inkl. Zubehör</i>		
Motoraufnahmeleistung [kW]	5,50	
Energiebedarf Lüftung Büros [kWh/m²a]	5,40	MEG Lüftung
Energiebedarf Lüftung Büros + Wc [kWh/m²a]	6,00	
Kühlung Büros		
Annahmen		
spez. Kühlleistung Büros [W/m²]	35	
erforderliche Kühlleistung je 2-Achs Büro [W]	470	
<i>weitere Annahmen für Berechnung siehe gesonderte Tabelle</i>		
Energiebedarf Kühlung Büros [kWh/m²a]	5,70	MEG Lüftung

Tabelle D.3
Grundlagen und Berechnungsergebnisse

Gesamt		
Gesamtenergiebedarf (Büros und WC) [kWh/m²a]	11,70	
Kosten Strom [€/kWh]	0,13	Recknagel Sprenger 03/04
Kosten Strom Lüftung [€/a]	2.378,00	
Kosten Strom Kühlung [€/a]	2.260,00	
Kosten Strom Lüftung [€/m²a]	0,78	
Kosten Strom Kühlung [€/m²a]	0,74	
Gesamt	1,52	

Grundlagen für Ermittlung Endenergiebedarf Kühlung

Der Stromverbrauch der Anlagen wurde mit Hilfe der Berechnungssystematik „Klimakälte“ erstellt, die Bestandteil der „Methodik zur Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden (MEG)“ ist [Knissel 2004]. Das Verfahren ermöglicht eine vereinfachte Abschätzung des Strombedarfs für Klimatisierung des gesamten Gebäudes.

Die Berechnung gliedert sich in zwei Schritte auf. Zunächst wird der Raumbedarf zum Einhalten der Komfortbedingungen berechnet, dann in einem zweiten Schritt der Strombedarf berechnet, der zur Abfuhr des Raumbedarfs durch die RLT-Anlage aufgewendet werden muss.

Der Raumkältebedarf wird mit dem Monatsbilanzverfahren nach Elsberger [Elsberger 2001] berechnet. Das Verfahren baut auf der [DIN EN 832: 1998-12] auf. Ein weiterer Bestandteil ist die überschlägige Abbildung der Anlagentechnik zur Kühlung, Ent- und Befeuchtung. Als Wetterdatensatz wird der Standardwetterdatensatz für Deutschland nach [DIN 4108-6: 2003-06] verwendet. Die Wetterdaten entsprechen dem Standardklima Deutschland aus der DIN 4108-6:2003-06. Nicht in der DIN enthaltene Daten sind mit Werten aus dem Standort Würzburg ergänzt.

Zonen	Entsprechend der Himmelsrichtung, Eckräume werden berücksichtigt
Fensterflächenanteil	40 %, Rahmenanteil: 30 %
Reduktionsfaktor Verschattung / Verschmutzung	0,75 (unverschattete Lage)
Sonnenschutz	außen liegende Metalllamellen, Abminderungsfaktor nach /DIN 4108-2:2003-07/ 0,25
Bauweise	Schwer (spezifische Speicherkapazität > 200 Wh/(m²K) nach /VDI 2078, 1996/
Bauteileigenschaften	U-Wert opake Bauteile 0,24 W/(m²K), U-Wert Verglasung: 1,1 W/(m²), g-Wert Verglasung: 58 %
Nutzung	Büroräume 5,2 * 3,9 m 2 Personen Büroräume 5,3 * 7,8 m 4-6 Personen
Interne Lasten	156 Wh/m²d
Zeiten	250 Nutzungstage pro Jahr, tägliche Nutzungszeit 11 h, dabei „Vollbetriebsfaktor“ für Personen und Geräte 6 h pro Tag
Luftwechsel Büros	Während Betrieb Anlage (14 h) 1,3 1/h
Luftwechsel WC	Während Betrieb Anlage (14 h) 5 1/h
Maximale Raumtemperatur Büros	26 °C

Tabelle D.4
Grundlagen Gebäude und Nutzung

Grundlast Kühlung	Nur über Ventilatorkonvektoren
Nachlüftung	Keine
Be- und Entfeuchtung	Keine
Zusätzliche Lüftung über Fenster	Keine
Zuluft	Lüftungsgitter max. Zulufttemperaturdifferenz 4 K
max. Kühlleistung Ventilatorkonvektoren	35 W/m ²
Jahresarbeitszahl Kälteanlage	2,5
Strombedarf für Umwälzpumpe (elektr. Leistungsaufnahme 500 W), Betrieb Ventilatorkonvektoren (elektr. Leistungsaufnahme 22 W pro Stück) und Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (elektr. Leistungsaufnahme 100 W)	Nach überschlägiger Berechnung macht dieser Hilfsstrombedarf rund 18 % des Gesamtstrombedarfs aus.

Tabelle D.5
Annahmen für Ventilatorkonvektoren

Büro Nordost	
Nutzkältebedarf	7,9 kWh/(m ² a)
Volllaststunden	427 h/a
Büro Ost, Südost, West, Nordwest	
Nutzkältebedarf	13,5 kWh/(m ² a)
Volllaststunden	481-574 h/a
Strombedarf Kühlung	5,7 kWh/m ² NGF gesamt 8,1 kWh/m ² NGF gekühlt

Tabelle D.6
Ergebnisse für Ventilatorkonvektor

*Berechnung Strombedarf Raumkühlung
über Kühldecke*

Betrieb	Wert	Quelle
<i>Lüftungsanlage WC</i>		
Luftwechsel [1/h]	5	
Volumenstrom WC pro Geschoss [m³/h]	300	
Gesamtvolumenstrom [m³/h]	1800	
Betriebsstunden täglich [H]	14	DIN 18599
Arbeitstage Jahr [D]	250	DIN 18599
Betriebsstunden Jahr [H]	3500	
Ventilator		
<i>Dachventilator WCs (2.000 m³/h) inkl. Jalousieklappe + Zubehör Preisliste Rosenberg, Typ DV 400-4 E (750 €)</i>		
Motoraufnahmeleistung [kW]	0,52	
Energiebedarf Lüftung WC [kWh/a]	1820	
[kWh/m²a]	0,60	
<i>Lüftung Büros</i>		
Volumenstrom pro Geschoss tags [m³/h]	1350	
Luftwechsel tags (Bezug Bürofl.) [1/h]	1,3	
Ventilator		
<i>Lüftungszentralgerät (ZU 11.000 m³/h; AB 8.500 m³/h) inkl. Zubehör</i>		
Motoraufnahmeleistung [kW]	5,50	
Energiebedarf Lüftung Büros [kWh/m²a]	5,40	MEG Lüftung
Energiebedarf Lüftung Büros + Wc [kWh/m²a]	6,00	
<i>Kühlung Büros</i>		
Annahmen		
spez. Kühlleistung Büros [W/m²]	35	
erforderliche Kühlleistung je 2-Achs Büro [W]	470	
<i>weitere Annahmen für Berechnung siehe gesonderte Tabelle</i>		
Energiebedarf Kühlung Büros [kWh/m²a]	5,70	MEG Lüftung

Tabelle D.7
Grundlagen und Berechnungsergebnisse

Gesamt		
Gesamtenergiebedarf (Büros und WC) [kWh/m²a]	11,70	
Kosten Strom [€/kWh]	0,13	Recknagel Sprenger 03/04
Kosten Strom Lüftung [€/a]	2.378,00	
Kosten Strom Kühlung [€/a]	2.260,00	
Kosten Strom Lüftung [€/m ² a]	0,78	
Kosten Strom Kühlung [€/m ² a]	0,74	
Gesamt	1,52	

Grundlast Kühlung	Nur über Kühldecke
Nachlüftung?	Keine
Be- und Entfeuchtung	Keine
Zusätzliche Lüftung über Fenster	Keine
Zuluft	Lüftungsgitter max. Zulufttemperaturdifferenz 4 K
max. Kühlleistung Kühldecke	60 W/m ²
Jahresarbeitszahl Kälteanlage	2,5
Strombedarf für Umwälzpumpe (elektr. Leistungsaufnahme 1000 W) und Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (elektr. Leistungsaufnahme 100 W)	Nach überschlägiger Berechnung macht dieser Hilfsstrombedarf rund 8 % des Gesamtstrombedarfs aus.

Tabelle D.8
Annahmen für Kühldecke

Büro Nordost Nutzkältebedarf Volllaststunden	7,6 kWh/(m ² a) 326 h/a
Büro Ost, Südost, West, Nordwest Nutzkältebedarf Volllaststunden	12,8 kWh/(m ² a) 415-439 h/a
Strombedarf Kühlung	5,2 kWh/m ² NGF gesamt 7,3 kWh/m ² NGF gekühlt

Tabelle D.9
Ergebnisse für Kühldecke

Anlagenschemata

Die nachfolgenden drei Schemata dokumentieren die gewählte Anlagenkonzeption für die Planungsvarianten:

- Abluftanlage,
- Zu- und Abluftanlage mit Kühlung über Ventilator-konvektoren, sowie
- Zu- und Abluftanlage mit Kühldecken.

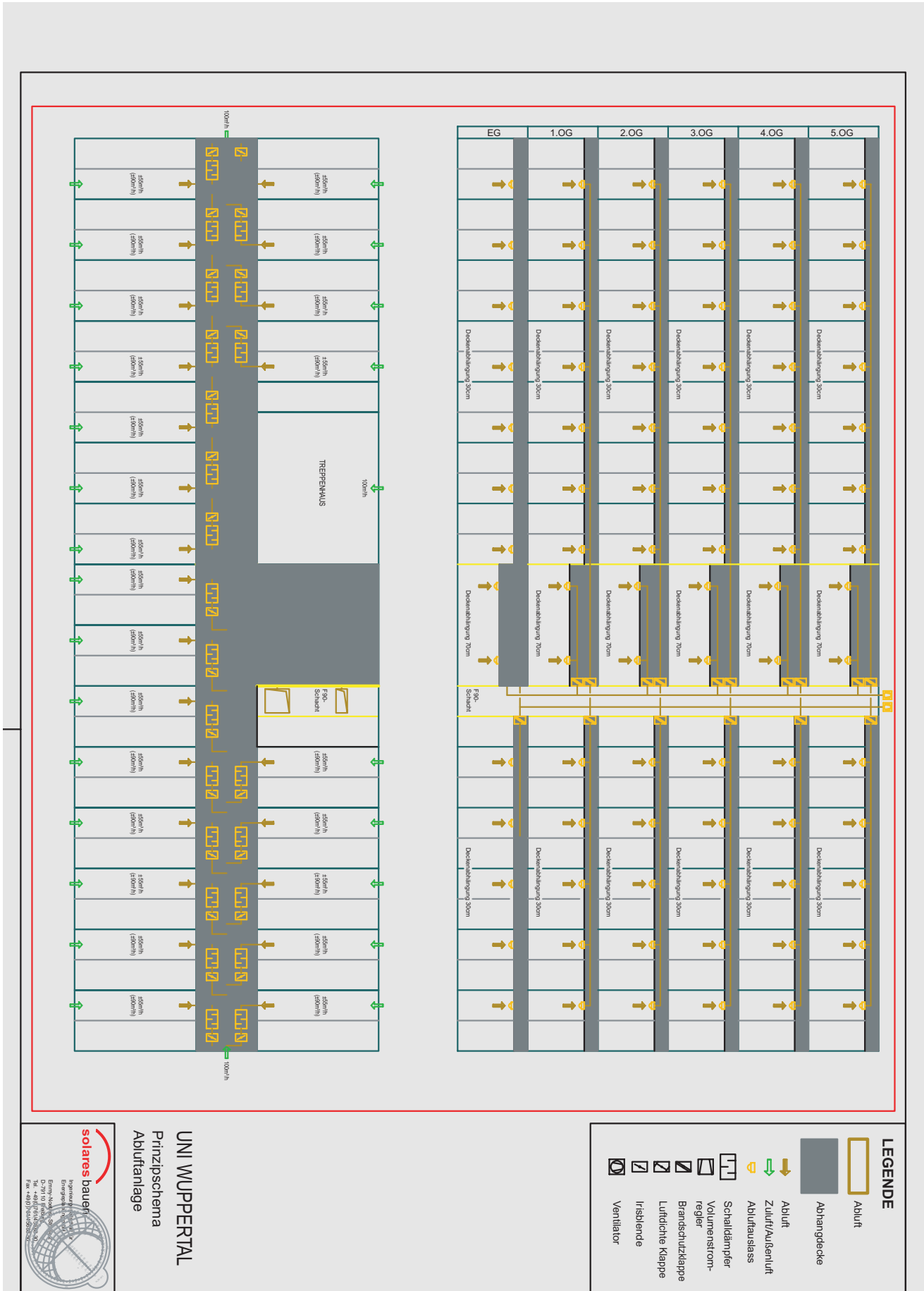


Abb. D.1 Schematische Darstellung der Variante mit Abluftanlage

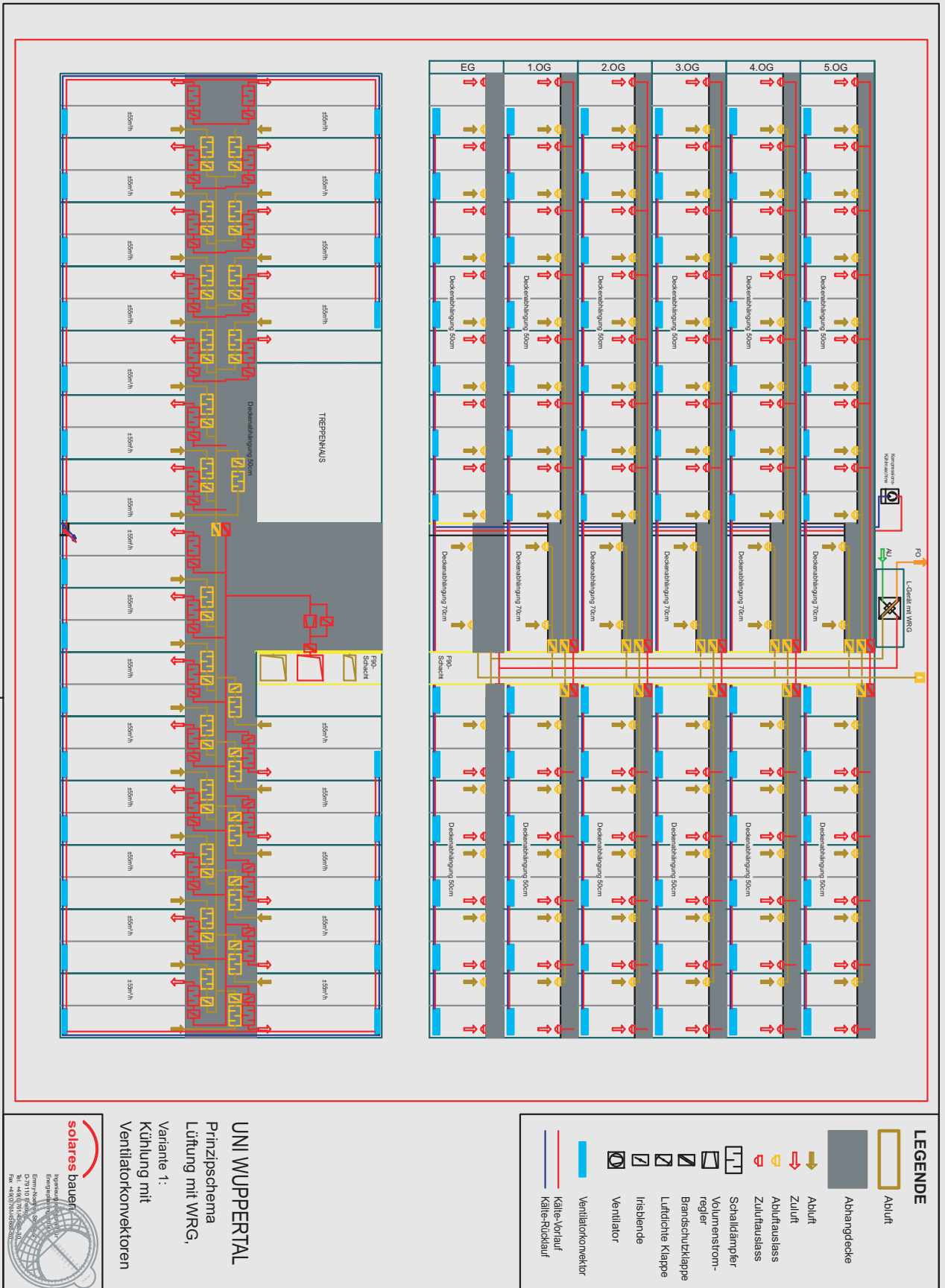


Abb. D.2 Schematische Darstellung der Variante mit Zu- und Abluftanlage mit Kühlung über Ventilatorkonvektoren

