



Andreas Wagner | Gerrit Höfker | Thomas Lützkendorf
Cornelia Moosmann | Karin Schakib-Ekbatan | Marcel Schweiker

Nutzerzufriedenheit in Bürogebäuden

Empfehlungen
für Planung und Betrieb

Fraunhofer IRB  Verlag



EnOB

Forschung für
Energieoptimiertes Bauen

Andreas Wagner | Gerrit Höfker | Thomas Lützkendorf |
Cornelia Moosmann | Karin Schakib-Ekbatan | Marcel Schweiker

Nutzerzufriedenheit in Bürogebäuden

Empfehlungen
für Planung und Betrieb

Andreas Wagner | Gerrit Höfker | Thomas Lützkendorf |
Cornelia Moosmann | Karin Schakib-Ekbatan | Marcel Schweiker

Nutzerzufriedenheit in Bürogebäuden

Empfehlungen
für Planung und Betrieb

Herausgeber

 **FIZ Karlsruhe**
Leibniz-Institut für
Informationsinfrastruktur

Fraunhofer IRB  **Verlag**

 **EnOB**
Forschung für
Energieoptimiertes Bauen

FIZ Karlsruhe GmbH macht im öffentlichen Auftrag wissenschaftliche Informationen zugänglich und verbreitet sie. Zu den Dienstleistungen gehören auch der BINE Informationsdienst und das Fachportal EnOB – Forschung für Energieoptimiertes Bauen. Sie präsentieren im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) aktuelle Ergebnisse aus der Energieforschung und dem Schwerpunktthema energieoptimiertes Bauen.

Das Fachbuch »Nutzerzufriedenheit in Bürogebäuden – Empfehlungen für Planung und Betrieb« basiert auf den in zahlreichen Forschungsprojekten gesammelten Erfahrungen.

Weitere Informationen finden Sie unter: www.enob.info und www.bine.info

Fachliches Lektorat:
Dorothee Gintars, BINE Informationsdienst
Tel.: +49 2 28 923 79-0, E-Mail: kontakt@bine.info



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-8167-9305-2
ISBN (E-Book): 978-3-8167-9306-9

Herstellung: Angelika Schmid
Umschlaggestaltung: Martin Kjer
Satz: Mediendesign Späth, Birenbach
Druck: Druckerei & Verlag Steinmeier GmbH & Co. KG, Deiningen

Die hier zitierten Normen sind mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© FIZ Karlsruhe GmbH, 2015

Verlag und Vertrieb:
Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon +49 711 970-2500
Telefax +49 711 970-2508
irb@irb.fraunhofer.de
www.baufachinformation.de

Inhaltsverzeichnis

- Nutzerzufriedenheit planen, bewerten und beeinflussen 11
Andreas Wagner, Thomas Lützkendorf
- 1 Nutzerzufriedenheit in Planung und Gebäudebetrieb 15
- 1.1 Nutzerzufriedenheit – eine Heranführung an die Thematik 17
Andreas Wagner, Thomas Lützkendorf
 - 1.1.1 Begriffsdefinitionen 17
Andreas Wagner, Thomas Lützkendorf
 - 1.1.2 Nutzerzufriedenheit bewerten 19
Andreas Wagner, Thomas Lützkendorf
 - 1.1.3 Quellen und weiterführende Literatur 21
- 1.2 Anforderungen aus Bauherren- und Arbeitgebersicht 22
Thomas Lützkendorf
 - 1.2.1 Systematik von Akteuren, Rollen und Perspektiven 22
Thomas Lützkendorf

1.2.2	Arbeitgeberpflichten als Grundlage für Bedarfsplanung und Aufgabenstellung	25
	Thomas Lützkendorf	
1.2.3	Nutzerzufriedenheit aus Bauherrensicht	26
	Thomas Lützkendorf	
1.2.4	Quellen und weiterführende Literatur	30
1.3	Komfort und Arbeitsplatzqualität als Ziel der Planung	31
	Andreas Wagner	
1.3.1	Komfort und Arbeitsplatzqualität planen	31
	Andreas Wagner	
1.3.2	Planungsgrößen und Planungswerkzeuge	33
	Andreas Wagner	
1.3.3	Fazit	36
	Andreas Wagner	
1.4	Nutzerzufriedenheit im Betrieb sicherstellen	38
	Thomas Lützkendorf	
1.4.1	Aufgaben und Handlungsmöglichkeiten	39
	Thomas Lützkendorf, Benjamin Ströbele	
1.4.2	Internes Zufriedenheitsmanagement	41
	Thomas Lützkendorf, Benjamin Ströbele	
1.4.3	Quellen und weiterführende Literatur	45
2	Komfort an Büroarbeitsplätzen – wissenschaftliche Grundlagen und Planungsempfehlungen	47
2.1	Thermische Behaglichkeit	49
	Marcel Schweiker	
2.1.1	Wissenschaftliche Grundlagen	50
	Runa Tabea Hellwig	
2.1.2	Gesetzliche und normative Grundlagen	52
	Runa Tabea Hellwig	
2.1.3	Modellansätze vergleichen	56
	Runa Tabea Hellwig	
2.1.4	Aktuelle Tendenzen in der Forschung zum sommerlichen thermischen Komfort	57
	Marcel Schweiker	
2.1.5	Inhomogenes Raumklima bewerten	59
	Conrad Völker	
2.1.6	Spannungsfeld: Thermische Behaglichkeit – Leistung – Energieeffizienz	62
	Runa Tabea Hellwig	
2.1.7	Erfahrungen aus Felduntersuchungen zum adaptiven Komfort	64
	Cornelia Moosmann, Doreen Kalz, Marcel Schweiker	
2.1.8	Erkenntnisse aus dem Gebäudemonitoring zum sommerlichen thermischen Komfort	69
	Doreen Kalz, Jens Pfafferott	

2.1.9	Planungs- und Handlungsempfehlungen zum thermischen Komfort	75
	Marcel Schweiker	
2.1.10	Quellen und weiterführende Literatur	77
2.2	Luftqualität in Innenräumen	80
	Andreas Wagner	
2.2.1	Luftinhaltsstoffe und ihre Quellen	81
	Runa Tabea Hellwig, Christian Scherer	
2.2.2	Luftinhaltsstoffe gesundheitlich und sensorisch bewerten	82
	Runa Tabea Hellwig, Christian Scherer	
2.2.3	Materialemissionen und Bioeffluente	85
	Runa Tabea Hellwig, Christian Scherer	
2.2.4	Erforderliche Lüftungsöffnungen und Luftmengen	88
	Runa Tabea Hellwig, Christian Scherer	
2.2.5	Qualität der Innenraumluft im Planungsprozess und im Gebäudebetrieb	90
	Runa Tabea Hellwig, Christian Scherer	
2.2.6	Quellen und weiterführende Literatur	94
2.3	Visueller Komfort	97
	Cornelia Moosmann	
2.3.1	Grundlegende Zusammenhänge und Einflussgrößen	98
	Birthe Tralau	
2.3.2	Nutzerbewertung von Tageslicht	102
	Cornelia Moosmann	
2.3.3	Aufgaben und Wirkung künstlicher Beleuchtung	105
	Christoph Schierz	
2.3.4	LED-Leuchten in der Allgemeinbeleuchtung	108
	Martine Knoop	
2.3.5	Biologische Lichtwirkungen	110
	Andreas Woitysiak	
2.3.6	Empfehlungen für Planungspraxis und Gebäudebetrieb	112
	Jan de Boer	
2.3.7	Quellen und weiterführende Literatur	119
2.4	Auditiver Komfort	122
	Gerrit Höfker	
2.4.1	Belästigung und kognitive Leistungseinbußen durch ungewollte Schalle	123
	Markus Meis	
2.4.2	Schallschutz und Raumakustik	126
	Elmar Schröder	
2.4.3	Quellen und weiterführende Literatur	131

2.5	Individuelle Regelmöglichkeiten	133
	Marcel Schweiker	
2.5.1	Einfluss der Regelmöglichkeiten auf die Nutzerzufriedenheit	133
	Marcel Schweiker, Jessica Brensing	
2.5.2	Ausreichend viele und effektive Regelmöglichkeiten	134
	Marcel Schweiker, Jessica Brensing	
2.5.3	Regelmöglichkeiten verstehen	135
	Marcel Schweiker, Jessica Brensing	
2.5.4	Umweltkontrolle ermöglichen	136
	Rotraut Walden	
2.5.5	Nutzerverhalten, Komfort und Energie – Erfahrungen und Planungsempfehlungen	137
	Rune Korsholm Andersen, Valentina Fabi, Marcel Schweiker	
2.5.6	Quellen und weiterführende Literatur	140
2.6	Weitere Umwelteinflüsse	143
	Andreas Wagner	
2.6.1	Elektromagnetische Felder und deren Wirkung	143
	Andreas Woitysiak	
2.6.2	Quellen und weiterführende Literatur	146
2.7	Raumkonzept und Raumgestaltung	147
	Karin Schakib-Ekbatan	
2.7.1	Architekturpsychologische Grundlagen	147
	Karin Schakib-Ekbatan	
2.7.2	Wirkung räumlicher Bedingungen am Arbeitsplatz	151
	Karin Schakib-Ekbatan	
2.7.3	Psychologische Wirkung von Farben im Büro	152
	Karin Schakib-Ekbatan	
2.7.4	Moderne Arbeitswelten und Nutzerzufriedenheit	153
	Roman Wagner	
2.7.5	Gestaltung und ihr gezielter Einsatz im Büro	156
	Roman Wagner	
2.7.6	Quellen und weiterführende Literatur	162

3	Nutzerzufriedenheit im Kontext	165
3.1	Zusammenhänge von Komfortaspekten am Arbeitsplatz und Einflüsse auf die Gesamtbeurteilung eines Gebäudes	167
	Karin Schakib-Ekbatan	
3.1.1	Einzelne Komfortparameter beeinflussen die Gesamtbewertung	168
	Karin Schakib-Ekbatan	
3.1.2	Bewertung des Gesamtgebäudes	169
	Karin Schakib-Ekbatan	
3.1.3	Quellen	171
3.2	Nutzerzufriedenheit im Kontext der Nachhaltigkeitsbewertung	172
	Thomas Lützkendorf, Karin Schakib-Ekbatan	
3.2.1	Nutzerzufriedenheit als Teilaspekt der Nachhaltigkeit	172
	Thomas Lützkendorf	
3.2.2	Nutzerzufriedenheitsanalysen – Grundlagen und Erfahrungen	179
	Karin Schakib-Ekbatan	
3.2.3	Nutzerzufriedenheit über standardisierte Fragebögen bewerten	182
	Karin Schakib-Ekbatan	
3.2.4	Quellen und weiterführende Literatur	185
3.3	Praxisbeispiele für Nutzerzufriedenheitsanalysen	188
	Karin Schakib-Ekbatan, Cornelia Moosmann	
3.3.1	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg	190
	Cornelia Moosmann	
3.3.2	Technische Betriebe Remscheid (ehemals Remscheider Entsorgungsbetriebe)	192
	Karin Schakib-Ekbatan	
3.3.3	Stadtwerke Unna	194
	Karin Schakib-Ekbatan	
3.3.4	Umweltbundesamt, Standort Dessau	196
	Karin Schakib-Ekbatan	
3.3.5	Dienstleistungs- und Verwaltungszentrum Barnim (Paul-Wunderlich-Haus), Eberswalde	198
	Karin Schakib-Ekbatan	
4	Anhang	201
4.1	Glossar	203
4.2	Verordnungen, Normen, Richtlinien	211
4.3	Abbildungsverzeichnis	215
4.4	Autorenverzeichnis	217

Nutzerzufriedenheit planen, bewerten und beeinflussen

Andreas Wagner, Thomas Lützkendorf

Eine der primären Aufgaben der Architektur ist es, Räume mit hoher Aufenthaltsqualität für Nutzer zu schaffen, das heißt, Räume, in denen sich Menschen wohlfühlen und die deren Gesundheit auch auf lange Sicht nicht beeinträchtigen. Hinter diesem zunächst vielleicht banal klingenden Postulat verbirgt sich aber eine Vielzahl höchst unterschiedlicher Raumqualitäten, die von räumlich-gestalterischen Komponenten über materialbezogene Fragestellungen bis hin zum Raumklima im weitesten Sinne reichen. Helle Räume, die gutes Licht zum Lesen oder Arbeiten bieten und die im Sommer nicht zu warm werden, Einbauten und Mobiliar, die einen Raum sinnvoll gliedern und ggf. auch die Schallausbreitung kontrollieren, frische Luft, ohne dass man unter Zugerscheinungen leidet – dies sind nur einige, aber wohlbekannte Aspekte, die die Aufenthaltsqualität in Räumen und damit die Nutzerzufriedenheit mitbestimmen. Wechselwirkungen zwischen den Größen und die Abhängigkeit von weiteren

Parametern und dem lokalen Außenklima erhöhen die Komplexität der Aufgabe.

Der Zufriedenheit von Nutzern mit ihrer unmittelbaren räumlichen Umgebung kommt insbesondere an Arbeitsplätzen eine große Bedeutung zu. Nur wenn sich Menschen an ihrem Arbeitsplatz wohlfühlen, werden sie eine hohe Motivation und Leistungsbereitschaft zeigen. Außerdem ist es – im Gegensatz zum privaten Wohnumfeld – in der Regel schwierig bzw. nicht möglich, den Arbeitsplatz (länger) zu verlassen, wenn der Komfort gestört wird. Da Personalkosten in Arbeitsstätten deutlich über allen anderen Kosten für den Betrieb eines Gebäudes liegen, sind arbeitsplatzbezogene Maßnahmen zur Förderung der Leistungsfähigkeit auch in wirtschaftlicher Hinsicht von größter Relevanz. Natürlich kommen weitere Faktoren hinzu, wie Selbstbestimmtheit bei der Erfüllung von Arbeitsaufgaben, Eigenverantwortung, Verhältnis zu Mitarbeitern und Vorgesetzten, die hier aber nicht Gegenstand der Betrachtung sind.

Ziel sind also Arbeitsplätze, die eine hohe Nutzungsqualität und Funktionalität aufweisen und damit langfristig eine für Gesundheit, Wohlbefinden und Zufriedenheit förderliche Arbeitsumgebung bieten. In dem vorliegenden Buch stehen dabei Büroarbeitsplätze im Mittelpunkt. Obwohl die Aufgabe klar ist und auch die Bedeutung des Themas unstrittig scheint, findet Nutzerzufriedenheit im Planungsalltag und im Gebäudebetrieb bislang nur wenig Beachtung bzw. wird nicht explizit adressiert. Während zur ökologischen und ökonomischen Bewertung von Gebäuden bereits Methoden und Kenndaten zur Verfügung stehen (z. B. Monitoring des Energieverbrauchs und der Betriebskosten, Lebenszyklusanalyse) und in der Immobilienwirtschaft eingeführt sind, fehlt es momentan noch an erprobten Verfahren, um die Akzeptanz und das Wohlbefinden der Gebäudenutzer an ihrem Arbeitsplatz zu planen und zu bewerten.

Diese Lücke will das Buch schließen, indem es systematisch die verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse und Vorgaben in Verordnungen, Richtlinien, Normen etc. zu dem Themenfeld sammelt, ordnet und darstellt, sie aber gleichzeitig auch in den Kontext der Gebäudeplanung und -bewirtschaftung rückt. Es möchte die Leserinnen und Leser dafür sensibilisieren und mit Informationen unterstützen, wie sich die Zufriedenheit der Nutzer von Bürogebäuden planen, bewerten und beeinflussen lässt. Dabei wird nicht nur die Perspektive von Mitarbeitern auf ihren Arbeitsplatz beleuchtet. Vielmehr wird zwischen individuellen und institutionellen Nutzern unterschieden, Nutzer sind damit auch Organisationen bzw. Unternehmen, die ein Gebäude für sich gebaut bzw. gekauft oder gemietet haben.

Das Thema hat in zweierlei Hinsicht in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen und ist damit auch Inhalt zahlreicher Forschungsvorhaben. Zum einen besteht ein enger Zusammenhang zwischen dem Energiekonzept eines Gebäudes und der Nutzerzufriedenheit. Art und Ausführung passiver (Gebäudeentwurf und Baukonstruktion) und aktiver (gebäudetechnischer) Maßnahmen zur Raumklimatisierung sowie der tatsächliche Betrieb und Eingriffsmöglichkeiten durch den Nutzer bestimmen maßgeblich die Akzeptanz und die Zufriedenheit und können sich darüber deutlich auf den Energieverbrauch auswirken. Dieser Zusammenhang wurde u. a. an zahlreichen Gebäuden im Rahmen der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Forschungsinitiative »Energie-

optimiertes Bauen – EnOB« untersucht bzw. ist auch Gegenstand aktueller Forschung der Bundesregierung zur Modellierung und Simulation des Nutzerverhaltens in Gebäuden.

Zum anderen ist die Nutzerzufriedenheit als Teil der sogenannten soziokulturellen Nachhaltigkeit wesentlicher Bestandteil der Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden. Hier geht es darum, gängige Berechnungs- und Bewertungsverfahren für einzelne Komfortparameter stimmig in das Bewertungsmodell zur Nachhaltigkeitsbewertung und -zertifizierung einzubinden. Aktuelle Arbeiten im Rahmen des vom Bundesbauministerium (BMUB) herausgegebenen Leitfadens »Nachhaltiges Bauen« sind darauf ausgerichtet, sich noch stärker mit der Phase der Nutzung und Bewirtschaftung von Gebäuden zu befassen und daher die Bewertung der Nutzerzufriedenheit im laufenden Gebäudebetrieb in das Gesamtverfahren zu integrieren.

Aus diesem Forschungskontext heraus ist in der EnOB-Begleitforschung der Entschluss gereift, vorhandenes Grundlagenwissen mit Ergebnissen und Erfahrungen aus der Performance-Analyse von Gebäuden in Form des vorliegenden Buches zusammenzuführen. Mit der Unterstützung namhafter Autoren aus den einzelnen Fachdisziplinen wird damit das Themenfeld zum ersten Mal in seiner Gesamtheit dargestellt und sowohl aus wissenschaftlicher wie auch praktischer Sicht beleuchtet.

Teil 1 des Buches arbeitet zunächst die Bedeutung der Nutzerzufriedenheit heraus und zeigt auf, wie die Weichen für die Zufriedenheit der Nutzer in den Phasen der Aufgabenstellung, Planung sowie der Inbetriebnahme und des Betriebs von Bürogebäuden gestellt werden. Hierzu werden den vielfältigen Anforderungen verfügbare Informationsquellen und Hilfsmittel zugeordnet. Die Autoren sprechen damit die verschiedenen Zielgruppen der Auftraggeber, Bauherren, Planer, Bewirtschafter und Facility-Manager direkt in Bezug auf ihren jeweiligen Aufgaben- und Verantwortungsbereich an.

Die Zufriedenheit der Nutzer wird durch eine Vielzahl unterschiedlicher Faktoren beeinflusst. Sie bilden ein komplexes Wirkungsgefüge, das aus Gründen der Übersichtlichkeit und Verständlichkeit zunächst in eine Reihe von Einzelaspekten aufgelöst wird. Ausgewiesene Fachleute erläutern diese dem Thema Komfort im weitesten Sinne zuordenbare Einzelaspekte in Teil 2 des Buches ausführlich. Ziel ist es, wissenschaftliche Grundlagen, Zusammenhänge und praktische Hinweise in einer Weise zu vermitteln, die für alle am Bau und Betrieb von

Gebäuden Beteiligten verständlich ist. Die Basis bilden dabei die aktuelle Literatur und der Stand der Forschung. Weil die Themen im Teil 2 des Buches einzeln und damit relativ selbstständig behandelt werden, wird es dem Leser ermöglicht, auch unmittelbar in interessierende Einzelaspekte einzusteigen.

Das Zusammenspiel der Einzelaspekte erläutert Teil 3. Er stellt dar, wie die Komfortparameter und ihre Wechselwirkung die Gesamtzufriedenheit der Nutzer beeinflussen. Zusätzlich vermittelt er, wie sich aus der Betrachtung von Parametern in Einzelräumen auf die Qualität eines Gebäudes schließen lässt. Empfehlungen für die Planungspraxis und den Gebäudebetrieb ergänzen daher die Darstellung. Komfortniveau und Nutzerzufriedenheit sind heute auch unverzichtbare Themen für die Nachhaltigkeitsbewertung von Bauwerken und die Nachhaltigkeitsberichterstattung von Organisationen und Unternehmen. Deshalb werden hierfür ebenso Anforderungen und Vorgehensweisen vorgestellt.

Hinweise zu weiterführender Literatur ergänzen die verwendeten Quellen und die Zusammenstellung aller wesentlichen Normen, Richtlinien und Verordnungen. Die Leserinnen und Leser können sich mit dem Buch sowohl in eine komplexe Thematik einarbeiten, als sich auch vertieft mit verschiedenen Detailthemen auseinandersetzen – immer verbunden mit Empfehlungen für die

Umsetzung von vorhandenen Kenntnissen in die Praxis im Rahmen der Gebäudeplanung und -bewirtschaftung.

Die Koordinatoren bedanken sich in erster Linie beim BMWi, ohne dessen Projektförderung das Buch nicht entstanden wäre. Weiterhin ein großer Dank an alle Autoren für die Beiträge und qualifizierten Rückmeldungen zu den einzelnen Kapiteln. Dorothee Gintars von FIZ Karlsruhe-BINE Informationsdienst hat mit ihrem gewissenhaften und fachkundigen Lektorat für bestmögliche Synergie zwischen wissenschaftlichem Anspruch und Praxisorientierung gesorgt. Weiterhin erwähnt werden müssen Moritz M. Karl, der sich mit großem Engagement und Können um die Grafiken im Buch verdient gemacht hat, und Sophia Winterwerber aus dem Fotolabor der Architekturfakultät des KIT mit verschiedenen Fotos für die Kapitelauftaktseiten. Nicht zuletzt auch ein herzlicher Dank an den BINE Informationsdienst sowie den Fraunhofer IRB Verlag, die die Idee zu dem Buch sofort mit großem Interesse aufgenommen und es in Folge in reibungsloser Zusammenarbeit unterstützt und mit umgesetzt haben.



1 Nutzerzufriedenheit in Planung und Gebäudebetrieb

1.1	Nutzerzufriedenheit – eine Heranführung an die Thematik	17
1.2	Anforderungen aus Bauherren- und Arbeitgebersicht	22
1.3	Komfort und Arbeitsplatzqualität als Ziel der Planung	31
1.4	Nutzerzufriedenheit im Betrieb sicherstellen	38



1.1 Nutzerzufriedenheit – eine Heranführung an die Thematik

Andreas Wagner, Thomas Lützkendorf

Gute Arbeitsbedingungen im Hinblick auf den Komfort sind eine Voraussetzung für die optimale Erfüllung von Arbeitsaufgaben und die Zufriedenheit der Nutzer. Man kann davon ausgehen, dass sich die Nutzerzufriedenheit auch auf die Leistungsbereitschaft und Leistungsfähigkeit auswirkt. Ein wesentliches Teilziel der Planung und Bewirtschaftung von Bürogebäuden ist es deshalb, eine möglichst hohe Zufriedenheit der Nutzer bzw. der relevanten Nutzergruppen dauerhaft sicherzustellen. Dies kann eine kontinuierliche Verbesserung der Arbeitsumgebung in der Nutzungsphase einschließen. Die Zufriedenheit der Nutzer stellt auch bei Effizienzbetrachtungen einen wesentlichen Aspekt für den Nutzen von Gebäuden dar. Diesem kann ein baulicher, technischer, organisatorischer, ökonomischer oder auch ökologischer Aufwand gegenübergestellt werden.

1.1.1 Begriffsdefinitionen

Nutzerzufriedenheit und Komfort sind Begriffe, die unmittelbar mit der Ausgestaltung und Nutzung von Innenräumen zusammenhängen. Wenngleich jeder sofort Vorstellungen und vielleicht auch Kriterien zu deren Bewertung parat hat, ist es jedoch nicht einfach, diese Aspekte zu einer umfassenden und allgemein anerkannten Definition zusammenzufassen. Je nach Fachdisziplin bzw. Fokus spielen in die Beschreibung der Wirkungen von gebauter Umwelt auf den Menschen bzw. zur Beurteilung von Zufriedenheit weitere Themen und Begriffe hinein, wie Wohlbefinden, Behaglichkeit, Gesundheit oder Stress, **sick building syndrome** bzw. **building related illness**. Als Basis für die weitere Auseinandersetzung mit der Thematik in diesem Buch werden zunächst die Begriffe »Nutzerzufriedenheit« und »Komfort« näher definiert.

Tab. 1.1-1: Ausgewählte direkte und indirekte Einflussgrößen auf die Nutzerzufriedenheit

Entwurfsentscheidungen (Auswahl)	Komfortaspekte/ Komfortkategorien	Gebäude- und Raumparameter (Auswahl)
<ul style="list-style-type: none"> – Art und Wärmedämmung der Außenbauteile – Bauweise (leicht/massiv) – Art, Größe und Lage der Fenster – Art der Verschattung – Raumgeometrie – Art und Eigenschaften der Innenbauteile – Heizflächen/-körper – Art der Lüftung, Position/Art der Luftauslässe – Beleuchtungsanlage – Standort von Druckern/Kopierern – Art und Umfang einer Begrünung – Art der Möblierung – Wahl von Bauprodukten (insbesondere mit Kontakt zur Raumluft) 	<ul style="list-style-type: none"> – thermischer Komfort (Winter/Sommer) – visueller Komfort (Tages-/Kunstlicht) – auditiver Komfort (Raumakustik/Schallschutz) – olfaktorischer Komfort (Raumluftqualität) – Raumgestaltung (Geometrie/Ausstattung) 	<ul style="list-style-type: none"> – operative Temperatur, Raumlufttemperatur – Oberflächentemperaturen – Temperaturgradient, -asymmetrie – Luftgeschwindigkeit – Luftfeuchtigkeit – Luftqualität (Konzentration an Inhaltsstoffen) – geruchliche Frische – Kontraste (Blendung) – Lichtfarbe – Nachhallzeit – Schalldruckpegel – Sprachverständlichkeit
Standortsituation/ Standortbedingungen (Auswahl)	Nutzeranforderungen/ Nutzungsbedingungen	individuelle Situation und Verfassung
<ul style="list-style-type: none"> – Außenklima – Qualität der Außenluft – Außenlärmpegel – lokale Besonnung/Verschattung – Radonkonzentration 	<ul style="list-style-type: none"> – Belegungsdichte – Nutzungsart/Aktivitätsgrad – Nutzungsdauer – Grundgeräuschpegel – verwendete Reinigungsmittel – verwendetes Büromaterial – Dresscode/Bekleidungs Vorgaben – Ausstattung mit Geräten 	<ul style="list-style-type: none"> – Geschlecht, Alter – Ernährung – Gesundheitszustand – Bekleidung – Arbeitszufriedenheit

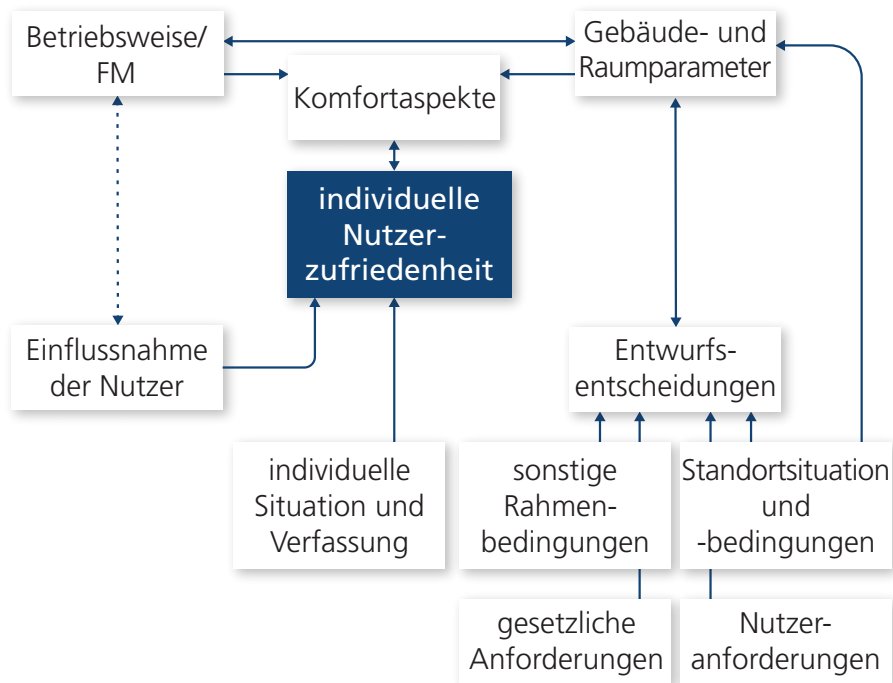


Abb. 1.1-1: Individuelle Nutzerzufriedenheit – Einflussgrößen und Wirkungsketten

Zufriedenheit wird in psychologischen Modellen zum subjektiven Wohlbefinden zumeist als kognitive Komponente definiert (Mayring, 2000). Hierunter lässt sich, bezogen auf die Arbeitsplatzbedingungen, ein Prozess der bilanzierenden Bewertung verstehen, in den bei der Abwägung positiver und negativer Aspekte beispielsweise Erwartungen oder Erfahrungen (z. B. mit anderen Arbeitsplätzen) einfließen können.

Mit dem Begriff Komfort wird in der einschlägigen Literatur mehr das sensorische Empfinden und damit auch die körperliche Reaktion auf verschiedene Umweltreize wie Temperatur, Lichtintensität oder Geräuschpegel verbunden (siehe z. B. Parsons, 2003). Da diese Reizverarbeitung nicht ohne – individuell meist unterschiedliche – subjektive Interpretation erfolgt, unterliegt auch das Komfortempfinden wertenden Prozessen. Dem kann bei der Komfortbewertung dadurch Rechnung getragen werden, dass neben dem »reinen« Empfinden explizit auch die Akzeptanz bzw. eine Präferenz mit einbezogen wird.

Gängige Modelle zur Bewertung des Komforts mit seinen verschiedenen Facetten – thermisch, **olfaktorisch**, visuell, **auditiv** – ordnen das sensorische Empfinden bei vorgegebenen Randbedingungen unterschiedlich hohen Zufriedenheitsgraden zu (siehe z. B. Hellwig 2005). Über die erwartete Anzahl Unzufriedener werden dann Komfortgrenzen festgelegt. Letztere stellen allgemeingültige, über wissenschaftliche Versuche belegte und oft in Normen verankerte Konventionen dar, von denen sich individuelle Zufriedenheitsbewertungen jedoch unterscheiden können. Jemand kann beispielsweise mit der Raumtemperatur an seinem Arbeitsplatz unzufrieden sein bzw. eine andere Präferenz haben (z. B. »kühler«), auch wenn die vorliegenden Umgebungsbedingungen nicht außerhalb der in Normen vereinbarten Grenzen liegen (z. B. 25°C Raumtemperatur) bzw. sein diesbezüglich geäußertes Empfinden dies noch nicht klar zum Ausdruck bringt (z. B. Bewertung zwischen »neutral« und »leicht warm«).

Über das sensorische Empfinden kann also eine Zufriedenheit mit bestimmten Randbedingungen des Arbeitsplatzes festgestellt werden. Die reale Arbeitsumwelt ist jedoch komplexer – sie umfasst bauliche Komponenten, veränderliche raumklimatische Randbedingungen wie Belichtung/Beleuchtung, Raumtemperatur, Luftqualität, Akustik/Geräuschpegel, aber auch ergonomische und gestalterische Aspekte (vgl. Tab. 1.1-1). Die Zusammenhänge zwischen den räumlich-physikalischen und den personenbezogenen Faktoren sind dabei mehr-



Abb. 1.1-2: Attraktive Arbeitsplätze schaffen zufriedene Nutzer.

dimensional. In Wechselwirkung mit der Akzeptanz der Arbeitsumgebung steht beispielsweise die Möglichkeit, die Umgebungsbedingungen zu beeinflussen, etwa bei der Regelung der Raumtemperatur. Darüber hinaus sind Besonderheiten der organisatorischen Arbeitsumgebung, das Raumkonzept, psychosoziale Bedingungen am Arbeitsplatz sowie weitere über den eigentlichen Arbeitsplatz hinausgehende Gebäudequalitäten relevant.

Die individuelle Nutzerzufriedenheit ist also eingebettet in komplexe Wirkungsketten. Diese gehen i. d. R. von Gebäude- und Raumparametern aus, die sich aus baulichen, technischen und organisatorischen Bedingungen ergeben und z. T. auch durch das individuelle Nutzerverhalten beeinflusst werden (siehe Abb. 1.1-1). Damit wird eine alles berücksichtigende Nutzerzufriedenheit schwer fassbar und »messbar«. In diesem Buch wird deshalb unter der Zufriedenheit individueller Nutzer (Nutzerzufriedenheit) im engeren Sinne der Grad der persönlichen Zufriedenheit mit dem thermischen, visuellen und auditiven Komfort, der Raumluftqualität sowie der Büroausstattung und -gestaltung verstanden.

1.1.2 Nutzerzufriedenheit bewerten

Nutzerzufriedenheit in Planung und Betrieb bewerten

Bei der Planung von Gebäuden existieren für die über die sensorische Wahrnehmung bestimmten Komfortbereiche Bemessungsverfahren mit einzuhaltenden Sollwerten auf

Basis von Normen und Richtlinien. Diese können selbstverständlich nur physikalische, damit allerdings objektiv messbare Parameter beinhalten. Die Raumparameter wirken sich auf die Gesundheit und das Befinden der Nutzer aus. Ergibt sich im positiven Fall ein individuelles Wohlbefinden, trägt das zur Zufriedenheit der Nutzer bei. Werden also die o. g. Sollwerte als Ergebnis einer Planung eingehalten, lässt sich auf den voraussichtlich erreichbaren Grad an Zufriedenheit bei den Nutzern schließen.

Angaben zur tatsächlichen Zufriedenheit der Nutzer, die auch oben erwähnte individuelle Wertungen auf Basis der jeweiligen Situation und Verfassung enthalten, lassen sich nur im Betrieb über die statistische Auswertung von subjektiven Aussagen gewinnen. Hier kann ein erweiterter Parametersatz berücksichtigt werden, der zusätzlich durch bestimmte Umgebungsbedingungen hervorgerufene Handlungen von Nutzern (z. B. Möglichkeit der individuellen Bedienbarkeit des Sonnenschutzes bzw. zur Fensterlüftung) beinhalten kann. Weiterhin kann auch die Gesamtzufriedenheit im oben definierten Sinne direkt abgefragt werden.

Von der Nutzerzufriedenheit zur Mitarbeiterzufriedenheit

Die Zufriedenheit der individuellen Nutzer mit den räumlichen und raumklimatischen Gegebenheiten kann sich auch auf die Arbeitszufriedenheit der im Bürogebäude beschäftigten Mitarbeiter insgesamt auswirken. Daher sind diese Aspekte auch Bestandteil **empirischer** Erhebungen, die die Zufriedenheit der Mitarbeiter mit den Arbeitsbedingungen insgesamt (Mitarbeiterzufriedenheit) analysieren. Subjektive Bewertungen werden u. a. zu folgenden Bereichen erfragt (Hans Böckler Stiftung, 2002; Sonntag, Frieling & Stegmaier, 2012):

- Arbeitsumgebung, Klima, Ausstattung des Arbeitsplatzes
- Arbeitssicherheit, Gesundheitsschutz
- Führungskräfte
- Information, Kommunikation
- Betriebsklima, Kollegen
- Tätigkeit (Inhalte, Abwechslungsreichtum, Anforderungsgehalt)
- Arbeitsorganisation
- Entgelt und Sozialleistungen
- Weiterbildungs- und Entwicklungsmöglichkeiten
- Arbeitsplatzsicherheit

Hervorgehoben sind die Themenbereiche, in denen die Nutzerzufriedenheit und eine umfassendere Mitarbeiterzufriedenheit zusammenhängen.

Zufriedenheit institutioneller Nutzer

Für die institutionellen Nutzer von Gebäuden (u. a. Unternehmen, Organisationen) im Sinne von Mietern oder Eigentümern ist es darüber hinaus von Bedeutung, ob und inwieweit die Räume bzw. das Gebäude ihre Anforderungen erfüllen und ihren Vorstellungen entsprechen. Dies wird u. a. in einer zusätzlichen Analyse der Zufriedenheit der das Gebäude nutzenden Institutionen erfasst (Miet- bzw. Mieterzufriedenheitsanalyse). Eine Nutzerzufriedenheitsanalyse und eine Miet- bzw. Mieterzufriedenheitsanalyse überschneiden sich deutlich bei den zu berücksichtigenden Raum- und Gebäudeparametern (siehe z. B. SEB, 2011), wie auch aus Tabelle 1.1-2 ersichtlich. Es empfiehlt sich für Vermieter, die Zufriedenheit der anmietenden Institutionen regelmäßig zu analysieren. Daraus lassen sich Schlussfolgerungen ziehen, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass Mietverhältnisse verlängert werden und damit indirekt, wie hoch Leerstandsrisiko, Mietausfallrisiko und Wertänderungsrisiko sind. So kann eine hohe Nutzerzufriedenheit sich über die Mitarbeiter- und Mieterzufriedenheit letztlich auf ökonomische Parameter auswirken, die für die Besitzer von Immobilien von Bedeutung sind.

Tab. 1.1-2: Ausgewählte Parameter einer Mieterzufriedenheitsanalyse mit Bezug zu Räumen und Gebäude

Mieterzufriedenheit mit den Büros
Flexibilität der technischen Infrastruktur
Flexibilität der Räume
Flächeneffizienz
Energieeffizienz/Ökologie
allgemeiner Zustand
soziale Kontaktpunkte
Mieterzufriedenheit mit dem Gebäude
Bekanntheit / Wiedererkennung des Gebäudes
Erscheinungsbild / Architektur des Gebäudes
Eingangsbereich des Gebäudes

1.1.3 Quellen und weiterführende Literatur

Quellen

Hans Böckler Stiftung (Hrsg.) (2002). Mitarbeiterzufriedenheit (Arbeitspapier 54). Düsseldorf: Hans Böckler Stiftung.

Hellwig, R. T. (2005). Thermische Behaglichkeit. Unterschiede zwischen frei und mechanisch belüfteten Bürogebäuden aus Nutzersicht (S. 23–33). Dissertation, TU München, Fakultät für Architektur.

Mayring, P. (2000). Freude und Glück. In J. H. Otto, H. A. Euler & H. Mandl (Hrsg.), Emotionspsychologie. Ein Handbuch (S. 221–230). Weinheim: Psychologie Verlags Union.

Parsons, K. (2003). Human Thermal Environments. The effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance. London: Taylor & Francis.

SEB Asset Management (Hrsg.) (2011). Büromieter Almanach – Faktoren der Mietentscheidung und -zufriedenheit. Report. Stuttgart: Immobilienverlag

Sonntag, K., Frieling, E. & Stegmaier, R. (2012). Lehrbuch Arbeitspsychologie. Bern: Huber.

Weiterführende Literatur

Schittich, Ch. (2011). Arbeitswelten. Raumkonzepte, Nutzungsstrategien, Kommunikation. München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation.

Occupier satisfaction survey, 02.02.2015, www.occupiersatisfaction.org.uk/



1.2 Anforderungen aus Bauherren- und Arbeitgebersicht

Thomas Lützkendorf

Um die Zufriedenheit der Nutzer in der Betriebsphase sicherzustellen und aufrechtzuerhalten, müssen Bauherren sowie die in eine Gebäudenutzung involvierten Arbeitgeber frühzeitig formulieren, welches Niveau an Nutzerzufriedenheit bzw. Komfort sie realisieren wollen. Da es sich bei Bürogebäuden um Arbeitsstätten handelt, müssen in die Bedarfsplanung und Grundlagenermittlung die Interessen und Pflichten der Institutionen einfließen, die das Gebäude später in der Rolle von Arbeitgebern nutzen werden. Damit stellt sich Bauherren die Frage, wie derartige Vorstellungen und Anforderungen für das einzelne Bauvorhaben konkretisiert und fixiert werden können und welche Aspekte dabei zu beachten sind. In ihrem Vorgehen folgen relevante Akteure i. d. R. den Stufen einer Projektentwicklung.

1.2.1 Systematik von Akteuren, Rollen und Perspektiven

Mit dem Thema Nutzerzufriedenheit beschäftigen sich die Beteiligten in frühen Phasen einer Projektentwick-

lung gemäß ihrer jeweiligen Rolle in unterschiedlicher Weise. Einfluss darauf haben u. a. die jeweilige Perspektive, der Kenntnisstand im Themenbereich, die interne oder externe planerische Unterstützung und Beratung, unternehmens- oder organisationsinterne Vorgaben oder auch Erfahrungen mit früheren Vorhaben bzw. aktuellen Gebäuden. Nachstehend werden hierfür ausgewählte Positionen und Konstellationen von Akteuren vorgestellt. Tabelle 1.2-1 fasst die unterschiedlichen Perspektiven ausgewählter Akteursgruppen und Rollen zusammen.

Akteurstyp 1: Die künftig selbst nutzende Institution (Institution bestellt Gebäude)

Aus der Rolle der Unternehmens-/Organisationsleitung und eines Arbeitgebers heraus entwickelt das Unternehmen bzw. eine Organisation Anforderungen an das Gebäude, um einerseits seine eigenen Abläufe und Prozesse optimal durch bauliche Strukturen zu unterstützen und andererseits die Zufriedenheit ausgewählter Ziel-

gruppen (u. a. die eigenen Mitarbeiter aus dem Bereich der Hauptprozesse) zu gewährleisten.

Die sich aus der Rolle der Unternehmens-/Organisationsleitung ergebenden Ziele und Zuständigkeiten werden in Aufgaben und Verantwortlichkeiten in der Rolle als Auftraggeber/Bauherr bzw. Arbeitgeber übersetzt.

Teilweise verfügen Unternehmen und Organisationen (Institutionen) über eigene Planungskompetenz. Entsprechende Abteilungen formulieren im Minimum die Aufgabenstellung oder begleiten bzw. übernehmen zusätzlich die Planung. Eine frühzeitige Einbindung des Bereiches Facility Management ist möglich und sinnvoll, um die vorhandene Betreiberkompetenz zu nutzen.

Die das Gebäude künftig selbst nutzende Institution mit Bauherren- und Arbeitgeberfunktion entwickelt ein Eigeninteresse an den Fragen, ob und inwieweit die eigenen Abläufe optimal unterstützt werden sowie ob und in welchem Umfang die Zufriedenheit ihrer Mitarbeiter und übriger Nutzergruppen in der Betriebsphase gewährleistet wird.

Auch selbst nutzende Unternehmen sollten bedenken, dass sich Nutzungsbedingungen ändern können bzw. das Gebäude in Zukunft verkauft werden könnte. Insofern ist zu überprüfen, ob und in welcher Bandbreite es für eine Nutzungsänderung bzw. sich ändernde Nutzer geeignet ist. Im Bedarfsfall sind derartige Optionen bereits in der Planung zu berücksichtigen.

Diese Akteure nehmen zusätzlich eine Arbeitgebersicht ein, die ihre Bauherrensicht beeinflusst: Die aus der Rolle als Arbeitgeber resultierenden Pflichten sowie Zuständigkeits- und Verantwortungsbereiche fließen in

die Bauherrenaufgabe ein. Dies wird ergänzt durch eine Eigentümersicht, die auf den Erhalt des Wertes des Gebäudes und seiner weiteren Vermiet- und Vermarktbarkeit abzielt.

Akteurstyp 2: Projektentwickler und Bauträger (Gebäude sucht Käufer)

Bei einer Projektentwicklung stehen teilweise die künftigen Erwerber oder Nutzer noch nicht fest. Es ist erforderlich, das Gebäude für ausgewählte Nutzungsarten auszulegen und dabei mögliche Nutzungsszenarien zu entwickeln. Je nach Einschätzung des Marktänderungsrisikos muss das Gebäude auf eine spezielle Nutzungsart oder eine gewisse Bandbreite möglicher Nutzungen vorbereitet werden. Dies hat Konsequenzen für die Festlegung von Anforderungen, die sich auf die Zufriedenheit künftiger Nutzer (sowohl der nutzenden Institution als auch ihrer Mitarbeiter) und übriger Nutzergruppen auswirken. Es entsteht u. U. eine Wettbewerbssituation, in der Projektentwickler und Bauträger die Eignung von Gebäuden für ausgewählte Nutzungsarten sowie die dabei zu erwartende Nutzerzufriedenheit gegenüber dem Markt signalisieren müssen oder wollen.

Diese Akteure nehmen eine Bauherrensicht ein. Sie versuchen dabei, die Perspektiven möglicher Erwerber und Nutzer inklusive einer Arbeitgebersicht in ihre Überlegungen einzubeziehen. Insofern müssen sie indirekt auch Anforderungen an Gebäude berücksichtigen, die sich aus einer Arbeitgeberperspektive ergeben.

Tab. 1.2-1: Perspektiven unterschiedlicher Akteursgruppen

Perspektive	Unternehmensperspektive	Arbeitgeberperspektive	Eigentümersperspektive	Bauherrenperspektive	Nutzerperspektive (individuell)	Mieterperspektive (Institution)	Vermieterperspektive	Verkäuferperspektive	Betreiberperspektive
Akteure/Rollen									
selbst nutzende Institution	■	■	■	■			■	■	■
Projektentwickler/Bauträger		■		■				■	■
Investor/Anleger/Eigentümer		■	■	■		■	■		■
anmietende Institution	■	■				■			
individueller Nutzer					■				
Facility Management/Betreiber	■	■			■	■			■
Planer	■	■		■	■				■

■ Hauptperspektive
 ■ Nebenperspektive, indirekte Berücksichtigung der Interessen Dritter

<https://doi.org/10.51502/9783616793098> - Generiert durch IP 216.73.216.80, am 24.01.2028, 14:56:21. © Urheberrechtlich geschützter Inhalt. Ohne gesonderte Erlaubnis ist jede urheberrechtliche Nutzung untersagt, insbesondere die Nutzung des Inhalts in Zusammenhang mit, für oder in KI-Systemen, KI-Modellen oder Generativen Sprachmodellen.

Akteurstyp 3: Investor (Gebäude sucht Mieter)

Investoren bzw. Anleger (u. a. Immobilienfonds) treten zunächst selbst als Bauherr oder Erwerber auf. In ihrer Hauptrolle während der Betriebs- bzw. Nutzungsphase sind sie Vermieter. Sie müssen dem Markt signalisieren, dass das Gebäude in der Lage ist, die funktionalen Anforderungen der anmietenden Institution zu erfüllen und zu einer hohen Zufriedenheit der Mitarbeiter und weiterer Nutzergruppen beizutragen.

Ein Risiko für Investoren/Eigentümer/Vermieter ist der Leerstand. Die Zufriedenheit/Unzufriedenheit der anmietenden Institution ist ein Frühwarnindikator in Bezug auf die Vermietbarkeit. Vermieter führen daher z. T. Analysen zur Mieter- bzw. Mietzufriedenheit durch und meinen damit primär die Zufriedenheit des anmietenden Unternehmens bzw. der das Gebäude nutzenden Organisation. In diese Analyse fließt die Zufriedenheit der jeweiligen Mitarbeiter (Nutzerzufriedenheit) u. U. mit ein. Im Sinne der langfristigen Vermietbarkeit besteht ein Interesse daran, das Gebäude auch an die sich ggf. ändernden Nutzeranforderungen sowohl der aktuellen als auch möglicher künftiger Nutzer anpassen zu können. Diese Akteure nehmen eine Eigentümer- und Vermieter-sicht ein. Sie versuchen dabei, die Perspektive möglicher Mieter und Nutzer in ihre Überlegungen einzubeziehen und die Anforderungen aus deren Arbeitgeberperspektive zu beachten.

Akteurstyp 4: Die anmietende Institution (Institution sucht Gebäude)

Nicht immer treten Unternehmen oder Organisationen als Bauherr oder Erwerber auf. In vielen Fällen mieten sie bereits existierende oder noch im Bau bzw. in der Planung befindliche Räume bzw. Gebäude. Auf der Basis formulierter Anforderungen müssen sie prüfen, ob und inwieweit das Objekt spezifische Arbeitsabläufe und Prozesse aus Unternehmens- oder Organisationsperspektive sicherstellen sowie die Zufriedenheit der Nutzer erfüllen kann und wird. Zusätzlich müssen die sich aus der Rolle als Arbeitgeber ergebenden Anforderungen erfüllbar sein. In der Nutzungsphase muss regelmäßig überprüft werden, ob und inwieweit die baulich-räumlichen Strukturen noch optimal zu den aktuellen und künftigen Erfordernissen passen sowie ob die Nutzer zufrieden sind. Hiervon hängt u. a. ab, ob ggf. ein Mietvertrag verlängert wird oder ausläuft.

Die anmietenden Institutionen nehmen neben ihrer Mieter- bzw. Nutzerperspektive die Sicht von Arbeitgebern ein.

Vorteile zufriedener Nutzer für Vermieter und Arbeitgeber

Wesentliche Motive von Vermietern, die Zufriedenheit der Mieter/der Institution sicherzustellen, zu analysieren und zu beeinflussen, sind die Kundenbindung und die Reduzierung des Leerstandsrisikos. Ein geringerer Leerstand beeinflusst in günstiger Weise die Stabilität des Cashflows sowie des Immobilienwertes und verringert das finanzielle Risiko.

Wesentliche Motive von das Gebäude nutzenden Institutionen, die Zufriedenheit von individuellen Nutzern (z. B. Mitarbeiter und Kunden/Besucher) sicherzustellen, zu analysieren und zu beeinflussen, sind die Steigerung der Attraktivität des Unternehmens für Arbeitnehmer und Kunden, die Mitarbeiterbindung sowie die Aufrechterhaltung oder Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Mitarbeitern. Erfolge bei der Sicherung von Komfort und Gesundheit der Mitarbeiter gehen heute in die betriebliche **Nachhaltigkeitsberichterstattung** ein und wirken sich dort positiv aus (siehe auch Kap. 3.2). Je nach Art und Charakter der das Gebäude nutzenden Institutionen existieren unterschiedliche Nutzergruppen. Dies sind u. a.:

- eigene Mitarbeiter der Hauptprozesse
- eigene Mitarbeiter der Nebenprozesse (Facility Management, Küchenpersonal usw.)
- Besucher/Kunden/Gäste
- Servicemitarbeiter Dritter und sonstige Dienstleister
- Rettungskräfte (Feuerwehr)

Sowohl aus Arbeitgebersicht als auch aus der Perspektive der eigentlichen Gebäudefunktion (z. T. sind Gäste/Besucher/Kunden die Hauptzielgruppe der das Gebäude nutzenden Institution) ergeben sich Fragen der Abwägung, wenn unterschiedliche Gruppen ein Gebäude nutzen. Bisher existieren keine allgemein anerkannten Vorgehensweisen, wie sich auftretende Zielkonflikte (z. B. Problematik der unterschiedlichen Bekleidung von Mitarbeitern und Besuchern im Hinblick auf die Konsequenzen für deren thermischen Komfort) identifizieren und lösen lassen. Zu beachten sind in jedem Fall gesetzliche (Mindest-) Anforderungen. Die Inhalte des Buches

konzentrieren sich überwiegend auf die Bedürfnisse der Mitarbeiter.

1.2.2 Arbeitgeberpflichten als Grundlage für Bedarfsplanung und Aufgabenstellung

Anforderungen an Bürogebäude können sowohl im Sinne von vorausgesetzten als auch in Form von vereinbarten Merkmalen und Eigenschaften formuliert werden. Die vereinbarten Merkmale und Eigenschaften sind dabei i. d. R. vertraglich zu regeln.

Vorausgesetzt wird die Erfüllung aller Gesetze und Verordnungen. Verantwortlich hierfür sind der Bauherr bzw. der Eigentümer, der Betreiber oder die nutzende Institution (nachstehend auch als Arbeitgeber bezeichnet) und von diesen beauftragte Dritte (z. B. das Facility Management). Ansprechpartner für Planer sind zunächst der Bauherr bzw. der Eigentümer des Gebäudes.

Ein Teil der einzuhaltenden Gesetze und Verordnungen betrifft die Sicherheit und den Gesundheitsschutz beim Einrichten und Betreiben von Arbeitsstätten (siehe hierzu auch BAuA, 2013). Hieraus ergeben sich Grundlagen und Anforderungen für die Bedarfsplanung und Formulierung einer Aufgabenstellung in frühen Phasen der Projektentwicklung. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Arbeitsstättenverordnung. Diese ist von allen Akteuren bzw. den von ihnen beauftragten Dritten zu beachten, die in der Rolle als Arbeitgeber (hier die das Gebäude nutzende Institution) auftreten.

Arbeitsstättenverordnung und Arbeitsstättenregeln

Weil Bürogebäude den Nutzern Arbeitsplätze anbieten und Arbeitsräume enthalten, fallen sie als Arbeitsstätte unter die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV, 2010). Neben den Arbeitsräumen gehören auch die Verkehrswege, die Fluchtwege und Notausgänge, die Lager-, Maschinen- und Nebenräume, die Sanitärräume im Sinne der Umkleide-, Wasch- und Toilettenräume, die Pausen- und Bereitschaftsräume, die Erste-Hilfe-Räume sowie Unterkünfte zur Arbeitsstätte.

Die Arbeitsstättenverordnung regelt Anforderungen an das Einrichten und Betreiben von Arbeitsstätten in Bezug auf die Sicherheit und den Gesundheitsschutz von Beschäftigten. Für deren Einhaltung ist der Arbeitgeber zuständig. Aktuell gültig ist die Fassung der ArbStättV

Tab. 1.2-2: Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR), (BAuA, 2013)

Nummer	Bezeichnung
ASR A1.2	Raumabmessungen und Bewegungsflächen
ASR A1.3	Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung
ASR A1.5/1,2	Fußböden
ASR A1.6	Fenster, Oberlichter, lichtdurchlässige Wände, Dächer
ASR A1.7	Türen und Tore
ASR A1.8	Verkehrswege
ASR A2.1	Schutz vor Absturz und herabfallenden Gegenständen, Betreten von Gefahrenbereichen
ASR A2.2	Maßnahmen gegen Brände
ASR A2.3	Fluchtwege und Notausgänge, Flucht- und Rettungsplan
ASR A3.4	Beleuchtung
ASR A3.4/3	Sicherheitsbeleuchtung, optische Sicherheitsleitsysteme
ASR A3.5	Raumtemperatur
ASR A3.6	Lüftung
ASR A4.1	Sanitärräume
ASR A4.2	Pausen- und Bereitschaftsräume
ASR A4.3	Erste-Hilfe-Räume, Mittel und Einrichtungen zur Ersten Hilfe
ASR A4.4	Unterkünfte
ASR V3a.2	Barrierefreie Gestaltung von Arbeitsstätten

aus dem Jahr 2004, die letztmalig im Jahr 2010 geändert wurde. Sie enthält sowohl Anforderungen an die Beleuchtung, die Belüftung, die Raumtemperaturen und den Schallschutz als auch an Arbeits-, Pausen-, Bereitschafts- und Sanitärräume und orientiert sich damit an der europäischen Arbeitsstättenrichtlinie. Die ArbStättV umfasst neben Angaben zu Ziel und Anwendungsbereich sowie Begriffsbestimmungen die Anforderungen an die Gefährdungsbeurteilung sowie die besonderen Anforderungen an das Betreiben von Arbeitsstätten. Für die Thematik der Nutzerzufriedenheit im engeren Sinne sind u. a. folgende Anforderungen von Bedeutung:

- Abmessungen von Räumen, Luftraum
- Bewegungsflächen
- Anordnung der Arbeitsplätze
- Ausstattung
- Belichtung, Beleuchtung und Sichtverbindung
- Raumtemperatur
- Lüftung
- Begrenzung der Schalldruckpegel (Lärm)

Sind Menschen mit Behinderungen im Gebäude beschäftigt, gelten zusätzlich Anforderungen an eine barrierefreie Gestaltung von Arbeitsplätzen und Gebäudebereichen (Türen, Verkehrswege, Fluchtwege, Notausgänge, Treppen, Orientierungssysteme, Waschgelegenheiten, Toilettenräume).

Formuliert werden in der Arbeitsstättenverordnung zunächst Schutzziele und Anforderungen. Diese sind allgemein gehalten und erlauben eine Anpassung der jeweiligen Schutzmaßnahmen und baulichen Lösungen an die konkrete Situation.

In Ergänzung der Arbeitsstättenverordnung existieren Arbeitsstättenregeln (ASR). Diese sollen sowohl Arbeitgeber als auch Behörden bei der Umsetzung der Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung unterstützen. Sie verstehen sich als Erläuterung der Verordnung, sind aber rechtlich nicht verbindlich. Werden jedoch die Arbeitsstättenregeln angewendet und umgesetzt, kann von einer Erfüllung der Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung ausgegangen werden. Dies vermeidet Beanstandungen durch die Überwachungsbehörde.

Durch die Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR) wurden die noch bis Ende 2012 verwendeten Arbeitsstättenrichtlinien ersetzt. Seit 2013 bilden damit die in Tabelle 1.2-2 genannten Arbeitsstättenregeln eine wesentliche Grundlage für die Formulierung von Anforderungen.

Aktuelle Arbeitsstättenregeln sind u. a. zugänglich über die Seiten der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und

Arbeitsmedizin (www.baua.de), Veröffentlichungen in Buchform liegen vor (siehe u. a. Steinborn, 2013). Weitere Hilfestellungen bieten die berufsgenossenschaftlichen Informationen (BGI) sowie die Hinweise der Unfallversicherungen.

Ein Bauherr oder Eigentümer, der die Vermietung oder den Verkauf einer Büroimmobilie an eine Institution mit Arbeitgeberfunktion vorsieht, sollte im Interesse der Vermiet- oder Vermarktbarkeit des Gebäudes dafür Sorge tragen, dass dieses über die baulichen und anlagentechnischen Voraussetzungen für die Einhaltung der Arbeitsstättenverordnung verfügt oder diese hergestellt werden.

Eine Übersicht sowie Hinweise auf weitere relevante Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und Normen über die Arbeitsstättenverordnung und -regeln hinaus gibt Abbildung 1.2-1. Diese sind bei der Bedarfsplanung und Formulierung der Aufgabenstellung aus Bauherren- bzw. Arbeitgebersicht zu beachten.

1.2.3 Nutzerzufriedenheit aus Bauherrensicht

Die Herangehensweise, wie die Anforderungen formuliert werden, um die Zufriedenheit der individuellen Nutzer zu sichern und gleichzeitig eigene Arbeits- und Geschäftsprozesse durch baulich-räumliche Strukturen optimal zu unterstützen, ist nicht einheitlich. Sie wird beeinflusst durch Art und Umfang eigener Erfahrungen

Nationale Vorgaben	Internationale Vorgaben
Gesetze zum Arbeitsschutz	
Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)	EU-Rahmenrichtlinie 89/391/EWG; 1989
Richtlinien zum Arbeitsschutz	
Bildschirmarbeitsverordnung (BildschArbV)	EU-Bildschirmrichtlinie 90/270/EWG; 1990
Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV), akt. 2010 (§ 18)	
Arbeitsstättenregeln (ASR A1.2), September 2013	
Normen zum Arbeitsschutz, Regeln der Technik	
DIN 4543 Büroflächen (»Büroarbeitsplätze; Flächen für Aufstellung und Benutzung von Büromöbeln«)	DIN EN ISO 9241-11 Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten
Technische Spezifikationen	EN ISO 10075-1 Ergonomische Grundlage für psychische Belastungen
	ISO 6385 Prinzipien der Ergonomie in der Auslegung von Arbeitssystemen
Institutionelle Vorgaben zum Arbeitsschutz	
BGI 650 Bildschirm- und Büroarbeitsplätze	k. A.
BGI 5050 Büroraumplanung	

Abb. 1.2-1: Ausgewählte Gesetze, Verordnungen und Normen mit Relevanz für die Bedarfsplanung (nach J. Schneider & R. Wagner)

und Ressourcen im Bereich der Bauherrenaufgaben und der Planung.

Empfehlenswert ist es, sich am **performance based building**-Ansatz (siehe auch Foliente et al., 2005) zu orientieren. Danach formulieren die Auftraggeber (Bauherren) zunächst qualitative Anforderungen an einzelne Merkmale und Eigenschaften (z. B. »gewünscht ist eine hohe Zufriedenheit der Nutzer«). Dies kann entweder verbal oder im fortgeschrittenen Prozess in Anlehnung an Qualitätsstufen oder Performanceklassen erfolgen (vgl. Kap. 1.3). Diese qualitativen Anforderungen können und müssen anschließend in möglichst konkrete technische Anforderungen übersetzt werden (i. d. R. vereinbarte Merkmale und Eigenschaften), für die baulich-technische Lösungen entwickelt werden. Dann ist zu beurteilen, wie und in welchem Umfang diese die formulierten Anforderungen erfüllen und mit welchem baulichen, organisatorischen und finanziellen Aufwand dies verbunden ist. Die gewählten Lösungen müssen dabei unabhängig von den Wünschen des Bauherren alle gesetzlichen und normativen Grundlagen einhalten (vorausgesetzte Merkmale und Eigenschaften). Wichtig ist die Rückübersetzung an den Bauherren. Es muss dargestellt werden können, ob und inwieweit dessen ursprüngliche Erwartungshaltung bedient werden kann, soweit sich diese im Prozess als sinnvoll und als mit vertretbarem Aufwand erreichbar erwiesen hat.

Ein allgemeines Anforderungsniveau bzw. Performanceziel formulieren

Die aktuelle DIN EN 15251 (2012) bietet eine Grundlage für die Formulierung eines allgemeinen Anforderungsniveaus im Sinne der Beschreibung einer Erwartungshaltung

Nachhaltigkeitsbewertungssysteme

Bei der Planung, Errichtung und Nutzung von Gebäuden sind einerseits die zu erfüllenden funktionalen und technischen Anforderungen zu beachten und andererseits die Auswirkungen auf die Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft zu erfassen und in Entscheidungen einzubeziehen. Systeme zur Beschreibung, Bewertung und Zertifizierung des Beitrages von Gebäuden zu einer nachhaltigen Entwicklung bieten hierfür eine Hilfestellung. Sie basieren auf Bewertungskriterien und -maßstäben zur Beurteilung der ökologischen, ökonomischen und sozialen Qualität von Gebäuden und können sowohl während der Planung als auch zur Überprüfung bereits existierender Gebäude eingesetzt werden. Sie werden gemäß Stand der internationalen Normung nur dann als Nachhaltigkeitsbewertungssysteme anerkannt, wenn sie im Minimum die Themen- und Kriterienbereiche Ökologie, Ökonomie und Soziales abdecken. Meist werden die Gebäude auf der Basis einer ausführlichen und mit Nachweisen belegbaren Beschreibung hinsichtlich des Erreichens definierter Mindestanforderungen und Qualitätsstufen beurteilt. Das Ergebnis wird häufig über ein- oder mehrstufige Label ausgedrückt, die von externen Zeichengebern verliehen werden.

Die Nutzung von Nachhaltigkeitsbewertungssystemen ist mit einem Mehrwert verbunden. Mit ihnen kann der Zielfindungsprozess unterstützt, die Qualität der Planung, Ausführung und/oder Bewirtschaftung gesichert sowie eine ausführliche Dokumentation erstellt werden. Dies kann auch für den Themenbereich der Nutzerzufriedenheit genutzt werden, da zahlreiche Systeme u. a. Bewertungskriterien und -maßstäbe sowie Vorgaben für die Dokumentation zu Themen wie Komfort und Raumluftqualität vorhalten.

Tab. 1.2-3: Kategorien zur Formulierung einer Erwartungshaltung (DIN EN 15251, 2012)

Kategorie	Beschreibung
I	hohes Maß an Erwartungen empfohlen für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Bedürfnissen aufhalten, z. B. Personen mit Behinderungen, kranke Personen, sehr kleine Kinder
II	normales Maß an Erwartungen empfohlen für neue und renovierte Gebäude
III	annehmbares, moderates Maß an Erwartungen kann bei bestehenden Gebäuden angewendet werden
IV	Werte außerhalb der oben genannten Kategorien Diese Kategorie sollte nur für einen begrenzten Teil des Jahres angewendet werden

Anmerkung

Auch in anderen Normen wie z. B. EN 13779 und EN ISO 7730 wird eine Einteilung in Kategorien vorgenommen; diese können jedoch unterschiedlich benannt sein (A, B, C oder 1, 2, 3 usw.).

Zielvereinbarungstabelle Neubau

Projekt:

Kriteriengruppe	Nr.	Kriterien	Zielvereinbarung		
			Zielwert / Mindest- erfüllungsgrad	erforderliche Leistungen, Maßnahmen, Methoden	erforderliche Dokumente / Nachweise
Soziokulturelle und funktionale Qualität					
Gesundheit, Behaglichkeit und Nutzer- zufriedenheit	3.1.1	Thermischer Komfort im Winter			
	3.1.2	Thermischer Komfort im Sommer			
	3.1.3	Innenraumlufthygiene			
	3.1.4	Akustischer Komfort			
	3.1.5	Visueller Komfort			
	3.1.6	Einflussnahme der Nutzer			

Abb. 1.2-2: Auszug aus der Zielvereinbarungstabelle des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB), (BMUB, 2014)

haltung. Die Erwartungshaltung betrifft das Niveau des thermischen, visuellen und **auditiven** Komforts sowie der Luftqualität, die großen Einfluss auf die zu erwartende Zufriedenheit der Nutzer haben. Siehe hierzu auch Tabelle 1.2-3.

Eine weitere Möglichkeit, ein allgemeines Performanceziel vorzugeben, ist die Orientierung an Nachhaltigkeitsbewertungssystemen.

Vermehrt gehen Unternehmen, Organisationen und die öffentliche Hand dazu über, Anforderung an die Nachhaltigkeit bzw. Gesamtqualität eines Bauwerks zu formulieren. Diese Anforderungen können u. a. in Form einer zu erreichenden Qualitätsstufe, eines Grades der Erfüllung von Anforderungen oder eines geforderten Labels formuliert werden. Meist enthalten Systeme zur Bewertung und Zertifizierung der Nachhaltigkeit von Gebäuden Bewertungskriterien und Anforderungen für die Themenbereiche Gesundheit, Komfort oder Nutzerzufriedenheit, die damit indirekt zum Bestandteil von Projektzielen werden. Ein Beispiel ist das in Deutschland für öffentliche Bauvorhaben eingesetzte Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) (www.nachhaltiges-bauen.de). Dieses sieht u. a. für Neubauten vor, konkrete Projektziele in frühen Phasen der Planung zu vereinbaren (siehe hierzu auch Abb. 1.2-2). Sie umfassen u. a. Anforderungen an die Gesundheit, Behaglichkeit und Zufriedenheit der Nutzer – formuliert in Form von Anforderungen u. a. an den Komfort und die Raumluftqualität.

Anforderungen an Teilaspekte formulieren

Auftraggeber bzw. Bauherren können Anforderungen an ausgewählte Merkmale und Eigenschaften des Gebäudes bzw. an den Grad der Zufriedenheit mit ausgewählten Parametern formulieren.

Beispiele für ausgewählte Merkmale und Eigenschaften sind:

- das Erreichen einer Schallschutzstufe
- das Erreichen von Sprachverständlichkeitskriterien
- das Erreichen einer Raumluftqualitätsklasse

Möglich sind auch Vorgaben zum zulässigen Anteil Unzufriedener mit dem thermischen Komfort. Dabei wird beschrieben, welches Ausmaß an unzufriedenen Nutzern für diesen Teilaspekt noch akzeptiert wird (z. B. 15 %, 10 % oder 6 %). Diesen Klassen oder Kategorien können u. a. Empfehlungen für noch akzeptable Raumtemperaturen im Winter und Sommer zugeordnet werden.

Nutzungszonen und -szenarien als Grundlage für die Planung beschreiben

Auf der Basis von Überlegungen zu den Arbeits- und Geschäftsprozessen im Gebäude sollten frühzeitig Nutzungsbereiche/-zonen definiert und für diese Nutzungsszenarien entwickelt werden. Aus Angaben zur Art der Tätigkeit, der Erwartungshaltung an Komfort und Zufriedenheit der individuellen Nutzer, der typi-

schen Bekleidung, der Aufenthaltsdauer und weiteren Parametern kann ein Nutzungsprofil entwickelt werden. Es ist empfehlenswert, dies raumweise vorzunehmen und die Anforderungen während der Planung in ein Raumbuch zu übernehmen. In Abstimmung mit Fachleuten können aus den Nutzungsszenarien Anforderungen abgeleitet werden für:

- Tageslicht- und Kunstlichtversorgung (visueller Komfort)
- Luftqualität/Luftwechsel
- Raumlufttemperaturen im Sommer und Winter (thermischer Komfort)
- Schallschutz und Raumakustik (**auditiver** Komfort)
- Art und Umfang des individuellen Nutzereinflusses
- Art und Umfang der Nutzung
- Art und Umfang der Raumausstattung, Möblierung, technischen Ausstattung
- Art der Gestaltung von Oberflächen/Produktauswahl

In besonderen Fällen empfiehlt sich bei Bauträger- und Investorenmodellen eine Abstimmung zwischen Bauherr/Eigentümer und dem anmietenden Unternehmen. Das anmietende Unternehmen geht hier u. a. Verpflichtungen ein, ein vereinbartes Nutzungsprofil auch einzuhalten. Eine geeignete Form hierfür ist die Integration entsprechender Vereinbarungen in den Mietvertrag. Hierfür wurde mit dem »Grünen Mietvertrag« eine entsprechende Grundlage geschaffen (siehe auch Conradi, Binkowski & Spenke, 2012).

Vorgabe baulich-technischer Lösungen durch Bauherren

In Ausnahmefällen gibt der Bauherr z. T. auf der Basis früherer Erfahrungen oder eigener Planungskompetenz baulich-technische Lösungen vor, die sich ihrerseits auf Gebäude- und Raumparameter, das Komfortniveau bzw. die Nutzerzufriedenheit auswirken. Beispiele sind:

- Fassadengestaltung
- Art und Umfang einer Raumkonditionierung (z. B. Bauteilaktivierung)
- tageslichtabhängige Kunstlichtregelung

Mit derartigen Vorgaben werden häufig vermeintliche Trends aufgegriffen. Ob sie stimmig und kompatibel sind, muss geklärt werden.

Grüner Mietvertrag

Der »Grüne Mietvertrag« (auch ökologischer Mietvertrag oder green lease) ist ein Instrument zur Unterstützung der Integration von Umwelt- und/oder Nachhaltigkeitsaspekten in die Vertragsbeziehungen zwischen Vermietern und Mietern insbesondere bei Gewerbeimmobilien. Ziel ist eine sich u. a. an den Prinzipien und Zielen der nachhaltigen Entwicklung orientierende Nutzung und Bewirtschaftung von Immobilien. Im Vertrag werden Rechte und Pflichten von Vermietern und Mietern insbesondere im Zusammenhang mit einer umweltschonenden bzw. nachhaltigen Nutzung und Bewirtschaftung von Immobilien formuliert und geregelt. Die Inhalte des Vertrages sind frei gestalt- und verhandelbar, es existieren jedoch Empfehlungen für die zu berücksichtigenden Themen. Diese reichen u. a. von Mitwirkungspflichten von Mietern bei der Erlangung oder Aufrechterhaltung einer Nachhaltigkeitszertifizierung über Regelungen zur Reinigung, Abfallsammlung, Energieberatung, Energieversorgung und der Erfassung sowie Meldung des Verbrauchs an Energie und Wasser bis hin zur Verständigung über ein Nachhaltigkeitshandbuch.

Im Kontext dieses Buches sind z. B. Regelungen denkbar, die Vorgaben an die Möblierung, die technische Ausstattung oder das Nutzerverhalten beinhalten und zu guter Raumluftqualität sowie thermischem Komfort im Sommer beitragen sollen.

Übergang zur Planung

Zwischen der Formulierung von Anforderungen durch den Bauherrn und der Aufnahme der eigentlichen Planung besteht ein fließender Übergang. Das Verhältnis wird stark dadurch beeinflusst, wie und wie weit der Bauherr an der Aufgabenstellung, Bedarfsplanung oder Planungsaufgabe mitwirkt. Abbildung 1.2-3 stellt die prinzipiellen Möglichkeiten vor.

Selbst bei weitgehenden Vorgaben durch den Bauherrn oder durch die von ihm beauftragten Dritten wird vor deren Übernahme eine eingehende Prüfung durch Planer empfohlen. Diese Prüfung sollte sich neben der Kontrolle der Sinnhaftigkeit und Zweckmäßigkeit von Einzelanforderungen insbesondere auf die Fragen des Zusammenwirkens derartiger Einzelanforderungen aus Sicht eines Gesamtkonzeptes konzentrieren.

	Variante 1 Bauherr benötigt Unterstützung ab Bedarfsplanung	Variante 2 Bauherr gibt performanceorientierte Ziele vor	Variante 3 Bauherr gibt Einzelparameter vor	Variante 4 Bauherr hat konkrete Vorstellung zu technischen Lösungen
Bedarfsplanung mit Belegungsvorgaben und Anforderungen an Arbeitsstätten	■	■	■	■
Festlegung von performanceorientierten Anforderungen	■	■		
Festlegung von Einzel- parametern im Raumbuch	■	■	■	
Vorschläge für baulich- technische Lösungen	■	■	■	■
Planung und Nachweise	■	■	■	■

■ Planer übernimmt Aufgabe
 ■ Bauherr oder durch von ihm beauftragte Dritte übernimmt Aufgabe
 □ übersprungene Phasen

Abb. 1.2-3: Varianten der Arbeitsteilung zwischen Bauherren und Planern in frühen Phasen einer Projektentwicklung

1.2.4 Quellen und weiterführende Literatur

Quellen

BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2013). Arbeitsstätten, Arbeitsstättenverordnung, Technische Regeln für Arbeitsstätten. Dortmund: BAuA. www.baua.de

BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2014). Anlage B5 zum Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Berlin: BMUB.

Conradi, J., Binkowski, S. & Spenke, C. (Hrsg.) (2012). Green Lease – der grüne Mietvertrag für Deutschland. Hamburg: Freshfields Druckhaus Deringer LLP.

Foliente, G., Huevila, P., Aang, G., Spekkink, D. & Backens, W. (2005). Performance Based Building R&D Roadmap. PeBBu Final Report. Rotterdam: CIBdf.

Steinborn, V. (2013). Verordnung über Arbeitsstätten. Stuttgart: Kohlhammer.

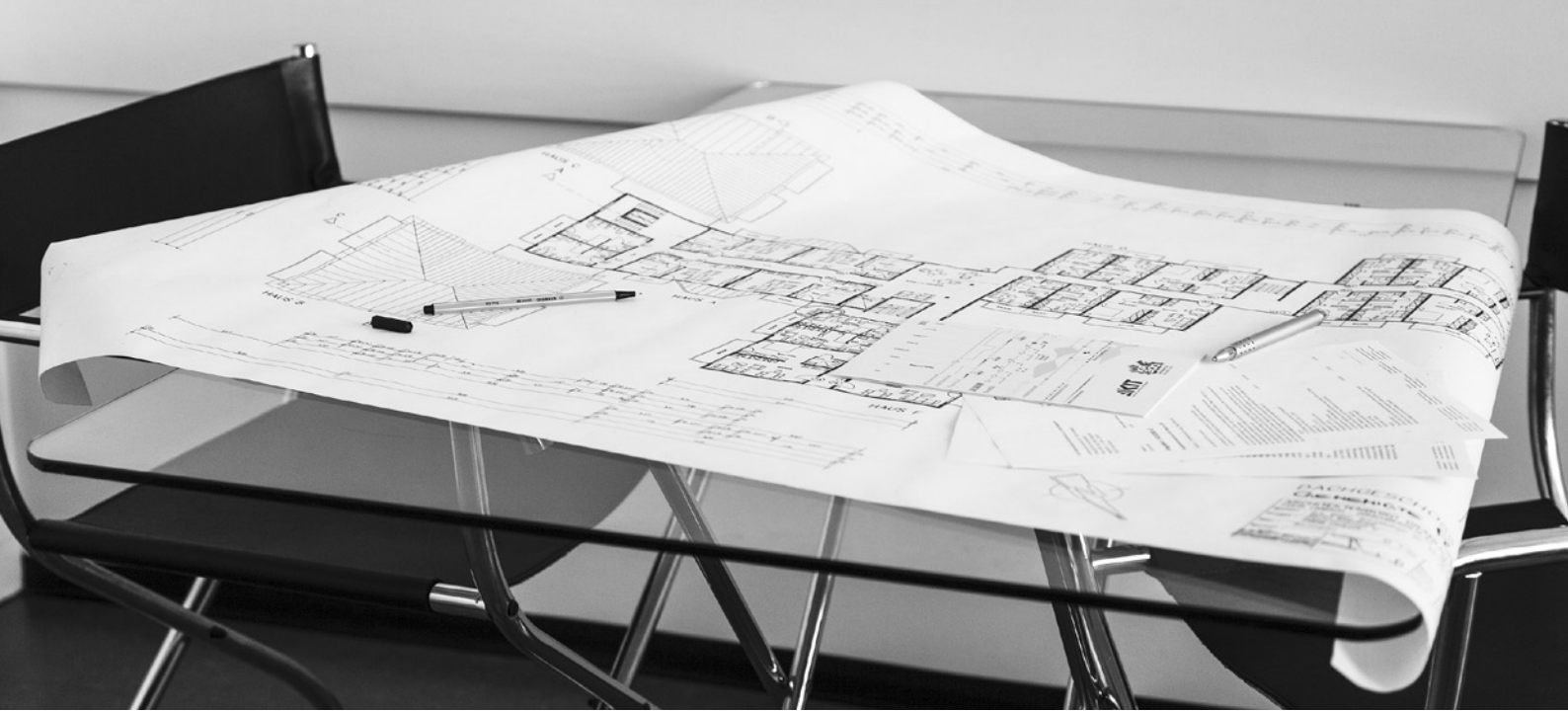
Weiterführende Literatur

DIN 18205 (1996). Bedarfsplanung im Bauwesen. Berlin: Beuth (in Überarbeitung).

ISO 6242 (1992). Building construction – Expression of users' requirements.

Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik – LASI (Hrsg.) (2009). Leitlinien zur Arbeitsstättenverordnung. <http://lasi.osha.de/docs/lv40.pdf> (Aufruf am 07.07.2014)

Schulte, K.-W., Bone-Winkel, S. (Hrsg.) (2002). Handbuch Immobilien-Projektentwicklung. Köln: Rudolf Müller.



1.3 Komfort und Arbeitsplatzqualität als Ziel der Planung

Andreas Wagner

Die Aufgabe von Architekten und Planern besteht darin, Gebäude so zu planen, dass sie die Anforderungen und Wünsche der Bauherren so weit wie möglich erfüllen. Dabei müssen sie die relevanten gesetzlichen Vorgaben sowie geltenden Normen, Richtlinien und weiteren Regeln einhalten. Dieser Auftrag adressiert insbesondere auch den Bereich der Nutzungsqualität und berührt damit die (zukünftige) Zufriedenheit der Nutzer. Die Nutzungsqualität umfasst baulich-räumliche und funktionale Aspekte, um nutzungsspezifische Abläufe sicherzustellen, z. B. das Erschließungskonzept oder die Organisation von Arbeitsbereichen. Außerdem beinhaltet sie die – individuell oft sehr unterschiedliche – Nutzerzufriedenheit, die sich daraus ergibt, wie die Nutzer ihre (Arbeits-)Umgebung wahrnehmen und interpretieren (vgl. Kap. 1.1). Letztere wird natürlich auch stark von der gestalterischen Qualität beeinflusst – funktionale Zweckgebäude mit normgerechtem Raumklima schaffen nicht per se höchste Nutzerzufriedenheit.

Der Kenntnisstand hinsichtlich des Themenfeldes Komfort ist in der Planungspraxis in der Regel eher gering und punktuell ausgebildet. Das führt im Gebäudebetrieb häufig zu geringerer Nutzerakzeptanz/-zufriedenheit und im ungünstigen Fall zu gerichtlichen Auseinandersetzungen aufgrund von Nutzerbeschwerden. Welche Grundlagen benötigen also Architekten und Planer, um Arbeitsplätze mit hoher Nutzungsqualität zu schaffen, die in der Betriebsphase eine hohe Zufriedenheit hervorrufen?

1.3.1 Komfort und Arbeitsplatzqualität planen

Ausgangslage für die Planung

Seitens der Bauherren werden in der Regel Anforderungen an Komfort und Nutzerzufriedenheit formuliert.

Diese sind jedoch häufig unscharf bzw. unpräzise in Bezug auf Raumklima- oder Komfortgrößen. Oft sollen sie pauschal für das gesamte Gebäude gelten oder stellen bestimmte Einzelwünsche in den Vordergrund. Neuerdings kann es vorkommen, dass ein Bauherr das Komfort- bzw. Zufriedenheitsniveau implizit über die Forderung eines bestimmten Nachhaltigkeitszertifikats festlegt, z.B. **DGNB** Gold oder **LEED** Platinum (vgl. Kap. 1.2).

Auf Grundlage der relevanten gesetzlichen und normativen Vorgaben muss der Planer aus diesen meist heterogenen Vorgaben ein kohärentes Anforderungsprofil erarbeiten, das dann in konkrete baulich-technische Lösungen mündet. Zunächst geht es darum, ein Gesamtniveau für Komfort und Nutzerzufriedenheit zusammen mit dem Bauherrn festzulegen. Ausgehend von den Varianten 1 oder 2 in Abbildung 1.2-3 kann dazu die DIN EN 15251 herangezogen werden, die ein Erwartungsmaß an den Komfort beschreibt (siehe Tab. 1.2-3). An dieses Erwartungsmaß (in Form von Kategorien) geknüpft sind in der Norm Bemessungswerte für die Raumtemperatur, die Luftqualität und die Raumluftfeuchte. In diesem Modell sind also nicht alle Komfortparameter abgebildet. Ähnliche Kategorisierungen finden sich in weiteren mit dem Komfort zusammenhängenden Normen (z.B. DIN EN 13799 oder DIN EN ISO 7730), teilweise jedoch mit anderen Benennungen

und auch wieder nur für (andere) spezifische Parameter. Die Kategorien bzw. das Erwartungsmaß entspricht letztendlich einer vorausgesagten Anzahl Unzufriedener (**PPD**) unter den jeweiligen Randbedingungen. Weiterhin gehören zum Anforderungsprofil baulich-räumliche Festlegungen, die die Anforderungen bzgl. des Gesamtgebäudes auf zonen- oder raumbezogene Anforderungen herunterbrechen. Je nach Nutzungsart (Labor, Büro), Anspruch (»Chefetage«) oder klimatischen Einflüssen (Westfassade) können bzw. müssen unterschiedliche Komfortklassen für die einzelnen Nutzungszonen vereinbart werden.

Konkrete Planungsgrößen bestimmen

Im nächsten Schritt übersetzt der Planer die mit dem Bauherrn getroffenen qualitativen Vereinbarungen in konkrete Planungsgrößen für die verschiedenen Teilbereiche des Komforts (vgl. Tab. 1.1-1). D.h. das über eine Kategorie festgelegte Anforderungsniveau für eine Nutzungszone oder die verbale Beschreibung für ein bestimmtes Komfortkriterium wird aufgelöst in konkrete Soll- oder Grenzwerte für physikalische Raumklimagrößen. Diese betreffen im erweiterten Sinne neben dem eigentlichen Raumklima auch Luftqualität, Licht und Akustik. Den Rahmen hierfür bilden bei Bürogebäuden und ähnlichen Nutzungen zunächst die Arbeitsstätten-

Tab. 1.3-1: Auszug aus DIN EN 15251 – Bereiche der Innenraumtemperatur für die stündliche Berechnung der Heiz- und Kühlenergie für Gebäude mit Heizung und maschineller Kühlung

Gebäude/Raumtyp	Kategorie	Temperaturbereich für die Heizung, [°C] Bekleidung ~1,0 clo	Temperaturbereich für die Kühlung, [°C] Bekleidung ~0,5 clo
Wohngebäude, Wohnräume (Schlafzimmer, Wohnzimmer, usw.)	I	21,0–25,0	23,5–25,5
	II	20,0–25,0	23,0–26,0
	III	18,0–25,0	22,0–27,0
Wohngebäude, andere Räume (Küchen, Lagerräume, usw.)	I	18,0–25,0	
	II	16,0–25,0	
	III	14,0–25,0	
Büros und ähnlich genutzte Räume (Einzelbüros, Bürolandschaften, Klassenräume, Konferenzräume, usw.)	I	21,0–23,0	23,5–25,5
	II	20,0–24,0	23,0–26,0
	III	19,0–25,0	22,0–27,0
Kindergarten stehende, gehende Aktivitäten ~1,4 met	I	19,0–21,0	22,5–24,5
	II	17,5–22,5	21,5–25,5
	III	16,5–23,5	21,0–26,0
Kaufhaus stehende, gehende Aktivitäten ~1,6 met	I	17,5–20,5	22,0–24,0
	II	16,0–22,0	21,0–25,0
	III	15,0–23,0	20,0–26,0

verordnung und weitere Verordnungen, wie z.B. die Bildschirmarbeitsplatzverordnung (vgl. Kap. 1.2). Aber auch die Energieeinsparverordnung, die einen bestimmten sommerlichen Wärmeschutz fordert, sowie mit Raumklimagrößen zusammenhängende Normen machen Vorgaben (siehe Anhang 4.2 Verweise, Normen, Richtlinien). So liefert z.B. die DIN EN 15251 zulässige Bereiche für die Raumtemperatur direkt in Abhängigkeit des festgelegten Erwartungsmaßes (siehe Tab. 1.3-1). Die daraus entstehende Liste mit quantitativen Planungsgrößen stimmt der Planer mit dem Bauherrn ab, um zu einer verbindlichen Beschreibung zu gelangen, z.B. in Form eines erweiterten Raumbuchs. Damit lassen sich die Anforderungen der Bauherren mit dem für die Umsetzung zu erwartenden Aufwand abgleichen.

An dieser Stelle wären auch Bauherren abzuholen, die gemäß Variante 3 in Abbildung 1.2-3 schon relativ konkrete Anforderungen für einzelne Merkmale haben bzw. eigenständig ein Raumbuch erstellt haben. Der Planer muss auch hier die normativen Empfehlungen, Soll- oder Grenzwerte berücksichtigen und überprüfen, ob alle relevanten Komfortparameter berücksichtigt wurden. Entbinden kann er sich von dieser Verpflichtung nur durch eine vertragliche Vereinbarung, in der der Bauherr diese Aufgabe und Verantwortung gänzlich übernimmt.

Raumbuch mit Klimaparametern erstellen

Falls der Bauherr konkrete baulich-technische Lösungen vorschlägt oder fordert (Variante 4 in Abb. 1.2-3), müssen auch für diese sämtliche Anforderungen an den Komfort erfüllt sein. Der Planer ist also auch in diesem Fall gut beraten, zunächst ein erweitertes Raumbuch zu erstellen, in dem alle Raumklimaparameter definiert sind. Auf Basis dieser quantitativen Vorgaben kann mit entsprechenden Planungswerkzeugen die vorgeschlagene baulich-technische Lösung überprüft und ggf. angepasst werden.

Nicht alle Anforderungen hinsichtlich Nutzerzufriedenheit können quantifiziert werden, d.h. es wird auch beschreibende Anforderungen (z.B. bzgl. des Raum- und Arbeitsplatzkonzepts) geben. Außerdem sollen solche Festlegungen den gestalterischen Spielraum der Planer nicht einschränken, sondern über die konkrete Benennung der Nutzerzufriedenheitsaspekte vielmehr herausfordern. Wichtig sind das Wissen um die Nutzerzufriedenheitsparameter und deren Transparenz für alle an der Planung (und dem späteren Betrieb) Beteiligten.

Sowohl im weiteren Planungs- und Bauablauf als auch bei der späteren Inbetriebnahme und Nutzung hilft das Raumbuch, Missverständnisse zu vermeiden und die dort festgeschriebenen Werte definieren das vereinbarte Erwartungsniveau. Insgesamt wird das Bewusstsein für die Bedürfnisse von Nutzern geschärft. Das erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass ein Gebäude während der Nutzung besser akzeptiert wird, und kann somit auch – in mehrfacher Hinsicht – zu ökonomischen Vorteilen führen. Für den Planer erschließt das systematische Zusammenstellen sämtlicher Planungsgrößen die (oft nicht bekannte) Gesamtdimension des Komforts und der Nutzerzufriedenheit und bildet damit eine wesentliche Planungsgrundlage. Solche erweiterten Raumbücher sind aber noch nicht gängige Praxis.

Schwieriger wird es, wenn – je nach Auftraggeber und Zweck eines Bauauftrags – die Nutzung eines Gebäudes noch nicht genau feststeht (siehe Kap. 1.2). Hier müssen die Planer von standardisierten, mit dem Bauherrn abzustimmenden Randbedingungen ausgehen, die u.U. von den sich später tatsächlich einstellenden Randbedingungen abweichen. Eine Überprüfung und ggf. Nachjustierung von Komfortparametern im späteren Gebäudebetrieb ist daher unerlässlich, um eine nachhaltig hohe Nutzerzufriedenheit zu gewährleisten. Auch wenn dies nicht mehr originäre Aufgabe der Planung ist, können, z.B. mit einer guten Dokumentation, Voraussetzungen geschaffen werden, die Dritten diesen Prozess später erleichtern. Grundsätzlich spielt hier die Robustheit von Raum- und Raumklimakonzepten eine wichtige Rolle für die spätere Flexibilität.

Handelt es sich bei der Planungsaufgabe um die Sanierung / den Umbau eines Gebäudes, kann der Planer u.U. eine vorherige Befragung der (dann oft auch schon bekannten) Nutzer initiieren. Damit können die Komfortanforderungen über einen partizipativen Prozess erfasst und konkreter anhand der Bedürfnisse formuliert werden.

1.3.2 Planungsgrößen und Planungswerkzeuge

Planungsgrößen für Komfort und Nutzerzufriedenheit

Aufgrund der schwierigen »Fassbarkeit« oder Quantifizierbarkeit einer allgemeinen Nutzerzufriedenheit wird

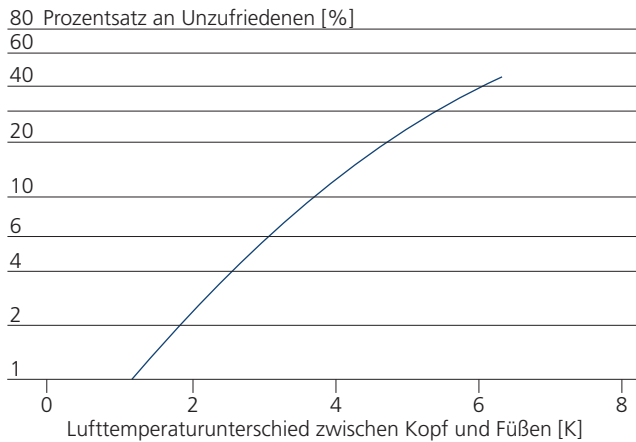


Abb. 1.3-1: Lokale Unbehaglichkeit durch vertikale Lufttemperaturunterschiede (nach DIN EN 7730)

Tab. 1.3-2: Beispiele für die Dauer von Abweichungen, die 3 % bzw. 5 % des Betrachtungszeitraums entsprechen (nach DIN EN 15251); gültig für Räume, die 95 % des Aufenthaltsbereichs darstellen.

3 % bzw. 5 % der Zeit	täglich Minuten	wöchentlich Stunden	monatlich Stunden	jährlich Stunden
Arbeitsstunden	15/24	1/2	5/9	61/108
Stunden gesamt	43/72	5/9	22/36	259/432

in den Regelwerken zunächst eine Eingrenzung auf die Komfortbereiche vorgenommen, die auf sensorischer Wahrnehmung beruhen (vgl. Kap. 1.1). Für diese existieren entweder direkte Zusammenhänge zwischen Empfinden bzw. Zufriedenheit und einer physikalischen Messgröße, aus denen Werte oder Wertebereiche für Raumklimagrößen gemäß einer Zufriedenheitswahrscheinlichkeit abgeleitet werden können (siehe Abb. 1.3-1).

Oder es werden Grenzwerte für einzelne physikalische Messgrößen vorgegeben, z.B. Beleuchtungsstärke oder Schallpegel, die auf Basis anderer Untersuchungen notwendige Mindestanforderungen für die jeweiligen Wahrnehmungsbereiche darstellen. Der Planer adressiert somit über Raumklimagrößen letztendlich auf Wahrnehmungen beruhende »Teilzufriedenheiten« in dem Verständnis, dass diese in Summe eine bestimmte Gesamtnutzerzufriedenheit ergeben. Nicht immer können allerdings »Wahrnehmungsgrößen« herangezogen werden. Im Zusammenhang mit visuellem Komfort wird z.B. die vom Menschen nicht wahrnehmbare Messgröße »Beleuchtungsstärke« vorgegeben. In der DIN EN 15251

gibt es zusätzlich Hinweise zur Interpretation von Mess- und Berechnungsergebnissen für das Raumklima bzw. den Komfort. Es werden z.B. zulässige zeitliche Abweichungen bezogen auf verschiedene Betrachtungszeiträume für Aufenthaltsräume angegeben (siehe Tab. 1.3-2).

Sämtliche relevanten Größen zur Beschreibung der Luftqualität sowie des thermischen, visuellen und **auditiven** Komforts in Form von Planungs- oder Raumklimagrößen wurden schon in Tabelle 1.1-1 zusammengefasst. Den wissenschaftlichen Kontext und konkretere Hinweise für die Planung liefert der zweite Teil dieses Buches. Die Gesamtzufriedenheit von Nutzern in Räumen hängt von vielen weiteren Einflussgrößen ab – z.B. Raum- und Arbeitsplatzgestaltung, Privatheit des Arbeitsplatzes, Verhältnis zwischen Mitarbeitern, individuellem aktuellen Befinden u.v.m. – und tangiert damit neben der Architektur und Raumklimatechnik auch Bereiche der Umwelt-, Arbeits- und Organisationspsychologie mit ihren ganz eigenen Bewertungsmodellen. Auch hierauf wird in Teil 2 des Buches eingegangen. Für all diese Aspekte müssen noch in größerem Stil **empirische** Untersuchungen durchgeführt werden, um zukünftig zu belastbaren Planungsgrößen zu gelangen.

Mit Planungswerkzeugen Komfortbedingungen quantifizieren

Mit den auf Raumklimagrößen aufgelösten Komfortanforderungen ist der Planer grundsätzlich in der Lage, baulich-technische Lösungen zu entwickeln bzw. entsprechende Vorschläge des Bauherrn weiter auszuarbeiten und die Nutzerzufriedenheit mit den o.g. Unschärfen und Unzulänglichkeiten in seinem Arbeits- und Aufgabenkontext zu berücksichtigen. Allerdings stellt sich die Frage, wie genau der Komfort wirklich geplant werden kann.

Ausgehend von einer eindeutigen Nutzungszuordnung für eine Zone und die daran geknüpften Anforderungen an die Raumklimagrößen müssen Berechnungen angestellt werden, um den Komfortnachweis zu erbringen. Wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis hat dabei die Genauigkeit des Rechenverfahrens und der in der Planung vorhandenen Eingabeparameter. Vereinfachte Rechenverfahren stoßen schnell an ihre Grenzen, da sie das Raumklima nicht in hoher zeitlicher oder räumlicher Auflösung widerspiegeln. So kann z.B. der in der DIN 4108-2 verankerte Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz

einen ersten Anhalt bzgl. des Überhitzungsrisikos liefern, aber nicht den Komfort eines **passiven Kühlkonzepts** untermauern.

Allerdings stellen auch Ergebnisse aus aufwendigeren Berechnungsverfahren oft nur eine grobe Näherung für die Komfortverhältnisse dar. Die errechnete mittlere Raumtemperatur für eine Zone – eine in der **dynamischen Gebäudesimulation** oft ausgewertete Größe – gibt u.U. nur bedingt die tatsächlichen thermischen Komfortverhältnisse an einem fensternahen Arbeitsplatz wieder. Je nach Qualität (z.B. Bestandsgebäude) und Größe der Verglasung kann die lokale **operative Temperatur** aufgrund der in Fensternähe dominanten Temperatur der Fensterinnenoberfläche und der Luftgeschwindigkeit durch Kaltluftabfall deutlich differieren. Effekte einer einseitigen Strahlungs- bzw. Wärmebelastung durch Sonneneinstrahlung werden gar nicht berücksichtigt. Auch für die Bewertung von Tageslichtverfügbarkeit und Blendungserscheinungen, insbesondere bei komplexeren Sonnenschutzsystemen, stößt man mit vielen Rechenverfahren schnell an Grenzen.

Ein wesentlicher weiterer Schwachpunkt bei der Simulation von Raumklimazuständen sind die in Simulationsprogrammen momentan eingesetzten Verhaltensprofile von Nutzern. In der Regel handelt es sich um einfache Zeitreihen für thermische Lasten und Frischluftmengen; Interaktionen der Nutzer mit Gebäude und Raumklimatechnik und deren Wahrscheinlichkeiten werden nicht berücksichtigt. Laufende Forschungsprojekte zielen darauf ab, hier zukünftig eine bessere Modellqualität zu erreichen (vgl. auch Kap. 2.5.3). Planer benötigen daher eine hohe Sensibilität gegenüber Komfortfragen bzw. den vielfältigen baulichen Einflussgrößen auf den Komfort, um zu entscheiden, welche Planungswerkzeuge sie für die jeweiligen Fragestellungen einsetzen (lassen).

Eigens für die Bewertung des thermischen Komforts entwickelte Programme reichen von einfachen Modellen, die für einen stationären Raumklimazustand relevante normative Komfortgrößen (z.B. den **PMV-Index**) abbilden, bis hin zu komplexen Modellen für differenzierte Betrachtungen. Mit Letzteren kann nicht nur ein globaler Komfortindex für eine Person angegeben, sondern auch ein körperteilbezogenes Komfortempfinden in frei konfigurierbaren Raumumgebungen (u.a. unter Berücksichtigung von einseitiger Besonnung des Körpers) dargestellt werden. Dabei kann auch die Reaktion auf sprunghafte Veränderungen der Raumklimabedingungen berücksichtigt werden (siehe Abb. 1.3-2).

Simulationswerkzeuge für die Komfortbewertung

Grundlage für die Planung des thermischen Komforts ist die dynamische thermische Gebäudesimulation. Sie liefert typischerweise Stundenwerte der mittleren Raumtemperaturen für jede interessierende Zone. Für eine ortsaufgelöste Betrachtung von Temperaturen, aber auch für die Untersuchung lokaler Luftgeschwindigkeiten (z.B. Zugluft aufgrund des Abfalls von abgekühlter Raumluft an Fensteroberflächen) oder den Nachweis raumbezogener Luftvolumenströme und damit der Einhaltung der geforderten Luftqualität bei freien Lüftungskonzepten kommen Strömungssimulationen auf Basis von **CFD-Programmen** zum Einsatz. **Raytracing-Verfahren** werden für Simulation von Belichtungssituationen eingesetzt, um neben normativ vorgegebenen Tageslichtquotienten in Räumen auch Leuchtdichten – entsprechend dem vom menschlichen Auge wahrgenommenen Helligkeitssignal – abbilden zu können. Das gleiche Simulationsprinzip kann für die raumakustische Simulation eingesetzt werden, mit der die räumliche Verteilung des Schallpegels und des »Speech Transmission Index« als Parameter für die Sprachverständlichkeit berechnet werden kann.

Allerdings sind für die Kopplung dieser eigenständigen Programme mit dynamischen Simulationsprogrammen aufwendige und noch nicht allgemein verfügbare Schnittstellen notwendig.

Berechnungsverfahren zur Überprüfung des Komforts in seinen unterschiedlichen Ausprägungen können also schnell eine hohe Komplexität erreichen. Der damit einhergehende planerische Aufwand muss jeweils – ebenfalls gemäß der Komplexität der Planungsaufgabe – abgewogen und gegenüber dem Bauherrn artikuliert werden. Sollen bei einzelnen Bauvorhaben Gebäudetechnologien zum Einsatz kommen, deren Auswirkung auf den Komfort nur schwer berechenbar ist, werden auch Messungen unter bestimmten Randbedingungen in Versuchsaufbauten (konditionierbare Testräume, Testfassaden vor einer Klimakammer etc.) oder skalierten Modellen durchgeführt. Sämtliche Ergebnisse aus Berechnungen und Messungen müssen schließlich rückgespiegelt werden auf die im erweiterten Raumbuch hinterlegten Anforderungen, d.h. die Zielkorridore für die einzelnen Planungsgrößen.

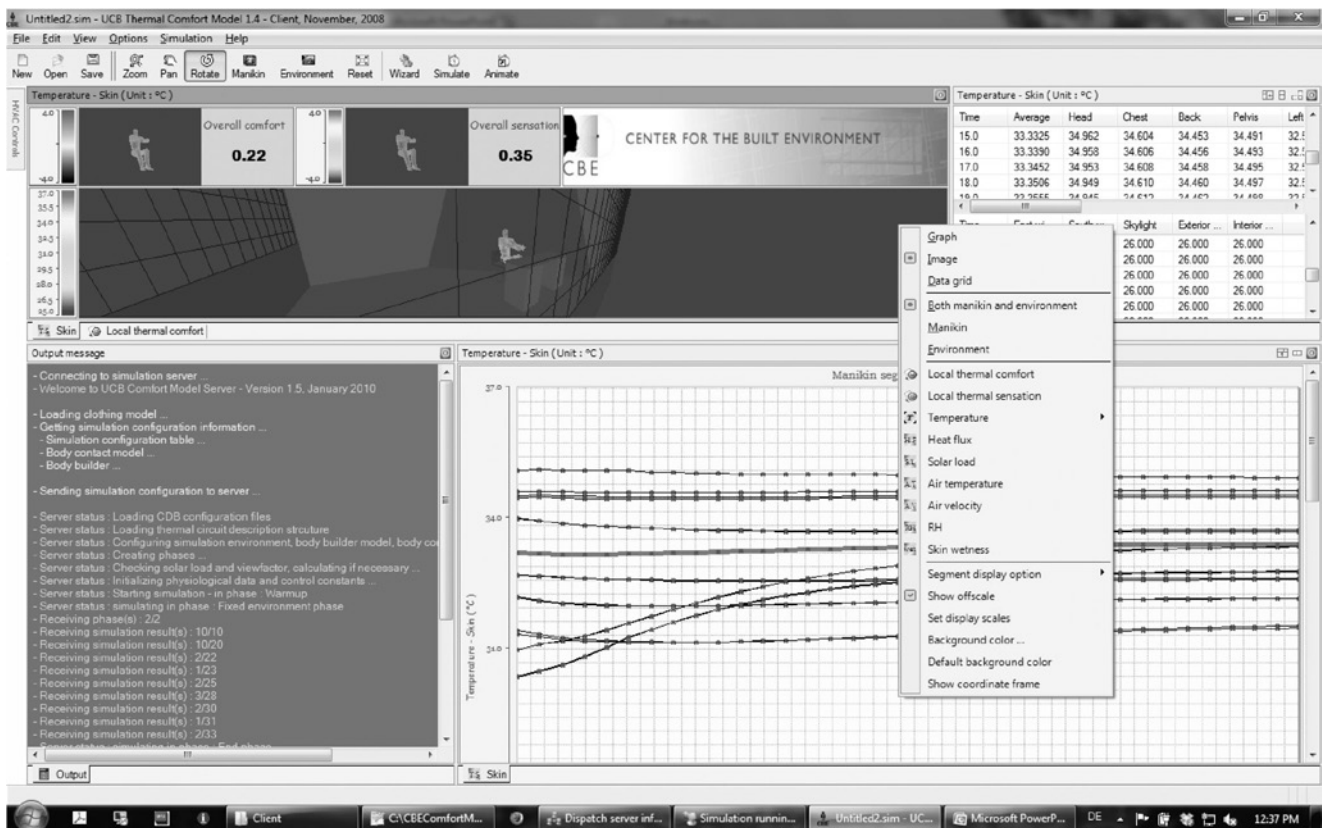


Abb. 1.3-2: Ergebnisdarstellung aus einer Komfortberechnung mit dem Programm UCBCOMFORT des Center of the Built Environment, University of California, Berkeley. Dargestellt ist u. a. die Körperoberflächentemperatur einer sitzenden Person in einer angenommenen inhomogenen Raumklimasituation sowie das daraus abgeleitete **thermische Empfinden**.

1.3.3 Fazit

Planung ist immer eine Projektion in die Zukunft. Man kann daher nur annehmen, dass bestimmte aus einer Planung resultierende Umgebungs- oder Nutzungsbedingungen auch zu zufriedenen Nutzern führen. Dem wird im Planungsstadium mit Wahrscheinlichkeiten für einzelne Komfortgrößen (z. B. vorausgesagter Prozentsatz Zufriedener mit der Raumtemperatur) Rechnung getragen. Mit dem Bauherrn wird außerdem über Komfortklassen der Zielkorridor für diese Zufriedenheitswahrscheinlichkeit und daraus abgeleitete Planungsgrößen (z. B. zulässiges Raumtemperaturband) bei der Definition der Nutzungszonen vereinbart. Wichtige Voraussetzung für eine hohe Nutzerzufriedenheit in der späteren Betriebsphase eines Gebäudes bei gleichzeitig möglichst geringem Energieverbrauch ist das Adressieren von Komfortfragen bereits zu Beginn der Planung. Hierzu ist eine interdisziplinäre Herangehens-

weise notwendig, Kenntnisse und Methoden aus der Architektur- sowie der Arbeits- und Organisationspsychologie müssen verstärkt berücksichtigt werden. Architekt und Planer sind dafür verantwortlich, dass über die Kommunikation mit dem Bauherrn sämtliche Anforderungen in Planungsgrößen übersetzt und in einem erweiterten Raumbuch festgehalten werden. Das schafft eine verbindliche Basis für die weiteren Planungsschritte. Jedoch muss dem Thema Komfort auch in der weiteren Planung und Ausführung kontinuierlich Aufmerksamkeit gewidmet werden. Die gewerkebezogenen Auslegungsrechnungen für die Raumklimatechnik und auch die einfachen Energiebilanzierungsverfahren eignen sich nicht für den Nachweis, dass die im Raumbuch festgehaltenen Soll-/Grenzwerte für die einzelnen Komfortparameter eingehalten werden. Je nach Komplexität der Planungsaufgabe sind hierfür aufwendigere Rechen- oder Simulationsverfahren einzusetzen. Diese sind heute durchaus üblich bei der integralen Planung von

raumklimatisch und energetisch ambitionierten größeren Gebäuden.

Weiterhin muss der Komfort auch im Rahmen der in der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) verankerten Fachbauaufsicht und der Bauabnahme im Auge behalten werden. Auswahl und Einbau von Materialien, technischen Anlagen und Mobiliar, die fachgerechte Ausführung von Details u. v. m. beeinflussen in vielfältiger Weise die Nutzungsqualität eines Gebäudes hinsichtlich Luftqualität, Schallschutz/Raumakustik, Raumklima etc.

Auch wenn die komfortbezogenen Verordnungen und Normen mit entsprechendem rechnerischem Nachweis eingehalten werden, ergibt sich noch nicht automatisch eine hohe Nutzerzufriedenheit. Normative Vorgaben definieren nur einzuhaltende Mindestanforderungen – sowohl die auf sensorischer Wahrnehmung beruhenden Komfortparameter wie auch die weiteren, nur qualitativ beschreibbaren Kriterien bilden damit lediglich den Rahmen für die Gestaltung von Räumen in jeglicher Hinsicht. Die qualitätsvolle Umsetzung liegt in der Verantwortung der Architekten. Die (späteren) Nutzer können dann Informationen liefern, wie gut die Aufgabe gelöst wurde oder wo ggf. nachjustiert werden muss. Aus die-

ser Rückmeldung der Nutzer können auch für die Planung zukünftiger Gebäude wertvolle Erkenntnisse gezogen werden. Eine hohe und dauerhafte Akzeptanz wird u. a. dann erreicht, wenn bereits während der Planung die (spätere) Interaktionsmöglichkeit des Nutzers mit dem Gebäude beachtet wird.

Dies wirft die Frage auf, wie die Planungsleistung »hoher Komfort« überprüft werden kann. Die (nicht allzu umfassenden) Möglichkeiten der baubegleitenden Überwachung wurden oben kurz thematisiert. Bei der Abnahme der technischen Anlagen zur Raumklimatisierung wird lediglich deren Funktion geprüft. Die dynamische Reaktion aller zu einem integralen Raumklimakonzept gehörenden baulichen und technischen Komponenten kann nur im realen Gebäudebetrieb unter Anwesenheit der Nutzer überprüft werden. Das untermauert die schon lange im Raum stehende Forderung nach einer weiteren (honorierten) Planungsphase – der begleitenden Inbetriebnahme (im Amerikanischen bekannt unter dem Begriff *continuous commissioning*), die eine dezierte Bewertung des Komforts bzw. der Nutzerzufriedenheit beinhaltet. Hierzu werden in Teil 3 des Buches entsprechende Verfahren vorgestellt.



1.4 Nutzerzufriedenheit im Betrieb sicherstellen

Thomas Lützkendorf, Benjamin Ströbele

Die Voraussetzungen für die Sicherung der Nutzerzufriedenheit müssen nicht nur in der Grundlagenermittlung fixiert, sondern auch in der weiteren Planung berücksichtigt werden. Es ist sinnvoll, an beiden Aufgaben bereits Vertreter mit Betreiberkompetenz, z. B. aus dem Bereich des Facility Managements, zu beteiligen. Es ist darüber hinaus wichtig, während der Bauausführung zu überwachen, ob die geplanten Maßnahmen auch umgesetzt werden. Dies betrifft z. B. den Nachweis, dass nur die geplanten Produkte im Innenausbau verwendet wurden, da diese sich u. a. auf die Raumluftqualität auswirken können. Insbesondere Zuluftkanäle müssen verschmutzungsfrei eingebaut werden. Weiterhin kommt der Einregulierung von haustechnischen Anlagen während der Übergabe und Inbetriebnahme eine besondere Bedeutung zu. Auch hier können künftige Betreiber bereits einbezogen werden.

Der nach Inbetriebnahme und Einregulierung erreichte Zustand muss in der anschließenden Nutzungs- bzw. Betriebsphase kontinuierlich überprüft und ggf. ver-

bessert werden. Ändern sich die Nutzungsbedingungen, ist er anzupassen. Dies ist eine Aufgabe des Facility Managements. Diese Aufgabe kann jedoch nur dann erfolgreich umgesetzt werden, wenn in der Konzeption, Planung, Ausführung und Inbetriebnahme hierfür sowohl die technischen als auch die organisatorischen Voraussetzungen geschaffen wurden. Hierzu zählen u. a. eine ausführliche Dokumentation eingebauter Produkte und Systeme, die Übergabe/Übernahme der Betriebs-, Wartungs- und Instandsetzungsanleitungen, die Erarbeitung von Nutzerhandbüchern (ggf. spezifisch für Betreiber, Facility Manager, Hausmeister und Nutzer) sowie Wartungs- und Instandhaltungspläne. Soweit möglich sollte auf ein in der Planung konzipiertes und in der Ausführung realisiertes Mess- und Monitoringkonzept zurückgegriffen werden können, welches neben Energieverbräuchen auch Raumklimagrößen erfasst.

Nicht immer lassen sich in der Projektvorbereitung und Planung sämtliche Besonderheiten der tatsächlichen

Nutzung, die stets auch zu spezifischen Anforderungen an die Komfortbedingungen führen, vorhersehen. Nutzungsanpassungen und -änderungen im weiteren Verlauf des Lebenszyklus sind normal. Eine Aufgabe in der Betriebs- bzw. Nutzungsphase ist es deshalb, die Nutzerzufriedenheit kontinuierlich zu überprüfen und die relevanten Parameter durch die Nachjustierung und Anpassung baulich-technischer Lösungen gezielt zu beeinflussen.

Die Aufgaben, die Nutzerzufriedenheit zu erfassen, ein Beschwerdemanagementsystem aufzubauen und umzusetzen sowie die Parameter mit Einfluss auf den Komfort systematisch zu messen, sind durch den Eigentümer oder von ihm zu beauftragende Dritte bzw. durch die das Gebäude nutzende Institution mit Arbeitgeberfunktion zu erfüllen. Derartige Aspekte werden zunehmend auch Teil der Beschreibung und Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden in der Nutzungsphase bzw. von Managementleistungen. So enthalten sowohl das Modul »Nutzen und Betreiben« des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BMUB, 2013) als auch die GEFMA-Richtlinie »Nachhaltigkeit im FM« (GEFMA, 2014) Hinweise auf Grundlagen und Erfordernisse, die Nutzerzufriedenheit zu erfassen und den Umgang mit Beschwerden zu organisieren. Die Prüfung, ob die Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung eingehalten werden, wird zu einer externen Überwachungsaufgabe.

1.4.1 Aufgaben und Handlungsmöglichkeiten

Im Zusammenhang mit der kontinuierlichen Überprüfung, Beeinflussung und Verbesserung der Parameter, die einen unmittelbaren Einfluss auf die Zufriedenheit der Nutzer haben, ergeben sich vor der eigentlichen Betriebs- bzw. Nutzungsphase u. a. folgende Aufgaben:

- Die geplante Funktion von haustechnischen Anlagen und Systemen mit Einfluss auf die Nutzerzufriedenheit ist in der Phase der Übergabe, Inbetriebnahme und Einregulierung herzustellen und zu sichern. Hierzu dient insbesondere eine Funktionsprüfung und Einregulierung mit Nachweisführung (u. a. Lüftungsanlage, Heizungsanlage, Beleuchtungsanlage).
- Mängel bei Bauteilen und zugesicherten Eigenschaften mit Einfluss auf die Nutzerzufriedenheit (u. a. Schallschutzmessung, Messung der Raumluftqualität) sind in der Phase der Übergabe festzustellen und zu beheben. Mit Abbildung 1.4-1 wird dargestellt, wie die Trittschalldämmung unter Nutzung eines Hammerwerks überprüft werden kann, Abbildung 1.4-2 zeigt eine Möglichkeit zur Probenahme für die Messung der Raumluftqualität.
- Geeignete Büroausstattungen (u. a. Möbel, Kopierer) und Büromaterialien (u. a. Klebstoffe) sind unter Beachtung der Funktionalität und Ergonomie sowie

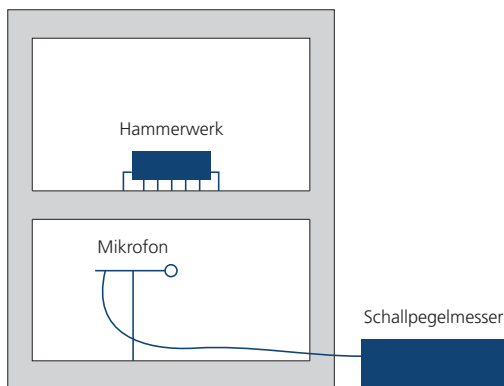


Abb. 1.4-1: Norm-Trittschall-Hammerwerk mit einer Skizze des Empfangs- und Senderraumes



Abb. 1.4-2: Gerät zur Entnahme von Proben aus der Raumluft mit einem festgelegten Volumenstrom

Auswahl und Beschaffung der Büroausstattung

Durch die Verwendung emissionsarmer Produkte für die Büroausstattung kann u. a. Einfluss auf die Raumluftqualität genommen werden. Das Umweltbundesamt stellt zur Unterstützung einer geeigneten Auswahl von Produkten und Dienstleistungen verschiedene Leitfäden für eine umweltfreundliche Beschaffung zur Verfügung. U. a. gibt es derartige Empfehlungen für

- Holzmöbel,
- Elastische Bodenbeläge,
- Tapeten,
- Büroverbrauchsmaterial.

Teilweise werden diese durch Vorlagen für Fragebögen ergänzt, mit denen bei Anbietern zusätzliche Informationen eingeholt werden können.

Die Leitfäden für eine umweltfreundliche Beschaffung sind eng mit den Kriterien des Blauen Engels für die entsprechende Produktgruppe verknüpft. So basiert z. B. der Leitfaden für die umweltfreundliche (öffentliche) Beschaffung von Holzmöbeln auf den Kriterien des Blauen Engels für emissionsarme Möbel und Lattenroste aus Holz und Holzwerkstoffen (RAL-UZ 38). Eingegangen wird u. a. auf Themen wie Formaldehyd, Halogene, Biozide und Flammenschutzmittel, auf die Auswirkungen auf die Raumluftqualität sowie auf die Anforderungen an das Holz.

emissionsfreier oder -armer Lösungen (vgl. auch Kap. 2.2) auszuwählen. Eine Orientierungshilfe liefern u. a. das Umweltzeichen »Der **Blaue Engel**« oder Hinweise des Umweltbundesamtes. Dieses bietet auf seinen Seiten Hinweise zur Ausschreibung und Beschaffung von Bürogeräten, Büroverbrauchsmaterial und Möbeln – siehe www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/umweltfreundliche-beschaffung/empfehlungen-fuer-ihre-ausschreibung.

- Geeignete Technologien und Produkte für die Reinigung sind unter dem Aspekt der Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit auszuwählen. Eine Orientierungshilfe liefert u. a. das Umweltbundesamt. Dieses bietet auf seinen Seiten Hinweise zur Ausschreibung von Reinigungsdienstleistungen und -mitteln an, siehe auch www.umweltbundesamt.de/reinigungsdienstleistungen-mittel.

Für die eigentliche Betriebs- und Nutzungsphase gelten folgende Handlungsempfehlungen:

- Das Raumklima ist in relevanten Bereichen laufend zu beurteilen. Dies ist möglich durch die Messung von Raumklimaparametern (u. a. Raumlufttemperatur, Luftgeschwindigkeit) oder die Befragung der Nutzer hinsichtlich Komfortempfinden oder Zufriedenheit. Ausgewählte und speziell geschulte Mitarbeiter des Facility Managements sollten hierfür mit geeigneten Messgeräten ausgestattet werden.
- Im erweiterten Sinne können in die Beurteilung des Raumklimas hygrische Aspekte (u. a. Luftfeuchte), akustische Aspekte, visuelle Aspekte und die Qualität der Raumluft (u. a. die Beurteilung der geruchlichen Frische) einbezogen werden.
- Ein System für die Analyse der Nutzerzufriedenheit ist aufzubauen und zu nutzen.
- Ein System für das Beschwerdemanagement ist aufzubauen und zu nutzen. Dies umfasst auch, bei Bedarf Gegenmaßnahmen zu veranlassen und deren Erfolg zu kontrollieren.
- Die Nutzer sind aktiv anzusprechen, aufzuklären und zu beeinflussen (u. a. durch Nutzerhinweise, Nutzerinformation, Nutzerschulung, Nutzermotivation).
- Aussprache eines allgemeinen oder auf bestimmte Bereiche beschränkten Rauchverbots. Arbeitnehmer haben grundsätzlich den Anspruch auf einen rauchfreien Arbeitsplatz. Der Arbeitgeber hat daher Maßnahmen zu ergreifen, um die nicht rauchenden Beschäftigten in Arbeitsstätten vor den Gesundheitsgefahren durch Tabakrauch zu schützen.

Vor oder während der Betriebs- bzw. Nutzungsphase bestehen Möglichkeiten, ausgewählte Parameter mit Einfluss auf die Nutzerzufriedenheit mit Dritten vertraglich zu regeln. Empfohlen wird hier:

- die Bestimmung und Festlegung von Parametern mit Einfluss auf die Zufriedenheit der Nutzer im Fall von Betreiber- und Contracting-Modellen (z. B. Einhalten von Raumtemperaturen);
- die Bestimmung und Festlegung von Parametern mit Einfluss auf die Zufriedenheit der Nutzer in Mietverträgen mit anmietenden Unternehmen (grüner Mietvertrag).

Empfehlenswert ist weiterhin eine Kooperation mit den Behörden und Einrichtungen, die dafür zuständig sind, die Einhaltung von Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung zu überprüfen (Gewerbeaufsichtsämter, Ämter für Arbeitsschutz).

1.4.2 Internes Zufriedenheitsmanagement

Um die Zufriedenheit der Nutzer in der Betriebsphase zu sichern, hilft es, u. a. ein Zufriedenheitsmanagement aufzubauen und umzusetzen. Es umfasst i. d. R. sowohl die systematische Analyse der Zufriedenheit der Nutzer auf Basis von Befragungen als auch ein Beschwerdemanagement.

Nutzerzufriedenheitsanalyse

Die regelmäßige und systematische Befragung der Nutzer als Teil einer Nutzerzufriedenheitsanalyse kann über Papierfragebögen oder computergestützte Abfragesysteme erfolgen. Es wird empfohlen, die Befragung getrennt für den Sommer- und Winterfall durchzuführen und mit einer Messung ausgewählter Parameter zu kombinieren. Auf Inhalte und Hilfsmittel einer Nutzerzufriedenheitsanalyse wird ausführlich in Kapitel 3.2.3 eingegangen.

Beschwerdemanagement

Ein Beschwerdemanagement umfasst in Anlehnung an (Poser, 2001) die Beschwerdestimulierung, -annahme, -bearbeitung und -auswertung. Die Mitarbeiter können dazu ermutigt werden, Beschwerden abzugeben, indem die Zuständigkeiten für das Beschwerdemanagement und eine geeignete Form der Übergabe (z. B. Intranet oder Postfach) bekannt gemacht werden. Der wesentliche Punkt der Beschwerdeannahme liegt darin, alle Informationen zu erfassen, welche zur Bearbeitung benötigt werden. In Bezug auf das Raumklima können dies neben gemessenen Raumklimaparametern auch Daten zur Lüftungsart oder zu Tätigkeit und Alter der Mitarbeiter sein. Die Beschwerdebearbeitung gliedert sich in die Reaktion (Aktivität, welche der die Beschwerde führende Mitarbeiter direkt wahrnimmt) und die interne Bearbeitung zur endgültigen Problemlösung. Als Reaktion ist es über die Zeit des Bearbeitungsprozesses notwendig, eine Eingangsbestätigung zu versenden und den Bear-

beitungsstand aufzuzeigen. Durch die Weiterleitung der Informationen an verantwortliche Personen (z. B. an das technische Gebäudemanagement) kann die interne Bearbeitung erfolgen. Daran schließt sich die Auswertung an, indem die Daten systematisch gesammelt und verarbeitet werden. Dies kann beispielsweise in Form einer grafischen Darstellung durch ein Ursache-Wirkungs-Diagramm erfolgen. Darauf aufbauend können Maßnahmen durchgeführt werden, um Ursachen für Beschwerden zu beseitigen und Verbesserungen zu erzielen sowie Folgebeschwerden zu vermeiden. Wichtig ist in jedem Fall die anschließende Erfolgskontrolle.

Ein Problem des Beschwerdemanagements ist der Umgang mit schriftlich eingehenden Beschwerden, die sehr vage formuliert und sehr allgemein gehalten sind. Diese sollten in Anlehnung an (Heckelmann, 1997) zunächst in ein Ordnungssystem mit zuvor festgelegten Problemkategorien eingeordnet werden. Die Erarbeitung entsprechender Problemkategorien ist die Voraussetzung für einen differenzierten Umgang mit Beschwerden. Ihnen sollten Hinweise für den Umgang mit der Beschwerde, die Analyse möglicher Ursachen sowie das Erarbeiten möglicher Lösungen zugeordnet werden. Abbildung 1.4-5 im Infokasten zum Beschwerdemanagement gibt ein Beispiel dafür, welche Probleme bei der Interpretation von Beschwerdemeldungen auftreten können.

Analysemöglichkeiten

Um unterschiedliche raumklimatische Parameter zu messen und zu beurteilen, kann das Facility Management Messinstrumente bzw. Testverfahren einsetzen. Dies erfolgt entweder

- im Rahmen einer systematischen Datenerfassung und Begehung (Abb. 1.4-3),
- auf eigene Veranlassung des Betreibers bei Verdacht auf bestehende Probleme,
- als Reaktion auf eine negativ ausgefallene Nutzerzufriedenheitsanalyse oder
- im Sinne einer Beschwerdeauswertung und Problemlösung.

Für Messungen kommen beispielsweise Temperatur-, Luftfeuchte- bzw. **Aerosol**-Messgeräte in Frage, mit denen neben Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit auch Partikelkonzentrationen in der Raumluft gemessen

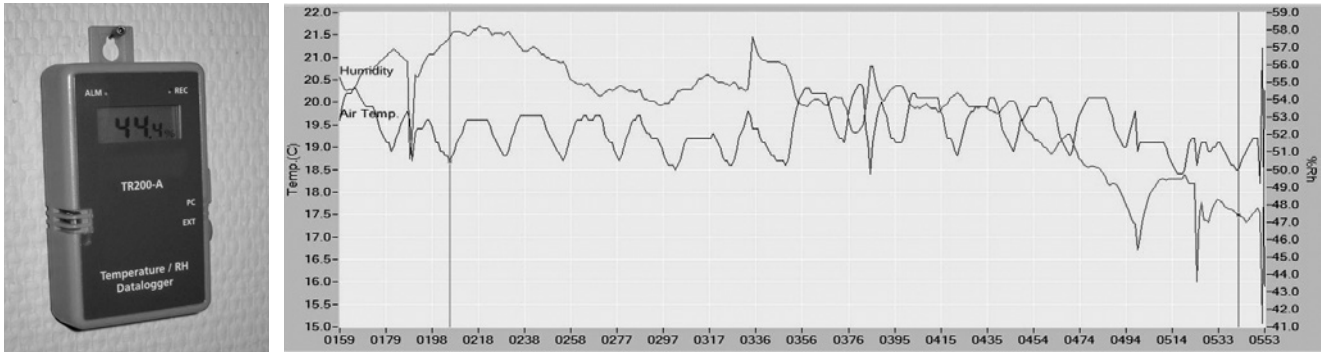


Abb. 1.4-3: Beispiel der Datenerfassung mit einem Datalogger zur Erfassung der Raumlufttemperatur und relativen Luftfeuchtigkeit

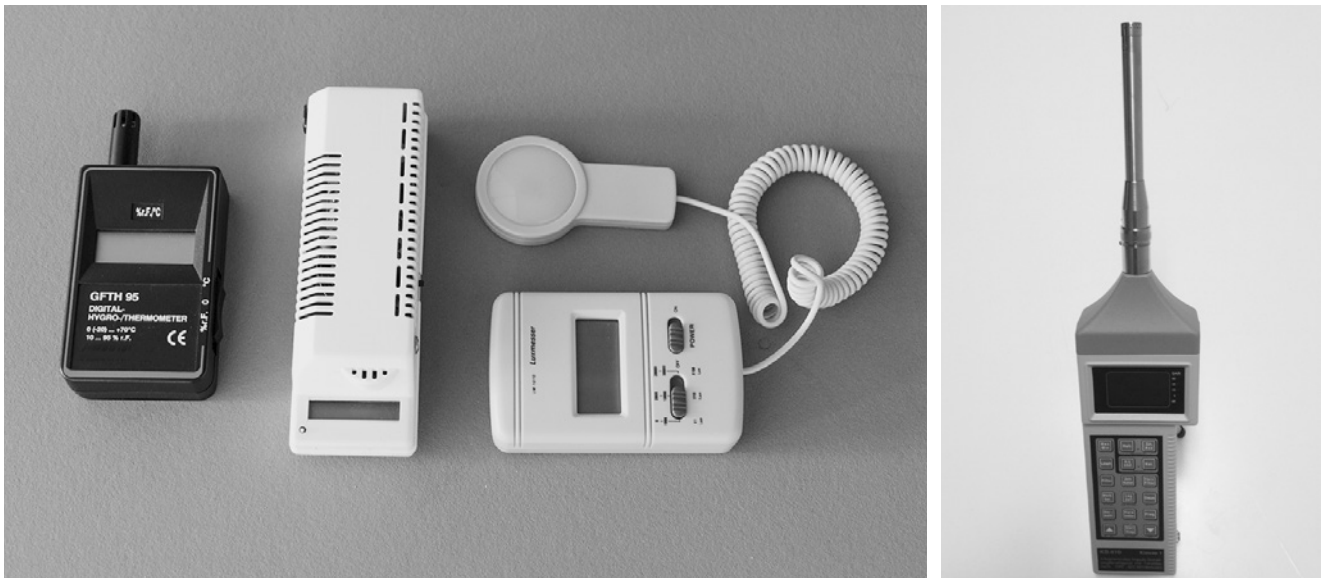


Abb. 1.4-4: Temperatur-/Luftfeuchte-Messgerät, CO₂-Messgerät, Luxmeter und Schalldruckmessgerät (von links nach rechts)

werden können. Luxmeter geben den gemessenen Lichtstrom pro Flächeneinheit in der Einheit Lux als Beleuchtungsstärke an und unterstützen so die Überprüfung der geforderten Beleuchtungsstärke. In Abbildung 1.4-4 werden entsprechende Geräte vorgestellt. In Altbauten kann bei Bedarf ein Formaldehydmessgerät (Schnellverfahren) oder ein **PCP-Test** (Schnellverfahren) eingesetzt werden. Bei PCP handelt es sich um Pentachlorphenol, das in Holzschutzmitteln verwendet wurde und in Verdacht steht, neben einer Reihe von gesundheitlichen Beschwerden auch Krebs verursachen zu können. Entsprechende Tests können jedoch nur erste Anhaltspunkte liefern. Insbesondere im Altbau wird bei Verdacht auf Schadstoffe empfohlen, eine Begutach-

tung durch spezialisierte Anbieter zu veranlassen. Generelle Hinweise zum Umgang mit Schadstoffen im Altbau sind verfügbar unter www.lfu.bayern.de/umweltwissen/schadstoffe/index.htm.

Eine Belastung mit Schimmel kann u. a. bei Begehungen identifiziert werden. Zu dieser Thematik bietet das Umweltbundesamt einen Leitfaden an (UBA, 2005).

Selbstprüfung und externe Überwachung

Der Arbeitgeber ist dafür zuständig, dass das Arbeitsschutzgesetz bzw. die Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung eingehalten werden. Nachgewiesen wird die Einhaltung für die bestehenden Tätigkeiten der

Mitarbeiter mittels einer Gefährdungsbeurteilung. Die Maßnahmen können unter der Zuhilfenahme der technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR) abgeleitet werden. Dabei können Checklisten, wie sie Abbildung 1.4-6

exemplarisch darstellt, als Hilfestellung dienen. Auch die vom Unternehmen bestellte Fachkraft für Arbeitssicherheit kann bei der Erstellung der Gefährdungsbeurteilung beraten. In Bürogebäuden können Gefährdungen

Beschwerdemanagement am Beispiel Beleuchtung

Christoph Schierz

Negative Beleuchtungswirkungen äußern sich oft in Beschwerdemeldungen von Beschäftigten. Diese müssen auf jeden Fall ernst genommen werden. Um die Problemursache zu ermitteln, sind aber zusätzliche Abklärungen erforderlich. Nicht immer trifft die von den Betroffenen vermutete Ursache zu; oft liegen auch Beleuchtungsprobleme vor, die von den Beschäftigten nicht als solche erkannt werden. Weitere Hinweise geben Beobachtungen der vorliegenden Situation und das Verhalten der Betroffenen. Probleme am Arbeitsplatz sind meist nicht auf eine einzige Ursache zurückzuführen und sind jedes Mal wieder von anderer Art. Sie lassen daher keine einfachen Lösungsrezepte zu.

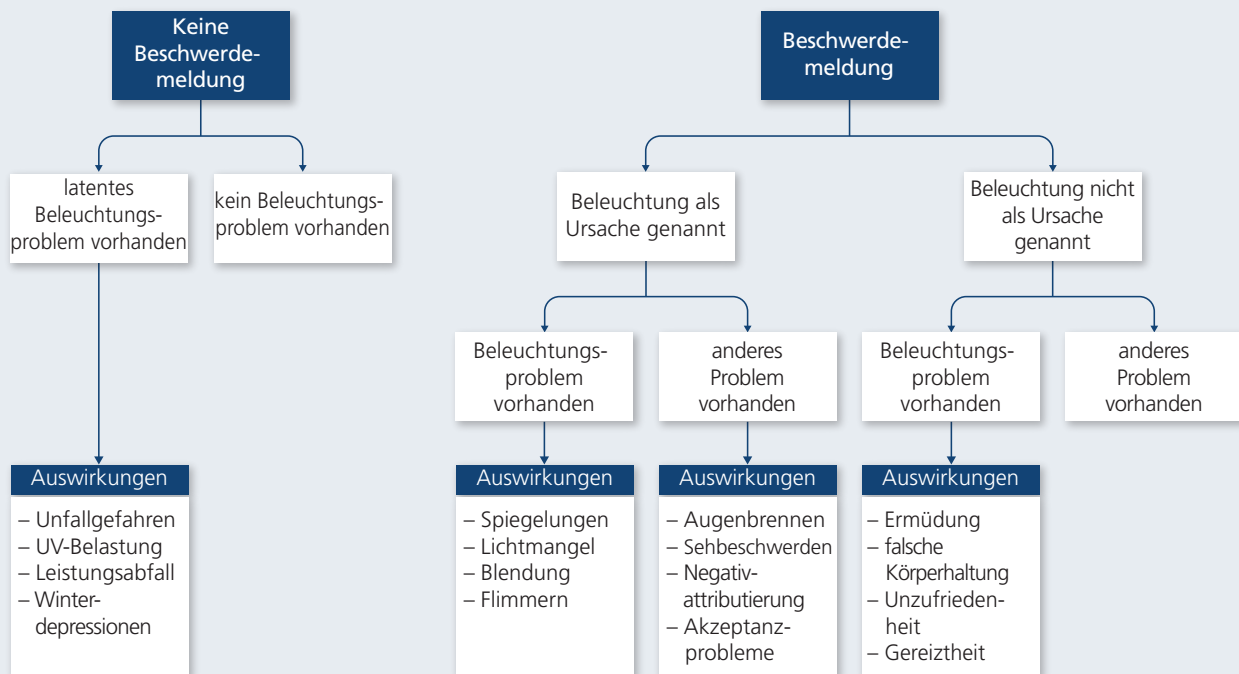


Abb. 1.4-5: Beschwerden und Problemkategorien der Beleuchtung nach (Schierz et al., 2002)

Die in Abbildung 1.4-5 angegebenen negativen Auswirkungen sind nicht notwendigerweise typisch für die jeweilige Problemkategorie. So können beispielsweise Sehbeschwerden entweder durch zu wenig Licht oder durch eine falsche Korrektur der Sehfehler zustande kommen. In beiden Fällen vermuten Betroffene oft Beleuchtungsfehler als Ursache. Werden von Betroffenen der Beleuchtung krankmachende Wirkungen zugeschrieben, obwohl dafür kein objektiver Grund vorliegt (»Neonröhren machen krank«) handelt es sich um eine psychologische Negativattributierung. Solche Akzeptanzprobleme werden oft dann beobachtet, wenn eine Büroeinrichtung so geändert wurde, dass die Beschäftigten ohne Mitwirkungsmöglichkeit vor vollendeten Tatsachen standen.

Nr.	Prüfpunkt	Ja	Nein	n. z.	Bemerkung
1	Beurteilung der Beleuchtung				
1.1	Wurde die Beleuchtungsstärke in den Arbeitsbereichen gemessen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
1.2	Wird der Mindestwert der Beleuchtungsstärke in Gebäuden nach Anlage 1 ASR A3.4 eingehalten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
1.3	Wird der Mindestwert der Beleuchtungsstärke im Freien nach Anlage 2 ASR A3.4 eingehalten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
1.4	Ist die Arbeitsstätte mit ausreichend Tageslicht versorgt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
1.5	Sind die Mindestwerte der Beleuchtungsstärken auf Baustellen eingehalten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Gütemerkmale der Beleuchtung				
2.1	Sind Blendungen in den Arbeitsbereichen ausgeschlossen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.2	Sind die Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen als solche erkennbar?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.3	Ist das Flimmern der Beleuchtungseinrichtungen ausgeschlossen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.4	Sind Schatten, die zu Unfallgefahren führen, ausgeschlossen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Abb. 1.4-6: Ausschnitt einer Checkliste zur ASR A3.4 Beleuchtung, nach Fiedler et al. (2012)

beispielsweise durch unzureichende Beleuchtungssituationen, Feinstäube oder Formaldehyd-Emissionen bestehen. Soweit die Gefährdungen und die daraus abzuleitenden Maßnahmen bauwerksrelevante Anforderungen betreffen, kann eine interne Überprüfung über den Betreiber oder das Facility Management erfolgen. In der Literatur werden auch hierfür Checklisten angeboten (siehe u. a. Fuchs, Weyde und Gellert, 2013).

Die staatlichen Arbeitsschutzaufsichtsbehörden (i. d. R. Staatliche Ämter für Arbeitsschutz StÄfA) bzw. Gewerbeaufsichtsämter kontrollieren als Externe, ob die Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung eingehalten werden. Kontrollen erfolgen meist nach Mitteilungen über Verstöße gegen Schutzbestimmungen. Für Messungen, um nachzuweisen, ob die Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung eingehalten werden, nutzen sie auch Forschungsergebnisse beispielsweise nach (Lindemuth, 1992). Hier wird exemplarisch die Vorgehensweise zur Messung von Beleuchtungsanlagen in Innenräumen geschildert.

Die Ergebnisse einer Zufriedenheitsanalyse für weitere Zwecke nutzen

Art und Qualität des Nutzerzufriedenheitsmanagements sowie die dabei gewonnenen Ergebnisse können die unterschiedlichen Akteure für weitere Zwecke verwenden. Es ergeben sich u. a. Möglichkeiten, den erreichten Grad der Nutzerzufriedenheit in die

- **Nachhaltigkeitsbewertung** und -zertifizierung des betreffenden Gebäudes (siehe Kap. 3.2),
- **Nachhaltigkeitsberichterstattung** des anmietenden Unternehmens und
- Portfolioanalyse des Gebäudebesitzers (u. a. Analyse des Zusammenhangs zwischen Nutzerzufriedenheit und Vermietungserfolg)

zu integrieren.

Die Auseinandersetzung mit Fragen der Herstellung, Aufrechterhaltung und Verbesserung der Zufriedenheit von Nutzern in der Betriebsphase wird mehr und mehr zu einer Managementaufgabe. Insbesondere Akteuren im Bereich Facility Management wird die intensive Auseinandersetzung mit der Thematik empfohlen.

1.4.3 Quellen und weiterführende Literatur

Quellen

BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2013). BNB – Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen, Systemvariante Bau- und Verwaltungsgebäude, Modul Nutzen und Betreiben. Berlin: BMUB. www.nachhaltigesbauen.de.

Fiedler, I., Lendt, C., Kopka, J., Meyer, J. & Weiß, V. (2012). Arbeitsstätten sicher prüfen und betreiben. Praktische Umsetzungshilfen zur Arbeitsstättenverordnung. Online Version. Kissing: Weka Media GmbH.

Fuchs, U., Weyde, M. & Gellert, F. (2013). Das große ASR-/TRBS-Checkbuch für Ihre Praxis – Überblick und Checklisten zu allen Technischen Regeln für Arbeitsstätten- und Betriebssicherheit. Bonn: VNR Verlag für die Deutsche Wirtschaft.

GEFMA – German Facility Management Association (Hrsg.) (2014). Nachhaltigkeit im Facility Management. Grundlagen und Konzeption (GEFMA 160). Ausgabe 2014–10.

Heckelmann, S. (1997). Beschwerdemanagement in Versicherungsunternehmen. Karlsruhe: VWW.

Lindemuth, F. (1992). Messung von Beleuchtungsanlagen in Innenräumen. Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse. Forschungsergebnisse für die Praxis. Messung von Beleuchtungsanlagen in Innenräumen. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz (Hrsg.).

Poser, M. & Schlüter, W. (2001). Kundenorientierung und Beschwerdemanagement in der ambulanten und stationären Altenpflege. München: Verlag Neuer Merkur.

RAL-UZ 38 – RAL gGmbH (Hrsg.) (2011). Emissionsarme Produkte aus Holz und Holzwerkstoffen. RAL-UZ 38. Vergabegrundlagen für Umweltzeichen. Sankt Augustin: RAL.

Schierz, C. (2002). Vor- und Nachteile intensiver Beleuchtung am Büroarbeitsplatz. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 56 (4), 269–274.

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2005). Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen. Schimmelpilz-Sanierungsleitfaden. Berlin: UBA.

Weiterführende Literatur

Hellwig, R. (2005). Thermische Behaglichkeit. Unterschiede zwischen frei und mechanisch belüfteten Bürogebäuden aus Nutzersicht. Dissertation, Technische Universität München.



2 Komfort an Büroarbeitsplätzen – wissenschaftliche Grundlagen und Planungsempfehlungen

2.1	Thermische Behaglichkeit	49
2.2	Luftqualität in Innenräumen	80
2.3	Visueller Komfort	97
2.4	Auditiver Komfort	122
2.5	Individuelle Regelmöglichkeiten	133
2.6	Weitere Umwelteinflüsse	143
2.7	Raumkonzept und Raumgestaltung	147



2.1 Thermische Behaglichkeit

Marcel Schweiker, Runa Tabea Hellwig, Conrad Völker, Cornelia Moosmann,
Doreen Kalz, Jens Pfafferott

Thermisch behagliche Bedingungen sicherzustellen, ist ein Aspekt der Nutzungsqualität. Im Vergleich zu allen im weiteren Verlauf dieses Buches vorgestellten Behaglichkeitsaspekten ist der thermische Komfort der am besten erforschte und am meisten reglementierte Teilaspekt. Trotz der vielen Vorgaben, die den thermischen Komfort sicherstellen sollen, zeigen aktuelle Studien, dass dieser nach wie vor häufig als Beschwerdegrund genannt wird (siehe auch Kap. 3.1). Dies hängt damit zusammen, dass die entsprechenden Normen (Kap. 2.1.2) objektive Kriterien zur Bewertung des Raumklimas vorschreiben (müssen), während das **thermische Empfinden** und damit zusammenhängend die **thermische Behaglichkeit** durch zahlreiche subjektive Faktoren beeinflusst werden. So geben die aktuellen Normen zwar Komfortbereiche an, die für eine hohe Prozentzahl der Nutzer zu behaglichen Bedingungen führen sollen, aber für das Individuum nicht zwangsläufig die optimalen Bedingungen sein müssen.

Verstärkt wird dies dadurch, dass der Mensch nicht in der Lage ist, ohne Hilfsmittel, also nur mit seinem Körper, absolute Temperaturen zu messen. Diese Feststellung geht bereits auf das vorherige Jahrhundert zurück (Yeo, 1884). So steht die empfundene Temperatur immer in Relation zum persönlichen Behaglichkeitsbereich. Die in den folgenden Kapiteln vorgestellten Komfortmodelle können daher nur eine Annäherung an die empfundene Behaglichkeit darstellen.

Der Schwerpunkt dieses Kapitels liegt auf dem sommerlichen thermischen Komfort. Im Winter treten im Neubau kaum noch Beschwerden auf, während im Sommer zunehmend Probleme mit Überhitzung zu beobachten sind. Zusätzlich wird der sommerliche thermische Komfort verstärkt erforscht. Die zahlreichen Forschungsstudien zum Thema thermische Behaglichkeit ermöglichen, für Planung und Betrieb abzuleiten, was zu einer sehr hohen Nutzerzufriedenheit mit diesem Teilaspekt der Gesamtzufriedenheit führen kann (siehe Kap. 2.1.9).

2.1.1 Wissenschaftliche Grundlagen

In den vergangenen Jahren findet zunehmend das Thema thermische Behaglichkeit in Gebäuden Beachtung. Dies ist einerseits erfreulich, weil Gebäude dem einzigen Zweck dienen, dem Menschen eine geeignete Umgebung für den Aufenthalt und die Ausübung bestimmter Tätigkeiten zu bieten. Andererseits ist zu beobachten, dass eine allzu starre Interpretation des Begriffes Behaglichkeit dazu beiträgt, durch Energieeffizienzmaßnahmen erzielbare Energieeinsparungen zu verfehlen.

Wärmebilanz

Eine notwendige Voraussetzung für thermische Behaglichkeit ist eine ausgeglichene Wärmebilanz des menschlichen Körpers ohne erhöhten thermoregulatorischen Aufwand wie starkes Schwitzen oder Kältezittern. Die Wärmebilanz des menschlichen Körpers wird hauptsächlich durch sechs Faktoren beeinflusst:

Individuelle Faktoren:

- Die Aktivität der betreffenden Person beeinflusst ihre innere Wärmeproduktion.
- Die Dämmung der Bekleidung.

Physikalische Umgebungsparameter:

- Die Lufttemperatur und die mittlere Luftgeschwindigkeit an einer Person beeinflussen maßgeblich den Wärmeaustausch über Konvektion.
- Die Temperatur der raumbegrenzenden Oberflächen (Strahlungstemperatur) bestimmt den Wärmeaustausch durch Wärmestrahlung.

- Die relative Luftfeuchte beeinflusst den Wärmeaustausch durch Verdunstung, spielt jedoch in üblichen Arbeitsumgebungen für sitzende Tätigkeiten wie z. B. Büroräumen im gemäßigten Klima nur eine untergeordnete Rolle.

Der Mensch kann durch autonom im Körper ablaufende physiologische Mechanismen und durch bewusste, auf Erfahrungen beruhende Verhaltensweisen die Wärmebilanz seines Körpers auf verschiedenste Weisen beeinflussen (Tab. 2.1-1).

Thermisches Empfinden und thermische Behaglichkeit

Thermische Behaglichkeit bezeichnet die Zufriedenheit mit der thermischen Umgebung. Grundlage bildet hierfür das **thermische Empfinden** des Körpers, also die wahrgenommene Temperatur. Diese kann als eine Art relative Temperaturmessung des Körpers interpretiert werden. Die thermische Behaglichkeit dagegen geht über das thermische Empfinden hinaus und beschreibt das Wohlbefinden bei dieser wahrgenommenen Temperatur in einem bestimmten Kontext und enthält daher auch eine psychologische Komponente. Für das thermische Empfinden benutzen wir Adjektive wie kalt oder warm. Verwenden wir Ausdrücke wie zum Beispiel behaglich, unbehaglich, zu kalt oder zu warm so geben wir unserer Zufriedenheit oder Unzufriedenheit Ausdruck und bewerten damit die thermische Umgebung. Die Bewertung einer thermischen Umgebung erfolgt aber nicht losgelöst vom Kontext, also von der Situation, in der wir uns gerade befinden. Kontext beinhaltet in diesem Zusammenhang die subjektiven Erfahrungen und Präferenzen und daraus abgeleitet die Erwartungen einzelner Personen daran, welchen thermischen Zustand

Tab. 2.1-1: Autonome physiologische Mechanismen und Verhaltensweisen, die die Wärmebilanz des Körpers beeinflussen, nach Precht et al. (1955, S. 343).

physikalische Größe	autonomer Mechanismus	Verhaltensweise
Umgebungstemperatur	–	Aufsuchen eines anderen Ortes (Schatten, Sonne, Wind) Veränderung der Raumparameter (Heizung, Kühlung, Luftbewegung)
Wärmebildung	Muskeltonus, Kältezittern, zitterfreie Thermogenese	Willkürbewegung, Nahrungsaufnahme
Wärmewiderstand	Hautdurchblutung	Bekleidungsanpassung
Wärmeabsorption	Schweißsekretion	Befeuchten des Körpers, Luftbewegung durch Fächeln
Oberflächen-Volumen-Verhältnis	Körperhaltung (unbewusst)	Körperhaltung (bewusst)

ein Innenraum besitzen sollte. Dabei steuert beispielsweise die Art der Tätigkeit in diesem Innenraum die Erwartungen an dessen thermischen Zustand. Die Anzahl der Personen in einem Raum bestimmt ebenfalls die Erwartungen an das thermische Raumklima. Auch das Potenzial, das Raumklima zu beeinflussen, welches der Raumnutzer dem Raum zuordnet, steuert dessen Erwartungen. Zum Kontext gehören außerdem die Klimazone, in der sich der Innenraum befindet, die Jahreszeit und die vorherrschende Witterung der letzten Tage, die eine Person erlebt hat. Akklimatisationseffekte, bei denen die autonome Körpertemperaturregulation bei konstanter Kerntemperatur auf die veränderte Außentemperatur angepasst wird, spielen also eine Rolle (de Dear & Brager 1998). Bischof et al. (2007) konnten zeigen, dass nicht-thermische Größen wie Arbeitsunzufriedenheit, Tätigkeitsbewertung oder die Art der Raumkonditionierung die Ausprägung der Größen »thermische Behaglichkeit« und »Zufriedenheit mit der Raumtemperatur« signifikant beeinflussen. Dagegen zeigt sich das thermische Empfinden von diesen Größen unbeeinflusst; einzig eine akute Erkrankung kann das thermische Empfinden verändern, weil eine Erkrankung die autonome Thermoregulation beeinträchtigen kann.

Gesamtbehaglichkeit und lokale thermische Unbehaglichkeit

Es wird zwischen thermischer Gesamtbehaglichkeit, also der Behaglichkeit, die eine Person insgesamt ausdrückt und lokalen Unbehaglichkeitsphänomenen unterschieden. Diese Unterscheidung ist zwar eher theoretischer Natur; sie spiegelt sich jedoch in den in Normen verankerten Bewertungsmodellen wieder. In Befragungen zeigt sich immer wieder, dass eine lokal auftretende Unbehaglichkeit die Gesamtbehaglichkeit beeinträchtigt (z. B. Park et al. 2011).

Lokale Unbehaglichkeit kann durch zu starke lokale Abkühlung oder Erwärmung des Körpers entstehen. Zugluft bezeichnet die starke lokale Abkühlung des Körpers durch Luftbewegung. Durch bestimmte Konstellationen bei der Beheizung oder Kühlung eines Gebäudes kann sich eine ausgeprägte Lufttemperaturschichtung im Raum einstellen. Dies wird als vertikaler Temperaturgradient bezeichnet. Eine Person umgebende stark asymmetrisch variierende Oberflächentemperaturen können unbehaglich wirken und werden als Strahlungstemperaturasymmetrie bezeichnet.

Modellansätze für thermisches Empfinden und thermische Behaglichkeit

Die Modellansätze reichen von der Angabe von Temperaturbereichen aus Erfahrungswerten über thermische **Klimasummenmaße**, für die in Experimenten behagliche Bereiche ermittelt wurden, stationäre Wärmebilanzmodelle, thermophysiologische Modelle bis zu statistischen Modellansätzen, welche Behaglichkeitsbereiche aus Befragungen sehr großer Personengruppen ableiten. Zu den am weitesten verbreiteten Klimasummenmaßen gehört die **operative Temperatur**. Sie fasst den Effekt von Lufttemperatur und mittlerer Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen unter Berücksichtigung der Luftgeschwindigkeit zusammen (DIN EN ISO 7730, 2006). Bei niedrigen Luftgeschwindigkeiten unter 0,2 m/s ist die operative Temperatur der Mittelwert aus Lufttemperatur und Strahlungstemperatur. Die operative Temperatur wird vor allem in kalten und gemäßigten Klimazonen angewendet. Hier beeinflusst die Luftfeuchte nur zu wenigen Zeitpunkten im Jahr die thermische Behaglichkeit. In anderen Klimazonen sind andere Klimasummengrößen geeigneter, z. B. die Normal-Effektivtemperatur, welche Lufttemperatur, Luftfeuchte und Luftgeschwindigkeit zu einer Größe zusammenfasst oder die korrigierte Normal-Effektivtemperatur, bei der im Gegensatz zur Normal-Effektivtemperatur die Lufttemperatur durch die operative Temperatur ersetzt wird und somit der Effekt der Strahlungstemperatur einbezogen wird (DIN 33403-3, 2011). Die früher in Deutschland gültige und teilweise noch verwendete DIN 1946-2 (1994) gehörte zu den Ansätzen, die behagliche Temperaturbereiche angaben, die auf der Grundlage von Erfahrungen gewonnen wurden.

Wärmebilanzmodelle und thermophysiologische Modelle (siehe Kap. 2.1.5) berechnen die Wärmeströme mit einem standardisierten Modell des menschlichen Körpers und leiten daraus das thermische Empfinden ab. Dabei wird die durch verschiedene Tätigkeiten erzeugte Wärmeproduktion als Wärmequelle im menschlichen Körper betrachtet (z. B. Bürotätigkeit mit 120 W/Person, entsprechend 1,2 met). Die Bekleidung wird als Wärmedämmung der Körperhülle angesehen (z. B. 0,75 clo, entsprechend 0,116 m²K/W). Das bekannteste Wärmebilanzmodell wurde von Fanger entwickelt und ist ein Verfahren zur Berechnung eines vorausgesagten mittleren thermischen Empfindens einer Gruppe. Dabei wird das vorausgesagte mittlere Votum (**PMV**, Predicted

Mean Vote) als mittleres thermisches Empfinden auf einer siebenstufigen Skala: +3 (heiß), +2 (warm), +1 (etwas warm), 0 (neutral), -1 (etwas kühl), -2 (kühl) und -3 (kalt) dargestellt. Es wird ein Wert von 0 angestrebt, was einem neutralen thermischen Empfinden entspricht (weder warm noch kalt). In Experimenten mit Personen, die eine Standardbekleidung (konstant 0,6 clo) trugen, wurde das thermische Empfinden dieser Personen bei verschiedenen Temperaturen auf der genannten siebenstufigen Skala abgefragt. Basierend auf der Annahme, dass Unzufriedenheit bei Voten von -3, -2, +2 und +3 auftritt, wurde ein Zusammenhang für den vorhergesagten Anteil Unzufriedener (PPD, Predicted Percentage of Dissatisfied) ermittelt. Die Untersuchungen fanden in einer Klimakammer mit Verdrängungsströmung bei sehr niedrigen Luftgeschwindigkeiten von ca. 0,1 m/s und sehr geringer Schwankung dieser Luftgeschwindigkeit statt. Deshalb wurde später ein Modell zur Zugluftbewertung ergänzt. Das PMV-Modell darf heute in einem **extrapolierten** Bereich für die Bekleidungsdämmung (0 bis 2 clo) und für die Luftgeschwindigkeit (0 bis 1 m/s) angewendet werden. Bei neutralem thermischen Empfinden wird als niedrigster vorhergesagter Anteil Unzufriedener 5 % ermittelt, was 95 % Zufriedenen entsprechen würde. Feldstudien zeigen aber, dass selbst in Gebäuden mit sehr hohen Zufriedenheitsraten nur mit 80 bis 85 % Zufriedenen zu rechnen ist (z. B. Hellwig 2005, Gossauer 2008). Die Diskrepanz wird unter anderem in der Vernachlässigung von Kontexteffekten im Wärmebilanzmodell nach Fanger begründet sein.

Der Modellansatz der Adaptiven Behaglichkeit schließt den Kontext mit ein. Daher gelten Adaptive Behaglichkeitsmodelle (Kap. 2.1.4) für Bereiche von Aktivitäten für bestimmte Umgebungen. Sie ermitteln den Behaglichkeitsbereich der operativen Temperatur in Abhängigkeit von den vorherrschenden Witterungsverhältnissen in einer bestimmten Zeit des Jahres. In den USA wurde das von de Dear et al. (1997) entwickelte Adaptive Modell 2004 in den ASHRAE Standard 55 (jetzt 2013) implementiert. In Europa ist seit 2007 ein auf europäischen Untersuchungen (Nicol und McCartney, 2000) basierendes Adaptives Modell in DIN EN 15251 (jetzt 2012) eingeführt. Beide Modelle gelten für leichte Aktivitäten, wie z. B. Bürotätigkeit oder Wohnen (1,0 bis 1,3 met). Die derzeitigen Adaptiven Behaglichkeitsmodelle sind als statistische Modelle wie eine Blackbox anzusehen und erklären nicht jeden einzelnen Effekt durch einen Berechnungsansatz. Da die Adaptiven Behaglichkeits-

modelle aber auf der Auswertung von Feldstudien beruhen, beziehen sie typische Kontexteffekte aus den untersuchten Umgebungen automatisch mit ein. So kommen sie in ihrer Herangehensweise der täglichen Planungspraxis entgegen: Adaptive Modelle geben Bereiche behaglicher Operativtemperaturen in Abhängigkeit von der Witterung und für bestimmte Tätigkeiten an unter der Voraussetzung von angepasster Kleidung und der Möglichkeit der Einflussnahme durch den Nutzer.

2.1.2 Gesetzliche und normative Grundlagen

Es liegt eine Vielzahl von nationalen und internationalen Regelwerken vor, die in Bezug zur **thermischen Behaglichkeit** in Gebäuden stehen. In Deutschland sind mehrere Ebenen der Gesetzgebung zu unterscheiden: Gesetzliche Vorgaben, die in Verordnungen und deren Ausführungsvorschriften münden (ArbStättV 2010, EnEV2014) und Normen. Gesetze und Verordnungen müssen eingehalten werden. Normen sind allgemein anerkannte Regeln der Technik und werden in der Regel zur Planung von Gebäuden herangezogen. Ihre Anwendung basiert auf einer Vereinbarung zwischen den Vertragspartnern. Eine Ausnahme stellen referenzierte Normen dar, auf die in Gesetzen oder Verordnungen verwiesen wird: Sie sind als Bestandteil des Gesetzes oder der Verordnung einzuhalten.

Arbeitsstättenregel Raumtemperatur

Für das Einrichten und Betreiben von Arbeitsstätten werden allgemeine Mindestanforderungen in der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV 2010) festgelegt. Die Arbeitsstättenregeln konkretisieren diese allgemeinen Anforderungen und legen die Mindestanforderungen fest. Die Arbeitsstättenregel ASR A3.5 Raumtemperatur (2010) enthält ein Stufenmodell für die Bewertung der Lufttemperatur in Arbeitsräumen mit niedrigen internen Wärmelasten bei leichter bis mittlerer Arbeitsschwere. Das Stufenmodell ist nur anwendbar, wenn Wärmestrahlung, Luftgeschwindigkeit oder Luftfeuchte keinen wesentlichen Einfluss auf das **thermische Empfinden** haben (Hellwig, Bux, Pangert 2012). Grundsätzlich darf die Lufttemperatur in Arbeitsräumen 26 °C nicht überschreiten. Bei Außenlufttemperaturen über 26 °C muss wie folgt vorgegangen werden:

- Lufttemperatur in Arbeitsräumen zwischen 26 °C und 30 °C: Unter der Voraussetzung, dass bereits geeignete Sonnenschutzmaßnahmen angewendet werden, soll der Arbeitgeber geeignete Maßnahmen nach Tabelle 2.1-2 ergreifen.
- Lufttemperatur in Arbeitsräumen zwischen 30 °C und 35 °C: Der Arbeitgeber muss geeignete Maßnahmen nach Tabelle 2.1-2 ergreifen, um die Beanspruchung der Beschäftigten zu reduzieren.
- Lufttemperatur in Arbeitsräumen über 35 °C: Der Raum ist für die Zeit der Überschreitung ohne Maßnahmen wie bei Hitzearbeit nicht als Arbeitsraum geeignet.

Energieeinsparverordnung

In der europäischen Energy Performance of Buildings Directive (EPBD, 2010) werden der energieeffiziente Gebäudebetrieb und die energieeffiziente Gebäudeplanung bei vergleichbarer Raumklimaqualität gefordert. Die Energieeinsparverordnung (EnEV, 2014) begrenzt den Primärenergiebedarf von Gebäuden und deren spezifische Transmissionswärmeverluste in Deutschland. Außerdem verlangt sie, den sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2 (2013) nachzuweisen. Ziel dieser Anforderung ist es, dass »... *bereits durch bauliche Maßnahmen weitgehend verhindert wird, dass unzumutbare, hohe Innentemperaturen entstehen.*« (DIN 4108-2, 2013). Der Nachweis wird über den Vergleich von zulässigem und vorhandenem Sonneneintragskennwert

Tab. 2.1-2: Beispielhafte Maßnahmen, die beim Überschreiten einer Lufttemperatur von 26 °C in Gebäuden im Falle von Außenlufttemperaturen über 26 °C angewendet werden sollen oder müssen (ASR A3.5, 2010).

I	effektive Steuerung des Sonnenschutzes (z. B. Jalousien auch nach der Arbeitszeit geschlossen halten)
II	effektive Steuerung der Lüftungseinrichtungen (z. B. Nachtauskühlung)
III	Reduzierung der inneren thermischen Lasten (z. B. elektrische Geräte nur bei Bedarf betreiben)
IV	Lüftung in den frühen Morgenstunden
V	Nutzung von Gleitzeitregelungen zur Arbeitszeitverlagerung
VI	Lockerung der Bekleidungsregelungen
VII	Bereitstellung geeigneter Getränke (z. B. Trinkwasser)

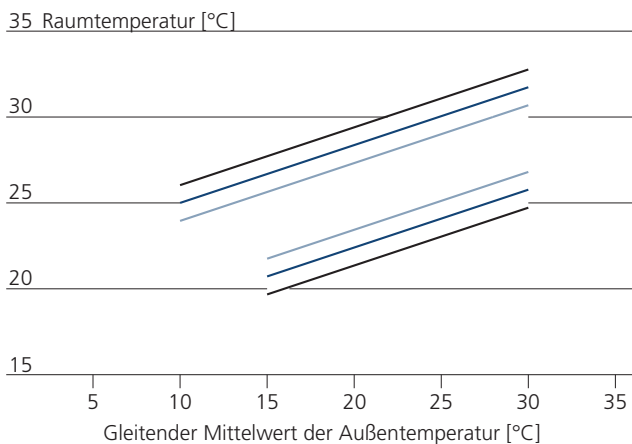
geführt. Die Sonneneintragskennwerte bilden die wichtigsten Einflussfaktoren auf den sommerlichen Wärmeschutz ab, wie z. B. die Strahlungsdurchlässigkeit des Systems Fenster und Sonnenschutz. Für Simulationen sind die Bezugswerte der **operativen Temperatur** in DIN 4108-2 (2013) in Abhängigkeit von drei Sommerklimaregionen angegeben. Aufgrund des Anpassungsvermögens des Menschen an das vorherrschende Klima einer Region wurden unterschiedliche Bezugstemperaturen für die Sommerklimaregionen gewählt. Diese Temperaturen sind nicht als zulässige Höchstwerte zu verstehen, sondern dürfen überschritten werden. Dazu werden Maximalwerte an die **Übertemperaturgradstunden** in der Nutzungszeit für Wohngebäude und Nichtwohngebäude festgelegt. Die Übertemperaturgradstunden berücksichtigen sowohl die Höhe der Überschreitung als auch deren Dauer. Außerdem werden Randbedingungen für die **instationäre** thermische Simulation definiert, um die Simulationsergebnisse vergleichbar zu machen.

Normen

In DIN EN 15251 (2012) werden die Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden festgelegt. Gegenüber der Ausgabe von 2007 wurde ein informativer nationaler Anhang hinzugefügt. Insgesamt enthält DIN EN 15251 nun drei Bewertungsmodelle für die thermische Behaglichkeit. Dies sind:

1. Für nicht maschinell gekühlte oder geheizte Gebäude: ein auf Grundlage von Feldstudien entwickeltes europäisches Adaptives Behaglichkeitsmodell, das in Abhängigkeit von einem gleitenden Mittelwert der Außentemperatur (Gültigkeitsbereich von 10 °C bis 30 °C) einen Bereich behaglicher Operativtemperaturen angibt.
2. Für maschinell gekühlte oder beheizte Gebäude: ein auf dem Wärmebilanzmodell (Fanger-Modell) nach DIN EN ISO 7730 (2006) beruhender Ansatz, um auf Grundlage des thermischen Empfindens einen Bereich von Außentemperatur unabhängigen Operativtemperaturen für die Planung abzuleiten.
3. Ein neues Modell im informativen nationalen Anhang, das in Abhängigkeit von der aktuellen Außentemperatur zulässige operative Temperaturen für den Innenraum angibt.

Bereits 2008 hat das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS, 2008) eine Entscheidungshilfe angeboten, mit der (nicht nur) für Gebäude des Bundes bestimmt werden kann, welches der beiden Behaglichkeitsmodelle nach 1. bzw. 2. anzuwenden ist. Diese Entscheidungshilfe ist in Abb. 2.1-2 grafisch dargestellt. Sie bildet die wesentlichen Kontextfaktoren ab, die bestimmen, ob ein Nutzer auf das Raumklima in einem Büroraum Einfluss nehmen kann. Bei Gebäudetyp A soll das Adaptive Behaglichkeitsmodell angewendet werden, bei Gebäudetyp B das Wärmebilanzmodell.



DIN EN 15251
 — Kategorie I: hohe Erwartungen
 — Kategorie II: normale Erwartungen
 — Kategorie III: moderate Erwartungen

Abb. 2.1-1: Adaptives Behaglichkeitsmodell nach DIN EN 15251

Außerdem werden vier Kategorien des Innenraumklimas festgelegt (siehe Tab. 1.2-3). DIN SPEC 13779 (2009) empfiehlt die Anwendung von Kategorie II.

Die bei Anwendung des Bewertungsmodells 1, dem Adaptiven Behaglichkeitsmodell (Abb. 2.1-1), resultierenden operativen Temperaturen gelten für Bürogebäude und Gebäude ähnlichen Typs, die für Nutzung durch Personen mit hauptsächlich sitzenden Tätigkeiten vorgesehen sind. Außerdem gelten sie für Wohnungen, in denen Fenster leicht geöffnet werden können und für Personen, die ihre Kleidung leicht an die innen und außen herrschenden thermischen Bedingungen anpassen können. Damit dieses Verfahren angewendet werden kann,

müssen folgende Randbedingungen eingehalten werden:

- Die Räume müssen über Fenster verfügen, die sich zur Außenluft öffnen lassen und von den Nutzern leicht geöffnet und angepasst werden können.
- Im Raum darf keine maschinelle Kühlung zum Einsatz kommen.
- Maschinelle Lüftung mit ungekühlter Luft (im Sommer) darf verwendet werden, jedoch muss dem Öffnen und Schließen von Fenstern zur Regelung des Raumklimas der Vorzug gegeben werden.
- Zusätzlich können weitere energiearme Möglichkeiten zur persönlichen Regelung der Innentemperatur angewendet werden, zum Beispiel Ventilatoren, Jalousien, **Nachtlüftung** usw.
- Die Räume können mit einer Heizungsanlage ausgestattet sein. Dieses optionale Verfahren gilt jedoch nicht für die Jahreszeiten, in denen die Heizungsanlage in Betrieb ist.
- Das Verfahren gilt nur für Räume, in denen die Nutzer mit nahezu ausschließlich sitzenden Tätigkeiten beschäftigt sind, bei denen die Stoffwechselrate zwischen 1,0 met und 1,3 met liegt.
- Damit die Nutzer die Wärmedämmung ihrer Bekleidung nach Wunsch anpassen können, darf kein Dresscode im Gebäude vorgeschrieben sein.

Bei dem Adaptiven Behaglichkeitsmodell (Abb. 2.1-1), ergibt sich der gleitende Mittelwert der Außentemperatur aus dem gewichteten Mittelwert der mittleren Außentemperatur der letzten sieben Tage und drückt damit die Erfahrungen der Nutzer mit der Witterung aus.

Tabelle 1.3-1 zeigt für Bewertungsmodell 2, dem Modell für maschinell geheizte und gekühlte Bürogebäude, welche Temperaturbereiche jeweils für die einzelnen Kategorien gelten. Das Verfahren gilt für stationäre Umgebungsbedingungen, kann aber auch bei geringen Schwankungen einer oder mehrerer Parameter des Raumklimas verwendet werden (DIN EN ISO 7730, 2006).

Für den praktischen Gebäudebetrieb führt die Arbeitsstättenregel ASR A3.5 Raumtemperatur (2010) beispielhafte Maßnahmen auf, wie im Arbeitsalltag mit erhöhten Raumtemperaturen aufgrund von sommerlichen Hitzeperioden umgegangen werden kann (Tab. 2.1-2). Der seit 2012 bestehende informative nationale Anhang zu DIN EN 15251 (Bewertungsmodell 3) führt ein

scheinbar völlig neues Modell ein. Es ordnet in Abhängigkeit von einem aktuellen Stundenmittelwert der Außentemperatur einen Bereich zulässiger Operativtemperaturen zu. Dabei wird postuliert, eine Differenzierung der Behaglichkeitsmodelle in Adaptive Modelle und Wärmebilanzmodelle, erschiene nicht begründbar. Letztlich beinhaltet das Bewertungsmodell 3 die Berechnungen des Wärmebilanzmodells, versucht aber dessen Nachteil auszugleichen, dass es in der allgemein verfügbaren Form keine Möglichkeit bietet, technische Anlagen zu regeln oder in thermischen Gebäudesimulationen angewendet zu werden. Der zulässige Temperaturanstieg innen basiert auf dem mit der aktuellen Außentemperatur variierenden Bekleidungsärmwert (0,3 clo bei höchster aktueller Außentemperatur von 32°C bis 1,0 clo bei aktueller Außentemperatur von 16°C oder darunter).

Im Vergleich mit dem Wärmebilanzmodell (26°C) liegt die maximale Operativtemperatur des zulässigen Temperaturbandes bei 28°C. Nachteilig an diesem Modell ist, dass es aufgrund des Bezugs zur aktuellen Außentemperatur schnelle Temperaturanstiege im Raum zulässt, die Temperaturen dann aber begrenzt. Für die Anlagenauslegung lässt sich daraus ableiten, dass die maximale Kühlleistung weiterhin besteht, jedoch die Anlage erst spät zugeschaltet wird.

DIN EN 15251 (2012) führt nur Modelle für Gesamtbehaglichkeit in Bezug auf die Auslegung für energetische Berechnungen auf. Es kann jedoch auch lokale Erscheinungen von Unbehaglichkeit geben: Zugluftempfinden kann durch zu hohe Luftgeschwindigkeiten in Räumen mit RLT-Anlagen, durch Kaltluftabfall an hohen, verglasten und mit unzureichendem Wärmeschutz ausgestatteten Fassaden sowie bei Fensterlüftung auftreten. Im letzteren Fall kann in der Regel der Nutzer Zuglufterscheinungen selbst abstellen. Das Zugluftmodell in DIN EN ISO 7730 (2006) benötigt als Eingangsparameter die Raumlufttemperatur, die mittlere Luftgeschwindigkeit und die Standardabweichung der Luftgeschwindigkeit (bzw. den **Turbulenzgrad**). Wenn sich die operativen Temperaturen im Bereich des Wärmebilanzmodells nach Tabelle 1.3-1 befinden, kann mit diesem Modell die zulässige mittlere Luftgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich von Personen bestimmt werden (Abb. 2.1-3). Bei 22°C Lufttemperatur wäre demnach eine mittlere Luftgeschwindigkeit von 0,18 m/s bei Mischlüftung und 0,22 m/s bei Quelläuftung zulässig.

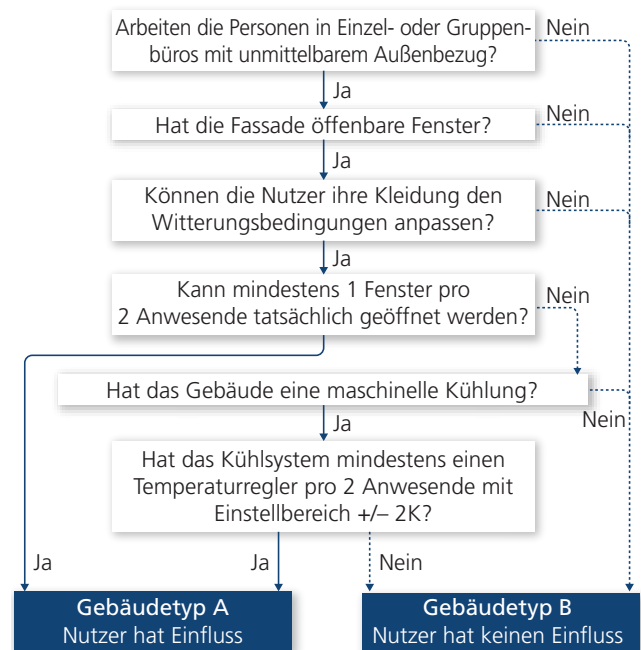


Abb. 2.1-2: Entscheidungsbaum zur Bestimmung des Gebäudetyps. Zu Gebäudetyp A gehören Gebäude, bei denen der Nutzer Einfluss auf die Temperatur hat. In Gebäudetyp B hat der Nutzer keinen Einfluss auf die Raumtemperatur; nach BMVBS (2008), Darstellung nach Hellwig (2011).

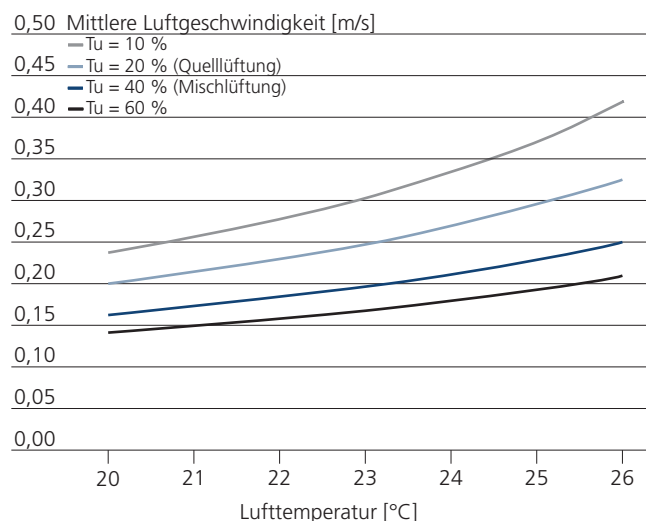


Abb. 2.1-3: Maximale mittlere Luftgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich in Abhängigkeit von der lokalen Lufttemperatur und vom Turbulenzgrad nach DIN EN ISO 7730 (2006), Kategorie B.

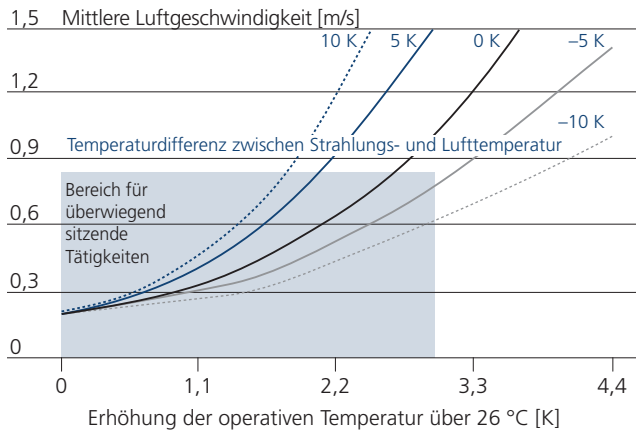


Abb. 2.1-4: Zum Ausgleich einer erhöhten operativen Temperatur erforderliche Luftgeschwindigkeit. Der Referenzpunkt ist bei 26 °C und 0,20 m/s Luftgeschwindigkeit, nach DIN EN ISO 7730 (2006).

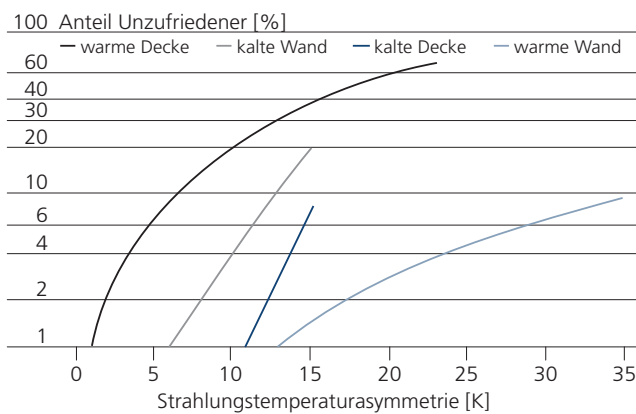


Abb. 2.1-5: Vorhergesagter Anteil Unzufriedener aufgrund von Strahlungstemperaturasymmetrie für verschiedene Flächen im Raum, nach DIN EN ISO 7730 (2006).

Erhöhte Luftgeschwindigkeit kann bei sommerlichen Außentemperaturen aber auch die thermische Behaglichkeit verbessern. Abbildung 2.1-4 zeigt, wie durch eine erhöhte Luftgeschwindigkeit erhöhte operative Temperaturen ausgeglichen werden können. Demnach kann beispielsweise bei 5 K Temperaturdifferenz zwischen Strahlungstemperatur und Lufttemperatur die operative Temperatur um 2 K angehoben werden, wenn die mittlere Luftgeschwindigkeit 0,8 m/s beträgt. Ein vertikaler Lufttemperaturunterschied bei ansteigender Temperatur im Bereich zwischen Kopf und Fußgelenk kann zu Unbehaglichkeit führen. Das kann vermieden werden, wenn diese Differenz auf 3 K begrenzt wird

(DIN EN ISO 7730, 2006, Kategorie B). Durch die Heizlast, die Art der Beheizung (Anordnung Heizkörper, Luftheizung) bzw. Kühlung (Nutzung der Fußbodenheizung zur Kühlung) und Belüftung (Quellluft, Mischluft, Fensterlüftung) ergeben sich unterschiedliche vertikale Temperaturgradienten. Für Luftheizungs- und Deckenheizsysteme sollte ein sehr hoher Wärmeschutz vorliegen, um einen zu hohen vertikalen Lufttemperaturgradienten zu vermeiden. Für die Auslegung von Quellluftsystemen lassen sich solche Phänomene durch entsprechende Planung vermeiden.

Eine asymmetrische Strahlungstemperatur kann ebenfalls zu Unbehaglichkeit führen (Abb. 2.1-5). Vor allem eine asymmetrische Strahlung, die durch warme Decken, wie z. B. bei thermoaktiven Bauteilsystemen im Winter, oder durch kalte Wände (alte Fenster) verursacht wird, empfinden Menschen als unangenehm. Kalte Umgebungsflächen spielen jedoch bei nach heutigem Standard wärmegedämmten Fassaden keine Rolle mehr. Bei geheizten Decken sollte der Unterschied zwischen der mittleren Oberflächentemperatur des oberen Halbraumes und des unteren Halbraumes maximal 5 K betragen (DIN EN ISO 7730, 2006, Kategorie A und B). Bei Deckenhöhen unter 3 m sollte die Deckentemperatur auf 30 °C begrenzt werden. Bei gekühlten Decken tritt in der Regel keine Unbehaglichkeit auf, weil die minimale Oberflächentemperatur zur Vermeidung von Tauwasser durch den Taupunkt begrenzt wird.

2.1.3 Modellansätze vergleichen

Die vorangegangenen Abschnitte zeigen, dass zum Thema **thermische Behaglichkeit** bereits umfangreiches Wissen vorhanden ist. Offensichtlich besteht dabei ein Unterschied zwischen thermischem Empfinden und thermischer Behaglichkeit.

Mit den theoretischen Ansätzen der Wärmebilanzmodelle sowie der thermophysiologischen Modelle kann ausschließlich das Temperaturempfinden beschrieben werden. Die thermische Behaglichkeit, sei es nun die Betrachtung des Gesamtempfindens wie beim Fanger'schen Wärmebilanzmodell oder die Empfindung an einzelnen Körperteilen wie bei den thermoregulatorischen Modellen, umfassen sie nicht. Schwierigkeiten bestehen nach wie vor darin, ein gesamtes Temperaturempfinden aus den lokalen Einzelempfindungen an den Körperteilen abzuleiten. Erste Ansätze dazu liefern Untersuchungen von Zhang (2003) und Park et. al. (2011). Gerade die

Modellansätze, welche das Temperaturempfinden einzelner Körperteile berechnen, besitzen aber für Ingenieure eine hohe Attraktivität: Die lokale Auflösung auf einzelne Körperteile prädestiniert diese Modelle zur Anwendung in Strömungssimulationen (Kap. 2.1.5). Die scheinbare Genauigkeit der Berechnung lässt diese Ansätze besonders attraktiv erscheinen. Solche Modelle bilden aber Kontexteffekte nicht ab. Daher sollten die Ansätze weiterentwickelt werden, jedoch ihre scheinbare Genauigkeit relativiert und klar herausgestellt werden, dass sich diese Verfahren allenfalls dazu eignen, ein Temperaturempfinden zu berechnen, nicht jedoch, direkt Aussagen über Behaglichkeit zu treffen.

Der Modellansatz der Adaptiven Behaglichkeit schließt den Kontext mit ein und lässt Aussagen über thermische Behaglichkeit zu. Adaptive Behaglichkeitsmodelle kommen so in ihrer Herangehensweise der täglichen Planungspraxis entgegen: Sie geben Bereiche behaglicher Operativtemperaturen in Abhängigkeit von der Witterung und für bestimmte Tätigkeiten an. Voraussetzung ist, dass die Kleidung angepasst ist und der Nutzer die Möglichkeit hat, das Raumklima zu beeinflussen.

Thermische Behaglichkeit ist also eine Größe, die sich von veränderlichen äußeren Einflüssen abhängt. Um auch für unterschiedliche Anforderungen der Nutzer, die in Unterschieden zwischen den Individuen aber auch in kontextbedingten Unterschieden im Individuum selbst begründet sind, Behaglichkeit zu erreichen, ist der Einflussnahme des Nutzers entscheidende Bedeutung beizumessen (Kap. 2.5).

2.1.4 Aktuelle Tendenzen in der Forschung zum sommerlichen thermischen Komfort

Obwohl Untersuchungen zum thermischen Komfort über Jahrzehnte sehr intensiv durchgeführt und zahlreich veröffentlicht wurden, sind weiterhin Fragen offen:

- Wie kann die individuelle Behaglichkeit abgebildet werden?
- Inwieweit differiert das Komfortempfinden je nach Klimatisierungskonzept oder Gebäudetypologie?
- Welchen Einfluss haben Teilaspekte auf den adaptiven Komfort?
- Sind gleichbleibende Temperaturen überhaupt wünschenswert?
- ...

Die in den Normen verankerten Modelle geben Behaglichkeitsbereiche für den durchschnittlichen Nutzer an. Die individuelle Behaglichkeit kann hiervon jedoch abweichen, sodass sich verschiedene Ansätze herausgebildet haben, um die Modelle zu individualisieren (z. B. Havenith, 2001 für warme Umgebungen oder Van Marken Lichtenbelt et al., 2007 für kalte). In der Planungspraxis ist allerdings der individuelle Nutzer im Vorfeld nicht bekannt. Für den Gebäudebetrieb könnten diese Modelle, wenn sie entsprechend aufbereitet werden, jedoch interessant sein, um auf die Bedürfnisse einzelner Nutzer eingehen zu können oder zumindest einzelnen Nutzern Empfehlungen geben zu können, mit welchen Maßnahmen sie das Raumklima ihren Bedürfnissen anpassen können.

Hinsichtlich der Frage, inwieweit unterschiedliche Gebäudetypologien oder Klimatisierungskonzepte das Komfortempfinden beeinflussen, lassen erste Erkenntnisse darauf schließen, dass dafür die Erwartung der Nutzer entscheidend ist. Für eine abschließende Beurteilung ist es allerdings noch zu früh (siehe auch Kap. 2.1.5).

Adaptiver Komfort im Detail

Wie bereits in Kapitel 2.1.1 dargestellt, ist das Adaptive Komfortmodell inzwischen in der Normung verankert. Bisher besteht dies jedoch nur aus einem **empirischen** Modell, welches auf Felduntersuchungen und theoretischen Betrachtungen basiert. Das empirische Modell bildet den Zusammenhang zwischen den Außentemperaturen der letzten Tage und der zu erwartenden empfundenen thermischen Behaglichkeit ab. Das theoretische Modell begründet diesen Zusammenhang mit menschlichen **Adaptations**prozessen. Diese werden unterteilt in physiologische (z.B. Anpassung von Schweißrate und Herzfrequenz) und psychologische Aspekte (z.B. geänderte Erwartungshaltung) in Kombination mit einer angepassten Verhaltensweise (z.B. Anpassung des Bekleidungsgrades, verändertes Lüftungsverhalten) (de Dear, Brager & Cooper, 1997). Im Gegensatz dazu stehen außentemperaturunabhängige Betrachtungsweisen wie das **PMV**-Modell. Unklar bleiben jedoch die Anteile dieser drei Adaptationsprozesse an der thermischen Behaglichkeit. Nähere Kenntnisse hierzu sind auch für Planung und Betrieb von Interesse. Wenn sich z. B. die Verhaltensaspekte als dominant herausstellen, können Planer und etwas eingeschränkter auch Betreiber gezielt Maßnahmen ergreifen, die diesen

Alliästhesie bezeichnet die Variation der Empfindung externer Stimuli, z. B. von Temperaturreizen, in Abhängigkeit vom aktuellen Zustand. In einer warmen Umgebung werden kühle Temperaturen oder Luftbewegungen als angenehm empfunden, während die gleichen Temperaturen oder Luftbewegungen in einer kalten Umgebung als unangenehm empfunden werden (Attia, Engel & Hildebrandt, 1979). Diese Erkenntnisse wurden von de Dear (2010) bei Behaglichkeitsbetrachtungen in natürlich belüfteten Gebäuden aufgegriffen.

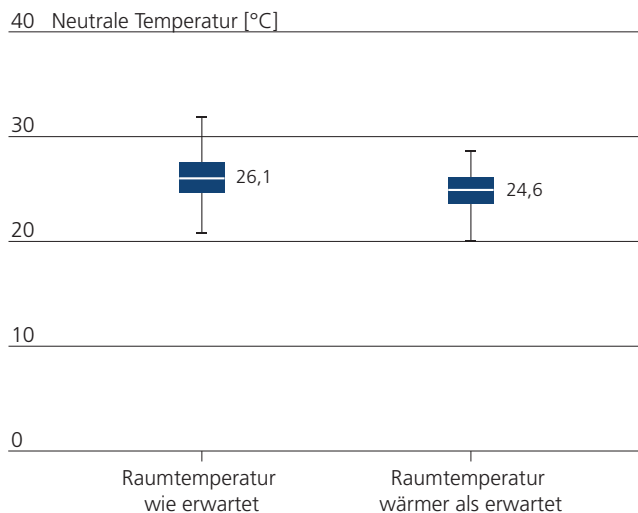


Abb. 2.1-6: Boxplot der neutralen Temperatur in Bezug zur Erwartung. Sind die Temperaturen wärmer als erwartet, ist die als neutral empfundene Temperatur niedriger, als wenn bereits warme Temperaturen erwartet wurden.

Teilaspekt verbessern. Ganz konkret hieße dies, die Möglichkeiten der Interaktion für die Nutzer durch gelockerte Bekleidungsvorschriften oder individuell nutzbarer Kontrollen zu erhöhen. Sind jedoch die psychologischen Aspekte maßgeblich, wie z. B. die Erwartung, gilt es, diese bei Planung und Betrieb in den Vordergrund zu stellen.

Von den drei Aspekten der adaptiven Anpassung sind die physiologischen Anpassungen bereits umfassend untersucht. So ist bekannt, dass sich durch den wiederholten Aufenthalt in Umgebungen mit warmen Temperaturen z. B. die Schweißrate und die Herzfrequenz verändern. An warme Temperaturen angepasste Personen fangen früher an, stärker zu schwitzen, und haben bei

vergleichbaren Raumtemperaturen eine niedrigere Herzfrequenz. Hierdurch wird die physiologische Belastung auf den Körper bei Hitze verringert; folglich wird die Temperatur nicht als so unbehaglich empfunden (Hori, 1995). Die physiologische Adaptation erscheint auf den ersten Blick unabhängig von der Planung eines Gebäudes. Allerdings können sich Nutzer von gleichmäßig gekühlten Gebäuden nur während ihrer Freizeit an warme Temperaturen anpassen.

Zu den psychologischen Einflüssen zählen das Kontrollempfinden und die Erwartung. Studien der letzten Jahre zeigten, dass die Nutzer mit dem thermischen Komfort zufriedener sind, wenn sie Einfluss auf die Raumtemperaturen haben (Kap. 2.5). Ergebnisse erster experimenteller Versuche zeigen, dass die Erwartung das Komfortempfinden signifikant beeinflusst. So liegt die im Sommer als behaglich empfundene Temperatur höher unter Bedingungen, die den Erwartungen entsprechen, als unter Bedingungen, die nicht den Erwartungen entsprechen (siehe Abb. 2.1-6). Gebäude dürfen also wärmer sein, wenn die Nutzer sich auf diesen Umstand einstellen, »mit ihm rechnen«, können. Für die Planungsphase ergibt sich aus den Erkenntnissen zur Erwartung ein Paradoxon, welches aktuell noch nicht aufgelöst werden kann: Nutzer stellen an neue oder modernisierte Gebäude unabhängig vom gewählten Klimatisierungskonzept grundsätzlich höhere Erwartungen (auch bezüglich des thermischen Komforts), wodurch Zufriedenheit schwerer erreichbar ist. Hier bedarf es Methoden für den Betrieb, um die Erwartungen der Nutzer mit der Leistungsfähigkeit des Klimatisierungskonzeptes abzugleichen.

Die Neutralität der Temperatur

Spätestens mit der Erscheinung des Buches »Thermal delight in architecture« begann die Diskussion, ob »**neutrale**« Temperaturen auch »behagliche« Temperaturen sind (Heschong, 1979). Vorausgegangen waren die Arbeiten zum Thema Alliästhesie (Cabanac, 1969).

Die aktuelle Normung und die Klimatisierungskonzepte sind auf dieser Basis darauf ausgelegt, in Räumen die optimale neutrale Temperatur herzustellen. Diese führt jedoch zu »thermischer Langeweile« und nicht zu »thermischem Vergnügen« (Candido & de Dear, 2012). Zweiteres wird nur durch Variationen der thermischen Bedingungen erreicht. Wenn sich diese Erkenntnisse bestätigen, ergeben sich für die Planung und den

Betrieb sowohl neue Herausforderungen als auch neue Potenziale. So könnten Bereiche außerhalb der Arbeitsfläche in inhomogen klimatisierten Büroräumen, Übergangsräume wie z. B. Eingangsschleusen, Bewegungsräume wie Flure oder Räume zum kurzzeitigen Aufenthalt, wie z. B. Teeküchen, nicht mehr nur als reine Abluftzonen mit geringeren Anforderungen betrachtet werden, sondern aktiv als Zonen zur (Wieder-) Herstellung thermischer Zufriedenheit eingesetzt werden (siehe Abb. 2.1-7).

2.1.5 Inhomogenes Raumklima bewerten

Die üblichen Methoden zur Bestimmung der **thermischen Behaglichkeit** (z. B. nach ISO 7730) sind nicht immer geeignet, um komplexe raumklimatische Verhältnisse zu bewerten. Diese Komplexität des Raumklimas resultiert aus Temperaturfeldern und -schichtungen sowie asymmetrischen Strahlungstemperaturen und Strömungsverhältnissen. Solche klimatischen Inhomogenitäten treten häufig gemeinsam auf und beeinflussen sich gegenseitig. Die meisten der vorhandenen Behaglichkeits-Modelle basieren auf Versuchen in Klimakammern, bei denen dies nur unzureichend berücksichtigt wurde.

Unter Umständen kann sich durch ein inhomogenes Raumklima sogar eine höhere thermische Behaglichkeit einstellen (Arens, Zang & Huizenga, 2006). Ursache hierfür sind Unterschiede zwischen den einzelnen Körperteilen, zum Beispiel hinsichtlich der **Thermosensitivität**. Aufgrund dieser lokalen Differenzen können sich aber auch bei einem homogenen Raumklima Unterschiede zwischen den einzelnen Körperteilen hinsichtlich des thermischen Komforts ergeben. Dies macht eine lokale Betrachtung sowohl des Raumklimas als auch der thermischen Behaglichkeit nötig. Bei solch einer detaillierten Betrachtung des Raumklimas muss zwischen thermischem Komfort und Empfinden unterschieden werden (siehe Kap. 2.1.1).

Um diesen Ansprüchen gerecht zu werden, sind neue Herangehensweisen zur Beurteilung der thermischen Behaglichkeit und des Empfindens notwendig. Eine geeignete Möglichkeit bieten numerische Modelle, die die Thermophysiologie des menschlichen Körpers abbilden, in Verbindung mit der Strömungssimulation. Dadurch ist es möglich, die klimatischen Bedingungen verhältnismäßig exakt und insbesondere auch lokal zu bewerten.

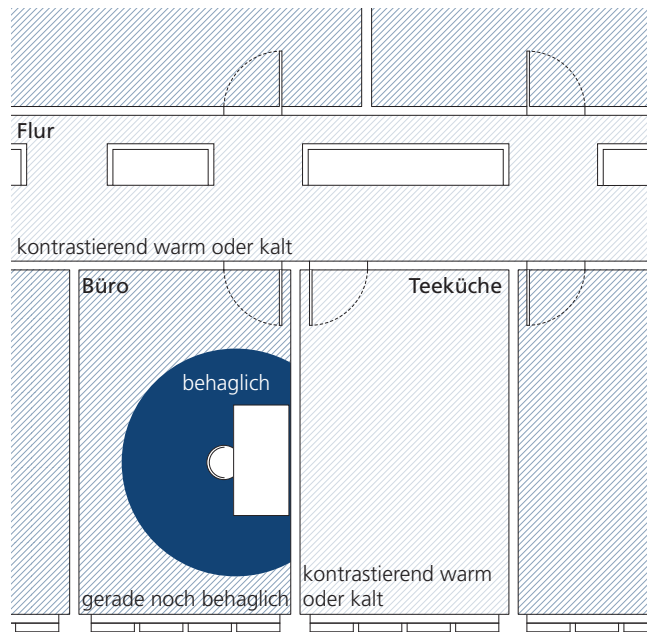


Abb. 2.1-7: Prinzip der inhomogenen Raumklimabedingungen. Durch den Wechsel vom Arbeitsplatz zum Flur oder zur Teeküche werden unterschiedliche thermische Bedingungen erlebt und so die »thermische Langeweile« unterbrochen.

Thermophysiologische Modellierung

Im Laufe der Zeit ist eine Vielzahl thermophysiologischer Modelle entwickelt worden. Viele dieser Modelle unterscheiden sich nur geringfügig, weil sie auf dieselben Vorgänger zurückzuführen sind. Derzeit werden das Fiala-Modell, das Tanabe-Modell sowie das UCB Thermal Comfort Model am häufigsten verwendet. Letzteres ist das vermutlich am weitesten entwickelte Thermoregulations- und Komfortmodell und lässt sich in drei Teilbereiche zerlegen:

1. Die Definition der thermischen Umgebung erfolgt über die Eingabe der Raumgeometrie sowie der klimatischen Randbedingungen inklusive persönlicher Faktoren wie Aktivität und Bekleidung. Dabei werden Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit und Bekleidung für jedes Körperteil separat eingegeben. Diese detaillierten Raumklimadaten können beispielsweise mithilfe der Strömungssimulation ermittelt werden, auf die im nächsten Abschnitt eingegangen wird.
2. Das thermophysiologische Modell unterteilt den Körper in 16 Segmente (Huizenga, Zhang & Arens, 2001). Die durch diese Segmentierung entstandenen Knoten



Abb. 2.1-8: Beurteilungsskalen des thermischen Empfindens und der thermischen Behaglichkeit des UCB-Modells (Übersetzung aus dem Englischen) in Anlehnung an EN ISO 10551

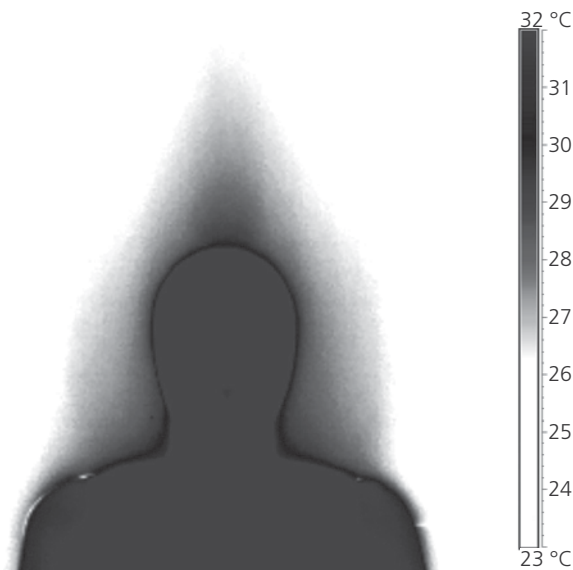


Abb. 2.1-9: Thermografie des den Menschen umgebenden Mikroklimas

werden in Form von Wärmebilanzen beschrieben, die den metabolischen Umsatz, den Wärmeaustausch mit anderen Knoten sowie den Wärmeübergang an die Umgebung berücksichtigen. Des Weiteren erlaubt

das Modell die Simulation des Wärme- und Feuchte- transports durch die Bekleidung (Voelker et al., 2009).

3. An die Ergebnisse der thermophysiological Simulation ist ein Modell zur Bestimmung des lokalen und globalen **thermischen Empfindens** und Komforts (Zhang, 2003) gekoppelt. Dieses bestimmt zunächst das lokale Empfinden basierend auf der mittleren Hauttemperatur des Segments. Das globale Empfinden ist gebunden an die lokale Empfindung der einzelnen Segmente. Die lokale thermische Behaglichkeit ist wiederum eine Funktion sowohl des lokalen als auch des globalen Empfindens. Der globale Komfort folgt dem Komfort der unkomfortabelsten Segmente. Die Ergebnisse werden auf einer neunstufigen Skala abgebildet (Abb. 2.1-8). Ziel ist es, ein Raumklima zu schaffen, welches als sehr komfortabel (+4) auf der Skala der thermischen Behaglichkeit empfunden wird.

Strömungssimulation liefert detaillierte Randbedingungen

Mithilfe der Strömungssimulation (Computational Fluid Dynamics – CFD) können die klimatischen Bedingungen in Räumen detailliert ermittelt werden. Weil das einen hohen Rechenaufwand erfordert, sind diese Simulationen meist auf stationäre Zustände, also zeitlich unveränderliche Randbedingungen, begrenzt. Zuverlässig sind solche Simulationen allerdings nur bei einer aussagekräftigen Validierung der verwendeten Modelle. Hierfür eignen sich Klimakammern, in denen vergleichende Messungen durchgeführt werden können. Im vorliegenden Fall wurde für die Validierung eine Klimakammer verwendet, deren Oberflächen durch wasserführende Kapillarrohrmatten temperiert werden. Alle Flächen (vier Wände, Fußboden, Decke) sind dabei separat ansteuerbar. Bei solchen raumklimatischen Untersuchungen sollte berücksichtigt werden, dass der Mensch die Temperatur- und Strömungsverhältnisse beeinflusst, da er gleichzeitig Hindernis und Wärmequelle darstellt. Deshalb wurde ein thermisches **Manikin** eingesetzt, welches durch unter der Oberfläche verlaufende Heizdrähte in der Lage ist, eine dem Menschen ähnliche Hauttemperatur zu simulieren. Die Temperatur des den Körper umgebenden Mikroklimas wurde thermografisch gemessen (Abb. 2.1-9). Da Thermografie lediglich Oberflächen, jedoch nicht die Lufttemperaturen erfassen kann, wurde eine Hilfsschicht in Form einer Schablone um das thermische Manikin errichtet. Vorteil ist die

flächige Messung im Gegensatz zu genauen, aber lediglich punktuell messenden Sensoren. Ergänzend wurden Sensoren zur Messung der Lufttemperatur eingesetzt. Die Strömungsgeschwindigkeit wurde mit klassischen Anemometern sowie mithilfe des bildgebenden Verfahrens Particle Streak Tracking gemessen.

Für die CFD-Simulation wurde eine beispielhafte Raumgeometrie ausgewählt, die ein Abbild der verwendeten Klimakammer darstellt. In der Mitte des Raumes ist eine menschliche Geometrie platziert, die auf einem 3D-Laserscan des thermischen Manikins basiert. Damit stellt die Modellierung ein Abbild der Klimakammer dar, was eine Validierung der Simulationen anhand der Messungen ermöglicht. Die für die numerische Näherungslösung erforderliche Diskretisierung des dreidimensionalen Raumes ist in Abbildung 2.1-10 dargestellt.

Nach erfolgreicher Lösung können die durch die CFD-Simulation ermittelten klimatischen Bedingungen an jedem Körpersegment in das thermophysiologische Modell einfließen, welches abschließend Komfort und Empfinden ermittelt.

In Abbildung 2.1-11 ist beispielhaft das Temperaturprofil dieser Simulation dargestellt. Die konvektive Wärmeabgabe des menschlichen Körpers hat eine nach oben gerichtete Strömung zur Folge. Die Kühllast wird aufgrund des mangelnden Auftriebs nicht gleichmäßig

Anwendungsbeispiel

Die Untersuchung einer Fußbodenkühlung ist für eine Kopplung der thermophysiologischen Modellierung mit der Strömungssimulation prädestiniert, da aufgrund der mangelnden Konvektion ein inhomogenes Raumklima zu erwarten ist. Für die Simulation wurde den Wänden eine sommerliche Oberflächentemperatur von 26°C zugewiesen, sodass eine Kühlung allein durch den Fußboden (19°C) gegeben ist.

verteilt. Daraus resultiert eine ausgeprägte Temperaturschichtung mit einer Temperaturdifferenz von $\Delta T = 7$ K zwischen der Fußbodenoberfläche und der Lufttemperatur in Kopfhöhe. Die Untersuchung des globalen thermischen Komforts und Empfindens mit dem UCB Model offenbart weitere Schwächen: Der Nutzer würde den thermischen Komfort, offensichtlich durch die mangelnde Verteilung der Kühllast, als lediglich noch komfortabel (0,34) einstufen, das Raumklima wird als leicht warm (0,8) empfunden. Die lokale Bewertung ist Abbildung 2.1-12 zu entnehmen. Folgend ließe sich mithilfe der Kopplung das Raumklima hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit optimieren, beispielsweise durch

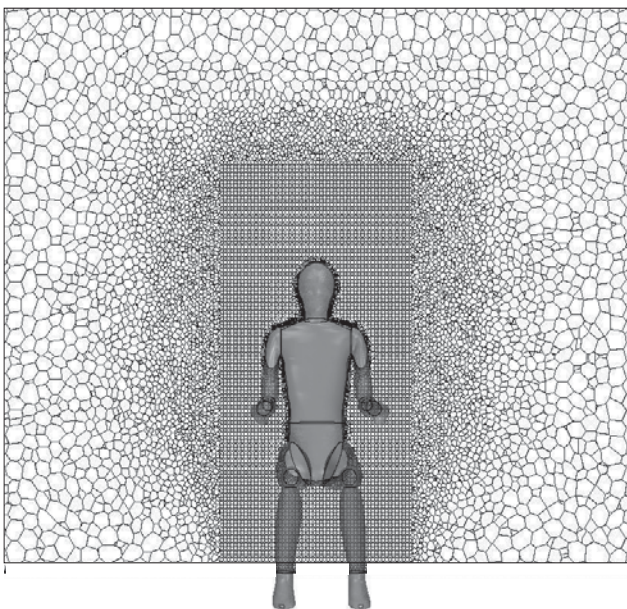


Abb. 2.1-10: Gittergenerierung mit lokaler Verfeinerung im Bereich des Menschen

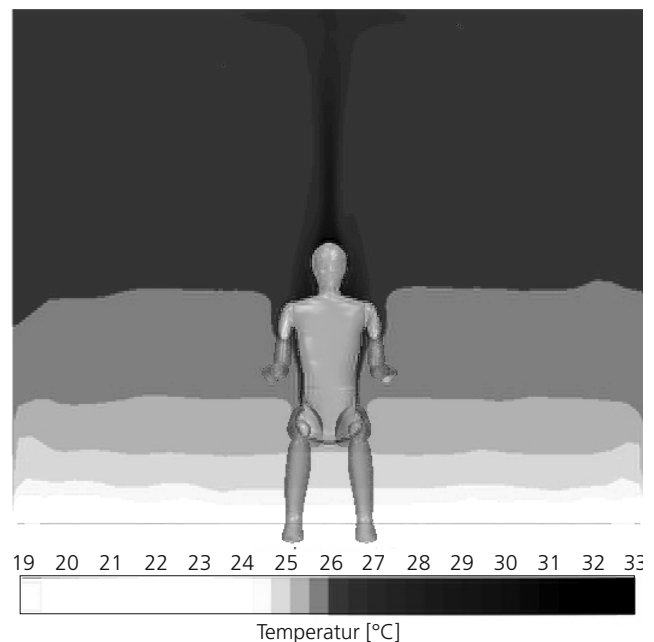


Abb. 2.1-11: Simuliertes Profil der Lufttemperatur

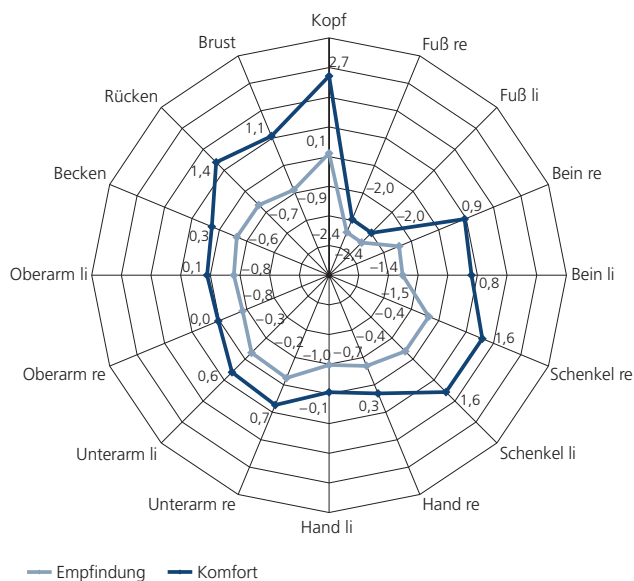


Abb. 2.1-12: Lokales thermisches Empfinden und lokaler thermischer Komfort

den Einsatz einer Quelltüftung (bessere Verteilung der Kühllast, Erhöhung des Wärmeübergangskoeffizienten am Fußboden).

Das Beispiel zeigt, dass sich mit der Kopplung die inhomogenen raumklimatischen Bedingungen und ihre Auswirkungen auf das Wohlbefinden des Nutzers abbilden lassen. Dadurch können spezielle Situationen, wie beispielsweise ein direkt neben dem Fenster liegender Arbeitsplatz, detailliert simuliert werden. Auch die Entwicklung neuer Klimatisierungsstrategien, bei denen lediglich der Arbeitsplatz gezielt inhomogen klimatisiert wird (im Gegensatz zur bisherigen möglichst gleichmäßigen Temperierung des gesamten Büros), ist damit möglich. Solche Ansätze rechtfertigen den nicht zu unterschätzenden zeitlichen und personellen Aufwand für die Einarbeitung und die Durchführung von CFD-Simulationen in Kombination mit der thermophysiologicalen Modellierung. Durch den gezielten Einsatz dieses Verfahrens können so neue Lösungen für ein auf die Nutzungsanforderungen abgestimmtes, thermisch behagliches Klima gefunden werden.

2.1.6 Spannungsfeld: Thermische Behaglichkeit – Leistung – Energieeffizienz

Thermische Behaglichkeit und Leistungserbringung

Einflüsse der Temperatur auf die **Leistungserbringung** von arbeitenden Personen werden seit langer Zeit immer wieder untersucht. Ein Fokus der Untersuchungen lag auf dem Einfluss erhöhter Temperaturen. Bei älteren Untersuchungen standen hauptsächlich der Leistungserhalt und die Gesundheit von Personen, die körperliche Arbeit verrichten (z. B. im Bergbau), im Mittelpunkt. Mit dem Aufkommen Raumluftheiztechnischer Anlagen zur Belüftung und Kühlung und deren Einsatz in Büroräumen wurden vermehrt Untersuchungen durchgeführt, um eventuelle Leistungsminderungen durch moderat erhöhte Temperaturen aufzudecken bzw. Belege für Leistungssteigerungen durch die neue Technik zu finden, die als Verkaufsargument genutzt werden können. Viele dieser Untersuchungen wurden in künstlichen Test-Umgebungen wie Klimakammern durchgeführt. Die verwendeten Leistungstests und Fragebögen zielten meist auf Leistungseffekte und Behaglichkeit ab. Erst in den letzten zehn Jahren nahmen die Forscher auch Fragen z. B. zu Ermüdung, Anstrengungsbereitschaft und gefühlter Leistungserbringung in die Tests auf. Vermutlich geschah dies auch deshalb, weil die Ergebnisse der Tests zum Nachweis von Leistungseffekten keine eindeutige Tendenz zeigten.

Aus den Untersuchungen der letzten Jahre kann als Gemeinsamkeit abgeleitet werden, dass Personen, die erhöhten Temperaturen ab ca. 30 °C bis 33 °C über Versuchszeiten von 4 bis 6 Stunden ausgesetzt waren, über abnehmende Erholtheit und Anstrengungsbereitschaft sowie über zunehmende Schläfrigkeit berichteten. Der subjektiv empfundene Grad der Aufgabenerfüllung nahm ebenfalls ab (z. B. Lan et al. 2011, Hellwig et al. 2012). Widersprüchliche Ergebnisse lieferten die durchgeführten objektiven Leistungstests: Eine vergleichende Darstellung von Additionstests bei unterschiedlichen Temperaturen aus vier Studien in Urlaub et al. (2010) zeigt bei höheren Temperaturen sowohl Leistungsverbesserungen, keine Veränderungen als auch marginale Verschlechterungen auf. Hellwig et al. 2012 fanden in einem büronahen Versuchssetting über 4,25 h mit fensternahen Arbeitsplätzen mit Blickbezug nach außen im

Kontext sommerlicher Außentemperaturen bei angepasster Bekleidung keine statistisch signifikante Abnahme der Leistungserbringung bei Temperaturen von 29 °C und 33 °C im Vergleich zu 26 °C. Vergleichbare Ergebnisse bei 4 h und Temperaturen von 27, 31 und 35 °C erzielten Bröde et al. (2012) in einem Testraum-in-Raum-Versuchssetting. Innerhalb der Versuchszeit waren die Probanden offenbar in der Lage, Hitzebeanspruchung im Interesse mentaler Leistung zu kompensieren. Lan et al. 2011 fanden bei vergleichbarer Versuchszeit in einem Testraum-in-Raum-Versuchssetting teilweise mit Sichtverbindung in eine Versuchshalle bei einem Teil der Leistungstests Leistungsminderungen. Neben großen individuellen Unterschieden bei den Leistungstest ist bei Arbeit unter Zeitdruck mit einer Leistungsminderung zu rechnen (Bröde et al. 2012). Bröde et al. schlussfolgern, dass die Ergebnisse gegen eine vereinfachende, generalisierende Annahme einer Minderung der Effizienz geistiger Arbeit bei erhöhten Raumtemperaturen sprechen. Für den Gebäudebetrieb ist jedoch nicht die Frage einer eventuell objektiv nachweisbaren Leistungsminderung entscheidend. Vielmehr wird bei lange anhaltenden, hohen Temperaturen im Gebäude, insbesondere wenn diese bereits außerhalb von sommerlichen Hitzeperioden oder bereits morgens im Gebäude auftreten, durch die subjektiv empfundene Leistungsminderung von vermehrten Beschwerden der Gebäudenutzer und einer damit verbundenen erhöhten Unzufriedenheitsrate auszugehen sein. Eine solche Situation trägt nicht zur Aufrechterhaltung einer normalen Leistung der arbeitenden Personen bei. Daher sollte es im Interesse eines jeden Gebäudebetreibers sein, die Zeiten mit deutlich überhöhten Temperaturen im Gebäude, insbesondere außerhalb von sommerlichen Hitzeperioden, durch planerische Maßnahmen am Gebäude zu begrenzen.

Thermische Behaglichkeit und Energieeffizienz

Die in den vergangenen Jahren zunehmende Beachtung des Themas **thermische Behaglichkeit**, beispielsweise im Rahmen von Nachhaltigkeitsbewertungssystemen, beeinflusst auch die Energieeffizienz von Gebäuden. Unter der Vorgabe der Behaglichkeitsanforderungen und deren strikter Befolgung werden zwischenzeitlich mehr aktive Maßnahmen zur Raumkonditionierung umgesetzt als zuvor. Behaglichkeitsanforderungen, die als »Grenzwerte« interpretiert werden, dienen hierbei als Legitimation für hohen technischen und energetischen Aufwand.

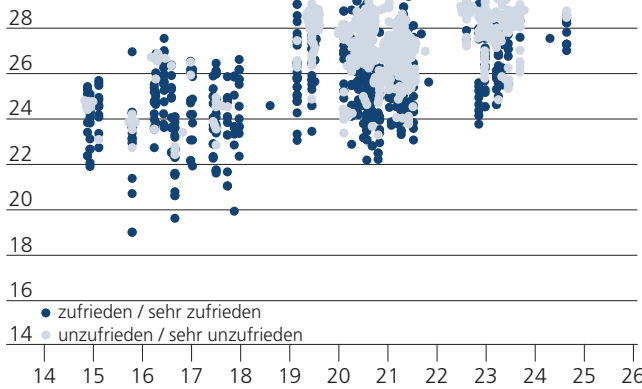
Grenzwerte sind rechtliche Festlegungen, welche die Gefährlichkeit z. B. bestimmter Konzentrationen von Schadstoffen in der Raumluft ausdrücken. Dies ist beim Thema thermische Behaglichkeit nicht der Fall. Beim geringfügigen Über- bzw. Unterschreiten von Behaglichkeitsanforderungen kann höchstens für einen begrenzten Zeitraum die Behaglichkeit etwas eingeschränkt sein. In Hausladen et al. (2004) wurden beispielsweise die Baustandards der Objekte, die Gegenstand der 26 °C-Gerichtsurteile waren, näher betrachtet. So wiesen die Gebäude durchweg einen hohen Verglasungsanteil und keinen oder nur unzureichenden Sonnenschutz auf. Die baulichen Ausführungen wiesen damit keinen ausreichenden baulichen sommerlichen Wärmeschutz auf und stellen Negativbeispiele dar. In zweien der Objekte wurden von den Sachverständigen eine Überschreitung der Innentemperatur von 26 °C an etwa 800 h/a bzw. maximale Raumtemperaturen von über 40 °C festgestellt. Bei solch mangelhaften Bauausführungen kommt es erwartungsgemäß zu Klagen. Solche Gebäude versagen bezüglich ihrer thermischen Performance aber bereits im Spätwinter oder der Übergangsjahreszeit und nicht erst in einer sommerlichen Hitzeperiode. Folgen die Gebäudeinnentemperaturen dagegen dem Verhalten der Außentemperatur, weisen also z. B. am Morgen niedrigere Temperaturen und erst im Verlauf des Tages höhere Temperaturen auf, so wird es im Regelfall nicht zu Beschwerden kommen. Der Arbeitgeber kann seine Mitarbeiter durch Maßnahmen, wie in Tabelle 2.1-2 dargestellt, in sommerlichen Hitzeperioden unterstützen.

Die vermehrte Umsetzung von Kühlmaßnahmen in Gebäuden wird außerdem unterstützt dadurch, dass erneuerbare Energiequellen dafür herangezogen werden können. Dabei werden Wärmesenken in Boden, Grundwasser oder Gewässern genutzt und dadurch diese lokale Umwelt erwärmt. Deshalb haben einige Städte bereits heute solche Nutzungen limitiert (z. B. Senatsverwaltung Berlin, 2014). In vielen Ballungsräumen ist der Wärmeinseleffekt, also eine im Stadtgebiet gegenüber den umliegenden ländlichen Gebieten deutlich erhöhte Temperatur in Größenordnungen von 4 K (Feigenwinter, 2013) bis zu 8 K (MUNLV, 2010), messtechnisch belegt. Kühlmaßnahmen sind derzeit nicht die Hauptursache, können aber bei vermehrtem Einsatz zu einer weiteren Erhöhung beitragen. Im Sommer wird dabei auf lange Sicht nicht nur die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen größer – mit noch relativ geringen Auswirkungen auf den Kühlenergiebedarf dieses Gebäudes,

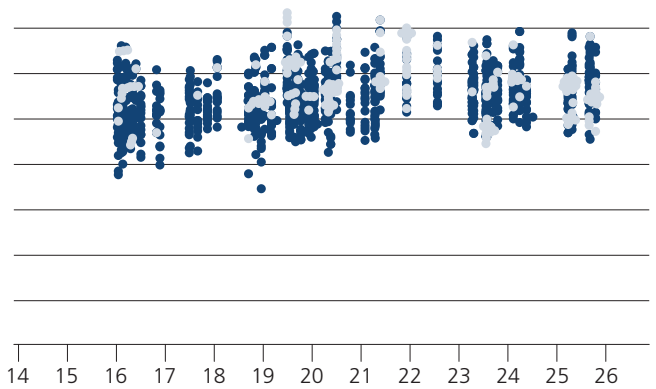
Zufriedenheit mit der Raumtemperatur

32 Stündlich gemessene Operative Raumtemperatur [°C]

30 Luftkühlung 2009



Wasserkühlung 2010



Gleitender Mittelwert der Außentemperatur [°C]

Abb. 2.1-13: Nutzerzufriedenheit mit der Raumtemperatur

sondern der gesamte Stadtraum wird erwärmt. Das Potenzial, die umliegenden Gebäude, also auch Wohngebäude, mit passiven Maßnahmen, wie z. B. **Nachtlüftung**, auszukühlen, sinkt. Dies hätte eine flächendeckende Kühlung und eine Vergrößerung des Wärmeinseleffektes zur Folge.

Im Winter führen gesteigerte Anforderungen an die thermische Behaglichkeit zu mehr Energiebedarf für die Beheizung der Gebäude. Die Innentemperaturanforderungen haben sich in Bürogebäuden von 20 °C auf heute 22 °C geändert – den Behaglichkeitsanforderungen für beheizte Gebäude bei sitzender Tätigkeit entsprechend. Eine Größenordnung von 10 % mehr Nutzenergie Heizen bei nur 1 K höherer Innentemperatur im Gebäudebestand gibt hier eine Orientierung bezüglich der Folgen für den Energiebedarf.

2.1.7 Erfahrungen aus Felduntersuchungen zum adaptiven Komfort

Die ausschließlich auf der Wärmebilanz des Menschen beruhenden Komfortmodelle, die aus Laboruntersuchungen in geschlossenen Klimakammern hervorgingen, wurden aufgrund von Diskrepanzen zwischen den damit vorhergesagten Komfortwerten (PMV) und den bei Felduntersuchungen im realen Gebäudebetrieb beobachteten Antworten der Nutzer bereits Anfang der 70er Jahre hinterfragt (Nicol & Humphreys, 1973). Diese Beobachtungen führten zu zwei groß angelegten Feld-

untersuchungen in den USA (de Dear, 1998) und Europa (McCartney & Nicol, 2002). Die Analysen dieser Daten bilden die Basis für die u. a. in DIN EN 15251 aufgenommenen Berechnungsmethoden für die Behaglichkeitsbereiche nach dem Adaptiven Komfortmodell. Eine in diesem Zusammenhang häufig gestellte Frage ist die nach dem Einfluss der Erwartungen der Nutzer auf ihre Zufriedenheit. Dieser wird im Folgenden mithilfe Ergebnisse eigener Felduntersuchungen nachgegangen.

Thermische Behaglichkeit im Sommer

Umfangreiche Nutzerbefragungen in zwei neuen Bürogebäuden in Freiburg zeigen einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem implementierten Kühlkonzept, den damit erreichten Raumtemperaturen und der Nutzerzufriedenheit mit dem Raumkomfort. Eines der Bürogebäude wird im Sommer mithilfe einer maschinellen Nachtlüftung (Abluftanlage) konditioniert. Das andere Gebäude verfügt über eine Betonkerntemperierung und eine Zu- und Abluftanlage. In beiden Gebäuden haben die Nutzer Einfluss auf das Raumklima, indem sie individuell Fenster öffnen und schließen und den außen liegenden Sonnenschutz bedienen können. Zudem gibt es keine Bekleidungsvorschriften.

Die Nutzerbefragungen wurden jeweils über eine ganze Sommerperiode durchgeführt. Dabei wurde im Rahmen einer computerbasierten Befragung das Empfinden und die Zufriedenheit der Nutzer mit dem thermischen

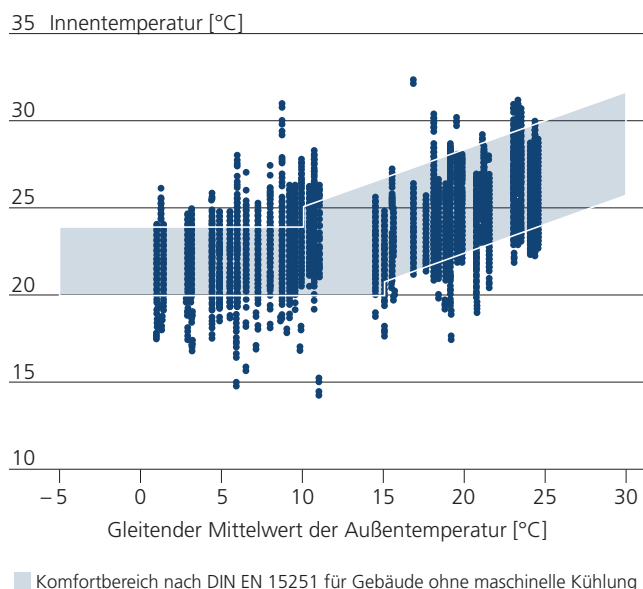


Abb. 2.1-14: Stundenmittelwerte der Innentemperatur während der üblichen Arbeitszeit über dem gleitenden Tagesmittelwert der Außentemperatur nach DIN EN 15251 für die drei nicht-maschinell gekühlten Gebäude.

Raumkomfort täglich je einmal vormittags und nachmittags erfasst. Parallel zur Befragung wurden die operative Raumtemperatur und relative Luftfeuchtigkeit am Arbeitsplatz der Nutzer sowie das lokale Wetter erhoben. Beim Vergleich beider Gebäude bewerten die zufriedenen Nutzer bei beiden Kühlkonzepten im Sommer im Mittel eine Raumtemperatur bis 25 °C als »neutral«, von 26 bis 28 °C als »etwas warm« und darüber hinaus als »warm«. Temperaturen unter 22 °C werden als »etwas kühl« empfunden. Die Anzahl unzufriedener Nutzer erhöht sich mit steigenden Raumtemperaturen. Bei beiden Kühlkonzepten bewerten die unzufriedenen Nutzer Raumtemperaturen von über 26 °C im Mittel als »warm«. Mittels gemessener Raumtemperatur und gleitendem Mittelwert der Außentemperatur (siehe Kap. 2.1.1) lässt sich, ähnlich wie zur Bestimmung des Komfortmodells in DIN EN 15251, eine Gleichung für die Raumkomforttemperatur aufstellen, mit der die Raumsolltemperatur abhängig vom gleitenden Tagesmittel der Außentemperatur berechnet werden kann, sodass die Anzahl der zufriedenen Nutzer maximal und die der unzufriedenen minimal wird.

Die ermittelte Komforttemperatur für das Gebäude mit Nachtlüftung bestätigt das Adaptive Komfortmodell. Die Gleichungen der Komforttemperatur sind nahezu

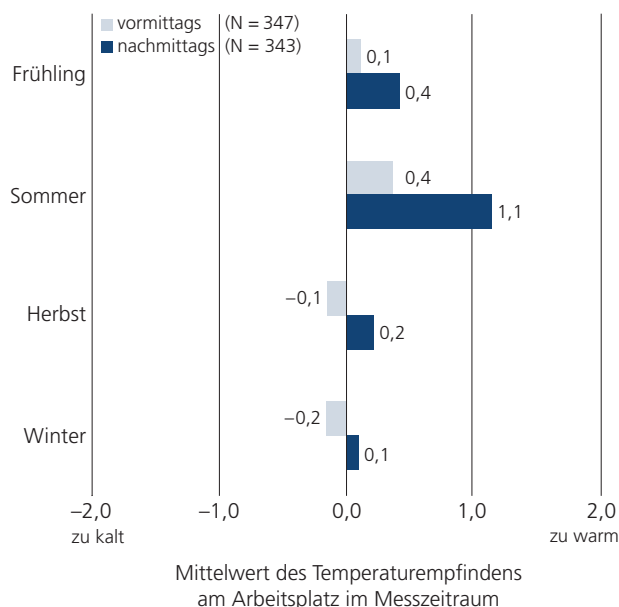
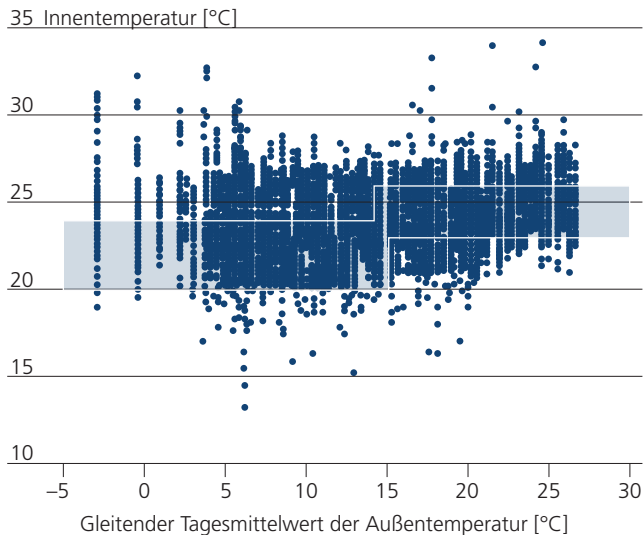


Abb. 2.1-15: Nutzerbewertung der Innentemperatur in Abhängigkeit von Tages- und Jahreszeit für die drei nicht-maschinell gekühlten Gebäude.

identisch; aus der Nutzerbefragung ergibt sich lediglich eine geringfügige Korrektur um –0,8 Kelvin. Im Gegensatz dazu entspricht die ermittelte Komforttemperatur für das Gebäude mit Betonkerntemperierung nahezu dem PMV-Komfortmodell der DIN EN 15251. Im Gebäude mit Nachtlüftung (**luftgeführte Kühlung**) sind 77 % der Nutzer über der gesamten Untersuchungsperiode mit der Raumtemperatur zufrieden. Anders im Gebäude mit **wassergeführter Kühlung**; hier waren sogar 91 % der Befragten zufrieden mit der Raumtemperatur (Abb. 2.1-13).

Die Nutzerzufriedenheit mit dem Raumkomfort erhöht sich nachweislich durch die Möglichkeiten zur effektiven Einflussnahme auf Raumbedingungen. Die vorliegenden Ergebnisse lassen zudem darauf schließen, dass die Erwartung der Nutzer an Raum- und Komfortbedingungen einen entscheidenden Einfluss auf das Empfinden und die Zufriedenheit hat: Aufgrund ihrer individuellen Erfahrungen mit dem Gebäude gehen die Nutzer in dem Gebäude mit Nachtlüftung von höheren Raumtemperaturen aus und akzeptieren diese auch. Im Gebäude mit wassergeführter Kühlung haben die Nutzer eine höhere Erwartung an den Raumkomfort und sind mit höheren Raumtemperaturen somit unzufriedener (Kalz & Pfafferott, 2013).



■ Komfortbereich nach DIN EN 15251 für Gebäude ohne maschinelle Kühlung

Abb. 2.1-16: Stundenmittelwerte der Innentemperatur während der üblichen Arbeitszeit über der mittleren Außentemperatur nach prEN 15251:2005 für die sechs maschinell gekühlten Gebäude.

Einfluss von Außentemperatur und Tageszeit

Von 2007 bis 2010 wurde eine Felduntersuchung in neun Bürogebäuden in Deutschland durchgeführt. Dabei wurden an über 400 verschiedenen Arbeitsplätzen die Lufttemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit und andere Raumklimaparameter in allen vier Jahreszeiten jeweils zwei Wochen lang aufgezeichnet. Am Ende jeder Messperiode stand eine Nutzerbefragung mittels Fragebogen. Das Bekleidungs-niveau, die Aktivitätsrate der Nutzer und die Luftgeschwindigkeit wurden nicht erfasst. In allen neun Gebäuden können die Nutzer die Fenster öffnen und schließen und den Sonnenschutz betätigen, es gibt keine Bekleidungs-vorschriften. Sechs der untersuchten Gebäude werden aktiv gekühlt, in drei Gebäuden ist keine maschinelle Kühlung vorhanden. Die Raumlufttemperaturen, die während der üblichen Arbeitszeit aufgetreten sind, zeigen im Vergleich mit dem Komfortbereich des Adaptiven Modells nach DIN EN 15251 in den drei nicht maschinell gekühlten Gebäuden eine gute Übereinstimmung (Abb. 2.1-14). Nur 3 % der Messwerte liegen unterhalb des Komfortbereichs, »zu kalte« Innentemperaturen traten gleichermaßen in der Heiz- und in der Kühlperiode auf. In der Heizperiode entsprechen 77 % der gemessenen Innen-

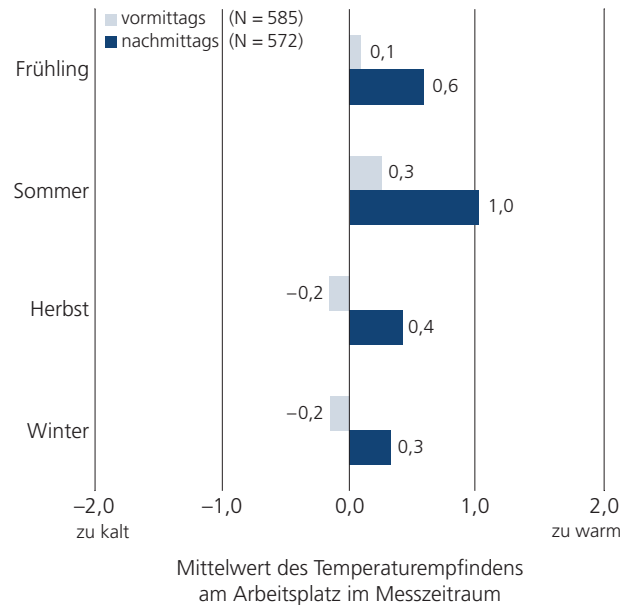


Abb. 2.1-17: Nutzerbewertung der Innentemperatur in Abhängigkeit von Tages- und Jahreszeit für die sechs maschinell gekühlten Gebäude.

temperaturen dem Komfortbereich, 19 % der Temperaturen sind »zu warm«. In der Kühlperiode liegen 94 % der Messwerte im Komfortbereich und nur 2 % oberhalb.

Die Bewertungen der Nutzer dieser nicht maschinell gekühlten Gebäude entsprechen nicht den nach DIN EN 15251 zu erwartenden Bewertungen. Die Temperaturen im Winter werden trotz vieler »zu warmer« Messwerte oberhalb des Komfortbereichs überwiegend als weder zu kalt noch zu warm empfunden. Im Sommer dagegen werden die Temperaturen als eher zu warm empfunden (Abb. 2.1-15), während die Norm aufgrund der sehr hohen Übereinstimmung mit dem Komfortbereich ein im Mittel neutrales Nutzerurteil erwarten ließe.

Die sechs maschinell gekühlten Gebäude werden im Sommer mit gekühlter Zuluft versorgt, zwei dieser Gebäude werden zusätzlich durch eine Betonkerntemperierung gekühlt. Für diese Gebäude gibt die Norm einen Komfortbereich der Kühlperiode an, der schmäler ist als in Gebäuden ohne maschinelle Kühlung: Komfortable Innentemperaturen liegen der Norm zufolge zwischen 23°C und 26°C.

Die Bandbreite der gemessenen Innentemperaturen in den gekühlten Gebäuden ist in allen Jahreszeiten deutlich größer als der Komfortbereich. Die Innentempera-

ren der Heizperiode liegen mit durchschnittlich 23,7°C nur wenig tiefer als die Innentemperaturen der Kühlperiode mit durchschnittlich 24,4°C. Dementsprechend liegen in der Heizperiode nur 1 % der Messwerte unterhalb des Komfortbereichs, aber 43 % der Messwerte oberhalb. In der Kühlperiode liegen 13 % unterhalb des Komfortbereichs und 11 % der Messwerte oberhalb. Abbildung 2.1-16 zeigt, dass DIN EN 15251 zufolge die Innentemperaturen im Winter in diesen Gebäuden häufig zu warm sind, während im Sommer sowohl zu niedrige als auch zu hohe Raumtemperaturen auftreten. Die Nutzer dagegen empfinden die Innentemperaturen im Winter als weder zu warm noch zu kalt und im Frühling und Sommer als eher zu warm, obwohl die Temperaturen kaum höher sind als in der Heizperiode (Abb. 2.1-17). Diese Nutzerbewertung im Sommer trotz vieler »zu kühler« Temperaturen könnte davon beeinflusst sein, dass die Nutzer in einem gekühlten Gebäude niedrigere Temperaturen erwarten.

Sowohl in den gekühlten als auch in den nicht gekühlten Gebäuden entsprechen die Temperaturen in der Heizperiode den Nutzerwünschen besser als die Temperaturen in der Kühlperiode, obwohl sie insbesondere in den gekühlten Gebäuden häufig oberhalb des Komfortbereichs liegen und damit »zu warm« sind. Im Sommer dagegen ist die Zufriedenheit der Nutzer mit der Temperatur an ihrem Arbeitsplatz signifikant geringer ist als in den anderen Jahreszeiten, obwohl die Temperaturen dem Komfortbereich besser entsprechen.

Die Zufriedenheit mit der Temperatur wird stark davon beeinflusst, wie wirksam die Nutzer die Temperatur verändern können. Dabei ist nach Angaben der Nutzer das Öffnen der Fenster in allen Jahreszeiten die meistgenutzte Möglichkeit, die Temperatur zu verändern, auch in Gebäuden mit Lüftungsanlage oder mit maschineller Kühlung. Im Winter bei niedrigen Außentemperaturen können (zu) hohe Innentemperaturen durch das Öffnen der Fenster wirksam verändert werden. Daher werden sie als weniger problematisch erlebt als im Sommer: Bei hohen Außentemperaturen bringt das Öffnen der Fenster nicht die erhoffte Kühlung. Die Nutzer können auch in Gebäuden mit maschineller Kühlung (zu) hohe Innentemperaturen nicht schnell verändern, sondern nur durch vorausschauende Reduktion von Wärmeeinträgen (Schließen des Sonnenschutzes und Schließen der Fenster, wenn die Außentemperatur über der Innentemperatur liegt).

Entgegen der im vorhergehenden Abschnitt vorgestellten Untersuchung und entgegen der Norm konnten in

dieser Feldstudie keine signifikanten Unterschiede zwischen maschinell gekühlten und ungekühlten Gebäuden festgestellt werden: Die als angenehm empfundenen Innentemperaturen unterschieden sich nicht signifikant. Auch in den gekühlten Gebäuden werden bei höheren Außentemperaturen höhere Innentemperaturen akzeptiert (Moosmann, 2014).

Sowohl in den gekühlten als auch ungekühlten Gebäuden und in allen Jahreszeiten unterscheiden sich die Temperaturen, mit denen die Nutzer zufrieden sind, je nach Tageszeit. Aus den Temperaturen, bei denen Nutzer keine Veränderung der Temperatur wünschten, wurde die Komforttemperatur in Abhängigkeit vom gleitenden Mittelwert der Außentemperatur und der Uhrzeit ermittelt. Sie liegt im Winter bei einem gleitenden Mittelwert der Außentemperatur von 0°C um 8:00 Uhr morgens bei 21,4°C, im Sommer bei einem gleitenden Mittelwert der Außentemperatur von 25°C um 8:00 Uhr morgens bei 23,7°C. Mittags um 12:00 Uhr wird jeweils eine ca. 2 Kelvin höhere Temperatur als komfortabel empfunden, im Winter also 23,4°C und im Sommer 25,7°C.

Der Einfluss der Tageszeit zeigt sich auch in der folgend beschriebenen Studie sehr deutlich.

Im Juli 2005 wurde eine vierwöchige Feldstudie in einem Büro- und Laborgebäude in Karlsruhe durchgeführt,

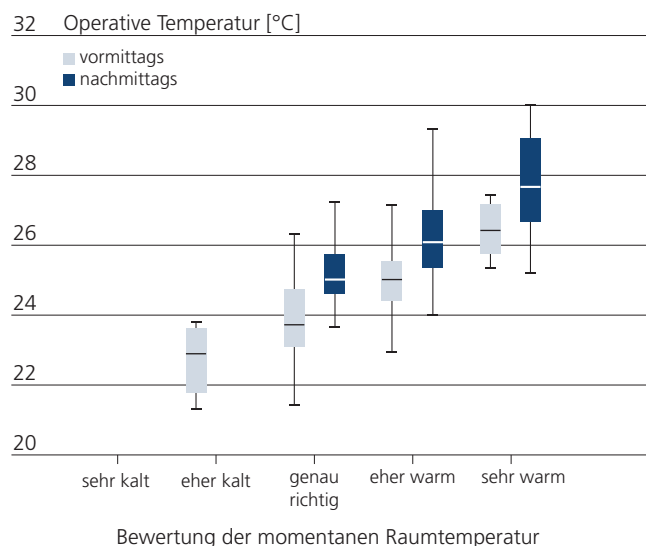


Abb. 2.1-18: Der Boxplot der gemessenen Raumtemperatur über der Nutzerbewertung zeigt die großen Unterschiede in der Bewertung der Temperatur zwischen Vormittag und Nachmittag.



Abb. 2.1-19: Mobile Messtechnik für die Erfassung von Wetterdaten und Mikroklima an der Fassade.

dessen Büroräume nicht maschinell gekühlt werden. 50 Probanden wurden dienstags und donnerstags jeweils vormittags und nachmittags zu ihrem **thermischen Empfinden** befragt, insgesamt bis zu sechzehn Mal. Während die Probanden die Kurzfragebögen ausfüllten, wurden die operative Raumtemperatur, die Raumlufttemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit und die Luftgeschwindigkeit gemessen.

Der **Boxplot** der **operativen Temperatur** über dem Nutzerurteil (Abb. 2.1-18) zeigt die große Streuung der Messwerte von über 5 Kelvin bei den meisten Bewertungen, was die großen individuellen Unterschiede in der Bewertung der Raumtemperatur belegt.

Bei 58 % der 427 Befragungen wurde die Raumtemperatur als »gerade richtig« bewertet. Bei 7,6 % dieser neutralen Bewertung betrug die operative Temperatur über 26,0 °C.

Werden die Nutzerbewertungen vormittags und nachmittags miteinander verglichen, zeigt sich, dass die Temperatur nachmittags häufiger als »eher warm« oder »sehr warm« bewertet wurde als vormittags. Gleichzeitig wurden nachmittags offensichtlich höhere Temperaturen akzeptiert als vormittags: Vormittags lagen die als »genau richtig« bewerteten Temperaturen bei durchschnittlich 23,8 °C, nachmittags bei durchschnittlich 25,2 °C. Auch die übrigen Bewertungen wurden nachmittags bei signifikant höheren Temperaturen abgegeben. Dies lässt darauf schließen, dass sich die Nutzer auch innerhalb eines Tages adaptieren, also davon ausgehen, dass es nachmittags wärmer wird als vormittags, und dies akzeptieren.

Der Bekleidungsgrad der Probanden wurde bei jeder Befragung ermittelt. 25 % aller Werte liegen unter dem Standardwert für leichte Sommerkleidung von 0,5 clo und 3 % der Werte liegen über dem Standardwert für Bürokleidung von 0,75 clo.

Die aus den Messwerten, dem Bekleidungsgrad und dem ebenfalls ermittelten Aktivitätsgrad berechneten **PMV-Werte** korrelieren nur schwach mit den Nutzerbewertungen der momentanen Temperatur. Adaptive Modelle, wie in ASHRAE beschrieben, zeigen eine mittlere bis hohe Korrelation mit der Nutzerbewertung (Wagner, Gossauer, Moosmann, Gropp & Leonhart, 2007).

Zusammenfassung

Alle drei vorgestellten Untersuchungen zeigen den Einfluss, den die Erwartungen der Nutzer auf ihre Zufriedenheit haben: In nicht gekühlten Gebäuden gehen die Nutzer bei hohen Außentemperaturen von höheren Innentemperaturen aus und akzeptieren diese auch – sowohl im jahreszeitlichen Verlauf als auch während der einzelnen Tage. In der ersten Felduntersuchung wurde auch das in DIN EN 15251 angegebene Maß des Temperaturanstiegs der als komfortabel empfundenen Innentemperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur bestätigt. In der Felduntersuchung in neun Bürogebäuden dagegen ergab sich ein deutlich flacherer Temperaturanstieg der als komfortabel bewerteten Innentemperatur: Die Mittelwerte der Innentemperaturen, mit denen die Nutzer zufrieden waren, lagen in der Heizperiode bei 23 °C und in der Kühlperiode bei 25 °C.



Abb. 2.1-20: Mobile Messtechnik für die Erfassung von Raumklimadaten (Lufttemperatur, operative Temperatur, Luftgeschwindigkeit, CO₂-Konzentration in der Raumluft und relative Luftfeuchte (links, Mitte)) und Nutzerverhalten (Öffnen und Schließen von Fenstern (rechts)).

Die einzelnen als komfortabel bewerteten Temperaturen lagen zwischen 20°C und 28°C.

Im Widerspruch zu diesem akzeptierten Temperaturanstieg steht die Erwartung, dass gekühlte Gebäude im Sommer kühl sind. Sie führt dazu, dass Temperaturen dort mehrheitlich als »eher zu warm« bewertet werden, die in der Heizperiode als »weder warm noch kalt« empfunden wurden, obwohl sie über dem im Winter als noch behaglich angesehenen Temperaturbereich liegen. Auch die Veränderung der als »genau richtig« bewerteten Raumtemperatur im Tagesverlauf wird sicherlich von der Erfahrung der Nutzer und damit auch von ihrer Erwartung beeinflusst, dass Innentemperaturen im Tagesverlauf ansteigen.

2.1.8 Erkenntnisse aus dem Gebäude-monitoring zum sommerlichen thermischen Komfort

In der Praxis stellt sich oft die Frage, ob Gebäude im Betrieb tatsächlich die in der Planung formulierten Anforderungen im Hinblick auf das sommerliche Temperaturverhalten einhalten. Unter Umständen entspricht auch das subjektiv empfundene Raumklima nicht den Erwartungen der Nutzer (siehe Kap. 2.1.1). Eine messtechnische Untersuchung bietet hier die Möglichkeit, objektive Daten bereitzustellen und den thermischen Raumkomfort unter Betriebs- und Nutzungsbedingungen und damit die Wirksamkeit des Kühl- und Lüftungskonzeptes zu bewerten.

Über Gebäudeleitsysteme sind heute in der Regel Daten zur operativen Raumtemperatur, relativen Raumluftfeuchte, Außentemperatur am Gebäude und anlagentechnischen Parametern (Temperaturen, Betriebszeiten, etc.) verfügbar. Ergänzend können Feldmessungen mit mobiler Messtechnik über mehrere Wochen im Sommer durchgeführt werden, in denen neben den Raumkomfortparametern auch das Nutzerverhalten (Öffnen/Schließen von Fenstern und Sonnenschutz) und bauphysikalische Eigenschaften des Raumes (Oberflächentemperaturen, thermische Wirksamkeit der Lüftung, Luftgeschwindigkeiten an Lüftungsein- und -auslässen, etc.) erfasst werden. (Abb. 2.1-19, 2.1-20, 2.1-21)

Der thermische Raumkomfort in Nichtwohngebäuden wird nach der Europäischen Richtlinie DIN EN 15251 bewertet, die gemäß dem implementierten Kühlkonzept zwei Komfortmodelle definiert: Adaptives und PMV-Modell (siehe Kap. 2.1.1). Nach der definierten Komfortnorm DIN EN 15251 berücksichtigt eine standardisierte Auswertung von Messkampagnen folgende Randbedingungen:

- Nutzungszeiten: Der thermische Raumkomfort wird ausschließlich während der Anwesenheitszeit der Nutzer bewertet, z.B. werktags von 8:00 bis 19:00 Uhr. Feiertage und Urlaubszeiten werden nicht gesondert berücksichtigt.
- Gebäudefläche: Im untersuchten Gebäude werden repräsentative Büroräume vermessen, die zur Bewertung des thermischen Komforts im Gebäude herangezogen werden.



Abb. 2.1-21: Installierte Messtechnik für operative Raumtemperatur und relative Luftfeuchte.

- Saisonale Bewertung: Die Bewertung des thermischen Raumkomforts, d.h. die Überschreitungshäufigkeit der definierten Komfortklassen I bis III, erfolgt für die gesamte Sommerperiode und nicht auf Tages- oder Wochenbasis.
- Definition Sommerperiode: Die DIN EN 15251 ist nicht konsistent in der Unterteilung zwischen Winter- und Sommerperiode, d.h. die Definition der Komfortgrenzen für Winter- und Sommer- bzw. Heiz- und Kühlperiode folgt für das Adaptive und das PMV-Komfortmodell jeweils nach einem anderen Ansatz. Im PMV-Komfortmodell nach Fanger bestimmt der Bekleidungsgrad (clo) des Nutzers die jeweilige Periode (Winter 1,0 clo und Sommer 0,5 clo). Das Adaptive Komfortmodell definiert obere Komfortgrenzen in der Sommerperiode für eine gleitende Außenmitteltemperatur von 10 bis 30 °C und untere Komfortgrenzen für einen Temperaturbereich von 15 bis 30 °C. Niedrige Tagesmittel der Außentemperatur korrelieren mit clo-Werten von 0,7 bis 1,0 und erhöhte bzw. hohe Tagesmittel der Außentemperatur mit clo-Werten von 0,5 bis 1,0 – ein Bekleidungswert von clo 0,7 (typische Bürokleidung mit langem Hemd, aber ohne Jacke) entspricht in etwa einem Tagesmittel der Außentemperatur von 15 °C. Für die Unterscheidung von Winter- zu Sommerperiode wird ein gleitender Tagesmittelwert für die Außentemperatur von 15 °C empfohlen.
- Toleranzbereich der Komfortbewertung: In den Büroräumen weicht die gemessene Raumtemperatur während der Anwesenheitszeit der Nutzer in der Sommerperiode um nicht mehr als 5 % von den Grenzwerten der entsprechenden Kategorie I bis III ab.
- Komfortklasse für thermischen Raumkomfort: Der Raumkomfort wird entsprechend der definierten oberen und unteren Komfortklassen I bis IV bewertet (Klasse I – hohes Maß an Erwartung, Klasse II – normales Maß an Erwartung, Klasse III – annehmbares, moderates Maß an Erwartung und Klasse IV – Werte außerhalb der definierten Komfortkategorien).
- Ergebnisdarstellung: Die Ergebnisse der Messkampagnen werden in einer Komfortgrafik und in einem thermischen »Fußabdruck« dargestellt. In der Komfortgrafik wird gemäß dem geforderten Komfortmodell die mittlere, stündlich gemessene Temperatur der Referenzräume über dem gleitenden Mittel der Außentemperatur dargestellt. Zusätzlich zeigt die Grafik die Raumtemperaturgrenzwerte der Klassen I bis III. Der thermische »Fußabdruck« zeigt die prozentuale Anwesenheitszeit im Sommer, an der das Gebäude die oberen Grenzwerte der thermischen Komfortkategorien I bis III einhält.

Charakteristika unterschiedlicher Kühlkonzepte

Im Folgenden wird dargestellt, wie sich mithilfe von Messwerten aus dem Gebäudemonitoring unterschiedlicher Kühlkonzepte die Einhaltung von Komfortbereichen überprüfen lassen. Diese Auswertung basiert auf Daten von insgesamt 42 Gebäuden. Im Ergebnis gibt Abbildung 2.1-22 einen Überblick zu bevorzugten Kühlkonzepten für die sechs Sommer-Klimaregionen in Europa.

In Gebäuden mit passiver Kühlung sind durch die zunehmende Ausstattung mit PCs und anderen wärme-

abgebenden Geräten und die gegebenenfalls dichte Raumbelegung in der Sommerperiode relativ hohe Raumtemperaturen zu erwarten. Die Komfortanforderungen der Klasse II nach dem Adaptiven Komfortmodell der DIN EN 15251 werden in den untersuchten Gebäuden zu 88 bis 98 % der Anwesenheit eingehalten. Im Mittel liegen die Raumtemperaturen während der Anwesenheit im Sommer in einem Bereich von 23 bis 27,5 °C. Während sommerlicher Hitzeperioden steigen die Raumtemperaturen deutlich über 28 °C. Jedoch werden nur bei hohen Außentemperaturen mit einem gleitenden Mittelwert über 30 °C die Komfortanforderungen der Klasse III des Adaptiven Komfortmodells sehr selten und an wenigen Stunden verletzt. Weiterhin wird deutlich, dass die Raumtemperaturen bei erhöhten Außentemperaturen sehr schnell ansteigen; die Raumtemperaturen schwanken über der Anwesenheitszeit im Mittel bis zu 3 Kelvin pro Tag. Außerhalb der Anwesenheit bzw. in den Nachtstunden sinken die Raumtemperaturen auch nur langsam und geringfügig im Mittel um 1 bis maximal 3 Kelvin.

Unerwartet werden in Sommerperioden mit moderaten Außentemperaturen bzw. in der Übergangszeit mit gleitenden Tagesmitteln der Außentemperatur von 15 bis 20 °C die unteren Komfortgrenzen unterschritten, da die freie Lüftung über Fenster und Lüftungskappen keine »aktive« Regelung der Raumtemperatur erlaubt. Die Raumtemperaturen fallen jedoch nur sehr selten unter Werte von 20 bis 21 °C.

Die maschinelle Nachtlüftung kann in Gebäuden mit **luftgeführter Kühlung** eine wichtige Rolle im Kühlkonzept übernehmen. Die Erfahrung mit per Nachtlüftung gekühlten Niedrigenergie-Bürogebäuden zeigt, dass im Sommer angenehme Raumtemperaturen erreicht werden und dass die Nutzer das Raumklima in der Regel positiv bewerten. Bei messtechnisch untersuchten Gebäuden wird die Komfortklasse II nach Adaptivem Komfortmodell zu 80 bis 100 % erreicht. Die mittleren operativen Raumtemperaturen liegen bei den meisten Gebäuden zwischen 23 und 27,5 °C, die maximalen Raumtemperaturen zwischen 26 und 30,5 °C. Die Tagesamplituden der Raumtemperatur zur Anwesenheit der Nutzer liegen in gleicher Größenordnung wie bei den Gebäuden mit passiver Kühlung; im Mittel steigt die Temperatur über der Anwesenheitszeit zwischen 1 bis 3 Kelvin an.

Die Raumtemperaturen sinken in der Nacht um bis zu 4 Kelvin. Aber insbesondere bei lang anhaltenden Hitze-

Die Wärmeabfuhr in der Nacht mittels freier **Nachtlüftung** ist zum einen abhängig vom Nutzerverhalten (Öffnen von Fenstern und Klappen) und zum anderen von der Lüftungseffektivität, d. h. von Außentemperaturen, Windverhältnissen und Anströmung der Fassade, effektive Querschnittsöffnung von geöffneten Fenstern und Klappen, Luftströmung in Gebäude (einseitige Fensterlüftung oder Querlüftung).

Passive Kühlung ist nur in Nordeuropa als Kühlkonzept gut geeignet, denn im nord-europäischen Sommerklima können die verhältnismäßig hohen solaren Wärmegewinne infolge der langen Sonnenscheindauer bei tief stehender Sonne effizient durch die verhältnismäßig kühle Außenluft abgeführt werden. Vorausgesetzt, die Gebäude werden explizit für dieses Konzept unter den spezifischen Bedingungen vor Ort geplant. Dennoch verbessert auch hier eine unterstützte Nachtlüftung die Regelbarkeit und die Wärmeabfuhr während hochsommerlicher Perioden.

Der Einsatz einer maschinellen Lüftung mit Abluft- oder Zu- und Abluftanlage ermöglicht feste Luftwechsel zwischen 2 bis 4 h⁻¹, unabhängig von vorherrschenden Außenbedingungen (Wind und Temperatur). Damit lässt sich in der Regel eine höhere Wärmeabfuhr sicherstellen.

perioden – so z. B. in den Sommern 2003 und 2006 – verhindern relativ hohe Außentemperaturen in der Nacht eine ausreichende Kühlung der thermischen Gebäudemasse. Dann reichen bauliche Maßnahmen und eine mechanisch unterstützte Nachtlüftung oft nicht aus, um tagsüber die Raumtemperaturen auf Werte von 28 °C zu begrenzen.

Erheblich wirkungsvoller als Nachtlüftungskonzepte sind thermoaktive Bauteilsysteme, eine Form der **wassergeführten Kühlung**. Hierbei wird die Gebäudestruktur mit bauteilintegrierten Rohrregistern gekühlt, um das Raumklima komplett oder unterstützend zu konditionieren. Detaillierte messtechnische Untersuchungen zeigen, dass durch Kühlung mit thermoaktiven Bauteilsystemen (im Speziellen Betonkernaktivierung) die geforderten Raumtemperaturen nach dem PMV-Komfortmodell unter Berücksichtigung des Nutzerverhaltens fast immer eingehalten werden können. Die mittleren Raumtemperaturen liegen in einem Bereich von 22,5 bis 25,5 °C und

damit deutlich unter den gemessenen Werten in den Gebäuden mit passiver und luftgeführter Kühlung. Die maximalen Raumtemperaturen liegen oft zwischen 25 und 28 °C. Auch bei erhöhten Außentemperaturen mit einem gleitenden Tagesmittel größer 22 °C sind die maximalen Raumtemperaturen in der Regel auf einen Bereich von 27 bis maximal 28 °C begrenzt. Die Raumtemperaturen schwanken nur relativ geringfügig über den Tag, d. h. bei den meisten Gebäuden liegt der Temperaturanstieg über die Anwesenheit im Mittel zwischen 0,5 und 2,5 Kelvin.

In den untersuchten Nichtwohngebäuden mit wassergeführter Kühlung wird während der Kühlperiode (insbesondere zu Beginn der Sommerperiode) eine teilweise deutliche Unterschreitung der unteren Komfortgrenze festgestellt. Damit verbunden sind ein erhöhter thermischer Kühlenergieaufwand und unter Umständen Komforteinschränkungen, d. h. die Temperaturen können vom Nutzer als »zu kühl« empfunden werden. Betriebs- und Regelalgorithmen (z. B. Betriebszeiten, Vorlauftemperatur, Volumenströme) für die Kühlsysteme müssen die Raumtemperatur der Büroräume oder ausgewählter Referenzräume für die jeweilige thermische Zone als Regelgröße berücksichtigen.

In nordeuropäischen Klimaten können interne und solare Wärmelasten durch eine natürliche Lüftung am Tag und eine Nachtlüftung aufgrund der kühleren Umgebungsluft effizient abgeführt werden. In bestimmten Gebäuden erscheint eine maschinell unterstützte Nachtlüftung angebracht, um die Effektivität zu verbessern. Eine aktive wassergeführte Kühlung mittels Umweltwärmesenken oder sogar Kompressionskälte ist nur bei sehr hohen Komfortanforderungen oder eingeschränktem Nutzereinfluss (Bekleidungs Vorschriften, kein Öffnen der Fenster) unterstützend erforderlich. Kühlenergiekonzepte mit thermoaktiven Bauteilsystemen und Umweltenergie stellen für das mitteleuropäische Klima eine energieeffiziente Lösung dar, können aber aufgrund von Systemträgheiten und systembedingten Temperaturen keine stringenten Raumtemperatursollwerte gewährleisten. Sollen bestimmte Raumtemperaturen gewährleistet werden, ist ein zusätzliches, regelbares und schnell reagierendes Heiz- und Kühlsystem erforderlich. In südeuropäischen Klimaten ist aufgrund der lang anhaltenden Hitzeperioden mit hohen Außentemperaturen eine höhere Kühlleistung erforderlich. Aufgrund der geringen Temperaturdifferenz zwischen Raumtemperatur und Temperatur der Umweltwärmesenke (Außenluft, Erd-

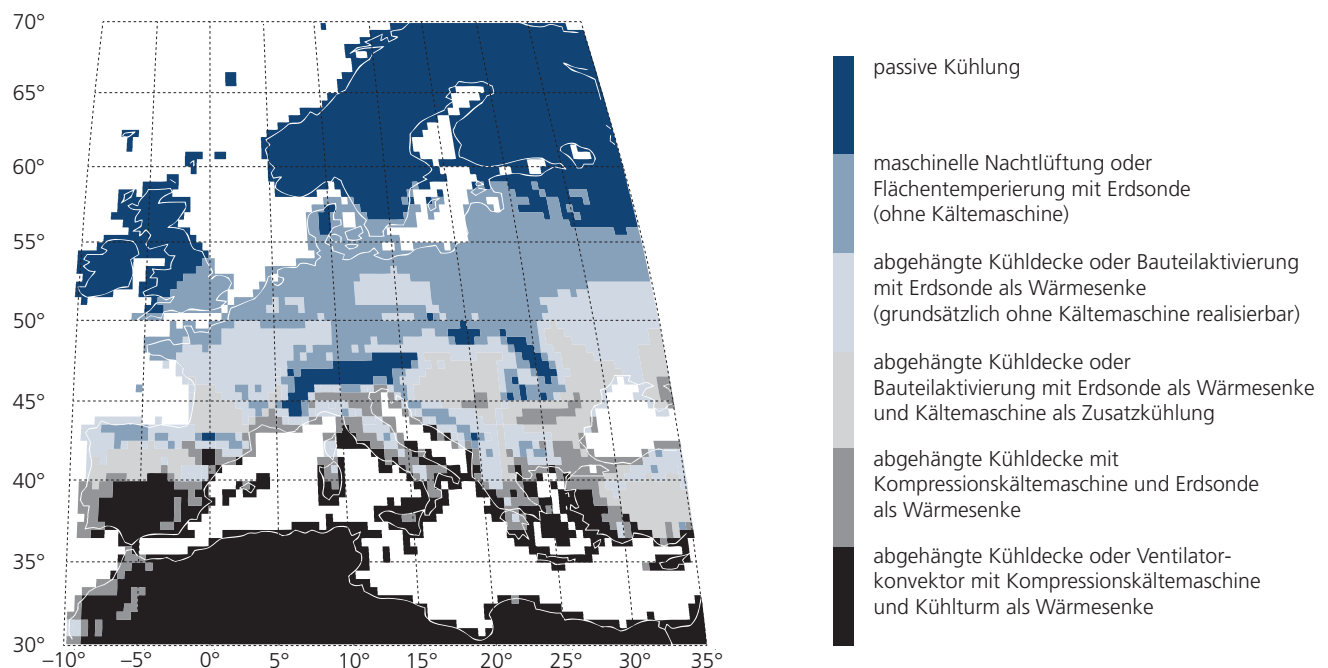
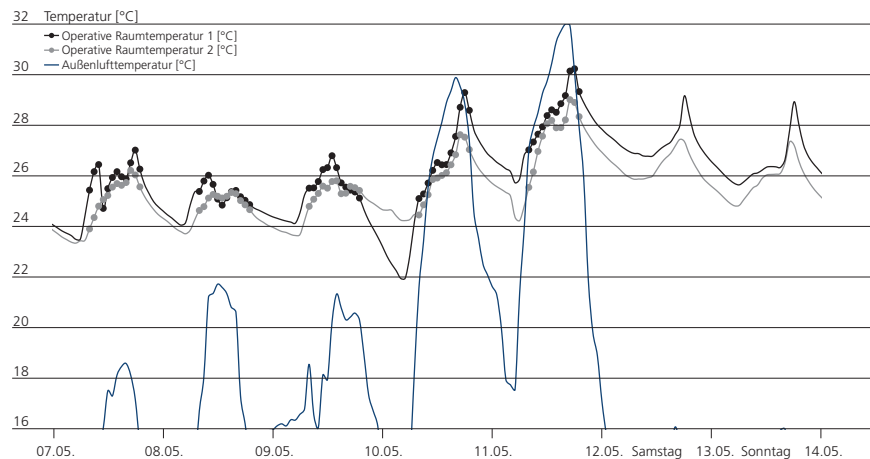
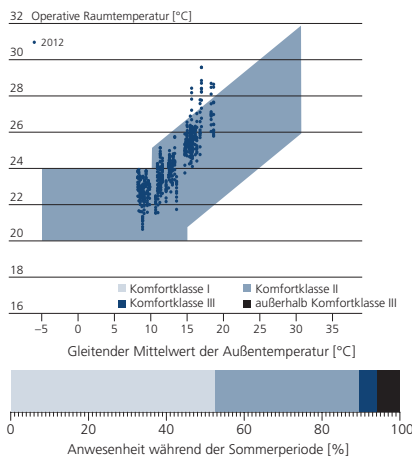


Abb. 2.1-22: Kühlkonzepte im europäischen Vergleich

reich) ist ein aktives Kühlsystem zum Beispiel mit Kompressionskälte – zumindest unterstützend – erforderlich. Eine aktive, luftgeführte Teil- oder Vollklimatisierung kann in allen Klimazonen durchgängig eine ausreichend hohe Kühlleistung bereitstellen, um auch hohe Komfortansprüche zu erfüllen. Auch zu Zeiten mit hohen Außentemperaturen (gleitendes Tagesmittel zwischen 26 und 32°C) liegen die gemessenen Raumtemperaturen innerhalb der geforderten Komfortgrenzen des PMV-Komfortmodells, d.h. Raumtemperaturen liegen in der Regel zwischen 24 und 26°C und sind nur sehr geringen Tagesschwankungen unterworfen. Im Mittel liegt der Temperaturanstieg während der Anwesenheit unter

2 Kelvin. Während in nord- und mitteleuropäischen Gebäuden ohne Klimatisierung die Anforderungen an die Raumluftfeuchte in der Regel eingehalten werden, sind in südeuropäischen Klimaten die Raumtemperatur sowie die relative Feuchte an feuchtwarmen Tagen höher, d.h. die relative Feuchte liegt im Bereich des oberen Grenzwerts der Norm. Hier erscheint eine Entfeuchtung der Zuluft – zumindest zeitweise – notwendig. Im Fall der Unterstützung durch eine Klimaanlage kann aber die Abfuhr der sensiblen Kühllasten durch ein wassergeführtes Flächenkühlsystem erfolgen, um die Möglichkeit einer sehr effizienten Energiebereitstellung auszunutzen.

ohne Kühlung



Passive Kühlung

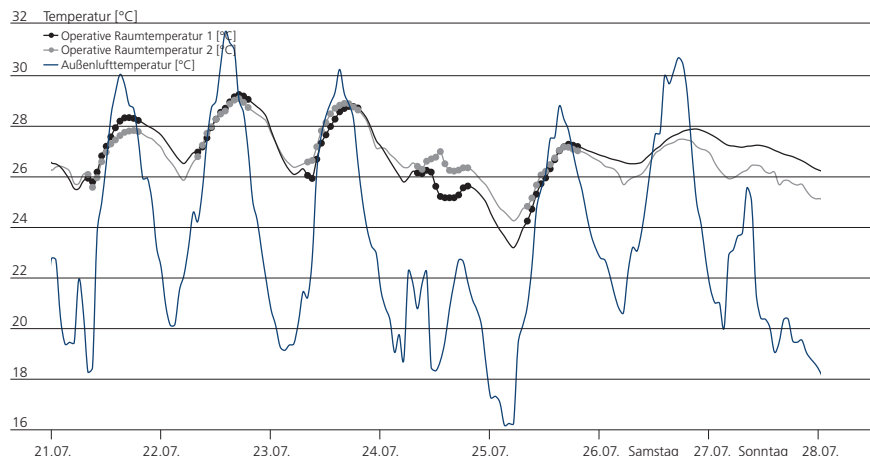
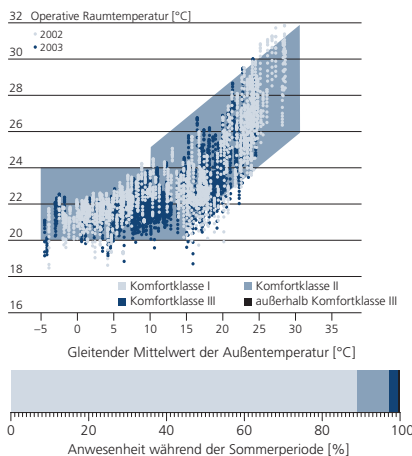
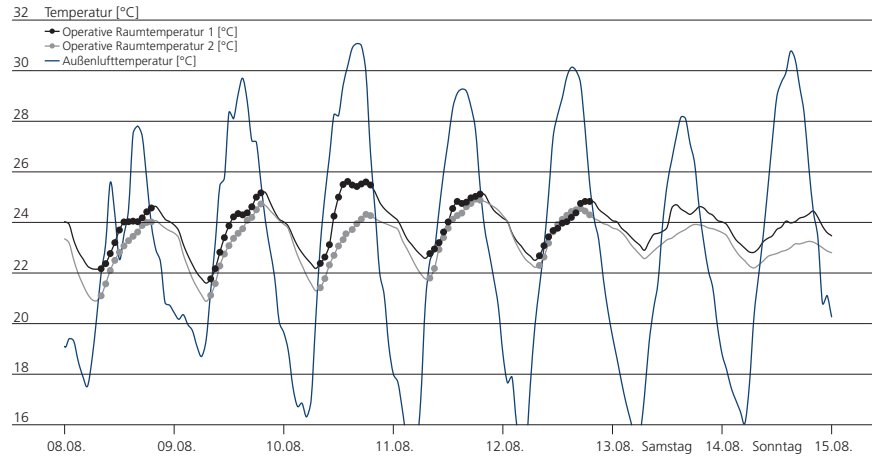
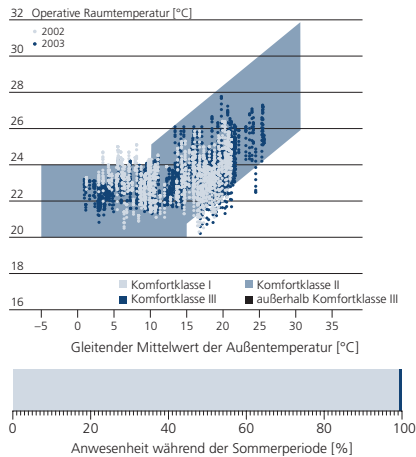
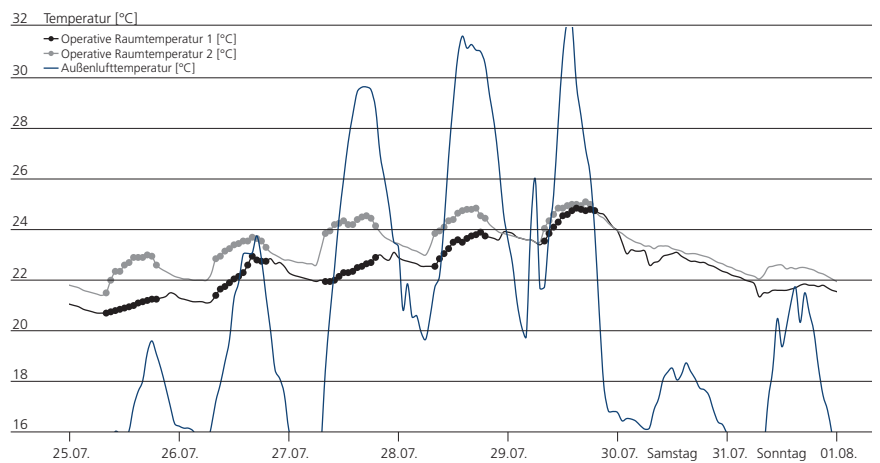
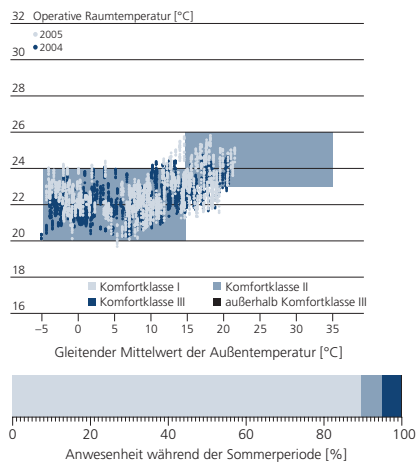


Abb. 2.1-23: Raumkomfort und Kühlkonzept (Fortsetzung der Abbildung, siehe nächste Seite)

Luftkühlung



Wasserkühlung



Vollklimatisierung

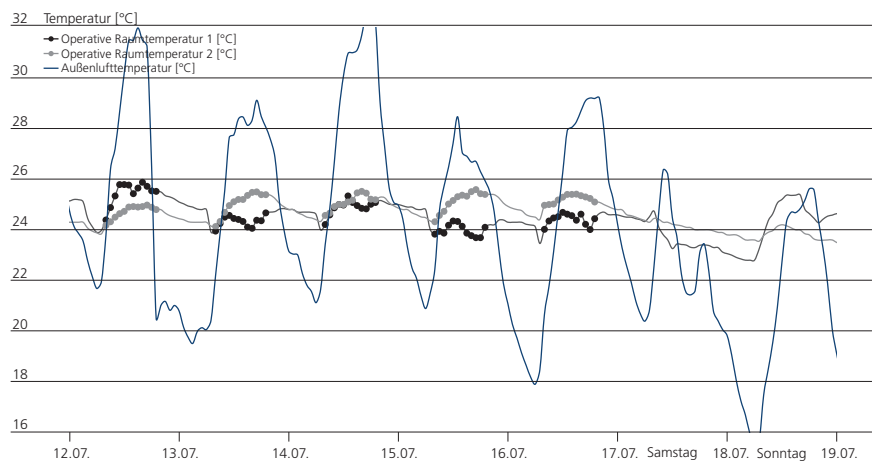
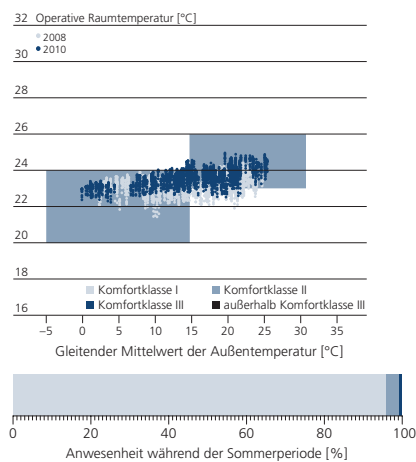


Abb. 2.1-23: Raumkomfort und Kühlkonzept (Fortsetzung von vorheriger Seite)

Raumkomfort und Nutzerverhalten

Die Nutzung des Gebäudes, d. h., das Nutzerprofil und die Ausstattung der Büroräume, sowie die Anforderungen an den Raumkomfort müssen in der Planungsphase klar definiert und im Gebäudebetrieb berücksichtigt werden. Denn die Nutzung des Gebäudes und das Nutzerverhalten haben einen entscheidenden Einfluss auf den Raumkomfort und den Energieverbrauch. Nach der Realisierung oder Sanierung des Gebäudes sollten die Nutzer über das Gebäude- und Energiekonzept informiert werden und verständliche Hinweise erhalten, wie sich verhalten sollen bzw. können, um einen hohen Raumkomfort bei niedrigem Energieverbrauch und -kosten sicherzustellen. Überzeugende Gebäudekonzepte zeichnen sich dadurch aus, dass dem Nutzer in großem Umfang Einfluss ermöglicht wird, denn die Nutzerzufriedenheit mit dem Raumkomfort erhöht sich nachweislich durch die Möglichkeiten zur effektiven Einflussnahme auf Raumbedingungen. Daneben hat aber auch die Erwartungshaltung des Nutzers an Raum- und Komfortbedingungen einen entscheidenden Einfluss auf das Empfinden und die Zufriedenheit: Informierte Nutzer erwarten zum Beispiel in einem Gebäude mit Nachtlüftung höhere Raumtemperaturen und akzeptieren diese auch. Dagegen haben Nutzer in Gebäuden mit **wassergeführter Kühlung** höhere Erwartungen an den Raumkomfort und sind mit höheren Raumtemperaturen somit unzufriedener.

2.1.9 Planungs- und Handlungsempfehlungen zum thermischen Komfort

Unabhängig davon, ob eine Immobilie selbst genutzt oder vermietet wird, steigt ihre Attraktivität und damit ihr Nutzen für den Bauherrn, wenn sie den Nutzern ein hohes Maß an **thermischer Behaglichkeit** bietet. Während im Falle der Eigennutzung der Bauherr seine Bedürfnisse kennt, sind z. B. einem Investor die Bedürfnisse und Ansprüche der zukünftigen Nutzer nicht immer bekannt.

Thermischer Komfort in der Rechtsprechung

Unterschiedliche Ansichten von Mieter und Vermieter zur Einhaltung thermischer Komfortgrenzen, insbesondere zur Vermeidung von Temperaturüberschreitungen

im Sommer haben in der Vergangenheit immer wieder die Gerichte beschäftigt. Am bekanntesten wurde hier das sogenannte »26-°C-Urteil« des Landgerichtes Bielefeld, welches auf Basis der Klage des Nutzers den Betreiber auf Einhaltung einer Temperaturobergrenze der Raumlufttemperatur von 26 °C bei Außentemperaturen bis 32 °C in einem frei belüfteten Gebäude verpflichtete. Die Urteilsbegründung basiert jedoch teils auf nicht mehr gültigen Normen und auf unterschiedlichen Interpretationen ein und derselben Vorschrift (Hausladen et al., 2004). Diese Rechtsprechung führte zu enormen Unsicherheiten bei Bauherren und Planern natürlich belüfteter Gebäude. Spätere Urteile sprachen jedoch für normgerecht gebaute Gebäude dem Mieter die Pflicht zu, Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Bedingungen einzuleiten (OLG Frankfurt, 2007; KG Berlin, 2012). Die aktuellen Normen und Richtlinien, wie im Kapitel 2.1.1 vorgestellt, geben inzwischen eine höhere Rechtssicherheit, indem sie zum einen für natürlich belüftete Gebäude höhere Komfortgrenzen sowie Über- und Unterschreitungen der Grenzwerte explizit zulassen (z. B. DIN EN 15251) und zum Anderen den Arbeitgeber verpflichten, Maßnahmen zu ergreifen (ASR 3.5).

Thermischen Komfort planen

Abbildung 2.1-24 fasst sowohl die in diesem Kapitel genannten Normen und Anforderungen als auch offene Fragen in diesem Themengebiet zusammen. Planern stehen zahlreiche passive und aktive Komponenten zur Verfügung, um sowohl architektonisch anspruchsvolle als auch thermisch behagliche und energieeffiziente Gebäude zu realisieren (siehe Kap. 2.1.10). Die vielfach gebauten Ganzglasfassaden ohne Sonnenschutz bei aktiver energieintensiver Klimatisierung der Innenräume stellen keine geeignete Lösung dar. Bei Einhaltung der energetischen Anforderungen an die Außenbauteile sind für den Winterfall im Neubau keine Probleme zu erwarten. Im Gebäudebestand kann es jedoch bei großen Fensterflächen mit schlechter Fensterqualität zu Kaltluftabfällen in Fensternähe kommen, sodass dieser Bereich nicht zum Aufenthalt geeignet ist. Sanierungsmaßnahmen können neben Behaglichkeit und Energieeffizienz in diesen Situationen auch die Flächeneffizienz steigern.

Für den Sommerfall hilft in der Planung eine erste Abschätzung durch den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2. In der Praxis ist jedoch

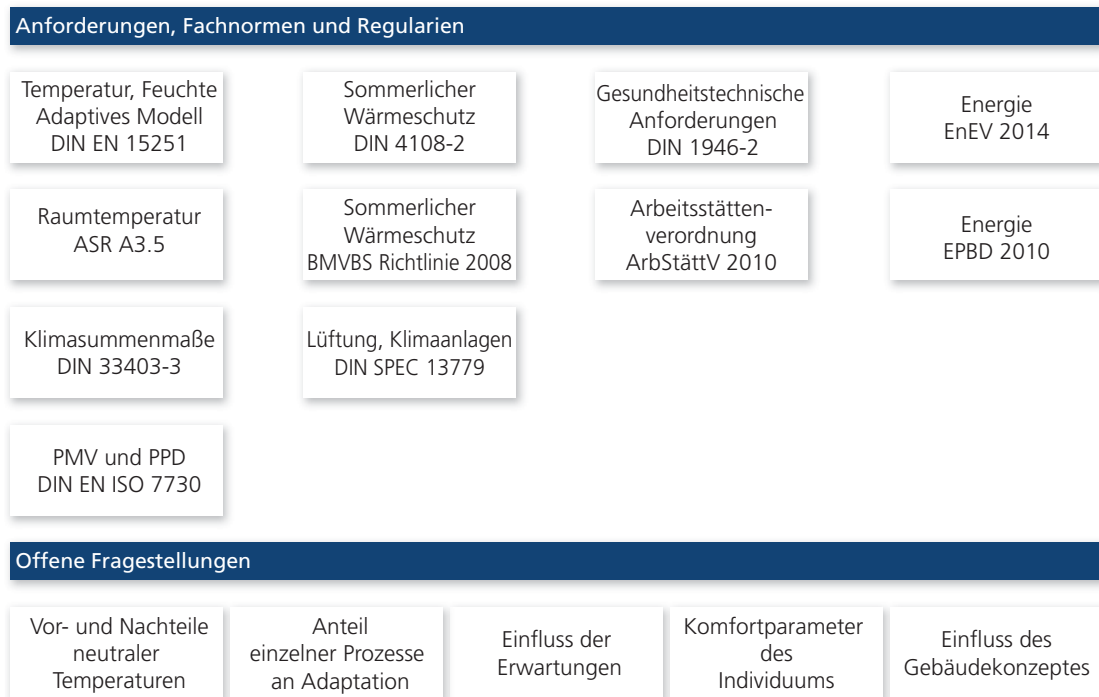


Abb. 2.1-24: Anforderungen, Normen und offene Fragen des thermischen Komforts

festzustellen, dass die Neufassung der Norm die Realität teils schlechter abbildet, als die alte Fassung. Gerade für anspruchsvolle Gebäudekonzepte empfiehlt sich daher die Simulation dynamischer raumklimatischer Zustände zumindest kritischer Räume. Bei der Nutzung von Klimadaten sollte jedoch beachtet werden, dass sich in Zukunft die Wahrscheinlichkeit für Anzahl und Dauer von Hitzeperioden erhöhen kann (Stocker et al., 2013).

Die aktuellen Normen fordern unterschiedliche Modellansätze bei unterschiedlichen Gebäudekonzepten. Hierbei zeigen die in Kapitel 2.1.5 vorgestellten Erfahrungen aus Feldstudien, dass sowohl die adaptiven Ansätze für Konzepte, bei denen der Nutzer Interaktionsmöglichkeiten hat, als auch die Modelle für Gebäude, in denen die Nutzer eine erhöhte Erwartungshaltung haben, in der Praxis gut mit den beobachteten Zufriedenheitswerte übereinstimmen. Bei der Beantwortung von Einzelfragen, wie der Wirkung von Strahlungsasymmetrien, können detaillierte physiologische Modelle, wie in Kapitel 2.1.3 vorgestellt, die Auswirkungen auf den menschlichen Organismus abbilden. Die Interpretation der Ergebnisse sollten jedoch die Umgebungsbedingungen einbeziehen.

Generell sollte, wie in Kapitel 2.1.1 dargestellt, davon Abstand genommen werden, Behaglichkeitsanforderungen als Grenzwerte garantieren zu wollen. Vielmehr sollten Konzepte entwickelt werden, welche robust genug sind, um die Nutzer die thermischen Bedingungen beeinflussen zu lassen. Denn die Nutzerzufriedenheit mit dem Raumkomfort erhöht sich durch die Möglichkeiten, die Raumbedingungen effektiv zu beeinflussen. Hierdurch können Behaglichkeitsanforderungen gemindert, d.h. höhere Raumtemperaturen erlaubt werden, was wiederum den Bedarf an technischer Ausstattung und Energie verringern.

Thermischer Komfort im Gebäudebetrieb

Vor der Anmietung von Büroräumen ist es empfehlenswert, die Wahrscheinlichkeit hoher Temperaturen abzuschätzen und in die Wahl der Immobilie mit einfließen zu lassen. So urteilte bereits das OLG Frankfurt (2007), dass bei Gebäuden mit großen Glasflächen trotz vorhandener Jalousien oder Sonnensegel mit einer großen Hitzeentwicklung zu rechnen sei und das Auftreten von hohen Temperaturen im Sommer somit keinen Mangel darstelle.

Für die Betreiber von Gebäuden, z. B. das Facility Management, stellt sich die Frage, wie unter den gebauten, d. h. größtenteils fixierten, Randbedingungen des jeweiligen Gebäudes die beste Balance zwischen Energie und thermischem Komfort gefunden werden kann. Es sollte den Beteiligten bewusst sein, dass die in den Normen beschriebenen optimalen Bedingungen nur für den durchschnittlichen Nutzer und nicht für jedes Individuum gelten. Daher werden selbst »optimale Bedingungen«, die laut Norm 80–90 % der Nutzer zufriedenstellen sollen, in der Realität deutlich weniger Nutzer zufriedenstellen können, so lange diese keine Möglichkeit haben, sich ihre individuell präferierten Bedingungen zu schaffen. Bei Beschwerden sollte überprüft werden, ob diese aus der Klimatisierung des gesamten Gebäudes oder speziellen Bedingungen des betroffenen Büros (z. B. Eckbüro) herrühren. Durch die Einrichtung bzw. Gewährleistung individueller Kontrollmöglichkeiten – sei es nur durch Abstimmungen zu gelockerten Dresscodes oder die Installation kleiner Tischventilatoren – lassen sich einige, wenn auch nie alle Beschwerden minimieren. Die Etablierung eines Informationsflusses zwischen Betreiber und Nutzer zur Leistungsfähigkeit und zu Grenzen des Gebäudeklimatisierungssystems und durch Informationen, wie der Nutzer das System unterstützen kann, kann die Zufriedenheit der Nutzer ebenfalls erhöhen.

2.1.10 Quellen und weiterführende Literatur

Quellen

- Arens, E., Zhang, H. & Huizenga, C. (2006). Partial- and whole-body thermal sensation and comfort. Part II: Non-uniform environmental conditions. *Journal of Thermal Biology*, 31 (1–2), 60–66.
- ASHRAE Standard 55 – American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) (Ed) (2013). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (Standard 55). Atlanta, USA: ASHRAE.
- Attia, M., Engel, P. & Hildebrandt, G. (1979). Quantification of Thermal Comfort Parameters Using a Behavioural Indicator. *Physiology & Behaviour*, 24, 901–909.
- Bischof, W., Hellwig, R. T. & Brasche, S. (2007). Thermischer Komfort – die extraphysikalischen Aspekte. *Bauphysik*, 29 (3), 208–212.
- BMVBS (2008): Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung: Richtlinie zu baulichen und planerischen Vorgaben für Baumaßnahmen des Bundes zur Gewährleistung der thermischen Behaglichkeit im Sommer. Erlass vom 8.12.2008.
- Bröde, P., Rinkenauer, G., Jaschinski, W. & Schütte, M. (2012). Ein Experiment zur Effizienz geistiger Arbeit unter Zeitdruck und erhöhter Raumtemperatur. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft GfA (Hrsg.), *Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme. Bericht zum 58. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 22. bis 24. Februar 2012, Kassel* (S. 109–113). (Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Jahresdokumentation). Dortmund: GfA-Press, 2012.
- Cabanac, M. (1969). Plaisir ou Deplaisir de la Sensation Thermique et Homoethermie. *Physiology & Behaviour*, 4, 359–364.
- Candido, C. & de Dear, R. (2012). From thermal boredom to thermal pleasure: a brief literature review. *Ambiente Construído*, 12 (1), 81–90.
- de Dear, R. J. (1998). A global database of thermal comfort field experiments. *ASHRAE Transactions*, 104 (1b), 1141–1152.
- de Dear, R. J. (2010). Thermal Comfort In Natural Ventilation – A Neurophysiological Hypothesis. In *Network for Comfort and Energy Use in Buildings NCEUB* (Ed.), *Adapting to change – new thinking on comfort. Proceedings of 6th Windsor Conference, 9th–11th April 2010 Windsor, UK*.
- de Dear, R. & Brager, G. (1998). Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and Buildings*, 27, 83–96.
- de Dear, R., Brager, G. & Cooper, D. (1997). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. In *University of Sydney, Faculty of Architecture, Design & Planning* (Ed.), *Final Report on ASHRAE Research Project 884*.
- Feigenwinter, I. (2013). *Stadtklimastudie Stuttgart. Übersicht über erste Messdaten vom Sommer 2013*. www.stadtklima-stuttgart.de/stadtklima_filestorage/download/UHI/Stadtklimastudie-Stuttgart_Auswertung-2013.pdf (Aufruf vom 03.02.2015)
- Gossauer, E. (2008). *Nutzerzufriedenheit in Bürogebäuden – Eine Feldstudie*. Dissertation, Universität Karlsruhe.
- Hausladen, G., Hellwig, R. T., Nowak, W., Schramek, E.-R. & Grothmann, T. (2004). 26°C – Falsch verstandener Arbeitsschutz? *Bauphysik*, 26 (4), 197–204.
- Havenith, G. (2001). Individualized model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response. *Journal for Applied Physiology*, 90, 1943–1954.
- Hellwig, R. T. (2005). *Thermische Behaglichkeit – Unterschiede zwischen frei und mechanisch belüfteten Gebäuden aus Nutzersicht*. Dissertation, Technische Universität München.

- Hellwig, R. T. (2011). Die Bedeutung des Raumklimas in der Nachhaltigkeitsbewertung. *HLH* 62 (3), 60–65.
- Hellwig, R. T., Bux, K. & Pangert, R. (2012). Zur Neufassung der Arbeitsstättenregel ASR A3.5. Raumtemperatur. *Bauphysik*, 34 (6), 268–174.
- Hellwig, R. T., Nöske, I., Brasche, S., Gebhardt, H., Levchuk, I. & Bischof, W. (2012). Hitzebeanspruchung und Leistungsfähigkeit in Büroräumen bei erhöhten Außentemperaturen – HESO. Abschlussbericht. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.). Dortmund: Selbstverlag.
- Heschong, L. (1979). *Thermal Delight in Architecture*. Cambridge (MA): MIT Press.
- Hori, S. (1995). Adaptation to heat. *Japanese Journal of Physiology*, 45, 921–946.
- Huizenga, C., Zhang, H. & Arens, E. (2001). A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environments. *Building and Environment*, 36 (6), 691–699.
- Kalz D., Hölzenbein, F., Pfafferott, J. & Vogt, G. (2013). Nutzerzufriedenheit mit dem thermischen Komfort in Bürogebäuden mit Umweltenergiekonzepten. *Bauphysik* 35 (6), 377–391.
- Kammergericht Berlin (2012). Mietmangel: Überschreiten einer Innenraumtemperatur von 26 Grad C. *AZ*. 8 U 48/11. Monatsschrift für Deutsches Recht (MDR), 2012, 756–757.
- Lan, L., Wargocki, P., Wyon, D. P. & Lian, Z. (2011). Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses and human performance. *Indoor Air*, 21 (5), 376–390. Article first published online: 18 Apr 2011.
- McCartney, K. J. & Nicol, J. F. (2002). Developing an adaptive control algorithm for Europe. *Energy and Buildings*, 34, 623–635.
- Moosmann, C. (2014). Visueller Komfort und Tageslicht am Büroarbeitsplatz. Eine Felduntersuchung in neun Gebäuden. Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie KIT.
- MUNLV – Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2010). *Handbuch Stadtklima. Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel*. Düsseldorf: Selbstverlag.
www.metropoluhr.de/fileadmin/user_upload/metropoluhr.de/01_PDFs/Regionalverband/Umwelt_Freiraum/Klima/MUNLV_RVR-Handbuch_Stadtklima.pdf
 (Aufruf vom 03.02.2015)
- Nicol, J. F. & Humphreys, M. A. (1973). Thermal comfort as part of a self-regulating system. *Building Research and Information*, 1 (3), 174–179.
- Nicol, F. & McCartney, K. (2000). *Smart controls and thermal comfort project*. Final report. Oxford Brooks University, School of Architecture (Ed.).
- OLG Frankfurt/Main (2007). Beurteilung eines Mangels der Mietsache wegen Aufheizung eines Gebäudes durch Sonneneinstrahlung aufgrund vertraglicher Vereinbarungen und dem baulichen Zustand des Gebäudes. *AZ* 2 U 106/06. RdW – Recht der Wirtschaft, 2007, 483.
- Park, S., Hellwig, R. T., Grün, G. & Holm, A. (2011). Local and overall thermal comfort in an aircraft cabin and their interrelations. *Building and environment*, 46 (5), 1056–1064.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin (Hrsg.) (2014). *Erdwärmennutzung in Berlin. Leitfaden für Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren mit einer Heizleistung bis 30 kW außerhalb von Wasserschutzgebieten*. Berlin: Selbstverlag.
www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/wasser/wasserrecht/pdf/leitfaden-erdwaerme.pdf (Aufruf vom 04.02.2015)
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A. et. al (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Urlaub, S., Hellwig, R. T., Treeck, C. van & Sedlbauer, K. (2010). Möglichkeiten und Grenzen bei der Modellierung von Einflussfaktoren auf die menschliche Leistungsfähigkeit. *Bauphysik*, 32 (6), 373–379.
- van Marken Lichtenbelt W. D., Frijns A. J. H., van Ooijen M. J., Fiala, D., Kerster A. M. & van Steenhoven A. A. (2007). Validation of an individualised model of human thermoregulation for predicting responses to cold air. *International Journal of Biometeorology*, 51, 169–179.
- Voelker, C., Hoffmann, S., Kornadt, O., Arens, E., Zhang, H. & Huizenga, C. (2009). Heat and moisture transfer through clothing. Paper presented at the IBPSA Building Simulation. University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, July 27–30 2009.
<https://escholarship.org/uc/item/8qk6h840>
 (Aufruf 23.02.2015)
- Wagner, A., Gossauer, E., Moosmann, C., Gropp, T. & Leonhart, R. (2007). Thermal comfort and workplace occupant satisfaction – Results of field studies in German low energy office buildings. *Energy and Buildings*, 39 (7), 758–769.
- Yeo, G. F. (1884). *A manual of physiology*. Philadelphia: P. Blakiston, Son & Co.
- Zhang, H. (2003). *Human thermal sensation and comfort in transient and non-uniform thermal environments*. Dissertation, University of California, Berkeley.

Weiterführende Literatur

Hellwig, R. T. (2005). Thermische Behaglichkeit. Unterschiede zwischen frei und mechanisch belüfteten Bürogebäuden aus Nutzersicht. Dissertation, TU München.

Herkel, S., Löhnert, G., Voss, K., Wagner, A. & Wambsganß, M. (2007). Bürogebäude mit Zukunft – Konzepte, Analysen, Erfahrungen. FIZ Karlsruhe (Hrsg). Berlin: Solarpraxis.

Kwok, A. G. & Grondzik, W. T. (2011). The green studio handbook: environmental strategies for schematic design. Abingdon, Oxon, UK: Routledge.

Parsons, K. C. (2002). Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort and Performance. London, UK: Taylor & Francis.

Precht, H., Christophersen, J. & Hensel, H. (1955): Temperatur und Leben. Berlin: Springer.

Schweiker, M., Brasche, S., Hawighorst, M., Bischof, W. & Wagner, A. (2014). Presenting LOBSTER, an innovative climate chamber, and the analysis of the effect of a ceiling fan on the

thermal sensation and performance under summer conditions in an office-like setting. In Network for Comfort and Energy Use in Buildings (NCEUB) (Ed.), Proceedings of 8th Windsor Conference: Counting the Cost of Comfort in a changing world. Cumberland Lodge, Windsor, UK, 10–13 April 2014. (pp 924–937).

Voelker, C. (2012). Entwicklung und messtechnische Validierung der Kopplung von CFD-Simulation mit einem thermophysiologischen Modell zur Bestimmung der thermischen Behaglichkeit. Dissertation, Bauhaus-Universität Weimar. Weimar: Verlag der Bauhaus-Universität.

Wagner, A. & Schakib-Ekbatan, K. (2011). Nutzerzufriedenheit als Maß zur Arbeitsplatzbewertung im Büro. In C. Schittich (Ed.), Arbeitswelten: Raumkonzepte, Mobilität, Kommunikation (S. 54–57). München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation.

Zimmermann, M. (2003). Handbuch der passiven Kühlung: Rationelle Energienutzung in Gebäuden. Stuttgart: Fraunhofer-IRB Verlag.



2.2 Luftqualität in Innenräumen

Andreas Wagner, Runa Tabea Hellwig, Christian Scherer

Menschen in Industrienationen verbringen einen Großteil des Tages in umschlossenen Räumen und damit u. a. auch am Arbeitsplatz. Die Luftqualität in Innenräumen stellt deshalb ein wesentliches Kriterium für Zufriedenheit, Wohlbefinden und Gesundheit von Gebäudenutzern dar. Gemäß der Definition des Rats von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU 1987) sind »Innenräume« Wohnungen oder Arbeitsräume in Gebäuden, in denen nicht mit gefährlichen Stoffen umgegangen wird und die deshalb nicht dem Geltungsbereich der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV 2010) unterliegen, sowie das Innere von Kraftfahrzeugen und öffentlichen Verkehrsmitteln. Für alle diese Innenräume existieren keine der Gefahrstoffverordnung vergleichbaren regulatorischen Vorgaben hinsichtlich einer möglichen Schadstoffbelastung.

Die Luftqualität in Innenräumen wird im Wesentlichen durch folgende Faktoren beeinflusst:

- die Emissionseigenschaften der eingebauten Bauprodukte und der Raumausstattung,
- die Eignung der Bauprodukte und der Raumausstattung für die vorgesehene Nutzung,
- die Nutzung und das Nutzerverhalten,
- die Qualität der zugeführten Außenluft,
- das Lüftungskonzept und dessen Umsetzung sowie
- den Betrieb und den Wartungszustand der Lüftungsanlage.

Flüchtige organische Stoffe (VOC), Geruchsstoffe und das Vorhandensein von Schimmelpilzsporen, Feinstaub oder ultrafeinen Partikeln sind wichtige Parameter, anhand derer die Luftqualität unter hygienischen Gesichtspunkten beurteilt werden kann.

2.2.1 Luftinhaltsstoffe und ihre Quellen

Luftinhaltsstoffe

Trockene Luft in entlegenen Kontinentalgebieten enthält ca. 78 % Stickstoff, 20 % Sauerstoff, 0,9 % Argon, 0,038–0,040 % Kohlenstoffdioxid und diverse weitere Spurengase wie Neon, Helium, Methan, Krypton, Wasserstoff und Ozon (Graedel 1994, Tans u. Keeling 2015). In Abhängigkeit von der geografischen Lage und der Witterung enthält sie noch stark variierende Anteile an Wasserdampf. Sonstige Stoffe, die in der Luft besiedelter Gebiete nachgewiesen werden können, sind überwiegend anthropogenen Ursprungs, also auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen.

Mit dem Begriff »Luftinhaltsstoffe« werden im Folgenden alle Stoffe bezeichnet, die anthropogenen Ursprungs sind bzw. deren Konzentration durch menschliche Aktivitäten soweit erhöht wurde, dass sie die Hintergrundwerte in der Außenluft deutlich überschreiten. Luftinhaltsstoffe können hinsichtlich ihrer chemischen Natur in organische und anorganische Stoffe unterschieden werden. Wesentlich für die Beurteilung der Innenraumhygiene sind überwiegend flüchtige organische Stoffe. Sie können in vier Kategorien eingeteilt werden (siehe Tab. 2.2-1).

Geruchlich wahrnehmbare flüchtige organische Stoffe werden auch als **OVOC** (odorous volatile organic compounds) bezeichnet. Flüchtige organische Stoffe, die Stoffwechselprodukte mikrobieller Aktivitäten sind, werden **MVOC** (microbial volatile organic compounds) genannt. Letztere sind häufig gleichzeitig geruchlich auffällig.

Das Bundesamt für Strahlenschutz nennt das Ziel, Radonkonzentrationen über 100 Bq/m³ in häufig genutzten Räumen zu vermeiden. In bestehenden Gebäuden sollten, unter Berücksichtigung des nötigen Aufwands, höhere Konzentrationen mit geeigneten Maßnahmen reduziert werden. In neu zu errichtenden Gebäuden sollen in den Aufenthaltsräumen keine Radonkonzentrationen größer als 100 Bq/m³ im Jahresmittel auftreten (BfS 2012).

Ein weiterer Luftinhaltsstoff, der in Innenräumen auftreten kann, ist das radioaktive Edelgas Radon, das als natürlicher Stoff im Boden und Wasser sowie in Baumaterialien vorkommt. Es kann in die Atmosphäre entweichen und damit auch in den Innenraum diffundieren. Maßgeblich für die von Radon ausgehende Strahlenbelastung ist die Inhalation kurzlebiger Radon-Zerfallsprodukte. Diese binden an Oberflächen oder **Aerosol**-Partikeln in der Luft (z. B. Staubpartikel), werden dadurch eingeatmet, in der Lunge deponiert und führen zu einer Strahlenbelastung des umliegenden Gewebes.

Quellen von Luftinhaltsstoffen

Hierfür kommen in Innenräumen Emissionen aus Baumaterialien und Einrichtungsgegenständen ebenso in Betracht wie Emissionen, die durch die Raumnutzung (z. B. Erzeugung ultrafeiner Partikel durch die Nutzung von Laserdruckern) oder die Raumpflege (durch die Verwendung von Raumpflege- und Desinfektionsmitteln) entstehen. Mikrobieller Aufwuchs (z. B. Schimmelbefall) kann sowohl geruchsaktive organische Stoffe eintragen

Tab. 2.2-1: Einteilung der flüchtigen organischen Stoffe nach ihrem Siedeverhalten

Beschreibung	Bezeichnung	Siedebereich	Vertreter bzw. Quellen
leicht flüchtige (gasförmige) organische Stoffe	VVOC very volatile organic compounds	< 0 °C bis 50 °C ... 100 °C	niedrig siedende Lösemittel, Schaumbildner, Formaldehyd
flüchtige organische Stoffe	VOC volatile organic compounds	50 °C ... 100 °C bis 240 °C ... 260 °C	Restmonomere, Lösemittel, Additive
schwer flüchtige organische Stoffe	SVOC semi volatile organic compounds	240 °C ... 260 °C bis 380 °C ... 400 °C	Weichmacher, Flammschutzmittel, Biozide
an Partikel gebundene organische Stoffe oder organische Partikel	POM particulate organic matter	> 380 °C	Holzschutzmittel, PCP, PCB

Das Umweltbundesamt hat ein Verfahren zur Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen entwickelt (Ad-hoc Arbeitsgruppe 1996, Ad-hoc Arbeitsgruppe 2007, Ad-hoc Arbeitsgruppe 2012) und veröffentlicht seit 1996 Richtwerte für Einzelstoffe und Stoffgruppen. Der Vorsorge-richtwert (Richtwert I) ist bei diesem Konzept die Konzentration, bei deren Einhaltung oder Unterschreitung im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung selbst bei lebenslanger Exposition nicht mit einer gesundheitlichen Beeinträchtigung zu rechnen ist.

Richtwert II ist aus epidemiologischen und toxikologischen Daten abgeleitet und gibt die Konzentration an, bei deren Erreichen oder Überschreitung unverzüglich gehandelt werden muss.

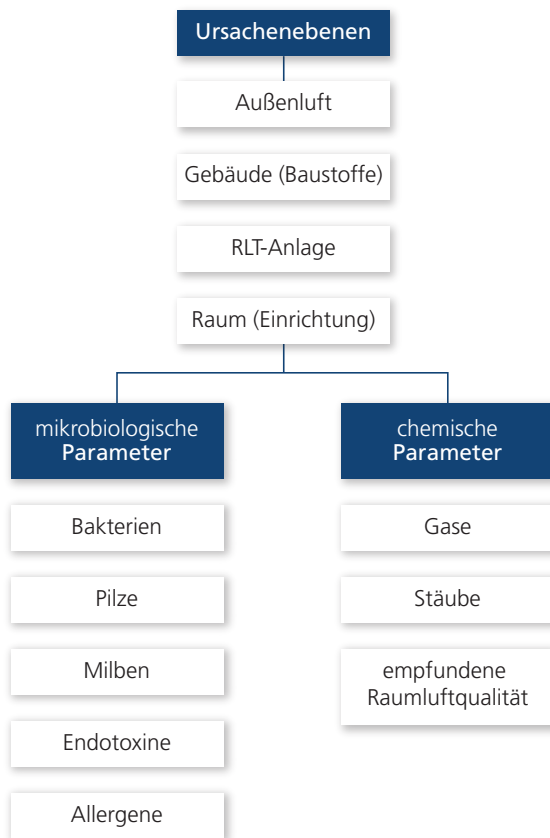


Abb. 2.2-1: Quellen von Luftinhaltsstoffen, nach Bischof et al. (2003)

als auch die Innenraumluft mit Schimmelpilzsporen belasten. Ursachen hierfür können niedrige Bauteiloberflächentemperaturen aufgrund von Wärmebrücken oder

ungewollte Wasseranreicherungen in Komponenten oder Kanälen raumlufttechnischer Anlagen sein. In ungünstigen Lagen (verkehrsreiche Straßenzüge, Abluftfahne von Kompostier-, Biogas- oder Industrieanlagen) ist auch ein Eintrag unerwünschter Stoffe mit der Außenluft möglich. Bei sanierten Gebäuden können Schadstoffe, die während der Vornutzung in die Gebäudesubstanz eingedrungen sind und die während des Sanierungsprozesses nicht erkannt und beseitigt wurden, zu einer Verunreinigung der Innenraumluft beitragen. Ähnliches gilt für Bauten, die auf belasteten Grundstücken errichtet wurden. Ein Stoffeintrag aus dem Untergrund in neu errichtete Gebäude kann entweder mit der Außenluft oder – bei mangelnder Bauwerksabdichtung – aufgrund von Diffusion durch Bauteile mit Bodenkontakt erfolgen. Abbildung 2.2-1 fasst die möglichen Quellen für Luftinhaltsstoffe und deren Gattungen zusammen.

2.2.2 Luftinhaltsstoffe gesundheitlich und sensorisch bewerten

Gesundheitliche Bewertung

Luftinhaltsstoffe können gesundheitliche Beeinträchtigungen verursachen. Betroffene weisen häufig unspezifische Symptome auf, wie trockene oder auch tränende Augen, Schleimhautreizungen, juckende Haut oder Kopfschmerzen. Dieses Phänomen wird unter dem Begriff **sick building syndrome** (SBS) zusammengefasst. In der ProKlimA-Studie konnte ein signifikanter bis tendenzieller Zusammenhang zwischen den VOC-Belastungen der Innenraumluft an Büroarbeitsplätzen und den auftretenden SBS-Beschwerden gefunden werden (Bischof et al., 2003). Bei der **building related illness** (BRI) handelt es sich ebenfalls um eher unspezifische Krankheitssymptome, die aber auf mikrobielle, allergene oder chemische Belastungen der Innenraumluft zurückzuführen sind.

Anhand toxikologischer Daten und unter Einbeziehung von Sicherheitsfaktoren für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen (z. B. Kleinkinder oder Kranke) wird versucht, Konzentrationsbereiche als Richt- und Referenzwerte zu definieren. Werden diese eingehalten, ist auch bei lebenslanger Exposition gegenüber dem betrachteten Einzelstoff kein negativer Einfluss auf die Gesundheit zu erwarten.

Im Allgemeinen enthält die Luft in Innenräumen nicht nur einen definierten Inhaltsstoff, sondern ein Gemisch

Tab. 2.2-2: Beurteilung flüchtiger organischer Verbindungen in der Innenraumluftqualität mithilfe der TVOC-Werte (Ad-hoc Arbeitsgruppe 2007)

Stufe	TVOC-Konzentration [mg TVOC / m ³]	hygienische Bewertung
1	≤ 0,3	hygienisch unbedenklich
2	< 0,3–1	hygienisch noch unbedenklich, sofern keine Richtwertüberschreitungen für Einzelstoffe bzw. Stoffgruppen vorliegen
3	> 1–3	hygienisch auffällig
4	> 3–10	hygienisch bedenklich
5	> 10	hygienisch inakzeptabel

unterschiedlichster Stoffe, die z. T. analytisch-chemisch nicht eindeutig charakterisierbar sind und über deren hygienische oder humantoxikologische Eigenschaften daher auch keine Erkenntnisse vorliegen. Zudem wirken Luftinhaltsstoffe nicht nur additiv, d. h. die Wirkungen von Stoffgemischen auf den Menschen sind nicht ausschließlich durch die Summation der Wirkungen der Einzelstoffe abschätzbar. Diesem Sachverhalt wird Rechnung getragen, indem mit dem **TVOC**-Wert (total volatile organic compounds) ein Summenwert (Seifert 1999) eingeführt wurde, der alle flüchtigen organischen Stoffe umfasst. Für abgestufte TVOC-Konzentrationsbereiche schlägt das Umweltbundesamt (Ad-hoc Arbeitsgruppe 2007) hygienische Bewertungen und Maßnahmen zur Verbesserung der Innenraumlufthygiene vor (siehe Tab. 2.2-2).

Häufig liegen keine oder nur unzureichende toxikologische Daten vor, die sich als Basis für eine Richt- bzw. Referenzwertsetzung nicht eignen. In (AGÖF 2013) wird daher ein statistischer Ansatz zur Ableitung sog. Orientierungswerte herangezogen. Ausgehend von den in realen Innenräumen ermittelten Stoffkonzentrationen werden Normal-, Auffälligkeits- und Orientierungswerte abgeleitet. Der Normalwert entspricht bei diesem Konzept dem 50-Perzentilwert, d. h. 50 % der ermittelten Konzentrationen liegen unterhalb dieses Werts; der Auffälligkeitswert entspricht dem 90-Perzentilwert.

Sensorische Bewertung

Geruchlich wahrnehmbare Luftinhaltsstoffe können gesundheitlich unbedenklich sein; trotzdem werden Gerüche von Gebäudenutzern oft als unangenehm oder inakzeptabel eingestuft und lösen unter Umständen

Online-Messgeräte für den Vor-Ort-Einsatz erfassen bei Vorliegen eines komplexen Stoffgemisches keine Einzelstoff- sondern nur Summenkonzentrationen. Diese werden ebenfalls häufig als TVOC-Wert bezeichnet, obwohl sie das gesamte Stoffspektrum von den **VVOC** bis hin zu den **SVOC** in die Summenbildung einbeziehen. Als Bezugsgröße wird bei Online-Messgeräten meist das Kalibriergas angegeben, das für die Gerätekalibrierung verwendet wird. Die Konzentrationsangabe für einen so ermittelten TVOC-Wert wird dann in der Form **XX ppb** Stoffäquivalent oder **YY µg/m³** Stoffäquivalent (z. B. in Toluoläquivalenten) angegeben.

auch Ängste vor gesundheitlicher Beeinträchtigung aus. Laut einer Untersuchung (AGÖF 2013) sind geruchliche Auffälligkeiten der Auslöser für 26 % der Beauftragungen von Raumluftuntersuchungen. Bei der sensorischen Bewertung von Gerüchen in Innenräumen wird nach E DIN ISO 16000-30:2012-10 zwischen den wesentlichen Bewertungsgrößen Intensität, Hedonik und Akzeptanz unterschieden. Für die Geruchsintensität erwähnt die Norm zwei Bewertungsmöglichkeiten: Sie kann zum einen von einer Prüfergruppe (trainiert oder untrainiert) mittels einer siebenstufigen Intensitätsskala bewertet werden, deren Kategorien auf von »Geruch nicht wahrnehmbar« bis »Geruch extrem stark« reichen. Die Bewertung der Geruchsintensität gegen einen Aceton-Vergleichsmaßstab erfolgt dagegen ausschließlich durch eine trainierte Prüfergruppe (mindestens 8 Personen). Die Geruchsschwelle von Aceton (20 mg/m³) entspricht dem Wert der Geruchsintensität von 0 pi (pi: perceived intensity). Die Intensitätsskala ist linear aufgebaut; eine Zunahme der Aceton-Konzentration um 20 µg/m³ entspricht einer Zunahme der Geruchsintensität von 1 pi. Über die **hedonische** Bewertung erfasst die Prüfergruppe auf einer neunstufigen Skala, ob ein Geruch als angenehm oder unangenehm empfunden wird. Dabei soll die Prüfergruppe die Einstufung mit der Vorstellung vornehmen, mehrere Stunden täglich dem zu bewertenden Geruch ausgesetzt zu sein. Mit der Maßgabe sich vorzustellen, diesem Geruch sogar im täglichen Lebensumfeld ausgesetzt zu sein, wird schließlich die Akzeptanz des Geruches abgefragt. Zusätzlich kann die Duftnote eines Geruches durch typische Deskriptoren beschrieben werden. Weitere Angaben zur Art der Prüfergruppe und

Zur gesundheitlich-hygienischen Bewertung von Geruchsstoffen in der Innenraumluft hat das Umweltbundesamt (Ad-hoc Arbeitsgruppe 2014) einen Diskussionsentwurf veröffentlicht. Analog zu den Richtwerten wurden vorläufige Geruchsleitwerte (vGLW) I und II definiert. Stoffkonzentrationen oberhalb des vGLW I werden als »geruchlich auffällig« eingestuft. Es wird davon ausgegangen, dass diese in der Innenraumluft geruchlich wahrnehmbar sind und als belästigend empfunden werden können. Stoffkonzentrationen oberhalb dem vGLW II werden als »geruchlich erheblich belästigend« klassifiziert.

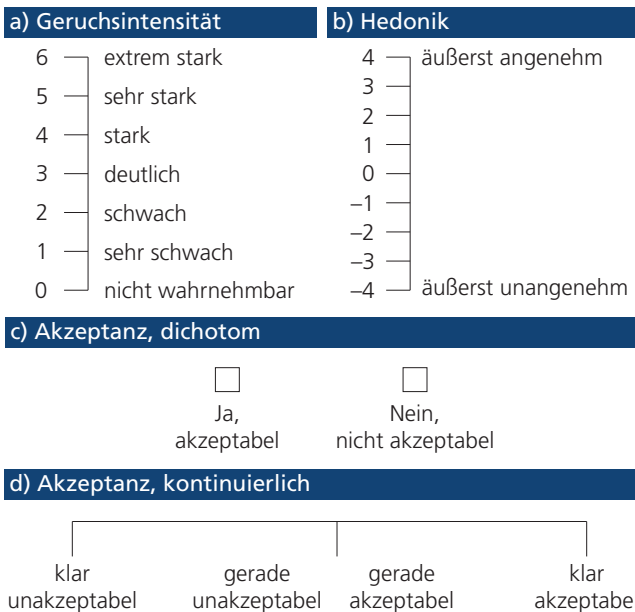


Abb. 2.2-2: Skalen zur sensorischen Bewertung nach E DIN ISO 16000-30:2012-10

zum Prüfverfahren können E DIN ISO 16000-30:2012-10 und VDI 4302-1:2012-05 und VDI 4302-2:2012-05 entnommen werden. Abbildung 2.2-2 zeigt die Bewertungsskalen der sensorischen Prüfung.

Einflüsse auf die Wahrnehmung von Gerüchen

Halten sich Personen längere Zeit unter dem Einfluss von Gerüchen auf, setzt eine **Adaptation** ein. Das Ausmaß der Adaptation hängt dabei von der Art der Gerüche ab. Versuche von Gunnarsen und Fanger (1992) zeigen, dass

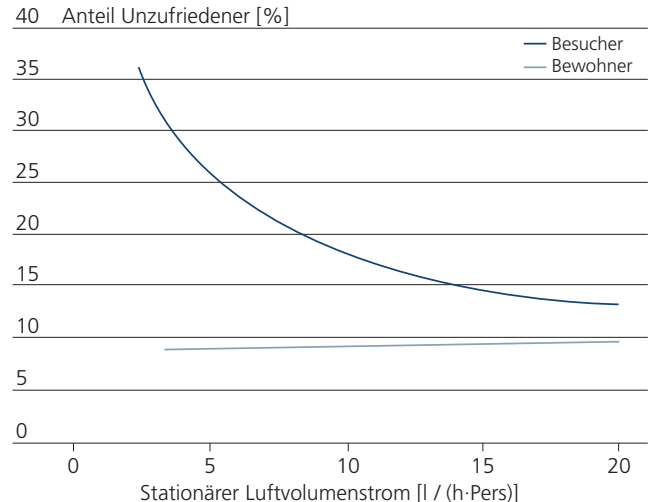


Abb. 2.2-3: Anteil Unzufriedener (Männer und Frauen) in Räumen, in denen die bestimmende Geruchsquelle der Mensch ist, nach Berg-Munch, Clausen und Fanger (1986).

Personen an **Bioeffluenten**, die von Mensch ausgehen, adaptieren. Dabei findet die Adaptation auch bei einer Konzentration von Bioeffluenten, die einer CO₂-Konzentration von 4 000 ppm entspricht, noch vollständig statt. Durch den Adaptationseffekt hängt der Anteil Unzufriedener in einer Personengruppe, die sich bereits lange in einem Raum aufhält, nicht von der Höhe des personenbezogenen Luftvolumenstroms ab. Dagegen steigt der Anteil Unzufriedener in einer Personengruppe, die den Raum gerade erst betreten hat, mit sinkendem personenbezogenem Luftvolumenstrom (Berg-Munch, Clausen & Fanger, 1986). Abbildung 2.2-3 zeigt diesen Zusammenhang.

Das Riechvermögen verschlechtert sich bei niedriger Temperatur und bei geringer Luftfeuchte (Schmidt, Lang, 2007). Daraus lässt sich erklären, dass in einer Reihe von Studien bei erhöhter Temperatur und Luftfeuchte, also erhöhter **Enthalpie** der Luft, von Probanden eine größere Geruchsintensität bzw. eine geringere Akzeptanz der Luftqualität berichtet wird (siehe Abb. 2.2-4). Fanger (2000) beschreibt in seiner Übersichtsarbeit die Zunahme von »sick building«-Symptomen bei steigender Enthalpie der Luft. Andere Studien berichten, dass die Luft bei niedriger Enthalpie als frischer und weniger stickig empfunden wird (Fang et al. 1998). Alltägliche Erfahrungen können diese Untersuchungen bestätigen: So wird, wer einmal Außenluft in den Tropen eingeatmet hat, berichten, dass diese Luft mit deutlich mehr

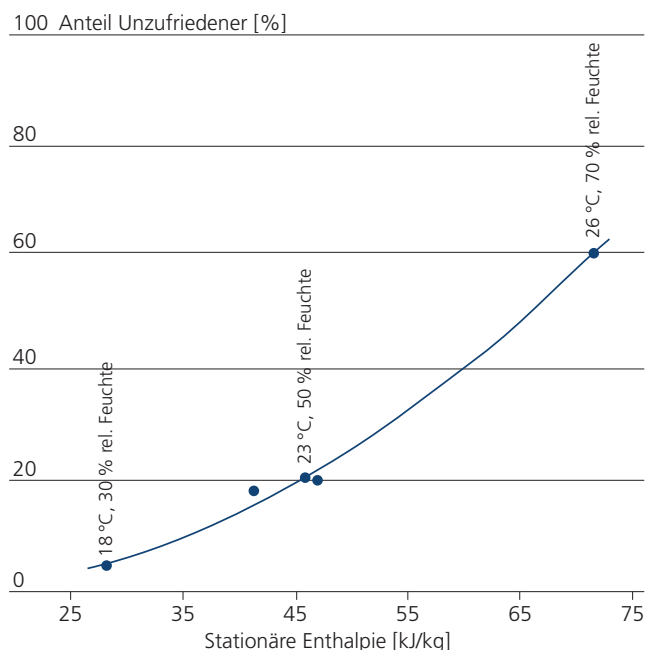


Abb. 2.2-4: Anteil Unzufriedener in Abhängigkeit von der Enthalpie der Luft, nach Fanger (2000).

und intensiveren Gerüchen behaftet ist als die Außenluft in gemäßigttem Klima.

In Gebäuden treten immer wieder Beschwerden über zu trockene Luft auf, obwohl die relative Luftfeuchtigkeit im Bereich von 30 bis 70 % liegt (z.B. Bischof et al., 2003). Versuche zur Feuchteabgabe an der Haut und am Auge (Fitzner, 2000; Fitzner et al. 2001) zeigen, dass die Feuchteabgabe aufgrund eines höheren Stoffübergangskoeffizienten in **Mischluftströmung** größer ist als bei **Quellluftströmung**. Die durch die Strömungsverhältnisse verursachte erhöhte Feuchteabgabe könnte ein erster Erklärungsansatz für die auftretenden Beschwerden sein.

2.2.3 Materialemissionen und Bioeffluenten

Materialemissionen bestimmen und bewerten

VOC-Emissionen aus Bauprodukten werden derzeit in einem 28-tägigen Prüfkammerexperiment nach DIN EN ISO 16000-9 bestimmt. Diese Norm wird in absehbarer Zeit durch die DIN CEN/TS 16516 abgelöst werden. Grundlage des Prüfkammerversuchs ist der sogenannte

Modellraum. In diesem fiktiven Raum wird das zu untersuchende Bauprodukt als entsprechend seiner vorgesehenen Verwendung eingebaut angenommen. Aus der Einbausituation des Bauprodukts, den Abmessungen des Modellraums und eines angenommenen Luftwechsels lassen sich Größen errechnen, die auf die Emissionsprüfkammern (Kammervolumina zwischen 20 Litern und mehreren Kubikmetern) übertragen werden. Luftproben werden aus der Prüfkammerabluft am 3. und am 28. Tag nach Einbringen des Prüfstücks entnommen. Dieses Prinzip der Emissionsmessung wird auch in anderen europäischen Ländern angewendet und als Grundlage für regulatorische Maßnahmen (z.B. Frankreich 2011, Belgien 2014) herangezogen.

Der Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) verabschiedete 2004 das erste Schema zur gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC und SVOC) aus Bauprodukten (AgBB 2012). Dieses Schema wird alle zwei Jahre aktualisiert. Es sieht ein 28-tägiges Prüfkammerexperiment vor, wie oben beschrieben. Flüchtige organische Verbindungen aus der Prüfkammerabluft werden nach DIN ISO 16000-6 und DIN ISO 16000-3 auf geeigneten Adsorbentien gesammelt und bestimmt. Die ermittelten Stoffkonzentrationen werden mit den Vorgaben des AgBB-Schemas (siehe Tab. 2.2-3) abgeglichen. Wird ein Kriterium aus Tabelle 2.2-3 nicht eingehalten, ist ein Bauprodukt für die Verwendung in Innenräumen nicht geeignet.

Ein Verfahren zur geruchlichen Bewertung von Bauprodukten nach DIN ISO 16000-28 im Rahmen des AgBB-Schemas befindet sich derzeit in der Pilotphase. Konkrete regulatorische Anforderungen an Bauprodukte hinsichtlich der sensorischen Bewertung existieren derzeit noch nicht.

Tab. 2.2-3: Kriterien des AgBB-Schemas für VOC-Emissionen aus Bauprodukten in den Innenraum (AgBB 2012)

	Kriteriengrenzen [mg/m³]	
	nach 3 Tagen	nach 28 Tagen
TVOC _{C6-C16}	≤ 10	≤ 1,0
Σ Kanzerogene _{EU Kat.1A, 1B}	≤ 0,01	≤ 0,001
Σ VOC _{o. NIK}	–	≤ 0,1
Σ SVOC	–	≤ 0,1
R	–	≤ 1,0

R: Rechengröße zur Bewertung der Kammerluftkonzentrationen von Stoffen, für die eine niedrigste interessierende Konzentration existiert

Das AgBB-Schema hat im Rahmen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung von Bodenbelägen (DIN EN 14041), Sportböden (DIN EN 14904), dekorativen Wandbelägen (DIN EN 15102) und reaktiven Brandschutzbeschichtungen in Aufenthaltsräumen Eingang in die »Grundsätze zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten in Innenräumen« des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt 2010, DIBt 2010a) gefunden. Diverse Vergabegrundlagen für den **Blauen Engel** verwenden ebenfalls das AgBB-Schema zur Emissionsbewertung. Auch Anbieter produktgruppenspezifischer Zertifizierungs- und Labellingsysteme (z. B. die EMICODE®-Zertifizierung der Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe, Klebstoffe und Bauprodukte e. V. (GEV), die Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichböden e. V. (GUT) und der Internationale Verein für zukunftsfähiges Bauen und Wohnen natureplus e. V.) nutzen das Vorgehen. Jedoch können bei ihnen die Kriterien von denen des AgBB-Schemas abweichen. I. A. sind bei den Labelling- und Zertifizierungssystemen die Kriterien für die maximal zulässigen Werte strenger.



Abb. 2.2-5: Aroma-Chemikerin identifiziert geruchsaktive Stoffe mittels Gaschromatografie-Massenspektrometrie und olfaktometrischer Detektion.

Materialien geruchlich optimieren

Die sensorische Bewertung von Materialgerüchen ist ein Hilfsmittel bei der Auswahl geruchsarmer oder geruchsneutraler Produkte. Für die geruchliche Optimierung von Materialien müssen aber die Stoffe identifiziert werden, die den Materialgeruch maßgeblich verursachen. Die Mehrzahl der geruchsaktiven Stoffe löst bereits bei Konzentrationen einen Geruchseindruck aus, die in der Routineanalytik für die Emissionsuntersuchung nicht erfasst werden. Durch die Kombination von instrumenteller Analytik mit der Geruchswahrnehmung geschulter Sensoriker (siehe Abb. 2.2-5) ist es jedoch möglich, die für einen Geruchseindruck wesentlichen Stoffe zu identifizieren (Burdack-Freitag 2009, 2011). Sind die für einen Geruch maßgeblichen Stoffe bekannt, ist es vielfach möglich, ihre Konzentrationen durch Änderung der Rohstoffauswahl oder Optimierung des Produktionsprozesses soweit zu verringern, dass der Geruchseindruck eines Produktes verbessert wird.

Bioeffluenten in der Raumluft

In Räumen mit hoher Belegungsdichte stellen Personen die wesentliche Quelle von Luftinhaltsstoffen dar. Über die Atmung und mit seinen Ausdünstungen gibt der Mensch Geruchsstoffe (**Bioeffluenten**) an den Raum ab. Die Geruchsintensität korreliert mit dem Anstieg der Kohlendioxidkonzentration im Raum, da Kohlendioxid ebenfalls ein Abbauprodukt der menschlichen Atmung darstellt. Daher dient Kohlendioxid bereits seit Mitte des 19. Jahrhunderts als Leitparameter zur Beurteilung der Lüftungssituation (Ad-hoc Arbeitsgruppe, 2008; Pettenkofer, 1858). Die Ad-hoc Arbeitsgruppe des Umweltbundesamtes (2008) kommentiert dazu: »Obwohl die Pettenkofer-Zahl [Anm. d. Autoren: 1 000 ppm] vielfach verwendet wird, ist die Bedeutung dieses Indikators aus heutiger Sicht nicht ausreichend klar, da die heutige Situation in Innenräumen nicht mehr den damaligen Gegebenheiten von Wohnungen und Hygienegewohnheiten der Menschen entspricht.«

An Arbeitsplätzen, die den technischen Regeln für Gefahrstoffe (BMAS, 2006) unterliegen, wie z. B. in der industriellen Fertigung, gilt ein Arbeitsplatzgrenzwert der Kohlendioxidkonzentration von 5 000 ppm. Arbeitsplatzgrenzwerte sind Schichtmittelwerte bei in der Regel täglich achtstündiger Exposition an fünf Tagen pro Woche während der Lebensarbeitszeit. Sie geben an, bei

welcher Konzentration eines Stoffes akute oder chronische schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit im Allgemeinen nicht zu erwarten sind. Die in einigen Studien (Literaturlauswertung in Umweltbundesamt 2008) zusammengetragenen Wirkungen unzureichender Raumluftqualität werden deshalb nicht der Wirkung des Kohlendioxids, sondern der Gesamtbelastung der Innenraumluft zugeschrieben.

Die Ad-hoc Arbeitsgruppe des Umweltbundesamtes (2008) leitet aus diesem Grunde für Kohlendioxid in der Innenraumluft nicht – wie sonst üblich – toxikologisch begründete Richtwerte, sondern gesundheitlich-hygienisch begründete **Leitwerte** ab, um die aktuelle Luftqualität in einem Innenraum zu beurteilen. Die Leitwerte für Kohlendioxid in der Raumluft sind wissenschaftlich begründete, praxisorientierte Handlungsempfehlungen. Tabelle 2.2-4 zeigt die auf der Grundlage der Ad-hoc-Gruppe entwickelte Beurteilung der Raumluftqualität in Räumen, in denen die Personen die bestimmende Ursache für Luftinhaltsstoffe sind. Sie wurde im Wesentlichen in die Arbeitsstättenregel Lüftung ASR A3.6 (2012) übernommen. Die Kohlendioxid-Konzentration wird in Volumenprozent (Vol%) oder in parts per million (ppm) angegeben. 1 000 ppm entsprechen dabei 0,1 Vol%.

CO₂-Gehalt der Außenluft als Vergleichsgröße

DIN EN 13779:2007-09 teilt die Innenraumluftqualität IDA in vier Luftqualitätsklassen ein. Wenn Personen die bestimmende Quelle von Emissionen im Innenraum sind, kann die Einteilung der Luftqualitätsklassen in Abhängigkeit von der Kohlendioxidkonzentration als Differenz zwischen der Innen- und Außenluftkonzentration erfolgen (Tab. 2.2.5).

Die Außenluftkonzentration von Kohlendioxid schwankt durch unterschiedliche **Photosynthese**-Aktivität der Pflanzen mit den Jahreszeiten und auch über den Tag. Außerdem steigt die Konzentration von Kohlendioxid in der Atmosphäre kontinuierlich an. Im Monatsmittel des Mai 2013 wurden an der Messstation des Mauna Loa auf Hawaii fast 400 ppm gemessen, wobei die Schwankung dort innerhalb eines Jahres in der Größenordnung von nur 10 ppm liegt (Tans u. Keeling 2015). In Stadtgebieten in Deutschland können inzwischen Konzentrationen bis 600 ppm bei Schwankungen innerhalb eines Jahres bis zu 200 ppm gemessen werden (TZWL, 2013). Daher sind in Tabelle 2.2-5 die sich bei Außenluftkonzentrationen zwischen 400 und 600 ppm ergebenden absoluten Innenraumkonzentrationen beispielhaft aufgeführt.

Tab. 2.2-4: Beurteilung der Raumluftqualität über die CO₂-Konzentration und Handlungsempfehlungen (ASR A3.6, 2012).

CO ₂ -Konzentration [ppm]	Empfehlungen
< 1 000	keine weiteren Maßnahmen (sofern durch die Raumnutzung kein Konzentrationsanstieg über 1 000 ppm zu erwarten ist.)
1 000 – 2 000	Lüftungsverhalten überprüfen und verbessern Lüftungsplan erstellen (Verantwortlichen festlegen) Lüftungsmaßnahme (Außenluftvolumenstrom oder Luftwechsel erhöhen)
> 2 000	weitergehende Maßnahmen erforderlich (z. B. verstärkte Lüftung, Reduzierung der Personanzahl im Raum)

Werte gelten für eine CO₂-Außenluftkonzentration von 400 ppm

Tab. 2.2-5: Kategorien der Innenraumluftqualität IDA nach DIN EN 13779:2007-09 und die bei vorwiegend Personenlasten zugeordneten CO₂-Konzentrationen über der Außenluft.

Kategorie	CO ₂ -Konzentration über der Außenluft in [ppm]	Absolute CO ₂ -Konzentration im Innenraum in ppm bei außen		
		400 ppm	500 ppm	600 ppm
IDA 1	≤ 400	≤ 800	≤ 900	≤ 1 000
IDA 2	400 – 600	800 – 1 000	900 – 1 100	1 000 – 1 200
IDA 3	600 – 1 000	1 000 – 1 400	1 100 – 1 500	1 200 – 1 600
IDA 4	> 1 000	> 1 400	> 1 500	> 1 600

2.2.4 Erforderliche Lüftungsöffnungen und Luftmengen

Aus den bisherigen Ausführungen lässt sich zusammenfassend ableiten, dass es Luftinhaltsstoffe gibt,

- die gesundheitliche Auswirkungen haben können, aber geruchlos sind und für die es zwar Einzelbewertungsmaßstäbe gibt, jedoch unzureichende Erkenntnisse über eine kombinierte Wirkung. Diese Luftinhaltsstoffe sind Emissionen aus Ausbaumaterialien und Ausstattungsgegenständen.
- die Gerüche erzeugen, an die Personen in nur geringem Umfang adaptieren, wie z. B. Geruchsstoffe aus Ausbaumaterialien und Ausstattungsgegenständen.
- die Gerüche erzeugen, an die in starkem Maße adaptiert wird: **Bioeffluente**, für die Kohlendioxid als Bewertungsmaßstab verwendet werden kann.

Um eine hohe Luftqualität zu erzielen, muss dem Innenraum in ausreichendem Maße Frischluft zugeführt und gleichzeitig »verbrauchte« Raumluft abgeführt werden, um die Konzentration der Luftinhaltsstoffe zu begrenzen. Die Festlegung dieser Luftvolumenströme kann auch den **auditiven** Komfort (Strömungsgeräusche), die thermische Behaglichkeit (Zugluftrate) und die von den Nutzern empfundene Möglichkeit, Einfluss auf das Raumklima nehmen zu können, beeinflussen. Nicht zuletzt wirkt sich der Luftvolumenstrom maßgeblich auf den Energieverbrauch eines Bürogebäudes aus.

Die Raumlufttechnik unterscheidet zwischen maschinellen und freien Lüftungssystemen. Eine Mischform stellen hybride Lüftungssysteme dar – die Nutzung maschineller und freier Lüftung in Abhängigkeit von der Tages- und Jahreszeit unter Einsatz einer Regelung.

Normen und Richtlinien

In den letzten Jahren sind eine Reihe von Normen und Richtlinien entstanden, die Aussagen zu den erforderlichen Luftvolumenströmen treffen. Dabei muss grundsätzlich zwischen Festlegungen zur Auslegung von Lüftungssystemen (ASR A3.6, 2012; DIN EN 15251:2012-12) und Festlegungen zur Berechnung des Energiebedarfs eines Gebäudes (DIN V 18599-10:2011-12) unterschieden werden. Die Arbeitsstättenregel Lüftung (ASR A3.6, 2012) legt fest, dass in Räumen, in denen Personen die bestimmende Quelle von Luftinhaltsstoffen sind, Kohlendioxid als Maßstab für den erforderlichen Luftwechsel herangezogen wird. Die dort formulierten Anforderungen (vgl. Tab. 2.2-4) gelten sowohl für maschinelle, freie als auch hybride Lüftungssysteme. Anforderungen der Arbeitsstättenregeln stellen Mindestanforderungen für Arbeitsplätze dar. Bei der Auslegung und Planung freier bzw. hybrider Lüftungssysteme ist im Gegensatz zur Auslegung und Planung von maschinellen Lüftungssystemen Fachwissen erforderlich, das derzeit nicht in den üblichen Normen und Regelwerken zu finden ist. Hinweise zur Planung von freien Lüftungssystemen finden sich in der Arbeits-

Tab. 2.2-6: Mindestöffnungsfläche für kontinuierliche Lüftung und Stoßlüftung (ASR A3.6, 2012)

System	Maximal zulässige Raumtiefe bezogen auf die lichte Raumhöhe h in [m]	Öffnungsfläche zur Sicherung des Mindestluftwechsels für kontinuierliche Lüftung in [m² / anwesende Personen]	Öffnungsfläche zur Sicherung des Mindestluftwechsels für Stoßlüftung in [m² / 10 m² Grundfläche]
I	Raumtiefe = $2,5 \cdot h$	0,35	1,05
einseitige Lüftung	bei $h > 4$ m : maximale Raumtiefe = 10 m (angenommene Luftgeschwindigkeit im Querschnitt = 0,08 m/s)		
II	Raumtiefe = $5,0 \cdot h$	0,20	0,60
Querlüftung	bei $h > 4$ m : maximale Raumtiefe = 20 m (angenommene Luftgeschwindigkeit im Querschnitt = 0,14 m/s)		

Die angegebenen Flächen sind die Summe aus Zuluft- und Abluftflächen

stättenregel Lüftung (ASR A3.6, 2012). Dort werden erforderliche Öffnungsflächen für einseitige Lüftung und Querlüftung bei kontinuierlichem Lüftungsbetrieb und für **Stoßlüftung** angegeben. Tabelle 2.2-6 ist aus der ASR A3.6 übernommen. Mit den dort angegebenen Öffnungsflächen ist es – unter Akzeptanz von witterungsbedingten Schwankungen und Beachtung raumgeometrischer Vorgaben – möglich, die Anforderungen aus Tabelle 2.2-4, Zeile 1 einzuhalten. Wichtig bei der Planung freier Lüftungssysteme ist die Möglichkeit, die Lüftungsquerschnitte den Witterungsverhältnissen entsprechend zu verringern oder zu vergrößern. Tabelle 2.2-7 gibt die nach ASR A3.6 erforderlichen Lüftungsintervalle und -zeiten für Stoßlüftung an.

Konkrete Luftvolumenströme für die Auslegung von Lüftungssystemen werden in DIN EN 15251:2012-12 genannt. Dort werden vier Kategorien des Innenraumklimas festgelegt, die berücksichtigen, welches Maß an Erwartungen der Nutzer hat. Da sich aus diesen Kategorien zur Auslegung der Luftvolumenströme nicht mehr nur ein Wert ergibt, ist in jedem Fall die eigenverantwortliche Entscheidung des Planers bzw. die Rücksprache mit dem Bauherrn gefragt (vgl. Kap. 1.2 und 1.3). Der informative nationale Anhang von DIN SPEC 13779:2009-12 empfiehlt in Deutschland für neue und zu renovierende Gebäude die Auslegung entsprechend Kategorie II.

DIN EN 15251:2012-12 unterscheidet zwischen der Auslegung

- ausschließlich nach der Personenlast in einem Raum,
- nach der zu erwartenden Emission aus Ausbaustoffen und Möblierung sowie
- nach der Summe aus beiden Werten.

Die Berechnung der Luftvolumenströme nach der Personenlast kann für den stationären Zustand unter Verwendung einer angestrebten maximalen CO₂-Konzentration, beispielsweise aus Tabelle 2.2-5, erfolgen. Die Berechnungsansätze für den stationären und auch für den **instationären** Zustand finden sich in DIN EN 13779:2007-09.

DIN EN 15251:2012-12 legt für Personen die in Tabelle 2.2-8 gezeigten Luftvolumenströme fest. Des Weiteren definiert sie flächenbezogene Luftvolumenströme, die zur Abfuhr der Gebäudeemissionslast dienen sollen. Der Summenvolumenstrom wird nach dem Berech-

Tab. 2.2-7: Lüftungsintervalle und -zeiten für Stoßlüftung (ASR A3.6, 2012)

	Büro	Besprechungsraum
Lüftungsintervall	alle 60 min. (je nach Belegung)	alle 20 min.
Lüftungsdauer		
Winter		3 min.
Übergangszeit		5 min.
Sommer		10 min.

nungsansatz derselben Norm ermittelt. Die sich aus der Berechnung ergebenden Luftvolumenströme für das Beispiel eines Einzel- bzw. Gruppenbüros mit 10 m² je Person sind in Tabelle 2.2-8 dargestellt. Dabei wird bezüglich der Emissionslast aus den Ausbaumaterialien zwischen nicht schadstoffarm, schadstoffarm und sehr schadstoffarm unterschieden. Die Norm beschreibt dabei nicht, wie die Emissionslast und die spätere Eigenschaft des Gebäudes bereits in der Planung eingeschätzt und später dann entsprechend umgesetzt werden kann (vgl. dazu auch Kap. 2.2.5).

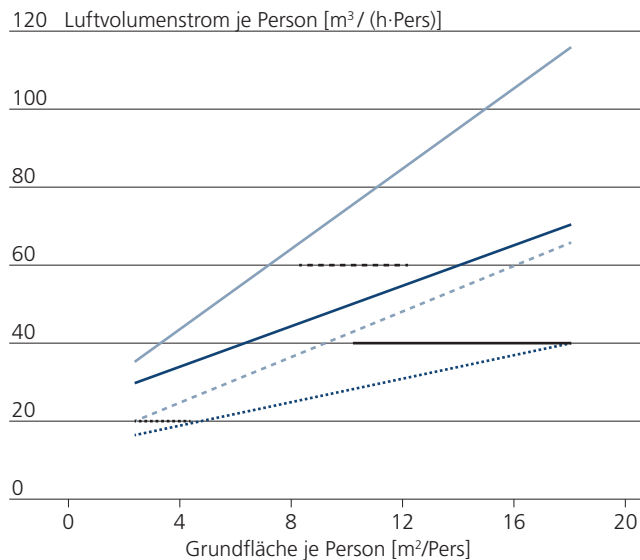
Abbildung 2.2-6 zeigt für Kategorie II und III jeweils für schadstoffarme bzw. nicht schadstoffarme Gebäude die aus DIN EN 15251:2012-12 resultierenden Luftvolumenströme bei vorgegebener Grundfläche je Person gemäß DIN V 18599-10:2011-12. Das Diagramm zeigt zum Vergleich die Luftvolumenströme, die derzeit für Energieberechnungen für Einzel-, Gruppen- und Großraumbüros sowie Besprechungsräume für den Zeitraum des Betriebes der Lüftungsanlage verwendet werden sollen. Zur Auslegung sind die Werte nach DIN EN 15251:2012-12 zu vereinbaren, für Nachweise nach Energieeinsparverordnung die Werte nach DIN V 18599-10:2011-12 zu verwenden. Man erkennt deutliche Unterschiede in den Auslegungswerten, was zu Energieverbrauchswerten für die Luftförderung führen kann, die erheblich höher liegen als die Planungswerte.

Lüftungseffektivität

In Abhängigkeit davon, wo und wie Zuluft in Räume eingebracht wird, stellen sich verschiedene Raumströmungszustände ein, die eine unterschiedliche Luftqualität in Abhängigkeit von der Position im Raum bewirken. Die Lüftungseffektivität beschreibt dabei das Verhältnis der Differenz der Konzentration der Luftinhaltsstoffe

Tab. 2.2-8: Luftvolumenströme nach DIN EN 15251:2012-12 für Personen gemäß Kategorien II und III am Beispiel eines Einzel- oder Gruppenbüros mit 10 m² je Person.

Kategorie	Grundfläche je Person m ² / Person	Personenlast Luftvolumenstrom m ³ / (h · Person)	Gebäudelast Luftvolumenstrom m ³ / (h · Person)	Personen- und Gebäudelast Luftvolumenstrom m ³ / (h · Person)
II	10	25	25	50
III	10	14	14	28



Grundflächen je Person entsprechend den Vorgaben nach DIN V 18599-10:2011-12

- Kategorie II, schadstoffarmes Gebäude DIN EN 15251
- Kategorie II, nicht schadstoffarmes Gebäude DIN EN 15251
- Kategorie III, schadstoffarmes Gebäude DIN EN 15251
- - - - - Kategorie III, nicht schadstoffarmes Gebäude DIN EN 15251
- Einzelbüro, Gruppenbüro DIN V 18599
- · · · · Großraumbüro DIN V 18599
- Besprechung, Konferenz, Seminar DIN V 18599

Abb. 2.2-6: Vergleich der personenbezogenen Luftvolumenströme nach DIN EN 15251:2012-12 mit den Luftvolumenströmen nach den Nutzungsprofilen aus DIN V 18599-10:2011-12.

von Abluft und Zuluft zur Differenz aus Raumposition und Zuluft. Ein Wert von 1 heißt, dass die Luftqualität in der spezifischen Raumposition gleich der Abluftqualität ist. Werte größer 1 bedeuten, dass die Luftqualität in der spezifischen Raumposition besser ist als in der Abluft. Mischluftsysteme erreichen Werte um 1. Bei Quellluftsystemen können im Aufenthaltsbereich Werte bis zu 2 erreicht werden (VDI 3804:2009-03), ein solches System

kann Luftinhaltsstoffe also effektiver abführen (Mundt, 2004). Die oben referenzierten Luftvolumenströme beziehen sich auf eine Lüftungseffektivität von 1, gehen also von einer kompletten Durchmischung von eingebrachter Zuluft und Raumluft aus. Aus diesem Grund wird derzeit diskutiert, die Lüftungseffektivität eines Lüftungssystems bei der Auslegung der Volumenströme miteinzubeziehen.

2.2.5 Qualität der Innenraumluft im Planungsprozess und im Gebäudebetrieb

Im Planungsprozess sollten die Grundsätze zur Beseitigung von Lasten in der Raumluft, die in ASR A3.6 (2012) in eine Rangfolge gesetzt werden, auch sinngemäß umgesetzt werden:

Lasten vermeiden – Lasten minimieren – Quellen kapseln – Last quellennah abführen.

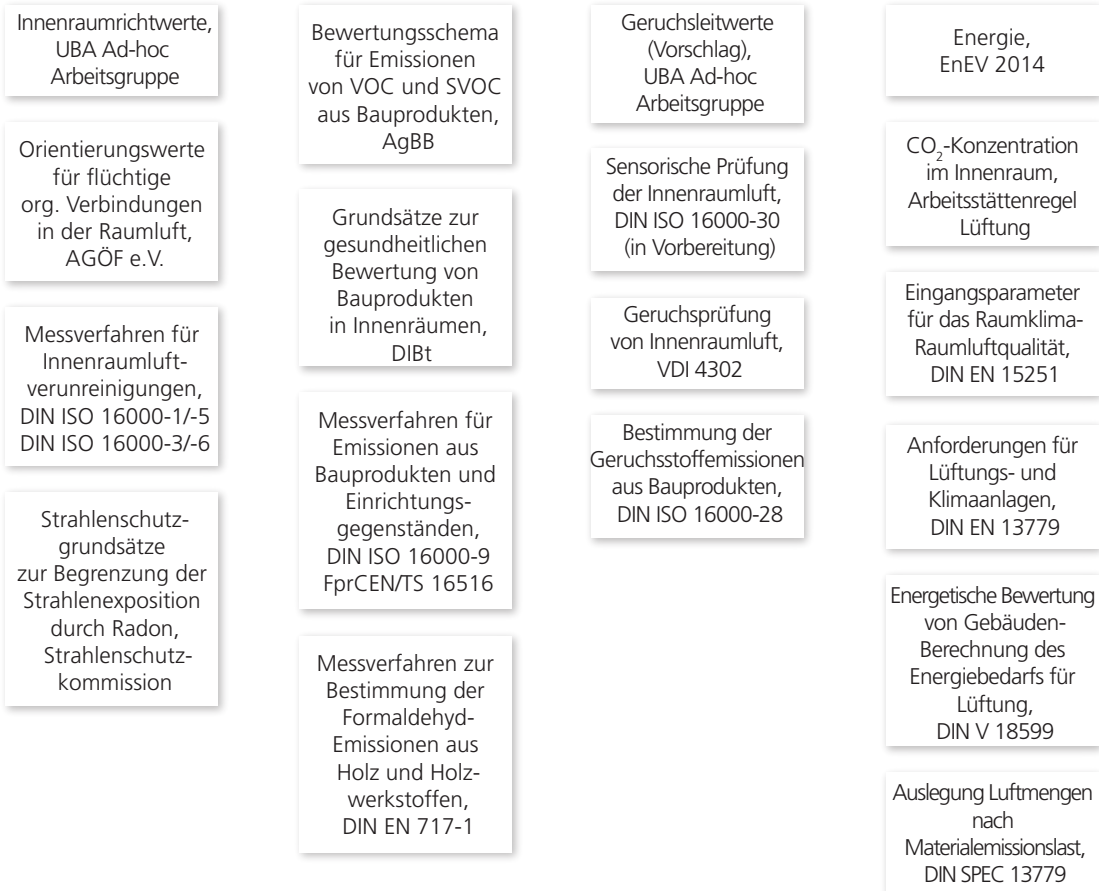
Abbildung 2.2-7 fasst die wesentlichen Normen und Regelwerke für Luftqualität nochmals zusammen.

Auch hinsichtlich der Umsetzbarkeit von Lüftungskonzepten und -systemen, die ebenso maßgeblich die später im Gebäude herrschende Luftqualität bestimmen, werden bereits während der Planung eines Gebäudes wichtige Voraussetzungen geschaffen. Neben der Nutzung bestimmen z. B. Größe, Höhe, Lage und Anordnung der Raumeinheiten, welches Lüftungssystem überhaupt eingesetzt werden kann.

Materialemissionen begrenzen

Im Rahmen des Planungsprozesses gibt es bisher keine Planungswerkzeuge, die eine Vorhersage der sich einstellenden TVOC-Konzentration ermöglichen. Noch schwieriger ist es, im Rahmen der Planung die geruchliche Qualität eines Raumes vorab zu bestimmen. Die wichtigste Maßnahme zur Sicherstellung der Innenraumluftqualität ist die Vermeidung oder Minimierung

Anforderungen, Fachnormen und Regularien



Offene Themenfelder

Einfache, schnelle
und kostengünstige
Vor-Ort-Messverfahren

Einheitliche Bewertung /
Labeling / Zertifizierung
von Bauprodukten
und Einrichtungs-
gegenständen

Einheitliche/
abgestimmte Anforde-
rungen an Luftmengen
aus hygienischer
und energetischer Sicht

Abb. 2.2-7: Übersicht zu wesentlichen Normen und Regelwerken im Bereich Luftqualität

von Emissionen in den Innenraum. Während die Auswirkungen der menschlichen Aktivitäten auf die Innenraumluftqualität in der Planungs- und Bauphase nur bedingt absehbar sind, können die Emissionen aus Bauprodukten und Ausstattungsgegenständen durch den Einbau emissionsarmer Bauprodukte und die Auswahl entsprechender Ausstattungsmaterialien begrenzt werden. Das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) verlangt deshalb im Rahmen der allgemeinen bauaufsichtlichen

Zulassung für die in Kapitel 2.2.3 genannten Beläge und reaktiven Beschichtungen eine Emissionsuntersuchung nach dem AgBB-Schema. Eine Geruchsbewertung der Prüfkammerabluft nach DIN ISO 16000-28, die gerade im Rahmen einer Pilotphase erprobt wird, ist nicht vorgesehen. Im Rahmen seines Internetauftritts stellt das DIBt ein Zulassungsverzeichnis mit Suchfunktion (DIBt 2014) bereit. Der Download der einzelnen Zulassungsbescheide ist kostenpflichtig (vgl. Abb. 2.2-8).

Das Bundesinstitut für Bau, Stadt- und Raumplanung (BBSR) betreibt die Baustoffdatenbank WECOBIS (www.wecobis.de). Sie enthält für unterschiedliche Bauprodukte (u. a. Bodenbeläge, Dämmstoffe, Oberflächenbehandlung) Hinweise auf Prüfzeichen und Labels (z. B. **Blauer Engel**, EU-Umweltzeichen, Österreichisches Umweltzeichen, GEV-EMICODE®, natureplus) zur Gesundheits- und Umweltrelevanz, stellt Planungs- und Ausschreibungshilfen sowie Literaturhinweise zur Verfügung. Label- und Zertifizierungsanbieter halten häufig Datenbanken vor, in denen zertifizierte oder ausgezeichnete Produkte (Bodenbeläge, Kleber, Beschichtungsmittel, Holzwerkstoffe, Möbel, etc.) gelistet sind.

Suche nach Zulassungen

Sie haben nach system Gesucht. Es wurden 283 Treffer gefunden.

► Z-15.2-286

Wandbauart mit Schalungssteinen System Knobel

► Z-15.2-308

Brandverhalten des nicht lasttragenden verlorenen Schalungssystems "MAGU WS" bestehend aus EPS-Schalungselementen mit Polypropylen-Abstandhaltern (PP-Abstandhalter) nach ETA-10/0143

► Z-15.2-43

Wandbauart ercolith-Wandbausystem

► Z-15.6-235

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Schneidenlagerung zur Einleitung von Vertikal- und Horizontalkräften in Stahlspondbohlen System ArcelorMittal nach DIN 1045-1:2008-08

► Z-15.6-34

Schneidenlagerung zur Einleitung von Vertikal- und Horizontalkräften in Stahlspondbohlen System HOESCH nach DIN 1045-1:2001-07

► Z-150.1-1

Kombiniertes Bodenbelagssystem "Marmoleum, Artoleum, Walton und Linoflex im System mit 611 Eurostar Lino"

► Z-154.30-1

Sportbodensystem nach DIN EN 14904 "Duolastic 60 ME FL"

► Z-154.30-10

Sportbodensystem nach DIN EN 14904 "SBS Variosport HL"

► Z-154.30-11

Sportbodensystem nach DIN EN 14904 "SBS Variosport HP"

► Z-154.30-12

Sportbodensysteme nach DIN EN 14904 "DYNAlast"

1 21 22 23 24 25 26 27 28 29

Zurück

Abb. 2.2-8: Auszug aus der DIBt-Datenbank für Systeme mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (DIBt, 2014).

Neben der Produktauswahl ist der fachgerechte Einbau für eine hygienisch einwandfreie Innenraumluft ausschlaggebend. Insbesondere bei Bodenbelägen sind ungeeignete Materialkombinationen (z. B. Kleber und Bodenbelag) oder die Verarbeitung auf einem noch nicht belagreifen Untergrund häufig genannte Ursachen für

Beschwerden über Fehlgerüche oder **VOC**-Belastungen in Innenräumen. Wurde eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) für ein System erteilt (vgl. Abb. 2.2-8), so wurden die Emissionseigenschaften nur für diese Materialkombination geprüft.

Emissionen mikrobiologischen Ursprungs können in erster Linie dadurch vermieden werden, dass nur solche Bauprodukte eingebaut werden, die unter den zu erwartenden Einsatzbedingungen (insbesondere Temperatur und Feuchte) eine hinreichende Resistenz gegen mikrobiellen Aufwuchs besitzen. Außerdem sind aus bauphysikalischer Sicht Vorsorgemaßnahmen zu treffen (z. B. Auswahl geeigneter Konstruktionen), um kritische Randbedingungen zu vermeiden.

Für die Auslegung der Luftmengen nach Materialemissionslast führt DIN SPEC 13779:2009-12 Auslegungen und Empfehlungen an:

- Es soll der Summenwert aus Personenlast und Emissionslast für die Auslegung der Luftvolumenströme verwendet werden.
- Es sollen zugelassene, marktübliche Materialien, die das gesundheitsbezogene Kriterium »schadstoffarm« nach AgBB-Schema erfüllen, verwendet werden.
- Gebäude, in denen eine oder mehrere messbare Größen oberhalb der geltenden Grenz-, Richt- oder **Leitwerte** liegen oder deren sensorische Akzeptanzrate kleiner als 70 % ist, gelten als »nicht schadstoffarm«.
- Die Kategorie »sehr schadstoffarm« soll nur mit schriftlicher Zustimmung des Bauherren verwendet werden.

So stellt die Verwendung zertifizierter und ausgezeichneter Produkte sowie in der Folge die konsequente Überwachung einer fachgerechten Ausführung der vorgesehenen Materialkombination die wichtigste Aufgabe in der Planung und Ausführung dar.

Bei Neubauten in Regionen mit hohen Radon-Konzentrationen in der Bodenluft kann es zu erhöhten Radon-Konzentrationen im Gebäude kommen. Die wichtigsten baulichen Maßnahmen zur Vermeidung hoher Radon-Konzentrationen im Gebäude sind die Ausbildung einer durchgehenden Bodenplatte (ggf. mit radondichter Folie unter der Bodenplatte), die sorgfältige Abdichtung aller unterirdisch verlaufenden Leitungsdurchführungen und die mechanische Luftabführung im Unterbau oder unter dem Gebäude.

Emittierende Bauprodukte als Sanierungsfall

Bei Sanierungsmaßnahmen liegt eine im Vergleich zum Neubau komplexere Situation vor. Sind die als Primärquellen identifizierten Bauprodukte (z. B. **PCB**-haltige Dichtmassen, **PCP**-haltiges Holz oder **PAK**-haltige Parkettkleber) fachgerecht ausgebaut oder gegen die Raumluft abgeschottet worden, so können vielfach weiterhin auffällige Schadstoffkonzentrationen im Raum gefunden werden. Die Ursache dafür sind sogenannte Sekundärquellen, also Bauprodukte, die aufgrund ihrer Oberflächeneigenschaften oder ihrer inneren Struktur die aus den Primärquellen freigesetzten Schadstoffe aufgenommen haben und diese nun freisetzen. In den Sanierungsleitfäden der öffentlichen Hand (z. B. ARGEBAU 1994) werden abhängig von Schadstoff und Sekundärquelle die Entfernung, ihre Abschottung gegen die Raumluft oder eine gründliche Reinigung empfohlen. Insbesondere bei ehemaligen Produktionsgebäuden können Schadstoffe (z. B. halogenierte Kohlenwasserstoffe bei chemischen Reinigungen oder bei metallverarbeitenden Betrieben) in die Gebäudesubstanz eingedrungen sein, die dann selbst Jahre nach erfolgter Sanierung noch ein hohes Emissionspotenzial aufweisen.

Als Sanierungsmaßnahmen bei einer Radonbelastung kommen häufigeres oder intensiveres Lüften, Abdichtung von Radon-Eintrittspfaden (z. B. Fugen, Risse und schlecht abgedichtete Rohr- oder Kabeldurchführungen) und ggf. der Auftrag von radonhemmenden Beschichtungen in Betracht (SSK 1994). Sind eingebaute Materialien die Radonquelle, so ist der Ausbau die Maßnahme der Wahl.

Freie und maschinelle Lüftungssysteme optimieren

Bei freien Lüftungssystemen wird unterschieden zwischen einseitiger Lüftung, z. B. durch Öffnen von Fenstern oder Lüftungsklappen in einer Fassade, und Querlüftung bzw. Durchströmung, wie z. B. bei Atrien oder bei **Nachtlüftungskonzepten** für ganze Gebäude. Untersuchungen zur automatisch unterstützten Fensterlüftung in Schulen zeigen, dass es nicht nur auf die Lüftungsquerschnitte und deren Verstellbarkeit ankommt: Sehr deutlich konnte gezeigt werden, dass bei einseitiger Fensterlüftung erst eine Trennung von Zu- und Abluftöffnungen sowie deren Positionierung in der Fassade eine größtmögliche Unabhängigkeit von wechselnden

Winddruckverhältnissen erlaubt (Steiger, Wellisch, Hellwig, 2010). Damit wird die Voraussetzung für den Einsatz einer Regelung der Öffnungsquerschnitte geschaffen. Als besonders geeignet für die Anwendung einer automatisch unterstützten Fensterlüftung in Klassenzimmern haben sich Schwingflügel erwiesen. Bei in nur einer Reihe angeordneten Kippflügeln dagegen hängt der Luftwechsel sehr stark von den Schwankungen der Windgeschwindigkeit ab und sie sind daher nicht zur Automatisierung geeignet. Der Einsatz einer **Fuzzy-Regelung** hat sich für ein stabiles Regelverhalten des Öffnungsquerschnittes und so des Luftvolumenstroms bei wechselnden Lasten bewährt (Steiger, Hellwig, 2011).

Maschinelle Lüftungssysteme kommen dort zum Einsatz, wo freie Lüftung nicht möglich ist – etwa bei Raumkonstellationen wie z. B. Großraumbüros, Sitzungsräumen, tiefen oder fensterlosen Räumen. Neben der Sicherstellung eines kontinuierlichen Luftaustausches kann maschinelle Lüftung die Lüftungswärmeverluste durch Wärmerückgewinnung verringern. Bei geringen Kühllasten und geringer Schallimmissionsbelastung in der Umgebung können RLT-Anlagen auch nur saisonal betrieben und in der verbleibenden Zeit des Jahres freie Lüftungssysteme verwendet werden. Das kann zu hybriden Lüftungssystemen führen, die im Gegensatz zu herkömmlichen Systemen eine Regelung besitzen, die zwischen den verschiedenen Betriebsweisen schalten kann, um den Energieverbrauch zu minimieren oder den Innenraumkomfort aufrechtzuerhalten (nach Heiselberg, 2002).

Mit dem Bauherrn sollte so früh wie möglich eine konkrete Nutzung der Räume festgelegt werden. Dann kann die Auslegung der Luftvolumenströme nach der angenommenen Anzahl der Personen im Raum erfolgen. Diese Luftvolumenströme sollten zusätzlich mit dem Bauherrn vereinbart werden. Einschränkungen des Aufenthaltsbereiches nach DIN EN 13779:2007-09, die mit der Einbringung der Zuluft in den Raum im Zusammenhang hängen, sollten unbedingt kommuniziert werden. Ändert sich die vorgesehene Nutzung während des Planungsprozesses oder bei Gebäudeumnutzungen, ist zu überprüfen, ob die Luftvolumenströme für neu entstandene Raumeinheiten anzupassen sind und ob die geplante Möblierung nicht durch das vorgesehene Lüftungskonzept eingeschränkt wird.

Bedarfslüftung

Das Betreiben von Lüftungseinrichtungen ausschließlich bei Lüftungsbedarf kann Energie einsparen. Der Begriff Bedarfslüftung umfasst sowohl gesteuerte als auch geregelte Systeme. Bei gesteuerten Systemen wird der Außenluftvolumenstrom manuell, nach Präsenz oder nach Zeitprogramm erhöht bzw. verringert. Bei geregelten Systemen erfolgt die Bedarfsführung anhand einer Führungsgröße, die den Bedarf im Raum ermittelt und dann den Luftvolumenstrom anpasst. Als Führungsgröße kommen im Allgemeinen die CO₂-Konzentration, die relative Luftfeuchte oder die Konzentration an flüchtigen organischen Verbindungen in Betracht. Weitere Informationen zur Bedarfslüftung finden sich in Fachverband Gebäude-Klima 2014, VDMA 24772 und VDMA 24773. Für Räume, die überwiegend von Personen genutzt werden, eignen sich grundsätzlich CO₂-Sensoren. Zur Bestimmung der Konzentration haben sich am Markt Systeme durchgesetzt, die mit der **nichtdispersiven Infrarotspektroskopie** arbeiten. Dabei unterscheidet man Bautypen, die eine oder zwei Infrarotquellen nutzen. Die Art der Ausführung bestimmt die Kosten, aber auch die Zuverlässigkeit hinsichtlich der Messgenauigkeit und der Langzeitstabilität. Für alle Systeme gilt, dass stets die absolute CO₂-Konzentration messtechnisch erfasst wird. Dies ist einfacher zu erreichen als noch zusätzlich die Außenluftkonzentration zu erfassen und die Differenz über der Außenluftkonzentration als Maßstab heranzuziehen.

Zusammengenommen können sich eine jahreszeitlich erhöhte CO₂-Konzentration in der Außenluft und ein Messfehler im Toleranzbereich zu einer Messfehlerhöhe von einer ganzen Luftqualitätsklasse nach DIN EN 13779:2007-09 addieren. Dies sollte bei der Auswertung und Interpretation neben der Tatsache, dass CO₂ allenfalls ein Indikator für die Luftqualität ist, stets berücksichtigt werden.

Bedarfsgeführte maschinelle Lüftungssysteme benötigen aufeinander abgestimmte Komponenten. Durch die Volumenstromregelung verändert sich die Charakteristik, mit der Luft in den Raum eingebracht wird. Luftdurchlässe sind daher für einen bestimmten Luftvolumenstrombereich zugelassen. Wird dieser unterschritten, so können z. B. Zuglufterscheinungen oder eine unzureichende Belüftung des Raumes eine Folge sein.

Anlagen hygienisch einwandfrei betreiben

Um raumlufthygiene Anlagentechnische Anlagen nicht selbst zur Quellen von Luftverunreinigungen zu machen, sind sie regelmäßig gemäß VDI 6022 einer hygienischen Inspektion zu unterziehen. Die Richtlinie definiert hygienerelevante Anforderungen an Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung raumlufthygiene Anlagentechnischer Anlagen und legt auch fest, welcher Personenkreis Hygiene-Inspektionen durchführen darf. Dabei reicht es nicht aus, hinsichtlich der Hygiene geeignete Materialien und Produkte zu verwenden. Erst eine geeignete Planung und Installation gemäß den Anforderungen sowie die Durchführung einer Erst-Hygiene-Inspektion und von Wiederholungs-Inspektionen kann den dauerhaften hygienischen Betrieb sicherstellen. Bei der Erst-Inspektion werden die konkret zu überprüfenden Punkte für die Wiederholungs-Inspektionen aufgestellt. Bei Anlagen mit Luftbefeuchtung ist die Wiederholungsinspektion alle 2 Jahre und bei Anlagen ohne Luftbefeuchtung alle 3 Jahre durchzuführen.

2.2.6 Quellen und weiterführende Literatur

Quellen

Ad-hoc Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte: Umweltbundesamt. Kommission Innenraumlufthygiene; Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) (Hrsg.) (1996). Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, 39, 422–425.

Ad-hoc Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte: Umweltbundesamt. Kommission Innenraumlufthygiene; Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) (Hrsg.) (2007). Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, 50 (7), 990–1005.

Ad-hoc Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte: Umweltbundesamt. Kommission Innenraumlufthygiene; Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) (Hrsg.) (2008). Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, 51, 1358–1369.

Ad-hoc Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte: Umweltbundesamt. Kommission Innenraumlufthygiene; Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) (Hrsg.)

(2012). Richtwerte für die Innenraumluft: erste Fortschreibung des Basisschemas. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, 55 (2), 279–290.

Ad-hoc Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte: Umweltbundesamt. Kommission Innenraumlufthygiene; Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) (Hrsg.) (2014). Gesundheitlich-hygienische Beurteilung von Geruchsstoffen in der Innenraumluft mithilfe von Geruchsleitwerten. In: Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, 57 (1), 148–153.

AgBB, Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (2012). Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC und SVOC) aus Bauprodukten (Stand Juni 2012). www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/agbb_bewertungsschema_2012.pdf (Aufruf 05.02.2015)

AGÖF, Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V. (2013). AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft. Fassung 28.11.2013. agoef.de/agoef/oewerte/orientierungswerte.html (Aufruf 04.02.2015)

ARGEBAU, Arbeitsgemeinschaft der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister der Länder (1994). Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCB-Richtlinie) – Fassung September 1994. Gemeinsames Amtsblatt GABl. v. 09.03.1995, 221.

ASR, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Ausschuss für Arbeitsstätten (Hrsg.) (2012). Technische Regeln für Arbeitsstätten. Lüftung. ASR A3.6. Ausgabe Januar 2012. Geändert und ergänzt GMBL 2013, 359.

Belgien, Service Public Federal Sante Publique, securite de la Chaine Alimentaire et Environnement (2014). Arrêté royal établissant les niveaux seuils pour les émissions dans l'environnement intérieur de produits de construction pour certains usages prévus. 8. MAI 2014 – Königlicher Erlass zur Festlegung der Schwellenwerte für Innenraumemissionen aus Bauprodukten für bestimmte Verwendungszwecke. C-2014/00899. Belgisch Staatsblad – Moniteur Belge, 15.12.2014, 101235-101242. www.eco-institut.de/fileadmin/contents/Pressemeldungen/BelgischeVOC/15_1.pdf (Aufruf 04.02.2015)

Berg-Munch, B., Clausen, G. & Fanger, P. O. (1986). Ventilation requirements for the control of body odour in spaces occupied by women. Environment International, 12, 195–199.

BfS, Bundesamt für Strahlenschutz (Hrsg.) (2012). Strahlenthemen – Radon in Häusern.

www.bfs.de/de/bfs/publikationen/broschueren/ionisierende_strahlung/radon/stth_radon.pdf (Aufruf 09.02.2015).

Bischof, W., Bullinger-Naber, M., Kruppe, B., Müller, B. H. & Schwab, R. (Hrsg.) (2003). Expositionen und gesundheitliche Beeinträchtigungen in Bürogebäuden. Ergebnisse des ProKlimA-Projektes. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

BMAS, Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2006). Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 900: Arbeitsplatzgrenzwerte. Ausgabe: Januar 2006. BArBl, 2006 (1), 41–55. Zuletzt geändert und ergänzt GMBL, (2014), 1312–1313, berichtigt: GMBL (2014), 1545.

Burdack-Freitag, A., Mayer, F. & Breuer, K. (2009). Identification of Odor-Active Organic Sulfur Compounds in Gypsum Products. Clean, 37 (7), 459–465.

Burdack-Freitag, A., Mayer, F. & Breuer, K. (2011). Chemische Analytik von organischen Geruchsstoffen und sensorische Evaluation von Fehlgerüchen in technischen Materialien und Bauprodukten. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 71 (10), 433–439.

DIBt, Deutsches Institut für Bautechnik (2010). Grundsätze zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten in Innenräumen; Stand Oktober 2010. www.dibt.de/de/Fachbereiche/data/Aktuelles_Ref_II_4_6.pdf (Aufruf 09.02.2015).

DIBt, Deutsches Institut für Bautechnik (2010a). Grundsätze zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten in Innenräumen – Teil III: Bewertungskonzepte für spezielle Bauprodukte: Beschichtungen für Parkette und Holzfußböden; Stand Oktober 2010. www.dibt.de/de/Fachbereiche/Data/Aktuelles_Ref_II_4_10.pdf (Aufruf 09.02.2015).

DIBt, Deutsches Institut für Bautechnik (2014). www.publikationen.dibt.de/service/searching/zsearch.aspx?language=de (Aufruf 09.02.2015).

Fachverband Gebäude-Klima e.V. (Hrsg.) (2014). Bedarfslüftung in Nichtwohngebäuden. Ein Leitfaden für Planer und Anwender. (TGA-Report, Nr. 1). Bietigheim-Bissingen: Selbstverlag.

Fang, L., Clausen, G. & Fanger, P. O. (1998). Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air pollutants. Indoor Air, 8, 80–90.

Fanger, P. O. (2000). Menschliche Anforderungen an zukünftig zu klimatisierende Umgebungen. KI Luft- und Kältetechnik, 36 (3), 114–119.

Fitzner, K. (2000). Gilt der Bereich der behaglich empfundenen relativen Feuchte auch bei Mischlüftung? HLH, 51 (7), 56–58.

Fitzner, K.; Gorres, I. & Reske, M. (2001). Impact of the air flow pattern and the thermal load in a room on the heat and mass transfer coefficient across a person, especially on the evaporation of water from the eyes. In 7th World Congress Clima 2000/napoli 2001. Napoli (Italy), 15–18 September 2001. Proceedings.

Frankreich, Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement (2011). Arrêté du 19 avril 2011 relatif à l'étiquetage des produits de construction ou de revêtement de mur ou de sol et des peintures et vernis sur leurs émissions de polluants volatils. NOR : DEVL1104875A www.ineris.fr/aida/consultation_document/3823 (Aufruf 09.02.2015)

GefStoffV (2010). Gefahrstoffverordnung vom 26. November 2010 (BGBl. I S. 1643, 1644), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 24. April 2013 (BGBl. I S. 944) geändert worden ist.

Graedel, T. E. & Crutzen P. J. (1994). Chemie der Atmosphäre: Bedeutung für Klima und Umwelt. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. (S. 8)

Gunnarsen, L. & Fanger, P. O. (1992). Adaptation to indoor air pollution. *Environment International*, 18 (1), 43–54.

Heiselberg, P. (Ed.) (2002). Principles of hybrid ventilation. IEA Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme. Annex 35: Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings. Aalborg University, Hybrid ventilation Centre (Ed.).

Mundt, E., Mathisen, H. M., Nielsen, P. & Moser, A. (2004). Ventilation Effectiveness. (REHVA Guidebook No. 2). Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations, Brussels, Belgium (Ed.).

Pettenkofer, M. v. (1858). Über den Luftwechsel in Wohngebäuden. München: Literarisch-artistische Anstalt der J. G. Cotta'schen Buchhandlung.

Seifert, B. (1999). Richtwerte für die Innenraumluft. Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert). Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, 42, 270–278.

SRU, Sachverständigenrat für Umweltfragen (Hrsg.) (1987). Luftverunreinigungen in Innenräumen. Sondergutachten. (Bundestags-Drucksache 11/613). Stuttgart: Kohlhammer.

Schmidt, R. F. & Lang, F. (Hrsg.) (2007). Physiologie des Menschen. (30. Aufl). Heidelberg: Springer Medizin Verlag. (S. 434)

SSK, Strahlenschutzkommission (1994). Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden. Bundesanzeiger, Nr. 155 vom 18. August 1994.

Steiger, S., Wellisch, U. & Hellwig, R. T. (2010). Untersuchung der Eignung verschiedener Fassaden für automatisierte Fensterlüftung in Schulen mit einem Entscheidungsbaumverfahren. *Bauphysik*, 32 (4), 253–262.

Steiger, S. & Hellwig, R. T. (2011). Hybride Lüftungssysteme für Schulen. Abschlussbericht. Förderkennzeichen AZ 0327387A. Fachverband Gebäude-Klima e. V. (Hrsg.) im Rahmen des FIA Forschungs-Informations-Austausch Bietigheim-Bissingen: Selbstverlag.

www.downloads.fgk.de/183_Abschlussbericht_Hybride_Lueftungssysteme_fuer_Schulen.pdf (Aufruf 10.02.2015)

Tans, P. & Keeling, R. (2015). Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Mauna Loa Observatory Hawaii. ftp://aftp.cmdl.noaa.gov/products/trends/co2/co2_mm_mlo.txt (Aufruf 10.02.2015) www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/ (Aufruf 10.02.2015).

TZWL – Europäisches Testzentrum für Wohnungslüftungsgeräte (TZWL) e.V. (Hrsg.). Wetterstation – Stadtklima Dortmund. www.tzwl.de/wetterstation-stadtklima-dortmund/live-wetterdaten (Aufruf 24.02.2015)

Weiterführende Literatur

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung; Technische Universität Berlin, Fachgebiet Heiz- und Raumlufttechnik, Hermann-Rietschel-Institut; Umweltbundesamt (Hrsg.) (2006). Bauprodukte: Schadstoffe und Gerüche bestimmen und vermeiden. (Umwelt & Gesundheit). Berlin: FGK.

Fachverband Gebäude-Klima (Hrsg.) (o. J.). Raumlufttechnische Anlagen. Leitfaden für die Durchführung von Hygieneinspektionen nach VDI 6022 (FGK Status-Report 15). Bietigheim-Bissingen: FGK.

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2008). Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden. Berlin: UBA.



2.3 Visueller Komfort

Cornelia Moosmann, Bithe Tralau, Christoph Schierz, Martine Knoop, Andreas Woitysiak, Jan de Boer

Bei Nutzerbefragungen an Büroarbeitsplätzen werden die Lichtverhältnisse häufig positiver bewertet als beispielsweise die Luftqualität oder die Temperaturverhältnisse, so auch in einer Felduntersuchung in neun Bürogebäuden in Deutschland (Abb. 2.3-1). Daraus abzuleiten, dass die Beleuchtung für die Zufriedenheit der Nutzer von geringerer Bedeutung ist als andere Komfortaspekte, wäre jedoch falsch.

An Büroarbeitsplätzen müssen bei zahlreichen Tätigkeiten visuelle Informationen erfasst werden – sei es beim Lesen und Schreiben oder beim Erkennen der Mimik eines Gesprächspartners. Eine Störung des visuellen Komforts oder gar eine Behinderung der Erfüllung von Sehaufgaben durch ungünstige visuelle Bedingungen wirkt sich daher an entscheidender Stelle aus.

Gleichzeitig ist das **Adaptationsvermögen** des Menschen bezüglich unterschiedlicher Lichtsituationen groß – wir können bei strahlendem Sonnenschein mit 100 000 Lux Beleuchtungsstärke sehen und uns bei Mondlicht mit 1 Lux Beleuchtungsstärke orientieren.

Dieses Adaptationsvermögen führt dazu, dass Nutzer sich mit sehr unterschiedlichen – auch ungünstigen – visuellen Bedingungen arrangieren können. Ungünstige Sehbedingungen können jedoch gesundheitliche Folgen, wie z. B. Kopfschmerzen, haben, welche die Nutzer unter Umständen gar nicht mit Licht in Verbindung bringen, wie Schierz ausführt (Kap. 1.4-2).

Bei den Anforderungen an den visuellen Komfort muss zwischen natürlicher und künstlicher Beleuchtung unterschieden werden. Die Beleuchtung mit Kunstlicht wird zwar in vielen Gebäuden ähnlich positiv beurteilt wie die mit Tageslicht, wie Abbildung 2.3-2 zeigt. Die beiden Lichtquellen unterscheiden sich jedoch hinsichtlich Verfügbarkeit und Lichtspektrum. Zudem unterscheiden sich die Anforderungen der Nutzer an Tages- und Kunstlicht. Dies spiegelt sich in Nutzerkommentaren zur Beleuchtung des Arbeitsplatzes wider. Bei den Kommentaren zur Beleuchtung mit Tageslicht wurden in einer großen Felduntersuchung nur zwei Aspekte von vielen Nutzern angesprochen: 62 % der Kommentare thematisieren

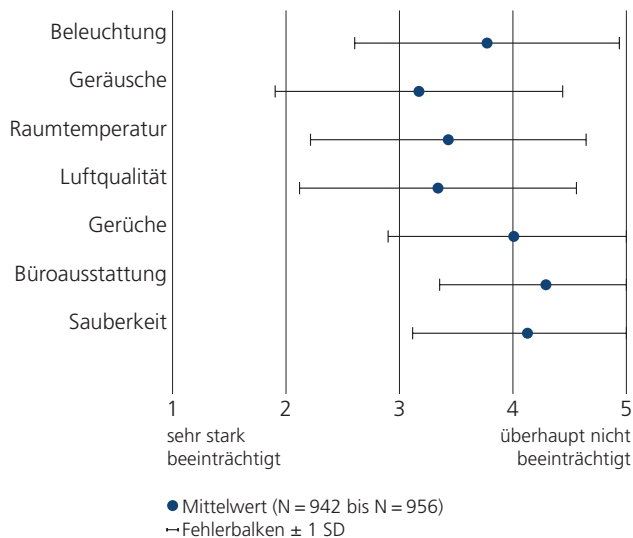


Abb. 2.3-1: Empfundene Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit durch verschiedene Aspekte des Raumklimas sowie durch Ausstattung und Sauberkeit des Arbeitsplatzes

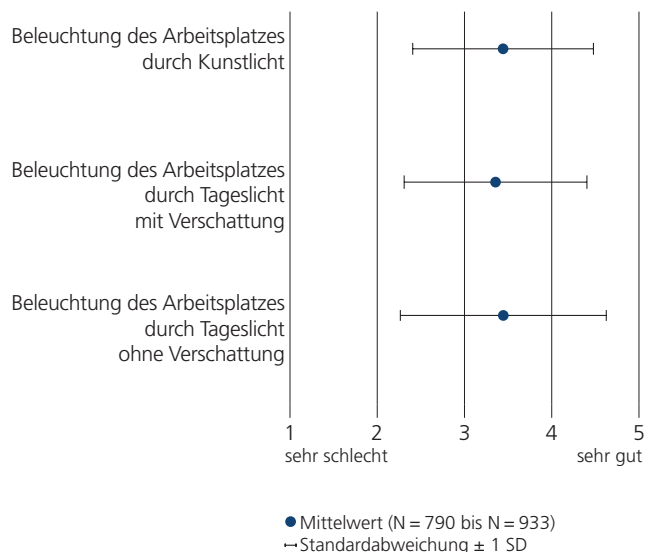


Abb. 2.3-2: Bewertung der Beleuchtung des Arbeitsplatzes mit Tages- bzw. Kunstlicht

Blendung oder zu große Wärmeeinträge, 32 % beklagen das zu geringe Tageslichtangebot (»Mir fehlt Sonne/Licht!«).

Die Kommentare zur künstlichen Beleuchtung sind bedeutend vielfältiger: 19 % beklagen eine zu geringe oder zu große Helligkeit des Kunstlichts, 15 % kritisieren die Steuerung des Kunstlichts (»Man muss Diplom machen, um die Automatik der Lampen zu verstehen.«), einige

Nutzer bemängeln die fehlende Anpassbarkeit der Beleuchtung (5 %), einige sind mit der Lichtfarbe unzufrieden (4 %), einige bringen das Kunstlicht mit gesundheitlichen Beschwerden in Verbindung (6 %), andere Nutzer geben schlicht an, Tageslicht vorzuziehen (7 %) (Moosmann, 2014).

Diese Kommentare zeigen, dass zahlreichen Aspekte die Zufriedenheit der Nutzer mit der Beleuchtung beeinflussen. In den folgenden Abschnitten werden Einflussgrößen des visuellen Komforts genauer erläutert, aktuelle Forschungsergebnisse vorgestellt und daraus Empfehlungen zur Erreichung eines guten visuellen Komforts abgeleitet.

2.3.1 Grundlegende Zusammenhänge und Einflussgrößen

»Visueller Komfort« lässt sich nicht einfach mit einer Kennziffer beschreiben oder bewerten. Zu viele, teils messbare, teils individuelle Kriterien sind notwendig, um visuellen Komfort adäquat darzustellen. Ein hoher visueller Komfort ist dann erreicht, wenn die Anforderungen der Nutzer bestmöglich erfüllt werden. So beschreibt visueller Komfort oder auch Lichtqualität das Erleben der Lichtwirkung bzw. der Lichtverteilung in einem Raum oder einer Umgebung unabhängig von der Lichtquelle (z. B. Tageslicht oder Kunstlicht). Der Nutzer hat je nach Anwendung (Besprechung, konzentriertes Arbeiten ...) und Kontext (Einzelarbeitsplatz, Großraumbüro ...) unterschiedliche Bedürfnisse an den Raum und die Beleuchtung.

Wirkung von Licht

Licht wirkt auf verschiedenen Ebenen: Wichtig ist zunächst das störungsfreie Sehen und Erkennen der Sehaufgabe. Dies wird durch die Einhaltung grundlegender Gütekriterien der Beleuchtung sichergestellt, die normativ festgelegt sind (siehe Tab. 2.3-1). Die Anforderungen sind abhängig von der Sehaufgabe, die es zu erfüllen gilt. Sie unterscheiden sich je nach Tätigkeit und Umgebungsbedingungen und hängen von persönlichen Vorlieben ab.

Licht schafft aber auch Atmosphäre und unterstützt das Wohlbefinden und die Identifikation des Mitarbeiters mit dem Arbeitsumfeld. Licht kann helfen, das Bedürfnis nach Information über das Umfeld (Ort, Zeit, Wetter, Geschehen) zu befriedigen, zu einem erhöhten Gefühl

der Sicherheit beitragen und die Orientierung erleichtern. Die Beurteilung dieser Aspekte wird meist von den Erwartungen des Nutzers sowie seinem subjektiven, soziokulturellen Kontext und seinen Erfahrungen beeinflusst.

Zudem hat Licht eine nicht-visuelle, eine biologische Wirkung: Licht taktet u. a. unsere innere Uhr, wie in Kapitel 2.3.5 genauer ausgeführt wird.

Neben funktionalen, emotionalen und biologischen Lichtwirkungen ist für den visuellen Komfort auch das Zusammenspiel von Licht und Architektur von Bedeutung. Die Anforderungen ergeben sich aus den Strukturen, den Formen, den Materialien und der beabsichtigten Stimmung des Gebäudes.

Aus vielen Studien, die an Büroarbeitsplätzen durchgeführt wurden, wissen wir, dass es eine starke Präferenz zur Beleuchtung des Arbeitsplatzes mit Tageslicht gibt. Dabei schätzen Nutzer sowohl den Ausblick, den Fenster bieten, als auch den Tageslichteintrag. Neben dem kontinuierlichen Lichtspektrum des Tageslichts stellt die ständige Veränderung des Tageslichts in Lichtfarbe, Lichtrichtung und Intensität eine Besonderheit dar. Komfortgrenzen sind weiter gefasst als bei künstlicher Beleuchtung. Dennoch sind für beide Lichtquellen bestimmte Kriterien zu beachten, wenn eine »komfortable« Beleuchtung geschaffen werden soll.

Hohe Beleuchtungsstärke für schwierige Sehaufgaben

Ein wichtiges Gestaltungsmittel in der Lichtplanung ist die Wahl der Beleuchtungsstärke, die auf eine

bestimmte Fläche trifft, gemessen in Lux (lx). Sie ist eine grundlegende Voraussetzung, um eine Sehaufgabe zu erfüllen. Unterschiedliche Sehbedingungen beeinflussen das benötigte Beleuchtungsniveau im Bereich der Sehaufgabe. Dieses wirkt sich wesentlich auf die Arbeitsleistung, die Produktivität und auf die Arbeitssicherheit aus. Je schwieriger die zu beleuchtende Sehaufgabe ist, desto höher sollte die Beleuchtungsstärke sein. Für typische Büroarbeitsplätze wird z. B. in DIN EN 12464-1 eine Beleuchtungsstärke von 500 lx gefordert. Abbildung 2.3-3 zeigt die Steigerung der Leistung bzw. den Rückgang von Fehlern abhängig von der Beleuchtungsstärke für verschiedene Tätigkeiten.

Neben der passenden Beleuchtungsstärke ist auch die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke ein Komfortkriterium. Sie ist das Verhältnis zwischen minimaler und mittlerer Beleuchtungsstärke. Besonders im Bereich der Sehaufgabe sollte die Gleichmäßigkeit hoch sein, um deren Erfüllung zu erleichtern.

Als Gestaltungselement, zur Strukturierung oder zur Führung der Aufmerksamkeit können Ungleichmäßigkeiten bewusst eingesetzt werden. So entstehen zwischen zwei oder mehreren Flächen, die gleichzeitig gesehen werden, sichtbare Helligkeitsunterschiede (Kontraste). Tageslicht erzeugt in der Regel eine deutlich ungleichmäßigere Lichtverteilung als Kunstlicht, da das Licht zumeist seitlich in den Raum fällt. Hier scheint der Wunsch nach Tageslicht und Ausblick durch das Fenster wichtiger zu sein als die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung, sodass Ungleichmäßigkeit bei Tageslicht toleriert wird.

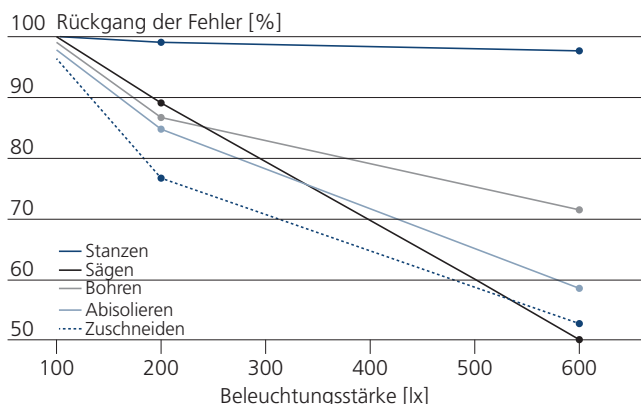
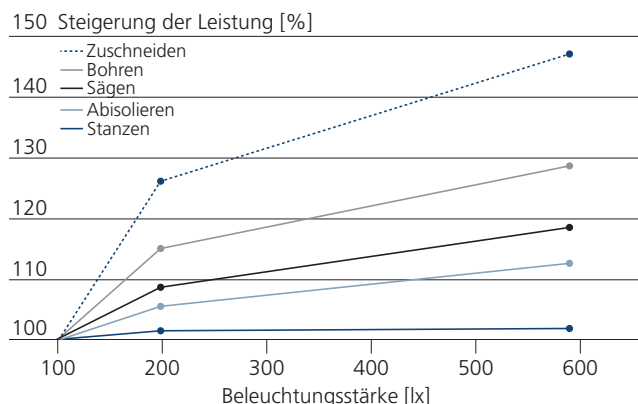


Abb. 2.3-3: Steigerung der Leistung und Rückgang von Fehlern abhängig von der Beleuchtungsstärke für verschiedene Tätigkeiten, nach Gall und Völker (1996), zitiert in licht.wissen (2009) 5

Blendung reduzieren

Anders ist es im Falle von Blendung durch Tages- oder Kunstlicht. Besonders kritisch ist dabei die sogenannte psychologische Blendung. Sie wird durch zu große Helligkeitsunterschiede im Gesichtsfeld verursacht und von den Nutzern zwar als unangenehm, aber häufig nicht als Blendung wahrgenommen. Auf Dauer kann sie beispielsweise zu Ermüdung, körperlicher Fehlhaltung und zu Kopfschmerzen führen.

Daneben gibt es die physiologische Blendung, die die Sehleistung messbar beeinträchtigt. Hohe Leuchtdichten erzeugen Streulicht im Auge, welches die wahrnehmbaren Kontraste reduziert und von den Nutzern als Blendung wahrgenommen wird. Beide Blendungsarten können von Tageslicht (Fenstern) oder Kunstlicht (Leuchten) im Gesichtsfeld verursacht werden.

Um die Blendung durch Kunstlicht zu bewerten, wurde das UGR-Verfahren eingeführt: UGR ist die Abkürzung für **Unified Glare Rating**, dessen Zahlenwert einem zu erwartenden Blendurteil des Beobachters entspricht. Typische Werte in der Büroanwendung liegen zwischen < 19 und < 22 , wobei die Blendungsempfindung linear mit dem UGR-Wert ansteigt. Zur Bewertung der Blendung durch Tageslicht gibt es viele Ansätze und Diskussionen, es steht aber bisher noch kein normatives Verfahren zur Verfügung.

Blendung kann bei Fenstern durch einen Blendschutz und bei Leuchten durch eine blendreduzierende Optik vermindert werden.

Ein weiterer Aspekt des visuellen Komforts ist die Reduzierung der Reflexblendung. Reflexblendung bezeichnet eine störende Spiegelung auf einer Oberfläche, die das Erkennen von Sehdetails erschwert. Es kann sich dabei um die Reflexion eines Fensters oder einer Leuchte handeln, die außerhalb des Gesichtsfeldes liegen. Glänzende Oberflächen von Bildschirmen oder Arbeitsunterlagen begünstigen Reflexblendung, während matte Oberflächen Reflexblendung reduzieren oder verhindern können.

Ausgewogene Lichtverteilung

Um einen Bereich mit der gewünschten Beleuchtungsstärke zu beleuchten, können unterschiedlichste Lichtquellen eingesetzt werden. Beim Kunstlicht sind die Bauform der Leuchten, die Lichtverteilung, die Größe der Lichtaustrittsfläche und die Anordnung der Leuchten

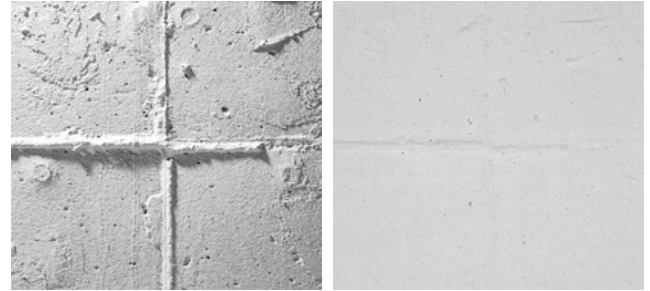


Abb. 2.3-4: Eine Wand beleuchtet mit Streiflicht (links) und diffuser Beleuchtung (rechts)

entscheidend, beim Tageslicht die Anordnung der Fenster oder Dachoberlichter, die Verglasung oder der Einsatz lichtlenkender Elemente.

Für viele Innenräume ist ein ausgewogenes Verhältnis zwischen diffusem und gerichtetem Licht wünschenswert. Gerichtetes Licht wird durch eine stark punktförmige Lichtquelle mit einer kleinen Lichtaustrittsfläche erzeugt, auch Sonnenlicht ist gerichtetes Licht. Fällt gerichtetes Licht auf ein Objekt, entsteht ein Schlagschatten. Schlagschatten können störend sein, wenn die Sichtbarkeit der Sehaufgabe durch starken Schattenwurf beeinträchtigt wird. Schatten kann aber auch einen angenehmen natürlichen Raumeindruck vermitteln. Gerichtetes Licht, das aus mehreren Richtungen kommt (bei mehreren Spots oder bei einer nicht entblendeten LED-Leuchte), kann zu Mehrfachschatten und damit zu verwirrenden visuellen Effekten führen (siehe Kap. 2.3.4).

Im Gegensatz zum gerichtetem Licht wird diffuses Licht von einer eher großflächigen Leuchte erzeugt oder stammt vom bedeckten Himmel. Es ist eine schattenarme Beleuchtung, die ermüdend wirken kann, die aber auch sehr gleichmäßig beleuchtet. Die Ausgewogenheit beider Beleuchtungsarten wird als **Modelling** bezeichnet und ist entscheidend für das Erscheinungsbild eines Innenraumes, die Form- und Strukturgebung von Architektur, Gegenständen und Menschen (siehe Abb. 2.3-4). Neben der Kombination von diffusem und gerichtetem Licht ist in Büroräumen auch auf eine ausgewogene Leuchtdichteverteilung auf Wänden und Decke zu achten. **Vertikale Beleuchtungsstärken** und eine Deckenaufhellung heben den visuellen Komfort am Arbeitsplatz. Mindestanforderungen sind mittlerweile normativ festgelegt.

Lichtfarbe schafft Atmosphäre

Ein subjektiv sehr wichtiges, aber auch sehr individuelles Kriterium bei der Beurteilung des visuellen Komforts am Büroarbeitsplatz ist die Atmosphäre, die das Licht vor allem durch seine farbliche Erscheinung erzielt, die Lichtfarbe. Die Lichtfarbe wird in Kelvin angegeben und bei Kunstlicht unterschieden in warmweiß (unter 3 300 K), neutralweiß (zwischen 3 300 und 5 000 K) und tageslichtweiß (über 5 000 K). Die Lichtfarbe des Tageslichts ändert sich ständig. Sie ist meist kalt mit Lichtfarben von 5 000 K (Sonnenschein mittags) bis über 10 000 K (blauer Himmel). Nur kurzzeitig, zu Sonnenauf- und Sonnenuntergang, treten beim Tageslicht Lichtfarben unter 3 000 K auf.

Gleiche Lichtfarben können sich aus unterschiedlichen spektralen Anteilen zusammensetzen: Tageslicht mit 5 000 K hat ein kontinuierliches Spektrum im gesamten sichtbaren Bereich des Lichts von 380 bis 780 nm. Bei Leuchtstofflampen und LEDs der gleichen Lichtfarbe sind typischerweise einige Bereiche im blauen, grünen und roten Spektrum stark vertreten und werden vom menschlichen Auge als weißes Licht wahrgenommen, während andere Bereiche des Spektrums kaum oder gar nicht enthalten sind (siehe Abb. 2.3-5).

Welche Lichtfarbe geeignet ist, hängt von der jeweiligen Anwendung und der beabsichtigten Wirkung ab. Warmweiße Lichtfarben vermitteln einen wohnlichen, familiären Charakter, Ruhe und Entspannung. Neutralweiße Lichtfarben stehen für konzentriertes und kreatives

Arbeiten. Tageslichtweiße Lichtfarben stehen für kühle, sachliche und industrielle Umgebungen, wirken aktivierend und sauber.

Über die Veränderung der Lichtfarben von »kühleren« Lichtfarben am Tage zu »wärmeren« Lichtfarben am Abend kann auch der biologische Rhythmus stabilisiert werden (siehe auch Kap. 2.3.5).

Neben der Lichtfarbe beeinflusst das Spektrum auch die Güte der Farbwiedergabe. Diese ist ein Maß dafür, wie natürlich Farben erscheinen. Der Farbwiedergabeindex R_a mit dem Maximalwert 100 beschreibt, wie umfassend Farben bei Beleuchtung mit einer Lichtquelle erkannt und unterscheidbar sind. Er ist eine Eigenschaft der Lichtquelle. Tageslicht weist einen R_a -Wert von bis zu 100 auf, am Büroarbeitsplatz ist nach DIN EN 12464-1 eine Farbwiedergabe von $R_a > 80$ gefordert. In Bereichen, in denen Farbprüfungen stattfinden, werden höhere Anforderungen an die Farbwiedergabe gestellt.

Ein weiteres sehr wesentliches Kriterium für den visuellen Komfort ist, dass die künstliche Beleuchtung weder flackert noch flimmert. Flackern ist das Aufblitzen von Lampen beim Einschalten. Flimmern beschreibt kurzzeitige Schwankungen in der Helligkeit.

Flackern oder Flimmern können physiologische Reaktionen wie Kopfschmerzen hervorrufen.

Steuerung und Regelung der Beleuchtung

Im Zuge der Energieeinsparung wird Kunstlicht zunehmend tageslichtabhängig geregelt oder gesteuert.

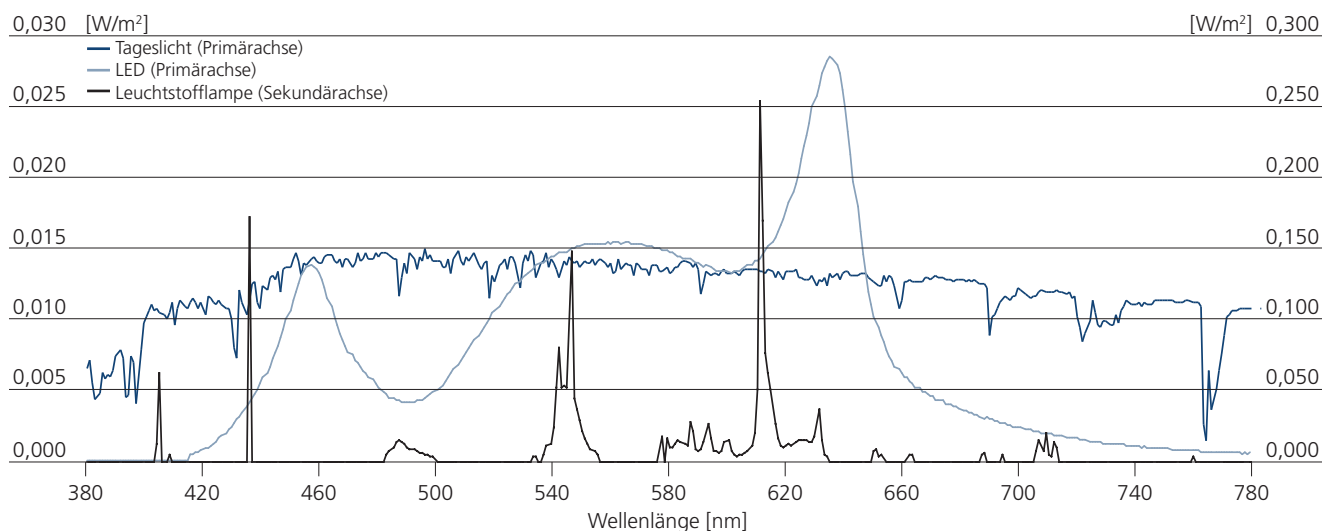


Abb. 2.3-5: Typische Spektren von Tageslicht, LED und Leuchtstofflampe im Vergleich

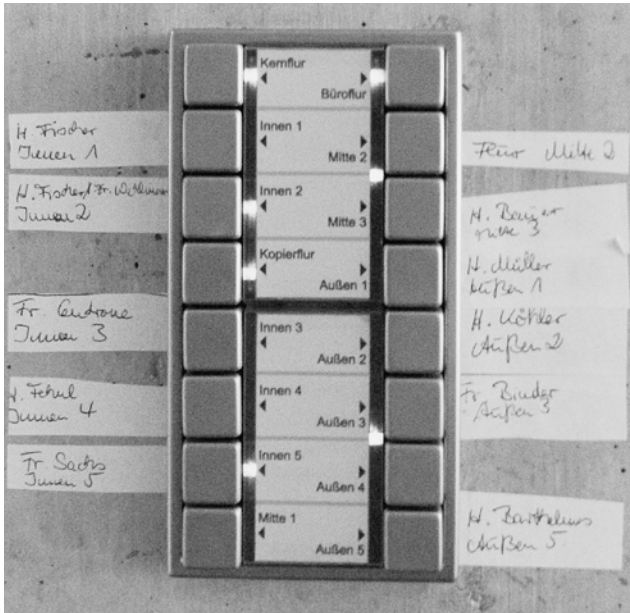


Abb. 2.3-6: Diese Lichtschalter sind an zentraler Stelle außerhalb der Büroräume angeordnet.

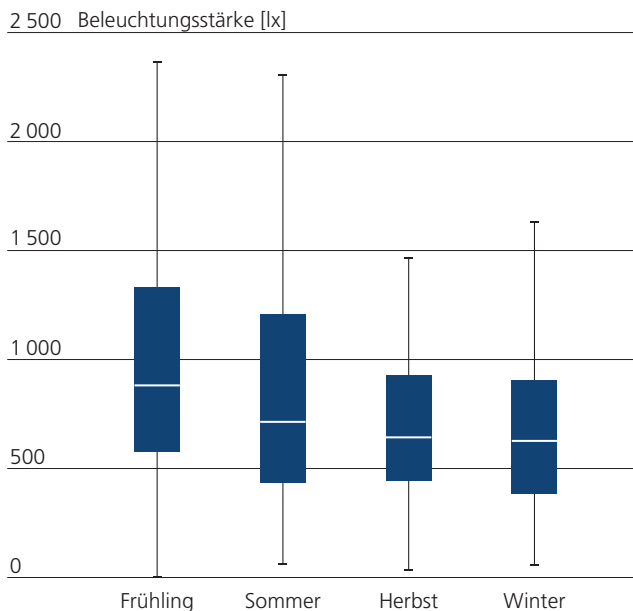


Abb. 2.3-7: Boxplots der horizontalen Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz, bei der keine Änderung der Helligkeit gewünscht wurde, in Abhängigkeit von der Jahreszeit.

Das Licht in einem Raum wird dabei mit einem oder mehreren Sensor(en) gemessen, der Messwert mit einem Sollwert verglichen und die Dimmung der Beleuchtung entsprechend angepasst. Alternativ kann die

Beleuchtung auch über eine voreingestellte Funktion gesteuert werden. Wird eine Steuerung oder Regelung eingesetzt, so sollte das Licht sich für die Nutzer nachvollziehbar verändern und die Abläufe sollten vom Facility Management angepasst werden können. Grundsätzlich ermöglicht das Regeln und Steuern, die Lichtbedingungen optimal an die funktionalen, emotionalen oder biologischen Bedürfnisse des Menschen anzupassen. Sehr positiv bewerten Nutzer in der Regel die Möglichkeit zur manuellen Einflussnahme auf die Beleuchtungsanlage und auch auf den Sonnen- oder Blendschutz. Bei der Bedienung der Beleuchtungsanlage ist vor allem auf die Zugänglichkeit und Verständlichkeit der Bediengeräte zu achten (siehe Abb. 2.3-6).

2.3.2 Nutzerbewertung von Tageslicht

Die große Bedeutung der Tageslichtversorgung wurde seit den 1960er Jahren vielfach untersucht und bestätigt. Auch die Relevanz der Aussicht wurde in zahlreichen Studien überprüft. In einer Studie von Sommer aus dem Jahr 1974 wird die auffallende Häufigkeit großer Landschaftsaufnahmen an den Wänden von Büroräumen in Untergeschossen erwähnt, wo sie als »Ersatzfenster« dienten (Sommer zitiert in Collins, 1975). Der Blick in Innenhöfe, Atrien oder auf gegenüber liegende Bebauungen wird in mehreren Studien als beschränkte Sichtverbindung oder »wenig angenehmer Ausblick« bewertet, während der Blick auf Bäume in der Regel nicht als Einschränkung empfunden wird.

Bewertung der Helligkeit

Im Gegensatz zu Kunstlicht schwankt das Tageslichtangebot je nach Wetter, Tages- und Jahreszeit stark. Während bei Kunstlicht eine große Gleichmäßigkeit der Helligkeit gewünscht wird und Änderungen, z. B. durch tageslichtabhängige Dimmung, u. U. als störend empfunden werden, stören die wechselnde Helligkeit des Tageslichts und eine ungleichmäßige Beleuchtung des Raumes durch seitlichen Tageslichteinfall die meisten Nutzer nicht. Im Gegenteil: Bei Untersuchungen in Wohnungen und an fensterorientierten Arbeitsplätzen bewerteten Nutzer im Frühling sehr viel höhere Beleuchtungsstärken als angenehm als in den übrigen Jahreszeiten, wie Abbildung 2.3-7 zeigt. Im Winter sind die Nutzer bereits mit geringeren Beleuchtungsstärken zufrieden (Moosmann, 2014; Seidl, 1978).

Ältere Nutzer bevorzugen an mit Tageslicht versorgten Arbeitsplätzen niedrigere Beleuchtungsstärken als jüngere Nutzer – hier wirkt sich möglicherweise die mit zunehmendem Alter größere Blendungsempfindlichkeit aus (siehe Kap. 2.3.3).

Trotz der sehr großen Streuung der Beleuchtungsstärken, die an mit Tageslicht versorgten Arbeitsplätzen akzeptiert werden, fällt auf, dass die als angenehm bewertete Beleuchtungsstärke häufig – und gerade bei jüngeren Probanden auch deutlich – über der Mindestbeleuchtungsstärke von 500 lx liegt. Das könnte einer der Gründe sein, weshalb die tageslichtabhängige Dimmung, die für die Energieeffizienz in Bürogebäuden Bedeutung erlangt hat, von Nutzern nicht immer geschätzt wird. Wenn die Steuerung das Kunstlicht dimmt oder ausschaltet, während der Nutzer gerade eine größere Helligkeit am Arbeitsplatz wünscht, muss er eine (einfache) Möglichkeit haben, seinen Wunsch durchzusetzen. Wenn er sich dem Diktat der Steuerung ausgeliefert fühlt und dieses möglicherweise zudem nicht nachvollziehen kann, können – genauso wie bei der Steuerung von Sonnenschutzsystemen – große Akzeptanzprobleme auftreten (siehe Kap. 2.5).

Blendung durch Tageslicht

Neben unerwünschten Wärmeeinträgen im Sommer ist Blendung die einzig relevante Störung, die Nutzer mit Tageslicht verbinden. Blendung durch Tageslicht unterscheidet sich grundsätzlich von Blendung durch Kunstlicht. Beim Blick in die Sonne können sehr viel höhere Leuchtdichten auftreten, als beispielsweise bei Bildschirmarbeitsplatz tauglichen Leuchten zulässig sind. Die Sonne kann dabei physiologische Blendung verursachen, die die Sehfunktion einschränkt, wenn die Nutzer sich nicht mit einem Sonnen- oder Blendschutz schützen können.

Dementsprechend wird sowohl die Bewertung der Beleuchtung mit Tageslicht bei offenem als auch die Bewertung der Tageslichtversorgung bei geschlossenem Sonnenschutz stark von der Zufriedenheit mit dem Sonnen- und Blendschutz beeinflusst, wie Abbildung 2.3-8 zeigt. Diese wiederum hängt davon ab, wie selbstbestimmt die Nutzer den Sonnenschutz bedienen können: Automatisch gesteuerte Systeme werden deutlich schlechter beurteilt als manuell bediente, und auch die Tageslichtversorgung in solchen Gebäuden bewerten Nutzer in einer Feldstudie schlechter (Moosmann, 2014).

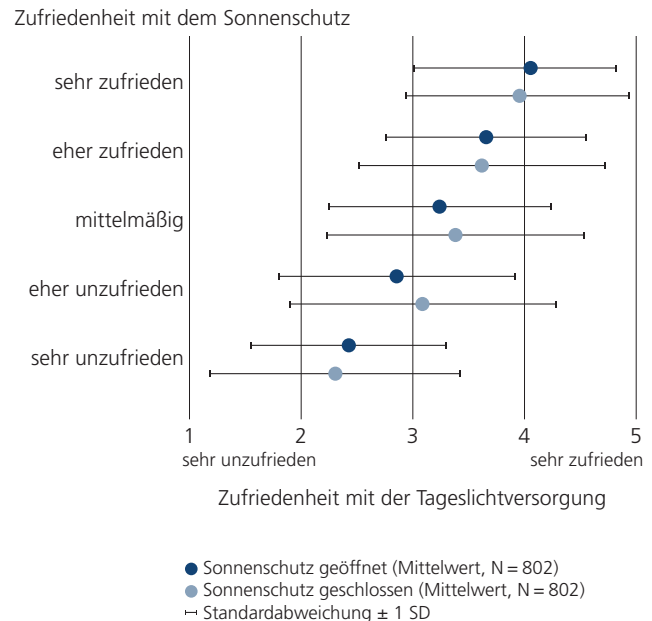


Abb. 2.3-8: Bewertung der Beleuchtung des Arbeitsplatzes mit Tageslicht bei offenem und bei geschlossenem Sonnenschutz in Abhängigkeit von der Zufriedenheit mit dem Sonnenschutz.

Die Toleranz gegenüber hohen Leuchtdichten, die die Sehfunktion nicht einschränken, ist bei Fenstern dagegen in der Regel groß. Dementsprechend existieren für Blendung durch Tageslicht eigene Bewertungsverfahren. 2005 wurde das Blendungsbewertungskriterium **Daylight Glare Probability DGP** entwickelt. Die Blendungswahrscheinlichkeit wird bei diesem Index – neben den grundlegenden Einflussfaktoren für Blendung wie Leuchtdichte, Größe und Position der Blendquelle – in hohem Maß von der **vertikalen Beleuchtungsstärke** am Auge beeinflusst (Wienold & Christoffersen, 2006). Dieser Index scheint im Vergleich mit älteren Blendungsbewertungskriterien wie dem Daylight Glare Index DGI besser geeignet zu sein, Blendung vorherzusagen. Die individuellen Unterschiede bezüglich Blendungsempfindlichkeit und gewünschter Helligkeit sind jedoch groß, was eine zuverlässige Blendungsvorhersage erschwert.

Neben rein lichttechnischen Größen wird das Blendungsempfinden von weiteren Faktoren beeinflusst: Das Auge verändert sich mit zunehmendem Alter, Licht wird im Auge stärker gestreut und blendet stärker (siehe Abb. 2.3-9). Diesem Umstand trägt der DGP-Index mit einem »Altersfaktor« Rechnung.

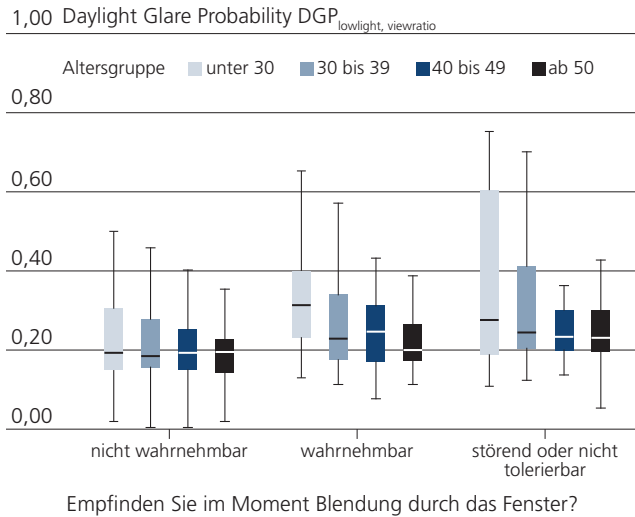


Abb. 2.3-9: Boxplots der Daylight Glare Probability über der Blendungsbewertung in Abhängigkeit vom Alter der Befragten.

Auch der Ausblick hat Einfluss auf die empfundene Blendung: Je angenehmer die Aussicht, desto höhere DGP-Werte werden von den Nutzern akzeptiert, und bei Fenstern nach draußen werden höhere Blendungswerte akzeptiert als bei Fenstern zu einem Atrium. Blendquellen, die Aufmerksamkeit erregen, ohne Information zu bieten, wie z. B. Leuchten oder sonnenbeschienene Markisen, wirken störender als der Blick ins Freie (Schierz, 2004).

Bewertung von Tageslichtangebot und Fensterfläche

Nutzer empfinden auch einen Mangel an Tageslicht als störend. Das Tageslichtangebot im Raum wird normativ beschrieben als Tageslichtquotient, dem Verhältnis der horizontalen Beleuchtungsstärke innen zur horizontalen Beleuchtungsstärke außen. Die aktuellen Mindestanforderungen der DIN 5034-1 zu Fenstergrößen und an die Tageslichtversorgung von Wohnräumen und Arbeitsräumen, die in ihren Abmessungen Wohnräumen entsprechen, basieren auf einer Untersuchung aus dem Jahr 1978 (Seidl, 1978). Damals wurde für Wohnräume eine horizontale Mindestbeleuchtungsstärke von ca. 50 lx im Winter und ca. 160 lx im Sommer ermittelt und ein Tageslichtquotient von 0,9 % an zwei Referenzpunkten in halber Raumtiefe als Minimum festgelegt.

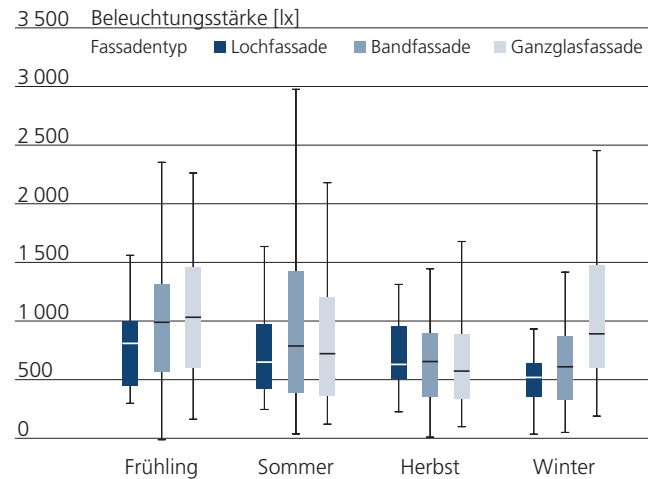


Abb. 2.3-10: Boxplot der Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz, bei der keine Veränderung gewünscht wurde, in Abhängigkeit von Jahreszeit und Fassadentyp.

Bei einer Feldstudie 2013 wurden höhere Grenzwerte ermittelt: Erst ab einem Tageslichtquotienten von 2 % am Arbeitsplatz wurden diese als »ausreichend hell« bewertet (Gramm, Aydınli, Völker & Kaase, 2013). Das entspricht den Vorgaben der Technischen Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.4 (2011), in denen ein Tageslichtquotient am Arbeitsplatz größer 2 % gefordert wird. Räume mit großen Fenstern wurden Gramm et al. zufolge im Allgemeinen als »gerade richtig hell« bewertet, auch bei Tageslichtquotienten, die die normativen Mindestanforderungen erheblich überschritten.

Der Fensterflächenanteil der Fassade hat entscheidenden Einfluss auf die Tageslichtversorgung und auch auf das Risiko unerwünschter Wärmeeinträge im Sommer. Grundlage für die normative Festlegung ist die von Seidl für Wohnräume ermittelte Mindestbreite des Fensters von 55 % der Raumbreite. Auch Fenster über die gesamte Raumbreite wurden nicht als zu breit empfunden (Seidl, 1978). Ganzglasfassaden waren in dieser Studie nicht enthalten.

Für Büroräume wurde in einer Felduntersuchung festgestellt, dass Fensterflächenanteile unter 30 % als eher zu klein und über 75 % als eher zu groß bewertet werden. Die Nutzer präferierten Fensterflächenanteile um 60 %, wie sie in Bürogebäuden mit Fensterbändern typischerweise zu finden sind, und bei denen das Risiko der sommerlichen Überhitzung deutlich geringer ist als bei Ganzglasfassaden.

Der Fensterflächenanteil hat auch Einfluss auf die Erwartungen der Nutzer an die Helligkeit im Raum: Im Vergleich mit Nutzern von Büroräumen mit Bandfassaden erwarten Nutzer bei Ganzglasfassaden eine höhere Helligkeit und empfinden im Frühling und Winter eine höhere Beleuchtungsstärke als angenehm.

Im Sommer und Herbst (Kühlperiode) wird in den Gebäuden mit Ganzglasfassade eine geringere Helligkeit bevorzugt, wie Abbildung 2.3-10 zeigt. Möglicherweise spielt der regelmäßige Einsatz des Sonnenschutzes bei Ganzglasfassaden (potenziell hohe thermische Solarlast) eine Rolle.

2.3.3 Aufgaben und Wirkung künstlicher Beleuchtung

Handlungs- und Gestaltungsziel einer Arbeitsplatzbeleuchtung im Büro im Sinne der Ergonomie ist es, einerseits die menschliche Gesundheit und das Wohlbefinden zu fördern und andererseits den Arbeitserfolg zu steigern (siehe Kap. 2.3.1).

Negative Beleuchtungswirkungen führen oft zu Beschwerden, wenn die Betroffenen einen Zusammenhang mit Aspekten der Beleuchtung vermuten. Ein tatsächlicher Zusammenhang muss aber nicht notwendigerweise vorliegen. Umgekehrt kann ein ursächlicher Zusammenhang zwischen Beschwerden und Beleuchtung vorliegen, ohne dass Betroffene diesen bemerken (siehe Infokasten in Kap. 1.4.2).

Licht für die Sehaufgabe

Licht wird benötigt, um die sehrelevanten Details einer Tätigkeit wahrnehmen zu können. Diese heißen »Sehaufgabe«. Licht muss für diese Informationsübertragung die Sehaufgaben farbecht und kontrastreich wiedergeben (z. B. ohne überlagernde Spiegelungen) und das Auge auf ein angemessenes Helligkeitsniveau adaptieren lassen (z. B. keine Umfeldblendung). Der Bildschirm stellt insofern eine Besonderheit dar, dass er für seine Benutzung das Licht selbst zur Verfügung stellt. Für andere Sehaufgaben im Büro, wie Lesen und Schreiben auf Papier oder das Beobachten der Gesichter von Gesprächspartnern, wird ausreichend Tages- oder Kunstlicht guter spektraler Qualität benötigt. Mindestanforderungen an Beleuchtungsstärken im Bereich der Sehaufgaben und an Raumbegrenzungsflächen sowie an die Blendungsbegrenzung und die Farbwiedergabe

werden durch Normen (DIN 5035-7; DIN EN 12464-1) und in Deutschland durch Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.4 (2011) vorgegeben.

Beleuchtungsstärke: Die in DIN EN 12464-1 festgelegten **Wartungswerte der Beleuchtungsstärke** sind stets einzuhaltende Mindestwerte und nicht Optimalwerte (siehe Kap. 2.3.6). Sie gelten für übliche Sehbedingungen und berücksichtigen Faktoren wie Anforderungen an die Sehaufgabe, visuelle Ergonomie, praktische Erfahrung, Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit. Diese Mindestwerte sollten in bestimmten Fällen um eine Stufe in der **Beleuchtungsstärke-Skala** erhöht werden (z. B. wenn das Sehvermögen der arbeitenden Person unter dem Durchschnitt liegt), dürfen aber auch in bestimmten Fällen um eine Stufe verringert werden (z. B. wenn die Sehaufgabe nur kurze Zeit erbracht werden muss). Diese Möglichkeit ist in der ASR A3.4 nicht vorgesehen. Lässt man die Beleuchtungsstärke von den Nutzern selbst einstellen, werden etwa drei- bis viermal höhere Werte gewählt als die Norm empfiehlt, vorausgesetzt es liegen keine Blendung oder störende Spiegelungen vor. Abbildung 2.3-11 zeigt, dass sich der Normwert 500 lx deutlich unter dem am besten bewerteten Wert von 2000 lx befindet. Hier wird ersichtlich, dass Normen und auch gesetzliche Richtlinien immer auch den Kostenaspekt bzw. die Wirtschaftlichkeit berücksichtigen. Der Normwert steht ausschließlich für die mühelose Sichtbarkeit von Sehaufgaben, während die Bewertung der Testpersonen die gesamte Raumwirkung berücksichtigt. In Büros mit Fenstern bestimmt seitlich

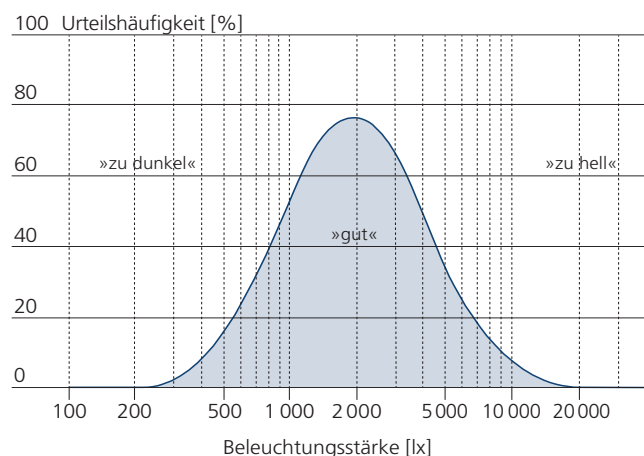


Abb. 2.3-11: Bewertung der Beleuchtungsstärke auf blendfreien büroähnlichen Arbeitsplätzen ohne Bildschirm, in fensterlosen Räumen mit hellen Wänden und Decken, nach einer Literaturzusammenstellung von Fischer (1970).

Man geht davon aus, dass die Farben von Gegenständen dann als »richtig« empfunden werden, wenn sie im künstlichen Licht gleich aussehen, wie in einem Referenzlicht. Als Referenz dient das natürliche Tageslicht oder ein **Temperaturstrahler** ähnlichster Lichtfarbe. Die Bewertung erfolgt mit einer Reihe genormter Testfarben aus der ein allgemeiner Farbwiedergabeindex R_a (engl.: »CRI«) für die jeweilige Lichtquelle ermittelt wird. Der Wert 100 entspricht bestmöglicher, Werte über 90 sehr guter Farbwiedergabe. Mit dem Aufkommen der LED als Beleuchtungsmittel laufen weltweit Untersuchungen zur Neudefinition von R_a . Aber auch LEDs mit $R_a > 90$ werden subjektiv als gut bis sehr gut bewertet.

einfallendes Tageslicht die Raumwirkung, sodass für die künstliche Beleuchtung nicht so hohe Beleuchtungsstärken erforderlich sind. Auch den am besten bewerteten Wert von 2 000 lx empfanden ein Viertel der Testpersonen als »zu dunkel« oder »zu hell«, was für individuell einstellbare Beleuchtungssysteme spricht.

Umfeldblendung: Bei großen Leuchtdichteänderungen benötigt das Auge eine gewisse Zeit, bis es die maximale Sehleistung wieder erbringen kann. Große Helligkeitskontraste sollten daher vermieden werden, indem die Leuchtdichteverhältnisse im größeren **Umfeld der Sehaufgabe** kleiner als 10:1 bleiben. Im Büro kommt Umfeldblendung hauptsächlich dort vor, wo Bildschirme mit Blickrichtung zum Fenster aufgestellt werden. Erscheinen der helle Himmel oder hell beschienene Gebäude durch das Fenster im Blickfeld neben dem relativ dunklen Bildschirm, ist das Auge zu hell adaptiert und kann dadurch die Information auf dem Bildschirm schlecht erkennen. Auch kann ein Gesicht, welches z.B. in Besprechungsräumen gegen das Fenster gesehen wird, oft nur als Schattenriss erkannt werden. Auch hier tritt Umfeldblendung auf, die durch Beleuchtung des Gesichts etwas gemildert werden kann.

Farbwiedergabe: Für sehr gute Farbwiedergabe sind Lichtspektren erforderlich, die möglichst wenige Lücken aufweisen. Dies ist besonders bei Farbprüfungsplätzen erforderlich, im Büro z.B. bei der professionellen Bearbeitung von Printmedien. Zusätzlich ist im Büro auch die gute Wiedergabe der Hautfarben wichtig, sei es die eigene, sei es diejenige von Gesprächspartnern. Die Güte der Wiedergabe von Körperfarben hängt von der spektralen Zusammensetzung des beleuchtenden Lichts ab.

Licht für die Raumwirkung

Eine geeignete Lichtgebung mit Tages- und Kunstlicht fördert das Sicherheitsgefühl, das Wohlbefinden und damit längerfristig die Gesundheit am Arbeitsplatz. Licht wirkt auf psychologischem Weg anregend und beeinflusst die Aufmerksamkeit. Findet dies im Widerspruch zu den aktuellen Absichten oder Bedürfnissen statt, wirkt Licht störend (z.B. psychologische Blendung), mit negativen Folgen für die Nutzerzufriedenheit.

Lichtfarbe: Intensität und Spektrum des Lichts üben über den nichtvisuellen Kanal des Auges biologische Wirkungen aus (siehe Kap. 2.3.5). Dem steht die psychologische Wirkung von Lichtfarben gegenüber, die an den Bezeichnungen Warmweiß (ww), Neutralweiß (nw) und Tageslichtweiß (tw, etwas bläulich) erkennbar sind. Bei LEDs als Beleuchtungsmittel wird oft der nicht-standardisierte Begriff »kaltweiß« verwendet. Er steht manchmal für Neutralweiß, manchmal für Tageslichtweiß.

Warme Lichtfarben wirken entspannend und sind mit einer wohnlichen Atmosphäre assoziiert, kühlere Lichtfarben eher mit Aktivierung, Technik und Sauberkeit. Hypothesen darüber, welche Lichtfarben im Büro einzusetzen oder zu vermeiden sind, können wissenschaftlichen Untersuchungen bislang nicht standhalten. So besagte die »Kruithof'sche Regel«, dass kältere Lichtfarben bei hohen und wärmere bei geringen Beleuchtungsstärken angenehmer sind (Kruithof, 1941). Damals nur als Pilotstudie gedacht, mit Leuchtstofflampen unzulänglicher Farbwiedergabe, gilt die Regel heute nicht mehr als richtig (Davis & Ginthner, 1990). Es ist aber unkritisch, sich weiterhin daran zu orientieren. Auch die »Regel«, Zwielicht zu vermeiden, ist wissenschaftlich nicht zu belegen. Zwielicht entsteht zum Beispiel mit Tageslicht vom Fenster, das mit warmweißem Licht der künstlichen Beleuchtung überlagert wird. Es gibt keine Belege dafür, dass z.B. die dabei entstehenden farbigen Schatten zu einer negativen Bewertung führen.

Verlässliche Empfehlungen zur Lichtfarbe scheitern daran, dass das Auge bzw. die Wahrnehmung über **Adaptation** bzw. Mechanismen der Farbkonstanz die Lichtfarbe mehr oder weniger gut ausblenden kann. Mit diesem »Weißabgleich« wird erreicht, dass die Farben der Objekte im Raum den Farbstich der Beleuchtung nicht übernehmen. Diese Anpassungsleistung versagt allerdings bei Lücken im Beleuchtungsspektrum (siehe dazu »Farbwiedergabe«).

Trotz »Weißabgleich« bleibt ein Rest von Farbton übrig: Lampen und bestrahlte weiße Flächen erscheinen leicht rosa, gelblich oder im ungünstigeren Falle grünlich oder leicht purpur. Welche Lichtfarbe als weiß ohne Farbstich erscheint, ist derzeit noch Thema wissenschaftlicher Untersuchungen. Die Ergebnisse deuten an, dass diese Lichtfarben nicht mit denjenigen von Temperaturstrahlern übereinstimmen (Rea & Freyssinier, 2011). Mit LEDs lassen sich solche Lichtfarben erzeugen. Allerdings gibt es bis jetzt keine plausiblen Gründe dafür, warum ein derart weißes Licht für die Bürobeleuchtung angestrebt werden soll.

Psychologische Blendung, Unified Glare Rating

UGR: Psychologische Blendung liegt vor, wenn eine Person sich weniger gestört fühlt, wenn sie eine mögliche Blendquelle mit der Hand über oder neben den Augen abschirmt. Diese Blendung muss nicht mit einer Reduktion der Sehleistung verbunden sein. Bei informationshaltigen Lichtquellen, wie sie etwa die Fenster darstellen, wird bei gleicher Beleuchtungsstärke die Störung als weniger stark empfunden. Auch sind flächige Lichtquellen weniger störend als kleine grelle Lichtpunkte.

Die Stärke der Störung durch psychologische Blendung wird mit der Methode der vereinheitlichten Blendungsbewertung (UGR-Methode) berechnet. Diese berücksichtigt, dass Blendung mit der Blendquellen-Leuchtdichte, der Blendquellen-Größe und deren Nähe zur Blickrichtung zunimmt. Lichtquellen im oberen Gesichtsfeld stören weniger als seitlich angeordnete (z. B. Tischleuchte des Nachbarn). Dagegen sinkt die Stärke der Blendung mit Zunahme der Umgebungsleuchtdichte, auf welche das Auge adaptiert ist. Energieeffizienzmaßnahmen, welche eine Reduktion der Decken- und Wandhelligkeiten zur Folge haben, beeinträchtigen somit nicht nur die Raumwirkung, sondern erhöhen auch das Blendrisiko.

Flimmern, stroboskopischer Effekt: Das unnatürliche Flimmern von Leuchtstofflampen war lange Zeit mögliche Ursache von Sehbeschwerden. Heute wird es mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) verhindert. Bei LEDs als Beleuchtungsmittel ist ein neues Phänomen zu beobachten: Wenn sie mittels gepulstem Licht (Pulsweitenmodulation – PWM) gedimmt werden, wird die betrachtete Szene während Augenbewegungen mehrfach nebeneinander versetzt auf die Netzhaut abgebildet. Dieser stroboskopische Effekt, auch »Perlschnureffekt« genannt, kann auch bei 300 Hz Pulsfrequenz noch wahrgenommen werden (Bullough, Hickcox, Klein &

Narendran, 2011). Maßnahmen, die gegen das Flimmern von Leuchtstofflampen göltig waren, greifen bei diesem Phänomen nur teilweise. Mit dem derzeit noch unvollständigen Wissensstand kann gesagt werden, dass zur Vermeidung Pulsfrequenzen von über 400 Hz notwendig sind.

Steuerung der Aufmerksamkeit: Intensives Licht ist in der Lage, die Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen. Dies kann geschickt genutzt werden, um die Orientierung im Raum zu erleichtern. Als Beispiele zu nennen sind die Betonung architektonischer Merkmale oder das Schaffen von Lichtinseln für spezielle Tätigkeiten.

Licht und Alter

Aufgrund der demografischen Altersentwicklung ist absehbar, dass in Zukunft immer mehr ältere Personen im Arbeitsleben tätig sein werden. So waren 1985 die 21-Jährigen und 2005 die 41-Jährigen Personen die häufigste Altersgruppe im Erwerbsalter. 2050 werden es gemäß den Prognosen des Statistischen Bundesamts Deutschland die 62-Jährigen sein. 33 % der Bevölkerung werden dann älter als 65 Jahre sein (1985: 15 %; 2013: 21 %). Für Empfehlungen zur Beleuchtung am Arbeitsplatz wie auch in der Freizeit muss daher das Alter immer mehr berücksichtigt werden.

Mit zunehmendem Alter verändert sich die Funktionalität der Augen, mit meist negativen Folgen für die Sehleistung und die biologischen Lichtwirkungen wie folgt:

- Reduktion des Transmissionsgrades der Augenmedien (van de Kraats & van Norren, 2007)
- Gelbverfärbung der Augenlinse (Lerman, 1980)
- Reduktion der Pupillenweite (Winn, Whitaker, Elliott & Phillips, 1994)
- Abnahme der **Akkommodationsbreite** (Alterssichtigkeit, kein Nahfokus) (Duane, 1922)
- Abnahme der Funktionsfähigkeit der Netzhaut (Roberts, 1964)
- Zunahme der Lichtstreucentren in den Augenmedien (IJspeert, Waard, Van den Berg & Jong, 1990)

Auch das Freizeitverhalten ändert sich auf Grund zunehmender Immobilität, mit der Folge, dass ältere Personen weniger oft ins Freie und damit ans Tageslicht gelangen. Die Reduktion des Transmissionsgrades und die Reduktion des Pupillendurchmessers bewirken, dass bei 65-Jährigen nur noch rund halb so viel Licht auf die Netzhaut

gelangt wie bei 25-Jährigen (Schierz, 2008). Die Sehschärfe nimmt aus verschiedenen Gründen generell mit dem Alter ab (siehe Abb. 2.3-12). Das Nahsehen wird ohne Altersbrille nach dem 45. Lebensjahr zunehmend schlechter. Grund dafür ist, dass das Auge in die Nähe immer weniger gut fokussieren kann (kleinere Akkommodationsbreite). Aber auch beim Sehen in die Ferne oder mit einer gut angepassten Altersbrille reduziert sich die Sehschärfe mit dem Alter und unterschreitet im Mittel ab etwa 68 Jahren die Grenze von 0,8. Dies ist auf die Abnahme der Funktionsfähigkeit der Netzhaut zurückzuführen (nach Daten von Roberts, 1964). Dies kann nur teilweise mit besserer Beleuchtung kompensiert werden. Kleine Partikel in der Optik des Auges bewirken eine Streuung des Lichtes, welches sich dem Netzhautbild überlagert (physiologische Blendung). Diese Trübungen der Augenoptik nehmen im Alter zu. Dadurch werden ältere Personen für Blendung empfindlicher, was sowohl die Sehleistung als auch den Sehkomfort beeinträchtigt. Durch Erhöhung der Beleuchtungsstärke um ein oder zwei Stufen der **Beleuchtungsstärke-Skala**, bei gleichzeitig besser kontrolliertem Blendschutz, können viele dieser Veränderungen teilweise oder ganz kompensiert werden.

Der vermeintliche Widerspruch – mehr Licht, weniger Blendung – wird durch verstärkte Individualisierung der Einstellmöglichkeiten aufgelöst. Dazu sollte zwischen Licht auf der Sehaufgabe und der vom Auge wahr-

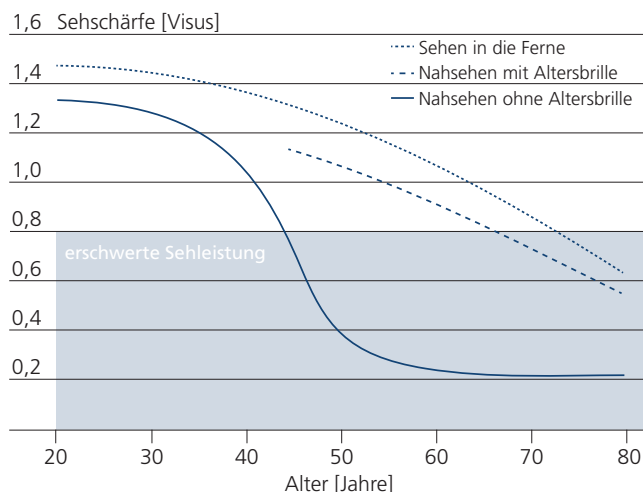


Abb. 2.3-12: Abnahme der Sehschärfe mit dem Alter mit und ohne Brillenkorrekturen. Mit einer Sehschärfe unter 0,8 (markierter Bereich) ist das Sehen erschwert, nach Daten von Robertz (1964).

genommenen Lichtquelle unterschieden werden. Beispielsweise berücksichtigen dies werkzeuglos verstellbare Arbeitsplatzleuchten durch die Möglichkeit zur individuellen Einstellung von Position und Neigung der Lichtaustrittsfläche.

Die Lichtbedürfnisse im Alter zu berücksichtigen, bedeutet auch, dass Vorschriften, welche Energie- und damit Lichteinsparungen an falscher Stelle verlangen, nicht nur die sozialen Kosten erhöhen, sondern auch die ältere Bevölkerung diskriminieren. Dies ist z.B. dann der Fall, wenn Beleuchtungsstärken an die unterste erlaubte Grenze gedrückt oder Wartungsfaktoren unrealistisch hoch angesetzt werden.

2.3.4 LED-Leuchten in der Allgemeinbeleuchtung

LED-Leuchten werden aufgrund ihrer Energieeffizienz und Lebensdauer immer häufiger für die Allgemeinbeleuchtung von Bürogebäuden eingesetzt. LEDs unterscheiden sich durch ihre typischen Eigenschaften wie gerichtetes Licht, eine kleine Abmessung und die große Helligkeit stark von Leuchtstofflampen. Letztere erzeugen eher diffuses Licht und haben eine relativ große leuchtende Fläche mit einer niedrigeren Leuchtdichte. Die derzeit für die Planung der künstlichen Beleuchtung festgelegten Gütekriterien basieren auf Untersuchungen mit Leuchtstofflampen. Die Anwendbarkeit dieser Güte-merkmale für Allgemeinbeleuchtung mit LEDs wurde von der Internationalen Beleuchtungskommission CIE überprüft (CIE, 2013). Die wichtigsten Schlussfolgerungen sind in diesem Kapitel zusammengefasst.

LED-Beleuchtung und Blendungsbewertung

Im UGR-Verfahren wird die Blendungsbewertung unter anderem von der mittleren Leuchtdichte der Lichtaustrittsfläche der Leuchten bestimmt. Diese Herangehensweise ist für LED-Leuchten anwendbar, die eine gleichmäßige Leuchtdichteverteilung innerhalb der Lichtaustrittsfläche aufweisen. Sobald jedoch einzelne LEDs oder eine Matrix von LEDs deutlich sichtbar sind bzw. ist, wird die Blendungsbewertung beeinflusst. Einige Forschungsprojekte zeigen eine höhere wahrgenommene Blendung bei sogenannten Matrixleuchten (z.B. Lee, Kim & Choi, 2007; Takahashi, Kobayashi, Onda & Irikura, 2007; Xia et al., 2011). Obwohl weitere Forschung notwendig ist, kann davon ausgegangen



Abb. 2.3-13: Lichtlösungen mit vergleichbarem Energieverbrauch: Eine Beleuchtung laut Norm (links), und eine Beleuchtung mit gleicher Beleuchtungsstärke auf dem Arbeitstisch, niedrigerem Beleuchtungsniveau im Umgebungsbereich und einer höheren Wand- und Deckenbeleuchtung, welche von Versuchspersonen besser bewertet wird (Kirsch & Völker, 2013).

werden, dass das UGR-Verfahren nicht für Leuchten mit ungleichmäßiger Leuchtdichtevertelung anzuwenden ist, insbesondere bei hohen Leuchtdichteunterschieden.

LED-Beleuchtung und Raumwirkung

Eine Eigenschaft der LED ist, dass das Licht sehr effizient verwendet werden kann. Das Licht der LED kann genau auf die Arbeitsfläche gerichtet werden. Würde aber nur der Arbeitsbereich beleuchtet, so würden zu hohe Kontraste zwischen dem hellen Arbeitsbereich und der dunklen Umgebung entstehen. Verschiedene Forschungsarbeiten haben gezeigt, dass insbesondere die Leuchtdichte der Wände eine wichtige Rolle in der Raumwirkung spielt (Flynn, Spencer, Martyniuk & Hendrick, 1973; Loe, Mansfield & Rowlands, 1994; Veitch, 2001), und Wände mit niedrigen Leuchtdichten zu niedriger Nutzerakzeptanz führen (u. a. IES, 2008). Mittlere Beleuchtungsstärken von 75 lx auf den Wänden werden zwar in der DIN EN 12464-1:2011-08 gefordert, Forschungsergebnisse zeigen jedoch, dass höhere Beleuchtungsstärken die Nutzerzufriedenheit erhöhen (Abb. 2.3-13). Die resultierende Leuchtdichte auf der Wand (in einer Bandbreite von 20° über und unter der Blickrichtung) sollte zwischen 30 und 40 cd/m² liegen, was einer

Beleuchtungsstärke zwischen 200 und 250 lx entspricht (Loe et al., 1994; Newsham, Arsenaault, Veitch, Tosco & Duval, 2005; Newsham, Marchand & Veitch, 2004; van Ooyen, van de Weijgert, J.A.C. & Begemann, 1987).

LED-Beleuchtung und Schatten

Wenn kleine LED-Leuchten oder Leuchten mit sichtbaren LED-Arrays oder -Matrizen eingesetzt werden, können diese harte Schlagschatten oder Mehrfachschatten verursachen (Abb. 2.3-14). Im Moment gibt es kein Bewertungsverfahren, das die Akzeptanz von Schatten quantifizieren kann. Da harte Schatten oder Mehrfachschatten bei typischen Bürotätigkeiten störend oder verwirrend auf die meisten Nutzer wirken, sollte diese Art von Schatten weitgehend vermieden werden.

Neben den Güteigenschaften auf Produktebene, wie z. B. die Farbwiedergabe, das Flimmern oder die Lichtausbeute der LEDs, ist bei der Anwendung in Büroräumen außerdem darauf zu achten, dass die Lichtquelle nicht zu engstrahlend ist und Wände ausreichend beleuchtet werden, und dass die Leuchtdichteunterschiede innerhalb der Lichtaustrittsfläche der Leuchte durch einen Diffusor oder durch Übergangsbereiche (z.B. Abb. 2.3-15) reduziert werden.



Abb. 2.3-14: Mehrfachschatten, verursacht durch eine Leuchte mit sichtbarem LED-Array

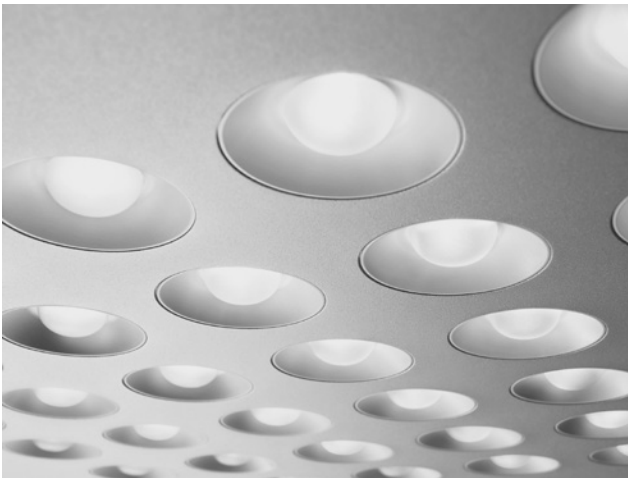


Abb. 2.3-15: Die Beleuchtung der Schrägen der Optikelemente, in der die LEDs platziert sind, reduziert die Leuchtdichteunterschiede innerhalb der Lichtaustrittsfläche.

2.3.5 Biologische Lichtwirkungen

Das sichtbare Licht beeinflusst den Menschen in vielfältiger Weise auch über den eigentlichen Sehvorgang hinaus. Die Effekte lassen sich dabei grob einteilen in psychologisch-emotionale und in physiologisch-regula-

torische Wirkungen. Erstere haben viel mit dem Ambiente und der ästhetischen Wirkung einer Umgebung zu tun und wirken sich direkt auf die Zufriedenheit aus. Die physiologisch-regulatorischen Wirkungen auf den Menschen werden ihm üblicherweise nicht bewusst und sind der Allgemeinheit auch bisher wenig bekannt. Dabei haben diese Wirkungen eine biologische Grundlage in der Anatomie und Physiologie des Menschen, und die Effekte sind z. T. schon länger in den Lehrbüchern der Medizin zu finden. Allerdings war das Verständnis der Wirkungen bisher sehr lückenhaft und es fehlte ein geeigneter Zugang, um das zugrunde liegende System zu erforschen. Erst Anfang dieses Jahrtausends wurde ein solcher Weg in Form spezieller Lichtrezeptoren gefunden. Seitdem hat die wissenschaftliche Forschung viele grundlegende Bausteine zum Verständnis sogenannter nicht-visueller Wirkungen gelegt – in Abgrenzung zu den visuellen Wirkungen, also dem eigentlichen Sehvorgang. In der Lichttechnik und z. T. auch in der biomedizinischen Forschung haben sich dafür die Namen »nicht-visuelle«, »biologische«, »circadiane« und neuerdings auch »melanopische« Wirkungen eingebürgert.

Die bekannteste Wirkung dieses Systems ist die Synchronisation der inneren Uhr und damit die Steuerung des Schlaf/Wach-Rhythmus anhand des natürlichen Tag/Nacht-Zyklus. Diese Wirkungen werden häufig auch als circadian bezeichnet. Sie sorgen dafür, dass der Mensch sich in seiner natürlichen Umwelt zeitlich orientieren kann und sich entsprechend sinnvoll verhält, z. B. dass er sich während der Nacht zurückzieht und schläft. Für diese Synchronisation mit der Natur ist das Hormon Melatonin wesentlich, es macht uns am Abend müde und wirkt schlaffördernd. Daneben gibt es aber auch biologische Lichtwirkungen, die offensichtlich nicht vom Melatonin abhängen: Licht – über die Augen aufgenommen – stimuliert verschiedene Hirnkerne, die aktivierend auf das gesamte Gehirn wirken. Diese Aktivierung findet im Zeitraum weniger Minuten statt und ist besonders am Tag wichtig, wenn eine hohe Leistungsfähigkeit des Gehirns gefordert ist.

Biologische Lichtwirkung in der Nutzerbewertung

Gezielte Anwendungsstudien konnten belegen, dass sich eine nach biologischen Gesichtspunkten verbesserte Beleuchtung positiv auf die Gesundheit und die Leistungsbereitschaft der Nutzer auswirkt. Eine verbesserte Lichtsituation am Tag fördert den folgenden Nacht-

schlaf. Natürlich sollte man das Licht am Abend entsprechend anpassen, um einen optimalen Schlaf zu gewährleisten und Störungen der Biologie zu vermeiden. Solche Maßnahmen haben z. B. in Pflegeheimen mit dementen Personen das Schlaf-/Wach-Verhalten deutlich verbessert. Andere Studien zeigen, dass dies auch bei gesunden und jüngeren Personen wirkt.

Besseres Licht am Tag beeinflusst aber auch direkt die geistige Leistungsfähigkeit. So haben mehrere Studien gleichlautend positive Effekte auf den Lernerfolg von Schülern gezeigt (Barkmann, Wessolowski & Schulte-Markwort, 2012; Govén, Laike, Raynham & Sansal, 2009; Keis, Helbig, Streb & Hille, 2014), die den Effekten früherer Studien mit mehr Tageslicht entsprechen (Heschong-Mahone-Group, 1999). Studien am Arbeitsplatz haben zudem ergeben, dass Lichtkonzepte, die die biologischen Lichtwirkungen einbeziehen, dazu führen, dass Mitarbeiter ihre Leistungsfähigkeit und ihr Wohlbefinden positiv einschätzen (Viola, James, Schlangen & Dijk, 2008).

Biologische Lichtwirkung nutzen

Für gute biologische Wirksamkeit des Lichts sollten die Beleuchtungsstärke, das Spektrum, die Lichtverteilung und die zeitliche Steuerung der Beleuchtung angepasst werden (siehe Abb. 2.3-17). Generell signalisiert Licht dem Körper, dass es Tag ist und somit die Zeit für Aktivität und **Leistungserbringung**. Höhere Beleuchtungsstärken am Tag sind hierfür förderlich, z. B. führen sie zu einer höheren Ausschüttung von Melatonin ins Blut am darauf folgenden Abend. Am späten Abend und in der Nacht stören sie aber den Rhythmus und den Schlaf.

Gemessen wird das Licht für unser biologisches System hauptsächlich mit den fotosensiblen Ganglienzellen. Deren Fotopigment Melanopsin wird durch blaues Licht angeregt, mit einem Maximum der Empfindlichkeit bei 480 nm Wellenlänge. Für die Tag/Nacht-Steuerung ist also der Blauanteil im Licht wichtig. Kalt-weißes Licht mit einem hohen Blauanteil ist am Tag empfehlenswert, stört in den Abend- und Nachtstunden jedoch stärker als warmweißes Licht.

Auch die Lichtverteilung ist bedeutsam für die beabsichtigte Wirkung. Da es nur relativ wenige lichtempfindliche Ganglienzellen weit verteilt in der Netzhaut des Auges gibt, kann man einen größeren Teil dieser Zellen nur mit einer großflächigen Lichtquelle beleuchten. Zudem deuten Studien darauf hin, dass die Zellen im unteren Teil

Biologische Lichtwirkungen verstehen

Biologische Lichtwirkungen werden durch eine Stimulation von Lichtrezeptoren im menschlichen Auge ausgelöst. Neben den bekannten Lichtrezeptoren für das Sehen, den Stäbchen und Zapfen, kennt man heute auch die sogenannten melanopsinhaltigen retinalen Ganglienzellen, die besonders für biologische Lichtwirkungen verantwortlich gemacht werden. Diese fotosensiblen Ganglienzellen (nur ein kleiner Teil der Ganglienzellen in der Netzhaut) wandeln selbst Licht in Nervenimpulse um und senden diese Information über einen Nervenpfad ins Gehirn. Daneben erhalten sie auch Signale von den Stäbchen und Zapfen, die die Wirkung beeinflussen können. Das genaue Zusammenspiel der einzelnen Rezeptoren zum Gesamteffekt ist heute noch Gegenstand intensiver Forschung. Die Signale der Ganglienzellen im Auge werden in verschiedene Kerngebiete des Gehirns geleitet und lösen dort regulatorische Wirkungen aus (siehe Abb. 2.3-16).

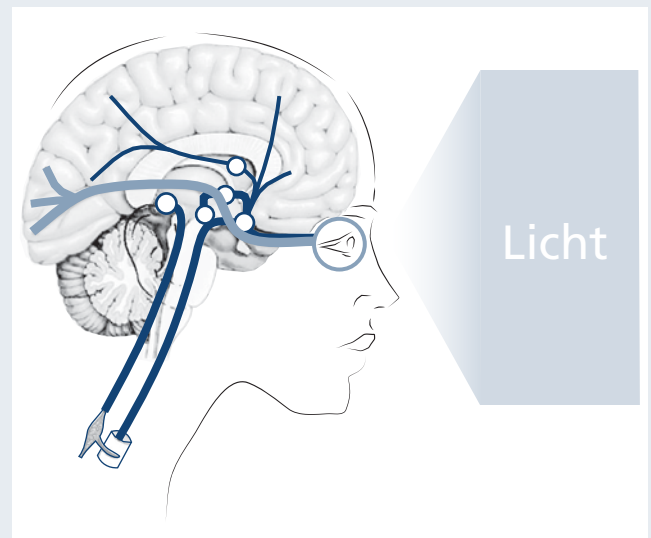


Abb. 2.3-16: Der Sehpfad (hellblau) vermittelt die visuellen Wirkungen. Biologische Lichtwirkungen beruhen auf einem weitgehend unabhängigen Nervenpfad (dunkelblau), der das Auge und verschiedene Zentren im Gehirn verbindet.

der Netzhaut empfindlicher sind. Eine optimale Stimulation vieler fotosensibler Ganglienzellen kann also mit einer flächigen Beleuchtung aus dem oberen Teil des Raums erzielt werden. Man kann davon ausgehen, dass in der Natur der blaue Himmel diese Funktion ausübt. Übertragen auf die Beleuchtung bedeutet dies, kühl-



Abb. 2.3-17: Beispiel für eine biologisch wirksame Bürobeleuchtung. Das Tag-Szenario (links) zeichnet sich durch eine flächige Aufhellung des oberen Raumes mit einer kühlen Lichtfarbe aus. Für das Abend/Nacht-Szenario wird eine warme Lichtfarbe benutzt und das Licht wird nur zur Beleuchtung der Sehaufgaben eingesetzt.

weißes Licht mit einem höheren Blauanteil an Decke und oberer Wand von Räumen einzusetzen, in denen sich die Nutzer am Tag lange aufhalten, z. B. im Büro. In Räumen, die am Abend und in der Nacht genutzt werden, z. B. Wohnzimmer und Bad, sollten vorzugsweise warm-weiße Lichtquellen bei möglichst niedriger Beleuchtungsstärke genutzt werden – ausreichend, um sehen zu können, aber nicht aktivierend.

Wie beschrieben ist dieser Lichtreiz am Tag für uns sinnvoll, die Nacht dagegen ist für Regeneration, Wachstum und Reparatur vorgesehen. Diese nächtliche Erholung ist unersetzlich für unsere Gesundheit. Eine künstliche Verlängerung des Tages verringert die Erholungsphase. Während man am Tag den Lichtreiz praktisch nicht »überdosieren« kann (die Lichtwirkung im Außenraum lässt sich mit künstlicher Beleuchtung kaum übertreffen), ist es in der Nacht natürlicherweise dunkel. Nach heutigem Kenntnisstand macht uns eine höhere Lichtexposition am Tag robuster gegen Störungen in der Nacht. Bis heute sind die langfristigen gesundheitlichen Folgen von gestörter Nachtruhe, Störungen der inneren Uhr und des Nachschlafes nur in Ansätzen verstanden. Dass nächtliche Arbeitsphasen für unsere Gesundheit auf Dauer nicht förderlich sind, zeigen aber viele Studien. Licht mit hoher biologischer Wirksamkeit zur Aktivierung und Licht mit geringer biologischer Wirksamkeit als Gegenpol dazu haben sehr wahrscheinlich das Potenzial, in der Gesundheitsproblematik von Schichtarbeit wesentlich zu helfen. Wie es allerdings gestaltet sein muss, um langfristig den Spagat zwischen Gesundheit,

Produktivität und Sicherheit zu unterstützen wird gerade erst wissenschaftlich erarbeitet.

2.3.6 Empfehlungen für Planungspraxis und Gebäudebetrieb

Der visuelle Komfort wird beeinflusst von Entscheidungen zu Einzelaspekten wie Baukörper und Rohbauöffnung, Fassadentechnik, elektrische Beleuchtung, Lichtmanagement und Systemintegration, die während des Planungsprozesses getroffen werden.

Übergeordnete Bewertungssysteme versuchen, die unterschiedlichen Einzelaspekte des Themenkomplexes »visueller Komfort« zusammenzuführen. Für den erfolgreichen Betrieb von Beleuchtungs- und Sonnenschutzanlagen sind die Inbetriebnahme und die Abstimmung zwischen den technischen Gewerken von Bedeutung.

Einfluss von Baukörper und Rohbauöffnungen

In Büroräumen ist das Tageslicht im Allgemeinen die dominierende Lichtquelle: Zu 93 % der üblichen Arbeitszeiten liegt die Außenbeleuchtungsstärke über der für Büroräume geforderten Mindestbeleuchtungsstärke von 500 lx. Das Tageslicht kann dort bei sorgfältiger Planung bis zu 80 % der erforderlichen Beleuchtung beisteuern. Die Ausbildung des Baukörpers und der Rohbauöffnungen beeinflussen die Tageslichtversorgung von Arbeitsbereichen und die mögliche Sichtverbindung der Nutzer nach außen an allererster Stelle. In Räumen mit geringer

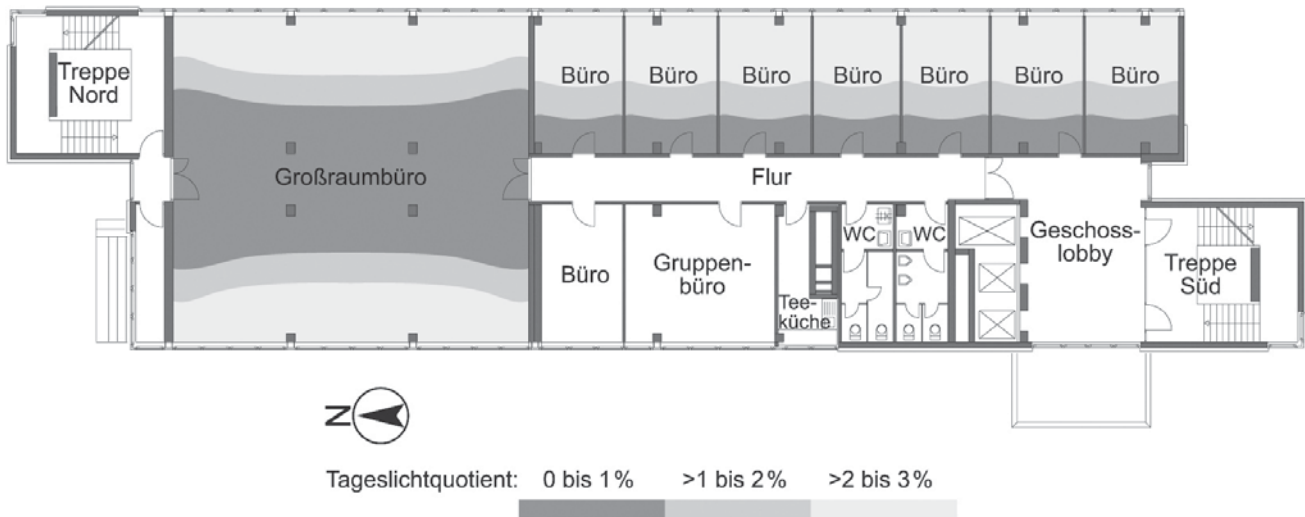


Abb. 2.3-18: Grundriss eines Bürogebäudes mit Zellenbüros und einem Großraumbüro. Die Auswirkung der unterschiedlichen Raumgrößen auf die Tageslichtversorgung ist anhand der Tageslichtquotienten deutlich zu sehen.

Tiefe (z. B. Einzelbüros bis 5 m Raumtiefe) profitieren die dort arbeitenden Mitarbeiter von einer guten natürlichen Belichtung und Sichtverbindung nach außen, wie exemplarisch in Abbildung 2.3-18 dargestellt. Bei kompakten Grundrissen (z. B. Großraumbüros), selbst bei Ganzglasfassaden, können dies erheblich weniger Mitarbeiter. Während in dem dargestellten Beispiel im Großraumbüro 48 % der Fläche einen Tageslichtquotienten kleiner 1 % und damit eine schlechte Tageslichtversorgung aufweisen, sind es im Einzelbüro lediglich 20 %. Lichttechnisch reichen bei üblichen Einzelbüros Lochfassaden mit je nach Verglasungstyp ca. 40 – 60 % Fensterflächenanteil aus, um Räume das Jahr über ausreichend zu belichten. Verglaste Brüstungsbereiche vor Ganzglasfassaden lassen im Allgemeinen das Licht – für die Beleuchtungsaufgabe unbrauchbar – im wahrsten Sinne des Wortes unter den Tisch fallen, führen unter Umständen aber zu unerwünschten Wärmebelastungen des Raumes. In hohen Gebäuden können verglaste Brüstungen Schwindelgefühle verursachen. Generell vorteilhaft sind möglichst kleine Fensterstürze, um intensitätsstarkes Zenitlicht tiefer in die Räume einfallen zu lassen. Mindestanforderungen für die Größe der Fenster in Aufenthaltsräumen sind in den Landesbauordnungen vorgegeben und wurden bereits in Kapitel 2.3.2 diskutiert (Abb. 2.3-19). Inwieweit Verbauung den Tageslichteinfall einschränkt, wird bei den genannten Anforderungen an die Raumgeometrie bisher – bis auf das Alternativkrite-

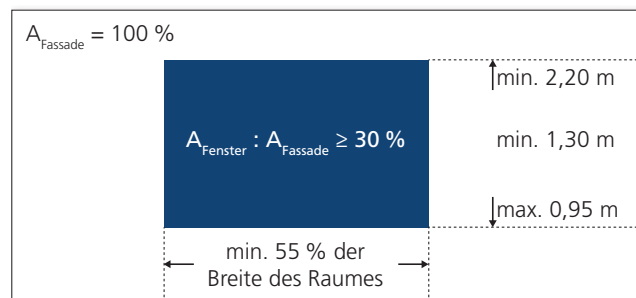


Abb. 2.3-19: Illustration der Mindestfenstergrößen gemäß DIN 5034-1

rium des Tageslichtquotienten der ASR 3.4 – nicht berücksichtigt. Wie sich die Qualität des Ausblicks klassifizieren lässt, ist zurzeit Bestandteil über die genannten Forderungen hinausgehender Diskussionen in europäischen Normungskreisen.

Auswahl der Fassadentechnik

Die Fassadensysteme aus Verglasung und Sonnen- und/oder Blendschutz übernehmen eine Schutz- und eine Versorgungsfunktion für die Arbeitsplätze. Da in unseren Breiten Himmelszustände mit hohem Bedeckungsgrad überwiegen, sind grundsätzlich Gläser mit möglichst hohem Transmissionsgrad und kleinem Rahmenanteil anzustreben. Die Auswahl der Gläser ist

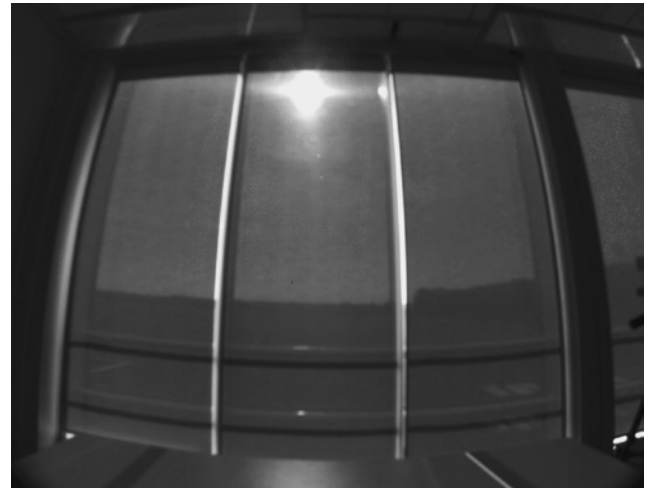


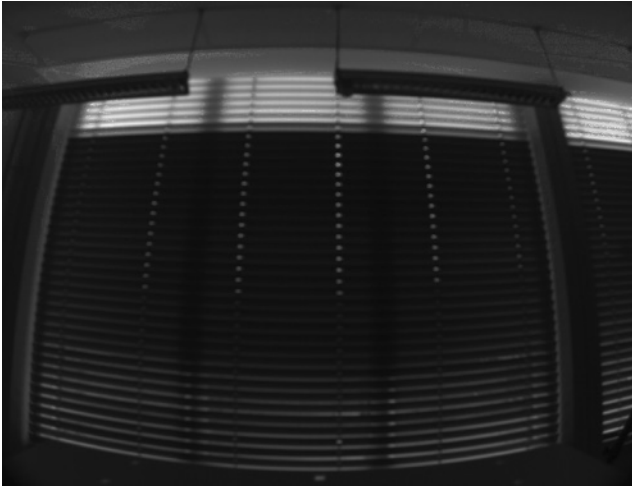
Abb. 2.3-20: Wirkung von Sonnen- und Blendschutzsystemen: Leuchtdichten auf der Fassadeninnenseite. Unverschattete Fassade (links), Fassade mit transparenter Sonnenschutzfolie (rechts), Lamellenraffstore unten geschlossen, Lichtlenkung oben (nächste Seite links), Lamellenraffstore mit geöffneten Lamellen (nächste Seite rechts). Das deutlich sichtbare Abbild der Sonne in Bild 1, 2 und 4 kann störende Direktblendung verursachen.

hierbei abhängig von den einsetzbaren Sonnen-/Blendschutzsystemen:

- Bei Gebäuden mit Geschosshöhen, die aufgrund moderater Windlasten einen beweglichen, außen liegenden Sonnenschutz ermöglichen: hoher Wärmeschutz, hohe Lichttransmission, möglichst hoher g-Wert. Exemplarische Werte einer aktuellen Dreifachwärmeschutzverglasung sind: $U_g = 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$; $g = 0,60$; $\tau_{D65} = 0,74$.
- Bei hohen Gebäuden, bei denen aufgrund höherer Windlasten nur ein innen liegender Blendschutz möglich ist: hoher Wärmeschutz, geringer g-Wert bei zugleich noch hohem Lichttransmissionsgrad, also eine hohe Selektivität der Gläser. Exemplarische Werte einer hochwertigen aktuellen Dreifachsonnenschutzverglasung sind: $U_g = 0,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$; $g = 0,34$; $\tau_{D65} = 0,63$.

Die Nutzer sind vor der direkten Wirkung hoher Leuchtdichten der Fassaden (bei Besonnung und sonstigen hohen Außenleuchtdichten) und ungünstiger Leuchtdichteverteilungen im Raum zu schützen (vgl. Abb. 2.3-20). Die Bildschirmarbeitsverordnung fordert für Bildschirmarbeitsplätze die Ausstattung der Fenster mit geeigneten, verstellbaren Lichtschutzvorrichtungen. Generell sollte hierbei der Sonnen- und/oder Blendschutz allerdings eine Versorgung des Raumes mit natürlichem Licht zulassen. Um zu hohe thermische Belastungen zu ver-

meiden, sollte dies abgestimmt erfolgen, indem beispielsweise das obere Viertel des Sonnenschutzes (oberhalb Augenhöhe) direktes Sonnenlicht über die Decke – blendungsunkritisch – in tiefere Raumbereiche lenkt. Generell ist zu beachten, dass Sonnenschutzgläser allein keinen ausreichenden Blendschutz bereitstellen, genauso wenig wie z. B. durchsichtige Sonnenschutzfolien, da beide Lösungen direktes Sonnenlicht nicht ausblenden. Durchsichtige Sonnenschutzfolie senkt den Diffuslichteinfall in Teilen stark herab, sodass die Räume trotz direkter Besonnung dunkel erscheinen können. Auch bei aktiviertem Sonnenschutz ist eine Sichtverbindung nach außen wünschenswert. Dies kann z. B. bei den am Markt am weitesten verbreiteten Lamellenraffstoren über weite Teile des Jahres mithilfe einer sog. **Cut-off**-Steuerung oder auch durch den Einsatz speziell profilierter nicht drehbarer Lamellen sichergestellt werden. Auch bei erprobten und sinnvollen (Steuerungs-)Konzepten sind Eingriffsmöglichkeiten der Nutzer von großer Bedeutung für die Akzeptanz eines Systems. Zur Blendungsbewertung von Sonnen- und Blendschutzsystemen sind Hinweise in DIN EN 14501 zu finden. Blendschutzsysteme werden dort in einer vierstufigen Klassifizierung danach differenziert, ob und wie viel direktes Sonnenlicht durchtritt. Weitere dort enthaltene Klassifizierungskriterien sind »Sichtkontakt nach außen«, »Tageslichtnutzung« und »Farbwiedergabeindex«. Eine dem UGR-Verfahren aus dem Bereich der künstlichen



Beleuchtung entsprechende objektbezogene Bewertung wird mit dem in Kapitel 2.3.1 angesprochenen Bewertungsverfahren **Daylight Glare Probability DGP** ermöglicht. Dies ist jedoch bisher nicht in einfache Anforderungssysteme eingeflossen und muss noch mithilfe lichttechnischer Simulationsverfahren objektbezogen ermittelt werden.

Tageslichtversorgung und Tageslichtautonomie

Zur Bewertung der natürlichen Beleuchtungsverhältnisse werden heute üblicherweise der Tageslichtquotient als »Worst-case-Abschätzung« für bedeckte Tage und die relative Nutzbelichtung (auch als Tageslichtautonomie bezeichnet) herangezogen. Die relative Nutzbelichtung beschreibt den Anteil Tageslicht an der erforderlichen Belichtung über einen z. B. monatlichen oder jährlichen Zeitraum. Minimalanforderungen des Tageslichtquotienten von 0,9 % in halber Raumtiefe sind in DIN 5034 geregelt. Gut belichtete Räume sollten auf einen Tageslichtquotienten von 2–3 % in Raummitte ausgelegt werden. Da bis dato nur recht aufwendig zu bestimmen, halten Empfehlungen für die Tageslichtautonomie erst langsam Einzug in Anforderungssysteme (vgl. auch den folgenden Infokasten »Visueller Komfort in der Nachhaltigkeitszertifizierung«). Schlecht belichtete Räume weisen Werte von etwa 50 % auf, gut belichtete Räume können bis zu 80 % erreichen. Ein einfaches Abschätzungsverfahren ist in DIN V 18599-4 enthalten, ansonsten muss auf Simulationsverfahren zurückgegriffen werden.

Anforderungen an die elektrische Beleuchtung

Zentrale Konzepte und Anforderungen in der Planung der elektrischen Beleuchtung sind heute:

Ungleich der früher üblichen, einheitlich flächigen Ausleuchtung kann die Beleuchtung auf Bereiche der Sehaufgabe und Umgebungsbereiche abgestimmt werden. Dies ermöglicht auch differenzierte Lösungen, wie 2-Komponenten-Beleuchtung (Stehleuchte und Arbeitsplatzleuchte), die z. B. gut für flexible Raumnutzungskonzepte geeignet sind.

Das Konzept des **Wartungswertes der Beleuchtungsstärke** berücksichtigt Alterungsprozesse der Anlage. Damit soll die beauftragte Qualität der Beleuchtung über die gesamte Anlagenlebensdauer sichergestellt werden. In den Bereichen der Sehaufgabe in Büros werden mindestens 500 lx gefordert. Üblicherweise werden Beleuchtungsanlagen auch aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und der Nachhaltigkeit (Energieverbrauch) auf diese Mindestanforderungen ausgelegt. Entsprechend werden tageslichtabhängige Kunstlichtkontrollsysteme in der Regel auf 500 lx ausgelegt. Die Möglichkeit, individuell ein höheres oder niedrigeres Beleuchtungsstärkeniveau zu wählen, wird von manchen Nutzern geschätzt (siehe Kap. 2.3.3).

Durch Vorgabe von Grenzwerten für die psychologische Blendung wird der Forderung nach Entblendung der Anlagen Rechnung getragen. Für Büros sind UGR-Werte ≤ 19 gefordert. Übliche, am Markt verfügbare Beleuchtungssysteme erfüllen die wesentlichen Anforder-



Abb. 2.3-21: Unterschiedliche Betriebsweisen von Lamellenraffstores: vollständig geschlossen (links), **Cut-off**-Betrieb (rechts), Lichtlenkung im oberen Behangteil (nächste Seite links) und Lichtlenkung im oberen Behangteil bei ungestörter Aussicht im unteren Behangteil (nächste Seite rechts).

rungen hinsichtlich Blendungsbegrenzung heute ohne Weiteres.

Entsprechend der Sehanforderung variieren in Büros die geforderten Farbwiedergabewerte zwischen $R_a \geq 80$ für normale und $R_a \geq 90$ für anspruchsvollere Aufgaben. Auch diese Vorgaben stellen bei der heute verfügbaren Lampentechnik keine sonderlich hohe Anforderung mehr dar.

Diese dargestellten Konzepte sind im Wesentlichen Grundlage der DIN EN 12464-1 und in ähnlicher Form z. B. der Schriften von Berufsgenossenschaften. Darüber hinaus sind mit der Neuauflage der Norm DIN EN 12464-1 von 2011 ergänzende Kriterien bzgl. der Lichtverteilung im Raum eingeführt worden. So wird für die **zyindrische Beleuchtungsstärke** ein Wert von mindestens 50 lx gefordert, der sich im Allgemeinen noch mit einer rein direkten Beleuchtung erreichen lässt. Für Bereiche mit höheren Anforderungen an die visuelle Kommunikation wird eine zyindrische Beleuchtungsstärke von 150 lx angeraten. Dies ist in der Regel nur mit direkt/indirekten Beleuchtungssystemen zu erreichen.

Die im Kapitel 2.3.5 dargestellten Forschungsanstrengungen zu Fragen der biologischen Wirkung von Licht können zukünftig in neue Anforderungen an Beleuchtungssysteme münden. Die DIN SPEC 67600 »Biologisch

wirksame Beleuchtung – Planungsempfehlungen« listet abhängig von der Nutzungsart (analog DIN EN 12464) Vorschläge zur biologisch wirksamen Beleuchtung auf. Diese Empfehlungen beziehen sich jedoch nur auf das künstliche Licht und setzen sich nicht mit dem Tageslichteinfluss auseinander. Die Wirkung durch elektrisches Licht ist zukünftig in diesen Zusammenhang zu stellen.

Auch das Vordringen der LED-Beleuchtungssysteme erfordert eine Überprüfung der bestehenden Beleuchtungsanforderungen. LEDs stellen Punktlichtquellen mit – im Vergleich zu herkömmlichen Leuchtstofflampen – erheblich höheren Leuchtdichten dar, die andere Spektren aufweisen (und damit bisherige Farbwiedergabewertungen zur Prüfung stellen). Sie werden zukünftig erheblich dynamischere Beleuchtungsszenarien (in Niveau, Verteilung, Lichtfarbe) ermöglichen.

Lichtmanagement und Systemintegration

Ziel des Lichtmanagements ist es, den Tageslichteinfall durch die Fassade und die elektrische Beleuchtung so abzustimmen, dass für den Nutzer gute Sehbedingungen erreicht werden. Dies sollte bei einem möglichst ressourcenschonenden Betrieb der Anlage erfolgen.



Erfahrungen zeigen, dass automatisierte Systeme zu-
meist nur akzeptiert werden, wenn sie vom Nutzer über-
steuert werden können, siehe dazu auch Kapitel 2.5
»Individuelle Regelmöglichkeiten«. Generell ist eine ein-
fache, intuitive Bedienbarkeit anzustreben. Der Nutzer
sollte automatisierte Zustandsänderungen an der Fassa-
de oder im Kunstlichtangebot nach Möglichkeit nicht
oder nur wenig bemerken. In der Fassadensteuerung
sollten **Schalthysteresen** vorgesehen werden. Elektrische
Beleuchtung sollte idealerweise kontinuierlich ge-
dimmt werden, da das abrupte Schaltverhalten »Ein/
Aus« geregelter Anlagen häufig nicht akzeptiert wird.
Sonnenschutzsysteme wie Behänge können heute diffe-
renziert angesteuert werden, wie in Abbildung 2.3-21
dargestellt. So kann z.B. ein konventioneller Behang
mittels Gebäudeleittechnik (GLT) im »Cut-off-Modus«
betrieben werden, in dem ein Sonnenstandsrechner für
Betriebszeit, Gebäudelage und Fassadenorientierung je-
weils die ideale Lamellenneigung ermittelt. Neben zent-
ralem Windwächter und Frostschutzfunktionen sollten
bei vorhandener GLT-Infrastruktur Fassaden nach dem
thermisch optimalen Zustand betrieben werden, wenn
die Räume nicht belegt sind. Das setzt Präsenzdetektoren
voraus. Passive Solargewinne lassen sich damit durch
Deaktivierung des Sonnenschutzes im Winter nutzen

und das Überwärmungsrisiko durch Aktivierung des
Sonnenschutzes im Sommer verringern.
Eine kontinuierlich dimmbare, tageslicht- und belegungs-
abhängige Kontrolle der Beleuchtung in Büros setzt
Leuchten mit dimmbaren elektronischen Vorschaltgeräten
und einen entsprechenden Lichtregel- oder -steuerkreis
voraus. Funktional können die Lösungen als Bestandteil
einer GLT oder als autonome Lösung umgesetzt werden.
Autonome Lösungen können bereits ab ca. 10 €/m² rea-
liert werden, bieten allerdings nicht die zuvor ange-
sprochene logische Verknüpfung mit der Fassade.
Da elektrisches Licht und Fassade unterschiedlichen
Gewerken zugeordnet sind, ist auf eine rechtzeitige
und sorgfältige Abstimmung in der Planung zu achten.
Oft werden für Fassade und Ansteuerung der elektri-
schen Beleuchtung in den Räumen unterschiedliche Bus-
systeme eingesetzt, sodass häufig erst eine Systeminte-
gration eine zufriedenstellende Lösung bietet.
In der DIN V 18599-11 werden verschiedene GLT-Funk-
tionen – auch das Lichtmanagement – zu Güteklassen
zusammengefasst. Die CIE erarbeitet in dem Komitee
TC 3-49 zurzeit Entscheidungskriterien für den Einsatz
von Lichtsteuerungen und in dem Zuge eine systemati-
sche Übersicht von Lichtsteuerungskonzepten. In der
Energieeinsparverordnung EnEV 2014 ist das Licht-

management als sogenannte Referenztechnik auch für Büros vorgegeben.
Tabelle 2.3-1 enthält eine Übersicht relevanter Anforderungen.

Elektrische Beleuchtungsanlagen betreiben

Funktionsumfang und Komplexität von Raumbeleuchtungsanlagen wachsen kontinuierlich. Um einen reibungslosen Betrieb der Anlagen zu gewährleisten, sollte eine sorgfältige Inbetriebnahme und eine kontinuierliche Überprüfung des ordnungsgemäßen Betriebs sichergestellt werden. Bei der Inbetriebnahme ist vor allem das Einmessen von Lichtmanagementsystemen wichtig, da ansonsten auch planerisch richtig ausgelegte Anlagen geforderte **Wartungswerte der Beleuchtungsstärke** unterschreiten oder aber die Anlagen zu viel Licht abgeben und damit energetisch ineffizient arbeiten. Über die Betriebsdauer der Anlage ist der Wartungsplan (Lampentausch, Reinigung der Leuchten, Güte der Reflektionsgrade der Raumumschließungsflächen) zu beachten. Eine regelmäßige Inspektion von Beleuchtungsanlagen, wie bekannt aus anderen Gewerken, z.B. der

Kältetechnik (geregelt in der EnEV), ist noch nicht eingeführt. Vereinzelt bietet die Beleuchtungsindustrie aber bereits Servicetechniker für die Inbetriebnahme und Anlagenwartung an. In der Innenbeleuchtung verstärkt aufkommende Betreibermodelle von Anlagen werden diesen Bedarf voraussichtlich weiter steigern.

Lichttechnische Planung optimieren

Natürliche Beleuchtung, elektrisches Licht und Gebäudemanagement fallen zumeist in verschiedene Zuständigkeiten (Fassaden- bzw. Elektroplaner). Nur selten werden gesamtheitlich Tages- und Kunstlichtfragen vertretende Lichtplaner in Projekte eingebunden. Die Tageslichtplanung ist nach wie vor nicht vollumfänglich in der breiten Planungspraxis angekommen. Gründe liegen in der Komplexität durch die oft hohe Individualität der Projekte (kaum standardisierte Lösungen). Wirtschaftlich ist das Thema Tageslicht heterogen zwischen Fassaden- und Sonnenschutzherstellern als auch der Beleuchtungsindustrie aufgeteilt; eine vermarktende »Tageslichtindustrie« fehlt. Dies erklärt auch, warum das ganze Spektrum der Tageslichtpotenziale im gesamt-

Anforderungen, Fachnormen und Regularien			
Tageslicht DIN 5034	Beleuchtung von Arbeitsstätten DIN EN 12464-1	Kunstlicht DIN EN 5035-7	Energetische Bewertung – Beleuchtung DIN V 18599-4 DIN EN 15193-1
Sonnenschutz DIN EN 14 500 DIN EN 14 501	Biologisch wirksame Beleuchtung DIN SPEC 67600	Farbwiedergabe DIN 6169	Optimierung von Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung VDI 6011
Farbwiedergabe Gläser DIN EN 410			
Arbeitsstätten- verordnung ArbStättV	Technische Regeln für Arbeitsstätten – Beleuchtung ASR A3.4	Bildschirmarbeits- verordnung BildscharbV	Berufsgenossen- schaftliche Regeln BGR
Offene Fragestellungen			
Farbwiedergabe Gläser und Sonnenschutz	Sehen im Alter	Lichtmanagment	Inbetriebnahme, Betrieb

Tab. 2.3-1: Zusammenstellung relevanter Anforderungen, Fachnormen, und Regularien sowie offener Fragestellungen

energetischen Kontext nur selten kommuniziert wird. Tageslicht substituiert nicht nur Kunstlicht, sondern trägt auch gleichzeitig ganz wesentlich zur Minderung möglicher Heiz- und Kühllasten bei. Investoren sollten deshalb ein Planungsbudget für Tageslicht vorsehen.

Möglichkeiten, die Planungsprozesse selbst zu verbessern, liegen darin, die Tageslichtplanung zu vereinfachen, z. B. durch Erweiterung frei verfügbarer Kunstlichtplanungssoftware (s. u.), die Planungszusammenhänge in Aus- und Weiterbildung besser zu vermitteln und die Vorteile einer profunden Tageslichtplanung deutlicher zu machen.

Im Bereich elektrischer Beleuchtung ist eine zufriedenstellende Planung von Anlagen ebenfalls noch nicht flächendeckend festzustellen. Nach Schätzungen des Zentralverbandes Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V. (ZVEI) wird der Großteil der elektrischen Beleuchtungsanlagen in Deutschland gar nicht oder nicht nach dem aktuellen Stand der Anforderungen und Technik geplant. Dies ist verantwortlich für z. T. erhebliche Überinstallationen und damit unnötig hohe Investitions- und auch Betriebskosten, aber auch für Unterinstallationen vor allem im Bereich der jungen LED-Technik (Reduktion der Lichtströme zugunsten der Darstellung der Wirtschaftlichkeit).

Um Fehlinstallation zu vermeiden, empfiehlt es sich, z. B. planerseitig auf von der Lichtbranche ständig aktualisierte, kostenfreie Planungssoftware wie DIALux (www.dial.de) oder Relux (www.relux.info) zurückzugreifen. In Teilen werden Lichtplanungsleistungen von größeren Leuchtenfirmen direkt angeboten.

2.3.7 Quellen und weiterführende Literatur

Quellen

ASR A3.4: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Ausschuss für Arbeitsstätten (Hrsg.) (2011). Technische Regeln für Arbeitsstätten. Beleuchtung. ASR A3.4. Ausgabe April 2011. Zuletzt geändert GMBL 2014, S. 287.

Barkmann, C., Wessolowski, N. & Schulte-Markwort, M. (2012). Applicability and efficacy of variable light in schools. *Physiology & behavior*, 105 (3), 621–627.

Bullough, J. D., Hickox, K. S., Klein, T. R. & Narendran, N. (2011). Effects of flicker characteristics from solid-state lighting on detection, acceptability and comfort. *Lighting Research and Technology*, 43 (3), 337–348.

Visueller Komfort in der Nachhaltigkeitszertifizierung

Auf Basis des momentanen Wissenstandes fragen die Steckbriefe »visueller Komfort« der Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme **DGNB** und **BNB** im Rahmen der Zertifizierung von Gebäuden einen Katalog an Kriterien ab. BNB verlangt z. B. die Bewertung der Tageslichtverfügbarkeit (Gesamtgebäude und ständige Arbeitsplätze) auf Basis des Tageslichtquotienten und der relativen Nutzbelichtung, Nachweis der Sichtverbindung nach außen, Blendfreiheit Tageslicht, Blendfreiheit Kunstlicht, Lichtverteilung und Farbwiedergabe (Kunstlicht und Sonnenschutz).

Die Systeme nehmen für die Bewertung der Kriterien Bezug auf ausgewählte Fachnormen und Anforderungen. Bei der Bewertung wird generell von den zu berücksichtigenden Mindestanforderungen als Standard ausgegangen und ein besseres Abschneiden honoriert, z. B. ein Tageslichtquotient größer als 1,5 % auf mehr als 50 % der Gebäudefläche. Hierbei können bereits in der Gebäudeplanung durchgeführte Arbeiten (z. B. aus dem Bereich der EnEV/DIN V 18599) genutzt werden. Der visuelle Komfort trägt dann nach einem vorgegebenen Schlüssel zur Gesamtbewertung des Gebäudes bei (Verfahren BNB z. B. 2,41 %). Zugehörige Leitfäden geben Hinweise zu Berechnungsgängen und Anwendungsbeispielen.

Generell wächst die Bedeutung dieser Systeme. Mit Erlass des BMVBS von 2012 müssen z. B. alle großen Neubau-, Umbau- und Erweiterungsbauvorhaben des Bundes nach BNB zertifiziert werden und das zweithöchste Klassifizierungsniveau »Silber« erreichen.

CIE – Commission Internationale de L'Eclairage (Hrsg.) (2013). Review of lighting quality measures for interior lighting with LED lighting systems (CIE 205:2013). Wien: CIE.

Collins, B. L. (1975). Windows and people: A literature survey. Psychological reaction to environments with and without windows (NBS-BSS-70). National Bureau of Standards, Washington, DC (USA), Institute for Applied Technology (Ed.).

Davis, R. G. & Ginthner, D. N. (1990). Correlated color temperature, illuminance level, and the Kruithof curve. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 19 (1), 27–38.

Duane, A. (1922). Studies in monocular and binocular accommodation, with their clinical application. *Transactions of the American Ophthalmological Society*, 20, 132–157.

- Fischer, D. (1970). Optimale Beleuchtungsniveaus in Arbeitsräumen (Teile I+II). *Lichttechnik* 22 (2), 61–63., (3), 103–105.
- Flynn, J. E., Spencer, T. J., Martyniuk, O. & Hendrick, C. (1973). Interim Study of Procedures for Investigating the Effect of Light on Impression and Behavior. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 3 (1), 87–94.
- Fördergemeinschaft Gutes Licht (Hrsg.) (2009). *Industrie und Handwerk (licht.wissen, Bd. 5)*.
- Govén, T., Laike, T., Raynham, P. & Sansal, E. (2009). The Influence of Ambient Lighting on Pupils in Classrooms. In A. K. Yener & L. D. Öztürk (Hrsg.), *Proceedings of Lux Europa 2009. Lighting and the environment. 11th European Lighting Conference. Tagungsband. Licht und die Umwelt; Compte Rendu. Lumière et l'Environnement (Bd. 1, S. 341–348)*. Istanbul: Turkish National Committee on Illumination (ATMK).
- Gramm, S., Aydınli, S., Völker, S. & Kaase, H. (2013). Tageslichtnutzung in Wohn- und Arbeitsräumen zur Verbesserung der visuellen Behaglichkeit und der Aufenthaltsqualität. Abschlussbericht für die Zeit vom 01.09.2011 bis 31.03.2013 zum Forschungsprojekt. TU Berlin, Fachgebiet Lichttechnik (Hrsg.).
- Heschong-Mahone-Group (Ed.) (1999). *Daylighting in schools: An investigation into the relationship between daylighting and human performance. Summary for the Pacific Gas and Electric Company on behalf of the California Board for Energy Efficiency Third Party Program*.
- IES – Illuminating Engineering Society, New York (USA) (Ed.) (2008). *Light + Design. A guide to designing quality lighting for people and buildings (IES, DG 18–08)*.
- Ijspeert, J. K., Waard, P. W. de, Van den Berg, T. J. T. P. & Jong, P. de. (1990). The intraocular straylight function in 129 healthy volunteers; dependence on angle, age and pigmentation. *Vision research*, 30 (5), 699–707.
- Keis, O., Helbig, H., Streb, J. & Hille, K. (2014). Influence of blue-enriched classroom lighting on students – cognitive performance. *Trends in Neuroscience and Education*, 3, 86–92. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1016/j.tine.2014.09.001>
- Kirsch, R. & Völker, S. (2013). Lighting Quality versus Energy Efficiency. In Commission Internationale de L'Eclairage (CIE) (Hrsg.), *Proceedings of CIE Centenary Conference »Towards a New Century of Light«, 15/16 April, 2013, Paris, France (S. 895–902)*. Wien: CIE.
- Kruithof, A. A. (1941). Röhrenlampen mit Leuchtstoffen für allgemeine Beleuchtungszwecke. *Philips technische Rundschau*, 6 (3), 65–96.
- Lee, C. M., Kim, H. & Choi, D. S. (2007). A study on the estimation of discomfort glare for LED luminaires. In Commission Internationale de L'Eclairage (CIE) (Hrsg.), *Proceedings of the 26th Session of the CIE in Beijing, China, 4–11 July 2007 (178:2007) (S. D3-33-D3-36)*. Wien: CIE.
- Lerman, S. (1980). *Radiant energy and the eye*. New York: Macmillan Publishing Co. Inc.
- Loe, L., Mansfield, K. P. & Rowlands, E. (1994). Appearance of lit environment and its relevance in lighting design: Experimental study. *Lighting Research and Technology*, 26 (3), 119–133.
- Moosmann, C. (2014). *Visueller Komfort und Tageslicht am Büroarbeitsplatz. Eine Felduntersuchung in neun Gebäuden*. Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- Newsham, G. R., Arsenault, C., Veitch, J. A., Tosco, A. M. & Duval, C. (2005). Task lighting effects on office worker satisfaction and performance, and energy efficiency. *Leukos*, 1 (4), 7–26.
- Newsham, G. R., Marchand, R. G. & Veitch, J. A. (2004). Preferred Surface Luminances in Offices, by Evolution. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 33 (1), 14–29.
- Rea, M. S. & Freyssinier, J. P. (2011). White lighting. *Color Research & Application*, 38 (2), 82–92.
- Roberts, J. (1964). Binocular visual acuity of adults: United States – 1960–1962. Vital and health statistics. Data from the national health survey (National Center for Health Statistics, Series 11, No. 3), U.S. Department of Health, Education and Welfare, Washington D.C. (Ed). (1–27)
- Schierz, C. (2004). Wahrnehmung und Bewertung künstlich beleuchteter Räume. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 58 (2), 74–83.
- Schierz, C. (2008). Licht für die ältere Bevölkerung – physiologische Grundlagen und ihre Konsequenzen. In LiTG Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (Hrsg.), *Licht 2008. Ilmenau, 10. bis 13. September 2008; 18. Gemeinschaftstagung (S. 32–41)*. Berlin: LiTG.
- Seidl, M. (1978). *Ausreichendes Tageslicht und akzeptable Fensterabmessungen in Wohnräumen*. Dissertation, Technische Universität Berlin.
- Takahashi, H., Kobayashi, Y., Onda, S. & Irikura, T. (2007). Position Index for the Matrix Light Source. *Journal of Light & Visual Environment*, 31 (3), 128–133.
- Van de Kraats, J. & van Norren, D. (2007). Optical density of the aging human ocular media in the visible and the UV. *JOSA A*, 24 (7), 1842–1857.
- Van Ooyen, M., van de Weijert, J. A. C. & Begemann, S. (1987). Preferred Luminances in Offices. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 16 (2), 152–156.

Veitch, J. A. (2001). Psychological Processes Influencing Lighting Quality. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 30 (1), 124–140.

Viola, A. U., James, L. M., Schlangen, L. J. & Dijk, D.-J. (2008). Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 34 (4), 297–306.

Wienold, J. & Christoffersen, J. (2006). Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and Buildings*, 38 (7), 743–757.

Winn, B., Whitaker, D., Elliott, D. B. & Phillips, N. J. (1994). Factors affecting light-adapted pupil size in normal human subjects. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 35 (3), 1132–1137.

Xia, L., Tu, Y., Liu, L., Wang, Y., Peng, S.... Knoop, M. (2011). A study on overhead glare in office lighting conditions. *Journal of the Society for Information Display*, 19 (12), 888–898.

Weiterführende Literatur

Tralau, B. & Dehoff, P. (2015): Lichtqualität. Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (Hrsg.). Berlin: LitG (in Vorbereitung).

Commission Internationale de L'Eclairage (CIE)(Hrsg.) (2013). Review of lighting quality measures for interior lighting with LED lighting systems (CIE 205:2013). Wien: CIE.

Fördergemeinschaft Gutes Licht (Hrsg.) (2010). Wirkung des Lichts auf den Menschen (licht.wissen, Bd. 19). Frankfurt a. M.: Selbstverlag.



2.4 Auditiver Komfort

Gerrit Höfker, Markus Meis, Elmar Schröder

Um **auditiven** Komfort im Wohnumfeld zu erreichen, werden kurze **Nachhallzeiten** in den Räumen, hohe Schalldämm-Maße der Trennbauteile und insgesamt niedrige Schallpegel gefordert. Man versucht, die Störwirkung bei den Nutzern gering zu halten. Im Büroumfeld hingegen kann die Zufriedenheit mit der akustischen Umgebung nicht allein über die genannten Größen beurteilt werden. Neben der Beurteilung des auditiven Komforts muss auch die kognitive Leistungsfähigkeit betrachtet werden, die durch Lärm aus dem eigenen Arbeitsbereich maßgeblich beeinträchtigt werden kann.

Schall wird zu Lärm, wenn er entweder aufgrund zu hoher Schalldruckpegel gesundheitsschädlich oder belästigend ist. Im ersten Fall ist eine direkte Verbindung zwischen der physikalischen Größe des Schalldruckpegels und der Gehörschädigung zu verzeichnen. Im zweiten Fall hingegen, der der Schallexposition im Büroumfeld entspricht, bestimmen situative und persönliche Faktoren den Grad der Lästigkeit. Als situative Faktoren

werden Einflüsse wie Ort, Zeit und Situation bezeichnet, in der die Geräuschwahrnehmung auf eine Person einwirkt. Mit den persönlichen Faktoren werden die emotionalen und kognitiven Wirkungen auf den Menschen berücksichtigt. Der Mensch klassifiziert die empfangene Schalle. Ob diese als Zeichen einer guten Zusammenarbeit in einer Arbeitsgruppe oder als Störung empfunden werden, hängt wesentlich vom Empfänger und dessen Informationsverarbeitung ab. Aus diesem Grund ist es zwar für die weiteren Betrachtungen in der Raum- und Bauakustik wichtig, sich mit den physikalischen Kennwerten zu beschäftigen, die Wahrnehmung des Menschen sollte hierbei aber nie vernachlässigt werden. Bauordnungsrechtlich gibt es Anforderungen an den Schallschutz gegen Außenlärm, an den Luft- und **Trittschallschutz** aus fremden Wohn- und Arbeitsbereichen sowie an zulässige Geräusche von haustechnischen Anlagen. Für Schalle aus dem eigenen Arbeitsbereich, also aus dem Nachbarbüro eines Kollegen, aus der eigenen Mieteinheit oder von einem anderen Arbeitsplatz im

Mehrpersonenbüro, existieren keine bauordnungsrechtlichen Anforderungen.

Somit sind Größen wie Schalldruckpegel oder frequenzabhängige **Grenzkurven**, Nachhallzeiten, Schalldämm-Maße und Trittschallpegel wichtige Planungsgrundlagen, die als Voraussetzung für auditiven Komfort angesehen werden können. Es kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass allein durch die Einhaltung der genannten Größen eine hohe Nutzerzufriedenheit erreicht wird.

Es ist wichtig, die Sprachverständlichkeit als wesentliche Beurteilungsgröße im Büroumfeld heranzuziehen. Wünschenswert ist es, im Nahbereich einer Person eine hohe Sprachverständlichkeit in Kommunikationssituationen zu erzielen. Für eine geringe Störwirkung sollte hingegen bei größeren Distanzen eine geringe Sprachverständlichkeit angestrebt werden. Eine Größe zur Beurteilung der Sprachverständlichkeit ist der sogenannte Speech Transmission Index STI (Tab. 2.4-2).

Niedrige Grundgeräuschpegel, wie man sie beispielsweise durch eine gute Fassadenschalldämmung erreicht, oder eine hohe Sprachverständlichkeit durch kurze Nachhallzeiten können für die Nutzerzufriedenheit in großen Mehrpersonenbüros kontraproduktiv sein. **Maskierende** Geräusche können hier helfen, sofern sie akzeptiert werden. Um allerdings eine Akzeptanz für geräuschmaskierende Maßnahmen zu erreichen, ist es wichtig, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in den akustischen Optimierungsprozess zu integrieren.

2.4.1 Belästigung und kognitive Leistungseinbußen durch ungewollte Schalle

Die Büroarbeitswelt hat sich in den letzten Jahrzehnten dramatisch gewandelt. Sowohl die Arbeitsanforderungen als auch die akustischen Bedingungen haben sich verändert. In heutigen Büroumgebungen steht die wissensbasierte Arbeit im Vordergrund, die immer weniger routiniert abläuft, sondern eher Innovation und Kreativität erfordert. Die Anforderungen an den heutigen Büromitarbeiter steigen sowohl mit der Informationsvielfalt und den dadurch erforderlichen kognitiven Selektionsprozessen als auch mit den sich stetig verändernden Aufgaben. Auch das vernetzte Arbeiten in Teams nimmt zu, wodurch das Aufkommen spontaner Absprachen, Besprechungen und Gespräche steigt. Diesem Trend der stetig wachsenden Informations- und Kommunikations-

Tab. 2.4-1: Teildisziplinen der Akustik, die zur Bewertung der Nutzerzufriedenheit in Gebäuden wichtig sind

Bauakustik

Die Bauakustik befasst sich mit dem Schallschutz gegen Außenlärm und dem Schallschutz im Gebäude zwischen geschlossenen Räumen. Es werden die Luftschalldämmung von Wänden und Decken, der Trittschallschutz von Decken und Treppen sowie die Geräusche aus haustechnischen Anlagen betrachtet. Einige wichtige bauakustische Kenngrößen sind das bewertete Schalldämm-Maß R'_w , der bewertete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ und der zulässige Schalldruckpegel L_{AF} .

Raumakustik

Die Raumakustik befasst sich mit der Schaffung akustisch geeigneter Raumformen und -größen sowie der Anordnung schallreflektierender und schallabsorbierender Flächen, um eine für den jeweiligen Anwendungszweck geeignete Hörsamkeit von Sprache von Musik zu erreichen. Einige wichtige raumakustische Kenngrößen sind die Nachhallzeit T , Energiekriterien wie Deutlichkeitsgrad D_{50} und Klarheitsmaß C_{80} und der Speech Transmission Index STI.

Psychoakustik

Die Psychoakustik beschreibt den Zusammenhang zwischen den physikalischen Schallfeldgrößen und der menschlichen Wahrnehmung von Schallen. Angewendet werden die psychoakustischen Erkenntnisse beispielsweise in der Schallwirkungsforschung, der Datenkompression von Audioformaten sowie bei Hörgeräten.

Tab. 2.4-2: Speech Transmission Index STI

Speech Transmission Index STI

0,0 bis 0,3	Sprachverständlichkeit schlecht
0,3 bis 0,45	Sprachverständlichkeit schwach
0,45 bis 0,6	Sprachverständlichkeit angemessen
0,6 bis 0,75	Sprachverständlichkeit gut
0,75 bis 1,0	Sprachverständlichkeit ausgezeichnet

prozesse stehen Anforderungen gegenüber, Büroflächen effizient zu nutzen. Arbeitsplätze sollen auf definierten Flächen verdichtet werden, oftmals in neuen Formen des klassischen Großraumbüros, sogenannter Open-Space Flächen. Immer mehr Mitarbeiter beschwerten sich über die Akustik dort, sodass die Lärmproblematik in vielen Unternehmen ein dominantes Thema geworden ist. Bei dem Begriff Lärm handelt es sich um eine subjektive, oftmals emotional getönte, Bewertung von Schallereignissen.

So wird unerwünschter Schall als Lärm bezeichnet (Schick, 1997) und wird von den Betroffenen als Belästigung empfunden. Dabei kann sich die Belästigung einerseits als störende Interferenz bei Tätigkeiten – im anglo-amerikanischen Raum hat sich der Begriff »Disturbance« durchgesetzt –, andererseits als emotionale Reaktion, wie Ärger und Frustration (»Annoyance«), ausdrücken (Felscher-Suhr, Guski, Schuemer 1998). Für die Bewertung der empfundenen Belästigung kann die ISO/TS 15666:2003 herangezogen werden. Diese beinhaltet die Urteilsstufen »überhaupt nicht gestört oder belästigt« bis »äußerst gestört/belästigt«. Die oberen beiden Skalenpunkte der Belästigung, »äußerst oder stark gestört/belästigt«, gelten als Indikatoren einer erheblichen Belästigung.

Belästigungsreaktionen können auch durch nicht-akustische Faktoren beeinflusst werden. Diese werden als Moderatoren bezeichnet. So können sowohl Persönlichkeitseigenschaften, wie kulturelle und psychologische Faktoren (z. B. Lärmempfindlichkeit), als auch situationsgebundene Faktoren, wie Arbeitsbelastung, Büroraumgröße, Anzahl der Mitarbeiter oder Beleuchtung, das Auftreten und die Ausprägung von Belästigungsreaktionen beeinflussen (Meis & Klink, 2010). Als Belästigungswirkungen durch Büroschalle sind neben psycho-physiologischen Effekten vor allem Einbußen der kognitiven Leistungsfähigkeit zu sehen.

Lärmwirkungsmodelle

In der Lärmwirkungsforschung existiert eine Reihe von Modellen, die sich mit der Kausalität der Wirkungen beschäftigen, wobei zwischen auralen und extra-auralen Wirkungen zu unterscheiden ist (Meis & Klink 2010).

Bei den auralen Wirkungen handelt es sich sowohl um akute, wie die zeitweisen Hörschwellenverschiebungen oder das Knall- und Explosionstrauma als auch um chronische Wirkungen, wie z. B. die berufsbedingte, irreversible Lärmschwerhörigkeit. Stressmodelle und kognitive Modelle hingegen behandeln die extra-auralen Auswirkungen von Lärm. Da direkte Sinneszellenschädigungen bei einer dauerhaften Einwirkung erst ab 80 dB(A) zu erwarten sind und gemittelte Pegelwerte bei Bürolärm sich eher zwischen 40 und 65 dB(A) bewegen, sind eher die extra-auralen Lärmwirkungen im Büroalltag von Bedeutung.

Psycho-physiologisch basierte Stressmodelle beschreiben die Auswirkungen von Bürolärm. Die Anpassung an

akustische Stresssituationen erfolgt dabei in verschiedenen Stufen. Wirkt ein drastischer Akustikreiz auf den Organismus ein, wird zunächst eine Alarmreaktion (Aktivierung) ausgelöst: Ist ein Teil des vegetativen, für automatische Regulierungsvorgänge zuständigen Nervensystems erregt, erhöht sich unter anderem die Konzentration von Stresshormonen.

Psychologische Stressmodelle gehen auf Arbeiten aus den achtziger Jahren zurück. Bei dem transaktionalen Stresskonzept (Lazarus und Folkman 1984) wird eine Wechselbeziehung zwischen Umwelt und Person postuliert. Stressreaktionen entstehen demnach zeitlich sequenziell: Zunächst wird ein potenzieller Stressauslöser hinsichtlich seines Bedrohungs- und Schädlichkeitspotenzials bewertet (»Primary Appraisal«). Erst wenn ein Reiz oder eine Situation als bedrohlich oder schädigend erlebt wird, startet eine zweite Bewertungsphase (»Secondary Appraisal«), in der eingeschätzt wird, welche und wie viele Ressourcen zur Bewältigung (»Coping«) zur Verfügung stehen. In einer abschließenden dritten Phase, dem »Reappraisal«, werden dann die Bewältigungsstrategien erneut bewertet. Lärmbedingte Stressreaktionen treten demnach erst dann auf, wenn eine Person eine Situation als schädigend, bedrohlich oder als gefährlich einschätzt und versucht, diese Stress auslösende Situation zu bewältigen. Stress entsteht somit durch ein Ungleichgewicht zwischen den Anforderungen aus der Umwelt und den zur Verfügung stehenden Bewältigungsmöglichkeiten. Sehr wesentlich zur Bewältigung von Stresssituationen ist dabei die tatsächliche oder auch empfundene Kontrolle über den Stressauslöser. Da oftmals keine Kontrolle über den Lärmverursacher, z. B. einen telefonierenden Mitarbeiter, möglich ist, ist die mangelnde Kontrollmöglichkeit eine Hauptursache von Stressreaktionen im Büroumfeld.

Neben den stressbezogenen Modellen existiert eine Vielzahl kognitiver Modelle, um Leistungsdefizite unter Schalleinfluss zu erklären. Allgemein wird davon ausgegangen, dass der Mensch Informationen in verschiedenen Stufen verarbeitet (Meis & Klink 2010). Zunächst werden Informationen sensorisch – akustisch oder visuell, d. h. gehört oder gelesen – wahrgenommen und dann weiter verarbeitet. Zu den kognitiven Basisfunktionen der Informationsverarbeitung zählen Aufmerksamkeits- und Konzentrationsprozesse. Besonders unbekannte, neuartige akustische Informationen können zu Orientierungsreaktionen führen, welche die Aufmerksamkeit auf die eigentliche Tätigkeit reduzieren und die

Leistungsfähigkeit einschränken. Auch unregelmäßige, impulshaltige Schalle können die Aufmerksamkeit ablenken. Eine wesentliche Verarbeitungsstufe stellt das Arbeitsgedächtnis dar. Es ist zuständig für die vorübergehende Speicherung, hat somit eine geringe Kapazität und wird z.B. benötigt, um einen Satz inhaltlich zu verstehen. Es ist als eine wichtige und notwendige Zwischenstufe für komplexere Aufgaben, wie Schlussfolgern und Textverständnis, anzusehen. Besonders unerwünschte, irrelevante Hintergrundsprache kann die Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses einschränken.

Schallwirkung im Büroumfeld

Eine sehr große, über viele Jahre angelegte Befragung von 23 450 Teilnehmern aus rund 140 Bürogebäuden stammt aus den USA (Jensen, Arens, Zagreus, 2005). Neben allgemeinen Fragen zur Zufriedenheit mit dem Arbeitsplatz sollte sie die Wirkung der Umweltfaktoren Temperatur, Luftqualität, Lichtverhältnisse und Akustik auf die Zufriedenheit und Gesundheit der Mitarbeiter erfassen. Im Bereich Akustik wurde dabei zwischen Zufriedenheit mit dem Lärmpegel und mit der akustischen Privatsphäre, also der Privatheit eigener Gespräche, unterschieden. Der als Lärm bewertete Schall in Büroräumen wurde demnach als die größte Quelle von Belästigung und Störung angesehen, gefolgt von Temperatur und Luftqualität. Die mangelhafte akustische Qualität war dabei jedoch nicht auf den eigentlichen Lärmpegel zurückzuführen, sondern hauptsächlich auf die fehlende akustische Privatsphäre. Bürotypabhängig wurde die Störwirkung von Lärm beurteilt: Mindestens 55 % der Angestellten in Büros mit schallschirmenden Trennelementen gaben an, dass sich die Akustikqualität störend auf die Ausübung ihrer Arbeit auswirkte, während es in Großraumbüros 45 % und in Einzel- und kleinen Mehrpersonnbüros nur 25 – 35 % waren. Ähnliche Ergebnisse lieferten auch eine deutsche Studie (Schakib-Ekbatan, Wagner, Lützkendorf, 2011). Eine Studie aus Dänemark (Pejtersen, Allermann, Kristensen et al., 2006) untersuchte den Zusammenhang verschiedener Umweltfaktoren mit dem Auftreten von Krankheitssymptomen und mit der Beurteilung verschiedener psychosozialer Faktoren von rund 2 300 Teilnehmern aus 22 Bürogebäuden. Das Ausmaß der Belästigung stieg dabei nahezu linear mit der Anzahl der Mitarbeiter in einem Büro an: Während nur 6 % der Teilnehmer aus Einzelbüros sich vom

Lärm im eigenen Büro belästigt fühlten, waren es bei Mitarbeitern aus Großraumbüros über 60 %. Insgesamt zeigte eine Überblicksarbeit von Meis & Klink (2010), dass die größte und am meisten störend wirkende Lärmquelle im Büro die menschliche Sprache ist. Die am stärksten störenden Eigenschaften des Lärms sind bei der Sprache der Informationsgehalt und die Unkontrollierbarkeit.

Eine Übersicht der Studien zur Belästigungswirkung zeigte, dass der Anteil der belästigten Mitarbeiter kaum unter 30 % sinkt. Während im thermischen Bereich bereits Ziele hinsichtlich der Unzufriedenheitsrate existieren, ist man im **auditiven** Bereich noch davon entfernt. Es ist nur schwer möglich, die prozentuale Belästigungsrate zu modellieren, da viele nicht-akustische Faktoren zur Belästigungswirkung beitragen. Auch im Bereich der kognitiven **Leistungen** liegen sehr viele Studien zur abträglichen Wirkung von Sprachschallen im Büroumfeld vor. Vornehmlich bei schwierigeren Aufgaben, die das Arbeitsgedächtnis stärker beanspruchen, tritt die Auswirkung von Bürolärm häufiger zutage. In mehreren Untersuchungen, die das Merken von Text-, Zahlen- oder Buchstabenreihen (Serial Recall) beinhalteten, verschlechterte Bürolärm – besonders mit einem hohen Anteil von Sprache – signifikant die Merkleistung verglichen mit einer Ruhebedingung, z.B. Banbury & Berry 1998 und Schlittmeier & Hellbrück 2008.

Der negative Effekt des sprachlichen Störschalls wird als Irrelevant Sound Effect oder Irrelevant Speech Effect ISE bezeichnet. Demnach führen Sprachschalle oder sprachähnliche Schalle zu Leistungseinbußen des Arbeitsgedächtnisses. Bei diesem Effekt ist Verstehen der Sprache nicht zwingend erforderlich, auch eine unbekannte Fremdsprache hat abträgliche Effekte. Dieser Effekt ist weitgehend Pegel unabhängig. Dies zeigte eine Studie von Schlittmeier, Hellbrück, Thaden & Vorländer, die den Einfluss von gut und schlecht verständlicher Sprache zweier unterschiedlicher Pegel auf die Fehlerrate und die Belästigung während verschiedener bürotypischer Arbeiten analysierte: Der Pegel der Sprache (35 bzw. 55 dB) hatte zwar einen großen Einfluss auf das Ausmaß der Belästigung, eine Pegelreduktion allein bei gleichbleibender Sprachverständlichkeit senkte jedoch die Fehlerrate nicht signifikant. Erst eine Reduktion der Sprachverständlichkeit konnte dies erreichen. Auf das Arbeitsgedächtnis wirkt somit hauptsächlich nicht der Schallpegel, sondern die Informationshaltigkeit. Diese Störwirkung ist auf die spektro-temporale Struktur des

Sprachschalls zurückzuführen, die dazu führt, dass der Hintergrundschall automatisch zum kognitiven System Zugang erhält. Der ISE zählt zu den robustesten Effekten der Schallwirkung und wurde vielfach repliziert.

Kognitive Leistungseinbußen begrenzen

Raum- und bauakustische Maßnahmen können, wie im nachfolgenden Abschnitt erläutert, dazu beitragen, die kognitive Leistungsfähigkeit nicht allzu stark zu mindern. Eine weitere Möglichkeit ist es, **Maskierungsgeräusche** mittels elektroakustischer Anlagen einzuspielen, die in Abhängigkeit von den Arbeitsbedingungen und den raumakustischen Gegebenheiten mit einer hohen Flexibilität gesteuert werden. Durch ein gleichmäßiges, informationsloses Rauschen zwischen 40 und 45 dB(A) lassen sich störende Sprachgeräusche maskieren. Hierdurch sinkt der Speech Transmission Index STI, sodass die störende Sprachverständlichkeit außerhalb eines definierten Kommunikationsradius im selben Raum abnimmt und Leistungseinbußen reduziert werden können (Schlittmeier, Hellbrück 2008). Dieser Speech Transmission Index **STI** ist eine Kenngröße für die Sprachverständlichkeit und liegt im Bereich zwischen 0 (unverständlich) und 1 (ausgezeichnet). Als Richtwert für die Wirksamkeit hinsichtlich kognitiver **Leistungen** sollte der Maskierungsgeräuschpegel und/oder die Schirmungsmaßnahmen so gewählt werden, dass an der Empfängerposition ein $STI \leq 0,5$ resultiert (Jiang, Liebl, Leistner, Yang 2012). Zu beachten ist, dass oftmals unzumutbar hohe Pegel eingespielt werden müssten, wenn allein auf Maßnahmen zur Maskierung gesetzt wird. Sie sollten daher nur im Verbund mit raum- und bauakustischen Maßnahmen erfolgen. Für die Akzeptanz solcher Systeme spielen die

Information und Einbindung der Mitarbeiter in den Planungsprozess sowie die Möglichkeit zur individuellen Anpassung eine entscheidende Rolle.

2.4.2 Schallschutz und Raumakustik

Eine der wichtigsten raum- und bauakustischen Maßnahmen ist eine sorgfältige, auch unter akustischen Gesichtspunkten durchgeführte Grundrissplanung und Zonierung. Bei geschlossenen Raumformen, wie Einzelbüros und Besprechungsräumen, kann eine akustisch ungünstige Zonierung durch technische Maßnahmen kompensiert werden. Bei offenen Raumformen hingegen, wie Mehrpersonenbüros mit mehr oder weniger stark frequentierten Verkehrsflächen und ggf. mit Atrien sind die technischen Möglichkeiten der akustischen Einflussnahme sehr eingeschränkt. Gerade bei diesen offenen Strukturen ist daher ein Zonierungskonzept auf der Grundlage einer Belegungs- und Funktionsanalyse von besonderer Bedeutung. Hierzu gehören sowohl eine räumliche Abgrenzung unterschiedlicher Arbeitsgruppen hinsichtlich der Arbeitsinhalte und Arbeitsweisen als auch eine konsequente räumliche Trennung von Kommunikationszonen und stark frequentierten Verkehrswegen zu ruhigen Arbeitszonen.

Schallschutz und Raumakustik in Einzelbüros

Einzelbüros haben aus akustischer Sicht den Vorteil, dass durch einen geeigneten baulichen Schallschutz die Einwirkung akustischer Störungen von außen unterdrückt werden kann. In der Praxis unterscheidet man beim Schallschutz zwischen Standard-Einzelbüros und Einzelbüros mit Anspruch auf Vertraulichkeit. Bezüglich der Raumakustik ist diese Differenzierung nicht erforderlich.

Tab. 2.4-3: Empfehlungen an den Luft- und Trittschallschutz in Standard-Einzelbüros

Nachbarraum	Schallschutzklasse		
	A	B	C
	bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{n,T,w}$		
Büroräume (Sprachräume)	42 dB	37 dB	32 dB
gering frequentierte Verkehrsflächen	37 dB	32 dB	27 dB
hochfrequentierte Verkehrsflächen	42 dB	37 dB	32 dB
	bewerteter Standard-Trittschallpegel $L_{n,T,w}$		
Verkehrsflächen, sonstige Raumtypen	55 dB	60 dB	65 dB

Tab. 2.4-4: Empfehlungen an den Luft- und Trittschallschutz in Einzelbüros mit Anspruch auf Vertraulichkeit

Nachbarraum	Schallschutzklasse		
	A	B	C
	bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{n,T,w}$		
alle Räume außer Verkehrsflächen	50 dB	45 dB	45 dB
Verkehrsflächen	45 dB	40 dB	40 dB
	bewerteter Standard-Trittschallpegel $L_{n,T,w}$		
Verkehrsflächen, sonstige Raumtypen	55 dB	60 dB	65 dB

Tab. 2.4-5: Verbale Klassifizierung von Einzelbüros

Raumakustik-Klasse	Erwartungsniveau	Bemerkungen
A	hoch	hoher akustischer Komfort, sehr gute Sprachverständlichkeit, geringer Störpegel ($L_{NA,Bau}$)
B	mittel	mittlerer akustischer Komfort meist ausreichend, akzeptabler Störpegel
C	gering	minimaler akustischer Komfort, Beschwerden nicht auszuschließen, akzeptabler Störpegel

Im Norm-Entwurf der VDI 2569 werden drei Schallschutzstufen für Einzelbüros vorgegeben. Die Empfehlungen hängen von der Nutzung der angrenzenden Räume ab. In den Tabellen 2.4-3 und 2.4-4 sind die Empfehlungen an den **Luftschallschutz** als erforderliche bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{n,T,w}$ und an den **Trittschallschutz** als erforderlicher bewerteter Standard-Trittschallpegel $L_{n,T,w}$ dargestellt.

Im Vergleich mit Standardbüros ist bei Büros mit Anspruch auf Vertraulichkeit der bauliche Aufwand höher. Das betrifft nicht nur die Trennwände und Türen, sondern auch die flankierenden Bauteile. Hohl- und Doppelböden sowie Unterdecken müssen im Bereich der Wände unterbrochen werden, um die Wände direkt an den Rohfußboden bzw. die Rohdecke anzuschließen. Gegebenenfalls muss die Flankenschalldämmung der Fassade gegenüber dem Standardfall erhöht werden, was insbesondere bei Pfosten-Riegel-Fassaden und Vorhangfassaden aufwendig werden kann.

Gute raumakustische Bedingungen in Einzelbüros sind für interne Besprechungen und beim Telefonieren wichtig. Auch wenn der akustische Standard gegenüber Mehrpersonenbüros allein durch den gegebenen Schallschutz zu den benachbarten Räumen deutlich besser ist, sollte ein zu langer Nachhall im Raum vermieden werden. Eine zu lange **Nachhallzeit** verringert nicht nur die Verständlichkeit der Sprache aus diesem Einzelbüro beim Telefonieren, auch Gespräche innerhalb des Einzelbüros sind für beide Gesprächspartner anstrengender als nötig.

Im Norm-Entwurf der VDI 2569 werden Empfehlungen an die raumakustischen Bedingungen für Einzelbüros in drei Klassen abgestuft. Tabelle 2.4-5 beschreibt den akustischen Komfort verbal. Die Empfehlungen an die zugehörigen Kenngrößen sind in Tabelle 2.4-6 aufgeführt.

Bei der raumakustischen Planung von Einzelbüros wird meist die Raumakustik-Klasse B angestrebt, die auch

der Empfehlung in der aktuellen DIN 18041 entspricht. Allein durch einen Teppichbelag und eine Standard-Möblierung kann hierfür keine ausreichende Reduzierung der Nachhallzeit erreicht werden. Oft genügt es jedoch, Flächen in der Größenordnung von etwa 30 % bis 50 % der Raumgrundfläche für schallabsorbierende Maßnahmen vorzusehen. Ob diese Flächen im Bereich der Decke, der Wände oder des Bodens angeordnet werden, ist dabei zweitrangig. Wenn möglich, sollte aber eine Teilfläche der längeren Wand auf einer Höhe zwischen 0,8 m und 1,6 m über dem Fußboden und ein Teil der Deckenfläche Schall absorbieren.

Schallschutz und Raumakustik in Mehrpersonenbüros

Zu den Mehrpersonenbüros zählen im akustischen Sinne alle Büros, in denen an mehreren Arbeitsplätzen gleichzeitig gesprochen werden soll. In heutigen Mehrpersonenbüros sind Sprache und begleitende Kommunikationsgeräusche wie Telefonklingeln, Tastaturklappern etc. die Hauptstörquellen. Der bauliche Schallschutz zu Nachbarräumen bereitet in der Praxis kaum Probleme, wenn die Mindeststandards nicht unterschritten werden.

Im Norm-Entwurf der VDI 2569 werden Empfehlungen an den Luft- und Trittschallschutz für drei Schallschutz-Klassen gemäß Tabelle 2.4-7 angegeben. Die Einhaltung dieser Empfehlungen stellt meist kein Problem dar, während die raumakustischen Bedingungen innerhalb der Mehrpersonenbüros ein äußerst sensibles Thema sind.

Da sich die gegenseitige akustische Störung in Mehrpersonenbüros auch durch die besten technischen Maßnahmen nicht vermeiden lässt, steht zur Verbesserung der Raumakustik an erster Stelle eine sinnvolle Zonierung anhand einer Belegungs- und Funktionsanalyse. Beispielsweise birgt die Anordnung des Vertriebs mit meist

Tab. 2.4-6: Empfehlungen an die maximal zulässige Nachhallzeit T_{\max} und den zulässigen Störschalldruckpegel $L_{NA,Bau}$

Raumakustik-Klasse	T _{max} in Oktavbändern		L _{NA,Bau}
	125 Hz	250 Hz – 4 000 Hz	
A	≤ 0,8 s	≤ 0,6 s	≤ 30 dB
B	≤ 1,0 s	≤ 0,8 s	≤ 35 dB
C	≤ 1,2 s	≤ 1,0 s	≤ 40 dB

vielen und intensiv geführten Telefonaten neben der technischen Entwicklung, die eher Ruhe erfordert, erhebliches Konfliktpotenzial. Ein baulicher Schallschutz durch eine Trennwand ist in diesem Fall wesentlich erfolgsversprechender als raumakustische Maßnahmen durch Schallabsorption und Abschirmung. Erst wenn die organisatorischen Möglichkeiten zur Vermeidung der gegenseitigen Störung ausgeschöpft sind, kommen raumakustische Maßnahmen ins Spiel. Zu deren Planung ist es zunächst notwendig, sich der Ziele bewusst zu werden, die damit verfolgt werden.

Die wahrgenommenen akustischen Bedingungen in Mehrpersonenbüros hängen von vielen, auch nicht akustischen Einflussfaktoren ab. Aber selbst bei Beschränkung auf die objektiven akustischen Kriterien bleibt die Beschreibung und Bewertung der akustischen Bedingungen eine sehr komplexe Aufgabe.

Bis in die 1990er Jahre wurde die Nachhallzeit als einziges Kriterium zur akustischen Planung und Bewertung der akustischen Bedingungen verwendet. Forschungsergebnisse aus der Psychoakustik haben aber gezeigt, dass die akustischen Bedingungen in Mehrpersonenbüros bei gleicher Nachhallzeit sehr unterschiedlich bewertet werden und die Nachhallzeit somit zumindest nicht als einziges Kriterium geeignet ist. Der akustische Komfort

Tab. 2.4-7: Empfehlungen an den Luft- und Trittschallschutz in Mehrpersonenbüros

Nachbarraum	Schallschutzklasse		
	A	B	C
	bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{n,T,w}$		
Büroräume (Sprachräume)	37 dB	32 dB	27 dB
Verkehrsflächen	37 dB	32 dB	27 dB
	bewerteter Standard-Trittschallpegel $L_{n,T,w}$		
Verkehrsflächen, sonstige Raumtypen	55 dB	60 dB	65 dB

wird im Wesentlichen durch die Raumbedämpfung und die Lautstärke im Raum bestimmt. Grundsätzlich werden von Nutzern Räume mit kurzen Nachhallzeiten und geringen Störschalldruckpegeln als behaglich empfunden. Die höchste Komfortzone entspricht in etwa den akustischen Bedingungen in Wohnräumen. Neben dem Thema Wohlfühlen gibt es jedoch noch einen weiteren wesentlichen Aspekt am Arbeitsplatz, nämlich die ganz wesentlich durch verständliche Sprache beeinflusste kognitive Leistungsfähigkeit.

Das Ziel ist somit, wie bereits zu Beginn des Beitrags beschrieben, eine möglichst geringe Verständlichkeit der Sprache von benachbarten Arbeitsplätzen. Die jüngsten Forschungsergebnisse deuten mehrheitlich darauf hin, dass der Sprachverständlichkeitsindex **STI** die akustische Störung von benachbarten Arbeitsplätzen und somit die kognitive Leistungsfähigkeit gut beschreibt. In fertiggestellten Mehrpersonenbüros lässt sich der STI messtechnisch einfach ermitteln. Die rechnerische Prognose während der Planungsphase ist derzeit jedoch noch mit einigen Unsicherheiten behaftet, sodass in der aktuellen Normung als Ersatzkriterium der Sprachpegel verwendet wird.

Tab. 2.4-8: Kenngrößen zur Beschreibung der akustischen Bedingungen in Mehrpersonenbüros nach VDI 2569

akustischer Komfort	Kognitive Leistungsfähigkeit (anzuwenden nur für große Mehrpersonenbüros)
	Der Sprachverständlichkeitsindex STI ist die geeignetste Kenngröße. Aufgrund der aktuell unzureichend genauen rechnerischen Prognose wird derzeit alternativ der Sprachpegel verwendet.
Die Nachhallzeit T_{\max} beschreibt die Raumdämpfung.	Der A-bewertete Schalldruckpegel der Sprache in einem Abstand von 4 m. $L_{p,A,5,4m}$ kennzeichnet den Sprachpegel vom unmittelbar benachbarten Arbeitsplatz.
Der Störschalldruckpegel bauseitiger Geräusche $L_{NA,Bau}$ beschreibt die Gesamtheit der von außen im Raum verursachten Störgeräusche.	Die räumliche Abklingrate der Sprache D_{25} kennzeichnet die Minderung des Sprachpegels zu weiter entfernt liegenden Arbeitsplätzen.

Die Sprachverständlichkeit in Mehrpersonenbüros reduziert sich, wenn die Differenz zwischen dem Sprachpegel und dem Grundgeräuschpegel kleiner wird, da das Grundgeräusch die Sprache **maskiert**. Bei gleichem Grundgeräuschpegel ist demnach das Ziel raumakustischer Maßnahmen, einen möglichst geringen Sprachpegel von benachbarten Arbeitsplätzen zu erreichen. Der unmittelbar benachbarte Arbeitsplatz wird durch den A-bewerteten Schalldruckpegel der Sprache in einem Abstand von 4 m $L_{p,A,S,4m}$ beurteilt. Für die Beschreibung der Schallausbreitung zu bis zu 16 m entfernt liegenden Arbeitsplätzen wird die räumliche Abklingrate D_{25} verwendet. Während für die Kenngröße $L_{p,A,S,4m}$ ein möglichst geringer Wert angestrebt wird, ist für die Kenngröße D_{25} ein möglichst hoher Wert raumakustisch günstig.

In kleinen Mehrpersonenbüros ist die Betrachtung von Schallausbreitungspfaden nicht sinnvoll, da aufgrund der geringen Raumabmessungen nur eine unzureichende Ausbreitungsdämpfung vorhanden ist. Die Kenngrößen der Schallausbreitung ($L_{p,A,S,4m}$ und D_{25}) werden daher nur in großen Mehrpersonenbüros angewendet. Die durchlässige Grenze zwischen kleinen und großen Mehrpersonenbüros liegt bei einer Distanz von etwa 8 m zwischen den am weitesten voneinander entfernt liegenden Arbeitsplätzen in einem Raum.

Die in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Kenngrößen sind in Tabelle 2.4-8 zusammengefasst. Wie im Fall der Einzelbüros wird auch für Mehrpersonenbüros im Norm-Entwurf der VDI 2569 eine Klassifizierung in drei Raumakustik-Klassen A, B und C vorgenommen. Eine verbale Beschreibung der Raumakustik-Klassen ist Tab 2.4-9 enthalten.

Die Kenngrößen $L_{p,A,S,4m}$ und D_{25} können je nach Raumgestaltung von der individuellen Lage des zu beurteilenden Schallausbreitungspfades abhängen. Insbesondere wenn ein Schallausbreitungspfad mehrfach über Schirmungen hinweg geht, ist eine stärkere Minderung der

Schallausbreitung zu erwarten als bei einem Schallausbreitungspfad, der parallel zu den Schirmungen verläuft. In der Praxis können sich daher für jeden zu beurteilenden Schallausbreitungspfad unterschiedliche Kenngrößen ergeben. Um dennoch den gesamten Raum zu klassifizieren, wird zunächst jeder Schallausbreitungspfad entsprechend den erreichten Kenngrößen einer sogenannten Stufe der Schallausbreitung zugeordnet. In der abschließenden Klassifizierung des Raumes muss dann ein bestimmter Anteil der Schallausbreitungspfade mindestens der einen Stufe und ein weiterer Anteil mindestens der nächst niedrigeren Stufe entsprechen. Die Empfehlungen zum Erreichen einer bestimmten Stufe der Schallausbreitung sind Tab 2.4-10 dargestellt.

Die Klassifizierung großer Mehrpersonenbüros erfolgt anhand der in Tab 2.4-11 dargestellten Empfehlungen an die Stufen der Schallausbreitung auf den Schallausbreitungspfaden, der maximalen **Nachhallzeit** und dem Störgeräuschpegel. Für kleine Mehrpersonenbüros wird die Stufe der Ausbreitungsdämpfung der Pfade nicht berücksichtigt, stattdessen wird die Empfehlung an die Nachhallzeit um 0,2 s abgesenkt.

Um eine bestimmte Klasse zu erreichen, müssen alle Kriterien der jeweiligen Klasse eingehalten werden. Die Empfehlungen gelten für den eingerichteten und unbesetzten Zustand. In Abbildung 2.4-1 sind die maximal zulässigen Nachhallzeiten für die Raumakustik-Klassen A bis C und die minimal empfohlene Nachhallzeit dargestellt.

Tab. 2.4-10: Empfehlungen an die raumakustischen Kenngrößen zur Einstufung der Schallausbreitungspfade für große Mehrpersonenbüros

Stufe der Ausbreitungsdämpfung	D_{25}	$L_{p,A,S,4m}$
1	≥ 8 dB	≤ 47 dB
2	≥ 6 dB	≤ 49 dB
3	≥ 4 dB	≤ 51 dB

Tab. 2.4-9: Verbale Klassifizierung von Mehrpersonenbüros

Raumakustik-Klasse	Erwartungsniveau	Bemerkungen	Büronutzung
A	hoch	hocheffektive Abschirmung und Nahfeldabsorption	Call-Center und Räume mit hohem Kommunikationsaufkommen
B	mittel	Abschirmung und Nahfeldabsorption	Vertrieb, Konstruktion, Verwaltung, Mindestanforderung für Call-Center
C	gering	ausreichende Raumbedämpfung und wenig Abschirmung	Mindestanforderung für Vertrieb, Konstruktion, Verwaltung

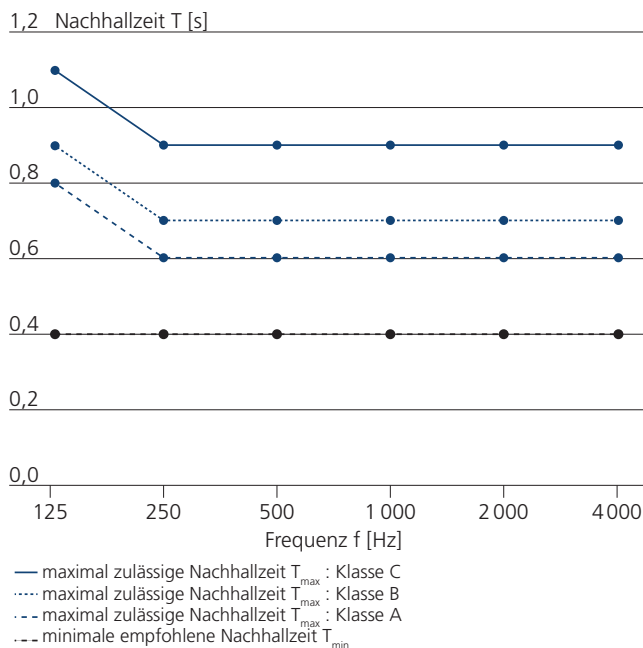


Abb. 2.4-1: Maximal zulässige Nachhallzeiten und minimal empfohlene Nachhallzeit in großen Mehrpersonenbüros in Abhängigkeit von der Klassifizierung

Bei der raumakustischen Planung von Mehrpersonenbüros sollte zunächst nicht die Raumbedämpfung, ausgedrückt durch die Nachhallzeit, sondern die Minderung der Schallausbreitung im Vordergrund stehen. Das Einbringen schallabsorbierender Flächen kann die Nachhallzeit verringern. Die genaue Position dieser Flächen spielt dafür eine untergeordnete Rolle. Für die Minderung der Schallausbreitung ist die Position der schallabsorbierenden Flächen hingegen entscheidend. Beispielsweise vermindert ein Schallabsorber in einer Raumecke die Nachhallzeit, zur Minderung der Schallausbreitung entlang der Arbeitsplätze trägt er wenig bei. Es ist daher sinnvoll,

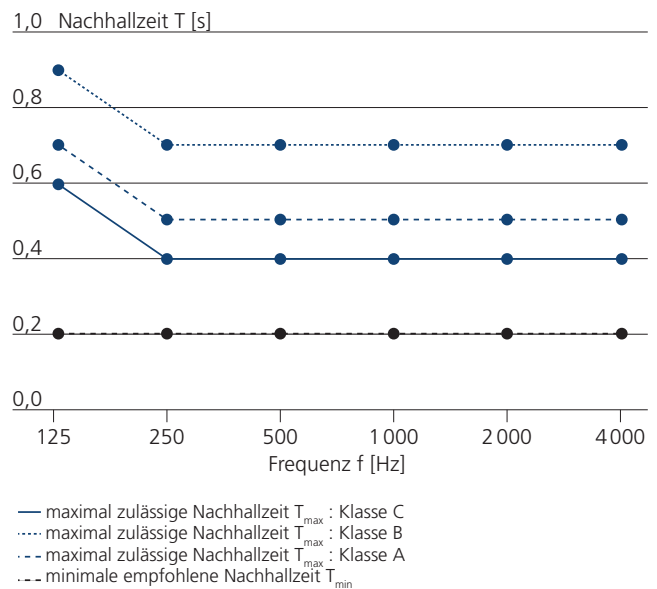


Abb. 2.4-2: Maximal zulässige Nachhallzeiten und minimal empfohlene Nachhallzeit in kleinen Mehrpersonenbüros in Abhängigkeit von der Klassifizierung

Schallabsorber nahe der Schallquelle, also nahe den Arbeitsplätzen, anzuordnen.

Zudem steht die Forderung nach einer möglichst kurzen Nachhallzeit und geringem Störschalldruckpegel (akustischen Komfort) im Zielkonflikt mit einer möglichst geringen Sprachverständlichkeit (kognitive Leistungsfähigkeit). In Räumen mit sehr kurzer Nachhallzeit und sehr geringem Störschalldruckpegel wird oft über eine hohe Sprachverständlichkeit geklagt, die sich von einem Ende diagonal in das andere Ende des Mehrpersonenbüros erstreckt. Im Norm-Entwurf VDI 2569 werden daher auch Empfehlungen für die Minimalwerte des Störschall-

Tab. 2.4-11: Empfehlungen an die raumakustischen Kenngrößen zur Klassifizierung großer Mehrpersonenbüros

Raumakustik-Klasse	Stufe der Ausbreitungsdämpfung der Pfade	T_{\max} in Oktavbändern		$L_{NA, \text{Bau}}$
		125 Hz	250 Hz - 4 000 Hz	
A	2/3 der Pfade in Stufe 1, restliche Pfade mindestens in Stufe 2	$\leq 0,8 \text{ s}$	$\leq 0,6 \text{ s}$	$\leq 35 \text{ dB}$
B	2/3 der Pfade mindestens in Stufe 2, restliche Pfade mindestens in Stufe 3	$\leq 0,9 \text{ s}$	$\leq 0,7 \text{ s}$	$\leq 40 \text{ dB}$
C	1/3 der Pfade mindestens in Stufe 2, restliche Pfade mindestens in Stufe 3	$\leq 1,1 \text{ s}$	$\leq 0,9 \text{ s}$	$\leq 40 \text{ dB}$

druckpegels und der Nachhallzeit angegeben. Der Störschalldruckpegel sollte einen Wert von $L_{NA, Bau} \geq 30$ dB nicht unterschreiten und die Nachhallzeit nicht kürzer als $T \geq 0,4$ s sein. Damit ist die Menge an schallabsorbierenden Flächen nach oben begrenzt, um überdämpfte Büroräume zu vermeiden. Das ist ein weiterer Grund, bei der Anordnung der schallabsorbierenden Flächen sorgfältig vorzugehen und die Minderung der Schallausbreitung in den Vordergrund zu stellen. Hierbei sind folgende Regeln zu beachten:

Nahfeldabsorption: Je näher schallabsorbierende Flächen an den Schallquellen, d.h. den Arbeitsplätzen, positioniert werden, desto größer ist deren akustische Wirkung.

Schirmung: Das effektivste Mittel zur Minderung der Schallausbreitung im Raum sind Schallschirme. Als Schirme können Stellwände, Tischaufsatzwände, Schränke, Wandscheiben, Banner etc. dienen. In vielen Fällen, wie z. B. Tischaufsatzwänden, können Schirme gleichzeitig auch zur Nahfeldabsorption eingesetzt werden.

Unterdrückung von Reflexionen, die die Schirmung umgehen:

Im Freien, d.h. ohne einen umschließenden Raum mit Wänden und Decken, wird der Pegel hinter einer einzelnen Schirmung bereits ausreichend gemindert, wie z. B. bei einer Lärmschutzwand. In Räumen wird die pegelmindernde Wirkung von Schirmen jedoch vor allem durch Reflexionen an Decken, Fassaden und Wänden eingeschränkt. Zwangsläufig ist daher eine Schirmungsmaßnahme immer in Verbindung mit den unmittelbar umgebenden Raumbegrenzungsflächen zu bewerten. Die Bedeutung der Reflexionen an Raumbegrenzungsflächen wird besonders bei kleinen Mehrpersonenbüros mit weniger als sechs Arbeitsplätzen deutlich. In kleinen Räumen sind, bedingt durch die entsprechend geringen Raumabmessungen, nahezu alle Arbeitsplätze von nahe liegenden reflektierenden Wand- bzw. Fassadenflächen umgeben, sodass gängige raumakustische Maßnahmen wie schallabsorbierende Decken und Schallschirme aufgrund der horizontal verlaufenden Reflexionen nur eingeschränkt wirken können. Kleine Mehrpersonenbüros sind daher aus akustischer Sicht oft deutlich kritischer als große Mehrpersonenbüros.

2.4.3 Quellen und weiterführende Literatur

Quellen

Banbury, S. & Berry, D. C. (1998). Disruption of office-related tasks by speech and office noise. *British Journal of Psychology*, 89, 499–517.

Felscher-Suhr, U., Guski, R. & Schuemer, R. (1998). Some results of an international scaling study and their implications on noise research. In N. Carter & R. F. S. Job (Eds), *Noise Effects '98: 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem*, Sydney, Australia, 22–26 November 1998, *Proceedings Vol 2*, 733–736.

Jiang, B., Liebl, A., Leistner, P. & Yang, J. (2012). Sound Masking Performance of Time-Reversed Masker Processed from the Target Speech. In: *Acta Acustica united with Acustica*, 98, 135–141.

Jensen, K. L., Arens, E. & Zagreus, L. (2005). Acoustical Quality in Office Workstations, as Assessed by Occupant Surveys. In *International Society of Indoor Air Quality and Climate – ISIAQ (Ed.), Indoor Air 2005. Proceedings of the 10th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Beijing, China, September 4–9, 2005 (p. 2401–2405). Beijing: Tsinghua University Press.

Lazarus, R. S. & Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal, and coping*. New York: Springer.

Meis, M. & Klink, K. (2010). *Grundlagen des Hörens, Schallwirkungen und Maßnahmen im Büroumfeld: 11. Schall- und Lärmwirkung*. buero-forum im bso Verband Büro-, Sitz- und Objektmöbel e.V. (Hrsg.). Wiesbaden: buero-forum www.buero-forum.de (Aufruf: 13.02.2015).

Pejtersen, J., Allermann, L., Kristensen, T. S. & Poulsen, O. M. (2006). Indoor climate, psychosocial work environment and symptoms in open-plan offices. *Indoor Air*, 16, 392–401.

Schakib-Ekbatan, K., Wagner, A. & Lützkendorf, T. (2011). *Bewertung von Aspekten der soziokulturellen Nachhaltigkeit im laufenden Gebäudebetrieb auf Basis von Nutzerbefragungen*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Schick, A. (1997). *Das Konzept der Belästigung in der Lärmforschung*. Lengerich: Pabst Science Publishers.

Schlittmeier, S. J. & Hellbrück, J. (2008). Background music as noise abatement in open-plan offices: A laboratory study on performance effects and subjective preferences. *Applied Cognitive Psychology*, 23(5), 684–697. (DOI: 10.1002/acp.1498; published online 31 July 2008).

Schlittmeier, S. J., Hellbrück, J., Thaden, R. & Vorländer, M. (2008). The impact of background speech varying in intelligibility: Effects on cognitive performance and perceived disturbance. *Ergonomics*, 51 (5), 719–736.

Weiterführende Literatur

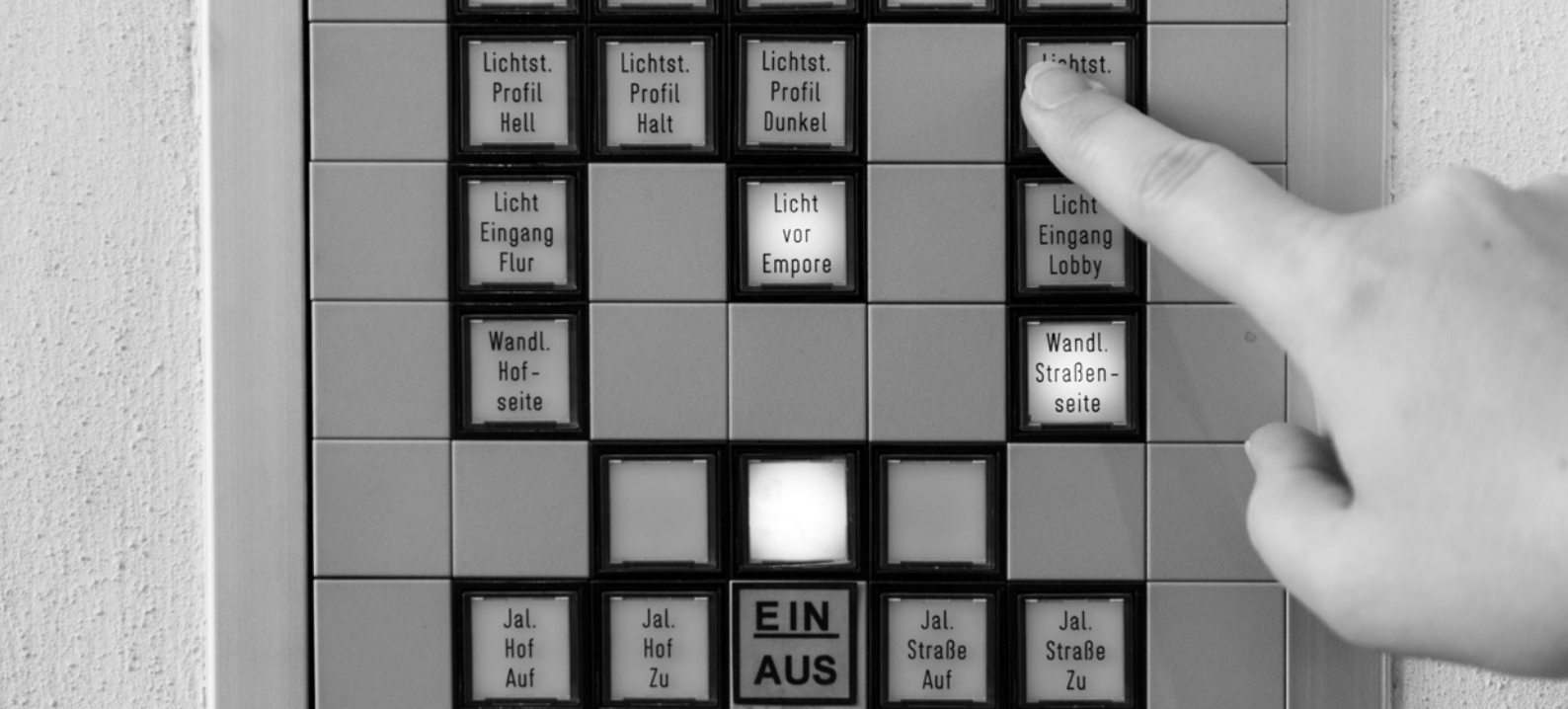
Hellbrück, J. & Ellermeier, W. (2004). Hören: Physiologie, Psychologie und Pathologie (2. aktualisierte und erweiterte Auflage). Göttingen: Hogrefe.

Höfker, G. & Nocke, C. (2013). Schall. In W. Willems (Hrsg.): *Lehrbuch der Bauphysik* (7. Auflage). Wiesbaden: Springer Vieweg.

Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (Hrsg.) (2006). *Akustische Wellen und Felder* (DEGA-Empfehlung 101). Berlin: DEGA. (erhältlich unter www.dega-akustik.de)

Schreckenberger, D. & Felscher-Suhr, U. (2000). Vergleich unterschiedlicher Antwortformate zur Erhebung der Lärmbelästigung. In Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (Hrsg.). *Fortschritte der Akustik: DAGA 2000*, (114–115). Oldenburg: Deutsche Gesellschaft für Akustik.

Sust C. A. (1989). Geräusche mittlerer Intensität – Auswirkungen auf Büro- und Verwaltungstätigkeiten. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 36 (1), 2–7.



2.5 Individuelle Regelmöglichkeiten

Marcel Schweiker, Jessica Brensing, Rotraut Walden, Rune Korsholm Andersen, Valentina Fabi

Nutzer haben verschiedene Möglichkeiten, das Raumklima zu beeinflussen. Hierzu zählen Elemente, die es ihnen erlauben, die thermischen, visuellen oder akustischen Bedingungen in ihrer Umgebung zu verändern, beispielsweise manuell bedienbare Fenster oder Sonnenschutzsysteme, Lichtschalter, Türen oder Thermostatventile.

Lange Zeit waren diese individuellen Regelmöglichkeiten erforderlich, damit die Nutzer sich behagliche Bedingungen schaffen konnten. Die Regelmöglichkeiten an sich bzw. deren Existenz und Effektivität als Einflussfaktor auf die Behaglichkeit sind erst sehr spät in den Fokus der Wissenschaft gerückt. Dies mag daran liegen, dass die Zahl der Bürogebäude, die durch Automationssysteme normgerechte Bedingungen in energieeffizienter Weise sicherstellen, auch erst in den letzten Jahren größer geworden ist und Beobachtungen zeigen, dass die Zufriedenheit der Nutzer damit nicht signifikant gestiegen, sondern eher gesunken ist.

2.5.1 Einfluss der Regelmöglichkeiten auf die Nutzerzufriedenheit

Der Mensch baut Häuser, um die ihn umgebenden Bedingungen besser beeinflussen und sich vor extremen Wettereinflüssen schützen zu können. Die Anzahl der Möglichkeiten, mit denen der Nutzer auf das Raumklima einwirken kann, und deren Effektivität haben im Laufe der Geschichte zugenommen. Während erste Behausungen außer ihrer Hülle nur eine Feuerstelle hatten, um die Innentemperaturen im Winter erhöhen zu können, bieten heutige Gebäude ihren Nutzern oft vielfältige Möglichkeiten, das Raumklima zu regulieren. Doch nicht nur die Möglichkeiten für die Nutzer, sondern auch die automatischen Steuer- und Regelsysteme werden zahlreicher. Heutzutage können in einem Gebäude praktisch alle Maßnahmen zur Veränderung des Raumklimas automatisiert werden.

Für den thermischen Komfort fußt das bereits in der Normung enthaltene Adaptive Komfortmodell auf der Annahme, dass die Nutzer mit einem breiteren Spektrum an thermischen Bedingungen zufrieden sind, wenn sie die Möglichkeit haben, über ein Fenster oder andere Optionen die thermischen Bedingungen zu beeinflussen (siehe Kap. 2.1). Beim visuellen Komfort beurteilten Nutzer es sehr positiv, wenn sie die Beleuchtungsanlage und auch den Sonnen- oder Blendschutz manuell bedienen konnten (siehe Kap. 2.3). So wurden im Fall einer automatischen Regelung selbst objektiv hellere Bedingungen eher als zu dunkel bewertet als bei der Möglichkeit einer manuellen Bedienung (Moosmann & Wagner, 2011). Auch beim Thema **auditiver** Komfort wurde mangelnde Kontrollmöglichkeit als eine Hauptursache von Stressreaktionen im Büroumfeld genannt (siehe Kap. 2.4). Außerdem wurden Zusammenhänge zwischen der wahrgenommenen Kontrollierbarkeit und gesundheitlichen Beschwerden des **sick building syndrome** (SBS) gefunden (z. B. Rolloos, 1993; Menzies, Pasztor, Nunes, Leduc, & Chan, 1997). Beispielsweise konnten Roulet et al. (2006) statistisch mittelstarke Zusammenhänge zwischen der Häufigkeit des SBS und der wahrgenommenen Kontrollierbarkeit verschiedener Raumklimaparameter herausstellen.

2.5.2 Ausreichend viele und effektive Regelmöglichkeiten

Die Annahme, dass die Zufriedenheit der Nutzer linear oder zumindest stetig mit einer steigenden Anzahl an Regelmöglichkeiten zunimmt, ist kritisch zu sehen, auch wenn es Belege dafür zu geben scheint (siehe beispielsweise Kelter, 2001 oder auch Toftum, 2010). Dabei sollte jedoch unterschieden werden zwischen der prinzipiellen Möglichkeit zur Einflussnahme und dem Gezwungen sein, Einfluss nehmen zu müssen. Eine Studie aus England kommt zu dem Schluss, dass die Nutzer zwar Möglichkeiten zur Einflussnahme haben möchten, jedoch nicht permanent genötigt sein wollen, diese auch zu nutzen (Leaman & Bordass, 2007). Paciuk (1990) fand einen negativen Effekt zwischen der Zufriedenheit mit dem thermischen Komfort und der Häufigkeit des Ausführens von Kontrolle zur Raumklimaänderung. Heerwagen und Diamond (1992) führten auf, dass zu viele Entscheidungen, zu häufige Entscheidungen und zu komplizierte Entscheidungen negativ auf die Nutzerzufriedenheit wirken können. Es gilt daher, das Gleich-

gewicht zwischen sinnvoller Automatisierung und effektiven Regelmöglichkeiten für die Raumnutzer zur Anpassung des Raumklimas an ihre Bedürfnisse zu finden.

Ebenfalls wichtig ist, dass Gebäude nicht nur technisch gut kontrollierbar sind, sondern auch möglichst viele Nutzer das Raumklima selbst regeln können. Besonders bedeutsam ist die Möglichkeit, ein Fenster zu öffnen (Brager, Paliaga, & de Dear, 2004).

Arbeiten mehrere Kollegen in einem Büro (von Einzelbüro auf Zweierbüro) verringert sich die wahrgenommene Kontrollierbarkeit des Raumklimas (Yun, Steemers, & Baker, 2008) ebenso wie bei unterschiedlichen Außenbedingungen wie z. B. der sommerlichen Hitze (z. B. Nicol & Kessler, 1998, Gossauer, Leonhart & Wagner, 2006). Leaman und Bordass (2007) führten als weiteren Einfluss auf die wahrgenommene Kontrollierbarkeit die Responsivität der Rückmeldungssysteme (z. B. Reagieren auf Beschwerden) auf.

Auch die rein objektive und zählbare Anzahl der Regelmöglichkeiten und die wahrgenommene Kontrollierbarkeit können sich unterscheiden. Eine Luxemburger Studie fand lediglich einen schwachen Zusammenhang zwischen dem Ausmaß technischer Kontrollmöglichkeiten und der wahrgenommenen Kontrollierbarkeit des Raumklimas. Diese war jedoch hoch korreliert mit der Zufriedenheit bezüglich des Raumklimas (Brensing, 2013). Ein direkter Zusammenhang zwischen dem Ausmaß technischer Kontrollmöglichkeiten und der Zufriedenheit mit dem Raumklima wurde nach statistischer Kontrolle der wahrgenommenen Kontrollierbarkeit nicht gefunden.

Möglicher Weise spielen weniger die technischen Möglichkeiten an sich eine Rolle als vielmehr die erlebte Wirkung auf das Raumklima und die Zufriedenheit damit. Beispielsweise trägt nicht allein das Vorhandensein und Betätigen eines Thermostatventils als technische Möglichkeit zur Zufriedenheit mit dem Raumklima bei, wenn es als wirkungslos für eine Temperaturänderung erlebt wird (Gossauer, 2008).

In einer Karlsruher Studie konnte herausgearbeitet werden, dass die zusätzliche Regelmöglichkeit des Raumklimas durch einen Deckenventilator die Zufriedenheit mit den thermischen Bedingungen anfangs erhöht. Für den Fall eines uneffektiven Deckenventilators – in der Studie wurde in einer Bedingung der Deckenventilator so eingestellt, dass er die Luftgeschwindigkeit im Raum nur minimal beeinflusst – sinkt die Zufriedenheit im Verlauf

eines Tages im Vergleich zur Situation mit einem effektiven Ventilator und zwischenzeitlich sogar im Vergleich zur Situation ohne Ventilator (siehe Abb. 2.5-1). Die Probanden sind vermutlich aufgrund der Wirkungslosigkeit ihres Eingriffs noch unzufriedener (Schweiker et al, 2014). Dieser Befund weist darauf hin, dass Nutzer nicht in erster Linie besonders viele, sondern effektive Regelmöglichkeiten wünschen.

2.5.3 Regelmöglichkeiten verstehen

Regelmöglichkeiten müssen in zweierlei Hinsicht verstanden werden: Zum einen sollten Bedienelemente für die Nutzer am besten intuitiv und ohne umfangreiche Schulungen verständlich sein. Eine Studie in unterschiedlichen Gebäudetypen – darunter auch ein Bürogebäude – kommt zu dem Schluss, dass Nutzer mit einfachen, bewährten Systemen, wie einem Kippschalter für Beleuchtung, sehr zufrieden sind (Lang, 2003). Diese Erkenntnisse könnten Planer dazu verleiten, Automatisierungen aus ihrem »Werkzeugkasten« zu verbannen. Automatisierte Zusatzfunktionen, wie das Ausschalten des Kunstlichts am Abend, werden von den Nutzern allerdings geschätzt. Gleichzeitig besteht der Wunsch, sie übersteuern zu können (siehe auch Abb. 2.5-2) (Lang, 2003). Bordass, Leaman & Bunn (2007) zeigen eindrucksvolle Beispiele nicht verständlicher Bedienelemente und geben Hinweise für deren Verbesserung. Zum anderen muss die Funktionsweise automatisierter Systeme nachvollziehbar sein, um Akzeptanzprobleme zu vermeiden. Dies betrifft insbesondere die automatisierte Sonnenschutzsteuerung. Das Monitoring von Sonnenschutzbewegungen in zehn Büroräumen ergab, dass

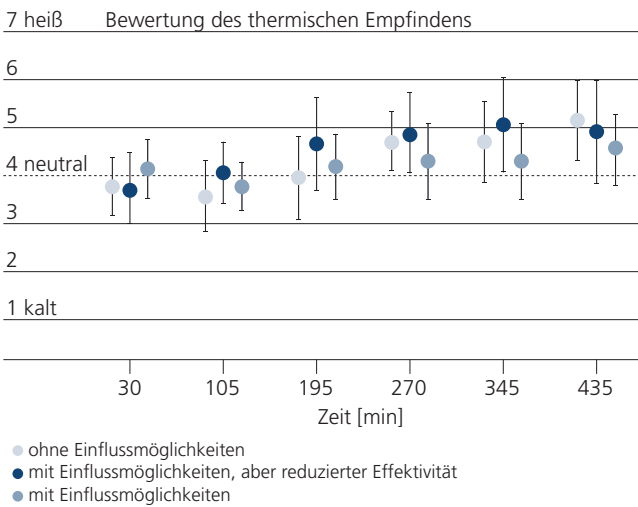
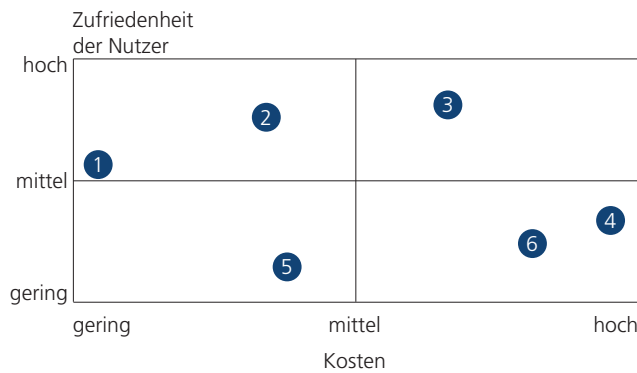


Abb. 2.5-1: Verlauf der Temperaturempfindung bei unterschiedlichen Einflussmöglichkeiten als Boxplot

fast 40 % der von den Nutzern ausgelösten Bewegungen Sonnenschutzstellungen gegensteuern, die zuvor vom Automationssystem verändert wurden. In knapp 90 % dieser Fälle haben die Nutzer den automatisch heruntergefahrenen Sonnenschutz wieder hochgefahren. Der Sinn des heruntergefahrenen Sonnenschutzes (Reduzierung der Kühllasten) war nicht nachvollziehbar, zumal der freie Ausblick gestört wurde (Reinhart, 2001). Wie Nutzer reagieren könnten, wenn sie nicht die Möglichkeit der Übersteuerung haben, zeigt das Beispiel eines mit Schnüren zusammengebundenen Sonnenschutzsystems aus Velds (2000) (Abb. 2.5-3). Solche »Sabotagemaßnahmen« beeinflussen das Raumklima und in aktiv gekühlten Gebäuden auch den Energieverbrauch.



	Beleuchtung einschalten...	Beleuchtung ausschalten...	Regelung der Beleuchtungsstärke
1	manuell	manuell	–
2	manuell	automatisch/ manuell	–
3	manuell	automatisch/ manuell	manuell
4	automatisch/ manuell	automatisch/ manuell	tageslichtabhängig/ automatisch
5	automatisch	automatisch	–
6	automatisch	automatisch	automatisch

Abb. 2.5-2: Zufriedenheit und Kosten im Vergleich unterschiedlicher Regelmöglichkeiten für die Beleuchtung (Lang, 2003).

Zusammenfassend zeigen die bis heute erlangten Erkenntnisse, dass Regelmöglichkeiten nicht nur vorhanden, sondern gleichzeitig verständlich, effektiv und überschaubar sein sollten, um eine hohe Nutzerzufriedenheit zu erzielen. Mit einer Vollautomatisierung ohne Eingriffsmöglichkeiten durch den Nutzer lässt sich zum einen die Nutzerzufriedenheit nur schwer erreichen. Zum anderen können die damit erhofften Effizienz- und Komfortziele durch »Sabotagehandlungen« der Nutzer verfehlt werden.

2.5.4 Umweltkontrolle ermöglichen

Nutzer haben im Büro bei unterschiedlichen Prozessen die Möglichkeit, die Umwelt zu kontrollieren. Hierzu zählen die Verantwortung für bestimmte Dinge oder Personen sowie Möglichkeiten, Stressoren wie Hitze, Kälte, Lärm, Luftqualität oder Sonnenblendung zu regulieren. Zusätzlich kann die räumliche Distanz zum Gegenüber und die Anzahl der Personen in dem Raum zu angenehmen oder als belastend empfundenen Kontakten führen und schließlich gehört auch die eigenständige Strukturierung von Räumlichkeiten oder der Nutzungszeit dazu (vgl. Fischer & Stephan, 1996). Der Wunsch nach persönlicher Kontrolle führt dabei häufig zur Aneignung der Umwelt. Dies kann u. a. durch die eigenständige Regulation der Stressoren sowie durch Verbesserungen der Büroumgebung in Hinblick auf den praktischen Gebrauch oder durch Veränderungen nach dem persönlichen Geschmack geschehen.



Abb. 2.5-3: Zusammengebundene und damit blockierte Sonnenschutzeinrichtung als Beispiel für »Sabotagemassnahmen« an automatischen Systemen.

Eine mangelnde Umweltkontrolle oder ein Kontrollverlust werden als belastend empfunden. Ein Kontrollverlust kann z. B. erlebt werden, wenn man entgegen seiner Erwartung belastende Umweltreize wie Lärm nicht abstellen oder mindern kann. Nach Brehm (1966) und Seligman (1999) kann es nach einem erlebten Kontrollverlust oder Mangel an Umweltkontrolle zu einer Widerstandsphase (Reaktanzphase) kommen, die sich zuerst durch Wut, Ärger oder auch vermehrte Anstrengung auszeichnet. Bleibt dies ohne Erfolg, kann Umweltstress und Hilflosigkeit die Folge sein. Ein Ausdruck dieser »erlernten Hilflosigkeit« können im Extremfall destruktive Effekte, wie Vandalismus oder Verwahrlosung sein.

Um dem vorzubeugen muss nicht immer ein gesamtes Gebäude umgebaut werden. Oft wirkt sich schon eine geringfügige Erhöhung der Kontrollmöglichkeiten positiv auf das Wohlbefinden aus. Eine Studie von Rodin & Langer (1980) belegte dies damit, dass Bewohner eines Altenheims, die eine Zimmerpflanze selbst versorgten und daher verstärkt Selbstverantwortlichkeit erfuhren, zufriedener und aktiver waren als Bewohner, die diese Eigenverantwortlichkeit nicht hatten. Die Maßnahmen führten dazu, dass die Versuchsgruppe eine deutliche Verbesserung im Gesamtzustand zeigte und insgesamt stärker aktiv interessiert war. Ärztlichen Beurteilungen zufolge hatte sich ihr Gesundheitszustand positiv entwickelt. Nur 15 % der anfangs erfassten Personen waren gestorben, während in der Gruppe mit geringerer Selbstverantwortlichkeit (die Kontrollgruppe) 30 % der Bewohner starben. In der Versuchsgruppe beschäftigten sich die Bewohner mehr mit Fragen, die sich auf Autonomie und Unabhängigkeit bezogen, während in der Kontrollgruppe das Thema Tod dominierte (Rodin & Langer, 1980).

Eine Studie in 16 Bürogebäuden in Deutschland zeigt, dass die Nutzer sich wünschen, die Umweltkonditionen in ihrem direkten Arbeitsumfeld (Beleuchtung, Verschattung, Klima, Lärm, Sichtbarkeit, etc.) selbst zu steuern. Das persönliche Wohlbefinden war demnach umso höher, je mehr subjektive Möglichkeiten zur Einflussnahme auf das nach eigenen Vorstellungen gestaltete bzw. mitgestaltete Arbeitsumfeld bestanden (Office Index 2000 Studie von Office 21, Kelter, 2001). Eine Studie aus England kommt jedoch zu dem Schluss, dass zu viele Kontrollmöglichkeiten die Nutzer auch stören (Leaman & Bordass, 2007).

Übertragen auf die Anforderungen für Bürogebäude ergeben sich in Bezug auf die Umweltkontrolle folgende Konsequenzen:

- Angebot von genügend großem Büroraum ohne visuelle und akustische Störungen, z. B. durch die Realisierung lärm- und blendungsfreier Arbeitsplätze,
- Schaffen von Privatheit und Ungestörtheit durch entsprechende Gestaltung des Arbeitsumfeldes mittels räumlicher Distanz zum Gegenüber,
- Möglichkeiten zur individuellen Regulierung von Stressoren wie Hitze, Kälte oder Lärm,
- Einbeziehung der Nutzer in die Planung, z. B. bei baulichen Veränderungen.

2.5.5 Nutzerverhalten, Komfort und Energie – Erfahrungen und Planungsempfehlungen

Es ist offensichtlich, dass die Art und Weise, wie wir die Kontrollmöglichkeiten unserer Gebäude nutzen, großen Einfluss sowohl auf das Raumklima, als auch den Energiebedarf hat. Folglich führt unterschiedliches Nutzerverhalten selbst bei identischen Gebäuden zu ebenso unterschiedlichen Innenraumbedingungen und unterschiedlichem Energiebedarf. Bei kalten Außentemperaturen wird in einem Gebäude mit offenstehenden Fenstern viel mehr Energie zum Heizen benötigt, als in einem Gebäude mit geschlossenen Fenstern. Das gleiche gilt für ein Gebäude, welches auf 25°C geheizt wird, im Vergleich zu einem, welches nur auf 18°C beheizt ist – eine Reduktion der Innenraumtemperatur um 2°C reduziert den Heizenergiebedarf um 10%, wenn die Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur bei 20 Kelvin liegt. Um diesen Nutzereinfluss zu verringern, sind mehr und mehr Bürogebäude mit Automationsystemen ausgestattet und auf diese angewiesen. Das Ziel ist dabei, optimale thermische, akustische und visuelle Bedingungen bereitzustellen. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass ein automatisiertes, energieoptimiertes System automatisch zum niedrigst möglichen Energiebedarf bei höchstmöglicher Zufriedenheit der Nutzer führt. Die in der Realität beobachteten Zusammenhänge zwischen Nutzerverhalten, -zufriedenheit und Energiebedarf sind jedoch viel komplexer, wie im Folgenden beispielhaft für das Nutzerverhalten in Bezug zu thermischen Regelmöglichkeiten beschrieben wird.

Umweltkontrolle stellt das Ausmaß der Möglichkeit dar, in dem eine Person ihre Umwelt beeinflussen kann. Der Mensch hat ein grundsätzliches Bestreben nach Kontrolle, d. h. Ereignisse und Zustände seiner Umwelt beeinflussen, vorhersehen oder erklären zu können (siehe Walden, 2008; Fischer & Stephan, 1996). Er möchte ein Maximum an Wahlfreiheit haben (Proshansky, Ittelson & Rivlin, 1970) und möglichst viel durch eigene Entscheidungen selbst bestimmen können (Walden, 1998).

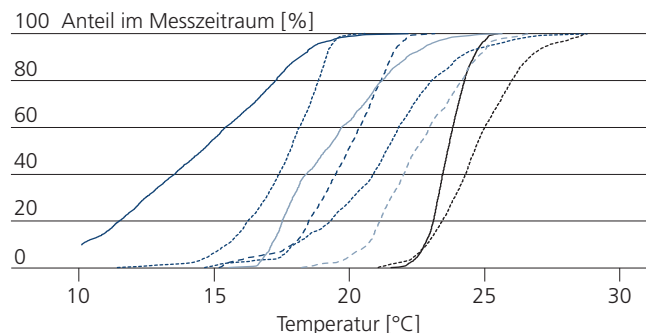


Abb. 2.5-4: Die Temperatur in acht Schlafräumen ähnlicher Apartments wurde über einen Zeitraum von 6 Monaten während der Heizperiode kontinuierlich gemessen. Sie wurde hauptsächlich über den Sollwert des Thermostatventils und der Fensteröffnung geregelt.

Auswirkungen des individuellen Verhaltens auf die Zufriedenheit und den Energieverbrauch

Eine Feldstudie aus Dänemark hat den Grad der Zufriedenheit und das Auftreten vom sogenannten **sick building syndrome** zwischen natürlich und mechanisch belüfteten Büroräumen verglichen. Die Anzahl der genannten Regelmöglichkeiten war in den natürlich belüfteten Gebäuden höher. Allerdings wurde in dieser Studie kein Zusammenhang mit dem Auftreten von Symptomen gefunden. Unabhängig von der Belüftungsmethode zeigte sich, dass diejenigen, die mit dem empfundenen Grad an Regelmöglichkeiten nicht zufrieden waren, häufiger über Störungen und Gesundheitsprobleme berichten. Die mit der Studie befassten Forscher kommen daher zu dem Schluss, dass Klimatisierungskonzepte den Nutzern das Gefühl von Kontrolle geben müssen (Toftum, 2010).

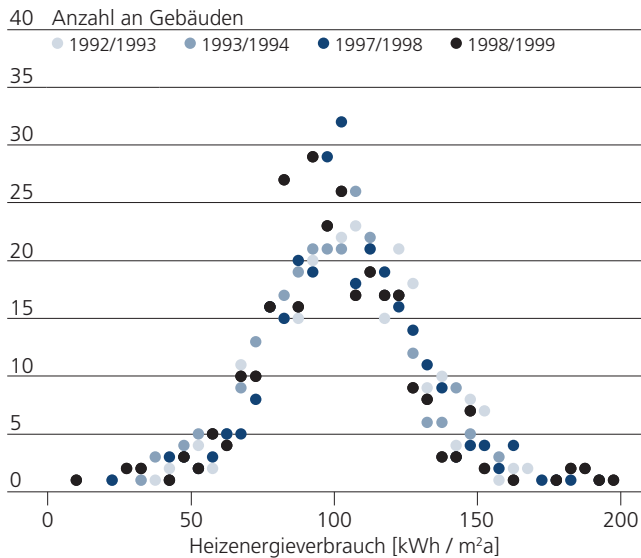


Abb. 2.5-5: Jährlicher Heizenergieverbrauch während der Heizperioden 1992 bis 1999 in 290 Stadthäusern mit identischem Layout.

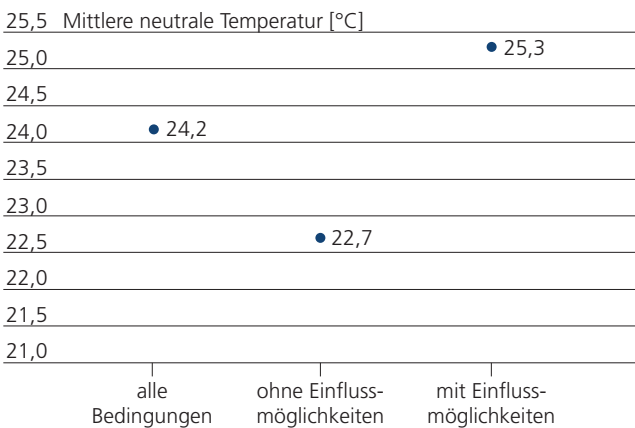


Abb. 2.5-6: Durchschnittliche neutrale Temperatur während beider Bedingungen, den Bedingungen ohne und mit Regelmöglichkeiten.

Die Observation des Nutzerverhaltens ohne Befragung geschieht unter der Annahme, dass die Nutzer sich die Bedingungen einstellen, die zu ihrer höchstmöglichen Zufriedenheit führen. Aus Abbildung 2.5-4, welche einer dänischen Studie zu thermischen Bedingungen in Schlafräumen entstammt, wird ersichtlich, dass sehr große Unterschiede zwischen den eingestellten Bedingungen und damit auch zwischen den individuellen Präferenzen vorhanden sind. In einem Schlafräum lag die Temperatur zu 10 % der Zeit unter 10 °C und zu 96 %

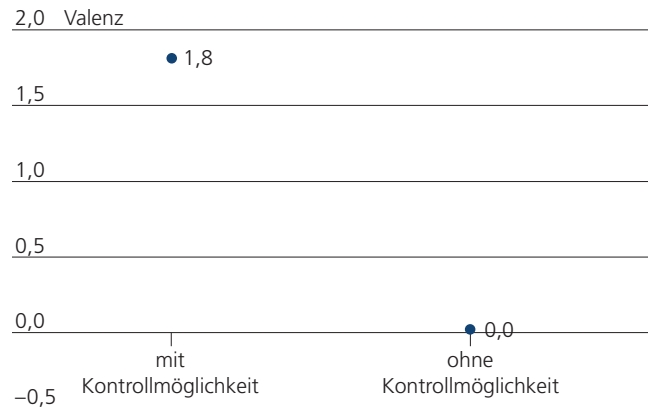


Abb. 2.5-7: Durchschnitt der Valenz während der Bedingungen mit und ohne Regelmöglichkeiten auf einer visuellen 9-Punkte-Skala von –4 unglücklich bis +4 glücklich (Hawighorst, Schweiker & Wagner, 2012).

unter 19 °C, während in einem anderen Schlafräum während 97 % der Zeit Temperaturen über 22 °C gemessen wurden. Auch wenn diese Studie aus dem Wohnbereich stammt, ist ähnliches für die Büroumgebung zu erwarten. Solche individuellen Unterschiede haben einen direkten Effekt auf den Heizenergieverbrauch, wie in Abbildung 2.5-5 dargestellt (Andersen, 2012). Er variiert in 290 vergleichbaren Stadthäusern von 9,7 kWh/m²a bis 197 kWh/m²a, was einem Faktor 20 entspricht. Da die Häuser nahezu identisch sind, müssen diese Unterschiede größtenteils den Variationen bei Anwesenheit und Verhaltensmustern geschuldet sein. Auch durch sorgfältig geplante Versuchsdesigns können spezifische Aspekte des Nutzerverhaltens und der Nutzerzufriedenheit untersucht werden, wie am folgenden Beispiel dargestellt wird.

Für eine deutsche Studie wurden männliche Probanden gebeten, an sechs nicht aufeinander folgenden Tagen in einem büroähnlichen Testraum zu arbeiten. An drei Tagen durften sie die Fenster öffnen und den Deckenventilator nutzen. An den anderen Tagen war dies nicht erlaubt. Die Studienteilnehmer wurden stündlich mittels Skalen nach ihrem thermischen Empfinden und mittels stilisierter Figuren u. a. nach ihrer **Valenz** gefragt. Aus den Befragungsergebnissen wurde die **neutrale Temperatur** ermittelt, bei der die Teilnehmer sich behaglich fühlen. Wie in Abbildung 2.5-6 dargestellt, unterscheidet sich diese neutrale Temperatur zwischen den beiden Bedingungen. In den Fällen, in denen Interaktionen mit dem Raumklima, wie das Öffnen der Fenster, nicht mög-

lich waren, lag die neutrale Temperatur mehr als 2 Kelvin unter der neutralen Temperatur der Fälle, in denen diese Kontrollmöglichkeiten gegeben waren (Schweiker et al., 2013). Folglich akzeptieren die Nutzer im Sommer höhere Temperaturen, wenn ihnen Möglichkeiten zur Interaktion gegeben werden. Gebäudekonzepte, die höhere Raumtemperaturen ohne Einbußen der Nutzerzufriedenheit ermöglichen, können den Bedarf an Kühlung erheblich reduzieren. Zusätzlich fühlten sich die Personen in den Bedingungen mit Kontrolle glücklicher (positive Valenz) (Abb. 2.5-7), was zeigt, dass Kontrolle in Zusammenhang mit empfundener Selbstwirksamkeit und subjektivem Wohlbefinden steht (Hawighorst, Schweiker & Wagner, 2012).

Robuste Gebäude entwerfen

Die Raumklimabedingungen sind in zwei Aspekten stark abhängig vom Gebäudeentwurf (Abb. 2.5-8). Zum einen bestimmen die Eigenschaften der Gebäudehülle den Wärme- und Lichteintrag. Zum anderen hängt die Existenz und Anzahl an Regelmöglichkeiten, die den Nutzern ermöglichen, die Bedingungen entsprechend ihrer individuellen Bedürfnisse zu verändern, ebenfalls vom Entwurf ab. Dagegen werden z.B. die gewählte Fenster- und Sonnenschutzstellung, so lange sie nicht automatisiert sind, nicht vom Gebäudeentwurf beeinflusst, sondern von den thermischen, visuellen oder anders begründeten Bedürfnissen der Nutzer. Diese folgen ihren Gewohnheiten und ihrer Wahrnehmung der Innen- und Außenraumbedingungen, d. h. ihrer Zufriedenheit. Ihr Verhalten muss nicht zwangsläufig das klimatische Konzept oder eine energieeffiziente Betriebsweise des Gebäudes unterstützen. Wie bereits erwähnt, war die Konsequenz bei der Planung von Gebäuden in der Vergangenheit, den Nutzern Regelmöglichkeiten zu nehmen. Dies führte jedoch zu einer erhöhten Unzufriedenheit durch den Mangel an Kontrolle, bis hin zu kontraproduktiven Verhaltensweisen (siehe Kapitel 2.5.1). Eine Lösung liegt im Konzept der Robustheit. Nach Hoes et al. (2009) ist ein Gebäude robust, wenn es trotz

wechselnden Nutzerverhaltens nur wenig in zuvor bestimmten Leistungsindikatoren, wie Heiz- und Kühlbedarf oder Luftwechselrate, variiert. Es ist also fundamental, den Effekt unterschiedlicher Nutzerverhaltensweisen auf unterschiedliche Gebäudeentwürfe (z. B. Unterschiede in der Gebäudehülle) oder -konzepte (z. B. natürlich belüftet im Vergleich zu Kühlung mit Bauteilaktivierung) zu verstehen, um Entwurfskriterien bestimmen zu können, die gegenüber dem Nutzerverhalten robust sind. Dieses Konzept wurde in einer Studie von Fabi et al. (2013) genutzt, um beispielhaft für ein italienisches Referenzgebäude einen Überblick über die Robustheit verschiedener Entwurfsoptionen zu erhalten. Von besonderem Interesse waren hierbei die thermische Masse, die Transparenz der Gebäudehülle und die Ausführung des Sonnenschutzes, da diese Entwurfsoptionen als passive Maßnahmen sowohl bei der Reduzierung des Energiebedarfs für Heizen und Kühlen als auch im Zusammenhang mit den verhaltensbedingten Variationen des Energieverbrauchs eine wichtige Rolle spielen. Der Vergleich der Robustheit verschiedener Gebäudemodelle in Hinblick auf die Leistungsindikatoren Heizbedarf, Kühlbedarf und Luftwechselrate (Abb. 2.5-9) ergab, dass die Modelle mit einer schweren Gebäudehülle, geschlossener Fassade und feststehendem Sonnenschutz in Form eines Überhangs am robustesten sind. Zu den am wenigsten robusten Modellen zählen diejenigen mit einer leichten Gebäudehülle, großen Verglasungen und ohne Sonnenschutzsystem. Welche Rolle das Öffnen von Fenster spielt, wurde in dieser Studie nicht untersucht. Robuste Gebäude zeichnen sich demnach durch thermische Trägheit aus (»schwere Gebäude«). Der Glasflächenanteil sollte moderat sein und Solareinträge sollten durch einen geeigneten außen liegenden Sonnenschutz begrenzt werden. So können auch bei unterschiedlichen Verhaltensweisen stabile Innenraumtemperaturen erreicht werden.

Die Frage, ob ein sehr robustes Gebäude zwangsläufig zur höchsten Nutzerzufriedenheit führt, konnte bisher nicht beantwortet werden. Nutzerinnen und Nutzer eines langsam reagierenden Gebäudes könnten den Eindruck



Abb. 2.5-8: Zusammenhang zwischen dem Entwurf der Gebäudehülle, dem Innenraumklima, dem Nutzerverhalten und dem Energieverbrauch.

Die Eigenschaften vieler neu errichteter Bürogebäude aus leichten Bauteilen mit großen Glasanteilen weichen grundlegend von den als robust ermittelten Eigenschaften ab. Solche Gebäude mit niedriger thermischer Masse und großen Fensterflächenanteilen sind sehr anfällig gegenüber ungünstigem Nutzerverhalten (als »ungünstig« in diesem Zusammenhang wird ein Verhalten bezeichnet, dass von dem im Entwurfsprozess angenommenen Verhalten abweicht). Sie müssen in der Regel auch aktiv gekühlt werden. Deshalb haben sie häufig keine bedienbaren Fenster, sodass den Nutzern weniger Möglichkeiten gegeben sind, sich das Innenraumklima anzupassen. In der Konsequenz ist auch ihre Zufriedenheit begrenzt.

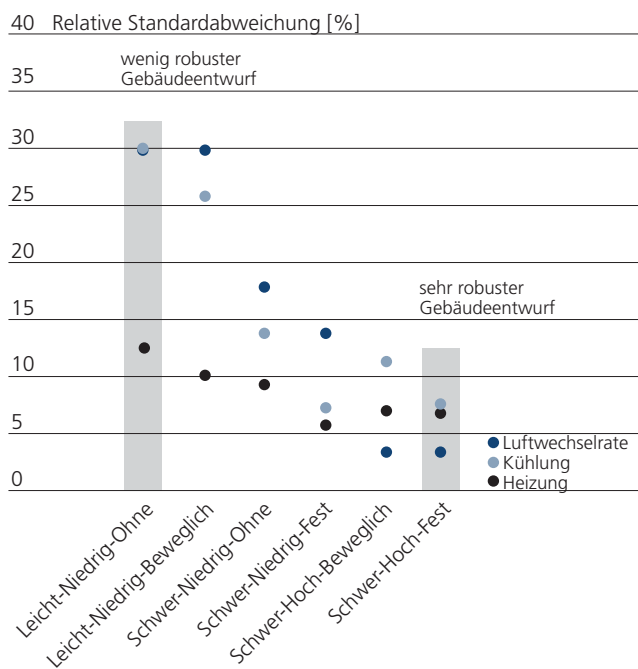


Abb. 2.5-9: Vergleich der simulierten Gebäudemodelle – vom robusteren zum weniger robusten.

gewinnen, dass sie keine Kontrollmöglichkeiten haben. Hinsichtlich des visuellen Komforts, bei dem der Ausblick eine entscheidende Rolle spielt, ist ein feststehender Sonnenschutz, der den Ausblick einschränkt, nicht ideal.

Fazit

Den Nutzern Regelmöglichkeiten zu geben, erhöht nicht nur ihre Zufriedenheit mit den raumklimatischen Be-

dingungen, sondern ermöglicht es unter bestimmten Voraussetzungen auch, in Büroräumen im Sommer höhere Innentemperaturen zuzulassen. Das verringert den Bedarf an Kühlenergie deutlich. Um dies zu ermöglichen, ist ein gegenüber dem Nutzerverhalten robustes Gebäudekonzept anzustreben.

In der Entwurfsphase ist zu beachten, dass zwar offensichtlich die Unterschiede in der Anwesenheit und dem Nutzerverhalten eine große Bandbreite an Innenraumbedingungen und Energieverbräuchen bewirken, wie in Abbildung 2.5-5 zu sehen, dies jedoch in den aktuellen Berechnungsmethoden nicht abgebildet wird. In den meisten Berechnungs- und Simulationsprogrammen besteht das Ergebnis aus einer Zahl für den Energiebedarf und nicht aus einer Verteilung. Wünschenswert für zukünftige Planungen wäre entweder die Verwendung stochastischer Modelle oder unterschiedlicher Nutzerprofile, um der großen Bandbreite an möglichen Verhaltensweisen Rechnung zu tragen. Allerdings stehen derzeit weder validierte Nutzerverhaltensmodelle zur Verfügung, die in die am weitesten verbreiteten Simulationsprogramme implementiert werden könnten, noch sind alle diese Programme fähig, mit Wahrscheinlichkeiten umzugehen, wie sie in stochastischen Modellen implementiert sind.

2.5.6 Quellen und weiterführende Literatur

Quellen

Andersen, R. (2012). The Influence of Occupants' Behaviour on Energy Consumption Investigated in 290 Identical Dwellings and in 35 Apartments. In International Society of Indoor Air Quality and Climate (ISIAQ) (Ed.), Proceedings of the 10th International Conference on Healthy Buildings 2012, 8–12 July 2012, Brisbane, Queensland, Australia.

Bordass, W., Leaman, A. & Bunn, R. (2007). Controls for End Users: a guide for good design and implementation. Building Controls Industry Association (BCIA) (Ed.). Harlow, Essex, UK: BCIA.

Brager, G. S., Paliaga, G. & de Dear, R. (2004). Operable windows, personal control and occupant comfort. ASHRAE Transactions, 110 (2), 17–35. <http://escholarship.org/uc/item/4x57v1pf.pdf> (Aufruf: 13.02.2015)

Brehm, J. W. (1966). A theory of psychological reactance. New York: Academic Press.

Brensing, J. (2013). Vierter Zwischenbericht: Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse, unveröffentlichter Projektbericht. Luxemburg: Universität Luxemburg

Fabi, V., Buso, T., Andersen, R. K., Corgnati, S. P. & Olesen, B. W. (2013). Robustness of Building Design With Respect to Energy Related Occupant Behaviour. In International Building Performance Simulation Association (IPSA) (Ed), Building Simulation 2013: 13th Conference of the International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, August 26–28.

Fischer, M. & Stephan, E. (1996). Kontrolle und Kontrollverlust. In L. Kruse, C.-F. Graumann & E.-D. Lantermann (Hrsg.), Ökologische Psychologie (S. 166–175). München: PVU.

Gossauer, E. (2008). Nutzerzufriedenheit in Bürogebäuden – Eine Feldstudie. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Gossauer, E., Leonhart, R. & Wagner, A. (2006). Nutzerzufriedenheit am Arbeitsplatz. Eine Untersuchung in sechzehn Bürogebäuden. Gesundheits-Ingenieur, 127 (5), 232–240.

Hawighorst, M., Schweiker, M. & Wagner, A. (2012). Thermal Comfort in Naturally Ventilated Offices: Combined Analysis of Psychological and Physiological Aspects with Regard to Control. In Proceedings of the 5th International Building Physics Conference (IBPC), Kyoto, Japan, 28–31 May 2012 (1019–1025).

Heerwagen, J. & Diamond, R. C. (1992). Adaptations and Coping: Occupant Response to Discomfort in Energy Efficient Buildings. In American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE) (Ed.), Achieving Technical Potential: Programs and Technologies That Work. 7th biennial Summer Study, Pacific Grove, California, USA, August 1992 (10, 10.83–10.90).

Hoes, P., Hensen, J. L. M., Loomans, M. G. L. C., de Vries, B. & Bourgeois, D. (2009). User behavior in whole building simulation. Energy and Buildings, 41, 295–302.

Kelter, J. (2001). Office Index 2000. Ergebnisse einer empirischen Studie zur Untersuchung von Büro-Arbeitswelten und zukünftigen Entwicklungen.
www.office21.de (Aufruf 13.02.2015).

Lang, T. (2003). Welche Bedürfnisse haben die Gebäudenutzer an die Technik an ihrem Arbeitsplatz? Ergebnisse einer qualitativen Umfrage in ausgewählten Objekten aus den Bereichen Schule, Spital und Verwaltung. Amt für Hochbauten der Stadt Zürich (Hrsg.), Zürich.

Leaman, A. & Bordass, B. (2007). Are users more tolerant of »green« buildings?. Building Research & Information, 35 (6), 662–673.

Menzies, D., Pasztor, J., Nunes, F., Leduc, J. & Chan, C. H. (1997). Effect of a new ventilation system on health and well-being of office workers. Archives of Environmental Health, 52 (5), 360–7. doi:10.1080/00039899709602212

Moosmann, C., Wagner, A. (2011). Nutzerbewertung der Lichtsituation am Büroarbeitsplatz. In Ostbayerisches Technologie-Transfer Institut e. V. (OTTI) Hrsg.), 15. Anwenderforum Lichttechnik, Regensburg, 23.–24. März 2011. Regensburg: OTTI.

Nicol, F. & Kessler, M. (1998). Perception of Comfort in Relation to Weather and Indoor Adaptive Opportunities. ASHRAE Transaction, 104 (1), 1005–1017.

Paciuk, M. (1990). The role of personal control of the environment in thermal comfort and satisfaction at the workplace. In Environmental Design Research Association (EDRA) (Ed.), EDRA Proceedings 21, 303–312.

Proshansky, H. M., Ittelson, W. H. & Rivlin, L. G. (Eds.) (1970). Environmental psychology: Man and his physical setting. New York: Holt, Rinehart & Winston.

Reinhart, C. F. (2001). Daylight availability and manual lighting control in office buildings. Simulation studies and analysis of measurement. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Rodin, J. & Langer, E. (1980). Langzeitwirkungen einer kontrollfördernden Intervention bei alten Menschen. In W. Herkner (Hrsg.), Attribution – Psychologie der Kausalität (S. 335–346). Bern: Huber.

Rolloos, M. (1993). Je besser der Detektiv, desto weniger das SBS. In W. Bischof, M. Dompke, & W. Schmid (Hrsg.). Sick Building Syndrome. Forschung und Erkenntnisumsetzung. Dokumentation (S. 48–59), Karlsruhe: Verlag C.F. Müller.

Roulet, C.-A., Johner, N., Foradini, F., Bluysen, P., Cox, C., de Oliveira Fernandes, E., ... Aizlewood, C. (2006). Perceived health and comfort in relation to energy use and building characteristics. Building Research & Information, 34 (5), 467–474. doi:10.1080/09613210600822279

Schweiker, M., Brasche, S., Hawighorst, M., Bischof, W. & Wagner, A. (2014). Presenting LOBSTER, an innovative climate chamber, and the analysis of the effect of a ceiling fan on the thermal sensation and performance under summer conditions in an office-like setting. In Network for Comfort and Energy Use in Buildings (NCEUB) (Ed.), Proceedings of 8th Windsor Conference: Counting the Cost of Comfort in a changing world. Cumberland Lodge, Windsor, UK, 10–13 April 2014. (pp 924–937).

Schweiker, M., Hawighorst, M., Wagner, A. (2013), Quantifying individual adaptive processes: first experiences with an experimental design dedicated to reveal further insights to thermal adaptation, Architectural Science Review, 56 (1), 93–98.

Seligman, M. E. P. (1999). *Erlernte Hilflosigkeit*. Weinheim: Beltz-PVU.

Toftum, J. (2010). Central automatic control or distributed occupant control for better indoor environment quality in the future. *Building and Environment* 45, 23–28.

Velds, M. (2000). *Assessment of lighting quality in office rooms with daylighting systems*. PhD Thesis, Delft University of Technology.

Walden, R. (1998): Umweltkontrolle. In F. Dieckmann, A. Flade, R. Schuemer, G. Ströhlein & R. Walden, *Psychologie und gebaute Umwelt. Konzepte, Methoden, Anwendungsbeispiele* (S. 66–68). Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt.

Walden, R. (2008). *Architekturpsychologie: Schule, Hochschule und Bürogebäude der Zukunft*. Lengerich: Pabst Science Publishers.

Yun, G. Y., Steemers, K. & Baker, N. (2008). Natural ventilation in practice: linking facade design, thermal performance, occupant perception and control. *Building Research & Information*, 36 (6), 608–624. doi:10.1080/09613210802417241

Weiterführende Literatur

Altman, I. (1975). *The environment and social behavior*. Monterey, CA: Brooks/Cole.

Bennett, S. (1996). A brief history of automatic control. *IEEE Control Systems*, 16 (3), 17–25.

Dieckmann, F., Flade, A., Schuemer, R., Ströhlein, G. & Walden, R. (1998). *Psychologie und gebaute Umwelt. Konzepte, Methoden, Anwendungsbeispiele*. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt.

Hellwig, R. T. (2014). User friendliness and building automation – A conceptual approach to understanding perceived control. In *Network for Comfort and Energy Use in Buildings (NCEUB) (Ed.)*. *Proceedings of 8th Windsor Conference: Counting the Cost of Comfort in a changing world*. Cumberland Lodge, Windsor, UK, 10–13 April 2014, (p. 202–216)

Lang, T. (2003). Welche Bedürfnisse haben die Gebäudenutzer an die Technik an ihrem Arbeitsplatz? Ergebnisse einer qualitativen Umfrage in ausgewählten Objekten aus den Bereichen Schule, Spital und Verwaltung. *Amt für Hochbauten der Stadt Zürich* (Hrsg.), Zürich

Langer, E. J. & Rodin, J. (1976). The effects of choice and enhanced personal responsibility for the aged: A field experiment in an institutional setting. *Journal of Personality and Social Psychology*, 34, 191–198.



2.6 Weitere Umwelteinflüsse

Andreas Wagner, Andreas Woitysiak

In den Kapiteln 2.1 bis 2.4 werden Komfortparameter vorgestellt, die unmittelbar auf die Wahrnehmung verschiedener Einflussgrößen in der Umgebung durch unsere Sinnesorgane zurückgeführt werden können. Sie bestimmen durch Einzel- und auch Wechselwirkung – zusammen mit weiteren Einflussgrößen (vgl. Kap. 2.5 und 2.7) – zu einem wesentlichen Maß die Nutzerzufriedenheit. Darüber hinaus gibt es Umwelteinflüsse wie **elektromagnetische Felder**, Luftionisation oder radioaktive Strahlung, für die der Mensch keine direkte Wahrnehmungsmöglichkeit besitzt, die aber auf den Körper wirken und das subjektive Wohlbefinden und die Gesundheit beeinflussen können. Exemplarisch sollen hier elektromagnetische Felder betrachtet werden, deren Wirkung je nach Intensität von nicht systematisch nachweisbar über biologische Effekte bis hin zu gesundheitlichen Auswirkungen reicht und die immer wieder im Brennpunkt von Diskussionen stehen.

2.6.1 Elektromagnetische Felder und deren Wirkung

Elektromagnetische Felder und ihr Einfluss auf den Menschen und seine Gesundheit werden seit wenigen Jahrzehnten kontrovers diskutiert. Gestritten wird dabei im Wesentlichen um künstlich erzeugte Felder in technisch bedeutsamen Frequenzbereichen, oft zusammengefasst unter dem Schlagwort »Elektrosmog«. Dass elektromagnetische Felder auch natürlich entstehen können, dringt nur selten ins Bewusstsein. Sie werden z. B. als Tageslicht oder als Blitzentladung erfahrbar. Elektromagnetische Felder enthalten und übertragen Energie, was nicht nur positiv, sondern auch ein Gesundheitsrisiko sein kann. Aus der Natur sind schädigende elektromagnetische Vorgänge, wie z. B. Blitzentladungen oder die Strahlung von UV-, Röntgen- oder Partikelstrahlung, bekannt. Auch bei technisch erzeugten

Feldern ist immer dann ein Gesundheitsrisiko gegeben, wenn die enthaltene Energie (Leistung) hoch ist, oder die Frequenzen in den Bereich der ionisierenden Strahlen gehen. Um vor diesen Feldern zu schützen, existieren einerseits Grenzwerte, die die Feldleistung, der man ausgesetzt sein kann, begrenzen. Andererseits gibt es Anwendungsvorschriften, die z. B. die Nutzung von Strahlen in der medizinischen Therapie und Diagnose regeln. Offene Fragen ergeben sich bei schwächeren Feldern, wie sie bei technischen Geräten im Büroalltag auftreten und bei Emissionen der gemeinschaftlich genutzten Infrastruktur – den Hochspannungsleitungen, Fernseh- und Mobilfunkstationen.

Effekte von schwachen elektromagnetischen Feldern unterhalb der Grenzwerte zum Schutz der Bevölkerung (BlmSchV 2013) werden oft auch als nicht-thermische oder »athermische« Feldwirkungen bezeichnet. Hiermit soll ausgedrückt werden, dass es bei der Wirkung nicht auf den allgemeinen Energieeintrag in das biologische System ankommt, sondern dass speziellere Wirkungen im Zusammenhang mit den Eigenschaften des Felds die Effekte bestimmen. Der Begriff »nicht-thermische Wirkungen« kommt aus dem Bereich der Untersuchungen mit Hochfrequenzfeldern, etwa wie sie beim Mobilfunk verwendet werden. Die Wirkungen von statischen, nieder- und hochfrequenten Feldern müssen dabei getrennt betrachtet werden.

Statische und niederfrequente Felder

Statische Felder können sowohl **Magnetfelder** als auch **elektrostatische Felder** sein. In der technischen Anwendung sind sie eher speziell, z. B. treten im Kernspintomografen technisch genutzte starke Magnetfelder auf. Wegen der starken Abnahme der Feldstärke in der Entfernung von der Feldquelle und des relativ seltenen Einsatzes wurden ihre Gesundheitsrisiken in der Vergangenheit auch nur wenig untersucht. Klare Gesundheitsrisiken von statischen Feldern geringerer Feldstärke haben sich zudem bisher in den Forschungen nicht gezeigt, weshalb diese in der Gesamtdiskussion von elektromagnetischen Feldern kaum thematisiert werden.

Anders wirken niederfrequente elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 3 Hz bis 30 kHz. Zu ihnen gehören die Frequenzen der Netzspannungsversorgung, in Deutschland bei 50 Hz gelegen, und des Schienenverkehrs bei 162/3 Hz. Bei solchen Feldern können z. T. der Magnet- und der elektrostatische Feldanteil räumlich

voneinander getrennt auftreten und in der Wirkung auch getrennt betrachtet werden. Starke niederfrequente elektromagnetische Felder (oberhalb der Grenzwerte) können zu Reizwirkungen mit Aufstellen der Körperhaare bis hin zum Herzkammerflimmern führen.

Schwächere niederfrequente Felder, insbesondere die Magnetfelder, stehen bei Kritikern im Verdacht, über bisher nicht klare Wirkmechanismen schädliche Effekte auf den Organismus auszuüben. Die Überlegungen gehen dabei von verschiedenen Vorstellungen aus: Das können z. B. der Einfluss auf Signalmoleküle des Körpers sein, wie bei der sogenannten **Melatoninhypothese**, oder auch Wirkmodelle, die Resonanzphänomenen gleichen (Leitgeb 2000; Stevens 2000). Insgesamt ergeben die Forschungen bis heute aber kein klares Bild, da konsistente oder reproduzierbare gesundheitliche Effekte von Niederfrequenzfeldern zwar fehlen, einzelne Forschungen aber Effekte gezeigt haben. Daher sehen viele Menschen die Nähe von Gebäuden zu Hochspannungsleitungen oder Transformatorenstationen kritisch und möchten sie in ihrem direkten Umfeld meiden.

Hochfrequente elektromagnetische Felder

Ähnlich schwierig und kontrovers diskutiert ist die Datenlage bei den elektromagnetischen Hochfrequenzfeldern im Bereich von 30 kHz bis 300 GHz. Zu ihnen gehören die Felder der Mobilfunksysteme und drahtloser Datennetze (WLAN). Bei diesen sind der elektrische und der Magnetfeldanteil (Vektor) eng miteinander verknüpft und müssen gemeinsam betrachtet werden. Gerade bei der Nutzung des Mobilfunks kommt eine wesentliche Problematik hinzu: Eine Abschirmung ist aus Sicht der Informationsübertragung nicht wünschenswert, denn dann fehlt das Trägermedium für die Information. Das Funksystem setzt eine Ausbreitung der Wellen mit dem Informationsgehalt voraus, Feldminderungsmaßnahmen stören die Reichweite und Sicherheit der Übertragung. Weil das Funksystem eine stationäre Signalquelle (Basisstation) und eine mobile Einheit (z. B. ein Mobil- oder Funktelefon) voraussetzt, ist es in Bezug auf die Emission und auch in Bezug auf die Nutzerseite nicht symmetrisch. Die Basisstation muss eine verlässliche Infrastruktur bereitstellen, d. h. in einem beschriebenen Bereich sicher erreichbar sein, das Mobilteil muss das nicht. Wie bei der Wahl des Ortes ist der mobile Nutzer frei, das Senden der mobilen Einheit zu verändern. Er kann z. B. sein Mobiltelefon ausschalten oder

möglicherweise auch die Sendeeigenschaften verändern. Die fehlende Änderungsmöglichkeit aufseiten der Basisstation führt auch bei den exponierten Personen, beispielsweise in der Nachbarschaft von Mobilfunkbasisstationen, häufiger zu Ablehnung und Sorgen in Bezug auf die Exposition. Es wird befürchtet, die Sendestation könne die Gesundheit der Anwohner beeinträchtigen. Generell kann ein hochfrequentes elektromagnetisches Feld Energie auf ein absorbierendes Molekül im Gewebe übertragen. Das Feld wird dabei abgeschwächt, das absorbierende Gewebe erwärmt sich. In Mikrowellen wird dieser Effekt zum Garen benutzt. Die Grenzwerte zum Schutz sind an dieser thermischen Wirkung orientiert und enthalten Sicherheitspuffer, sodass keine unbeabsichtigte und gesundheitsrelevante Überwärmung stattfinden kann. Dies wird auch von Kritikern nicht bezweifelt (Grunst 2011). Der Schutz vor zu hoher thermischer Belastung ist auch in wenigen Metern Abstand zu einer Mobilfunk-Basisstation sicher gegeben. Die Kontroverse entzündet sich vielmehr an der Frage, ob es zudem Wirkungen gibt, die unabhängig von diesem sicher bekannten Wirkmodell zu beachten sind, eben nicht-thermische Wirkungen. Eine Reihe von Forschungsarbeiten hat bereits Wirkungen von schwächeren hochfrequenten elektromagnetischen Feldern gefunden, was immer wieder auch breite öffentliche Diskussionen hervorgerufen hat (Focus online 2011).

Weniger sichtbar sind die oft umfangreichen Versuche von Wissenschaftlern, diese ursprünglichen Befunde zu reproduzieren um sie einer Ursachenforschung zu unterziehen. Bisher gibt es trotz vielfacher Versuche keine einzige reproduzierbare oder konsistente nicht-thermische Wirkung, die einer kritischen wissenschaftlichen Prüfung standhält (BfS 2014). Dies gelang bisher weder auf molekularer Ebene, mit Zell- oder Tierversuchen oder gar beim Menschen. Hierfür kann es verschiedene Gründe geben. Wissenschaftliche Studien beinhalten immer statistische Unsicherheiten und beziehen sich auf ausgewählte Funktionen, Rahmenbedingungen und Populationen. In der Vergangenheit ist es unter diesen Bedingungen nicht gelungen, wiederholt die gleichen Effekte auf ein biologisches System mit schwachen Hochfrequenzfeldern zu erzielen. Dies macht eine klare Aussage in Bezug auf ein Gesundheitsrisiko zumindest schwierig. Dazu kommt, dass ein biologischer Effekt nicht gleichzusetzen ist mit einem Gesundheitsrisiko. Das biologische System reagiert ständig auf Anforderungen aus der Umwelt, das ist ein natürlicher Prozess. Reaktionen auf

einen Reiz, z. B. auf ein Lichtsignal, können als biologischer Effekt zwar auf vielen biologischen Ebenen messbar sein, ein Gesundheitsrisiko resultiert daraus aber nicht automatisch.

In der Gesamtschau der wissenschaftlichen Erkenntnislage kommen daher die internationalen Gesundheitsorganisationen (auch die Weltgesundheitsorganisation) zu dem Schluss, dass die nachgewiesenen Wirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern alle durch das thermische Modell erklärt werden können, und dass die Grenzwerte vor einer akuten Überexposition schützen (WHO 2014). Unsicherheiten werden noch in der Beurteilung von langfristig höheren Feld-Expositionen in Bezug auf das Krebsrisiko gesehen. Einige epidemiologische Studien, die das Auftauchen von Krankheiten in der Bevölkerung untersuchen, finden bei den »Langzeit-Vieltelefonierern« eine Risikoerhöhung für einzelne Krebsarten. Die Studien sind aber insgesamt nicht schlüssig und Ursachen für diese Risikoerhöhung sind nicht zu identifizieren oder durch andere Studien zu erklären (IARC 2013). Die IARC (International Agency for Research on Cancer) hat aus den angesprochenen Gründen sowohl niederfrequente wie auch hochfrequente elektromagnetische Felder als möglicherweise krebserregend in die Klasse 2B eingestuft (IARC 2011). Diese Klasse bedeutet, dass es Studien gibt, die ein Krebsrisiko zeigen, andere Studien diese Ergebnisse aber nicht erklären oder unterstützen können.

Hinweise für die Planung

Als Fazit aus der aktuellen Erkenntnis- und Diskussionslage bleibt festzuhalten, dass Nachweise für gesundheitlich bedenkliche Wirkungen schwacher elektromagnetischer Felder nicht vorhanden sind. Diese streng wissenschaftliche Deutung der Erkenntnislage trotz vorliegender Studien, die einen Effekt zeigen, überzeugt jedoch viele Menschen nicht. Die Skepsis gegenüber Feldexpositionen bleibt daher weit verbreitet, mit Bedeutung auch für ökonomische Betrachtungen bei Gebäuden. So können beispielsweise die Grundstückspreise in der Nähe von Hochspannungsleitungen oder Mieten in Sichtweite zu Mobilfunkantennen aufgrund dieser Effekte deutlich niedriger ausfallen als aufgrund anderer Kriterien zu erwarten.

In der Planung von Gebäuden ist es sinnvoll, mögliche Bedenken der Nutzer in Bezug auf gesundheitliche Risiken zu beachten. Dies kann z. B. bedeuten, Gebäude so

auszurichten, dass der Abstand zu externen Feldquellen, wie Starkstromleitungen, Trafostationen, Mobilfunkanlagen, möglichst groß ist. Auch Räume mit langer Aufenthaltsdauer der Nutzer (z. B. Büroräume) sollten möglichst weit entfernt von externen Feldquellen liegen. Dies kann auch für den Umgang mit internen Feldquellen aufgegriffen werden: Gebäude sollten so zониert werden, dass umfangreichere elektrische Installationen und Infrastruktur möglichst großen Abstand zu den Daueraufenthaltsbereichen haben. In Räumen selbst sollten insbesondere Sendeeinrichtungen wie WLAN oder Mobilfunkantennen nicht in unmittelbarer Nähe zu Arbeitsplätzen angebracht sein. Für die Ausstattung von Arbeitsplätzen (z. B. mit Bildschirmen) sollten möglichst strahlungsarme Geräte ausgewählt werden. Generell gilt, dass Maßnahmen zur Vermeidung von Expositionen Vorrang vor Maßnahmen zum Umgang damit haben sollten.

2.6.2 Quellen und weiterführende Literatur

Quellen

Bundesamt für Strahlenschutz (BFS) (2014). Biologische Wirkungen infolge von Energieabsorption und Erwärmung; www.bfs.de/de/elektro/hff/wirkungen/Energieabsorption_und_Erwaermung.html, online 12.05.2014

BlmSchV (2013). Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, (Verordnung über elektromagnetische Felder in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2013 (BGBl. I S. 3266)

Focus online (2011). Gefahr durch Alltagsgifte. Elektromog: Risiken durch Handys, Sendemasten & Co.? 17.08.2011 www.focus.de/gesundheit/gesundleben/vorsorge/risiko/tid-8327/von-elektromog-bis-feinstaub_aid_229594.html (Aufruf 12.05.2014)

International Agency for Research on Cancer (IARC) (Ed.) (2011). IARC Classifies Radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans (Press Release No 208). Lyon, France: IARC.

International Agency for Research on Cancer (IARC) (Ed.) (2013). Non-ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields (IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vol. 102). Lyon France: WHO Press.

Leitgeb, N. (2000). Machen elektromagnetische Felder krank? Strahlen, Wellen, Felder und ihre Auswirkungen auf unsere Gesundheit (3. Aufl.). Wien: Springer.

Stevens, R. G. (2000). Die Melatonin-Hypothese: Circadiane Störungen und Brustkrebs. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie, 50 (9), 302–303.

Grunst, M. & Reinöhl-Kompa, S. (Hrsg.) (2011): Risiken ionisierender und nichtionisierender Strahlung. Zusammenfassung und Bewertung der Klausurtagung der Strahlenschutzkommission am 05./06. November 2009 (Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Bd. 66). Berlin: Hoffmann.

World Health Organization (WHO) (Ed.) 2013: Electromagnetic fields (EMF)

www.who.int/peh-emf/en/ (Aufruf 12.05.2014)

Weiterführende Literatur

Hug K. & Rösli, M. (2012). Elektromagnetische Hypersensibilität. Bewertung von wissenschaftlichen Studien. Stand Ende 2011 (Umwelt-Wissen, Nr. 1218). Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern (Hrsg.). Bern, Schweiz: BAFU.

Katalyse e.V. (Hrsg.) (2002). Elektromog – Gesundheitsrisiken, Grenzwerte, Verbraucherschutz (5. neu überarb. Auflage). Heidelberg: C. F. Müller.

Wojtysiak, A. (2004). Untersuchungen zum Nachweis nicht-thermischer Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder an Gliazellen (Dissertation, Universität Duisburg-Essen). Osnabrück: Der Andere Verlag.



2.7 Raumkonzept und Raumgestaltung

Karin Schakib-Ekbatan, Roman Wagner

Neben den bisher erörterten Umgebungsbedingungen beeinflusst das Raumkonzept das Zusammenspiel von Arbeitstätigkeit und Nutzerbedürfnissen. Ob Einzel- oder Teamarbeit: Die räumlichen Gegebenheiten sollen den Arbeitsprozess sowie die Gesundheit und das Wohlbefinden optimal unterstützen. Räumliche Bedingungen bestimmen wesentlich die Regulierung der sozialen Beziehungen, Kommunikationsprozesse und die Aneignung bzw. Personalisierung der Umwelt.

An spezifische Raumkonzepte werden dabei Erwartungen an die Funktionalität geknüpft. In den 1960er Jahren wurde mit einer großflächigen, offenen Raumstruktur die »Bürolandschaft« entwickelt, die den Mitarbeitern eine schnelle Kommunikation untereinander und flache Hierarchien ermöglichen sollte. Allerdings stehen insbesondere Großraumbüros seit ihrer Einführung immer wieder in der Diskussion: Den Argumenten der Wirtschaftlichkeit durch Flächeneffizienz und der Unterstützung kommunikativer Prozesse stehen eher negative Nutzererfahrungen im Arbeitsalltag gegenüber (Brill,

Weidemann & BOSTI-ASSOCIATES, 2001; Kim & de Dear, 2013; Wagner & Schakib-Ekbatan, 2011).

2.7.1 Architekturpsychologische Grundlagen

Um die psychologischen Prozesse nachvollziehen zu können, die mit räumlicher Umgebung im Kontext des Arbeitsplatzes verknüpft sind und um zu verstehen, warum die Wahl des Raumkonzeptes ein sensibles Thema darstellt, wird aus architekturpsychologischer Perspektive erläutert, in welcher Weise die räumlich-soziale Umwelt auf das Erleben und Verhalten wirkt (siehe hierzu auch Kapitel 3.1).

Privatheit

Unter Privatheit am Arbeitsplatz wird im psychologischen Sinn ein prozesshaftes Geschehen verstanden, das die Möglichkeit der Regulation und Kontrolle über

Als Funktionen der Privatheitsregulation nennt Altman (1975) als Beispiele für persönliche Autonomie die Regulierungsmöglichkeit der sozialen Interaktion, Grenzen definieren und den Schutz vor den Blicken Anderer (visuelle Privatheit). Darüber hinaus dient Privatheit durch Rückzugsmöglichkeit aus sozialer Interaktion der emotionalen Entspannung. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Selbstbewertung: Durch Abstand vom Informationsfluss, können Eindrücke aus der Umwelt bewertet und integriert werden. Hierdurch wird die Ich-Identität gestärkt. Die Möglichkeit der Privatheitsregulation führt zu geschützter Kommunikation; visuelle und akustische Privatheit ermöglichen vertrauliche, ungestörte Gespräche.

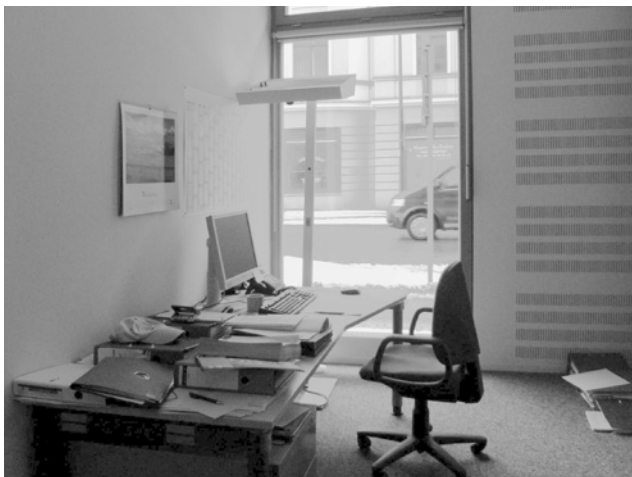


Abb. 2.7-1: Sicht auf den Arbeitsplatz vom Bürgersteig aus

soziale Beziehungen, die visuelle und akustische Abgeschirmtheit beschreibt. Dabei geht es um ein Wechselspiel zwischen Kontaktaufnahme und -beendigung, zwischen Alleinsein und Zusammensein. »Für jede Situation definiert ein Individuum ein Optimum, ein erwünschtes Ausmaß an Privatheit.«, (Hellbrück & Fischer, 1999, S. 305). Die bauliche Umwelt kann die gewünschte Regulierung erleichtern oder erschweren (Flade, 2008). Ein Übermaß an Kontakt kann somit als beengend erlebt werden, ein Zuwenig an Kontakt als Isolation.

Weicht die gewünschte von der tatsächlichen Privatheit dauerhaft ab, entsteht Stress. Nicht nur das Gesehen-Werden, vor allem auch Reaktionen auf Bewegungen, Geräusche oder Stimmen – also einem Zuviel an zu verarbeitender Information aus dem Umfeld – können zu Belastung führen. Visuelle Informationen haben eine große Bedeutung in der Wahrnehmung und Bewertung der Umwelt (Goldstein, 1997), daher reagieren Menschen meist mit Blicken auf Bewegungen im Umfeld. Transparente Glaselemente zum Flurbereich können daher mit dem Wunsch nach Privatheit kollidieren. Eine besondere Problematik besteht diesbezüglich in Atrien-Gebäuden, wenn zusätzlich gegenüberliegende Büros ins Blickfeld rücken.

Ebenso kann die Lage des Gebäudes (z. B. in Bürgersteig – oder Straßennähe) in Verbindung mit einem hohen Verglasungsanteil zu einer als zu gering erlebten Privatheit führen (siehe Abb. 2.7-1).

Art und Umfang, inwieweit Privatheit gewährleistet ist, sind oft auch ein Status-Symbol: Führungspersonen und leitende Angestellte verfügen eher über Büros, die keinen



Abb. 2.7-2 und 2.7-3: Über eine Jalousie oder eine Pflanze versuchen Nutzer ein höheres Ausmaß an Privatheit herzustellen



Abb. 2.7-4 und 2.7-5: Ergebnis einer Nutzerbeteiligung bei der Gestaltung eines Büroraums mit Kundenverkehr: zunächst Büro mit Theke zur Abschirmung der Arbeitsplätze, später offenere Anordnung

Einblick vom Flur aus erlauben. Die Lage des Raumes zeugt von einer deutlichen Regulation des Zugangs, wenn das Büro durch einen Vorraum zu betreten ist. Nutzer sind einfallsreich, um ein gewisses Maß an Privatheit herzustellen (Abb. 2.7-2 und 2.7-3). Die Berücksichtigung der Nutzerbedürfnisse und eine flexible Handhabung bei Veränderungsbedarf unterstützt die Akzeptanz des Arbeitsplatzes (siehe Abb. 2.7-4 und 2.7-5). Die Konsequenz dauerhafter Beschwerden kann ein Umbau der Räume sein (siehe Abb. 2.7-6 und 2.7-7).

Territorialität

Eng verknüpft mit Privatheit ist der Mechanismus des Territorialverhaltens. Unter Territorialität wird ein Bündel

von Verhaltensweisen, Gedanken, Meinungen, Einstellungen und Absichten verstanden, das Individuen oder Gruppen in Hinblick auf eine wahrgenommene Eigentümerschaft eines definierten physischen Raumes zeigen. Territorien lassen sich nach verschiedenen Aspekten unterscheiden (Hellbrück & Fischer, 1999):

- Dauer der Inanspruchnahme, Besetzung
- Persönliche Bedeutung
- Ausmaß der Personalisierung
- Ausmaß der Einflussnahme
- Verteidigungstendenz, Reaktion auf Verletzung des Territoriums



Abb. 2.7-6 und 2.7-7: Umbau vom offenen Großraumbüro in kleinere, abgetrennte Einheiten mit Transparenz zu innen liegenden Kombizonen



Abb. 2.7-8 und 2.7-9: Viele Mitarbeiter personalisieren ihre Büroräume durch selbst ausgewählte Bilder.

Bezüglich der Personalisierung werden drei Arten von Territorien unterschieden (siehe Tab. 2.7-1). Von der Dauer der Besetzung hängt es ab, in welchem Ausmaß der physische Raum von Individuen oder Gruppen als Eigentum empfunden wird. Das Ausmaß der Personalisierung zeigt an, wie wahrscheinlich Verteidigungshandlungen im Falle einer Verletzung der Raumnutzung durch als nicht befugt wahrgenommene andere Individuen oder Gruppen erfolgen. Darüber, welches Verhalten in Bezug auf die Dauer der Besetzung oder das Ausmaß der Personalisierung als angemessen empfunden wird, bestehen zumeist formelle wie informelle Nutzungs- bzw. Verhaltensregeln. Abweichendes Verhalten kann zu Irritationen bis hin zu ernststen Konflikten führen. Mit einem definierten Territorium geht je nach Art des Territoriums (siehe Tab. 2.7-1) eine gewohnheitsmäßige Belegung, Verteidigung und Personalisierung (Markierung) des physischen Raumes einher.

Territorien haben organisierende Funktion (Edney, 1976; nach Hellbrück & Fischer, 1999): Sie schaffen Vorhersagbarkeit und Ordnung, geben Stabilität und Planungssicherheit. Hierdurch haben sie auch eine stressreduzierende Wirkung. Zudem unterstützen Territorien damit auch Effizienz und Kompetenz. Durch ihre identitätsstiftende Bedeutung stärken sie das Selbstwertgefühl und unterstützen die Bildung eines Wir-Gefühls in Gruppen. In den meisten herkömmlichen Büroformen ist die Dauer der Besetzung, also der von einer oder mehreren Personen wahrgenommenen Eigentümerschaft, hoch. Damit verbunden ist das Bedürfnis, Kontrolle über das Territorium auszuüben und es zu personalisieren (siehe Abb. 2.7-8 und 2.7-9). Das Aufstellen von Gegenständen oder Aufhängen von Bildern sind identitätsstiftende Handlungen. Sie drücken die eigene Persönlichkeit aus und verdeutlichen das Gefühl der Zugehörigkeit zum Unternehmen.

Tab. 2.7-1: Unterscheidung von Territorien in Hinblick auf Inanspruchnahme und Verhalten (nach Hellbrück & Fischer, 1999)

Unterscheidung von Territorien	Dauer der Besetzung	Ausmaß der Personalisierung/Verteidigung
Primäres Territorium (z. B. Wohnung, Büro)	fortgesetzt, relativ permanent, wird von den Besetzenden und Anderen als Eigentum wahrgenommen	ausgeprägte Personalisierung nach eigenen Vorstellungen, vollständige Kontrolle, unerlaubtes Eindringen Anderer wird als schwerer Verstoß bewertet
Sekundäres Territorium (z. B. Besprechungsraum, Klassenraum)	vorübergehend, gemäßigt, keine wahrgenommene Eigentümerschaft, der Besetzende gehört zum Kreis der zugelassenen Personen	begrenzte Personalisierung während der Inanspruchnahme des Territoriums, zeitlich begrenzte Verteidigung
Tertiäres Territorium (z. B. öffentlich zugängliche Plätze oder Parks, Haltestellen)	nur kurzzeitig, keine Eigentümerschaft, große Anzahl potenzieller Personen als Besetzende	eher keine Personalisierung, gelegentlich zeitlich begrenzte Personalisierung, geringe Wahrscheinlichkeit der Verteidigung

2.7.2 Wirkung räumlicher Bedingungen am Arbeitsplatz

Bei Privatheit, Territorialität und Personalisierung spielen auch individuelle Präferenzen, kulturelle Unterschiede und situative Faktoren eine Rolle dabei, wie die räumlichen Bedingungen erlebt werden. Studien zur Bewertung des Büroarbeitsplatzes zeigen aber über Jahrzehnte hinweg immer wieder deutliche Tendenzen. Aus arbeits- und organisationspsychologischer Perspektive bieten sich abhängig von den Anforderungen verschiedene Büroformen an (siehe Tab. 2.7-2).

Großraumbüros schneiden schlecht ab

Befragungen in Büros vor allem im angloamerikanischen Raum beschäftigen sich seit den 1980er Jahren intensiv mit der Wirkung des Raumkonzeptes auf Wohlbefinden, Zufriedenheit und Produktivität der Mitarbeiter. Großraumbüros schnitten dabei in der Nutzerbewertung eher schlecht ab (Gifford, 2002). Allerdings schlagen sich auch individuelle Präferenzen in Bezug auf Sozialkontakte in der Bewertung der räumlichen Umgebung nieder. Teilweise wurden kurzfristig positive Bewertungen in Großraumbüros verzeichnet, wenn Personen aus kleinen, beengten Büros in neue großzügige Räume umgezogen waren (»novelty-effect«, ebd., p. 361).

Produktivität ist für viele Unternehmen ein wichtiger (gleichwohl schwierig zu messender) Indikator für gelungene Raumkonzepte. Hierbei zeigen sich jedoch gerade in Großraumbüros problematische Aspekte, wie z. B. Ablenkung von der Arbeit. In einer Studie blickten Personen, deren Arbeitsplatz an einem Hauptweg lag, mehr als vier Mal so häufig auf wie Personen an anderen Positionen im Raum (gemessen an 15-Minuten-Intervall; vgl. Flade, 2008). Störungspotenzial und Unzufriedenheit scheinen mit der Anzahl der Personen im Raum zu steigen (Amstutz, Kündig & Monn, 2010; Kim & de Dear, 2013; Schakib-Ekbatan, Wagner & Lützkendorf, 2011). Hauptursachen für Unzufriedenheit und Stress sind Umgebungsbedingungen, die geringe akustische (Telefonklingeln, Gespräche im nahen und weiteren Umfeld) und visuelle Privatheit bieten. Bezüglich der arbeitsbezogenen Kommunikation der Mitarbeiter untereinander kommt die BOSTI-Studie (Brill, Weidemann & BOSTI Associates, 2001) nach über 30-jähriger Forschung in über 100 Gebäuden und mit mehr als 20 000 Befragten zu dem Ergebnis, dass Großraumbüros im Vergleich zu

Territorialität im Sinne von Terrain abstecken bzw. Ressourcen sichern, wird wissenschaftlich zum einen als instinktbasierter kultureller Universalie (vgl. Hellbrück & Fischer, S. 299) und damit evolutionstheoretisch betrachtet. Zum anderen gibt es eine lernpsychologische Perspektive, die davon ausgeht, dass territoriales Verhalten zu einem gewissen Maße auch erlernt wird. Demnach wird normangemessenes territoriales Verhalten über die positive Verstärkung und Belohnung gefestigt: Es wird gelernt, welchen Territorien welche Bedeutung zukommt und mit welchen Rollen, Normen und Regeln die physischen Räume verknüpft sind (Flade, 2008). Eine integrative Position besagt, dass Territorialverhalten »das Ergebnis einer Interaktion zwischen angeborener Disposition und Lernen« ist (Hellbrück & Fischer, 1999, S. 342). Grundlage für Territorialverhalten ist die Anforderung, sich »auf komplexe und dynamische Umwelten« (ebd.) einstellen zu müssen.

Einzel- oder Kleingruppenbüros solche Kommunikation aus Sicht der Nutzer eher verhindern.

Auswirkungen auf Energieeffizienz und Gesundheit

Auch in Hinblick auf energetische Aspekte kann sich die Raumstruktur auswirken. So zeigt sich in der Praxis häufig, dass die Konditionierung größerer Büroflächen im Vergleich zu kleineren umschlossenen Büroeinheiten aufgrund stark variierender Präferenzen für Raumlufttemperaturen oder Zugluft eine etwas höhere Raumtemperatur erfordert, um Diskomfort zu vermeiden. In größeren Büroeinheiten lässt sich zudem das Tageslicht nicht an allen Arbeitsplätzen optimal nutzen.

Neben dem Problem akzeptabler Luftqualität sinkt die Möglichkeit der individuellen Einflussnahme auf die Umgebung, was wiederum zu mehr Unzufriedenheit führen kann. Auch auf die Gesundheit wirkt sich das Bürokonzept aus: In einer Studie mit fast 2 000 Personen zeigte sich, dass die Tätigkeit insbesondere in Großraumbüros, aber auch in Bürokonzepten ohne festen Arbeitsplatz (non-territoriale Konzepte) mit einem höheren Risiko für Krankheitsausfall verbunden war als in Einzel-, Kleingruppen oder Kombibüros (Bodin Danielsson, Chungkham, Wulff & Westerlund, 2014). Das Geschlecht scheint dabei auch eine Rolle zu spielen: Frauen in Großraum-

Tab. 2.7-2: Vor- und Nachteile verschiedener Büroformen, in Anlehnung an Sonntag, Frieling & Stegmaier (2012).

Büroform	Vorteile	Nachteile
Einpersonen-Zellenbüro	ruhig, wenig Störung, konzentriertes und kreatives Arbeiten, Rahmen für vertrauliche Gespräche gegeben	flächenaufwendig, kein Ansprechpartner für unmittelbare face-to-face Kommunikation
Mehrpersonen-Zellenbüro (shared room office) für 2 bis 4 Personen	Zusammenarbeit in entsprechend großem Büro für übergreifende Arbeitsprozesse und formale Kommunikations-erfordernisse möglich	gewisses Störpotenzial ist gegeben (z. B. Gespräche, Telefonate, techn. Geräte)
Gruppenbüro (small open plan office) für 5 bis 20 Personen	Zusammenarbeit in Teams oder organisatorischen Einheiten ab etwa 5 Personen, Abstimmung wird erleichtert	Ablenkungspotenzial, hoher Geräuschpegel
Großraumbüro (large open plan office) keine einheitliche Definition, mindestens 10 oder 20 Personen, mindestens 400 m ² Grundfläche, bis zu 100 und mehr Arbeitsplätze	flexible Anpassung der Arbeitsplätze, z. B. Abtrennung durch Schrankwände oder Pflanzen, Unterstützung von Kommunikationsfluss, Flexibilität, kann intensiveres Zusammenarbeiten einzelner Einheiten fördern	hoher Aufwand für Klimatisierung erhebliches Störungspotenzial, hoher Geräuschpegel, geringe bis keine Privatheit
Kombibüro (flex office)	einzelne Arbeitsplätze und Zellenbüros kombiniert mit Multifunktionszonen, konzentrierte Einzelarbeit und Teamarbeit möglich	relativ kleine individuelle Arbeitsfläche
Non-territoriales Bürokonzept (non-territorial office)	bietet spezielles Arbeitsambiente für verschiedene Aufgaben in einer großflächigen Büroeinheit, persönliche Unterlagen in einem mobilen »Caddy«, optimale Raumnutzung durch Sharing-Konzept	Aufhebung der festen Zuordnung von Arbeitsplätzen erlaubt kaum Personalisierung, eher Eignung für Außendienstmitarbeiter oder Personen, die zeitweise im Homeoffice arbeiten

büros mit mehr als 24 Personen hatten ein erhöhtes Erkrankungsrisiko, ebenso Männer, die keinen zugewiesenen Arbeitsplatz hatten. Die Möglichkeit der Personalisierung des Arbeitsplatzes kann offenbar zu einem gewissen Maß negative Folgen geringer Privatheit kompensieren: Mitarbeiter an offen gestalteten Arbeitsplätzen fühlten sich seltener emotional erschöpft, wenn sie ihren unmittelbaren Arbeitsplatz mit Fotos oder persönlichen Gegenständen ausstatten konnten (Laurence, Fried & Slowik, 2013).

Interessant im Zusammenhang mit non-territorialen Konzepten ist die Tendenz von Mitarbeitern, nach Möglichkeit immer wieder denselben Platz für die Arbeit im Gebäude auszuwählen, um den psychischen Aufwand durch wechselnde Umgebung, wechselnde Personen im Umfeld zu minimieren (Brunia & Hartjes-Gosselink, 2009; Elsbach, 2003). Ständige neue Orientierung und **Adaptation** an die Umgebung binden Leistungskapazität. Wird eine Personalisierung des wechselnden Arbeitsplatzes unterbunden, verstärkt dies das Gefühl, austauschbar zu sein, verbunden mit der Gefahr einer geringen Bindung an das Unternehmen. Auch non-terri-

toriale Arbeitsplätze sollten daher eine Personalisierung ermöglichen.

Zu neueren Raumkonzepten besteht noch Forschungsbedarf, um mittel- und langfristige Wirkungen auf Gesundheit, Wohlbefinden, Zufriedenheit und Produktivität zu ermitteln. Eines machen jedoch bisherige Befunde deutlich: Die Wahl des Raumkonzeptes muss gut geplant (möglichst mit Überlegungen zu etwaigen Alternativen), umgesetzt und nachbetreut werden, um optimieren zu können. Gerade Großraumbüros bzw. Open Space-Konzepte erfordern in Hinblick auf gute Umgebungsbedingungen besondere Sorgfalt bei der Gestaltung. Dazu gehören schallisolierende Maßnahmen, Rückzugsmöglichkeiten und die Beteiligung der Mitarbeiter.

2.7.3 Psychologische Wirkung von Farben im Büro

Aktuelle Trends für eine optimale Ausgestaltung von Räumen zielen darauf, neben der Erhaltung der Gesundheit, beispielsweise durch schadstoffarme Materialien,

vor allem mit speziellem Design und ästhetischen Mitteln Wohlbefinden, Zufriedenheit, Kreativität und Produktivität zu fördern. Die Möglichkeiten der Umsetzung sind vielfältig; die Grenzen zwischen eindeutig erkennbarer Büroarbeitsumwelt, Freizeit- und Wohnambiente verschwimmen dabei je nach Unternehmensphilosophie gezielt. Während zum unmittelbaren Arbeitsplatz Vorgaben existieren, ist der Spielraum für viele Gestaltungsmerkmale, wie Farben oder Formgebung von Flächen im Innenraum, groß.

Der Umgang mit Farben und Farbbewertung unterliegt neben angeborenen Reaktionen in starkem Maß erlernten und kulturellen Einflüssen. Auch individuelle Präferenzen bilden sich im Laufe biografischer Erfahrungen. Farben dienen der Unterscheidung und Gliederung des Umfeldes und der Signalgebung (Goldstein, 1997). Farbgestaltung kann dabei mehrere Effekte auf Menschen haben: Sie wirkt auf die Raumwahrnehmung insgesamt und bewirkt Emotionen sowie physiologische Reaktionen (z. B. auf die Herzfrequenz) der Personen (Küller, Mikellides & Janssens, 2009). Es gibt Hinweise darauf, dass Helligkeit, Farbton, Farbsättigung, Farbkombination und die Verteilung der Farben bedeutsam für das Befinden sein können. Studien zur Wirkung von Farben im Bürokontext sind jedoch vergleichsweise selten, insbesondere Untersuchungen unter realen Arbeitsbedingungen. **Empirische** Studien zur Wirkung von Farben im Arbeits- und Leistungskontext stützen sich häufig auf experimentelle Studien, um störende Einflussgrößen auf Wahrnehmung und Bewertung der farblichen Umgebung zu minimieren. Wie lange die Probanden in der untersuchten Situation verbleiben, variiert dabei je nach Studie zwischen wenigen Minuten bis hin zu mehreren Stunden.

Farben moderat einsetzen

In einer Studie untersuchten Elliot, Maier, Moller, Friedman und Meinhardt, (2007) die Signalfarbe Rot hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Leistungsfähigkeit. Bei kognitiv anspruchsvollen Aufgaben verringerte sich die **Leistung** in einer roten Umgebung (Elliott et al., 2007). Dieser Effekt wurde darauf zurückgeführt, dass Rot die physiologische Erregung steigert. Die Auswirkung kann jedoch individuell verschieden sein: Personen, die beispielsweise während der Arbeit generell Umgebungsreize gut filtern und sich gegen weniger bedeutsame Reize abschirmen können, reagieren tendenziell in geringerem Maße auf

Farben in der Umgebung (Kwallek, Woodson, Lewis und Sales, 1997). Küller, Ballal, Laike, Mikellides und Tonello (2006) erfassten in einer Studie an fast 1 000 Arbeitsplätzen in unterschiedlichen kulturellen Kontexten (Saudi-Arabien, Argentinien, Schweden und Großbritannien) neben der Wirkung von Licht die Wirkung von Farben am Büroarbeitsplatz. In einem Experiment wurde u. a. die Wirkung eines grauen Raumes mit der eines farbigen verglichen (Küller, Mikellides und Janssens, 2009). Die Probanden bewerteten den farbigen Raum im Vergleich zu dem grauen Raum positiv. Auch individuelle Unterschiede spielen offenbar bei der Wirkung von Farben eine Rolle: Bei eher introvertierten oder bereits eher negativ gestimmten Personen verstärkte sich der Zustand durch die farbige Umgebung. Eine Folgerung ihrer Untersuchung war, dass eine farbige Umgebung eher positiv auf die Stimmung wirkte. Allerdings gaben sie insgesamt auf Basis ihrer Erkenntnisse und anderer Studien die Empfehlung, Farben bei der Raumgestaltung eher moderat einzusetzen.

2.7.4 Moderne Arbeitswelten und Nutzerzufriedenheit

Sowohl gesellschaftliche Veränderungen als auch der technologische Fortschritt zwingen Unternehmen dazu, ihre bisherigen Strukturen und Arbeitsprozesse zu überdenken und zeitgemäßen Konzepten anzupassen. Die moderne Arbeitswelt wird zum Wettbewerbsfaktor, das Büro zum Marktplatz der Ideen und Ort gelebter Unternehmenskultur.

Unabhängig von der Branche steht nach eigenen Erhebungen der eigentliche Arbeitsplatz in den meisten Unternehmen durch Kundentermine, Konferenzen, Krankheit, Urlaub und den erhöhten Kommunikationsbedarf mit Kollegen zu 40–50 Prozent der Arbeitszeit leer. Räume zu verkleinern, Arbeitsplätze mit Kollegen zu teilen und Flächen intensiver zu nutzen, sind begründete Ansätze von Unternehmen, um Kosten zu reduzieren. Wer allerdings glaubt, durch voranschreitende Technisierung und Mobilität werde das Bürohaus in Zukunft überflüssig, irrt. Soziale Kontakte und fachliche Abstimmungen bleiben wichtig und nehmen mit wachsender Mobilität und Selbstständigkeit der Mitarbeiter an Bedeutung weiter zu. Neue Arbeitswelten lassen eine Bandbreite an Konzepten zu, welche auf der einen Seite der erhöhten Nachfrage nach Begegnung und Kommunikation Rechnung tragen, auf der anderen Seite den Rückzug für

konzentriertes Arbeiten ermöglichen. Die hohe Flexibilität für Nutzer und die verbesserte Wirtschaftlichkeit für Unternehmen auch in Bezug auf die Ressourcen Fläche und Energie steigern die Nachfrage nach diesen Konzepten.

Büroorganisationsformen im Vergleich

Der Unterschied zwischen möglichen Bürokonzepten, auf die Unternehmen zurückgreifen können, wird vor allem in der Raumgestaltung und der Nutzungsstrategie deutlich (siehe Abb. 2.7-10). So gilt die Strategie zur Nut-

zung verschiedener Angebote, weniger die Anordnung von Flächen, als das Wesen des Bürokonzeptes.

Dem klassischen Konzept »Zellenbüro« mangelt es an geeigneten Räumlichkeiten für formelle und informelle Begegnungen sowie für Team- und Projektarbeit. Dennoch ist diese Büroform auch heute noch interessant für Unternehmen mit einem überwiegenden Anteil an Sachbearbeitung, bei der ein Austausch zwischen Kollegen eine untergeordnete Rolle spielt.

Das Kombibüro schlägt die Brücke zwischen konzentrierter Einzelarbeit und Abstimmung mit Kollegen in Gemeinschaftsbereichen idealerweise dort, wo die kreative



Abb. 2.7-10: Die vier Grundkonzepte im grafischen Vergleich: Zellen- und Kombibüro (oben), sowie Gruppenbüro und Business-Club (unten).

Informationsverarbeitung im Vordergrund steht. Durch einen hohen Anteil an gläsernen Trennwänden wird die Transparenz der Arbeitsprozesse und Flexibilität der Organisation deutlich.

Aufgrund der mangelnden Chance zur Individualisierung und durch akustische Beeinträchtigungen stellen Großraum- und Gruppenbüros in herkömmlicher Art und Weise die unbeliebteste Büroform bei Nutzern dar. Kleinere Einheiten kombiniert mit einer Vielzahl an unterschiedlichen Rückzugs- und Teamarbeitsmöglichkeiten machen diese dennoch zu validen Alternativen. Die hohe Flächenwirtschaftlichkeit und Flexibilität sowie geringe Aus- und Umbaukosten sind zudem überzeugende Argumente im Kostenvergleich (Muschiol, 2007).

Mit weitreichender Wahlfreiheit und IT-Ausstattung sorgen sogenannte Business-Clubs für eine hohe Zufriedenheit und Produktivität. Voraussetzung für die hohe Flexibilität und variable Belegung ist der Verzicht auf persönlich zugewiesene Arbeitsplätze. Die Wahl des Arbeitsplatzes richtet sich vielmehr nach der jeweiligen Arbeitsaufgabe und den persönlichen Neigungen: vom kleinen Rückzugsraum über Projektflächen bis hin zu Lounge und Stehbesprechungen. Damit eignet sich das Konzept für mobil flexibel arbeitende Nutzer. Mitarbeiter, die auf einen engen Austausch mit Kollegen angewiesen sind, können in dieser Büroform im ständigen

Wechsel zwischen Kommunikation, Rückzug und Präsentation arbeiten.

Ausgehend von den vier Grundkonzepten lassen sich maßgebliche Unterschiede belegen, die sowohl für Nutzer als auch Planer in der Konzeption gleichermaßen wichtig sind:

- Während im klassischen Zellenbüro die Kommunikations- und Gemeinschaftsflächen im Schnitt nur 10 Prozent der Nutzfläche ausmachen, steigt der Anteil beim non-territorial genutzten Business-Club auf über 30 Prozent – bei reduzierter Fläche pro Arbeitsplatz.
- Im Kombibüro bzw. im Business-Club wird die Fassade für Arbeitsplätze genutzt, während Nebenfunktionen und Infrastruktur in der Tiefe des Gebäudes angesiedelt werden. Der Einbau von Glas in den Flurwänden unterstützt die Belichtung in diesen Zonen.
- Mit flexiblen Nutzungsstrategien lässt sich eine deutlich höhere Arbeitsplatzbelegung bzw. Flächenwirtschaftlichkeit erreichen.
- Durch die zunehmend offenen Strukturen löst sich der Innenraum von der Fassade. Dadurch ist auch eine organische Architektur nicht mehr zwangsläufig ineffizienter. Voraussetzung ist eine größere Gebäude-

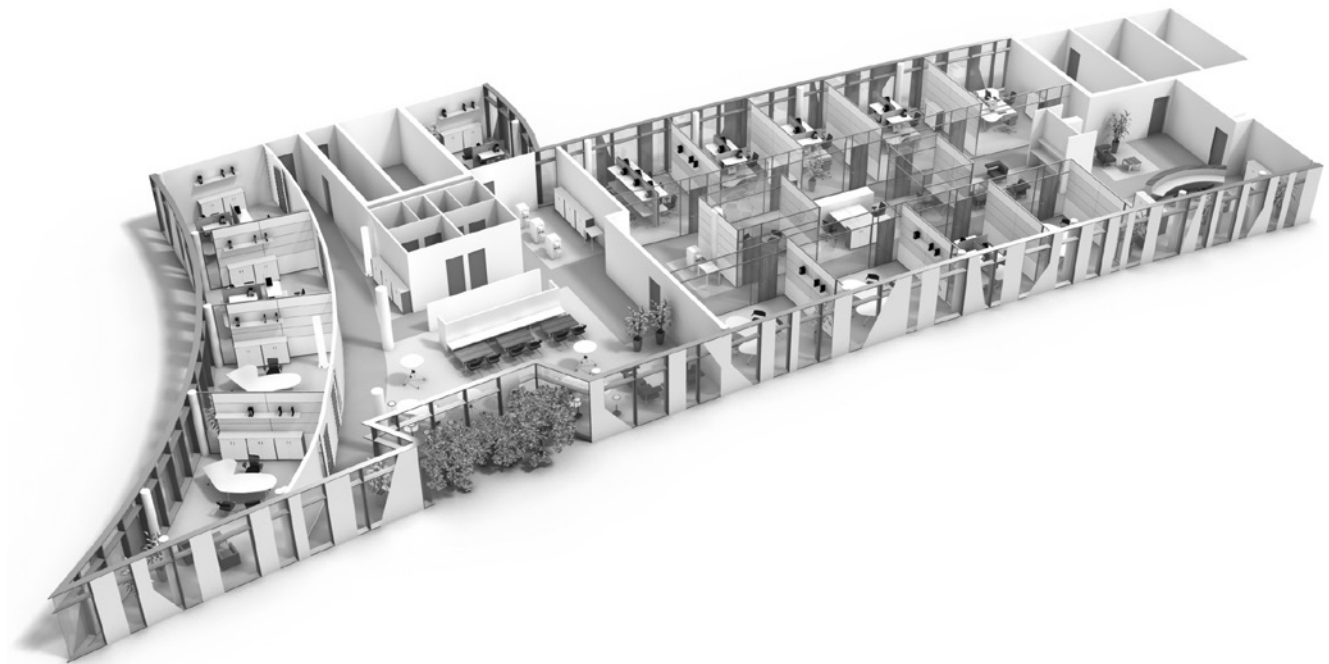


Abb. 2.7-11: Perspektivischer Grundrissausschnitt Kö-Bogen, Düsseldorf



Abb. 2.7-12: Gestaltete Zwischenräume fördern die Begegnungsqualität.

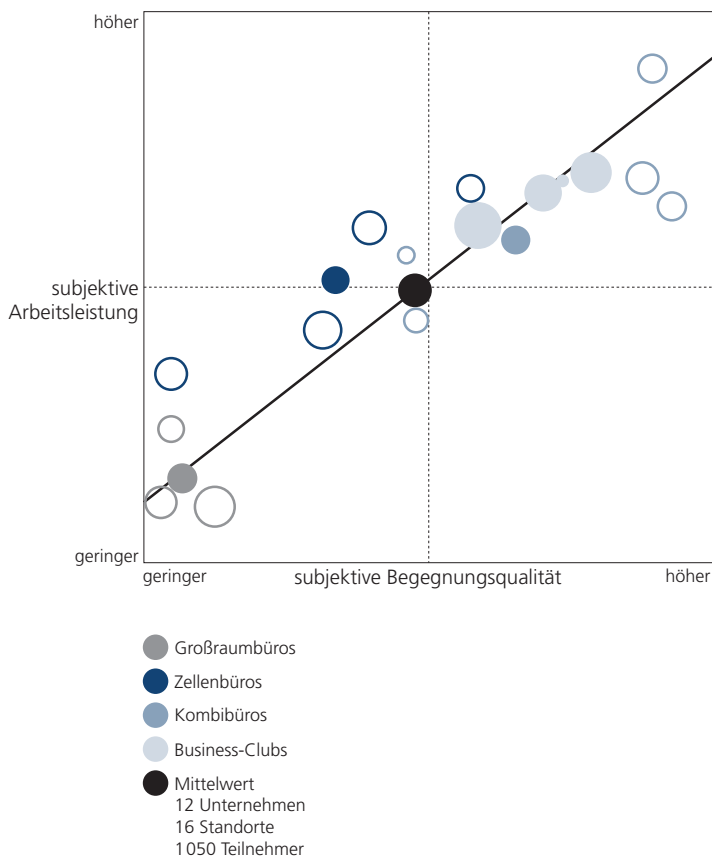


Abb. 2.7-13: Korrelation zwischen Begegnungsqualität und Arbeitsleistung, in Anlehnung an Muschiol (2007).

tiefe mit dreibündiger Nutzung und die Akzeptanz der Nutzer sehr unterschiedlicher Bürotypologien (vgl. Abb. 2.7-11).

Begegnungsqualität

Im modernen Büro hat die Weitergabe von Wissen jenseits formaler Abläufe einen hohen Stellenwert. Begegnungsqualität ist eine zentrale Planungsaufgabe, welche die Arbeitsumwelt um Lebensräume bereichert, die den Kontrast zu den funktional gestalteten Arbeitsräumen inszenieren und den informellen Austausch zwischen Mitarbeitern forcieren (siehe Abb. 2.7-12). Da sie in erster Linie eine Gestaltungsaufgabe für wenig genutzte Zwischenräume ist, erfordert sie kaum zusätzliche Flächen, sondern nur eine sensible Gestaltung.

In den letzten Jahren weisen diverse Forschungsergebnisse auf den positiven Einfluss moderner und flexibel gestalteter Bürokonzepte auf motivationale sowie produktivitätsrelevante Aspekte hin. So konnte z. B. in der Studie »Begegnungsqualität in Bürogebäuden« mit über 1000 Nutzerangaben nachgewiesen werden: Je höher die Begegnungsqualität bewertet wird, desto höher ist die subjektive **Arbeitsleistung** der Nutzer (Muschiol, 2007) (vgl. Abb. 2.7-13).

2.7.5 Gestaltung und ihr gezielter Einsatz im Büro

Der Wettbewerbsdruck und der Kampf um Talente spitzen sich weiter zu. Unternehmen müssen ihren heutigen und zukünftigen Mitarbeitern künftig mehr bieten, als Gehalt, Tisch und Stuhl. Der Fokus verlagert sich immer stärker in Richtung Unternehmenskultur und Architektur:

- Unternehmenskultur verdeutlichen
- Emotionen und Erlebnisse fördern
- Individualität zulassen, Teamgeist stärken
- Angebote und Wohlbefinden steigern

Als Träger und Botschafter von Unternehmenskultur kann die moderne Arbeitswelt bei der Vermittlung der Unternehmensvision unterstützen. Die Umsetzung einer bestimmten Gestaltung kann dazu beitragen, das Unternehmen begreifbar und erlebbar zu machen. Die dadurch erreichte Authentizität stärkt die Identität und Bindung der Mitarbeiter an das Unternehmen.

Farben und Materialien

In den letzten Jahren lässt sich eine Renaissance feststellen, in der Licht und Farbe wieder stärker als atmosphärisches Gestaltungsmerkmal eingesetzt werden.

Während das Sonnenlicht vor allem in der Synchronisierung der Tageszeiten eine Rolle spielt, so dient das Kunstlicht in Gebäuden der Orientierung, Objekterkennung und je nach Farbwirkung dem Empfinden. Farbe hat neben der psychologische auch eine räumliche Wirkung. Gezielt kann ein Raum größer oder kleiner, schmaler oder breiter, länger oder kürzer, höher oder niedriger betont werden (siehe Abb. 2.7-14). Zudem lassen sich Farben als Gestaltungs- und Orientierungsmerkmale einsetzen (siehe Abb. 2.7-15 und Kap. 2.7.3).

Materialien, wie Glas, Holz und Textilien, in Kombination mit Licht und Farbe können das Ambiente im Büro verbessern. Der Transparenz sollte in Bürobauten eine besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Glas sorgt nicht nur für eine optische Erweiterung eines Raums, sondern auch für eine akustische Abschirmung; der Raum ist offen und geschlossen zugleich. Nach dem Prinzip »sehen und gesehen werden« hat der Nutzer sofort einen Überblick und größtmögliche Orientierung. Zudem ergeben sich durch Blickbeziehungen Synergieeffekte: Unnötige Gänge zu beschäftigten Kollegen entfallen, ein spontaner Austausch mit vorbeilaufenden Kollegen lässt sich leicht einrichten. Diese Blickbeziehungen können jedoch auch zu Ablenkungen führen (siehe Kap. 2.7.3). Um die notwendige Privatheit (z. B. für Besprechungen) zu schaffen, lassen sich mittels Folien Motive auf das Glas bringen, die gleichzeitig der Gestaltung und dem Sichtschutz dienen (siehe Abb. 2.7-16).

Mit Holz im Innenraum assoziieren Menschen Wohlbefinden, Wärme und Sicherheit. Mit einer sehr haptischen Oberfläche und Strukturen durch Maserungen ist massives Holz ein angenehmes Material im Innenausbau. In den letzten Jahrzehnten hat sich der Einsatz von Holz aus Kostengründen auf die Geschäftsführungsebene reduziert, während die Schreibtische von Mitarbeitern mit Holzimitaten versehen wurden. Dabei hat Holz neben seiner Eigenschaft als »warmes Material« auch einen gesundheitlichen Aspekt. Es wirkt wie alle hygroskopischen Materialien feuchtigkeitsregulierend und optimiert damit die Behaglichkeitszone.

Während sich der Einsatz textiler Materialien im Büro in der Vergangenheit auf den Teppichboden beschränkt hat, stehen Planern zunehmend Produkte aus dem

Ob sich ein Nutzer in einem Büro wohlfühlt, hängt von vielen Faktoren ab. Die Angemessenheit von Raumklima, Belichtung und Akustik ist sicher als Grundbedürfnis zu beschreiben. Diese physikalischen Merkmale der Arbeitsumgebung sind bereits seit dem Durchbruch der Industrialisierung im Fokus der Betrachtung. Ab Ende der 1960er Jahre wurde eine Humanisierung und Demokratisierung der Arbeitswelt angestrebt. Forschergruppen arbeiten seitdem daran, die Merkmale der Arbeitszufriedenheit zu ermitteln, die Arbeit im Büro effizienter und die Entwicklung von Verwaltungsbauten im positiven Sinne voranzutreiben (Muschiol, 2007). Darüber hinaus sind es vor allem Formen, Farben und der bewusste Einsatz von Materialien, die in der modernen Bürogestaltung den Unterschied ausmachen.

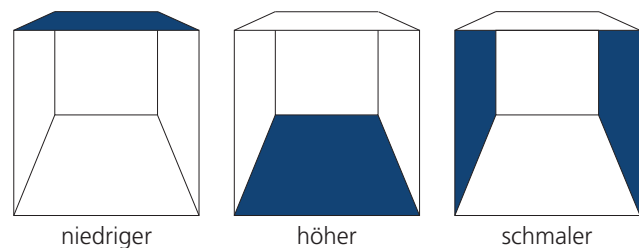


Abb. 2.7-14: Die Farbgestaltung kann gezielt beeinflussen, wie die Dimensionen eines Raumes wirken.

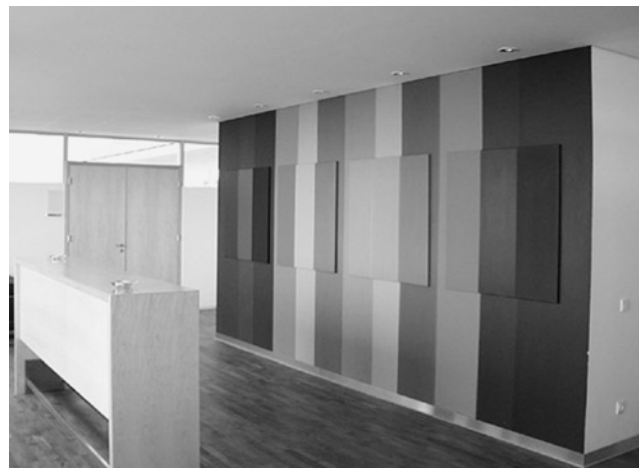


Abb. 2.7-15: Gestaltungselemente unterstützen die Corporate Identity.



Abb. 2.7-16: Gestaltetes Glas ermöglicht Aus- und Durchblicke und bietet dennoch Privatsphäre.



Abb. 2.7-17: Filz zur individuellen Gestaltung des Innenraumes



Abb. 2.7-18: Eine Sitzgelegenheit, die nur selten genutzt wird.

Wohn- und Hotelbereich zur Ausgestaltung von Büro- und Sonderflächen zur Verfügung (siehe Abb. 2.7-17).

Raumbildender Ausbau und Mobiliar

Das Thema Mobiliar vereint viele der vorher genannten Gestaltungselemente: Struktur, Zonierung, Abgrenzung, Verdichtung, Materialien, Farben und Licht.

Möbel übernehmen zunehmend mehr als rein funktionale Aufgaben (siehe Abb. 2.7-18): Vor allem für die gezielte Gestaltung von Kommunikations- und Rückzugsorten als Kontrast zu den funktional und ergonomisch gestalteten Arbeitsplätzen werden sie immer wichtiger. Massive Wände stehen in Kontrast zu dem steigenden Anspruch an Flexibilität und Neuorganisation in Unternehmen. Deshalb wird das Mobiliar zunehmend für die Zonierung von Bereichen herangezogen. Es kann nicht nur als Form visuell trennen, sondern auch als akustisches Element wirken. Beispiele hierfür sind Akustikvorhänge bzw. -bilder (siehe Abb. 2.7-19).

Weiterhin kann dieser Effekt mit einer attraktiv belegten Mittelzone im Dreibund erreicht werden, welche die Gruppenarbeitsplätze entlang der Fassade in kleinere Einheiten unterbricht und gleichzeitig ein attraktives Angebot an formellen/informellen bzw. team- und einzelorientierten Rückzugsmöglichkeiten bietet.

Begrünung

Ähnlich wie in Holz sehen Menschen in Pflanzen das Abbild der Natur im Innenraum (siehe Abb. 2.7-20). Damit verbunden ist das Gefühl von Behaglichkeit und Gesundheit. Zu Recht, wie zahlreiche Untersuchungen ergeben haben. Pflanzen können einen beträchtlichen Beitrag zur Verbesserung des Raumklimas leisten, das Wohlbefinden sowie die seelische Ausgeglichenheit fördern und Ermüdungs- und Stresserscheinungen mindern (Smith & Pitt, 2009).

Ernst zu nehmende Bepflanzungskonzepte im Sinne der oben angeführten Auswirkungen benötigen erhebliche Blattflächen und damit viel Platz im Büro. Aber auch schon kleinere Einheiten lassen sich sinnvoll als Sichtschutz zur Gliederung von (Gruppen-)Bereichen oder als Emissionsschutz für Druckerinseln einsetzen. Entscheidend für ein erfolgreiches Grünkonzept im Innenraum ist neben der Auswahl der Pflanzen vor allem die Beschaffenheit der Boden-, Luft und Lichtverhältnisse. Zudem sollte der Einsatz von Pflanzen in Bezug auf Budget,

Größe, Lichtverhältnisse und Pflege bereits in der Gebäudeplanung berücksichtigt werden.

Kunstwerke

Häufig wird Kunst als reine Dekoration des Innenraumes gesehen. Damit werden nicht unerhebliche Potenziale für das Unternehmen vergeben: Kunst kann hilfreich für die Orientierung im Haus sein, die Bürowelt individualisieren und einen humanen Aspekt in die zunehmend technisierte Arbeitswelt einbringen (siehe Abb. 2.7-21). Vor allem aber im Sinne der Unternehmenskommunikation kann Kunst einen Beitrag leisten. Insbesondere ideelle Konzepte, wie Toleranz, Individualität, Respekt, Leistungsbereitschaft, Loyalität, wie sie als Unternehmenswerte und -kultur beschworen werden, bedürfen Bildern und Symbolen, damit sie von den Mitarbeitern als einprägsame Botschaft wahrgenommen werden können (Hegewisch, 2005).

Voraussetzung für ein gelungenes Kunstkonzept sind detaillierte Nutzer- und Standortprofile, Festlegungen bzgl. Budget und Zeitrahmen und die Entscheidung für oder gegen ortsgebundene Kunst. Bei großen Bauvorhaben haben sich Kunst-Wettbewerbe etabliert, weil sich durch externe, unbefangene Künstler ein neuer Blick auf ein Unternehmen entwickeln lässt.

Corporate Design

Dem Corporate Design kommt die Aufgabe zu, die besondere Identität des Unternehmens visuell darzustellen. Dadurch soll die Identifikation der eigenen Mitarbeiter und die der Kunden mit der Firma erleichtert werden.

Von Bedeutung ist das Corporate Design auch deshalb, weil es sich zur Abgrenzung von Mitbewerbern anbietet: Das visuelle Bild des Unternehmens ist das Element, mit dem sich ein Unternehmen in der Öffentlichkeit am deutlichsten von der Konkurrenz abheben kann. Allerdings ist das Corporate Design nur eine Maßnahme zur Vermittlung der Unternehmensidentität (Corporate Identity). In erster Linie wird diese durch die gelebte Unternehmenskultur bestimmt.

Das Corporate Design erstreckt sich auf viele Bereiche des Unternehmens. Entscheidend bei der Umsetzung der Strategie ist die Einheitlichkeit, die konsequent eingehalten werden sollte. Insbesondere in den Bereichen, in den Kunden verkehren und Mitarbeiter aus anderen Niederlassungen arbeiten, ist ein einheitlich abgestimm-



Abb. 2.7-19: Den Ausgleich schallharter Flächen in einer Lounge können neben der Decke auch Polsterstoffe und Akustikbilder übernehmen.



Abb. 2.7-20: Holz und Pflanzen tragen zum Wohlbefinden im Büro bei.



Abb. 2.7-21: Lichtkunst in den Tunneln der Münchener Rück

tes Architekturdesign wichtig. Damit lässt sich eine Arbeitswelt etablieren, die Identifikation ermöglicht und sich positiv auf die Unternehmenskultur auswirken kann.

Neue Räume gezielt gestalten

Neue Räumlichkeiten, egal ob durch einen Umzug oder eine Bestandsoptimierung bewirkt, bergen für Unternehmen die Chance, eingefahrene Strukturen und Prozesse zu überdenken. Sie bieten auch die Möglichkeit, die Unternehmenskultur und gelebte Werte in der neu definierten Raumgestaltung sichtbar und erlebbar zu machen (siehe Abb. 2.7-22 bis Abb. 2.7-24). Allerdings erkennt nicht jedes Unternehmen gleich zu Beginn der beschriebenen Veränderung die Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt. Die Tiefe und die Tragweite notwendiger Maßnahmen werden häufig unterschätzt.

Wie in jedem Projekt ist zu Beginn der Raumgestaltung ein Projektleiter mit einem klaren Mandat, ausreichender Entscheidungsbefugnis und Budget auszustatten. An seine Seite sollten erfahrene Veränderungsmanager gestellt werden, die sowohl Empfehlungen zur Vorgehensweise aus langjähriger Erfahrung geben können als auch eine dezidierte Organisationsanalyse in Entscheidungen zur Konzeptfindung durchführen.

Eine Vision mit der Festlegung von klaren Zielen in Zusammenarbeit mit der Geschäftsführung ist ein wichtiger erster Schritt, um die Vorgehensweise und notwendige Leitlinien für weitere Handlungen festzulegen. Dabei sollte berücksichtigt werden, Promotoren aus der Belegschaft für den Veränderungsprozess im Vorfeld zu identifizieren und gezielt anzusprechen.



Abb. 2.7-22: Das Mobiliar gliedert offene Arbeitsplatzbereiche und Rückzugsmöglichkeiten.

Die komplexen Aufgaben sollten frühzeitig in Teilprojekte zerlegt werden. Das ermöglicht die Einbindung von Teilprojektleitern aus der Mitarbeiterschaft. Der Projektleitung obliegt die Koordination der Teilprojekte und Motivation der Projektbeteiligten. Mit den ersten Schritten auf die Belegschaft zu wird der »Flurfunk« im Unternehmen bereits losgetreten: Was soll da mit uns passieren? Werde ich von den Veränderungen persönlich betroffen sein? Wann und wie werden sich diese Veränderungen für mich bemerkbar machen? Diese und ähnliche Fragestellungen liegen den Mitarbeitern auf dem Herzen, sollten ernst genommen und rechtzeitig durch die Geschäftsführung beantwortet werden. Es bedarf einer intensiven Einbeziehung der Nutzer und eines gezielten Vorgehens, um diese in eine konstruktive Richtung zu lenken. Denn jeder Mitarbeiter hat eine dezidierte Meinung zu seiner Arbeitsweise, seinem Arbeitsplatz und seinen Anforderungen an ein funktionierendes Arbeitsumfeld. Hilfreich ist in diesem Fall der Verweis auf die Projektstruktur und die Kompetenz des Projektteams. Ebenfalls sinnvoll ist die saubere und revisionssichere Protokollierung der Entscheidungsfindung, damit diese auch später nachvollzogen werden kann.

Eine hohe Präsenz vor Ort zur Durchführung von Workshops, Fokusgruppen und Beobachtungsstudien, sogenannten Multi-Moment-Aufnahmen, ist für das Projektteam unerlässlich. Ein Ansprechpartner vor Ort ist für die Nutzer Kummerkasten während der Projektzeit und bietet insbesondere für die Teilprojektleiter Hilfe zur Selbsthilfe.

Nutzerbeteiligung

Die Nutzerzufriedenheit in einem Veränderungsprozess hängt im Wesentlichen von deren Einbeziehung und aktiven Beteiligung sowie einer regelmäßigen, laienverständlichen Information ab. Diverse Studien belegen, dass sich die Partizipation von Nutzern bei der Gestaltung der Arbeitsumgebung (z. B. Raumaufteilung, Mobiliar, Grünkonzept etc.) sehr positiv auf die Arbeitsmotivation und -zufriedenheit auswirkt (vgl. Kleemann 1982; Neuhaus 2001; Zander & Muschiol 2005). Wenn der Einzelne partizipiert, so hat er in einem definierten Rahmen die Möglichkeit, seiner Identität Ausdruck zu verleihen, und sitzt sprichwörtlich mit allen anderen im gleichen Boot. Damit vermittelt man den betroffenen Mitarbeitern die nötige Sicherheit im Prozess. Je stärker die Sicherheit, desto größer ist die Bereitschaft zur Veränderung.

Interviews, Workshops und Fokusgruppen mit Nutzergruppen zu Beginn eines Projektes haben sich bewährt. Im Verlauf der Planungs- und Bauphase können Besichtigungen, Newsletter, Mobiliarbemusterungen usw. wichtige Informationen vermitteln. Zum Ende eines Projektes bieten sich z. B. ein »Willkommensfest« sowie ein Nutzer-Handbuch für die ersten Tage in der neuen Umgebung an.

Der Lohn für den Mut zur Veränderung ist eine Ordnung, die den oben beschriebenen Anforderungen in Unternehmen besser gerecht wird. Der Weg dahin ist steinig und kann Jahre andauern. Daher bietet sich eine Evolution – nicht eine Revolution – der Systeme mit regelmäßiger Evaluierung des Erreichten an. Das Erfolgsrezept ist und bleibt eine fundierte Analyse, ein qualifizierter Veränderungsprozess und natürlich ein kreatives Arbeitsumfeld, das den Aufbruch ins Neue zu einem positiven Erlebnis für alle Beteiligten macht.

Fazit

Unternehmen haben erkannt, dass Mitarbeiter in Teams am Produkterfolg arbeiten müssen und niemand mehr alleine über das gesamte Know-how verfügt. Zusammenarbeit wird zunehmend zur Pflicht. Die räumlichen Gegebenheiten können die hierfür erforderlichen Kommunikationsprozesse unterstützen.

Um die Begegnungsqualität und gewollte Kommunikation zu verbessern, bedarf es einer sinnvollen Balance und Abgrenzung. Entsprechend wichtig sind bewusst gestaltete Wegpunkte und Anlaufstellen, an denen Nutzer aufeinandertreffen und sich informell austauschen können, wie Lounges, Terrassen, Serviceinseln oder Sportmöglichkeiten. Diese Angebote werden dann in Anspruch genommen, wenn die kreative Pause vom Management auch vorgelebt wird.

Für Berater und Planer bieten die veränderten Anforderungen von Unternehmen Chancen. Bisher war das Anforderungsprofil des Nutzers in der Leistungsphase 1 ein rudimentär betrachtetes und in der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) nur als besondere Leistung ausgewiesenes Handlungsfeld. Das sollte sich ändern. Allerdings sollten sich Beteiligte bewusst sein, dass diese Entscheidung vom Projekt und den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen abhängt. Schließlich differiert der Entwurfs- und Gestaltungsprozess maßgeblich von dem oft moderationsgeprägten Entscheidungsfindungsprozess in der Nutzerbetreuung.



Abb. 2.7-23: Eine speziell für Total Deutschland entwickelte Rückzugsmöglichkeit – der Cocoon.



Abb. 2.7-24: Wenn das klassische Eckbüro einer Gemeinschaftsfläche weicht – die Besprechungscke.

Die sozial und organisatorisch notwendigen Einblicke in Unternehmen, die für Analyse- und Beratungsphase erforderlich sind, bekommen vor allem Architekten in der Ausbildung nicht zwangsläufig vermittelt.

Will der Planer/Berater das Projekt zum Erfolg führen, so bezieht er die unterschiedlichen Interessen und Widerstände in das Change Management proaktiv mit ein. So kann er auch den Spagat zwischen unterschiedlichen Interessensgruppen wie dem Management, hoch qualifizierten Fachkräften und Sachbearbeitern schaffen.

2.7.6 Quellen und weiterführende Literatur

Quellen

Altman, I. (1975). *The environment and social behavior: Privacy, Personal Space, Territory, Crowding*. Monterey, CA: Brooks/Cole.

Amstutz, A., Kündig, S. & Monn, C. (2010). *SBiB-Studie. Schweizerische Befragung in Büros. Hochschule Luzern, Technik & Architektur, Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP)* (Hrsg.).

www.seco.admin.ch oder www.hslu.ch/cctp
(Aufruf 18.02.2015).

Bodin Danielsson, C., Chungkham, H. S., Wulff, C. & Westerlund, H. (2014). Office design's impact on sick leave rates. *Ergonomics*, 57 (2), 139–147, [DOI: 0.1080/00140139.2013.871064].

Brill, M., Weidemann, S. & the BOSTI ASSOCIATES (2001). *Disproving myths about workplace design*. Jasper: Kimball International. Der Bericht kann angefordert werden über: kreylin@kimball.com.

Brunia, S. & Hartjes-Gosselink, A. (2009). Personalization in non-territorial offices: a study of a human need. *Journal of Corporate Real Estate*, 11 (3), 169–182.

Elliot, A. J., Maier, M. A., Moller, A. C., Friedman, R. & Meinhardt, J. (2007). Color and psychological functioning: The effect of red on performance attainment. *Journal of Experimental Psychology*, 136 (1), 154–168.

Elsbach, K. D. (2004). Relating physical environment to self-categorizations: A study of identity threat and affirmation in a non-territorial office space. *Administrative Science Quarterly*, 48, 622–654.

Flade, A. (2008). *Architektur – psychologisch betrachtet*. Bern: Huber.

Gifford, R. (2002). *Environmental Psychology: Principles and Practice* (2th ed.). Colville, WA: Optimal Books.

Goldstein, E. B. (1997). *Wahrnehmungspsychologie*. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.

Hegewisch, K. (2005). Kunst im Kontext der Bürowelt. In: J. Eisele & B. Staniek (Hrsg.), *Bürobau Atlas* (S. 236–243). München: Callwey.

Hellbrück, J. & Fischer, M. (1999). *Umweltpsychologie*. Göttingen: Hogrefe.

Kim, J. & de Dear, R. (2013). Workspace satisfaction: The privacy-communication trade-off in open-plan offices. *Journal of Environmental Psychology*, 36, 18–26.

Kleeman, W. B. (1982). The future of the office. *Environment and Behaviour*, 14, 593–610.

Küller, R., Ballal, S., Laike, T., Mikellides, B. & Tonello, G. (2006). The impact of light and colour on psychological mood: a cross-cultural study of indoor work environments. *Ergonomics*, 49 (14), 1496–1507.

Küller, R., Mikellides, B. & Janssens, J. (2009). Color, arousal, and performance – A comparison of three experiments. *Color Research & Application*, 34 (2), 141–152.

Kwallek, N., Woodson, H., Lewis, C. M. & Sales, C. (1997). Impact of three interior color schemes on worker mood and performance relative to individual environmental sensitivity. *Color Research & Application*, 22 (2), 121–132.

Laurence, G. A., Fried, Y. & Slowik, L. H. (2013). »My space«: A moderated mediation model of the effect of architectural and experienced privacy and workspace personalization on emotional exhaustion at work. *Journal of Environmental Psychology*, 36, 144–152.

Muschiol, R. (2007). *Begegnungsqualität in Bürogebäuden – Ergebnisse einer empirischen Studie*. Aachen: Shaker.

Neuhaus, R. (2001). *Ganzheitliche und partizipative Büroraumgestaltung*. Dissertation, Universität Gesamthochschule Kassel, Institut für Arbeitswissenschaft.

Schakib-Ekbatan, K., Wagner, A. & Lützkendorf, T. (2011): *Bewertung von Aspekten der soziokulturellen Nachhaltigkeit im laufenden Gebäudebetrieb auf Basis von Nutzerbefragungen*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Smith, A. & Pitt, M. (2009). Sustainable workplaces: improving staff health and well-being using plants. *Journal of Corporate Real Estate*, 11 (1), 52–63.

Sonntag, K., Frieling, E. & Stegmaier, R. (2012). *Lehrbuch Arbeitspsychologie*. Bern: Huber.

Wagner, A. & Schakib-Ekbatan, K. (2011). Nutzerzufriedenheit als Maß zur Arbeitsplatzbewertung im Büro. In C. Schittich (Hrsg.), Arbeitswelten: Raumkonzepte, Mobilität, Kommunikation (Im DETAIL) (S. 54–57). München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation.

Zander, G. & Muschiol, R. (2005). Vom Nutzen der Nutzerbeteiligung. In congena Gesellschaft für Planung, Training und Organisation GmbH, München (Hrsg.), Büroarbeitswelten. Neue Wege in der Planung (congenaTexte 1/2) (S. 37–43). München: congena GmbH.

Weiterführender Link

www.ergo-online.de/site.aspx?url=html/arbeitsplatz/titel.htm
(Aufruf 18.02.2015)



3 Nutzerzufriedenheit im Kontext

3.1	Zusammenhänge von Komfortaspekten am Arbeitsplatz und Einflüsse auf die Gesamtbeurteilung eines Gebäudes	167
3.2	Nutzerzufriedenheit im Kontext der Nachhaltigkeitsbewertung	172
3.3	Praxisbeispiele für Nutzerzufriedenheitsanalysen	188



3.1 Zusammenhänge von Komfortaspekten am Arbeitsplatz und Einflüsse auf die Gesamtbeurteilung eines Gebäudes

Karin Schakib-Ekbatan

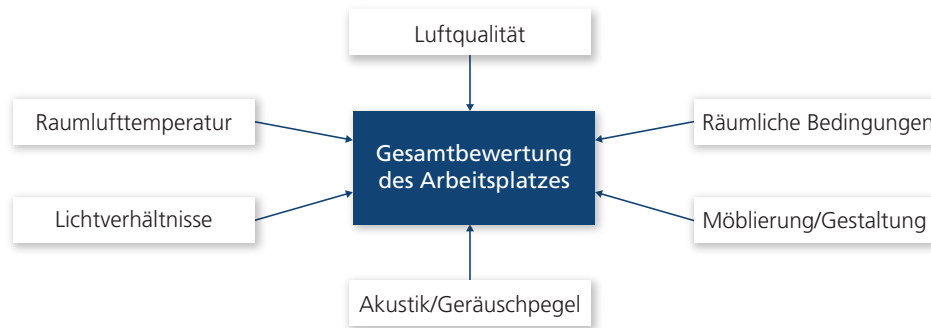
Aus den vorangegangenen Kapiteln ist die Bedeutung der verschiedenen Komfortaspekte für Wohlbefinden, Zufriedenheit und Unterstützung der Leistungsfähigkeit am Arbeitsplatz deutlich geworden. Es stellt sich die Frage, ob diese Komfortaspekte unabhängig voneinander wirksam sind oder ob es in der Wahrnehmung und Bewertung Zusammenhänge gibt. Während beispielsweise Zusammenhänge zwischen Raumlufttemperatur, Luftfeuchte und Luftqualität (siehe Kap. 2.2) schon aus physikalischen Gründen erklärbar sind, ist dies bei anderen Komfortaspekten nicht so offensichtlich.

Im Büroarbeitsalltag sind die Nutzer einer Vielzahl von Umgebungsreizen, wie Raumlufttemperatur, Luftqualität, Lichtverhältnissen oder dem Geräuschpegel ausgesetzt. Einzelne Umgebungsreize können längere Zeit in der Wahrnehmung vernachlässigt oder unterdrückt werden, sie werden jedoch temporär bewusster wahrgenommen, wenn sie über die Wahrnehmungsschwelle gelangen, z. B. bei besonders hohen oder kühlen Raumlufttemperaturen. Werden diese Reize als unangenehm

empfunden, können sie das Erregungsniveau erhöhen. Eine besondere Schwierigkeit am Arbeitsplatz besteht darin, gleichzeitig Reize unterschiedlicher Sinne zu verarbeiten, wie z. B. Sprechen von Kollegen, Telefonklingeln oder visuelle Reize durch vorbeigehende Personen.

Wie physikalische und räumliche Komfortparameter zusammenhängen und was die Bewertung des Arbeitsplatzes insgesamt beeinflusst, wird im Folgenden auf der Grundlage von Feldstudien des Fachgebietes Bauphysik & Technischer Ausbau (fbta) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) dargestellt. Seit 2004 wurden in Neubauten, sanierten und älteren Bestandsgebäuden bundesweit schriftliche Befragungen zum Komfort am Arbeitsplatz durchgeführt (siehe hierzu auch Gossauer, 2008).

Tabelle 3.1-1 zeigt, dass die Komfortaspekte unterschiedlich stark zusammenhängen. Über die zu erwartenden Zusammenhänge zwischen der Bewertung der Raumlufttemperatur und der Luftqualität (vermittelt über die Luftfeuchte und Geruch) hinaus zeigte sich ein



N = 1 520 im Winter
N = 542 im Sommer

Abb. 3.1-1: Einflussfaktoren auf die Gesamtbewertung der Arbeitsplatzbedingungen

deutlicher Zusammenhang zwischen der Bewertung der räumlichen Bedingungen und der Luftqualität. Ebenso erwiesen sich in der Stichprobe sowohl im Winter als auch im Sommer bedeutsame Zusammenhänge zwischen den räumlichen Bedingungen und Bewertungen zur Akustik und zum subjektiv bewerteten Geräuschpegel. Statt des in der Psychologie üblicherweise verwendeten Begriffes ›Lärm‹ für als subjektiv unerwünschten Schall wurde im Fragebogen zur Erfassung der Zufriedenheit die eher neutrale und oft von den Nutzern umgangssprachlich verwendete Bezeichnung ›Geräuschpegel‹ gewählt, da Büroarbeitsplätze zumeist nicht als typische Lärmarbeitsplätze wahrgenommen werden.

3.1.1 Einzelne Komfortparameter beeinflussen die Gesamtbewertung

In den Feldstudien wurden nicht nur die Zusammenhänge der Komfortparameter untereinander analysiert, sondern auch ausgewertet, welche Komfortparameter die Bewertung des Arbeitsplatzes insgesamt beeinflussen (siehe Abb. 3.1-1). Dabei zeigte sich, dass alle Komfortparameter einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Gesamtbewertung hatten, sowohl im Winter als auch im Sommer (Schakib-Ekbatan, Wagner & Lützkendorf, 2011). Die Möblierung, die räumlichen Bedingungen sowie die Luftqualität spielten für die Bewertung eine besonders große Rolle.

Dies sollte jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass vor allem diejenigen Komfortparameter, die stärkeren Schwankungen unterworfen sind, wie Akustik/Geräuschpegel, Lichtverhältnisse, Temperatur und Luft, in der direkten Befragung (»Wie wichtig und wie veränderungsbedürftig sind für Sie am Arbeitsplatz...?«) sehr hohe Wichtigkeit erzielten und häufig Anlass für Klagen gaben (siehe Abb. 3.1-2). Vor allem bei Akustik/Geräuschpegel, Luftqualität und Raumlufttemperatur sahen die Nutzer hohen bzw. sehr hohen Veränderungsbedarf.

Bezüglich der Privatheit wurde eher geringer Veränderungsbedarf angegeben. Betrachtet man die Aussagen jedoch unter dem Aspekt des Bürotyps, so wird in Mehrpersonenbüros (> 5 Pers.) diesbezüglich in deutlich stärkerem Maße Veränderungsbedarf gesehen: Auch bei Akustik/Geräuschpegel sowie Luftqualität (siehe Abb. 3.1-3) zeigte sich höherer Veränderungsbedarf.

Tab. 3.1-1: Zusammenhänge der Komfortparameter zu verschiedenen Jahreszeiten

Komfortparameter	I	II	III	IV	V	VI	VII
I Gesamtbedingungen		●	●	●	●	●	●
II Akustik/Geräuschpegel	●		●	●	●	●	●
III Lichtverhältnisse	●	●		●	●	●	●
IV Raumlufttemperatur	●	●	●		●	●	●
V Luftqualität	●	●	●	●		●	●
VI räumliche Bedingungen	●	●	●	●	●		●
VII Möblierung/Gestaltung	●	●	●	●	●	●	

- Sommer
N = 2 208 bis 2 219, für räumliche Bedingungen N = 1 451 bis 1 459
- Winter
N = 1 498 bis 1 794, für räumliche Bedingungen N = 547 bis 557

Hinweise zur Interpretation der Interkorrelationen

- Werte bis $r = 0,50$ weisen auf schwachen Zusammenhang hin
- Werte $r = 0,50$ bis $0,69$ weisen auf einen mittelstarken Zusammenhang hin
- Werte ab $r = 0,70$ weisen auf eher stärkeren Zusammenhang hin

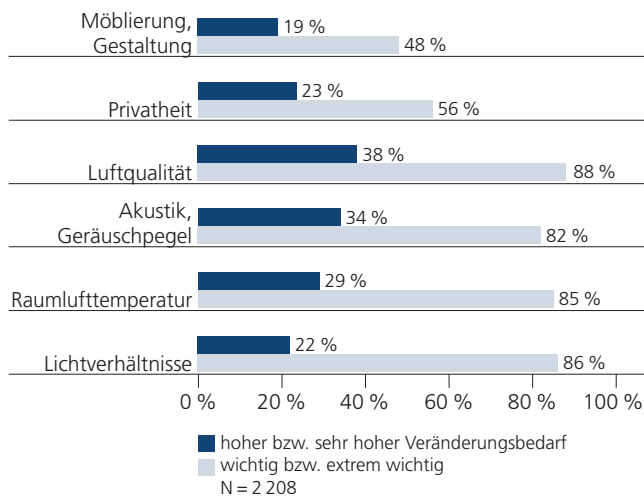


Abb. 3.1-2: Wichtigkeit und Veränderungsbedarf von Komfortaspekten (Prozentangaben)

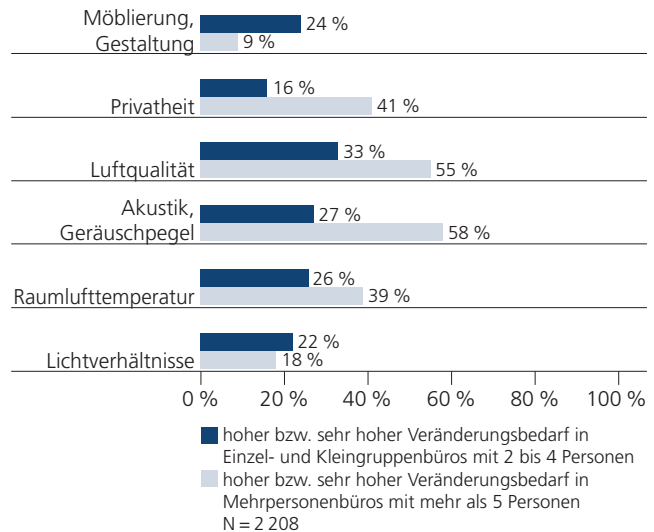


Abb. 3.1-3: Veränderungsbedarf aus Sicht der Nutzer in Abhängigkeit des Bürotyps

Das bestätigt die Korrelationsbedingungen (starker Zusammenhang mit den räumlichen Bedingungen).

Das Ergebnis, dass die Möblierung und Gestaltung in kleinen Büros stärker thematisiert wird, ist erklärungsbedürftig. Möglicherweise kann dies darauf zurückgeführt werden, dass in kleineren Büroeinheiten der Gestaltungsspielraum und individuelle Bedürfnisse in stärkerem Maße wahrgenommen werden.

Darüber hinaus hat das Bürokonzzept Einfluss auf die subjektive Einschätzung darüber, wie hoch das Ablenkungspotenzial ist. Eine Analyse der fbta-Datenbasis hat ergeben, dass der Kontextfaktor »Anteil der Mehrpersonenbüros« (ab 5 Personen) in einem Gebäude hierfür bedeutsam ist. Die Unzufriedenheit mit der Privatheit, Störung durch Telefonklingeln und Gespräche im Raum verringerten die Zufriedenheit mit ungestörten Arbeitsbedingungen. Dies deckt sich mit Ergebnissen einer Schweizer Studie (Amstutz, Kündig & Monn, 2010), an der sich 1 230 Personen beteiligt haben: Zwar gaben unabhängig von dem Bürotyp 90 % der Befragten das Arbeitsplatzmerkmal »Möglichkeiten/Gegebenheit, sich zu konzentrieren« als wichtig an, aber diese Bedingungen sind umso weniger erfüllt, je mehr Personen in einem Büro arbeiten. Während in Einzelbüros 70 % der Befragten die Bedingung erfüllt sahen, waren dies in Büros mit drei bis sechs Personen nur noch etwas mehr als 40 %. In Büros mit mehr als sieben Personen sahen weniger als 30 % der Befragten die »Möglichkeiten/Gegebenheit, sich zu konzentrieren« erfüllt.

3.1.2 Bewertung des Gesamtgebäudes

Was für die Mitarbeiter über den unmittelbaren Arbeitsplatz hinaus wichtig ist, wurde auf Grundlage der fbta-Datenbasis zur Bewertung der Nutzerfreundlichkeit des Gebäudes analysiert. Insgesamt zeigte sich, dass neben Aspekten wie Wartung und Reinigung insbesondere auch raumklimatische Umgebungsbedingungen relevant sind; nach der Luftqualität wurde nicht gefragt (siehe Abb. 3.1-4). Funktionale Räume und Bereiche für informelle Begegnungen wirken sich ebenfalls auf die Zufriedenheit mit dem Gebäude aus. Darüber hinaus sind Sicherheitsaspekte bedeutsam. Werte für die Aufenthaltsräume waren knapp nicht signifikant, der Aspekt »Orientierung im Gebäude« wurde statistisch nicht signifikant.

Die Ergebnisse bestätigen Befunde von Brill, Weidemann und BOSTI ASSOCIATES (2001), dass branchenunabhängig im Ranking der zehn wichtigsten Faktoren die folgenden gebäudebezogenen Aspekte den stärksten Einfluss auf individuelle Leistungsfähigkeit und Gruppenleistung sowie Arbeitszufriedenheit hatten: Möglichkeiten für ungeplante Interaktion, ungestörte Gruppenarbeitsplätze und angenehme Pausenbereiche. Als Ergebnis aus Befragungen in 50 Bürogebäuden in Großbritannien führt Leaman (2001) die Faktoren Komfort, Gesundheit und Sicherheit als wesentliche Einflussgrößen auf die Zufriedenheit an. Image-Aspekte und Design waren den Befragten weniger wichtig.



Abb. 3.1-4: Einflussfaktoren auf die Bewertung der Nutzerfreundlichkeit des Gebäudes

Als Schlüsselfaktoren für Zufriedenheit nennt Leaman zusammenfassend: ein Management, das auf Beschwerden reagiert, eine unterstützende Organisationskultur, eine gute Wartung des Gebäudes und insgesamt vorhersehbare, stabile Komfortbedingungen.

Höhere Nutzerzufriedenheit in Green Buildings?

Von Interesse für die Gebäudebewertung ist die Frage, ob sich Unterschiede zwischen herkömmlichen Gebäuden und Green Buildings finden lassen. Internationale Befunde zeigen unterschiedliche Resultate: In Green Buildings fanden sich höhere Zufriedenheitswerte bezüglich Temperatur und Luftqualität im Vergleich zu herkömmlichen Gebäuden, während in Komfortbereichen wie Licht oder Lärm Geräuschpegel kein Vorteil auszumachen war (Abbaszadeh, Zagreus, Lehrer & Huizenga, 2006). Als eine mögliche Ursache wurden räumliche Bedingungen, wie der Bürotyp (z. B. Großraumbüros) angenommen. In einer vergleichenden Studie mit 177 herkömmlichen Gebäuden und Green Buildings in Großbritannien befanden sich sowohl unter den besten als auch unter den schlechtesten Gebäuden Green Buildings (Leaman & Bordass, 2007). Green Buildings schnitten oft besser bei zusammenfassenden Fragen ab (»Alles in allem, wie zufrieden sind Sie mit ...?«), insbesondere bei einer globalen Komfortbewertung des Gebäudes. Wurden jedoch die Angaben der Nutzer zu einzelnen Komfortbereichen im Detail betrachtet, zeigte sich keine klare Trennung mehr zwischen Green Buildings und herkömmlichen Gebäuden. Als einen Effekt für die hohe

Gesamtzufriedenheit in Green Buildings machten die Studienautoren einen »Forgiveness«-Faktor aus: Merkmale, die Nutzer sehr schätzen, wie Büroausstattung, Design oder gute Wartung des Gebäudes, schlugen sich statistisch entsprechend auch in der Gesamtbewertung nieder. Die Studienautoren warnen daher vor zu hohen Erwartungen an Green Buildings, speziell was eine höhere Produktivität der Mitarbeiter betrifft. Eine positive Gesamtbewertung des Gebäudes verleitet möglicherweise dazu, Schwächen in einzelnen Komfortbereichen zu übersehen. Diese dürfen in ihrer Auswirkung jedoch nicht unterschätzt werden.

Eine Analyse auf der Basis von mehr als 20000 Befragten in 65 nach **LEED** zertifizierten und 79 nicht zertifizierten Gebäuden erbrachte ebenfalls keine statistisch bedeutsamen Unterschiede in der Bewertung durch die Nutzer (Altomonte & Schiavon, 2013).

Die Befragungen des fbta wurden hinsichtlich der Unterschiede zwischen konventionellen und energieeffizienten Gebäuden analysiert. Die Ergebnisse zeigten, dass es keinen statistisch signifikanten Einfluss des Gebäudeenergiestandards auf die Bewertung des Raumklimas gab (zusammengefasster Wert der Zufriedenheit mit Temperatur, Luftqualität und Tageslicht). Jedoch hatten einzelne Komfortparameter Einfluss auf die Bewertung der Nutzer. Als bedeutsam zeigte sich auch in diesen Analysen, dass mit einer höheren Anzahl an Personen in den Büros die Zufriedenheit mit der Raumlufttemperatur und der Luftqualität deutlich geringer ausfiel. Neben der Betrachtung von Mittelwerten aus Befragungen (siehe Kap. 3.2.3) ist es daher wichtig, aufmerksam dahin-

gehend zu sein, ob in einem Gebäude deutliche Unterschiede bei den Umgebungsbedingungen zwischen bestimmten Nutzergruppen bestehen. Neben gebäudebezogenen Merkmalen zählt z.B. auch der Bürotyp zu wichtigen Einflussfaktoren auf die Zufriedenheit mit verschiedenen Komfortbereichen (siehe Kap. 2.7 und 3.3). Ein gutes Betriebsmanagement ist eine wichtige Basis, um gute Ergebnisse zu erzielen, sowohl bei den Energiekennwerten als auch beim Nutzerkomfort. Darüber hinaus kommt dem Verständnis der Nutzer für Gebäudebesonderheiten (insbesondere beim Einsatz innovativer Technologien) und dem Nutzerverhalten eine bedeutsame Rolle zu, um das Gebäudeenergiekonzept zu unterstützen (Deuble & de Dear, 2010).

3.1.3 Quellen

Abbaszadeh, S., Zagreus, L., Lehrer, D. & Huizenga, C. (2006). Occupant Satisfaction with Indoor Environmental Quality in Green Buildings. In International Society of Indoor Air Quality and Climate (Ed.), Proceedings of Healthy Buildings, Lisbon, 04–06 June 2006, Vol. III, 365–370.

Altomonte, S. & Schiavon, S. (2013). Occupant satisfaction in LEED and non-LEED certified buildings.
<https://escholarship.org/uc/item/4j61p7k5>

Amstutz, A., Kündig, S. & Monn, C. (2010). SBiB-Studie. Schweizerische Befragung in Büros. Hochschule Luzern, Technik & Architektur, Kompetenzzentrum Typologie & Planung

in Architektur (CCTP) (Hrsg.). www.seco.admin.ch oder www.hslu.ch/cctp (Aufruf 18.02.2015).

Brill, M., Weidemann, S. & the BOSTI ASSOCIATES (2001). Disproving myths about workplace design. Jasper: Kimball International. Der Bericht kann angefordert werden über: kreylin@kimball.com.

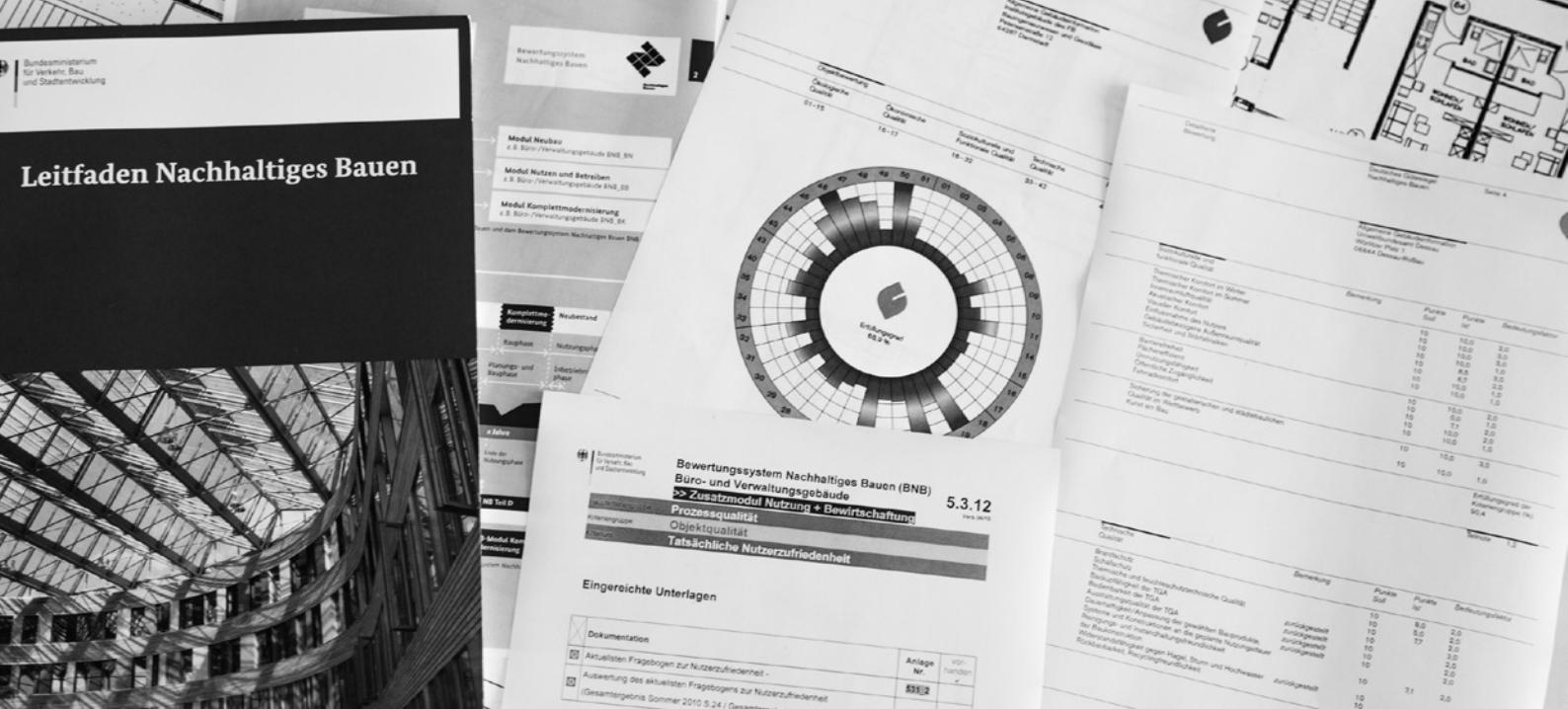
Deuble, M. & de Dear, R. (2010). Green occupants for green buildings: The missing link? In Network for Comfort and Energy Use in Buildings (NCEUB) (Ed.), Proceedings from Adapting to Change: New thinking on Comfort. Cumberland Lodge, Windsor, UK, 9–11 April 2010.
nceub.org.uk/dokuwiki/doku.php?id=nceub:members:windsorconference2010 (Aufruf 20.02.2015)

Gossauer, E. (2008). Nutzerzufriedenheit in Bürogebäuden – Eine Feldstudie. Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, KIT, Karlsruhe. <http://d-nb.info/988525887/34>

Leaman, A. (2001). What occupants want. In Davis Langdon and Everest (Ed.), Institute of Directors Guide Buildings that Work for Your Business (Chapter 6).
www.usablebuildings.co.uk.

Leaman, A. & Bordass, B. (2007). Are users more tolerant of 'green' buildings? Building Research and Information. 6, 662–673.

Schakib-Ekbatan, K, Wagner, A. & Lützkendorf, T. (2011): Bewertung von Aspekten der soziokulturellen Nachhaltigkeit im laufenden Gebäudebetrieb auf Basis von Nutzerbefragungen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.



3.2 Nutzerzufriedenheit im Kontext der Nachhaltigkeitsbewertung

Thomas Lützkendorf, Karin Schakib-Ekbatan

3.2.1 Nutzerzufriedenheit als Teilaspekt der Nachhaltigkeit

In den vergangenen Jahren haben sich Politik und Wissenschaft sowie die Bau-, Wohnungs- und Immobilienwirtschaft intensiv mit der Frage beschäftigt, ob und wie sich der Beitrag von Einzelimmobilien zu einer nachhaltigen Entwicklung bewerten lässt. Dabei wurden gemeinsame Positionen für eine Übertragung von Prinzipien einer nachhaltigen Entwicklung auf den Bau- und Immobilienbereich erarbeitet. Grundlage ist die Anerkennung einer gleichwertigen Bedeutung der ökologischen, ökonomischen und sozio-kulturellen Dimension der Nachhaltigkeit. Im Baubereich muss zusätzlich auf die Erfüllung funktionaler und technischer Anforderungen sowie die gestalterische und städtebauliche Qualität geachtet werden. Um Nachhaltigkeitsaspekte bei der Planung, Errichtung, Nutzung und/oder Bewirtschaftung von Gebäuden ebenso wie bei Anmietung oder Ankauf berücksichtigen zu können, wurden verschiedene Hilfsmittel entwickelt.

Neben Planungshinweisen, Ausschreibungshilfen, Informationssystemen und Datenbanken sind dies insbesondere Systeme zur Beschreibung, Bewertung und ggf. Zertifizierung des Beitrages von Einzelbauwerken zu einer nachhaltigen Entwicklung. Diese nachstehend als Nachhaltigkeitsbewertungssysteme bezeichneten Lösungen durchliefen in den vergangenen Jahren eine rasante Entwicklung. Während sich erste Beispiele noch auf die überwiegend qualitative Beurteilung umwelt- und gesundheitsrelevanter Merkmale von Gebäuden konzentrierten, umfassen Systeme der zweiten Generation inzwischen alle Dimensionen der Nachhaltigkeit (ökologisch, ökonomisch und sozio-kulturell) und beurteilen auch die technische und funktionale Qualität. Verwendet werden hierbei überwiegend quantitative Ansätze, z. B. der Ökobilanzierung und Lebenszykluskostenrechnung. Eine getrennte Betrachtung der Objektqualität, der Qualität der Planungs-, Ausführungs- und Bewirtschaftungsprozesse sowie der Qualität des Standorts ist inzwischen weit verbreitet. Eine Übersicht zu

aktuellen internationalen Systemen für eine **Nachhaltigkeitsbewertung** und -zertifizierung liegt mit (Ebert, Eßig und Hauser, 2010) vor.

Die Erarbeitung und Weiterentwicklung von Nachhaltigkeitsbewertungssystemen orientiert sich heute am Stand der internationalen und europäischen Normung. Relevante Normen sind u. a.

- ISO 15392:2008 Sustainability in building construction – General principles
- EN 15643-1:2010: Sustainability of construction works – Sustainability assessment of buildings – Part 1: General framework

- ISO 21929-1:2011 Sustainability in building construction – Sustainability indicators – Part 1: Framework for the development of indicators and a core set of indicators for buildings
- EN 15643-2:2011: Sustainability of construction works – Assessment of buildings – Part 2: Framework for the assessment of environmental performance
- EN 15643-3:2012: Sustainability of construction works – Assessment of buildings – Part 3: Framework for the assessment of social performance
- EN 15643-4:2012: Sustainability of construction works – Assessment of buildings – Part 4: Framework for the assessment of economic performance

	Ökologie	Ökonomie	Soziokulturelles
Schutzgüter			
Nachhaltigkeit allgemein	natürliche Ressourcen	Kapital/Werte	menschliche Gesundheit
	natürliche Umwelt	ökonomische Leistungsfähigkeit	soziale und kulturelle Werte
Nachhaltiges Bauen	natürliche Ressourcen	Kapital/Werte	Gesundheit
	globale und lokale Umwelt		Nutzerzufriedenheit
			Funktionalität
			kultureller Wert
Schutzziele			
Nachhaltigkeit allgemein	Schutz der natürlichen Ressourcen, sparsamer und schonender Umgang mit natürlichen Ressourcen	Lebenszykluskosten senken	Schutz und Förderung der menschlichen Gesundheit
	Effizienzsteigerung	Verringerung des Subventionsaufwandes	sozialen Zusammenhalt und Solidarität stärken
	Reduktion der Schadstoffbelastungen und Umwelteinwirkungen	Schulden verringern	kulturelle Werte erhalten
	Schutz der Erdatmosphäre, des Bodens, des Grundwassers und der Gewässer	Förderung einer verantwortungsbewussten Unternehmerschaft	Chancengleichheit
	Förderung einer umweltverträglichen Produktion	Schaffung nachhaltiger Konsumgewohnheiten	Sicherung von Erwerbsfähigkeit und Arbeitsplätzen
		Schaffung dynamischer und kooperativer internationaler wirtschaftlicher Rahmenbedingungen	Armutsbekämpfung
			Bildung, Ausbildung
			Gleichberechtigung
			Integration
			Sicherheit / lebenswertes Umfeld
Nachhaltiges Bauen	Schutz der natürlichen Ressourcen	Minimierung der Lebenszykluskosten	Bewahrung von Gesundheit, Sicherheit und Behaglichkeit
	Schutz des Ökosystems	Verbesserung der Wirtschaftlichkeit	Gewährleistung von Funktionalität
		Erhalt von Kapital und Wert	Sicherung der gestalterischen und städtebaulichen Qualität

Abb. 3.2-1: Beispiel für Schutzgüter und Schutzziele (BMVBS, 2013)

Ökologische versus soziale Qualität?

Frühe Ansätze einer Umwelt- oder **Nachhaltigkeitsbewertung** befassten sich ohne weitere Unterscheidung mit umwelt- und gesundheitsrelevanten Merkmalen und Eigenschaften von Gebäuden. Deren Bewertung wurde zu einer Aufgabe der Bauökologie. Räume wurden u. a. als Teil einer »inneren Umwelt« betrachtet. Noch heute wird z. T. das Thema der Raumluftqualität einer Gruppe von Kriterien zur Beurteilung der Umweltqualität bzw. der ökologischen Qualität zugeordnet. Bedingt durch die Berücksichtigung mehrerer Dimensionen der Nachhaltigkeit in den Bewertungs- und Zertifizierungssystemen erfolgt gegenwärtig überwiegend eine Zuordnung von Themen wie Komfort und Nutzerzufriedenheit zur sozialen Qualität. Soweit die Nachhaltigkeitsbewertungssysteme als Checkliste in der Planung eingesetzt werden ist die Zuordnung ohne Belang. Sie gewinnt erst dann an Bedeutung, wenn sie infolge der Bildung von Kriteriengruppen und die Verwendung von Wichtungsfaktoren einen Einfluss auf das Bewertungsergebnis ausübt.

Eine erweiterte Übersicht zu wichtigen Normen im Themenbereich des nachhaltigen Bauens gibt (Lützkendorf, 2011).

Beispiele für die zweite Generation sind die in Deutschland auf Basis gemeinsam entwickelter Grundlagen angewendeten Nachhaltigkeitsbewertungssysteme:

- Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen (**DGNB**) der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) für überwiegend privatwirtschaftliche Bauvorhaben und
- Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) für Bundesbauten mit einer Anwendungsempfehlung für Bauten der öffentlichen Hand.

Beide Systeme weisen eine hohe inhaltliche Übereinstimmung auf. Sie werden permanent aktualisiert und weiterentwickelt. Bei konkreter Bearbeitung ist es empfehlenswert, den aktuellen Stand bei Teilkriterien, Messvorschriften und Bewertungsmaßstäben zu prüfen. Der prinzipielle Aufbau wird nachstehend am Beispiel von BNB erläutert.

Systeme zur Beschreibung, Bewertung und ggf. Zertifizierung der Nachhaltigkeit von Bauwerken umfassen Bewertungskriterien mit Messvorschriften und Bewer-

tungsmaßstäben, Wichtungsregeln, Nebenbedingungen und Vorgaben für Qualitätsstufen. Die Bewertungskriterien werden, wie in Abbildung 3.2-1 dargestellt, aus Schutzgütern und Schutzziele abgeleitet.

Die Nachhaltigkeitsbewertungssysteme unterscheiden sich neben dem Anwendungsbereich für verschiedene Gebäude- und Nutzungsarten (u. a. Bürogebäude, Unterrichtsgebäude, Wohnbauten) auch durch den Zeitpunkt ihrer Anwendbarkeit (während der Planung von Neubauvorhaben bzw. von Komplettmaßnahmen im Bestand, zur Beurteilung von Bestandsbauten, während des Nutzens und Betreibens). Dies hat Konsequenzen für die Ausprägung konkreter Bewertungskriterien und Messvorschriften. In der Planung sind i. d. R. Planungsergebnisse, die Resultate von Simulationsrechnungen oder Herstellerangaben Grundlage der Bewertung. Sie müssen entsprechend aufbereitet und dokumentiert werden. In der Nutzungs- bzw. Betriebsphase basiert die Bewertung u. a. auf Messergebnissen, Befragungen, Abrechnungen, Schadens- bzw. Problemmeldungen oder Begehungsprotokollen.

Nutzerzufriedenheit in der Nachhaltigkeitsbewertung

Die Zufriedenheit der Nutzer zu gewährleisten, ist eine wesentliche Aufgabe des nachhaltigen Planens, Bauens und Betriebens. Die Nutzerzufriedenheit ist ein gegenüber Ressourcenschonung, Klima- und Umweltschutz, Wirtschaftlichkeit und Wertstabilität sowie dem Erhalt kultureller und sozialer Werte gleichberechtigtes Ziel und geht über die reine Sicherung von Gesundheit und Sicherheit hinaus. Welcher konkreten Dimension bzw. »Säule« der Nachhaltigkeit die Nutzerzufriedenheit zugeordnet wird, ist hingegen rein formal.

In der aktuellen Nachhaltigkeitsdiskussion in Deutschland wird die Nutzerzufriedenheit eindeutig der sozialen bzw. sozio-kulturellen oder sozio-funktionalen Dimension der Nachhaltigkeit zugeordnet. Diskutiert werden hingegen Art, Umfang und Wichtung der zu berücksichtigenden Kriterien.

Die Zufriedenheit der Nutzer von Gebäuden lässt sich in der Betriebsphase vorzugsweise auf der Basis von strukturierten Befragungen feststellen. Hier müssen ggf. zunächst für die Gebäude- und Nutzungsart spezifische Akteursgruppen definiert und unterschieden werden. In der Planungsphase müssen hingegen »Stellvertreterkriterien« gewählt werden, die in ihrer Summe auf den

erwarteten Grad der Nutzerzufriedenheit schließen lassen. Aus theoretischer Sicht wurde dies bereits in den Teilen 1 und 2 behandelt. Im engeren Sinne handelt es sich bei den Kriterien um Aspekte aus den Bereichen Komfort und Gesundheit. Bei einer erweiterten Betrachtung können u. a. die Funktionalität der Grundrisse und Raumgestaltung, die Einflussnahmemöglichkeiten der Nutzer oder die Qualität der Büroausstattung einbezogen werden. Bei der Festlegung entsprechender Kriterien muss definiert werden, wo und wie entlang einer Wirkungskette Aspekte erfasst und beurteilt werden sollen. Dies wird am nachstehenden Beispiel zur Beurteilung der Raumluftqualität von den Einflussgrößen bis hin zu Wirkungen und Folgewirkungen illustriert (Tab. 3.2-1). Die dargestellten Stufen der Erfassung und Beurteilung ausgewählter Sachverhalte weisen auf Wirkungsketten hin: Dem Kriterium »Raumluftqualität« (gemessen) bzw. »Zufriedenheit mit der Raumluftqualität« (auf Basis einer Befragung oder der Auswertung von Beschwerden) sind

gemäß Tabelle 3.2-1 Ursachen vor- und Auswirkungen nachgelagert, die sich ebenfalls für Teilaspekte einer Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden nutzen lassen. Sie können alternativ für Planungshinweise oder Handlungsanleitungen (z. B. Einflussnahme auf Ursachen) verwendet werden oder in die Interpretation der Ergebnisse bzw. eine Festlegung ihrer Bedeutung (z. B. Ausmaß von Neben- und Folgewirkungen) einfließen. Die Diskussion zur Berücksichtigung von Mehrfach-, Neben- und Folgewirkungen in der Nachhaltigkeitsbewertung ist derzeit noch nicht abgeschlossen. Bei der Nachhaltigkeitsbewertung zu beachten ist auch der konkrete Betrachtungsgegenstand. Während sich eine Nutzerzufriedenheitsanalyse auf alle Nutzer und damit auf das Gesamtgebäude erstrecken kann, beziehen sich Angaben zur Komfortsituation oder zur Raumluftqualität i. d. R. auf einen konkreten Raum. Es ist dann zu definieren, ob und wie auf dieser Basis auf die diesbezügliche Qualität des Gebäudes geschlossen werden kann.

Tab. 3.2-1: Mögliche Bewertungsstufen entlang einer Wirkungskette bei der Beurteilung der Raumluftqualität inklusive vor- und nachgelagerter Aspekte.

Stufe	Bewertungsaspekt	Kommentar
Stufe 1	Verwendung emissionsarmer Bauprodukte für innere Oberflächen	kann als Teilaspekt in die Planung sowie die Ausschreibung und Vergabe integriert werden; ist Bestandteil der Qualität der Planungsprozesse
Stufe 2	Emissionsraten in die Raumluft inklusive Abklingverhalten	Angaben auf Basis von Produktinformationen, die ggf. künftig Bestandteil von produktspezifischen Umweltdeklarationen (EPD) werden, alternativ können Informationen aus Datenbanken entnommen werden
Stufe 3	Konzentration von Stoffen in der Raumluft unter definierten Messbedingungen	wird zu definierten Zeitpunkten unter vorgegebenen Randbedingungen gemessen und beschreibt die Raumluftqualität; die Beurteilung der Raumluftqualität befindet sich an der Nahtstelle zwischen ökologischer und sozialer Qualität
Stufe 4	Erfassung und Beurteilung der Zufriedenheit bzw. der Gesundheit der Nutzer	wird i. d. R. in der Betriebsphase auf Basis von Befragungen, der Auswertung von Beschwerden oder der Analyse von Krankheitsfällen erfasst; die Beurteilung der Zufriedenheit mit der Raumluftqualität wird der sozialen Qualität zugeordnet
Stufe 5	Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Nutzer	kann über Tests oder die Messung der Produktivität festgestellt werden
Stufe 6	Beurteilung der Zufriedenheit der das Gebäude nutzenden Institution	wird i. d. R. in der Betriebsphase durch Befragung erfasst; Organisationen erheben z. T. selbst den Grad der Mitarbeiterzufriedenheit mit dem Teilaspekt »Zufriedenheit mit Gebäude und Arbeitsplatz«
Stufe 7	Beurteilung des Leerstandsrisikos für die Immobilie	wird durch die Zufriedenheit der nutzenden Organisation beeinflusst; hier findet der Übergang zur ökonomischen Qualität statt
Stufe 8	Beurteilung von Wertstabilität und Wertentwicklung der Immobilie	Das Leerstandsrisiko wirkt sich auf den Vermietungserfolg und damit u. a. auf Wert und Wertentwicklung aus.

Zusätzlich zur direkten oder indirekten Beurteilung der Zufriedenheit der Nutzer mit dem Gebäude und den Nutzungsbedingungen wird im Bereich des gebäudebezogenen Nachhaltigkeitsmanagements die Durchführung und Auswertung systematischer Nutzerzufriedenheitsanalysen als Teil der Prozessqualität betrachtet. Dies kann neben der Zufriedenheit der individuellen Nutzer die Analyse der Zufriedenheit der das Gebäude nutzenden Organisation/Unternehmung einschließen.

Kriterien zur Bewertung der Nutzerzufriedenheit entwickeln

Bewertungskriterien zur direkten oder indirekten Beschreibung und Beurteilung der Nutzerzufriedenheit lassen sich auf unterschiedlichen Grundlagen entwickeln.

Einen Ausgangspunkt liefert der Stand der internationalen Normung. ISO 21929-1 gibt eine Liste der im Minimum zu berücksichtigender Kriterien für eine Nachhaltigkeitsbewertung vor. In Bezug auf die hier behandelte Thematik sind die in Tabelle 3.2-2 genannten Kernkriterien von Bedeutung:

Ähnliche Kriterien werden in der EN 15643-3:2012 zur Bewertung der sozialen Qualität von Gebäuden vorgegeben, für die mit DIN EN 15643-3:2012 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Bauwerken – Teil 3: Rahmenbedingungen für die Bewertung der sozialen Qualität eine deutsche Fassung vor-

liegt. In Bezug auf die hier behandelte Thematik sind die in Tabelle 3.2-3 genannten Kriterien von Bedeutung.

Die weiteren in DIN EN 15643-3:2012 genannten Kriterien, wie Belastung der Nachbarschaft, Sicherheit/Schutz, Beschaffung von Materialien und Dienstleistungen sowie Einbeziehung von Beteiligten, werden hier nicht weiter verfolgt. Art und Umfang der Einbeziehung von Nutzern in die Planung und Entscheidungsfindung sowie die Gestaltung und Beeinflussung der Betriebsweise von Gebäuden (Partizipation) können sich jedoch auf die Zufriedenheit auswirken.

Nachstehend wird am Beispiel der BNB-Varianten für Bürogebäude mit Stand 2013 erläutert, wie und in welchem Umfang Aspekte der Nutzerzufriedenheit in Nachhaltigkeitsbewertungssysteme integriert sind. Für 2015 sind allerdings Anpassungen vorgesehen.

Je nach Anwendungsfall ist zunächst zu unterscheiden, ob es sich um eine Bewertung von Teilthemen der Nutzerzufriedenheit in der Planungsphase (Neubau oder Komplettmodernisierung) oder in der Phase des Nutzens und Betreibens handelt.

Anwendungsbeispiel Planungsphase

Themen der Nutzerzufriedenheit werden in eine während der Planung anzuwendenden Nachhaltigkeitsbewertung gemäß BNB in die Hauptkriteriengruppe »3 Soziokulturelle und funktionale Qualität« eingeordnet und in der Kriteriengruppe »Gesundheit, Behaglichkeit und Nutzerzufriedenheit« behandelt. Das Bewertungssystem BNB verwendet dabei im Kern die in Abbildung 3.3-2 dargestellten Bewertungskriterien. Sie werden mit ihrer dreistelligen Kriteriennummer angegeben. Eine ausführliche Beschreibung des Systems und seiner Bewertungskriterien sowie der einzubeziehenden Teilkriterien ist über den Leitfaden Nachhaltiges Bauen (BMVBS, 2013) sowie die das Informationsportal Nachhaltiges Bauen (siehe auch www.nachhaltigesbauen.de) zugänglich.

Die dargestellten Bedeutungszahlen (rechte Spalte in Abb. 3.2-2) werden für die Wichtung von Teilergebnissen für eine Gesamtbewertung verwendet.

Mit den Kriterien »Aufenthaltsmerkmale im Außenraum« und »Sicherheit und Störfallrisiken« geht das BNB über die Nutzerzufriedenheitsthematik im engeren Sinne hinaus. Dies ist beim Abgleich zwischen den Bewertungsergebnissen im Rahmen der Planung und während des Betriebs zu beachten. Mit Ausnahme der Innen-

Tab. 3.2-2: Kernkriterien mit Bezug zu Komfort und Zufriedenheit (ISO 21929-1:2011)

Kriterium	Teilkriterium
Innenraumverhältnisse und Raumluftqualität	Innenraumverhältnisse mit Einfluss auf den thermischen, visuellen und akustischen Komfort, Raumluftqualität
Zugänglichkeit/Barrierefreiheit	Zugänglichkeit des Grundstücks, Zugänglichkeit / Barrierefreiheit des Gebäudes
Anpassbarkeit	Anpassbarkeit an eine sich ändernde Nutzung oder sich ändernde Nutzeranforderungen
Sicherheit	Standsicherheit, Brandschutz, Nutzungssicherheit
Funktionalität	Gebrauchstauglichkeit unter realen Nutzungsbedingungen

Tab. 3.2-3: Kriterien zur Beurteilung der sozialen Qualität (Auswahl), (DIN EN 15643-3:2012)

Kriterium	Teilkriterium
Zugänglichkeit	Barrierefreiheit (...)
Anpassungsfähigkeit	Fähigkeit, einzelne Nutzeranforderungen zu erfüllen Fähigkeit, Änderungen der Nutzeranforderungen zu erfüllen Fähigkeit, Änderung der Nutzung zu berücksichtigen (andere)
Gesundheit und Behaglichkeit	akustische Eigenschaften Qualität der Innenraumluft visuelle Behaglichkeit Qualität des Wassers elektromagnetische Eigenschaften räumliche Eigenschaften wärmetechnisches Verhalten
Instandhaltungsfreundlichkeit	Auswirkungen von Instandhaltungsarbeiten auf Gesundheit und Behaglichkeit der Nutzer (andere)

raumhygiene handelt es sich um Parameter, die in der Planung auf Basis von Berechnungen oder Simulationen ermittelt werden können – siehe hierzu die detaillierten Erläuterungen in den Abschnitten zur Planung von Einzelparametern in Teil 2. Für die Bewertung der Innenraumhygiene wird im Falle eines Neubaus bzw. einer Komplettmaßnahme im Bestand eine Messung der Konzentration ausgewählter Einzelstoffe (Formaldehyd) und Summenparameter (TVOC) gefordert.

Weitere relevante Bewertungskriterien in der BNB-Variante für neu zu errichtende Bürogebäude mit indirektem Bezug zur Nutzerzufriedenheit sind:

- 3.2.1 Barrierefreiheit
- 3.2.4 Zugänglichkeit
- 3.2.5 Komfort für Radfahrer (ehem. Fahrradkomfort)
- 3.3.1 Gestalterische und städtebauliche Qualität
- 3.3.2 Kunst am Bau
- 4.1.2 Wärme- und Tauwasserschutz
- 5.1.5 Voraussetzungen für eine optimale Bewirtschaftung
- 5.2.3 Qualitätssicherung der Bauausführung
- 5.2.4 Systematische Inbetriebnahme

Generell sind je Kriterium bzw. Teilkriterium gemäß der Vorgaben im Bewertungssystem definierte Berechnungen oder Messungen auszuführen, die sich soweit möglich an ohnehin zu erbringenden Planungsleistungen orientieren. Die erreichten Ergebnisse müssen in eine Bewertungsskala eingeordnet bzw. einem erreichten Anforderungsniveau zugeordnet werden. Hieraus ergibt sich eine erreichte Punktzahl, die multipliziert mit einer

Bedeutungszahl in die Bewertung der Kriteriengruppe und die Gesamtbewertung einfließt. Die Bedeutungszahl entspricht einem Wichtungsfaktor und wurde im Bewertungssystem von Experten festgelegt. Zusätzlich zum Bewertungsergebnis müssen definierte Unterlagen zusammengestellt und einer Konformitätsprüfungsstelle vorgelegt werden. Die Dokumentation einzelner Bewertungsergebnisse und ihrer Grundlagen stellt gleichzeitig die Basis für eine ausführliche Objektbeschreibung dar, aus der bei Bedarf im weiteren Lebenszyklus der Immobilie Informationen entnommen werden können.

In der Planung wird also das Thema der Nutzerzufriedenheit in eine Reihe von Teil- und Stellvertreterkriterien

3. Soziokulturelle und funktionale Qualität			
3.1 Gesundheit, Behaglichkeit und Nutzerzufriedenheit			
3.1.1	Thermischer Komfort im Winter	☑ ✓ P	PL 2
3.1.2	Thermischer Komfort im Sommer	☑ ✓ P	PL 3
3.1.3	Innenraumhygiene	☑ ✗ E	NU 3
3.1.4	Akustischer Komfort	☑ ✓ P	PL 1
3.1.5	Visueller Komfort	☑ ✓ P	PL 3
3.1.6	Einflussnahme des Nutzers	☑ ✓ P	PL 2
3.1.7	Aufenthaltsmerkmale im Außenraum	☑ ✓ P	PL 1
3.1.8	Sicherheit und Störfallrisiken	☑ ✗ P	PL 1
Relevante Lebensphase	Bewertungsmethode	Nachweisführung durch	Nachweis - Zeitpunkt
🔄 gesamter Lebenszyklus	→ Lineare Bewertung	B Bauherr	PL Projektentwicklung
🏠 Errichtung	✗ Handlungsstufen	P Planer / Fachplaner	PL Planung
🏠 Nutzung	✓ Checklisten	E Externe	AV Ausschreibung und Vergabe
🏠 Rückbau			ER Errichtung
• Bedeutungszahl			NU Übergabe und Nutzung

Abb. 3.2-2: Kriterien zur Beurteilung von Gesundheit, Behaglichkeit und Nutzerzufriedenheit in der Planung (BMVBS, 2011)

aufgelöst und kein zusammenfassender Grad der Erfüllung von Anforderungen an die Nutzerzufriedenheit im engeren Sinne ausgewiesen. Dies erschwert u. U. den Abgleich mit Ergebnissen von Befragungen in der Betriebsphase.

International ist eine ähnliche Vorgehensweise erkennbar. So umfasst z. B. das britische Nachhaltigkeitsbewertungssystem Building Research Establishment Environmental Assessment System BREEAM für neu zu errichtende Bürogebäude (BRE, 2012a) in der Kriterien-Gruppe »Gesundheit und Wohlbefinden« Themenbereiche wie Tageslicht, thermischer Komfort der Nutzer, Akustik, Raumluftqualität, Wasserqualität und Beleuchtung.

Anwendungsbeispiel Betriebs- und Nutzungsphase

Für existierende Gebäude, die in der Phase der Nutzung und des Betriebes einer **Nachhaltigkeitsbewertung** unterzogen werden, wird die Bewertung der Nutzerzufriedenheit sowohl der Beurteilung des Bauwerkes (tatsächliche Objektqualität) als auch der Beurteilung der Qualität des Betriebes (Prozessqualität) zugeordnet. Es liegt eine Anwendungsempfehlung für ein BNB-Modul »Nutzen und Betreiben« vor, dessen Details auf der Informationsplattform Nachhaltiges Bauen einsehbar sind (www.nachhaltigesbauen.de).

Bei der Bewertung der Prozessqualität werden zunächst Art und Umfang eines Nutzerzufriedenheitsmanagements erfasst und beurteilt (siehe auch Abb. 3.2-3). Hierzu dient das Kriterium (angegeben wird neben der Bezeichnung auch die Ordnungsnummer) »5.3.1 Nutzerzufriedenheitsmanagement«. Dieses schließt die Art, Häufigkeit und den Umfang einer systematischen Nutzerzufriedenheitsanalyse auf der Basis von Befragungen ein (siehe Kap. 3.2.2).

Im erweiterten Sinne kann das Kriterium »5.3.8 Information und Motivation der Nutzer« in die Thematik einbezogen werden. Hierüber wird die Partizipation der Nutzer gestärkt, was sich aus Sicht der Autoren positiv auf deren Zufriedenheit auswirkt. Weiterhin relevant sind u. U. die Kriterien »5.3.5 Umwelt- und gesundheitsverträgliche Reinigung« und »5.3.6 Technische Betriebsführung und Qualifikation des Betriebspersonals«, die zumindest indirekt einen Einfluss auf die Nutzerzufriedenheit im erweiterten Sinne haben können.

Im Rahmen der Bewertung der tatsächlichen Objektqualität wird der Themenbereich »Gesundheit, Behaglichkeit und Nutzerzufriedenheit« der Hauptkriteriengruppe »sozio-kulturelle Qualität« zugeordnet und über das Kriterium »3.1.9 tatsächliche Nutzerzufriedenheit« auf der Basis von Befragungen abgedeckt.

Die Ergebnisse der Befragung werden in einem Nutzerzufriedenheitsindex zusammengefasst. Dessen Er-

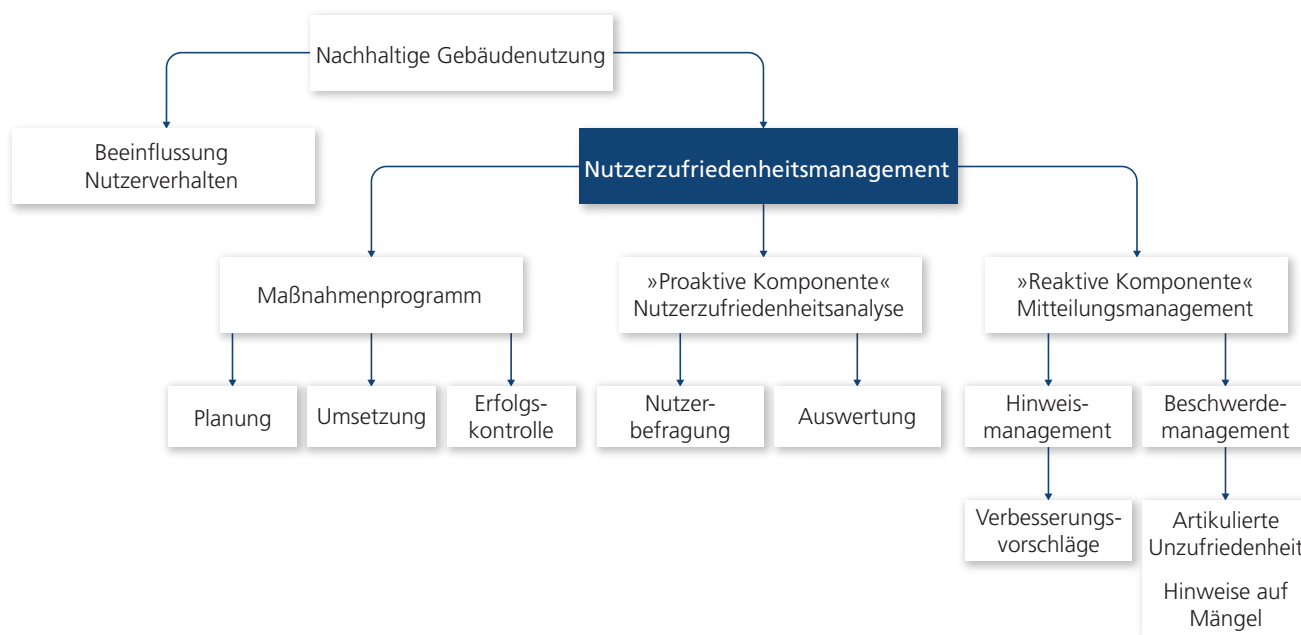


Abb. 3.2-3: Nutzerzufriedenheitsmanagement (Leitfaden Nachhaltiges Bauen, 2013, S. 111).

mittlung erfolgt bei Anwendung des BNB-Moduls »Nutzen und Betreiben« mit Stand 2013 auf Basis des am fbta (KIT) im Rahmen eines entwickelten Befragungstools INKA (Schakib-Ekbatan, Wagner und Lützkendorf, 2011). Das Befragungsinstrument wird in Kapitel 3.2.3 beschrieben.

In den vergangenen Jahren wurde vom fbta (KIT) und weiteren Forschungseinrichtungen das Konzept entwickelt, die Ergebnisse der Nutzerbefragung durch ausgewählte Messungen zu ergänzen und die Ergebnisse miteinander abzugleichen. Dies wurde im BNB-Modul »Nutzen und Betreiben« mit Stand 2013 berücksichtigt. Das Kriterium »5.3.14 Tatsächliche Innenraumhygiene« ist hierfür vorgesehen. Gefordert wird die Messung und Bewertung der Konzentration von Stoffen in der Raumluft (TVOC) sowie der Sporenbelastung der Raumluft (MVOC).

Auch international nimmt man verstärkt Aspekte mit Einfluss auf Komfort, Gesundheit und Nutzerzufriedenheit in Systeme zur Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden in ihrer Betriebs- bzw. Nutzungsphase auf. Das System BREEAM In-Use (BRE, 2012b) umfasst in der Kriteriengruppe »Gesundheit und Wohlbefinden« Themenbereiche wie Tageslichtversorgung, Qualität und Steuerungsmöglichkeiten des Kunstlichtes, Raumluftqualität und mikrobielle Belastung, Beeinflussbarkeit und Überwachung der Temperaturen und Qualität der akustischen Verhältnisse.

Zusammenfassend wird deutlich, dass die Berücksichtigung der Nutzerzufriedenheit in der Nachhaltigkeitsbewertung z. T. bereits auf übliche Vorgehensweisen und Methoden in der Planung und des Facility Management zurückgreift und deren Anwendung befördert. Durch die Integration in die Nachhaltigkeitsbewertung wird das Interesse an dieser Thematik gestärkt und die Entwicklung von Zahlungsbereitschaften für entsprechende Planungs- und FM-Leistungen befördert.

3.2.2 Nutzerzufriedenheitsanalysen – Grundlagen und Erfahrungen

Die Nutzungsphase stellt im Lebenszyklus eines Gebäudes den Hauptteil dar, daher bietet es sich in mehrfacher Hinsicht an, die Erfahrungen der Nutzer zur Gebäudeperformance in die Evaluation eines Gebäudes einzubeziehen. Unter Gebäudeperformance lässt sich in diesem Zusammenhang verstehen, in welchem Maße in Hinblick

In Deutschland gibt es bislang keine Tradition der Gebäudebewertung aus Nutzersicht. »Post Occupancy Evaluation« bzw. als neueres Konzept »Building Performance Evaluation« (vgl. Preiser & Schramm, 2005) als nutzungsorientierte Bewertung einer Immobilie nach deren Inbetriebnahme durch die mit dem Gebäude vertrauten Personen. Es handelt sich um Methoden, die im US-amerikanischen Raum gängig sind. Diese stellen geeignete systematische Verfahren dar, um über die Erfahrungen der Nutzer mit räumlich-physikalischen Gegebenheiten des Arbeitsplatzes herauszufinden, wie gut die »Passung« zwischen Personen und Gebäuden gelungen ist (vgl. Lantermann, 2008). Zwar führt auch die Auswertung des Beschwerdemanagements zu Erkenntnissen, allerdings kann sie eine umfassende Befragung nicht ersetzen.

auf die Nutzerbedürfnisse funktionale oder anderweitig definierte Kriterien erfüllt werden.

In der Praxis passen häufig in Hinblick auf Nachhaltigkeit die Ziele des hohen Nutzerkomforts und der Energieeffizienz schlecht zusammen. Erkenntnisse aus dem technischen Gebäudemonitoring zeigen, dass beispielsweise die in der Planung simulierten Komfortbedingungen aus verschiedenen Gründen häufig von den realen Gegebenheiten im laufenden Gebäudebetrieb abweichen. Nutzerbefragungen bieten sich daher an, um zum einen die in der Planungsphase prognostizierte Qualität eines Gebäudes zu überprüfen und zum anderen das Nutzerfeedback als Monitoring-Instrument im laufenden Gebäudebetrieb dafür zu nutzen, Möglichkeiten zu erkennen (Wagner & Schakib-Ekbatan, 2011). Das Erfassen der Nutzerrückmeldungen und die Umsetzung hieraus gewonnener Erkenntnisse in Verbesserungsmaßnahmen können zu mehr Umgebungsqualität führen. Die Einbindung der Nutzer ist dabei per se Bestandteil einer partizipativen Herangehensweise.

Eine Hürde für die Durchführung von Befragungen ist häufig die mangelnde Akzeptanz der entsprechenden Verantwortlichen in Unternehmen und Behörden für den Zeitaufwand, mit dem Befragungen einhergehen. Darüber hinaus befürchten sie, dass in der Folge von Befragungsergebnissen kostenintensive Maßnahmen zur Diskussion stehen. Jedoch werden häufig negative Auswirkungen wie Stress, Leistungseinbußen oder Krankheitstage unterschätzt, wenn verbessernde Maßnahmen unterbleiben. Ein relevantes Beispiel ist die Unterschätzung der Bedeu-

tung des akustischen Komforts und die Einsparung lärmabsorbierender Elemente am Arbeitsplatz.
Befragungen lassen sich für verschiedene Ziele nutzen:

- zur Einbindung in Zertifizierungsprozesse (siehe Leitfaden Nachhaltiges Bauen, 2013)
- zur Überprüfung, ob die angestrebte Gebäudequalität erreicht wurde
- zur Ist-Analyse und dem regelmäßigen Monitoring im Qualitätsmanagement
- zur Eruierung von Handlungsbedarf für Optimierungsprozesse
- zur Nutzbarmachung der Erfahrungen für Neubauten.

In welchem Abstand Befragungen stattfinden, sollte sich am Bedarf orientieren. Für umfassendere Befragungen im Rahmen eines regelmäßigen Monitorings sollten größere Zeitabstände gewählt werden, da bei zu häufiger Befragung die Beteiligungsbereitschaft sinken kann. Tabelle 3.2.4 fasst die Einsatzmöglichkeiten von Befragungen zusammen.

Voraussetzung für eine Befragung ist die Zustimmung des Betriebs- bzw. Personalrates und die Einhaltung des Datenschutzes. Auch der Zeitpunkt für eine aussagekräftige Befragung ist zu bedenken. So zeigt sich in der Praxis, dass zunächst eine ausreichende Zeit zur Einregulierung der Gebäudetechnik erforderlich ist, wenn es sich um einen Neubau oder ein energetisch saniertes Gebäude handelt.

Tab. 3.2-4: Übersicht der Einsatzmöglichkeiten von Befragungen

Anlass	Ziele	empfohlener Zeitpunkt
erste Bestandsaufnahme	IST-Stand dokumentieren, Stärken-Schwächen-Profil feststellen	bei Neubauten oder nach Komplettsanierung etwa ein Jahr nach Bezug des Gebäudes
Folgebefragung	jahreszeitliche Unterschiede erfassen	jeweils im Sommer und Winter, bei Bedarf auch Übergangszeiten
regelmäßiges Monitoring	Qualitätssicherung	Befragung im Intervall von drei Jahren
Evaluation von Maßnahmen	Erfolgskontrolle von Maßnahmen im Gebäude	ggf. zeitnahe Befragung nach Abschluss der Maßnahme

Tab. 3.2-5: Vor- und Nachteile von Rundgang-Interviews

Vorteile	Nachteile
Erfahrungen können in diesem persönlichen Kontakt der Beteiligten unmittelbar formuliert werden, Rückfragen sind möglich, Unklarheiten können geklärt werden.	Die Datenerhebung erfolgt auf der Basis weniger subjektiver Meinungen. Die Frage ist, ob die beteiligten Personen die Meinung der Gesamtbelegschaft widerspiegeln.
Durch die persönliche Beteiligung der Nutzer wird eine gute Ausgangslage zur Akzeptanz für resultierende Maßnahmen geschaffen.	Das Vorgehen ist sehr spezifisch und nicht unbedingt übertragbar auf einen größeren Gebäudebestand.

Um die Nutzer einzubinden, werden zwei Vorgehensweisen häufig eingesetzt: Rundganginterviews und schriftliche Befragungen. Sie unterscheiden sich in Aufwand und Nutzen voneinander.

Rundganginterviews

Bei einem Gebäuderundgang werden Personengruppen mittels offener Fragen motiviert, Erfahrungen und gegebenenfalls Probleme mit dem Gebäude zu erörtern. Alltagserfahrungen können beispielsweise in Abhängigkeit bestimmter Aspekte (z. B. Lage des Büros) variieren, daher sollten je nach Größe des Unternehmens entweder jeweils repräsentative Personen(gruppen) beteiligt werden oder je nach Thema eigene Rundganginterviews gemacht werden. Das Vorgehen umfasst drei Schritte:

1. Einführungstreffen mit Vorbereitung auf Themen und Ziele
 - Aufgreifen von Problembereichen aus der Auswertung des Beschwerdemanagements
 - Ergänzung durch Themen, die evtl. sonst leicht übersehen werden (z. B. Privatheit am Arbeitsplatz)
 - evtl. bereits Abklärung, in welchem Rahmen Veränderungen möglich sind
2. Rundganginterview mit Aufsuchen exemplarischer Räume
3. Abschlusstreffen, in dem Empfehlungen für Verbesserungen erarbeitet werden.

Mit dieser zeitlich und finanziell eher wenig aufwendigen Vorgehensweise sind Vor- und Nachteile verbunden (siehe Tab. 3.2-5).

Schriftliche Befragungen

Einen belastbareren Überblick liefern standardisierte schriftliche Befragungen. Der große Gewinn liegt darin, dass auf breiter Basis detailliert Rückmeldungen zum Erleben und Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer am Arbeitsplatz erfasst werden können. Die Konstruktion von Fragebogen ist jedoch nicht trivial und setzt entsprechende Kenntnisse voraus. Neben der Auswahl relevanter Themen stellt die Umsetzung in leicht zu verstehende und zu beantwortende Frage-Antwort-Einheiten eine nicht zu unterschätzende Herausforderung dar. Es empfiehlt sich daher, auf erprobte Verfahren zurück zugreifen. Zur Erstellung neuer Fragebogen sollte interne oder externe Expertise (z. B. Psychologen, Sozialwissenschaftler, Soziologen) eingeholt werden.

Zwei geeignete deutschsprachige Instrumente (INKA, Koblenzer Architekturfragebogen-KAB®) für die Bewertung von Bürogebäuden aus NutzerInnensicht, die architekturpsychologisch fundiert und validiert sind, stehen derzeit zur Verfügung. Sie werden im Anschluss an allgemeine Hinweise für die Durchführung von Befragungen näher beschrieben.

Stichprobengröße bei schriftlichen Befragungen: Wer soll befragt werden?

Grundsätzlich sollten alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter befragt werden. Dies ist insbesondere zu empfehlen, wenn man ein erstes umfassendes Meinungsbild erhalten möchte. Zudem fühlen sich dadurch alle Personen einbezogen und die Befragung erfährt intern eine höhere Akzeptanz.

Soll nur eine Teilstichprobe befragt werden, ist zu beachten, dass diese zufällig ausgewählt wird und repräsentativ für das Gebäude ist. Zufällig bedeutet, dass in dem Auswahlverfahren prinzipiell alle Mitarbeiter die gleiche Chance haben müssen, ausgewählt zu werden (z. B. jede x-te Person aus der Gesamt-Mitarbeiterliste). Bei Teilstichproben sollte der gesamten Belegschaft das Auswahlverfahren erläutert werden, da sonst Unruhe und Ungleichheitsempfinden entstehen kann. Je nach Anlass für die Befragung können auch bereits identifizierte Problemzonen des Gebäudes (z. B. nach einer bestimmten

Himmelsrichtung gelegene Büros) und die davon betroffenen Mitarbeiter in den Fokus genommen werden. Auch dies sollte dann intern kommuniziert werden.

Zu berücksichtigen ist ebenso, wie hoch der Prozentsatz ausgefüllter Fragebogen vermutlich sein wird. Entsprechend hoch muss die Anzahl der verteilten bzw. versendeten Fragebogen sein, um die angestrebte Rücklaufquote zu erreichen. Hier können u. U. Erfahrungswerte aus Mitarbeiterbefragungen im Hause zu anderen Themen eine Orientierung liefern.

Art der schriftlichen Befragung: Online-Verfahren oder Papierversion?

Online-Befragung: Ob eine Online-Befragung möglich ist, hängt im Wesentlichen von den Rahmenbedingungen im Unternehmen ab (z. B. Unterstützung durch die IT-Abteilung, Datenschutzpolitik). Neben einer zeit- und kostengünstigen Möglichkeit zur Verteilung der Fragen in Gebäuden mit hoher Belegschaftszahl liegt der Vorteil einer Online-Variante in einem zeitnahen Ergebnis, da die Informationen in einem Daten-Skript gesammelt und schnell ausgewertet werden können.

Computergestützte Vorgehensweise: Eine weitere Möglichkeit ist es, den Nutzern direkt per E-Mail eine PDF-Datei als Anhang zum Ausfüllen und Ausdrucken zuzuschicken oder ihnen per E-mail einen Link zuzusenden, der zum Fragebogen führt und über den die Daten zentral gesammelt und ausgewertet werden. In Zeiten der E-Mail-Flut ist jedoch nicht garantiert, dass solch eine E-Mail auch von allen registriert wird. Daher ist im Vorfeld eine ausreichende Informationspolitik ausschlaggebend für den Erfolg: Dabei sollten auch Misstrauen bzw. Ängste in Bezug auf die Anonymität bei Online-Befragungen ausgeräumt werden.

»Papier-Bleistift«-Version: Erfolgt die Befragung auf zuvor persönlich oder per Hauspost verteilten Fragebögen, fallen Druckkosten an, auch ist das persönliche Verteilen zeitintensiv. Allerdings hat sich in Feldstudien gezeigt, dass ein solches verbindlicheres Vorgehen auf eine hohe Akzeptanz bei den Nutzern trifft. Es führt im Vergleich zur Verteilung per Hauspost oder mittels Online-Befragungen zu höheren Rücklaufquoten. In Gebäuden oder Abteilungen mit einer eher niedrigeren Mitarbeiteranzahl bietet sich das persönliche Verteilen der Fragebögen an. Die gewonnenen Daten können dann von Hand eingegeben werden; je nach Umfang des Fragebogens bieten sich auch Scan-Verfahren an,

mit denen Fragebogen eingelesen werden können. Allerdings ist dieses Vorgehen fehleranfällig, je nachdem wie deutlich die Nutzer die Bogen ausgefüllt haben und wie gut platziert das Ankreuzen erfolgt ist. Dadurch wird auch bei dieser Variante eine manuelle Bearbeitung erforderlich.

Zu erwartende Rückläufe bei schriftlichen Befragungen

Wie viele ausgefüllte Fragebögen zurückkommen, hängt stark von der Form der Befragung ab (siehe Tab. 3.2-6). Erfahrungsgemäß wird ein höherer Rücklauf bei persönlicher Verteilung von Papierfragebögen erzielt (ca. 60 % und mehr). Insbesondere bei Online-Befragungen scheint der Kommunikationscharakter oberflächlicher und sozial weniger verbindlich zu sein (Vogt, 1999). In großen Unternehmen mit vielen Mitarbeitern kann die Beteiligung ebenfalls eher gering sein, da sich der Einzelne angesichts vieler potenzieller Teilnehmer nicht so sehr verpflichtet fühlt. Ob Nutzer bereit sind, sich an einer Umfrage zu beteiligen, hängt von ihren allgemeinen Erfahrungen mit Befragungen in Bezug auf die Ernsthaftigkeit des Vorgehens ab, beispielsweise in Form möglichst zeitnaher Rückmeldung der Ergebnisse an die Befragten oder erkennbare Bemühungen Abhilfe bezüglich der festgestellten Beschwerden zu schaffen.

Ergebnisse an die Teilnehmer rückmelden

Nach einer internen Diskussion mit den verantwortlichen Personen sollten baldmöglichst die Ergebnisse (sowohl bei Rundganginterviews, insbesondere aber bei schriftlichen Befragungen) an die Teilnehmer rückgemeldet und bei Bedarf weitere Schritte mitgeteilt werden (z. B. Folgebefragungen zu einer anderen Jahreszeit, Planung regelmäßiger Befragungen zur Qualitätssicherung, Planung von Maßnahmen). Die Ergebnisse sollten zusammenfassend und gruppenbezogen (z. B. nach

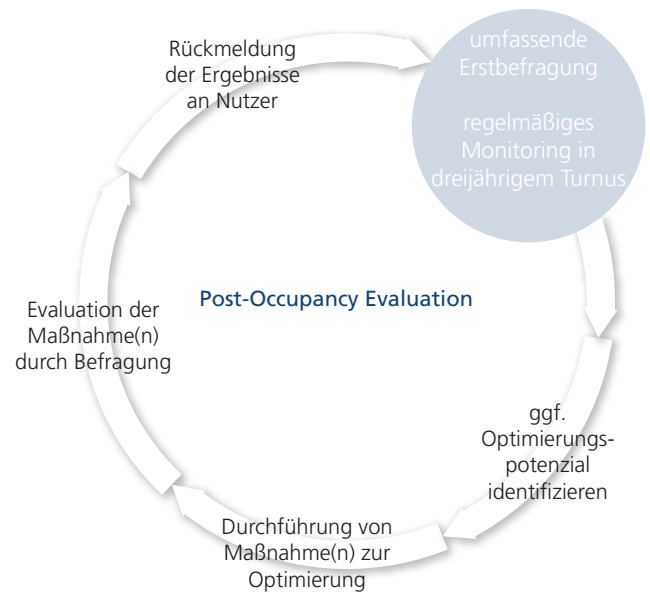


Abb. 3.2-4: Umsetzungsempfehlung für Nutzerzufriedenheitsanalysen (Schakib-Ekbatan, Wagner & Lützkendorf, 2011)

Geschlecht) dargestellt werden und keine Rückschlüsse auf einzelne Personen ermöglichen. Abbildung 3.2-4 fasst die Phasen von Nutzerzufriedenheitsanalysen zusammen.

3.2.3 Nutzerzufriedenheit über standardisierte Fragebögen bewerten

Einen geeigneten Fragebogen zu erstellen, setzt entsprechende Kenntnisse voraus. Neben der Auswahl relevanter Themen stellt die Umsetzung in leicht zu verstehende und zu beantwortende Frage-Antwort-Einheiten eine nicht zu unterschätzende Herausforderung dar. Zwei geeignete deutschsprachige Instrumente für die Bewertung von Bürogebäuden aus Nutzersicht, die architekturpsychologisch fundiert und validiert sind,

Tab. 3.2-6: Rücklaufquoten der Feldstudien des fbta (>4000 Befragungen)

Durchführungsform	Durchschnittswerte des Rücklaufs	Minimum/Maximum
Papierfragebogen, persönlich verteilt	60 %	54 % bis 91 %
Papierfragebogen, über Hauspost verteilt	39 %	33 % bis 45 %
Fragebogen als pdf-Dokument, Bearbeitung am PC, Rücksendung des pdf-Dokuments als E-Mail	47 %	44 % bis 50 %
Online-Befragung	34 %	11 % bis 50 %

Tab. 3.2-7: Inhalte des Fragebogens INKA

Arbeitsplatz/Büro
Lichtverhältnisse (u. a. Tageslicht, Kunstlicht, Blendschutz)
Raumtemperatur
Luftqualität
räumliche Bedingungen (u. a. Bürogröße, Privatheit)
Möblierung und Gestaltung des Büros
Einflussmöglichkeiten auf Lichtverhältnisse, Temperatur, Luftqualität, Möblierung und Gestaltung
Akustik und Geräuschpegel
Sauberkeit im Büro
Erfassung von Wichtigkeit und Veränderungsbedarf von Komfortbereichen
Energiesparen am Arbeitsplatz (Informationsbedarf, Verhalten)
gesundheitliche Aspekte (u. a. allgemeines Wohlbefinden)
Gebäudebezogene Qualitätsmerkmale
Service-Leistungen (Verpflegung, Wartung, Reinigung)
Komfortbereiche (u. a. Lichtverhältnisse, Temperatur)
Funktionsräume (u. a. Sozialräume, sanitäre Anlagen)
Orientierung
Sicherheit (baulich-technisch, Zugangskontrolle)
Standortqualität und Umfeld des Gebäudes
Entfernung zwischen Wohnort und Arbeitsplatz
Erreichbarkeit mit öffentlichen Verkehrsmitteln
Fahrradabstellmöglichkeiten, Pkw-Parkplatzsituation
Einkaufsmöglichkeiten
Erholungsqualität
Strukturfragen
momentane Befindlichkeit
allgemeine Angaben zum Arbeitsplatz (u. a. Geschoss, Himmelsrichtung)
allgemeine Angaben zur Arbeitstätigkeit (u. a. Arbeitszeit, Verteilung der Arbeitstätigkeit auf verschiedene Bereiche)
persönliche Angaben (u. a. Geschlecht, Altersgruppe)

stehen derzeit zur Verfügung: INKA und der Koblenzer Architekturbeurteilungsbogen.

INKA – Instrument für Nutzerbefragungen zum Komfort am Arbeitsplatz

Das Befragungsinstrument liefert belastbare Aussagen über die alltägliche Erfahrung mit Komfortbedingungen des unmittelbaren Arbeitsplatzes sowie des Gebäudes insgesamt. Die Inhalte orientieren sich an theoretischen und praktischen architekturpsychologischen Erkenntnissen sowie an Befunden zum **sick building syndrome**. Insbesondere soll die Qualitätssicherung in Bezug auf gute Komfortbedingungen am Arbeitsplatz und die Energieeffizienz des Gebäudes unterstützt werden. Es werden Komfortaspekte des Arbeitsplatzes, gebäudebezogene Merkmale und Fragen zur Standortqualität (siehe Tab. 3.2-7) erfasst.

Die einzelnen Komfortbereiche wie Raumlufttemperatur, Luftqualität, Lichtverhältnisse sowie die Nutzer-

freundlichkeit des Gebäudes werden jeweils mit differenzierten Teilfragen sowie mit einer abschließenden Frage zur Gesamtbewertung (»Alles in allem...«) erfasst (siehe Abb. 3.2-5).

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in einem Reportblatt auf der Basis der Antwort-Skala im Fragebogen (siehe Abb. 3.2-6). Folgende Informationen werden dargestellt (Häufigkeitsverteilungen sind im Original farblich nach dem Ampelprinzip abgebildet):

- Gebäude-Daten sowie eine automatisierte Auswertung der Rücklaufquote,
- der Gebäude-Gesamtindex bzw.- Teilindex (reduzierte Fragebogenversion),
- Mittelwerte der einzelnen Indikatoren sowie die
- Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Werte in drei Kategorien (»sehr unzufrieden«/»unzufrieden«, »teils/teils« und »zufrieden«/»sehr zufrieden«).

F Raumklima an Ihrem Arbeitsplatz

Temperaturverhältnisse

F1 Wie empfinden Sie im Augenblick die Temperatur an Ihrem Arbeitsplatz?

kalt ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ heiß

F2 Wenn Sie wählen könnten, wie wäre Ihnen im Augenblick die Temperatur lieber?

sehr viel kühler ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ sehr viel wärmer

F3 Wenn Sie die Temperatur im Raum ändern wollen, wie tun Sie dies üblicherweise?
(Mehrfachnennungen möglich)

☐ Fenster öffnen ☐ Tür öffnen ☐ Fenster und Tür öffnen
☐ Heizungsventil betätigen ☐ Lüftung / Klimaanlage betätigen ☐ Sonnenschutz betätigen

Kommentar/ Sonstiges

F4 Wie unzufrieden bzw. zufrieden sind Sie bezogen auf die Temperatur ...

mit den technischen Möglichkeiten im Raum, die Temperaturverhältnisse effektiv zu beeinflussen?

sehr unzufrieden ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ sehr zufrieden

Falls Sie mit mehreren Personen in einem Raum arbeiten:

mit der Abstimmung mit Kolleginnen / Kollegen in diesem Punkt?

☐ nein ☐ ja, und zwar

F5 Haben Sie in dieser Jahreszeit über die im Büro üblicherweise vorhandenen Möglichkeiten hinaus schon mal eigene Maßnahmen ergriffen, um die Temperatur zu verändern (z. B. Heizlüfter / Ventilator aufstellen)?

☐ nein ☐ ja, und zwar

F6 Alles in allem, wie unzufrieden bzw. zufrieden sind Sie in dieser Jahreszeit mit der Temperatur an Ihrem Arbeitsplatz?

sehr unzufrieden ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ sehr zufrieden

Abb. 3.2-5: Beispielseite des Fragebogens INKA zur Bewertung des thermischen Komforts

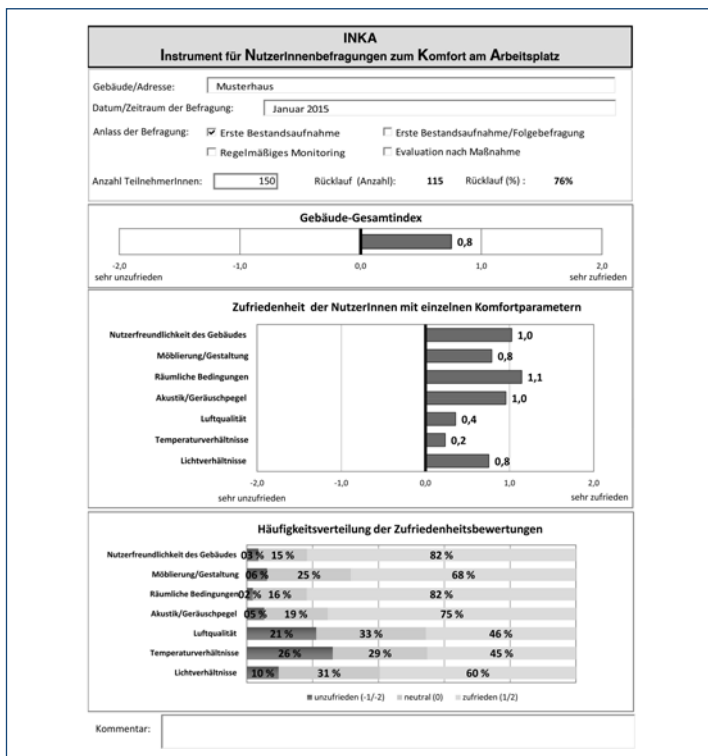


Abb. 3.2-6: INKA – Reportblatt mit Gebäude-Gesamt-Index

Neben einer als Papierversion einsetzbaren Vorlage des Fragebogens wurde für eine in der Breite anwendbare Erhebung von Nutzerbewertungen eine PC- und webbasierte Fassung entwickelt. Die Befragung lässt sich hierdurch kostengünstig und zeitökonomisch durchführen und liefert eine schnell auswertbare Ergebnisdarstellung; die Ergebnisse können direkt in das Reportblatt eingelesen werden. Für eine Online-Befragung mit INKA wird die Verwendung des Internet Explorers empfohlen. Auch bei einer Dateneingabe von Hand in eine Excel-Tabelle können die für eine Ergebniszusammenfassung relevanten Daten in das Reportblatt eingelesen werden. In einem begleitenden Leitfaden werden grundlegende Informationen zur Durchführung von Befragungen gegeben sowie die Datenerhebung und Auswertung der webbasierten Befragung erläutert. Ergänzend sind Referenzwerte auf Basis der Gesamtgebäudestichprobe aufgeführt. Umfangreiche Materialien stehen kostenlos zum Download zur Verfügung unter www.forschungsinitiative.de/forschung/projekte/1008187-1008/.

Eine Modularisierung eines solchen Befragungsinstrumentes ist in Hinblick auf mehrere Aspekte sinnvoll. Als Erstbefragung in dem Gebäude bietet sich eine umfassende Erhebung mit einem Gebäude-Gesamtindex an. Eine reduzierte Befragung mit vier Indikatoren lässt sich für ein regelmäßiges Monitoring der energiebezogenen Komfortbereiche einsetzen. Dies ermöglicht auch den jahreszeitlichen Vergleich von Nutzerbewertungen. Gleichzeitig lässt sich damit auch der zeitliche Umfang für die Beantwortung begrenzen und den aktuellen Arbeitsbelastungen der Nutzer anpassen. Für den Einsatz in der Beratungspraxis und für das BNB-Zertifizierungsverfahren im Zusatzmodul »Nutzen und Betreiben« stehen somit zwei Fragebogenvarianten und zwei verschiedene Indizes zur Verfügung (siehe Abb. 3.2-6).

Das Befragungsinstrument ist geeignet für Fachkräfte der Immobilienwirtschaft, Facility Manager, Arbeitgeber und Architekten bzw. Planer, die an der subjektiven Erfahrung der NutzerInnen mit den Arbeitsplatzbedingungen interessiert sind. Einsatzmöglichkeiten: Der Immobilienwirtschaft steht für die Beratungspraxis und den Gebäudebetrieb (Facility Management) die Bewertung einer großen Anzahl von Gebäuden in relativ kurzer Zeit mit einem praktikablen Bewertungs-Verfahren zur Verfügung.

Das Instrument ist einsetzbar zur direkten Bewertung soziokultureller Aspekte im laufenden Betrieb von Bestandsgebäuden. Es ist kompatibel mit dem Bewer-

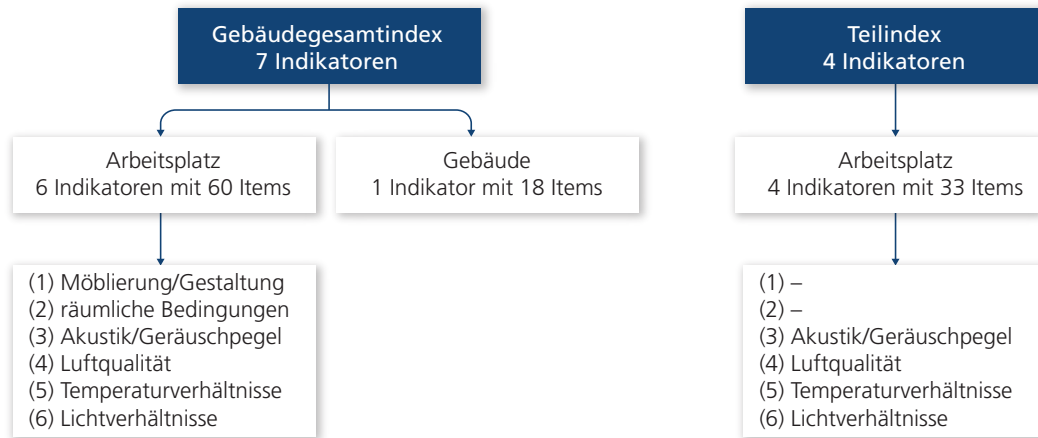


Abb. 3.2-7: Indikatoren bei Gebäude-Gesamtindex und Teilindex

tungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) für Büro- und Verwaltungsgebäude. Eine Grundlage hierfür ist die Überprüfung des prognostizierten Komforts aus der Planungsphase für Neubauten anhand von Nutzerbewertungen im realen Gebäudebetrieb (siehe Abb. 3.2-4). Die direkte Einbindung von Werten aus der Nutzerbefragung in das Punktesystem der Zertifizierung setzt allerdings eine standardisierte Vorgehensweise der Nutzerbefragung voraus. Ein Verfahren auf der Grundlage zweier Indizes (ein Gebäude-Gesamtindex und ein Teilindex) ermöglicht die Transformation der Nutzervoten in Punkte.

Koblenzer Architekturbeurteilungsbogen (KAB)® »Bürogebäude der Zukunft«

Ziel des Fragebogens bzw. Beurteilungsbogens ist es, Empfehlungen für Verbesserungen von Um- und Neubauten benennen zu können. Im Fokus stehen die **Arbeitsleistung**, das Wohlbefinden sowie die Selbstgestaltung und Möglichkeiten der Einflussnahme der Nutzer eines Bürogebäudes.

Wesentliches Element des Beurteilungsbogens ist die Frage, ob ein konkretes Gebäude mit seinen einzelnen Merkmalen den Anforderungen eines »Gebäudes der Zukunft« entspricht. Damit werden Gebäude insbesondere im Hinblick auf innovative, zukunftstaugliche Merkmale untersucht.

Bis zu 21 psychologische Kriterien werden angewandt (siehe Abb. 3.2-8). Sechs Kriterien zur Beurteilung von

Gestaltungen entsprechen bewährten Maßstäben zur Beurteilung von Gebäuden, die Schwerpunktbildungen in der Bauweise von Architekten folgen:

- Funktionale Architektur,
- Architektur, die ästhetisch-gestalterischen Grundlinien entspricht,
- Trend zu sozial-physischer Bauweise,
- ökologische Konzepte,
- Berücksichtigung von organisatorischen Maßstäben,
- Berücksichtigung des gegebenen finanziellen Rahmens.

Das gewählte Antwort-Schema bietet einen Vergleich zwischen Ist- und Wichtigkeitswerten (Bewertung »zur Zeit« und »in Zukunft«) und eignet sich dadurch dazu, innovative Design-Merkmale zu identifizieren (siehe Abb. 3.2-9 und Abb. 3.2-10).

Derzeit gibt es kein gesondertes Material zur Auswertung bzw. Interpretation der Befragungsergebnisse; Orientierung gibt eine Publikation von Walden (2008) zur Architekturpsychologie.

3.2.4 Quellen und weiterführende Literatur

Quellen

BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.) (2013). Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Berlin: BMVBS.

Der Beurteiler (**p**) bewertet seinen Eindruck mit Blick auf die Relevanzebene

- b1 Qualität zur Zeit
- b2 Wichtig in der Zukunft

anhand der Umweltstufen

- a1 Standort/Infrastruktur
- a2 Außengelände
- a3 Eingangsbereich/Zugänge
- a4 Bibliothek/Archiv
- a5 Mensa, Cafeteria, Service
- a6 Schulungs-/Konferenzräume
- a7 Einzelbüros
- a8 Kombibüros
- a9 Lüftung, Heizung, Kühlung, Lärm, Sanitär
- a10 Sicherheit
- a11 Gesamtgebäude

bezüglich der Kriterien

- c1 funktional
- c2 ästhetisch
- c3 sozial-physisch
- c4 ökologisch
- c5 organisatorisch
- c6 ökonomisch/wirtschaftlich

bzw. dem Maß der Umweltkontrolle

- d1 Verschönerungen
- d2 eigene Änderungen zum Gebrauch
- d3 Möglichkeiten zur selbständigen Regulierung
- d4 Möglichkeiten zur Vermeidung von Einbruch
- d5 Möglichkeiten zur verantwortungsbewussten Müllbeseitigung
- d6 Vandalismus
- d7 keine Kontrolle

im Hinblick auf die einzuschätzenden Auswirkungen auf die Arbeitsleistung als

- e1 sehr gut – sehr wichtig
- e2 gut – wichtig
- e3 mittel – egal
- e4 schlecht – unwichtig
- e5 sehr schlecht – sehr unwichtig
- e6 keine Angabe möglich

Außerdem schätzt (**p**) den Gesamteindruck (**e**) zu den einzelnen Umweltstufen jeweils zusammengefasst als (**e**) sehr gut bis sehr schlecht (bzw. sehr wichtig bis sehr unwichtig »in Zukunft«) hinsichtlich der

Relevanzebene

- b1 Qualität der Zeit
- b2 Wichtig in Zukunft

in Bezug auf Reaktionen ein

- f1 Arbeitsleistung
- f2 Wohlbefinden
- f3 Kontroll-, Mitwirkungs- u. Selbstgestaltungsmöglichkeiten

Abb. 3.2-8: Erfassung der Qualität von Bürogebäuden »der Zukunft« (Walden, 2008, S. 311)

BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.) (2011). Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen – Büro und Verwaltung. Berlin: BMVBS.

BRE – Building Research Establishment (Ed.) (2012a). Understanding the BREEAM Scheme Documents. London: BRE Global Ltd.

BRE – Building Research Establishment (Ed.) (2012b). BREEAM In-Use. London: BRE Global Ltd.

Ebert, T., EBig, N. & Hauser, G. (2010). Zertifizierungssysteme für Gebäude (Detail Green Books). München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation.

Lantermann, E.-D. (2008). Umwelten in der Persönlichkeitspsychologie. In E.-D. Lantermann & V. Linneweber, Grundlagen,

Paradigmen und Methoden der Umweltpsychologie (Umweltpsychologie Band 1) (S. 131–164). Göttingen: Hogrefe.

Lützkendorf, T. (2011). Normen als Verständigungsgrundlage und Handlungsanleitung beim Nachhaltigen Bauen. In: Bauer et al. (Hrsg.), Nachhaltiges Bauen – Zukunftsfähige Konzepte für Planer und Entscheider. Berlin: Beuth.

Preiser, W. F. E. & Schramm, U. (2005). A conceptual framework for building performance evaluation. In W. F. Preiser & J. C. Vischer (Eds.) (2005). Assessing Building Performance. Oxford: Elsevier.

Schakib-Ekbatan, K., Wagner, A. & Lützkendorf, T. (2011). Bewertung von Aspekten der soziokulturellen Nachhaltigkeit im laufenden Gebäudebetrieb auf Basis von Nutzerbefragungen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Kombi- und Gruppenbüros (mehr als 2 Personen)	So schätze ich die Wirkung auf die Arbeitsleistung ein:											
	Zur Zeit						In Zukunft					
	+2	+1	+0 –	–1	–2	k. A.	+2	+1	+0 –	–1	–2	k. A.
146. Orientierung (Beschilderung)												
147. Fläche des Arbeitsplatzes												
148. Gestaltung												
149. Sauberkeit												
150. Farbgestaltung der Räume												
151. künstliche Beleuchtung												
152. natürlicher Lichteinfall												
153. individuelle Regulierbarkeit des Lichts (Beschattung)												
154. Fenster, Ausblick, Aussicht												
155. Temperatur												
156. Belüftung												
157. Größe (Gefühl der Beengtheit)												
158. Layout des Büros (Anlage/Anordnung des Büros)												
159. Lage gemeinsam genutzter Einrichtungen (z.B. Fax, Kopierer)												

Abb. 3.2-9: Ausschnitt des Fragebogens zur Beurteilung der Wirkung der räumlichen Umgebung auf die Arbeitsleistung

Kombi- und Gruppenbüros (mehr als 2 Personen)	So schätze ich die Wirkung auf die Arbeitsleistung ein:											
	Zur Zeit						In Zukunft					
	+2	+1	+0 –	–1	–2	k. A.	+2	+1	+0 –	–1	–2	k. A.
Wie ist der von Ihnen gewonnene Gesamteindruck über alle Aspekte der Kombi- und Gruppenbüros auf...												
184. die Arbeitsleistung?												
185. das Wohlbefinden?												
186. die Kontroll-, Mitwirkungs-, Selbstgestaltungsmöglichkeiten												

Abb. 3.2-10: Ausschnitt des Fragebogens zum Gesamteindruck

Wagner, A. & Schakib-Ekbatan, K. (2011). Nutzerzufriedenheit als Maß zur Arbeitsplatzbewertung im Büro. In C. Schittich (Hrsg.), Arbeitswelten: Raumkonzepte, Mobilität, Kommunikation (Im DETAIL) (S. 54–57). München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation.

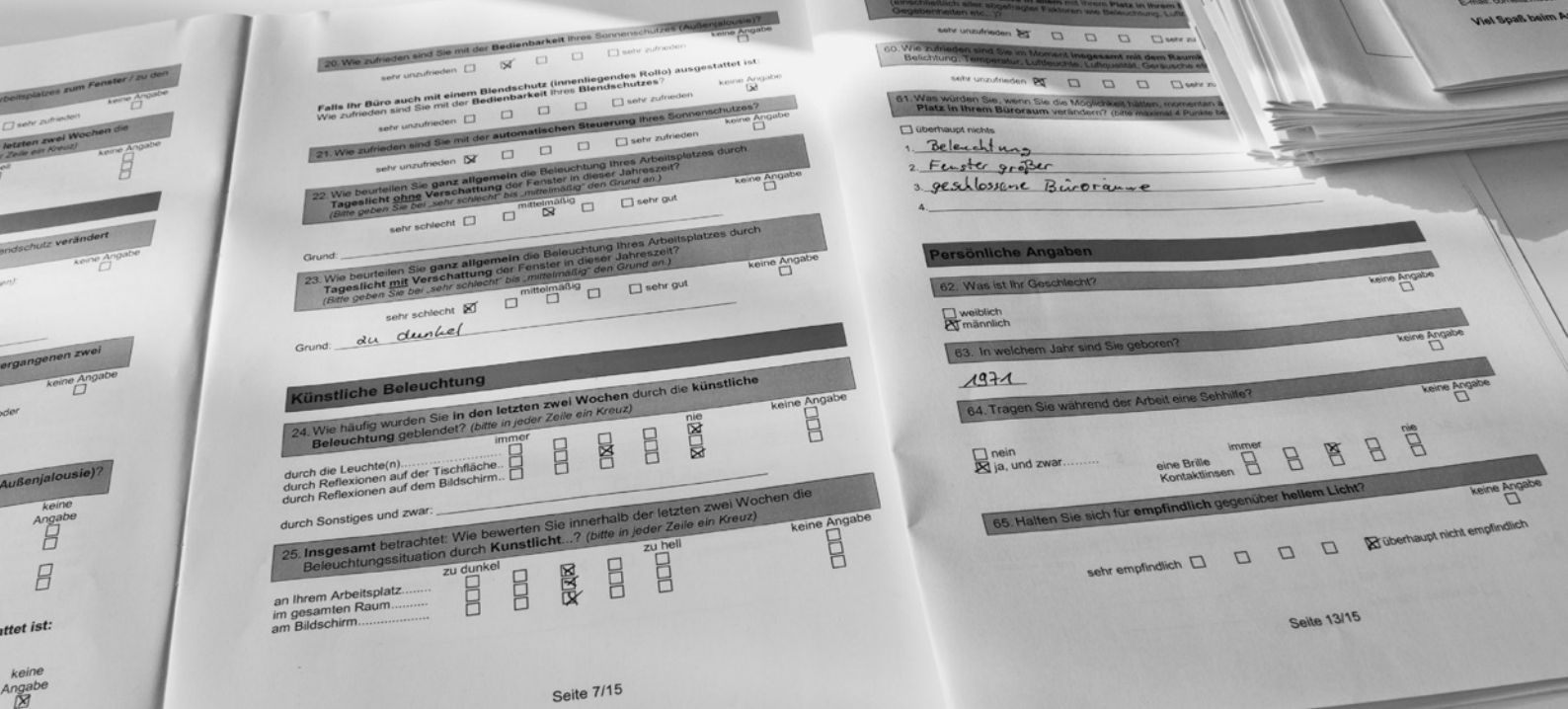
Vogt, K. (1999). Verzerrungen in elektronischen Befragungen? In B. Batinic, A. Werner, L. Gräf & W. Bandilla (Hrsg.), Online Research (S. 127–143). Göttingen: Hogrefe.

Walden, R. (2008). Architekturpsychologie: Schule, Hochschule und Bürogebäude der Zukunft. Lengerich: Pabst Science Publishers.

Weiterführende Literatur

Meins, E., Lützkendorf, T., Lorenz, D., Leopoldsberger, G., Frank, S., Stoy, C. & Bienert, S. (2011). Nachhaltigkeit und Wertermittlung von Immobilien – Leitfaden für Deutschland, Österreich und die Schweiz (NUWEL) (Der Nachhaltigkeit von Immobilien einen finanziellen Wert geben). CCRS, Center for Corporate Responsibility and Sustainability an der Universität Zürich (Hrsg.) Zürich: CCRS.

Zimmermann, J. & Schaule, M. (2011). Untersuchung des Einflusses von Merkmalen der Nachhaltigkeit auf den Verkehrswert von Immobilien. Forschungsbericht (Schriftenreihe des Lehrstuhls für Bauprozessmanagement und Immobilienentwicklung, Bd. 26). Technische Universität München (TUM) (Hrsg.). München: TU München.



3.3 Praxisbeispiele für Nutzerzufriedenheitsanalysen

Karin Schakib-Ekbatan, Cornelia Moosmann

Welche Erkenntnisse durch Nutzerbefragungen gewonnen werden können, zeigen nachfolgende Beispiele aus Gebäuden, in denen die Nutzerakzeptanz im Rahmen wissenschaftlicher Studien des Fachgebietes Bauphysik & Technischer Ausbau (fbta), Karlsruher Institut für Technologie, im Zeitraum 2004 bis 2011 ermittelt wurde. Die Ergebnisse spiegeln daher nicht zwingend die aktuelle Situation in den Gebäuden wider; teilweise sind inzwischen Optimierungen vorgenommen worden. Wir bedanken uns ausdrücklich für die Genehmigungen zur Darstellung der Ergebnisse.

Die Erhebungen verfolgten unterschiedliche Ziele, daher unterscheiden sich auch der Umfang der Fragebögen und die Anzahl der Befragten. Im Fokus standen nicht spezifische Fragestellungen zu den einzelnen Gebäuden, vielmehr ging es darum, übergeordnete Erkenntnisse über Einflussfaktoren der Nutzerzufriedenheit oder zu einzelnen Komfortaspekten zu gewinnen. Die Ergebnisse zeigen dennoch, welche Informationen gewonnen werden können, wenn Verfahren systematisch im

Rahmen des Qualitätsmanagements oder im Rahmen von Zertifizierungsverfahren eingesetzt werden.

Nutzerbefragungen liefern nicht immer eine stichhaltige Erklärung für vorhandene Probleme. Ortsbegehungen und Messungen in den dargestellten Gebäuden lieferten ergänzende Informationen, die in die Analysen und Ergebnisse mit eingeflossen sind.

Auch die Betrachtung von Mittelwerten allein ist nicht immer ausreichend, um die wahrgenommene Umgebungsqualität in einem Gebäude zu beschreiben und die Bereiche zu identifizieren, die optimierungsbedürftig sind.

Um die Ergebnisse der Beispielgebäude besser einordnen zu können, sind in Abbildung 3.3-1 Durchschnittswerte aus 45 Gebäuden und 4 336 Fragebögen der aktuellen Datenbasis des fbta als Referenzwert angegeben. Mit Ausnahme der Bewertung des thermischen Komforts im Sommer liegen alle Mittelwerte im positiven Bereich. Die vergleichsweise niedrigen Werte der Zufriedenheit mit der Temperatur im Sommer und der

Luftqualität verdeutlichen, dass diese Komfortaspekte in dieser Stichprobe die kritischen Bereiche sind. Aufgrund der unterschiedlichen Präferenz der Nutzer bei den Komfortaspekten und der aus vielen Befragungen bekannten Zurückhaltung der Befragten, Extremwerte (z. B. »sehr zufrieden«) anzukreuzen, werden auch in »guten« Gebäuden nicht unbedingt sehr hohe Werte erzielt. Eine durchschnittliche Zufriedenheit im Bereich »eher zufrieden« kann als positives Urteil interpretiert werden. Dennoch sollte auch bei einem solchen Mittelwert untersucht werden, ob einzelne Nutzergruppen weniger zufrieden sind als andere, wie in Kapitel 3.1 und am Beispiel 5 ausgeführt.

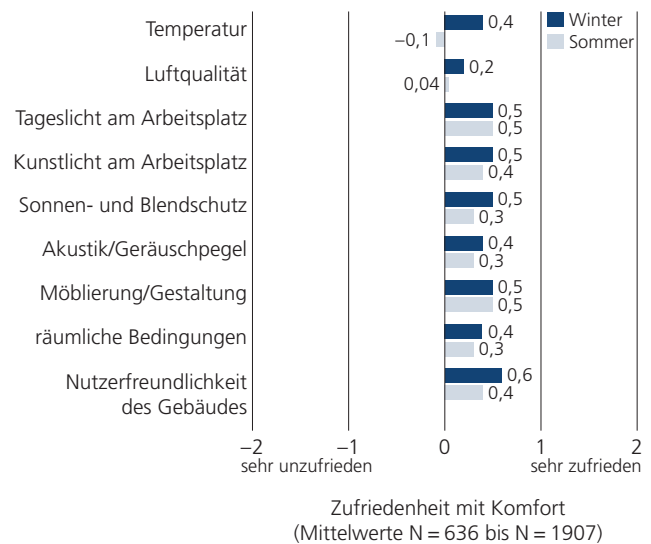


Abb. 3.3-1: Mittelwerte der Komfortbewertungen in 45 Gebäuden im jahreszeitlichen Vergleich

Gebäude aus der Stichprobe



Abb. 3.3-2: Die Nutzerbefragungen wurden in ganz unterschiedlichen Gebäuden durchgeführt.

3.3.1 Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg



Abb. 3.3-3: Kopfbau des Instituts mit Haupteingang. Die Unterschung fand in den Seitenflügeln statt.

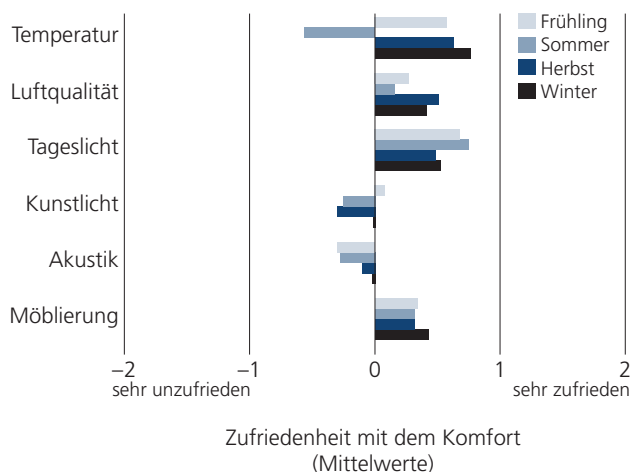


Abb. 3.3-4: Mittelwerte der Komfortbewertung im jahreszeitlichen Vergleich

Wesentliche Ergebnisse

Die Bewertungen der verschiedenen Komfortaspekte liegen überwiegend im positiven Bereich.

Temperatur: Die Zufriedenheit mit dem thermischen Raumklima unterscheidet sich sehr deutlich je nach Jahreszeit. Im Sommer sind die Nutzer mit der Temperatur an ihrem Arbeitsplatz eher unzufrieden, während sie in den übrigen Jahreszeiten eher zufrieden sind.

Projektdaten

- Forschungsinstitut mit Büro- und Laborflächen
- Baujahr: 2001
- 13 150 m² NGF_{beheizt}
- 300 Arbeitsplätze
- Besondere Merkmale:
 - passive Kühlung mit Nachtlüftung
 - tageslichtoptimierte Fassadengestaltung

Methodik und Stichprobe

- Teilerhebungen zu Komfortbedingungen in 15 ausgewählten Räumen im Zeitraum 2007/2008 in allen vier Jahreszeiten
- Befragung mittels persönlich verteilter Fragebögen
- Messungen der Licht- und Raumklimabedingungen während 2 Wochen in jeder Jahreszeit
- durchschnittliche Anzahl Arbeitsplätze pro Raum: 4,5 (2 bis 6 Arbeitsplätze)
- Stichprobengröße N=39 bis 43, Rücklaufquote: über 90 %

Die Messperiode und Befragung »Sommer« fiel in einen Zeitraum mit sehr hohen Außentemperaturen, wobei die Innentemperaturen überwiegend im Komfortbereich nach DIN EN 15251 lagen. Im Sommer würde der zu erwartende Anteil unzufriedener Nutzer laut DIN EN 15251 bei ca. 7 % liegen, während tatsächlich 62 % der Nutzer unzufrieden waren.

Diese Diskrepanz könnte darin begründet sein, dass fast alle befragten Nutzer in diesem Gebäude nicht nur in

den ungekühlten Büroräumen, sondern auch in den klimatisierten Laborräumen arbeiten. Der Wechsel zwischen klimatisierten Laborräumen und nicht klimatisierten Büroräumen kann die Bewertung der Temperatur beeinflussen.

Eine Verbesserung des thermischen Komforts im Sommer könnte durch eine – dem Gebäudekonzept entsprechende – intensivere Nutzung des außenliegenden Sonnenschutzes erreicht werden. Dieser war in den untersuchten südorientierten Räumen im Sommer zu 68 % der Arbeitszeit (fast) vollständig offen und nur zu 19 % der Arbeitszeit weitgehend geschlossen.

Tageslicht: Die Tageslichtversorgung der Arbeitsplätze wird in allen Jahreszeiten positiv bewertet. Die Fensterflächenanteile der untersuchten Räume liegen zwischen 40 % und 60 % bezogen auf die Nettofassadenfläche, der außenliegende Sonnenschutz (Jalousien) kann manuell gesteuert werden.

Kunstlicht: Die Zufriedenheit der Nutzer mit dem Kunstlicht ist in allen Jahreszeiten gering. 28 % der Fragebögen enthalten Kommentare zum Kunstlicht, die Nutzer geben dabei übereinstimmend an, dass sie das Kunstlicht als nicht ausreichend hell empfinden. Die Büroräume sind mit einer rein indirekt strahlenden Stehleuchte ausgestattet, die eine Grundbeleuchtung von 75 lx im Raum sicherstellt (Verkehrssicherheit). Die Beleuchtung des Arbeitsplatzes mit 500 lx erfolgt mittels direktstrahlender Schreibtischleuchten.

Die schlechtere Bewertung des Kunstlichtes im Sommer und Herbst könnte dadurch begründet sein, dass bei großer Außenhelligkeit besonders stark auffällt, dass die künstliche Beleuchtung eher knapp ausgelegt ist und innerhalb des Raumes stark variiert.

Weitere Informationen zum Projekt:

www.enob.info/de/neubau/projekt/details/neubau-fraunhofer-institut-ise/

3.3.2 Technische Betriebe Remscheid (ehemals Remscheider Entsorgungsbetriebe)



Abb. 3.3-5: Gebäude der Technischen Betriebe Remscheid nach der Sanierung

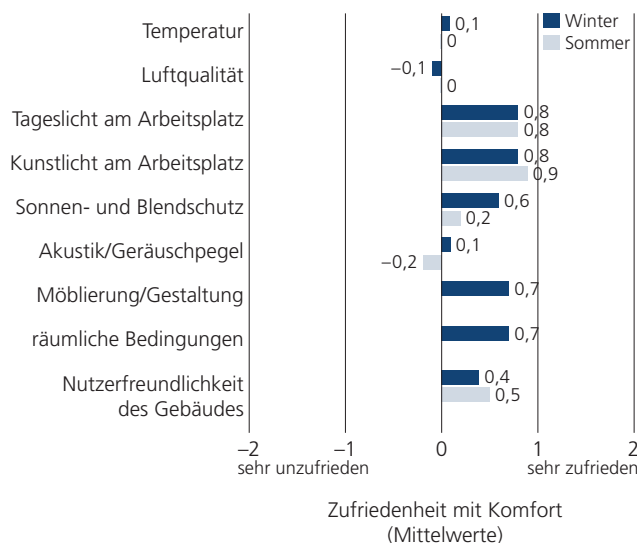


Abb. 3.3-6: Mittelwerte der Komfortbewertung im jahreszeitlichen Vergleich

Wesentliche Ergebnisse

Mit wenigen Ausnahmen lagen die Bewertungen der verschiedenen Komfortaspekte zu beiden Jahreszeiten im positiven Bereich und über den Durchschnittswerten der Gesamtstichprobe. Insbesondere mit den Lichtverhältnissen, den räumlichen Bedingungen und der Möblierung/Gestaltung der Büros zeigten sich die Nutzer zufrieden.

Projektdaten

- Verwaltungsgebäude mit Betriebshof aus den 1960er Jahren
- Sanierung mit deutlicher Verbesserung des energetischen Standards
- Bezug: 2007
- 2 544 m² NGF_{beheizt}
- 50 Arbeitsplätze
- Besondere Merkmale:
 - passive Kühlung mit Nachtlüftung
 - PCM-Decken
 - optimierte Tageslichtnutzung über speziell geformte, lichtlenkende Lamellenjalousien

Methodik und Stichprobe

- Erhebungen zu Komfortbedingungen im Winter und Sommer 2008
- Befragungen mittels persönlich verteilter Fragebögen
- exemplarische Messungen von Raumlufttemperatur und Luftfeuchte an ausgewählten Arbeitsplätzen am Tag der Befragung
- durchschnittliche Anzahl Arbeitsplätze pro Raum: 1,5 (1 bis 3 Arbeitsplätze)
- Stichprobengröße: N = 42, Rücklaufquote 89 %

Luftqualität: Die Nutzer empfanden die Innenraumluft im Winter als zu trocken. Dies wurde durch Messergebnisse bestätigt, die zeigten, dass die relative Luftfeuchte in den Büros häufig unter 30 % lag. Die Luftwechselrate wurde daraufhin reduziert. Im Sommer fühlten sich die Nutzer durch Gerüche von außen belastigt.

Lichtverhältnisse: Die Tages- und Kunstlichtverhältnisse wurden besonders positiv bewertet. Allein der fehlende Sonnen-/Blendschutzes auf der Nordseite wurde

bemängelt. Je nach Bürogröße und Sonneneinstrahlung traten dort aufgrund von Material und Farbwahl der Möbel (sehr helle und glänzende Oberfläche, weiße Wände) störende Lichtreflexe auf. Die lichtdurchfluteten Flure durch transparente Elemente zu den Büros gefielen den Nutzern grundsätzlich, von einigen Nutzern wurde jedoch auch der Wunsch nach mehr visueller Privatheit geäußert.

Akustik/Geräuschpegel: Die Bewertungen lagen im Winter knapp im positiven Bereich, im Sommer werteten die Nutzer knapp negativ. Hauptursachen waren Lärm-belästigung von außen (Straßennähe und Fuhrpark) und Telefonklingeln/Gespräche aus anderen Räumen, die durch die Zwischenwände zu hören sind.

Frank Ackermann (Zentrale Dienste): *»Eine Nutzerbefragung nach einer erfolgten Sanierung macht vielleicht etwas Mühe, ist aber in jedem Falle zu empfehlen. Durch die Neutralität der abfragenden Stelle erhalten die Antworten eine größere Qualität. Entscheidend für den Ausgang der Umfrage ist sicher auch der Zustand der bisherigen Büroräume der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die vor einer Zusammenlegung von zwei Betriebsstandorten äußerst unterschiedliche Qualitäten vorfanden. Die hier überwiegend positive Resonanz der Umfrage hat auch etwas damit zu tun, dass in der Planungsphase überdurchschnittlich viel Zeit von allen am Projekt Beteiligten verwandt wurde, innovative Lösungen für Räumlichkeiten mit einer hohen Aufenthaltsqualität zu schaffen.«*

Weitere Informationen zum Projekt:
www.enob.info/de/sanierung/projekt/details/entsorgung-im-neuen-gewand/



Abb. 3.3-7: Gebäude der Technischen Betriebe Remscheid vor der Sanierung



Abb. 3.3-8: Büroarbeitsplatz



Abb. 3.3-9: Bilder gegen Reflexionen und Monotonie der weißen Büromöbel



Abb. 3.3-10: Pflanzen an den Glaselementen zum Flur verdeutlichen den Wunsch nach mehr Privatheit

3.3.3 Stadtwerke Unna



Abb. 3.3-11: Verwaltungsgebäude der Stadtwerke Unna mit Glasrotunde

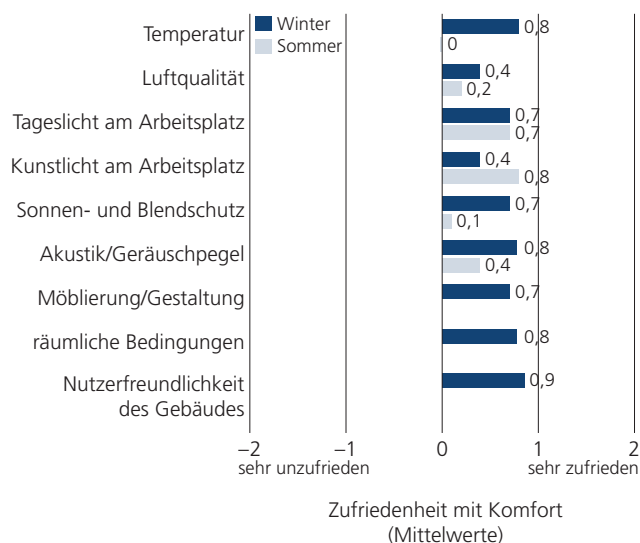


Abb. 3.3-12: Mittelwerte der Komfortbewertung im jahreszeitlichen Vergleich

Wesentliche Ergebnisse

Insgesamt zeigten sich die Bewertungen der verschiedenen Komfortaspekte zu beiden Jahreszeiten sehr positiv und lagen fast durchgängig über den Durchschnittswerten der Gesamtstichprobe. Vor allem mit den Lichtverhältnissen (außer dem Sonnen- und Blendschutz), den

Projektdaten

- Verwaltungsgebäude
- Baujahr: 2007
- 4000 m² NGF_{beheizt} (Schätzung aus dem Monitoring)
- 90 Arbeitsplätze
- Merkmale:
 - Stahlbetonskelettbau mit Wärmedämmverbundsystem
 - Wärmeschutzverglasung
 - Fensterlüftung
 - Außenliegende Jalousien an stark besonnten Fassaden, sonst innenliegender Blendschutz.

Methodik und Stichprobe

- Erhebungen zu Komfortbedingungen im Winter und Sommer 2008
- Befragungen mittels persönlich verteilter Fragebogen
- exemplarische Messungen von Raumlufttemperatur und Luftfeuchte an ausgewählten Arbeitsplätzen am Tag der Befragung
- durchschnittliche Anzahl Arbeitsplätze pro Raum: 2,2 (1 bis 11 Arbeitsplätze)
- Stichprobengröße: N=79, Rücklaufquote 91 %

räumlichen Bedingungen, der Möblierung/Gestaltung der Büros und der Nutzerfreundlichkeit insgesamt zeigten sich die Nutzer zufrieden.

Temperatur: Während die Nutzer mit den Raumlufttemperaturen im Winter zufrieden waren, zeigte sich im Sommer eher Unzufriedenheit aufgrund zu hoher Raumlufttemperaturen – vor allem in den Räumen auf der

Südseite und in den Büros, die an die Glasrotunde angrenzen. Dies könnte in dieser Jahreszeit in Zusammenhang mit dem als nicht ausreichend empfundenen Sonnen- und Blendschutz stehen. Vor allem in den Büros an der Rotunde werden mobile Kleinventilatoren und Kleinclimageräte eingesetzt.

Partizipative Planung: Bereits in der Planungsphase waren die zukünftigen Nutzer durch eine Vielzahl von AGs intensiv eingebunden. Auch nach dem Bezug wurde auf Nutzerbedürfnisse eingegangen, z. B. bei der räumlichen Gestaltung und Möblierung.



Abb. 3.3-13: Büroraum an der Glasrotunde



Abb. 3.3-14: Vorraum in der Glasrotunde



Abb. 3.3-15: Ventilatoren und Klimagerät in einem Büro an der Glasrotunde, um die Raumlufttemperatur im Sommer beeinflussen zu können

3.3.4 Umweltbundesamt, Standort Dessau



Abb. 3.3-16: Außenansicht des Umweltbundesamtes. (Blick in den Atriumbereich siehe Kapitelauftritt 3.1)

Projektdaten

- Verwaltungsgebäude
- Baujahr: 2005
- 22 610 m² NGF_{beheizt}
- 800 Arbeitsplätze
- Besondere Merkmale:
 - Atriumbau
 - Optimierte Tageslichtnutzung
 - präsenz- und tageslichtabhängig geregelte Beleuchtung
 - regenerative passive Kühlung über einen Erdwärmetauscher
 - freie Nachtlüftung
 - Zertifizierung in Gold (DGNB)

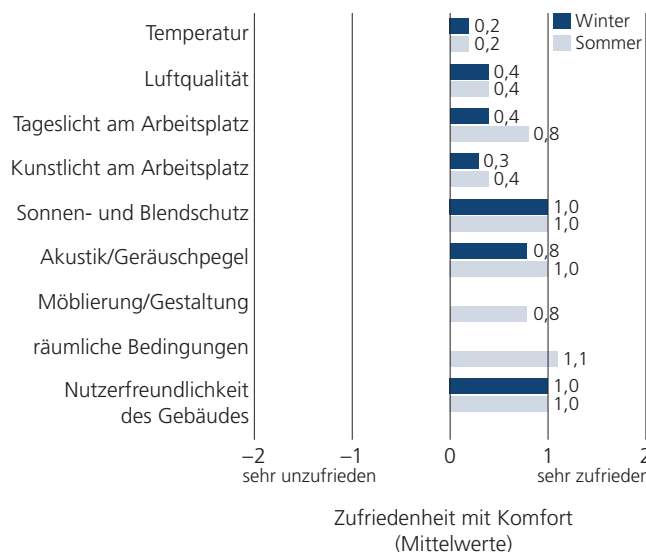


Abb. 3.3-17: Mittelwerte der Komfortbewertung im jahreszeitlichen Vergleich (räumliche Bedingungen und Möblierung/Gestaltung nur bei der ersten Befragung erfasst)

Methodik und Stichprobe

- Teilerhebungen zu Komfortbedingungen im Sommer 2008 und Winter 2009
- Befragungen mittels persönlich verteilter Fragebogen
- exemplarische Messungen von Raumlufttemperatur und Luftfeuchte an ausgewählten Arbeitsplätzen am Tag der Befragung
- durchschnittliche Anzahl Arbeitsplätze pro Raum: 1,1 (1 bis 5 Arbeitsplätze)
- Stichprobengröße: N = 115 im Sommer und N = 113 im Winter, Rücklaufquote 76 % und 62 %

Wesentliche Ergebnisse

Insgesamt zeigen sich die Bewertungen der verschiedenen Komfortaspekte zu beiden Jahreszeiten sehr positiv und lagen fast durchgängig über den Durchschnittswerten der Gesamtstichprobe. Vor allem mit dem Tageslicht

im Büro, dem Sonnenschutz, dem akustischen Komfort, den Lichtverhältnissen, der Möblierung/Gestaltung der Büros (u. a. sind die Schreibtische bis in Stehpultposition stufenlos verstellbar), den räumlichen Bedingungen und der Nutzerfreundlichkeit insgesamt zeigten sich die Nutzer zufrieden.

Temperatur: Trotz der im positiven Bereich liegenden Bewertungen für Raumlufttemperatur und Luftqualität scheint es im Vergleich zu anderen Komfortbereichen schwierig zu sein, hier hohe Zufriedenheitswerte zu erzielen. Die im Winter vergleichsweise geringe Zufriedenheit lässt sich möglicherweise darauf zurückführen, dass die Innentemperaturen über die Weihnachtszeit stark abgesenkt wurden, um Energie zu sparen. Die gemäß Arbeitsschutz erforderlichen 20°C wurden dabei aber nicht unterschritten. Nach der Weihnachtspause benötigte das ausgekühlte Gebäude mehrere Tage, bis die Innentemperatur bei extrem niedrigen Außentemperaturen den Nutzerwünschen entsprach. Die Befragung erfolgte im Februar, wenige Wochen nach der ungewollt starken Temperaturabsenkung. In den darauffolgenden Betriebsjahren wurde die Steuerung der Heizungsanlage angepasst.

Kunstlicht: Das Beleuchtungskonzept sah ursprünglich keine Lichtschalter in den Büros vor. Die Steuerung erfolgte ausschließlich über Präsenzmelder und Tageslichtsensoren. Da die Nutzer dezidiert mehr Kontrolle über das Kunstlicht wünschten, wurden die Büros mit Fernbedienungen zur Steuerung des Kunstlichtes nachgerüstet.

Unterschiede in der Bewertung aufgrund der Merkmale Bürolage (Geschoss und Lage am Atrium): Im Sommer erwies sich vor allem als relevant, in welchem Geschoss das Büro lag: Personen im zweiten und dritten Geschoss auf der Südostseite äußerten eher Probleme mit der Raumtemperatur durch zu große Wärme und bemängelten die Luftqualität. Die Luftqualität wurde vor allem in den Atrien-Büros als weniger angenehm bewertet («schwül», «unangenehmer Geruch»). Bei gemäßigten Außentemperaturen erfolgt das Lüften dieser Räume über das Atrium, wo sich Pflanzen und Wasserbecken befinden. Auch mit dem Ausblick auf die gegenüberliegenden Büros sind die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in den Atrienbüros eher unzufrieden.

Weitere Erkenntnisse im Rahmen der Befragung: Es bestand starker Informationsbedarf zum Gebäudekonzept. Mit intensiven Schulungen zur manuellen Bedienung der außen liegenden Jalousien konnte das Raumklima sukzessive verbessert werden. Zusätzlich entwickelte das Facility Management eine Möglichkeit, den Betriebszustand der Lüftungsanlage mit Erdreichwärmetauscher an den Bürotüren zu visualisieren. Bei hohen Temperaturen im Sommer und bei niedrigen Außentemperaturen im Winter ist die Lüftungsanlage eingeschaltet, bei middle-



Abb. 3.3-18: Blick auf reflektierenden Sonnen-/Blendschutz der gegenüberliegenden Büros im Atrium

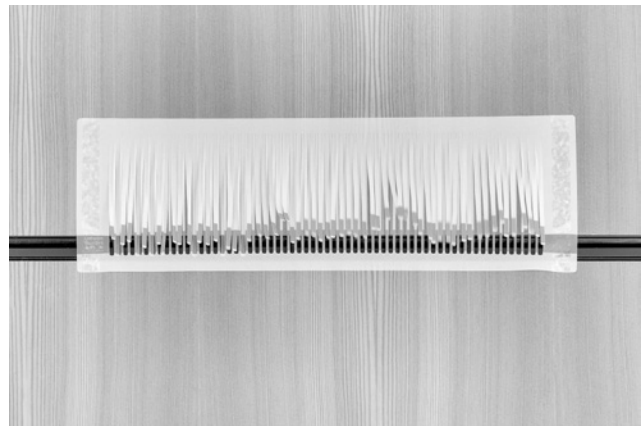


Abb. 3.3-19: Visualisierung des Betriebszustandes der Lüftungsanlage

ren Außentemperaturen jedoch nicht. In diesem Zeitraum lüften die MitarbeiterInnen über ihre Bürofenster. Frau Schindler (Liegenschaftsbewirtschaftung): *»Als verantwortliche Arbeitseinheit für den Gebäudebetrieb wollen wir eine möglichst hohe Nutzerzufriedenheit erreichen, um so die Voraussetzungen für ein optimales Arbeiten zu schaffen. Insbesondere aufgrund der Größe des Gebäudes ist es für uns wichtig, über Nutzerbefragungen die verschiedenen Stärken und Schwächen des Gebäudes zu identifizieren und daraus Optimierungsmaßnahmen zu entwickeln.«*

Weitere Informationen zum Projekt
www.enob.info/de/neubau/projekt/details/neubau-umweltbundesamt-dessau/

3.3.5 Dienstleistungs- und Verwaltungszentrum Barnim (Paul-Wunderlich-Haus), Eberswalde



Abb. 3.3-20: Vorplatz des Gebäudeensembles mit Skulpturen von Paul Wunderlich

Projektdaten

- Verwaltungsgebäude
- Baujahr: 2007
- 17 131m² NGF_{beheizt}
- ~ 500 Arbeitsplätze
- Besondere Merkmale:
 - optimierte Tageslichtnutzung
 - optimierte Beleuchtung
 - mechanische Lüftung mit WRG
 - regenerative und passive Kühlung
 - thermisch aktivierte Bauteilsysteme
 - Zertifizierung in Gold für Neubau (DGNB)
 - Zertifizierung in Gold für Bestandsgebäude (DGNB)
 - Auszeichnung als »Vorbildlicher Betreiber« in der Pilotanwendung des Zusatzmoduls »Nutzung + Bewirtschaftung« des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen des Bundes (BNB N + B)

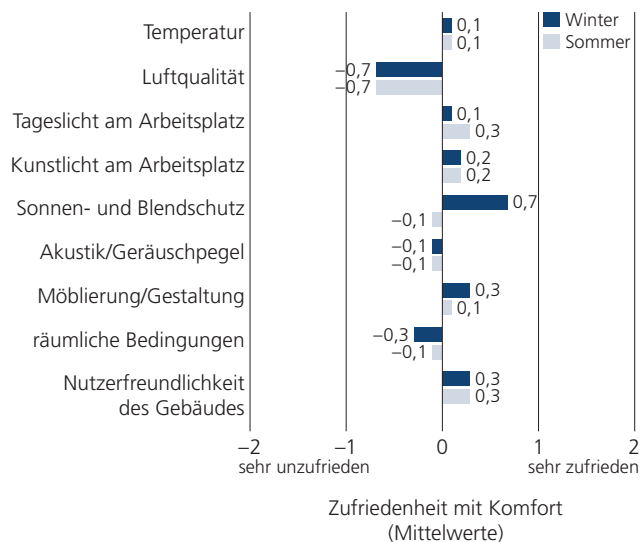


Abb. 3.3-21: Mittelwerte der Komfortbewertung im jahreszeitlichen Vergleich

Methodik und Stichprobe

- Erhebungen zu Komfortbedingungen im Sommer 2010 und Winter 2011
- Online-Befragungen
- durchschnittliche Anzahl Arbeitsplätze pro Raum: 6,3 (1 bis 36 Arbeitsplätze)
- Stichprobengröße: N=232 im Sommer und N=165 im Winter, Rücklaufquote 32 % und 46 %

Wesentliche Ergebnisse

Insgesamt zeigten sich sehr unterschiedliche Bewertungen zu den verschiedenen Komfortaspekten zu beiden Jahreszeiten. Zufrieden waren die Nutzer mit dem Sonnen- und Blendschutz.

Räumliche Bedingungen: Die Hauptproblematik in diesem Gebäude lag vor allem im Raumkonzept, was auf die Bewertung aller Komfortbereiche durchschlug. Eine Betrachtung der Ergebnisse im Detail zeigt das Optimierungspotenzial in den Großraumbüros sehr eindeutig (siehe Abb. 3.3-22). Vor allem mit dem Aspekt »Privatheit/Schutz vor den Blicken Anderer« zeigten sich die Befragten tendenziell unzufrieden, ebenso mit der Möblierung/Gestaltung. Auch die Bewertungen zu Akustik/Geräuschpegel klappten je nach Büroform drastisch auseinander: Vor allem Telefonklingeln und Gespräche aus anderen Räumen bzw. innerhalb der Mehrpersonenbüros wurden als störend empfunden. Zur Problemlösung erfolgte ein Umbau der Großraumbüros zu kleineren Einheiten (siehe Abb. 3.3-23 bis 3.3-27).

Temperatur: Bei der Raumlufttemperatur wurde ebenfalls ein Unterschied in der Zufriedenheit zwischen den Büroformen deutlich. Die Nutzer bemängelten Zugluft in den Großraumbüros.

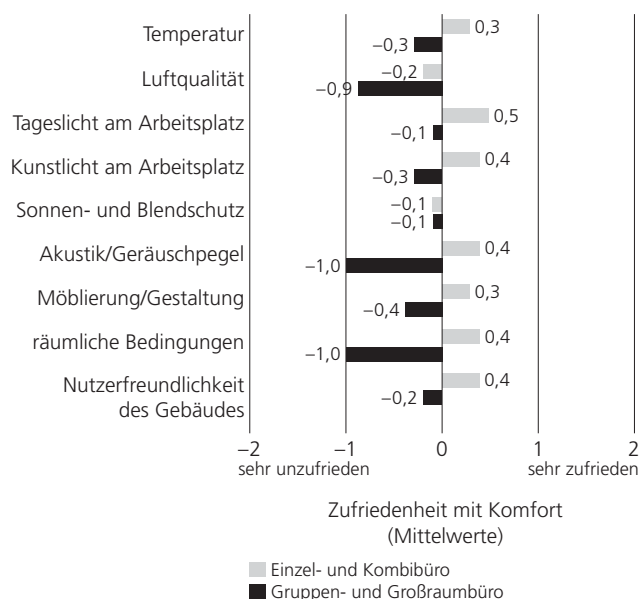


Abb. 3.3-22: Bewertung des Komforts in Abhängigkeit von der Büroform (Einzel- und Kombibüro bis 4 Personen, N = 163; Gruppen- und Großraumbüro 5 bis 36 Personen, N = 69)



Abb. 3.3-23: Die heruntergelassene Jalousie verdeutlicht den Wunsch nach mehr Privatsphäre

Luftqualität: Die Nutzer monierten die geringe Luftfeuchte im Winter. Die Unzufriedenheit mit der Luftqualität zeigte sich raumkonzeptunabhängig. Nach einer Erhöhung der Luftfeuchte zeigten sich bei einer erneuten Befragung bessere Bewertungen. Auch gesundheitliche Beschwerden, wie trockene Augen oder trockene Nase, wurden in geringerem Maße berichtet.

In Ergänzung des Nutzerhandbuches wurden Materialien zur Verbesserung der Nutzerinformation bezüglich Heizen, Kühlen und Lüften erstellt, die den Informationsstand deutlich verbessern konnten.

Herr Wree (Facility Management): »Die Befragungsergebnisse ließen Rückschlüsse auf individuelle Empfindungen und Ansprüche zu. Auf Anregungen und Kritik konnte gezielt reagiert werden: So wurden Bürostrukturen baulich angepasst oder Befeuchtungsanlagen zur Verbesserung der Luftqualität installiert. Eingeleitete Maßnahmen führten maßgeblich zur Steigerung des Wohlbefindens der Beschäftigten und zu mehr Zufriedenheit am Arbeitsplatz.

Für die konstruktive und intensive Begleitung während der Nutzerbefragung und deren dezidierte Auswertung sind wir dankbar; sie waren für die qualitative Entwicklung des Paul-Wunderlich-Hauses von hohem Wert.«

Weitere Informationen zum Projekt
www.enob.info/de/neubau/projekt/details/dienstleistungs-und-verwaltungszentrum-barnim/



Abb. 3.3-24: vorher: Großraumbüros



Abb. 3.3-25: vorher: Großraumbüros



Abb. 3.3-26: nachher: Umbau zu kleineren Büroeinheiten



Abb. 3.3-27: nachher: Umbau zu kleineren Büroeinheiten



4 Anhang

4.1	Glossar	203
4.2	Verordnungen, Normen, Richtlinien	211
4.3	Abbildungsverzeichnis	215
4.4	Autorenverzeichnis	217

4.1 Glossar

Adaptation

Adaptation bezeichnet im Kontext dieses Buches Anpassungsprozesse des Menschen an seine Umgebung. Zu den adaptiven Prozessen in Bezug zur thermischen Behaglichkeit gehören physiologische Anpassungen, psychologische Anpassungen und Verhaltensänderungen (s. auch Kapitel 2.1.2)

Aerosol

Ein Aerosol ist ein Gemisch aus festen oder flüssigen Schwebeteilchen und einem Gas. Das Verhalten eines Aerosols hängt immer von den Aerosolpartikeln und dem Trägergas ab; es ist ein dynamisches System und unterliegt ständigen Änderungen durch Kondensation von Dämpfen an bereits vorhandenen Partikeln, Verdampfen flüssiger Bestandteile der Partikel, Koagulation kleiner Teilchen zu großen oder Abscheidung von Teilchen an umgebenden Gegenständen.

(nach Wikipedia, zuletzt aufgerufen am 20.07.2014 unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Aerosol>)

Akkommodationsbreite

Abstand zwischen dem am geringsten und am weitesten vom Auge entfernten scharf fokussierbaren Punkt, ausgedrückt in Dioptrien (Dioptrie: Kehrwert der Entfernung des scharf eingestellten Punkts in Metern)

auditiv

den Gehörsinn betreffend

(nach Duden, zuletzt aufgerufen am 20.07.2014 unter www.duden.de/rechtschreibung/auditiv)

Beleuchtungsstärke-Skala

DIN EN 12464-1:2011-08 gibt folgende Beleuchtungsstärke-Skala an, deren Stufen wahrnehmbare Unterschiede aufweisen:

20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1000 – 1500 – 2000 – 3000 – 5000

Erhöhung der Beleuchtungsstärke um eine Stufe bedeutet z. B. Erhöhung von 500 lx auf 750 lx.

(nach DIN EN 12464-1:2011-08)

Bioeffluenten

Luftverunreinigungsstoffe, die vom menschlichen Körper abgegeben werden, auch Humanausdünstungen, Humangeruchsstoffe. Prominentester menschlicher Luftverunreinigungsstoff ist das CO₂, weitere sind z. B. Aceton oder Essigsäure.

(nach Godish Thad. (1994). Sick buildings: definition, diagnosis, and mitigation. ISBN 0-87371-346-X. Seite 140 ff.)

building related illness (BRI)

Gebäudebezogene diagnostizierbare Erkrankungen aufgrund direkt zuordenbarer allergener, mikrobieller oder chemischer Belastungen in einem Raum (Baumaterialien, Anstriche, Mobiliar, Raumluft etc.).

(nach Umweltbundesamt, aufgerufen am 12.10.2014 unter www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/belastung-des-menschen-ermitteln/umweltmedizin/sick-building-syndrom)

Blauer Engel

Der Blaue Engel ist ein in Deutschland seit 1978 vergebenes Umweltzeichen für besonders umweltschonende Produkte und Dienstleistungen. Grundlage ist ein Vergabeverfahren, welches durch unabhängige Institutionen durchgeführt wird. Es wurde vom Bundesminister des Inneren und den für Umweltschutz zuständigen Ministern der Bundesländer ins Leben gerufen.

(nach Wikipedia, zuletzt aufgerufen am 20.07.2014 unter http://de.wikipedia.org/wiki/Blauer_Engel)

Boxplot

Im Boxplot sind unterschiedliche statistische Größen dargestellt. Der mittlere schwarze Strich liegt bei dem Wert des Medians der Daten. Die Box reicht vom unteren Quartil bis zum oberen Quartil, d. h. sie umfasst 50 % der Daten. Die Striche am Ende der Verlängerung der Box heißen Whisker. Diese liegen maximal 1,5-mal dem Abstand zwischen Median und unterem/oberen Quartil entfernt. Werte unter- bzw. oberhalb der Whisker werden als Ausreißer bezeichnet.

CFD

Computational Fluid Dynamics – eine etablierte Methode der Strömungsmechanik zur approximativen Lösung strömungsmechanischer Probleme mit numerischen Methoden. (nach Wikipedia, zuletzt aufgerufen am 20.07.2014 unter http://de.wikipedia.org/wiki/Numerische_Str%C3%B6mungsmechanik)

Cut-off-Stellung

Einstellung der verstellbaren Lamellen einer Sonnenschutzvorrichtung, bei der die direkte Sonneneinstrahlung ausgeschlossen, eine Durchsicht jedoch weiterhin möglich ist und das diffuse Tageslicht bestmöglich genutzt wird. Das wird

erreicht, indem die Winkelstellung der Lamellen in kurzen Zeitabständen an den Sonnenhöhenwinkel angepasst wird, die Lamellen werden »nachgefahren«.

Daylight Glare Probability DGP

Für die psychologische Blendung durch Fenster steht zurzeit kein genormtes Blendungsbewertungsverfahren zur Verfügung. Die Blendungswahrscheinlichkeit durch Tageslicht kann mit dem Blendungsbewertungskriterium DGP ermittelt werden. Dieser Index berücksichtigt grundlegende Einflussfaktoren für Blendung wie Leuchtdichte, Größe und Position der Blendquelle sowie die **vertikale Beleuchtungsstärke** am Auge.

DGNB

Die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (e.V.), gegründet im Jahr 2007, verfolgt das Ziel, Nachhaltigkeit in der gesamten Bau- und Immobilienwirtschaft und darüber hinaus zu fördern und im Bewusstsein der breiten Öffentlichkeit zu verankern. Der Verein will Mittel und Wege aufzeigen und fördern, die der nachhaltigen Planung, Konstruktion und Nutzung unserer gebauten Umwelt dienen. Auf diese Weise sollen Lebensräume geschaffen werden, die in ökologischer, ökonomischer und soziokultureller sowie funktionaler Hinsicht vorbildlich sind.

(nach www.dgnb.de/de/verein/die-dgnb/, zuletzt aufgerufen am 20.07.2014)

dynamische Gebäudesimulation

Zeitlich hoch aufgelöste Energiebilanzierung für ein Gebäude zur detaillierten Beschreibung einzelner, zeitabhängiger Wärmeströme in ihrem Zusammenwirken in einem komplexen Gebäudemodell unter Berücksichtigung seiner thermischen Masse.

(nach van Treeck, Ch.: Dynamische Simulation des thermischen Verhaltens von Gebäuden. Zuletzt aufgerufen am 20.07.2014 unter www.inf.bv.tum.de/papers/uploads/paper_0210.pdf)

elektromagnetisches Feld

Das elektromagnetische Feld ist ein raumfüllendes System, dessen Zustand an jedem Punkt durch die elektrische und magnetische Feldstärke festgelegt ist. Das elektromagnetische Feld speichert und überträgt Energie (Masse), Impuls, Drehimpuls sowie Entropie. Das elektromagnetische Feld erscheint uns in einer Fülle von Phänomenen – z. B. ziehen sich elektrisch geladene Körper an (ungleich geladen) bzw. stoßen sich ab (gleich geladen) oder stromdurchflossene, parallel ausgerichtete Drähte ziehen sich an (Strom fließt in gleiche Richtung) oder stoßen sich ab (Strom fließt in Gegenrichtung).

(nach System Physik, zuletzt aufgerufen am 20.07.2014 unter www.systemdesign.ch/index.php?title=Elektromagnetisches_Feld)

elektrostatisches Feld

Das elektrostatische Feld ist ein physikalisches Feld, das durch eine Kraft auf elektrische Ladungen wirkt. In der Elektrostatik werden ausschließlich ruhende Ladungen betrachtet. Ohne Ströme existiert kein Magnetfeld, das elektrostatische Feld ist deshalb nicht nur stationär, also zeitlich unveränderlich, sondern auch rotationsfrei, hat also ein Potenzial.

(nach Wikipedia, zuletzt aufgerufen am 20.07.2014 unter http://de.wikipedia.org/wiki/Elektrisches_Feld)

empirisch

aus der Erfahrung, Beobachtung

(nach Duden, zuletzt aufgerufen am 20.07.2014 unter www.duden.de/rechtschreibung/empirisch)

Enthalpie

Die Enthalpie, auch Wärmeinhalt genannt, ist ein Maß für die Energie eines thermodynamischen Systems. Sie setzt sich zusammen aus der inneren Energie (Bewegungsenergie der Moleküle + chemische Bindungsenergie + potenzielle Energie der Atomkerne) und der Volumenarbeit (Arbeit, die gegen den einen Druck verrichtet werden muss, um ein Volumen zu erzeugen).

(nach Wikipedia, zuletzt aufgerufen am 20.07.2014 unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Enthalpie>)

Extrapolieren

Eine Extrapolation findet statt, wenn Aussagen über Bereiche getroffen werden, von denen keine Daten vorhanden sind. Existieren z.B. Erfahrungen (Messwerte) über die Bewertung von Temperaturen zwischen 20°C und 30°C, ist eine Extrapolation eine Aussage über die Bewertung von Temperaturen über 30°C.

Fuzzy-Regelung

Das Prinzip des Fuzzy-Reglers besteht darin, scharfe physikalische Eingangssignale eines technischen Prozesses zu erfassen, sie mithilfe von linguistischen Begriffen aus dem Expertenwissen über Zugehörigkeitsfunktionen und logischen Wenn-Dann-Operationen zu bewerten und daraus wiederum den Übergang von linguistischen Variablen zu scharfen Stellgrößen zu bilden. Die Grundidee der Fuzzy-Regelung bezieht sich auf die Einbindung von Expertenwissen mit linguistischen Begriffen, durch die der Regler mit empirischer Methodik mehr oder weniger optimal für einen nichtlinearen Prozess mit mehreren Ein- und Ausgangsgrößen modelliert wird, ohne dass das mathematische Modell des Prozesses vorliegt.

(nach Wikipedia, zuletzt aufgerufen am 20.07.2014 unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Fuzzy-Regler>)

Grenzkurve

Geräuschbewertungskurven (beispielsweise NR-Kurven), die maximal zulässige Schalldruckpegel in Oktaven oder Terzen

festlegen. Mit diesem frequenzabhängigen Kriterium können beispielsweise die akustischen Anforderungen für raumlufttechnische Anlagen besser formuliert werden als durch die Angabe eines maximal zulässigen Summenpegels in dB(A), in dem tonale Störsignale nicht ausreichend erfasst werden.

HOAI

Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (www.gesetze-im-internet.de/hoai_2013/, zuletzt aufgerufen am 20.07.2014)

hedonisch

Als hedonisch bezeichnet man eine Bewertungsmethode, die ein Objekt nach seinen intrinsischen (inneren) und extrinsischen (äußeren) Werten beurteilt. Das Wort leitet sich aus dem Griechischen kommend, das englische Wort hedonic (»Lust-«) ab. In Zusammenhang mit Luftqualitätsbewertung ist die Geruchsbewertung (angenehm – unangenehm) gemeint.

(nach Wikipedia, aufgerufen am 20.07.2014 unter http://de.wikipedia.org/wiki/Hedonische_Methode)

instationär

Als instationär werden Prozesse (z.B. der Wärmefluss durch eine Außenwand) bezeichnet, welche nicht konstant sind, sondern mit der Zeit variieren.

Klimasummenmaße

Klimasummenmaße setzen sich aus verschiedenen Einflussgrößen auf die thermische Belastung des Menschen zusammen und ermöglichen es, durch die Zusammenfassung dieser Einflussgrößen zu einem Zahlenwert deren komplexes Zusammenwirken in ihrer Dimension zu charakterisieren.

LEED

»Leadership in Energy & Environmental Design« ist ein Zertifizierungsprogramm für nachhaltiges Bauen, das vom amerikanischen Green Building Council (USGBC) entwickelt wurde und heute weltweit angewendet wird.

(www.usgbc.org/leed, zuletzt aufgerufen am 20.07.2014)

Leistung, Arbeitsleistung, Leistungserbringung

Leistung bezeichnet die Arbeitsleistung, also ein bestimmtes, in einer definierten Zeit erbrachtes Ergebnis einer Arbeit oder den Prozess der Erbringung dieses Ergebnisses, die Leistungserbringung. Arbeitsleistung und Leistungserbringung werden von subjektiven und objektiven Faktoren beeinflusst. Die subjektiven Faktoren sind die Leistungsdisposition (angeborene körperliche und geistige Voraussetzungen), die Leistungsfähigkeit (erlernte körperliche und geistige Voraussetzungen, Erfahrungen) und die Leistungsbereitschaft (individuelle Motivation). Zu den objektiven Faktoren, den Leistungsbedingungen, gehören die Arbeitsinhalte (Art der Tätigkeit, Abwechslung, Zeitdruck, Handlungsautonomie), das Arbeitsumfeld

(Arbeitszeit, Mitarbeiterführung, Betriebsklima, Karriere- oder Entwicklungsperspektiven) und der Arbeitsplatz (Einrichtung, Raumklima, Arbeitsmittel). Im Zusammenhang mit Raumklima, insbesondere dem thermischen Raumklima, wird umgangssprachlich oft der Begriff der Leistungsfähigkeit verwendet. Gemeint ist damit der potenzielle Einfluss einer Untermenge der Leistungsbedingungen auf die Leistungserbringung.

Leitwert

Der Leitwert begrenzt den Konzentrationsbereich einer Verbindung oder Verbindungsklasse in der Innenraumluft (hier Kohlendioxid), für den systematische praktische Erfahrungen vorliegen, dass mit steigender Konzentration die Wahrscheinlichkeit für Beschwerden und nachteilige gesundheitliche Auswirkungen zunehmen.

Luftgeführte Kühlung

Abfuhr von (in der Gebäudemasse gespeicherten) Wärmelasten aus einem Raum über eine Lüftungsanlage, hier in Form von maschineller Nachtlüftung. Die Nachtlüftung wird in der Regel dann betrieben, wenn die Raumtemperatur 21 °C überschreitet und gleichzeitig die Außentemperatur mindestens 2 K unter der Abluft- bzw. mittleren Raumtemperatur liegt. Luftwechselraten liegen typischerweise in einem Bereich von 2 bis 4 h⁻¹. Die Anwendung eines adaptiven Komfortmodells für die Bewertung des thermischen Raumkomforts in Gebäuden mit maschinellem Nachtlüftungskonzept erscheint angebracht.

Luftschallschutz

Die Luftschalldämmung zwischen Räumen wird üblicherweise über frequenzabhängige Schalldämm-Maße R' und das bewertete Schalldämm-Maß R'_w als Einzahlangabe in dB angeben. Alternativ werden auch Größen wie die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{n,T,w}$ verwendet. Je höher das Schalldämm-Maß oder die Standard-Schallpegeldifferenz, desto besser ist der Luftschallschutz. Die Schalldämmung von Bauteilen lässt sich bei einschaligen Bauteile durch die Masse beeinflussen.

Magnetfeld

Magnetfelder können verursacht werden durch magnetische Materialien, etwa einen Dauermagneten, elektrische Ströme, z. B. eine stromdurchflossene Spule oder zeitliche Änderung eines elektrischen Feldes. Richtung und Richtungssinn eines Magnetfeldes können durch magnetische Feldlinien veranschaulicht werden. Der Abstand zwischen benachbarten Feldlinien ist ein Anhaltspunkt für die Stärke des Magnetfeldes – je dichter die Feldlinien, desto stärker das Feld.

(nach Wikipedia, aufgerufen am 20.07.2014 unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Magnetismus>)

Manikin

Ein Manikin ist ein Messgerät in Form einer menschlichen Puppe, welches zur Simulation der menschlichen Wärme- und teils auch Feuchteabgabe dient.

Maskierung von Schall

Eine Schallmaskierung (Sound Masking) wird eingesetzt, um mit eingespieltem Schall unerwünschten Umgebungsschall zu verdecken. Hierbei wird beispielsweise durch ein informationsloses Rauschen die Sprachverständlichkeit reduziert.

Melatoninhypothese

Hypothese über die die möglichen Auswirkungen schwacher elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf die Produktion des Hormons Melatonin im menschlichen Körper

(Lerchl, A. (2002). Die Melatonin-Hypothese. Eine Einführung. Edition wissenschaft, www.fgf.de/publikationen/edition-wissenschaft/Edition_Wissenschaft_Nr16.pdf. Zuletzt abgerufen am 20.07.2014)

Mischluftströmung

Bei der Mischventilation wird einem Raum Luft mit verhältnismäßig hoher Geschwindigkeit außerhalb des Aufenthaltsbereiches, in der Regel von Wand oder Decke, zugeführt. Die hohe Einblasgeschwindigkeit bedingt, dass erhebliche Mengen an Raumluft mitgerissen werden. Deshalb sollte die Einblasgeschwindigkeit so festgelegt werden, dass eine wirksame Vermischung mit der Raumluft gewährleistet ist und die Strahlggeschwindigkeit bei Eintritt in den Aufenthaltsbereich kleiner ist als der entsprechende Grenzwert, der z. B. durch die DIN 1946 vorgegeben wird.

(Fachinstitut Gebäude-Klima e.V., www.archiv.rlt-info.de/Energieeinsparung_bei_RLT-Gera/Luftverteilsystem/Page10489/Page10495/page10495.html. Zuletzt aufgerufen am 20.07.2014)

MVOC

engl.: »microbial volatile organic compounds«: Flüchtige organische Stoffe mikrobiellen Ursprungs

Nachhallzeit

Die frequenzabhängige Nachhallzeit ist ein wichtiges raumakustisches Kriterium. Sie gibt die Zeitspanne in Sekunden an, in der die Schallenergie im Raum nach Abschalten einer Schallquelle um 60 dB abgenommen hat. Die Nachhallzeit im Raum lässt sich durch Schallabsorber reduzieren.

Nachhaltigkeitsberichterstattung

Bei einer Nachhaltigkeitsberichterstattung stellen Unternehmen und Organisationen auf der Basis von Kriterien Art und Umfang der Wahrnehmung ihrer Verantwortung gegenüber Umwelt und Gesellschaft dar. Die Berichterstattung erfolgt auf

freiwilliger Basis und orientiert sich häufig an den Richtlinien der Global Reporting Initiative (GRI). Für Unternehmen der Bau- und Immobilienwirtschaft existieren spezifische Vorschläge. Der Nachhaltigkeitsbericht ist ein Instrument der Unternehmenspolitik und -kommunikation. Die Analyse der Mitarbeiterzufriedenheit ist ein möglicher Teilaspekt.

Nachhaltigkeitsbewertung

Bei einer Bewertung der Nachhaltigkeit von Produkten oder Dienstleistungen werden die Auswirkungen auf die Wirtschaft, die Gesellschaft und die Umwelt beschrieben und beurteilt. Sie ist ein Hilfsmittel zur Unterstützung der Planung, einer Entscheidungsfindung und/oder der Optimierung im Betrieb. Übertragen auf Bauwerke kombiniert die Nachhaltigkeitsbewertung eine Überprüfung der Erfüllung technischer und funktionaler Anforderungen mit der Beurteilung der ökologischen, ökonomischen und sozialen Qualität. Komfort und Nutzerzufriedenheit sind i. d. R. Teilaspekte der sozialen Qualität.

Nachtlüftung

Unter einer Nachtlüftung versteht man einen erhöhten Luftwechsel zur Nachtzeit, der in Sommernächten zur Abfuhr von über den Tag gespeicherter Wärme ausgenutzt wird. Die Nachtlüftung kann entweder mittels gezielter Anordnung von Lüftungsklappen und damit Ausnutzung des Höhenunterschieds zwischen Lufteinlass und -auslass (innerhalb eines Raums durch zwei Öffnungen in der Fassade oder über mehrere Geschoße eines Gebäudes, z. B. durch ein Atrium) allein durch den natürlichen Auftrieb erfolgen oder maschinell mittels Ventilatoren forciert bzw. unterstützt werden.

neutral(e) (empfundene) Temperatur

Die neutrale bzw. neutral empfundene Temperatur errechnet sich aus dem abgegebenen Komfortvotum und der zu diesem Zeitpunkt vorhandenen **operativen Temperatur**. Gibt ein Studienteilnehmer z. B. bei einer Raumtemperatur von 28 °C an, sich etwas warm (+1) zu fühlen, errechnet sich seine neutrale Temperatur zu $28\text{ °C} - (+1) \cdot a$. Für a existieren unterschiedliche Angaben, z. B. 3 von Fanger oder 2,33 von Griffith. Für die Berechnung nach Fanger würde die neutrale Temperatur im obigen Beispiel 25 °C sein und die Temperatur beschreiben, bei der der Teilnehmer ein neutrales Votum (weder kalt noch warm) abgeben würde.

nichtdispersive Infrarotspektroskopie

Infrarotspektroskopie ist ein physikalisches Analyseverfahren, das mit infraroter Strahlung (Wellenlänge: 800 nm bis 1 mm) arbeitet. Die IR-Spektroskopie wird zur quantitativen Bestimmung von bekannten Substanzen, deren Identifikation anhand eines Referenzspektrums erfolgt, oder zur Strukturaufklärung unbekannter Substanzen genutzt. Nichtdispersive Infrarotsensoren oder NDIR-Sensoren werden überwiegend

als Gassensoren eingesetzt. Besonders geeignet sind NDIR-Analysatoren zur Bestimmung der Konzentration von Kohlenmonoxid, Kohlendioxid oder Kohlenwasserstoffen in einem Gas.

(nach Wikipedia, aufgerufen am 20.07.2014 unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Infrarotspektroskopie> bzw. http://de.wikipedia.org/wiki/Nichtdispersiver_Infrarotsensor)

olfaktorisch

den Geruchssinn, den Riechnerv betreffend
(nach Duden, zuletzt aufgerufen am 20.07.2014 unter www.duden.de/rechtschreibung/olfaktorisch)

operative Temperatur

Die operative Temperatur ist für Luftgeschwindigkeiten unter 2 m/s der Mittelwert aus der Raumlufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur der raumumschließenden Oberflächen.

OVOC

engl.: »odorous volatile organic compounds«: Geruchsaktive flüchtige organische Stoffe

PAK

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. PAK sind ein natürlicher Bestandteil von Weichmacherölen auf Mineralölbasis. Diese finden z. B. in Kautschukprodukten Anwendung. Weiterhin sind sie z. B. in Massivparketten, insbesondere Mosaik-, Hochkantlamellen- und Stabparketten enthalten, aber auch in Holzpflastern, die in den 1950er- bis 1970er-Jahren mit teer- oder bitumenhaltigen Klebern auf Zement- oder Asphaltestrichen verklebt wurden. Diese Kleber sind meist mit PAK belastet.

(nach Wikipedia, aufgerufen am 20.07.2014 unter http://de.wikipedia.org/wiki/Polycyclische_aromatische_Kohlenwasserstoffe)

Passive Kühlung

Die passive Kühlung umfasst alle Maßnahmen zur Reduktion von solaren und internen Wärmelasten in einem Raum/Gebäude. Die verbleibenden Wärmegewinne werden in der an die Raumluft direkt angekoppelte Gebäudemasse gespeichert, dass sie allein durch freie Nachtlüftung, d. h. Fensterlüftung, abgeführt werden können. Der tatsächliche freie Luftwechsel variiert von Tag zu Tag und von Ort zu Ort und überschreitet oft 2 h^{-1} in den nördlichen Sommerklimazonen, erreicht aber selten Werte über $1,8\text{ h}^{-1}$ in den südlichen Sommerklimazonen. Diese Gebäude werden nach dem adaptivem Komfortmodell der DIN EN 15251:2007-08 bewertet.

PCB

Polychlorierte Biphenyle. PCB sind giftige und krebserregende organische Chlorverbindungen, die bis in die 1980er-Jahre

vor allem in Transformatoren, elektrischen Kondensatoren, in Hydraulikanlagen als Hydraulikflüssigkeit, sowie als Weichmacher in Lacken, Dichtungsmassen, Isoliermitteln und Kunststoffen verwendet wurden.

(nach Wikipedia, aufgerufen am 20.07.2014 unter http://de.wikipedia.org/wiki/Polychlorierte_Biphenyle)

PCP

Pentachlorphenol. Pentachlorphenol war lange Zeit der am häufigsten eingesetzte Wirkstoff in Holzschutzmitteln. Noch Jahre nach der Anwendung entweicht es aus den behandelten Hölzern und kann bis heute durch Importprodukte in unsere Wohnungen gelangen. Zahlreiche Gesundheitsstörungen werden von Betroffenen immer wieder in Zusammenhang mit einer Holzschutzmittel-Belastung gebracht, wobei bislang ein allgemein anerkannter wissenschaftlicher Nachweis fehlt.

(nach Bayerisches Landesamt für Umwelt (2008); www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_50_pentachlorphenol_pcp.pdf. Zuletzt aufgerufen am 20.07.2014)

performance based building

Unter performance based building wird ein in der Aufgabenstellung und Planung verwendeter Ansatz verstanden, der die Beschreibung der erwarteten Funktionalität und Qualität des Gebäudes während der Nutzungsphase in den Mittelpunkt stellt. Ausgangspunkt der Überlegungen sind damit nicht die bauliche oder technische Lösung sondern die zu erfüllenden Erwartungen und Anforderungen. Die Formulierung von Anforderungen zur Sicherung einer hohen Nutzerzufriedenheit ist ein häufiger Teilaspekt.

Photosynthese

Photosynthese bezeichnet die Erzeugung von energiereichen Stoffen aus energieärmeren Stoffen mithilfe von Lichtenergie. Sie wird von Pflanzen, Algen- und einigen Bakteriengruppen betrieben. Bei diesem biochemischen Vorgang wird zunächst mithilfe von lichtabsorbierenden Farbstoffen Lichtenergie in chemische Energie umgewandelt. Diese wird dann unter anderem zum Aufbau energiereicher organischer Verbindungen – sehr oft Kohlenhydrate – aus energiearmen, anorganischen Stoffen, hauptsächlich aus Kohlenstoffdioxid CO₂ (Kohlenstoffdioxid-Assimilation) und Wasser H₂O, verwendet.

(nach Wikipedia, aufgerufen am 20.07.2014 unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Photosynthese>)

PMV

engl.: »Predicted Mean Vote«. Vorausgesagtes mittleres Votum einer Gruppe von Personen unter bestimmten thermischen Bedingungen gemäß dem Fanger'schen Modell zur thermischen Behaglichkeit. Einflussfaktoren sind die Raumlufttemperatur, die Strahlungstemperatur, die Raumluftfeuchte, die Luftgeschwindigkeit, der Aktivitäts- und Bekleidungsgrad der Person.

PPD

engl.: »Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)«. Vorausgesagter Anteil an Unzufriedenen mit dem thermischen Raumklima gemäß dem Fanger'schen Modell zur thermischen Behaglichkeit. Während Fanger den Zusammenhang zwischen dem Komfortvotum und der Zufriedenheit nicht experimentell hergeleitet hat, gibt es zahlreiche andere Untersuchungen, in denen die Zufriedenheit direkt mit abgefragt wird. Die PPD-Skala wird neben der summarischen Bewertung des thermischen Komforts auch für weitere Einzelkriterien angewendet.

Quellluftströmung

Die von den Wärmequellen des Raumes ausgehenden thermischen Kräfte regeln bei der Quellluftströmung (auch Verdrängungsbelüftung) die Luftverteilung. Bei niedriger Geschwindigkeit und Kühllast wird die Luft dem Raum direkt im Aufenthaltsbereich in Bodenhöhe zugeführt. Die Luft strömt über den ganzen Bodenbereich aus und verdrängt die warme verunreinigte Luft. Diese wird durch die Konvektionsströme der Wärmequellen aufwärts geführt. An der Decke bildet sich eine warme, verunreinigte Luftschicht, aus der die Abluft dem Raum entnommen wird.

(Fachinstitut Gebäude-Klima e.V., www.archiv.rlt-info.de/Energieeinsparung_bei_RLT-Gera/Luftverteilsystem/Page10489/Page12758/page127581.html. Zuletzt aufgerufen am 20.07.2014)

Raytracing-Verfahren

Raytracing (dt. Strahlverfolgung) ist ein auf der Aussendung von Strahlen basierender Algorithmus zur Ermittlung der Sichtbarkeit von dreidimensionalen Objekten von einem bestimmten Punkt im Raum aus. Ebenfalls mit Raytracing bezeichnet man mehrere Erweiterungen dieses grundlegenden Verfahrens, die den weiteren Weg von Strahlen nach dem Auftreffen auf Oberflächen berechnen.

(nach Wikipedia, aufgerufen am 20.07.2014 unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Raytracing>)

Schalthysterese

Verzögerung des Schaltens trotz Erreichen des eingestellten Schwellenwertes in Abhängigkeit vom vorherigen Zustand der Eingangsgröße oder eines Nutzereingriffs. Beim Sonnenschutz z. B. Verzögerung des Schließens der Lamellen trotz Erreichen des Grenzwertes, wenn die vorhergehende Verfahraktion (z. B. ein Nutzereingriff oder eine von der Automation ausgelöste Veränderung) weniger als x Minuten zurückliegt, um Störungen durch Verfahractionen in kurzen Abständen zu reduzieren.

sick building syndrome (SBS)

Zumeist unspezifische Beschwerden – also solche, die bei mehreren Krankheiten auftreten können, wie tränende Augen, gereizte Schleimhäute, Kopfschmerzen oder juckende

Haut – , die beim Aufenthalt in Gebäuden entstehen. Die Ursachen für das Auftreten des SBS sind nicht eindeutig zuordenbar, vermutete Zusammenhänge mit einer erhöhten Schadstoffkonzentration am Arbeitsplatz und dem Auftreten der Beschwerden konnten nicht bestätigt werden. (nach Umweltbundesamt, aufgerufen am 12.10.2014 unter www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/belastung-des-menschen-ermitteln/umweltmedizin/sick-building-syndrom)

STI

Abkürzung für Speech Transmission Index. Der STI ist eine Kenngröße zur Beurteilung der Sprachverständlichkeit und nimmt Werte zwischen 0 und 1 an. Es werden Nachhallzeit, Echos Grundgeräuschpegel und Sprachpegel berücksichtigt.

Stoßlüftung

Als Stoßlüften bezeichnet man das kurzzeitige und vollständige Öffnen eines oder mehrerer Fenster oder Außentüren eines Raumes. Als kurzzeitig gilt hierbei eine Dauer im Bereich von nur einigen Minuten.

(nach Wikipedia, aufgerufen am 20.07.2014 unter <http://de.wikipedia.org/wiki/L%C3%BCftung>)

SVOC

engl.: »semi-volatile organic compounds«: schwerflüchtige organische Stoffe mit einem Siedebereich zwischen 240 bis 260 °C und 380 bis 400 °C

Temperaturstrahler

Lampen wie Glühlampen oder Halogenlampen, die Licht erzeugen, indem eine Metallwendel aus Wolframdraht erhitzt wird und glüht. Die eingesetzte Energie wird nicht nur als sichtbares Licht, sondern zu einem großen Teil auch als Wärmestrahlung abgegeben.

thermische Behaglichkeit

Die thermische Behaglichkeit bezeichnet die Zufriedenheit mit der thermischen Umgebung. Sie geht damit über das thermische Empfinden hinaus, indem sie das Wohlbefinden bei dieser wahrgenommenen Temperatur in einem bestimmten Kontext beschreibt und daher auch eine psychologische Komponente enthält.

thermisches Empfinden

Das thermische Empfinden bezeichnet die wahrgenommene Temperatur einer Person und ist somit subjektiv. Sie bildet die Grundlage für die thermische Behaglichkeit.

Thermosensitivität

Thermosensitivität bezeichnet das Wärmeempfinden des menschlichen Körpers

Trittschallschutz

Zur Beurteilung des Trittschallschutzes von Decken und Treppen wird das Norm-Trittschallhammerwerk verwendet. Dieses Hammerwerk verursacht im schutzbedürftigen Raum frequenzabhängige Norm-Trittschallpegel L'_n und es lässt sich der bewertete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ als Einzahlangabe in dB ermitteln. Alternativ werden auch Größen wie der bewertete Standard-Trittschallpegel $L_{n,T,w}$ verwendet. Je niedriger der Norm-Trittschallpegel, desto besser ist der Trittschallschutz. Der Trittschallschutz lässt sich durch die Masse und geeignete elastische Lagerungen beeinflussen.

Turbulenzgrad

Der Turbulenzgrad ist ein Maß für die Schwankung der Luftgeschwindigkeit und berechnet sich als Quotient der Standardabweichung der aktuellen Messwerte und der mittleren Luftgeschwindigkeit über einen Zeitraum von 3 Minuten (Einheit: %). Räume mit Mischlüftung weisen Turbulenzgrade von 40–50 % auf, Räume mit Quellluftströmung Turbulenzgrade zwischen 20 und 25 %. Ein hoher Turbulenzgrad bedeutet hohe momentane Maximalwerte der Luftgeschwindigkeit im Vergleich zu einem niedrigen Turbulenzgrad.

TVOC

engl.: »total volatile organic compounds«: Summe der flüchtigen organischen Stoffe (VOC)

Übertemperaturgradstunden

Die Zahl der Übertemperaturgradstunden ergibt sich aus der Summe der Differenzen zwischen Bezugswert der Raumtemperatur (nach DIN 4108-2:2013, Tabelle 9) und der durch Simulation ermittelten Raumtemperatur eines Jahres. Für jede Stunde eines simulierten Jahres wird die Differenz gebildet und aufaddiert. Negative Werte, d. h. die simulierte Temperatur liegt unter dem Bezugswert, werden nicht dazu gezählt. Nach DIN 4108-2:2013) dürfen in Wohngebäuden Werte von 1 200 Kh/a und in Nichtwohngebäuden von 500Kh/a an Übertemperaturgradstunden nicht überschritten werden.

Umfeld der Sehaufgabe

Der Bereich, der den Bereich der Sehaufgabe innerhalb des Gesichtsfelds umgibt.

Unified Glare Rating UGR

Die Stärke der Störung durch psychologische Blendung wird mit der Methode der vereinheitlichten Blendungsbewertung (UGR-Methode) berechnet (DIN EN 12464-1:2011-08). Diese berücksichtigt, dass Blendung mit der Blendquellen-Leuchtdichte, der Blendquellen-Größe und deren Nähe zur Blickrichtung zunimmt. Die UGR-Methode dient der Bewertung der Direktblendung durch Leuchten einer Beleuchtungsanlage im Innenraum.

Valenz

Der Begriff Valenz hat in der Psychologie unterschiedliche Bedeutungen. In diesem Buch wird die Bedeutung im Zusammenhang mit der Beschreibung von Gefühlszuständen und Emotionen genutzt. Eine negative Valenz ist z. B. assoziiert mit Ärger, während eine positive Valenz ein Gefühl der Freude beschreibt.

vertikale Beleuchtungsstärke

Die vertikale Beleuchtungsstärke ist die Beleuchtungsstärke auf einer vertikalen Bewertungsfläche. Sie wird als Bewertungsgröße für das Beleuchtungsniveau von vertikalen Schrank- und Regalflächen verwendet.

VOC

engl.: »volatile organic compounds«. Flüchtige organische Stoffe mit einem Siedebereich zwischen 50 bis 100 °C und 240 bis 260 °C.

VVOC

engl.: »very volatile organic compounds«. Leicht flüchtige organische Stoffe mit einem Siedebereich zwischen < 0 °C bis 50 °C und 100 °C.

Wartungswert der Beleuchtungsstärke

minimale mittlere Beleuchtungsstärke (Einheit: Lux, lx); Wert, unter den die mittlere Beleuchtungsstärke auf einer bestimmten Fläche nicht sinken sollte. Zum Zeitpunkt der Unterschreitung sollte eine Wartung durchgeführt werden (DIN EN 12665:2011-09, S. 10).

Nach DIN 5035-7:2004-08 darf der Wartungswert der Beleuchtungsstärke nicht unterschritten werden.

wassergeführte Kühlung

Thermoaktive Bauteilsysteme (TABS) sind Rohrregister, die in Bauteile der Gebäudestruktur integriert werden. Bei der

Betonkerntemperierung (BKT) werden die Rohrregister direkt in den Betonkern der Decken bzw. Fußböden eingegossen. Oberflächennahe Systeme werden dagegen als Kapillarrohrmatten in den Deckenputz eingebracht oder als Randstreifenelemente oberflächennah in der Betondecke verlegt. Der Vorteil von thermoaktiven Bauteilsystemen ist, dass aufgrund der großen Kälte übertragenden Fläche bereits mit sehr kleinen Temperaturdifferenzen zwischen Decken- und Raumtemperaturen effektiv gekühlt werden kann. Die Kühlwassertemperaturen werden auf einen Temperaturbereich von 16 bis 22 °C begrenzt und begünstigen so den Einsatz von Umweltwärmesenken. Im Sommer wird oft ausschließlich das Erdreich bzw. das Grundwasser als natürliche Umweltwärmesenke zur direkten Kühlung (Einsatz eines Wärmetauschers) der Gebäude genutzt, sodass lediglich Hilfsenergie zur Verteilung der Kühlenergie, nicht aber zu deren Erzeugung, aufgewendet werden muss. Dies ermöglicht die Bereitstellung von Klimakälte mit hoher Energieeffizienz – eine korrekte Auslegung, Installation und Betrieb der Geothermie- und Anlagensysteme vorausgesetzt. Diese Gebäude werden nach Komfortanforderungen des **PMV**-Komfortmodells der DIN EN 15251:2007-08 bewertet.

zylindrische Beleuchtungsstärke

Gesamter Lichtstrom, der aus einer Richtung auf die Mantelfläche eines sehr kleinen Zylinders um einen gegebenen Punkt fällt, geteilt durch die Mantelfläche dieses Zylinders (Einheit: Lux, lx). Die Achse des Zylinders ist vertikal, wenn nicht anders angegeben. (DIN EN 12665:2011-09, S. 10)

4.2 Verordnungen, Normen, Richtlinien

Europäische Richtlinien

EPBD (2010)

European Directive on the Energy Performance of Buildings. EU-Richtlinie, 18. Juni 2010, Amtsblatt der Europäischen Union Ausgabe L 153/13.

Nationale Verordnungen und Richtlinien

ArbStättV (2010)

Arbeitsstättenverordnung, letzte Änderung 26. Juli 2010 (BGBl. I S. 965).

ASR A3.4 (2011)

Technische Regeln für Arbeitsstätten – Beleuchtung. Zuletzt geändert GMBI 2014, S. 287

ASR A3.5 (2010)

Technische Regeln für Arbeitsstätten – Raumtemperatur. Zuletzt geändert GMBI 2014, S. 287

ASR A3.6 (2012)

Technische Regeln für Arbeitsstätten – Lüftung. Zuletzt geändert GMBI 2013, S. 359

BildscharbV (2008)

Bildschirmarbeitsplatzverordnung, letzte Änderung 18. Dezember 2008 (BGBl. I S. 1843).

EnEV 2014 (2013)

Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung BGBl. I, Nr. 67, 21. November 2013, p. 3951–3990.

LärmVibrationsArbSchV (2007)

Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung vom 6. März 2007 (BGBl. I S. 261).

Richtlinie zu baulichen und planerischen Vorgaben für Baumaßnahmen des Bundes zur Gewährleistung der thermischen Behaglichkeit im Sommer. BMVBS Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung, Erlass vom 8.12.2008.

ISO-Normen

ISO 6242:1992

Building construction – Expression of users' requirements.

EN ISO 7726:2001 (D)

Umgebungsklima – Instrumente zur Messung physikalischer Größen.

DIN EN ISO 7730:2006-03

Ergonomie des Umgebungsklimas – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und der lokalen thermischen Behaglichkeit und Berichtigungen: 2007-06.

ISO 15392:2008

Sustainability in building construction – General principles.

DIN ISO 16000-3:2013-01

Innenraumluftverunreinigungen – Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen in der Innenraumluft und in Prüfkammern – Probenahme mit einer Pumpe (ISO 16000-3:2011)

DIN ISO 16000-6:2012-11

Innenraumluftverunreinigungen – Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID (ISO 16000-6:2011)

DIN EN ISO 16000-9:2008-04

Innenraumluftverunreinigungen – Teil 9: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen – Emissionsprüfkammer-Verfahren (ISO 16000-9:2006); Deutsche Fassung EN ISO 16000-9:2006

DIN ISO 16000-28:2012-12

Innenraumluftverunreinigungen – Teil 28: Bestimmung der Geruchsstoffemissionen aus Bauprodukten mit einer Emissionsprüfkammer (ISO 16000-28:2012)

E DIN ISO 16000-30:2012-10

Innenraumluftverunreinigungen – Teil 30: Sensorische Prüfung derInnenraumluft (ISO/DIS 16000-30:2012)

ISO 21929-1:2011

Sustainability in building construction – Sustainability indicators – Part 1: Framework for the development of indicators and a core set of indicators for buildings.

Europäische Normen**DIN EN 12464-1:2011-08**

Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen.

DIN EN 12599:2013-01

Lüftung von Gebäuden – Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumlufttechnischer Anlagen.

DIN EN 13779:2007-09

Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme; Deutsche Fassung EN 13779:2007.

DIN EN 14041:2011-05

Elastische, textile und Laminat-Bodenbeläge – Wesentliche Eigenschaften; Deutsche Fassung EN 14041:2011 + AC: 2005 + AC:2006.

DIN EN 14501:2006-02

Abschlüsse – Thermischer und visueller Komfort – Leistungsanforderungen und Klassifizierung.

DIN EN 14904:2014-04 (Normentwurf)

Sportböden – Mehrzweck-Sporthallenböden – Anforderungen; Deutsche Fassung prEN 14904:2014

DIN EN 15102:2011-12

Dekorative Wandbekleidungen – Rollen- und Plattenform; Deutsche Fassung EN 15102:2007 + A1:2011

DIN EN 15251 2012-12

Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung EN 15251: 2007-08 inklusive des nationalen informativen Anhangs 2012-12.

EN 15643-1:2010

Sustainability of construction works – Sustainability assessment of buildings – Part 1: General framework.

EN 15643-2:2011

Sustainability of construction works – Assessment of buildings – Part 2: Framework for the assessment of environmental performance.

EN 15643-3:2012

Sustainability of construction works – Assessment of buildings – Part 3: Framework for the assessment of social performance.

DIN EN 15643-3:2012

Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden – Teil 3: Rahmenbedingungen für die Bewertung der sozialen Qualität; Deutsche Fassung EN 15643-3:2012

EN 15643-4:2012

Sustainability of construction works – Assessment of buildings – Part 4: Framework for the assessment of economic performance.

DIN CEN/TS 16516:2013-12

Bauprodukte – Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen – Bestimmung von Emissionen in die Innenraumluft; Deutsche Fassung CEN/TS 16516:2013.

DIN-Normen**DIN 277:2005**

Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau.

DIN 1946-2:1994-01

Raumlufttechnik: Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln).

DIN 4108-2:2013-02

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.

DIN 4109:1989

Schallschutz im Hochbau; Anforderungen und Nachweise. (bauordnungsrechtlich eingeführt)

DIN 4109 Beiblatt 1:1989

Schallschutz im Hochbau; Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren. (bauordnungsrechtlich eingeführt)

DIN 4109 Beiblatt 2:1989

Schallschutz im Hochbau; Hinweise für Planung und Ausführung; Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz; Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich.

DIN 4543-1:1994-09

Büroarbeitsplätze, Teil 1: Flächen für die Aufstellung und Benutzung von Büromöbeln. Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfung

DIN 4549:1982-11

Büromöbel; Schreibtische, Bildschirmarbeitstische und Büromaschinentische; Maße. (ersetzt durch DIN EN 527-1:2000-07)

DIN 5034-1:2011-07

Tageslicht in Innenräumen.

DIN 5035-7:2004-08

Beleuchtung mit künstlichem Licht.

DIN SPEC 13779:2009-12

Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme – Nationaler Anhang zu DIN EN 13779:2007-09.

DIN 18041:2004

Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen

DIN 18205:1996

Bedarfsplanung im Bauwesen. (in Überarbeitung)

DIN V 18599-4:2011-12

Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung.

DIN V 18599-10:2011-12

Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten.

DIN V 18599-11:2011-12

Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 11: Gebäudeautomation.

DIN 33403-3:2011-07

Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße.

DIN SPEC 67600:2013-04

Biologisch wirksame Beleuchtung – Planungsempfehlungen.

VDI-Richtlinien**VDI 2081-1:2001**

Geräuscherzeugung und Lärminderung in Raumlufttechnischen Anlagen

VDI 2569:1990

Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro (Richtlinie wird überarbeitet)

VDI 3804:2009-03

Raumlufttechnik für Bürogebäude (VDI-Lüftungsregeln)

VDI 4100:2012

Schallschutz im Hochbau – Wohnungen – Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz

VDI 4302-1:2012-05

Geruchsprüfung von Innenraumluft und Emissionen aus Innenraummaterialien – Grundlagen

VDI 4302-2:2012-05

Geruchsprüfung von Innenraumluft und Emissionen aus Innenraummaterialien – Prüfstrategie für Geruchsprüfungen von Innenraumluft

VDI 6022-1:2011-07

Raumluftechnik, Raumlftqualität – Hygieneanforderungen an Raumlfttechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln).

VDI 6022-2:2007-07

Hygiene-Anforderungen an Raumlfttechnische Anlagen und -Geräte – Messverfahren und Untersuchungen bei Hygienekontrollen und Hygieneinspektionen.

VDI 6022-4: 2012-08

Raumlfttechnik, Raumlftqualität – Qualifizierung von Personal für Hygienekontrollen, Hygieneinspektionen und die Beurteilung der Raumlftqualität

VDMA-Regeln**VDMA 24773**

Bedarfsgeregelte Lüftung – Begriffe, Anforderungen, Regelstrategien, Ausgabedatum: 1997-03

VDMA 24772

Sensoren zur Messung der Raumlftqualität in Innenräumen; Begriffe, Anforderungen, Prüfungen, Ausgabedatum: 1991-03

4.3 Abbildungsverzeichnis

Alle hier nicht aufgeführten Abbildungen stammen von den für die jeweiligen Kapitel genannten Autoren.

Titelbild

Daniel Vieser . Architekturfotografie, Karlsruhe, www.dv-a.de

Kapitelaufaktbilder

Teil 1	Sophia Winterwerber, ZFW, Fakultät für Architektur, KIT
1.1, 1.4	Karin Schakib-Ekbatan
1.2, 2.7	Daniel Vieser . Architekturfotografie, Karlsruhe, www.dv-a.de
1.3, 2.2, 2.3, 2.5, 2.6, 3.2, 3.3	Sophia Winterwerber, ZFW, Fakultät für Architektur, KIT
Teil 2	Fotografie Heinrich Hermes, Berlin
2.1	Johannes Lang, BINE Informationsdienst
2.4	feco Innenausbausysteme GmbH (Fotograf Nikolay Kazakov)
Teil 3	Andreas Wagner
3.1	Cornelia Moosmann
Teil 4	Daniel Vieser . Architekturfotografie, Karlsruhe, www.dv-a.de

Abbildungen

Abb. 1.1-2	Alexander Theiss
Abb. 1.2-2, 3.2-1, 3.2-2, 3.2-3	BMUB
Abb. 1.3-1, 2.1-3, 2.1-4, 2.1-5, 2.1-8; Tab. 1.2-3, 1.3-1, 1.3-2, 2.2-5, 3.2-2, 3.2-3	Wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Maßgebend für das Anwenden der DIN-Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.
Abb. 1.3-2	Screenshot der Software UCBComfort. Center of the Built Environment, University of California, Berkeley.
Abb. 1.4-1	links: Norsonic-Tippkemper GmbH; rechts: Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Abb. 1.4-2	deconta GmbH
Abb. 1.4-3, 1.4-4	Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Abb. 2.1-9, 2.1-10, 2.1-11, 2.1-12	Bauhaus-Universitätsverlag als Imprint von VDG Weimar

Abb. 2.1-19, 2.1-20	Fraunhofer ISE
Abb. 2.1-21	Fraunhofer ISE und Karlsruher Institut für Technologie (KIT), fbta
Tab. 2.1-2, 2.2-4, 2.2-6, 2.2-7	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)
Abb. 2.2-1	Fraunhofer IRB Verlag
Tab. 2.2-2, 2.2-3, 3.3-21	Umweltbundesamt (UBA)
Abb. 2.2-8	Deutsches Institut für Bautechnik DIBt, Screenshot
Abb. 2.3-3, 2.3-4	Licht.de
Abb. 2.3-5	Zumtobel Lighting GmbH
Abb. 2.3-13	Raphael Kirsch
Abb. 2.3-15	ETAP
Abb. 2.3-17	OSRAM GmbH
Abb. 2.5-2	Thomas Lang, Dipl.-Ing FH, K.M. Marketing AG
Abb. 2.5-3	Sophia Winterwerber, ZFW, Fakultät für Architektur, KIT
Abb. 2.5-7	Tiziana Buso
Abb. 2.7-12, 2.7-14, 2.7-22, 2.7-23, 2.7-24	Werner Huthmacher Photography
Abb. 2.7-19	Art Aqua GmbH & Co. KG
Abb. 3.2-1, 3.2-2, 3.2-3	BMUB
Abb. 3.3-2	Karin Schakib-Ekbatan; unten rechts: SOLVIS GmbH
Abb. 3.3-5, 3.3-7	Fotograf Tomas Riehle für Architekturcontor Müller/Schlüther, ACMS
Abb. 3.3-16	Bitter Bredt Fotografie, Berlin, bitterbredt.de
Abb. 3.3-20	sol-id-ar planungswerkstatt, Günter Löhnert

4.4 Autorenverzeichnis



Rune Korsholm Andersen

Master of Science in Building Energy Engineering, Ph. D. (Technical University of Denmark)
Forscher an der Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering
Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Indoor environment, occupant behavior,
energy consumption in buildings
Kapitel 2.5.5



Jan de Boer

Diplom-Ingenieur Elektrotechnik (Ruhr-Universität Bochum), Dr.-Ing. (Universität Stuttgart)
Gruppenleiter am Fraunhofer Institut für Bauphysik, Stuttgart
Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Tageslicht- und Kunstlichttechnik, energieeffiziente
Beleuchtung, Lichtwirkung
Kapitel 2.3.6

Jessica Brensing

Diplom-Psychologin (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg), Dr. (Universität Luxemburg)
Forscherin an der Universität Luxemburg
Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Nutzerzufriedenheit in öffentlichen Gebäuden, Umwelt-
kontrollierbarkeit
Kapitel 2.5.1, 2.5.2, 2.5.3



Valentina Fabi

Master/Ph. D. in Architektur, Politecnico di Torino
Forscherin am Energy Department, Politecnico di Torino
Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Raumlufthqualität, Energiebedarf, Nutzerverhalten
Kapitel 2.5.5



Runa Tabea Hellwig

Diplom-Ingenieurin Bauingenieurwesen (Universität Stuttgart), Dr.-Ing. (TU München)
Associate Professor, National University of Singapore (NUS), School of Design and Environment (SDE) and Solar Energy Research Institute of Singapore (SERIS), Cluster Director, Cluster Solar and Energy Efficient Buildings (SEEB)
Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Energieeffizientes Bauen, Energiebedarfsanalyse, Raumklima, Nachhaltigkeitsbewertung
Kapitel 2.1.1; 2.1.2; 2.1.3; 2.1.6; 2.2



Gerrit Höfker

Diplom-Ingenieur Bauphysik (Hochschule für Technik Stuttgart),
Ph.D. (De Montfort University Leicester)
Professor für Bauphysik an der Hochschule Bochum
Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Raumakustik, Energieeffizientes Bauen
Kapitel 2.4 (Koordination)



Doreen Kalz

Diplom-Ingenieurin Maschinenbau (TU Dresden), M. Sc. in Umweltingenieurwesen (University of Nebraska-Lincoln), Dr.-Ing. (Universität Karlsruhe TH)
Gruppenleiterin Gebäudeanalyse und Energiekonzepte am Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Bereich Thermische Anlagen und Gebäudetechnik
Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Wärme- und Kälteversorgung von Nichtwohngebäuden, Gebäude-Performanceanalyse, dynamische Gebäude- und Anlagensimulation
Kapitel 2.1.7; 2.1.8



Martine Knoop

Dr. ir. (Fakultät Architektur, Technische Universität Delft, Niederlande)
Wissenschaftliche Mitarbeiterin/Projektleiterin, Lehrtätigkeit am Fachgebiet Lichttechnik, Fakultät Elektrotechnik, Technische Universität Berlin
Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Innenraumbeleuchtung, Tageslicht, Lichtqualität, Licht und Gesundheit
Kapitel 2.3.4



Thomas Lützkendorf

Diplom-Bauingenieur (HAB-Weimar), Dr.-Ing. habil. (Bauhaus-Universität Weimar)
Inhaber des Lehrstuhls für Ökonomie und Ökologie des Wohnungsbaus im Fachgebiet Immobilienwirtschaft, wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Nachhaltiges Planen und Bauen, Nachhaltigkeitsbewertungssysteme, Immobilienwirtschaft, Bauökonomie
Vorwort, Kapitel 1.1; 1.2; 1.4; 3.2.1



Markus Meis

Diplom-Psychologe (Universität Trier), Promotion (Ludwigs-Maximilians-Universität München)
Bereichsleiter Markt- und Wirkungsforschung am Hörzentrum Oldenburg
Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Lärmwirkungsforschung
Kapitel 2.4.1

**Cornelia Moosmann**

Diplom-Ingenieurin Fachrichtung Architektur (Universität Karlsruhe TH),
Dr.-Ing. (Karlsruher Institut für Technologie)
Wissenschaftliche Mitarbeiterin/Projektleiterin, Lehrtätigkeit am Fachgebiet Bauphysik
& Technischer Ausbau, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Visueller und thermischer Komfort, Nutzerzufriedenheit,
energieeffizientes Bauen
Kapitel 2.1.7; 2.3 (Koordination); 2.3.2; 3.3.1

**Jens Pfafferott**

Diplom-Ingenieur Verfahrenstechnik (Technische Universität Berlin),
Dr.-Ing. (Universität Karlsruhe TH)
Hochschulprofessor am Institut für Energiesystemtechnik, Hochschule Offenburg
Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Planung und Betrieb energietechnischer Anlagen,
technische Gebäudeausrüstung, Heizen und Kühlen mit Umweltenergie
Kapitel: 2.1.8

**Karin Schakib-Ekbatan**

B. A. Sozialwissenschaftlerin (FernUniversität Hagen),
Promotionsaufbaustudium (PH Heidelberg)
Wissenschaftliche Mitarbeiterin/Projektleiterin, Lehrtätigkeit am Fachgebiet Bauphysik
& Technischer Ausbau, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Wissenschaftliche Mitarbeite-
rin am Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES GmbH), Karlsruhe
Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Umwelt- und Architekturpsychologie, Post Occupancy
Evaluation, Nutzerverhalten im Kontext energieeffizienter Gebäude, Technologieakzeptanz
Kapitel 2.7 (Koordination); 2.7.1; 2.7.2; 2.7.3; 3.1; 3.2.2; 3.2.3; 3.3.3; 3.3.4; 3.3.5

**Christian Scherer**

Diplom-Chemiker, Dr.-Ing. (Ludwig-Maximilians-Universität München), Fachchemiker für
Analytik und Spektroskopie (Universität Leipzig)
Gruppenleiter am Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Valley, Abteilung Bauchemie,
Baubiologie und Hygiene.
Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Innenraumluftqualität, Emissionen aus Bauprodukten,
Umwelteigenschaften von Baustoffen der Gebäudehülle.
Kapitel 2.2

**Christoph Schierz**

Diplom-Physiker, Dr. sc. nat., Habilitation (ETH Zürich)
Universitätsprofessor am Fachgebiet Lichttechnik, Fakultät Maschinenbau,
Technische Universität Ilmenau
Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Wechselwirkung zwischen Licht und Mensch,
Licht- und Farbmessungstechnik, Umweltermonomie
Kapitel 1.4.2 (Infokasten); 2.3.3

Elmar Schröder

Diplom-Physiker (Humboldt-Universität zu Berlin, University of Kent in Canterbury (GB), TU München)

Müller-BBM, Planegg/München

Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Raum- und Bauakustik, akustische Messtechnik

Kapitel 2.4.2

**Marcel Schweiker**

Diplom-Ingenieur Fachrichtung Architektur (Universität Kassel), Dr. Umweltinformationswissenschaften (Tokyo City University, Japan)

Nachwuchsgruppenleiter am Fachgebiet Bauphysik & Technischer Ausbau,

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Nutzerverhalten, Nutzerzufriedenheit, thermischer Komfort und Gebäudesimulation

Kapitel 2.1 (Koordination); 2.1.4; 2.1.7; 2.1.9; 2.5 (Koordination); 2.5.1; 2.5.2; 2.5.3; 2.5.5

**Benjamin Ströbele**

Diplom-Ingenieur (FH) Bauingenieurwesen (Hochschule Augsburg), Master of Engineering

Energieeffizientes Design (Hochschule Augsburg)

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ökonomie und Ökologie des Wohnungsbaus im Fachgebiet Immobilienwirtschaft, wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Nachhaltigkeitsbewertungssysteme, Ökobilanzen, Statistik
Kapitel 1.4

**Birthe Tralau**

Diplom-Ingenieurin Medientechnologie (TU Ilmenau)

Lighting Application Manager bei Zumtobel Lighting

Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Lichtanwendung und Lichtanwendungsforschung

Kapitel 2.3.1

**Conrad Völker**

Diplom-Ingenieur Bauingenieurwesen, Dr.-Ing. (Bauhaus-Universität Weimar)

Juniorprofessor Bauphysikalische Modellierung, Technische Universität Kaiserslautern

Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Messung und Simulation des Raumklimas, thermische Behaglichkeit und Nutzeranforderungen, Gebäudesimulation und -monitoring

Kapitel 2.1.5

**Andreas Wagner**

Diplom-Ingenieur Maschinenbau (Universität Karlsruhe TH)

Universitätsprofessor am Fachgebiet Bauphysik & Technischer Ausbau,

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Energieeffizientes Bauen, Gebäude-Performanceanalyse, thermischer Komfort und Nutzerzufriedenheit

Vorwort, Kapitel 1.1, 1.3, 2.2 (Koordination), 2.6 (Koordination)



Roman Wagner

Diplom-Ingenieur (FH) Fachrichtung Architektur (FH Lippe-Detmold), Master of Science (Nottingham Trent University und Waterford Institute of Technologies), Dr.-Ing. (TU Darmstadt)

Inhaber Dr. Wagner & Partner, Augsburg und Frankfurt, Dozent an der IREBS, Regensburg und der Hochschule Aschaffenburg, Mitglied in der RICS EU Advisory Group on Sustainability

Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Büro- und Organisationsplanung

Kapitel 2.7.4; 2.7.5

**Rotraut Walden**

Diplom-Psychologin (Universität Gießen), Dr. Sozial- und Umweltpsychologie (Universität Paderborn), Habilitation (Universität Koblenz-Landau)

Privatdozentin, Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Psychologie, Universität Koblenz-Landau

Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Architektur-, Arbeits-, Organisations-, Sozial- und Pädagogische Psychologie, International Building Performance Evaluation

Kapitel 2.5.4

**Andreas Wojtysiak**

Diplom-Biologe (TU Braunschweig), Dr. rer. nat. (Universität Duisburg/Essen)

Senior Scientist Light & Health bei Osram GmbH, Corporate Technology, Research & Innovation

Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Gesundheitliche Wirkungen neuer Technologien, nicht-visuelle Wirkungen von Licht, Wirkungen schwacher elektromagnetischer Emissionen

Kapitel 2.3.5; 2.6

Energieforschung für die Praxis

Nutzerzufriedenheit ist ein junges Forschungsthema. Ob beim Heizen oder Kühlen von Gebäuden, bei der Herstellung industrieller Güter oder beim Betrieb von Kommunikationsnetzen – Energie ist die Basis unseres heutigen Lebens. Doch wie lässt sich Energie zukunftsfähig nutzen? Daran arbeitet die Forschung, um die Energieeffizienz zu verbessern und erneuerbare Energien zu erschließen. BINE Informationsdienst vermittelt praxisrelevante Ergebnisse dieser Energieforschung – gründlich recherchiert und zielgruppenorientiert aufbereitet.



Projektinfos – Energieforschung konkret

Die vierseitigen BINE-Projektinfos informieren über die neuesten Ergebnisse aus Forschungs- und Demonstrationsvorhaben. Knapp und übersichtlich erfahren die Leser die wichtigsten Ergebnisse der Projekte.



Themeninfos – Energieforschung kompakt

BINE-Themeninfos fassen auf 20 Seiten projektübergreifend Ergebnisse aus Forschung und Praxis zusammen und dokumentieren so den aktuellen Stand zu Querschnittsthemen. Fachautoren erläutern die technischen und wissenschaftlichen Zusammenhänge, die BINE-Redaktion sorgt für die journalistische Qualität.



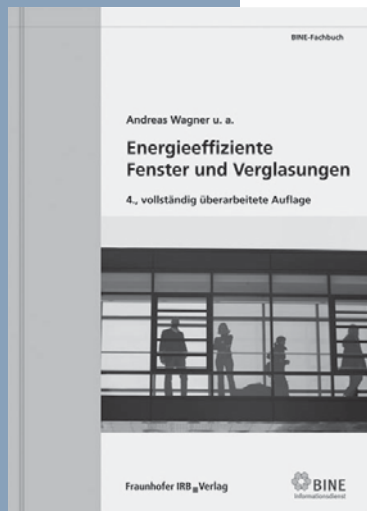
Das Portal zur Welt der Energieforschung

Die BINE-Website www.bine.info ist die Informationsplattform zur Forschung über effiziente Energienutzung und erneuerbare Energien.

BINE-News als Newsletter im Abonnement dokumentieren zeitnah die Fortschritte laufender Forschungsprojekte.

BINE-Abonnenten sind immer auf dem Laufenden über neue Ergebnisse aus der Energieforschung. Projekt- und Themeninfos können hier ebenso wie der Newsletter kostenfrei unter www.bine.info/abo abonniert werden.

Energieeffizienz am Bau



Energieeffiziente Fenster und Verglasungen

Andreas Wagner, u.a.

4., vollst. überarb. Aufl. 2013, 148 Seiten, zahlr. farb. Abb., Kartoniert

ISBN 978-3-8167-8749-5

E-Book: ISBN 978-3-8167-8750-1

Im Fokus dieses BINE-Fachbuchs für Planer, Architekten, Bauherren und Studierende stehen Verglasungen und Rahmen. Das Buch vermittelt hierfür das Know-how und zeigt Horizonte und Trends auf. Ziel ist dabei, durch Fenstertechnik den Energiebedarf für Heizen, Kühlen und Beleuchten zu senken. Schwerpunkte: Innovativer Sonnenschutz und Lichtlenkung; Gebäudehülle und Wärmeschutz; Berechnungsprogramme.



Bauteilaktivierung

Einsatz – Praxiserfahrungen – Anforderungen

Jens Pfafferott, Doreen Kalz, Roland Koenigsdorff

2015, 228 Seiten, zahl. Abb. u. Tab., Gebunden

ISBN 978-3-8167-9357-1

E-Book: ISBN 978-3-8167-9358-8

Die Bauteilaktivierung ermöglicht sowohl einen geringen Energieverbrauch als auch ein hohes Maß an thermischer Behaglichkeit. Das Fachbuch führt Ergebnisse aus langjährigen Forschungsarbeiten zusammen und leitet daraus Regeln und Anforderungen für den energieeffizienten Einsatz thermoaktiver Bauteilsysteme ab. Es werden Betriebsauswertungen und Praxiserfahrungen vorgestellt und Strategien zur optimalen Auslegung, Betriebsführung und Regelung der Systeme aufgezeigt.

Fraunhofer IRB Verlag

Der Fachverlag zum Planen und Bauen

Nobelstraße 12 · 70569 Stuttgart · Tel. 0711 9 70-25 00 · Fax -25 08 · irb@irb.fraunhofer.de · www.baufachinformation.de

Andreas Wagner | Gerrit Höfker | Thomas Lützkendorf
Cornelia Moosmann | Karin Schakib-Ekbatan | Marcel Schweiker

Nutzerzufriedenheit in Bürogebäuden

Empfehlungen
für Planung und Betrieb

In Bürogebäuden rückt die Nutzerzufriedenheit verstärkt in den Blickpunkt von Planern, Investoren und Arbeitgebern. Nur wenn sich Menschen am Arbeitsplatz wohlfühlen, können sie hohe Motivation und Leistungsbereitschaft zeigen. Die Zufriedenheit der Nutzer wird durch architektonische und gebäudetechnische Faktoren geprägt, die von Menschen subjektiv wahrgenommen und beurteilt werden.

Das Fachbuch möchte die Leser dafür sensibilisieren, wie sich die Nutzerzufriedenheit in den Planungsprozess integrieren, bewerten und beeinflussen lässt. Neben den durch die sensorische Wahrnehmung des Menschen bestimmten Themen thermischer, auditiver und visueller Komfort und Luftqualität geht es auch um architektur-psychologische Aspekte und deren Wechselwirkungen. Ein wichtiger Aspekt sind die Möglichkeiten für Nutzer, die Komfortbedingungen in ihrem Umfeld beeinflussen zu können.

Für dieses Fachbuch hat ein 24-köpfiges Autorenteam aus unterschiedlichen Forschungsdisziplinen seine Erfahrungen aufbereitet. Koordiniert wurde das Projekt u.a. von den Professoren Andreas Wagner und Thomas Lützkendorf vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

ISBN 978-3-8167-9305-2

