

Komfortforschung und Nutzerakzeptanz

Thermohygrischer, visueller und akustischer Komfort sowie Einflussnahme des Nutzers als Kriterien zur Nachhaltigkeitsbewertung von Bürogebäuden

Runa Tabea Hellwig; Gruppenleiterin Raumklimaqualität, Fraunhofer Institut für Bauphysik Holzkirchen

1 Einführung

Bisher wurde Nachhaltigkeit fast ausschließlich unter dem Aspekt der Kohlendioxidemissionen, verursacht durch den Verbrauch fossiler Energie, betrachtet. Mit der Einführung der EN 15251 (2007) „Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik“ jedoch wurde das Thema thermohygrischer, akustischer, visueller und olfaktorischer Komfort der Nutzer von Gebäuden erfreulicherweise neben der rein energetischen Betrachtung in den Focus der Planer gerückt. Nicht nur dass das vorherrschende Raumklima in Gebäuden aus Gründen der Vergleichbarkeit bei der Zertifizierung des Energiebedarfs ebenfalls vergleichbar sein sollte. Die Auslegungsparameter und Betriebsparameter des Raumklimas selbst beeinflussen maßgeblich den Energieverbrauch.

Nachhaltigkeit bedeutet nicht nur die Schutzgüter natürliche Umwelt und natürliche Ressourcen zu schonen, sondern auch die Gesundheit und Behaglichkeit in Gebäuden sicherzustellen sowie ökonomische, soziale und kulturelle Werte zu erhalten. Letztlich gilt es mit Hilfe eines Werkzeuges zur Bewertung der Nachhaltigkeit ein menschengerechtes Umfeld zu gestalten. Dazu wurde in Deutschland ein Gütesiegel für nachhaltiges Bauen entwickelt, dessen grundsätzlicher Aufbau in Gertis et al. (2008) beschrieben und diskutiert wird.

2 Komfort und Nutzerakzeptanz im Deutschen Gütesiegel für Nachhaltiges Bauen

Im Deutschen Gütesiegel für Nachhaltiges Bauen DGNB (2009) werden die Hauptkriteriengruppen ökologische Qualität, ökonomische Qualität sowie soziokulturelle und funktionale Qualität unterschieden. Diesen drei Kriterien werden die technische Qualität und die Prozessqualität als zwei weitere Hauptkriteriengruppen überlagert. Tabelle 1 zeigt die Kriteriengruppen, die der Hauptkriteriengruppe soziokulturelle und funktionale Qualität zugeordnet werden. Die Kriteriengruppe Gesundheit, Behaglichkeit und Nutzerzufriedenheit umfasst wiederum Kriterien, deren Bewertungsmaßstäbe in sogenannten Steckbriefen beschrieben werden. Im Folgenden werden einzelne Bewertungskriterien näher erläutert.

Tab. 1: Zusammensetzung der Hauptkriteriengruppe soziokulturelle und funktionale Qualität aus den einzelnen Kriterien. Die Bewertungsmaßstäbe für die nummerierten Einzelkriterien werden durch sogenannte Steckbriefe beschrieben. Der Bedeutungsfaktor gibt das Gewicht der Einzelkriterien an (DGNB 2009)

Hauptkriteriengruppe	Kriteriengruppe	Nr.	Kriterium	Bedeutungsfaktor
Soziokulturelle und funktionale Qualität	Gesundheit, Behaglichkeit und Nutzerzufriedenheit	18	Thermischer Komfort im Winter	2
		19	Thermischer Komfort im Sommer	3
		20	Innenraumluftqualität	3
		21	Akustischer Komfort	1
		22	Visueller Komfort	3
		23	Einflussnahme des Nutzers	2
		24	Gebäudebezogene Außenraumqualität	1
	Funktionalität	25	Sicherheit und Störfallrisiken	1
		26	Barrierefreiheit	2
		27	Flächeneffizienz	1
		28	Umnutzungsfähigkeit	2
		29	Öffentliche Zugänglichkeit	2
	Gestalterische Qualität	30	Fahrradkomfort	1
		31	Sicherung der gestalterischen und städtebaulichen Qualität im Wettbewerb	3
32		Kunst am Bau	1	

3 Thermohygrischer Komfort

Zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit wird von Hauser und Hellwig (2008) derzeit zwischen dem thermischen Komfort im Sommer und dem thermischen Komfort im Winter unterschieden. Beide Kriterien setzen sich aus den Unterkriterien:

- operative Temperatur
- Zugluft
- Strahlungstemperaturasymmetrie
- relative Luftfeuchte
- vertikaler Temperaturgradient

zusammen, deren Grundlagen und Anwendbarkeit in Hellwig et al. (2008) dargestellt werden. Die Einzelbewertung dieser Größen ergibt eine Gesamtbewertung für den thermischen Komfort im Sommer bzw. im Winter.

3.1 Operative Temperatur

Die in Normen und Regelwerke aufgenommenen Behaglichkeitsmodelle zur Bestimmung von behaglichen Raumtemperaturen lassen sich in zwei Gruppen einteilen. In Amerika wurden vorwiegend empirisch Modelle für die Behaglichkeit des Menschen in Innenräumen ermittelt. In Europa wurden Modelle auf der Grundlage physiologischer Untersuchungen entwickelt. Dazu gehört das PMV-PPD-Modell, das Fanger 1970 veröffentlichte. Dieser Ansatz bestimmt ein vorhergesagtes mittleres Votum (PMV) von Personengruppen und sagt in Abhängigkeit davon einen zu erwartenden Anteil unzufriedener Personen (PPD) voraus. Das PMV wird nach EN ISO 7730 (2006) aus den vorherrschenden Umgebungsparametern Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte sowie dem Aktivitätsgrad der Personen und deren Bekleidungs-dämmung ermittelt.

Ein wichtiges empirisch ermitteltes Modell ist der von de Dear et al. (1997) entwickelte adaptive Ansatz, der inzwischen im ASHRAE Standard 55 (2004) aufgenommen wurde. Durch Auswertung von Feldstudien konnte festgestellt werden, dass die aus dem oben beschriebenen Fangerschen Modell resultierenden Komforttemperaturbereiche nicht auf Gebäude, deren Temperatur sich ausschließlich durch Fensteröffnen und -schließen ergibt, übertragbar sind.

Basierend auf Untersuchungen von Humphreys und Nicol in den 70er Jahren wurde im SCATs Projekt ebenfalls ein adaptiver Ansatz entwickelt Nicol und McCartney (2000). Dieser Ansatz wurde in EN 15251 (2007) übernommen. Dabei wird ein gleitender Mittelwert der Außentemperatur als Bezugsgröße verwendet. Die resultierenden operativen Temperaturen gelten hauptsächlich für Bürogebäude und Gebäude ähnlichen Typs, die für Nutzung durch Personen mit hauptsächlich sitzenden Tätigkeiten vorgesehen sind, sowie 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.

Operative Temperatur im Winter

Als Indikator wird die operative Temperatur oder Raumtemperatur herangezogen. Sie ergibt sich bei niedrigen Luftgeschwindigkeiten annähernd als Mittelwert aus der Lufttemperatur und der mittleren Umschließungsflächentemperatur.

Da unsere Gebäude im Winter beheizt werden, ist nach EN 15251 (2007) das Verfahren für maschinell geheizte und gekühlte Gebäude (Fangerschers PMV-Modell) anzuwenden. Für die Anwendung dieses Verfahrens müssen die Anwendungsbereiche berücksichtigt werden. Das Verfahren gilt für konstante Umgebungsbedingungen, kann aber auch bei geringen Schwankungen einer oder mehrerer Parameter des Raumklimas verwendet werden EN ISO 7730 (2006). Um mit dem Modellansatz nach Fanger rechnen zu können, ist es nicht nur notwendig, einen Aktivitätsgrad der Nutzer festzulegen. Auch die Bekleidungs-dämmung muss bekannt sein. Nach EN 15251 (2007) ist mit 1,0 clo im Winter und 0,5 clo im Sommer zu rechnen. Es ist möglich eine Auslegung nach diesen Bekleidungs-dämmwerten vorzunehmen. Eine Regelung der Anlage kann danach jedoch nicht erfolgen. Da es keinen Bezug zur Außenlufttemperatur gibt, ist nicht klar, wann nach dem

Fangerschen Modell von Winter auf Sommer „umgeschaltet“ wird (siehe Abbildung 1, links). Nach dem Steckbrief für die operative Temperatur im Winter sollen sich die Raumtemperaturen in einem Bereich zwischen 20 und 24° C bewegen. Dies entspricht Kategorie II nach EN 15251 (2007). Soll die volle Punktzahl erreicht werden, so ist neben einer Dokumentation der Auslegung der Heizung das Einhalten dieser Raumtemperaturen über eine thermische Gebäudesimulation mit Klimadaten des jeweiligen Standortes nachzuweisen. Als Mindestanforderung gilt die Dokumentation der Heizungsauslegung mit dem unteren Wert des Temperaturbereiches nach EN 15251 (2007) Kategorie II von 20° C. Es sind keine Unterschreitungen dieser Temperatur erlaubt. Der Maximalwert kann in 3 % der Nutzungszeit überschritten werden.

Operative Temperatur im Sommer

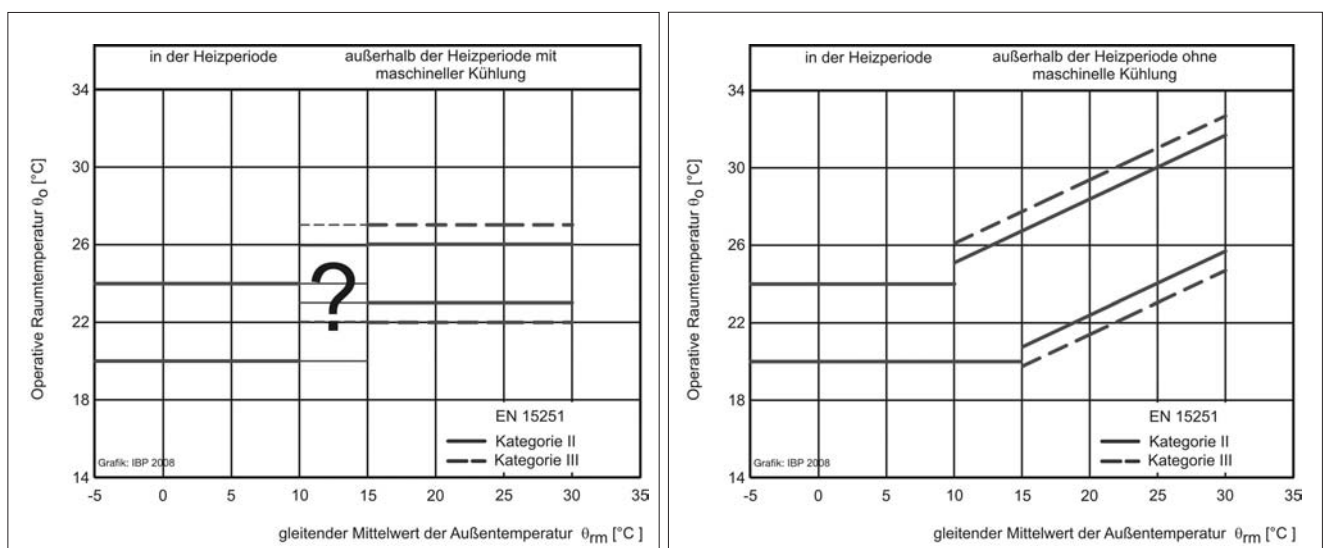
Gertis et al. 2008 nennen als 1 Hauptsatz der Bauphysik den Grundsatz: „Zuerst klimagerecht bauen, dann bauwerksgerecht klimatisieren!“. Mit Hilfe von DIN 4108-2 (2003) werden bauliche Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz vorgegeben. Dies erfolgt mit dem Ziel, moderate Innentemperaturen allein durch bauliche Maßnahmen zu erreichen, sofern das Gebäude keine besonders hohen internen Wärmelasten aufweist. Die Anforderungen von DIN 4108-2 (2003) werden als Mindestanforderungen definiert. Der Nachweis muss in jedem Fall erfolgen.

Zusätzlich sind über eine dynamische thermische Gebäudesimulation die erreichbaren Operativtemperaturen und eine maximale Überschreitungszeit nachzuweisen. Als Grenzwert sind die operativen Temperaturen nach EN 15251 (2007) Kategorie III bei einer zulässigen Überschreitungszeit von 10 % einzuhalten. Mehr Punkte werden vergeben, wenn die operativen Temperaturen nach EN 15251 (2007) Kategorie II bei einer zulässigen Überschreitungszeit von 6 % eingehalten werden. Werden diese Temperaturen in nur 3 % der Nutzungszeit überschritten wird die volle Punktzahl vergeben.

Nach EN 15251 (2007) ist zur Bestimmung des zulässigen Temperaturbandes der Kategorien zwischen „maschinell geheizten und gekühlten Gebäuden“ und „Gebäude ohne Heizung (nicht in Betrieb) und ohne Kühlung“ zu unterscheiden. Der oben beschriebene adaptive Ansatz gilt nur für letztere Gebäude. Dabei grenzt die Norm die Anwendung des adaptiven Ansatzes wie folgt ein:

- 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.

Abb. 1: Die optimalen Temperaturbereiche für sitzende Bürotätigkeit für Bürogebäude nach EN 15251 (2007). Links: Für Gebäude mit Heizung und maschineller Kühlung, kein Außentemperaturbezug, Rechts: Für Gebäude mit Heizung und ohne maschinelle Kühlung, mit Außentemperaturabhängigkeit.



- 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 Dress-Code im Gebäude vorgeschrieben sein.

Die Anwendung der Sommer-Komfortkriterien erfolgt für die Zeiten, in denen nicht mehr geheizt werden muss.

Die Abbildung 1 zeigt die zulässigen Temperaturen für Gebäude mit maschineller Kühlung auf der linken Seite und für Gebäude ohne maschinelle Kühlung auf der rechten Seite für Zeiten innerhalb und außerhalb der Heizperiode.

3.2 Lokale thermische Unbehaglichkeitsphänomene

Die im folgenden genannten Kriterien zur Bewertung lokaler Unbehaglichkeitsphänomene sind sowohl für den Sommer als auch für den Winterfall anzuwenden und sind Bestandteil sowohl der Steckbriefe ‚Thermischer Komfort im Sommer‘ als auch ‚Thermischer Komfort im Winter‘.

Zugluft

Zu-Kalt-Empfinden wird nach Mayer und Schwab (1990) entweder ausgelöst durch Unterschreiten der Kaltschwelle oder durch Zugluftempfinden. 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 aber in der Regel der Nutzer Zuglufterscheinungen selber abstellen.

Das anzuwendende Zugluftmodell nach EN ISO 7730 (2006) benötigt als Eingangsparameter die Raumlufttemperatur, die mittlere Luftgeschwindigkeit und die Standardabweichung der Luftgeschwindigkeit (bzw. Turbulenzgrad). Wenn im Ganzen thermische Behaglichkeit gegeben ist (Erfüllung des Kriteriums ‚Operative Temperatur im Sommer bzw. Winter‘), dann kann mit diesem Modell der Anteil der Unzufriedenen aufgrund von Zugluftempfinden bestimmt werden. Es ist die Kategorie B nach EN ISO 7730 2006 einzuhalten; das entspricht einem Anteil von weniger als 20 % Unzufriedenen. Für Mischlüftung ist dabei von einem Turbulenzgrad von 40 bis 50 % auszugehen, für Quelluft von 20 bis 25 % (VDI 3804 2008). Das Verfahren ist anwendbar in Temperaturbereichen von 20 bis 26° C. Für Gebäude ohne RLT-Anlagen und unter Einhaltung des Zielwertes des mittleren U-Wertes für transparente Bauteile nach Steckbrief ‚Energie- und feuchtschutztechnische Qualität der Gebäudehülle‘ gilt die Anforderung als eingehalten.

Strahlungstemperaturasymmetrie

Eine asymmetrische Strahlungstemperatur kann ebenfalls zu Unbehaglichkeit führen. Vor allem eine durch warme Decken oder kalte Wände (Fenster) verursachte asymmetrische Strahlung wird von den Menschen als unangenehm empfunden.

Durch die verbesserte Wärmedämmung (Begrenzung HT') sind in Neubauten in der Regel keine Beschwerden wegen zu kühler oder zu warmer Wände zu erwarten. Wird die Decke zum Heizen verwendet, kann Unbehaglichkeit auftreten. Die maximale Oberflächentemperatur darf nach (Olesen und Hellwig 2007) bei einer Raumhöhe von 2,4 m und einer Asymmetrie von max 5 K 30°C nicht überschreiten. Bei Deckenkühlung ist die Taupunkttemperatur und nicht die Asymmetrie das Auslegungskriterium. Für die Praxis können folgende Anhaltswerte für die Oberflächentemperatur von großflächigen Bauteilen abgeleitet werden (VDI 3804 2008):

- Decke minimal 16 °C
- Decke maximal 35 °C
- Glasflächen der Fassade/ Wand minimal 18 °C
- Glasflächen der Fassade/ Wand maximal 35 °C
- Fußboden minimal 19 °C
- Fußboden maximal 29 °C

Werden diese Temperaturen über- bzw. unterschritten so gilt das Kriterium als erfüllt. Bei beheizten Bauteilen erfolgt der Nachweis über die Dokumentation der Auslegung. Bei unbeheizten Bauteilen über die Berechnung der Oberflächentemperatur auf der Innenseite des Bauteils unter Ansatz einer Außentemperatur von -5°C und einer Innentemperatur von 22°C .

Vertikaler Temperaturgradient

Ein hoher vertikaler Lufttemperaturunterschied im Bereich zwischen Kopf und Fußgelenk kann zu Unbehaglichkeit führen. Durch die Art der Beheizung (Anordnung Heizkörper, Luftheizung) bzw. Kühlung (Nutzung der Fußbodenheizung zur Kühlung) und Belüftung (Quellluft, Mischluft, Fensterlüftung) ergeben sich unterschiedliche vertikale Temperaturgradienten. Mit zunehmend verstärkter Dämmung verringern sich jedoch die Abhängigkeiten von der Beheizungsform. Für Luftheizungssysteme sollte ein sehr hoher Wärmeschutz vorliegen. Für die Auslegung von Quellluftsystemen ist eine Vermeidung der Phänomene durch entsprechende Planung möglich. In anderen Fällen ist dies nur durch eine Strömungssimulation nachweisbar. Für Fußbodenkühlung sollten Grenzwerte für die maximale Kühlleistung über den Fußboden festgelegt werden. Ein einheitliches Berechnungsverfahren für die Bewertung des vertikalen Temperaturgradienten steht derzeit noch nicht zur Verfügung. Das Unterkriterium gilt daher bislang als eingehalten.

3.3 Luftfeuchte

Literatursauswertungen und eigene Messungen des Instituts für Bauphysik haben ergeben, dass der Mensch die relative Luftfeuchte in den in Gebäuden mit Büro- oder ähnlicher Nutzung auftretenden Bereichen nicht direkt wahrnehmen kann (von Hahn 2007, Bischof et al. 2003, Frank 1975). Die relative Luftfeuchte hat in den in Bürogebäuden üblicherweise auftretenden Bereichen einen unbedeutenden Einfluss auf die thermische Behaglichkeit.

Nach EN 15251 (2007) braucht die Raumluft üblicherweise nicht befeuchtet zu werden. Jedoch verursacht lang andauernde hohe Raumluftfeuchte mikrobielles Wachstum, während sehr niedrige Luftfeuchte ($< 20\%$) Trockenheit und Reizungen der Augen und Luftwege verursachen kann. Die Anforderungen an die Luftfeuchte beeinflussen die Auslegung von Entfeuchtungs- (Kühllast) und Befeuchtungsanlagen und den Energieverbrauch. Üblicherweise ist keine Befeuchtung oder Entfeuchtung der Raumluft erforderlich; werden jedoch Befeuchtungs- und/oder Entfeuchtungsanlagen eingesetzt, so sollte eine übermäßige Befeuchtung und Entfeuchtung vermieden werden. Die relative Luftfeuchte sollte Werte über 25% erreichen. Als obere Begrenzung der absoluten Luftfeuchte (Schwüleempfinden bei hohen Temperaturen) sollten $12\text{ g Wasser je kg trockene Luft}$ nicht überschritten werden. Für Gebäude ohne RLT-Anlagen gilt die Anforderung als eingehalten.

4 Akustischer Komfort

Ein niedriger Stör- und Fremdgeräuschpegel sowie eine gute Sprachverständlichkeit in Räumen werden angestrebt, um die Nutzer nicht zu beeinträchtigen.

Das Kriterium setzt sich aus den Unterkriterien:

- mittlerer resultierender Gesamtschalldruckpegel LA,F,Ges in dB(A) , als Ausdruck des Störgeräuschniveaus,
- Nachhallzeit T in s , bezogen auf die Werte nach DIN 18041 (2004),
- bei Mehrpersonenbüros zusätzlich Schallausbreitungsdämpfung DA in dB/m zusammen.

Der mittlere resultierende Gesamtschalldruckpegel ergibt sich aus dem Steckbrief 34 Schallschutz. Zusätzlich darf als Grenzkriterium die Nachhallzeit eines Raumes maximal 1 s betragen. Volle Punktzahl ergibt sich bei Unterschreitung einer Nachhallzeit von $0,8\text{ s}$. Bei Mehrpersonenbüros soll zusätzlich die Schallausbreitungsdämpfung mindestens 6 dB/m betragen. Die Nachhallzeit wird ermittelt durch Berechnung oder Messung. Mobilien darf nur dann einbezogen werden, wenn es Teil des Architektur- und Gebäudekonzeptes ist.

5 Visueller Komfort

Visueller Komfort soll durch ausgewogene Beleuchtung ohne nennenswerte Störungen wie Direkt- oder Reflexblendung, ein ausreichendes Beleuchtungsniveau sowie durch die individuelle Anpassung an die jeweiligen Bedürfnisse erreicht werden. Von hoher Bedeutung für die Zufriedenheit am Arbeitsplatz ist der Ausblick, der über Tageszeit, Ort, Wetterbedingungen etc. informiert. Weitere Kriterien sind Blendfreiheit, Lichtverteilung und Lichtfarbe im Raum. Die Anforderungen gelten für Tageslicht- und Kunstlichtbeleuchtung.

Zur Bewertung des visuellen Komforts werden von Schuster(2008) folgende Unterkriterien herangezogen:

- Tageslichtverfügbarkeit Gesamtgebäude
- Tageslichtverfügbarkeit ständige Arbeitsplätze
- Sichtverbindung nach außen
- Blendfreiheit Tageslicht
- Blendfreiheit Kunstlicht
- Lichtverteilung Kunstlicht
- Farbwiedergabe und Lichtfarbe

Tageslichtverfügbarkeit Gesamtgebäude und ständige Arbeitsplätze

Eine gute Tageslichtnutzung bietet ein hohes Energieeinsparpotential für künstliche Beleuchtung und Kühlung. Ziel ist es, das gesamte Gebäude möglichst gut mit Tageslicht zu versorgen. Daher sollen mindestens 50 % der Nettogrundfläche des Gebäudes einen Tageslichtquotienten von mindestens 1 % aufweisen. Eine sehr gute Bewertung wird bei einem Tageslichtquotienten ab 2 % erreicht, der auf mindestens 50 % der Nettogrundfläche erreicht wird. Zusätzlich wird für jeden Büroraum die Nutzbelichtung unter Berücksichtigung der Fassadeneigenschaften ermittelt. Die jährliche relative Nutzbelichtung stellt die Tageslichtversorgung über die Nutzungszeit dar und gibt einen guten Hinweis über die Tageslichtversorgung in Innenräumen abhängig vom Gebäudeentwurf, dem Standort, der Fassadenlösung und den eingesetzten Sonnenschutz- und/ oder Blendschutzsystemen. Es muss mindestens eine Nutzbelichtung von 45 % erreicht werden. Die volle Punktzahl wird bei einer jährlichen relativen Nutzbelichtung von mehr als 80 % vergeben. Es wird das Verfahren nach DIN V 18599 (2005) angewendet.

Sichtverbindung nach außen

Eine Sichtverbindung an Arbeitsplätzen nach außen ist im Sinne einer dem Nutzer zuträglichen Planung für die Zufriedenheit in ständigen genutzten Räumen notwendig. Der Nachweis erfolgt anhand der DIN 5034 (1999, 1985, 2007). Es muss mindestens ein Durchsichtsanteil der Wandfläche von innen von 30 % erreicht werden. Die höchste Punktezahl wird vergeben, wenn eine erhöhte Sichtverbindung mit einem Durchsichtsanteil von 40 % und gleichzeitig eine durch feststehende Elemente ungestörte Sichtverbindung gegeben ist.

Blendfreiheit Tageslicht und Blendfreiheit Kunstlicht

Blendung in Bürogebäuden ist ein wichtiges Thema. Die Blendfreiheit bei Tageslicht wird über eine qualitative Beurteilung abgeprüft. Durch den Blendschutz werden zu hohe Leuchtdichtekontraste zwischen Arbeitsplatz und Fenster vermindert. Die Blendschutzvorrichtung kann identisch mit der Sonnenschutzvorrichtung sein. Besser ist es, wenn der Blendschutz eine eigenständige Einrichtung ist, die individuell geregelt und in der Position verändert werden kann.

Als Mindestanforderung ist die Bildschirmarbeitsplatzverordnung (BildscharbV 1996) einzuhalten. Nach BildscharbV sind Bildschirmarbeitsplätze so einzurichten, dass leuchtende oder beleuchtete Flächen keine Blendung verursachen und Reflexionen auf dem Bildschirm soweit wie möglich vermieden werden. Die Fenster müssen mit einer geeigneten verstellbaren Lichtschutzvorrichtung ausgestattet sein, durch die sich die Stärke des Tageslichteinfalls auf den Bildschirmarbeitsplatz vermindern lässt. Mehr Punkte werden bei automatisch oder halbautomatisch bzw. individuell betriebenem Sonnen- und / oder Blendschutz mit Direktlichtausblendung und die höchste Punktezahl bei lichtlenkenden Systemen in Kombination mit Blendschutz mit Direktlichtausblendung vergeben. Die Blendfreiheit für Kunstlicht ist nach der gegebenen europäischen Norm EN 12464 (2003) einzuhalten.

Arbeiten von Wienold et al. (2005) und Wienold und Christoffersen (2006) kommen zu dem Schluss, dass bestehende Blendungsbewertungsverfahren zur Bewertung von Blendung in Büroräumen mit Tageslicht ungeeignet sind. Besonders wichtig scheint die Erkenntnis, dass die Fassadenleuchtdichte, die in einigen Bewertungsverfahren verwendet wird, nicht mit den Antworten der Probanden korrelierte. Vielmehr scheint die neu entwickelte DGP (Daylight Glare Probability) basierend auf der vertikalen Beleuchtungsstärke am Auge unter Einbeziehung von Blendquellen eine wesentlich bessere Korrelation zu liefern. Zur Priorisierung von Blendung und Aussicht kamen Wienold et al. (2005) zu der Erkenntnis, dass Probanden einen gewissen Grad an Blendung akzeptieren, wenn der Sichtkontakt nach außen erhalten bleibt. Die Probanden hatten dabei die Möglichkeit am Ende eines Versuches die Einstellung des Sonnenschutzes nach ihren Vorlieben einzustellen. Keiner der 18 Probanden beließ den Sonnenschutz im geschlossenen Zustand.

Lichtverteilung, Farbwiedergabe und Lichtfarbe

Die Beleuchtungsstärken sowie die Gleichmäßigkeit für Kunstlichtbeleuchtung sind in der EN 12464 (2003) verbindlich geregelt und müssen eingehalten werden. Rein qualitativ wird die Bewertung der Art der Beleuchtung vorgenommen. Eine kombinierte Direkt-Indirektbeleuchtung ist einer reinen Direktbeleuchtung vorzuziehen. Eine bessere Bewertung wird zusätzlich erzielt, wenn dies mit einer Einzelplatzregelung kombiniert wird.

Die Farbwiedergabe und Lichtfarbe bei Tages- und Kunstlichtbedingungen hat Auswirkungen auf die Wahrnehmung und Akzeptanz der Nutzer (DIN 6169 1976, EN 12464 2003, DIN 5035-7 2004). Dabei wird grundsätzlich eine dem Tageslicht ähnliche Lichtfarbe positiv beurteilt und trägt zu hoher Akzeptanz bei. Sowohl Kunstlichtquellen als auch Sonnenschutz-, Blendschutz- und Tageslichtsysteme können in ihrer Farbwiedergabe und dem resultierenden Farbspektrum stark vom Tageslichtspektrum abweichen. Für die Farbwiedergabe bei Kunstlicht in ständig genutzten Räumen ist ein Farbwiedergabeindex von mindestens Ra 80 einzuhalten. Mehr Punkte werden bei höheren Werten vergeben. Der Ansatz der Farbwiedergabe wird auch auf die Kombination von Verglasung und Sonnen- bzw. Blendschutz übertragen.

6 Einflussnahme des Nutzers

Das Raumklima wird in den durch Normen festgelegten Bereichen durch Lüftungs- und Klimaanlage, Beleuchtungssysteme und Fassaden als Schnittstelle zum Außenklima beeinflusst bzw. eingestellt. Das Zusammenwirken der technischen Ausstattung eines Gebäudes mit dem Gebäude selbst bestimmt den Energiebedarf eines Gebäudes. Durch die Ansprüche der Nutzer an das Raumklima und sein Verhalten wird der Energieverbrauch wesentlich mitbestimmt. Oft ist es aber so, dass der Nutzer beispielsweise auf die raumlufttechnische Anlage keinen Einfluss nehmen kann. In den letzten Jahren wurde durch den Einsatz intelligenter Regelungssysteme versucht, dem Nutzer Unterstützung zu geben. Dadurch können erhebliche Energieeinsparpotenziale erschlossen werden. Voraussetzung dafür ist einerseits, die Ansprüche und Erwartungen der Nutzer an das Raumklima zu verstehen und dem Nutzer in dem Maße Einfluss auf die Systeme zu verschaffen, die ihm auch die Gewissheit einer Einflussnahmemöglichkeit vermitteln. Andererseits sollen intelligente Regelungssysteme dazu führen, dass bei Abwesenheit der Nutzer alle Systeme für einen niedrigen Energieverbrauch zusammenarbeiten.

Von Leaman und Bordass (1999) wird gezeigt, dass die selbstbewertete Produktivität signifikant mit der empfundenen Einflussnahmemöglichkeit der Personen auf Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung und Geräusche (Lärm) verknüpft ist. Die Möglichkeit der Einflussnahme auf die Raumtemperatur durch den Nutzer verringert nach Bischof et al. (2003) die Prävalenz an Befindlichkeitsstörungen. Hellwig (2005) nennt folgende Möglichkeiten, das Raumklima beeinflussen zu können:

- offene Fenster
- Sonnenschutz/ Blendschutz
- Türen
- Ventilatoren (lokaler Einsatz im Sommer)
- Thermostatventile
- Beleuchtung

Die Quantifizierung des Einflusses auf die Zufriedenheit der Gebäudenutzer ist jedoch noch nicht gelungen. Die von Personen empfundene Einflussnahmemöglichkeit wird mit steigender Anzahl der Personen im Raum eingeschränkt (Wilson und Hedge 1987). Hellwig et al. (2006) zeigen, dass die empfundene Möglichkeit das Raumklima zu beeinflussen in Gebäuden mit Fensterlüftung deutlich höher ist als in Gebäuden mit RLT-Anlagen. In Gebäuden mit RLT-Anlagen empfinden in dieser Untersuchung die Befragten eine geringe Einflussmöglichkeit bei nicht öffnbaren Fenstern oder wenn mit Luft beheizt wird. Beide Konstellationen sind aber häufig gekoppelt. Welche Konstellationen von Gebäude und Anlagentechnik ursächlich für die Einschätzung der Nutzer verantwortlich sind, ist noch ungeklärt. Bei der Beurteilung des Einflusses auf die Lichtverhältnisse sind die Unterschiede nicht so groß: 74 % der Befragten in frei belüfteten Gebäuden bzw. 64 % der Befragten in Gebäuden mit RLT-Anlagen geben an, sie könnten Einfluss auf die Lichtverhältnisse nehmen. Insgesamt wünschen sich aber knapp 85 % der Befragten Einfluss auf das Raumklima.

In der Niederländischen Richtlinie ISSO 74 2004 werden zwei thermische Behaglichkeitsmodelle (grundsätzlich vergleichbar mit EN 15251 2007) zur Bestimmung der optimalen Temperaturbereiche angegeben. Die Wahl des „richtigen“ adaptiven Modells erfolgt je nach dem ob es sich um ein Gebäude mit vielen und wenigen Einflussmöglichkeiten handelt. Dies wird über ein Flussdiagramm ermittelt. Ein ähnliches Vorgehen schlägt eine Richtlinie des deutschen Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung BMVBS (2008) vor (Abbildung 2).

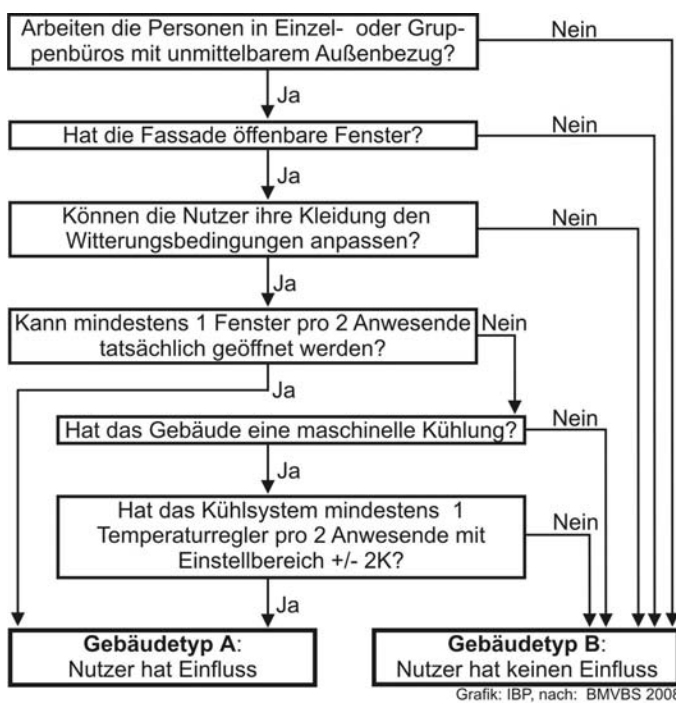


Abb. 2: Entscheidungsbaum zur Bestimmung des Gebäudetyps. Zu Gebäudetyp A gehören Gebäude bei denen der Nutzer Einfluss auf die Temperatur hat. In Gebäudetyp B hat der Nutzer keinen Einfluss auf die Raumtemperatur. Nach BMVBS (2008).

Abweichend von der Definition „maschinell beheizte und/oder gekühlte Gebäude“ bzw. „Gebäude ohne maschinelle Kühlung“ in EN 15251 2007 (siehe auch Abschnitt 3) werden die Gebäude wie folgt definiert:

Typ A: Gebäude, in denen der Nutzer Einfluss auf das Raumklima hat. Für diese Gebäude sind die Kriterien für „Gebäude ohne maschinelle Kühlung“ anzuwenden.

Typ B: Gebäude, in denen der Nutzer keinen Einfluss auf das Raumklima hat. Für diese Gebäude sind die Kriterien für „maschinell beheizte und/oder gekühlte Gebäude“ anzuwenden.

Damit wird der Gebäudetyp nicht über die Belüftungsform („maschinell gekühlt“ oder „natürlich belüftet“), sondern über die Erwartungshaltung der Nutzer (effektiver Nutzereinfluss und Möglichkeit zur thermischen Adaption) definiert.

Ein Ansatz aus FGK (2009) definiert eine hohe Einflussnahmemöglichkeit des Nutzers durch das Vorhandensein einer individuellen Raumtemperaturregelung, die einen Regelbereich der Raumtemperatur von ± 3 K als sehr gut und von ± 2 K als gut einstuft.

Der Steckbrief des Deutschen Gütesiegels für nachhaltiges Bauen, der die potentielle Möglichkeit der Einflussnahme des Nutzers beschreibt (Hauser 2008), gliedert sich in die Unterkriterien:

- Lüftung
- Sonnenschutz
- Blendschutz
- Temperaturen in der Heizperiode
- Temperaturen außerhalb der Heizperiode
- Tages- und Kunstlicht

Lüftung

Ausgehend von dem Fall mit dem geringsten Potential an Einflussnahme, dem Büroraum mit nicht öffenbaren Fenster und zentral vorgegebenen Volumenströmen über die RLT- Anlage, wird einem Büro mit individuell öffenbaren Fenstern bereits ein höheres Potential an Einflussnahme zugesprochen. Besser bewertet werden Fensterlüftung in Kombination mit der Option intensiver Nachtlüftung im Sommer oder einer Zuluftkühlung über einen Erdreichwärmetauscher. Die höchste Punktwertung erhält ein Raum mit individuell öffenbaren Fenstern, individuell einstellbaren Volumenströmen an einer RLT-Anlage oder sensorgesteuerte Lüftungsklappen.

Nicht genau definiert sind derzeit die Begriffe individuell und die Zuordnung des Falls eines typischen Bürogebäudes mit RLT-Anlage bei gleichzeitig öffenbaren Fenstern.

Sonnenschutz und Blendschutz

Bei automatisierten Sonnenschutzsystemen spielt die Zeitkonstante mit der der Sonnenschutz auf die Witterungsbedingungen (Sonne, Wind) reagiert eine große Rolle bei der Akzeptanz durch die Nutzer. Daher erhalten Systeme mit fassadenweiser automatischer Aktivierung mit kleinen Zeitkonstanten und ohne individuelle Eingriffsmöglichkeit die geringste Punktzahl. Eine ausschließlich individuelle Aktivierung ist bereits besser zu bewerten. Wird diese Option ergänzt durch eine fassadenweise Automatisierung mit großen Zeitkonstanten so wird das System weiter verbessert. Die höchste Punktzahl wird für eine raumweise automatischer Aktivierung mit individuell einstellbaren Zeitkonstanten und individueller Eingriffsmöglichkeit vergeben. Fehlt ein Sonnenschutz, weil der bauliche Wärmeschutz ohne ihn auskommt, so ist dies natürlich ebenfalls positiv zu bewerten. Im Steckbrief wird der gleiche Ansatz für die Bewertung des Blendschutzsystemes gewählt.

Temperaturen in der Heizperiode

Wenn die Temperaturen in der Heizperiode vom Nutzer nicht beeinflusst werden können, wie z.B. bei Luftheizungssystemen und zentralen RLT-Anlagen, die nur eine Raumtemperatur für sehr große Bereiche anbieten, so wird die geringste Punktzahl zugeordnet. Kann die Temperatur dagegen bereichsweise eingestellt werden, so stellt sich dies bzgl. der empfundenen Einflussnahmemöglichkeit für die Nutzer bereits besser dar. Allerdings fehlt derzeit eine genaue Definition des Begriffes „bereichsweise“. Hier muss sicherlich ergänzt werden, ob es sich um Großraumbüros oder doch eher um kleinere Gruppenbüros handelt. Sehr gut bewertet der Steckbrief individuell vorgebbare Temperatursollwerte wie z.B. in Ein- oder Zwei-Personenbüros mit Heizkörpern und Thermostatventilen oder mit einer Einzelraumregelung bei dezentralen Lüftungsgeräten.

Temperaturen außerhalb der Heizperiode

Ein ähnliches Vorgehen erfolgt für das Kriterium ‚Temperaturen außerhalb der Heizperiode‘. Bei nicht klimatisierten Räumen ist natürlich kein Temperatursollwert vorgebbbar und es wird nicht die maximale Punktzahl vergeben.

Tages- und Kunstlicht

Der Grenzwert wird definiert über eine raumweise vorgegebene Kunstlichtbeleuchtung ohne individuelle Eingriffsmöglichkeit. Dies ist der Fall in vielen Großraumbüros aber auch in Gruppenbüros. Wird zusätzlich eine individuelle Arbeitsplatzbeleuchtung vorgesehen, wird eine bessere Bewertung erzielt. Präsenz- oder tageslichtgesteuerte Kunstlichtsysteme oder beeinflussbare Tageslichtlenksysteme in Kombination mit einer individuellen Arbeitsplatzbeleuchtung erhalten eine höhere Punktzahl.

8 Zusammenfassung

Die Raumklimaforschung hat in den letzten Jahren viele neue Erkenntnisse gewonnen. Für die Planungspraxis müssen Komfortmodelle eine möglichst genaue Vorhersage erlauben. Viele der bisher erkannten raumklimatischen Einflüsse können heute schon quantifiziert werden. Erste Erkenntnisse über das Empfinden der Nutzer Einfluss auf ihr Raumklima auszuüben liegen ebenfalls vor. Die hier gezeigten Beschreibungen von Kriterien in Steckbriefen spiegeln den Stand des Wissens wieder. Es wurde aber auch gezeigt, dass noch nicht alle Kriterien abschließend quantifizierbar oder

bewertbar sind. Für einige dieser Kriterien sind einfache, in der Praxis für Zertifizierungsverfahren geeignete Verfahren derzeit nicht verfügbar. Die aufgeführten Bewertungskriterien beziehen sich teilweise auf verschiedene Quellen und wenden unterschiedliche Methoden an. Wünschenswert ist ein einheitliches Vorgehen, da es für Planer und Nutzer transparenter wird. Daher werden die Steckbriefe einer ständigen Anpassung unterliegen.

Die aufgeführten Steckbriefe bieten allerdings erstmals die Chance, Nachhaltigkeit nicht nur im Lichte der CO₂-Bilanz von Gebäuden zu betrachten, sondern weit darüberhinausgehend weitere wichtige Nachhaltigkeitsaspekte wie die ökonomische Qualität sowie die soziokulturelle und funktionale Qualität in bereits sehr umfassender Weise einzubeziehen.

9 Literatur

- ASHRAE Standard 55 (2004): Thermal environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, ASHRAE.
- Bischof W.; Bullinger-Naber, M.; Kruppa, B.; Schwab, R.; Müller, B.H. (2003): Expositionen und gesundheitliche Beeinträchtigungen in Bürogebäuden – Ergebnisse des ProKlimA-Projektes. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.
- 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.
- BildscharbV (1996): Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Bildschirmarbeitsverordnung- BildscharbV).
- de Dear, R., Brager, G.S., Cooper, D. (1997): Developing an adaptive model of thermal comfort and preference – Final report. Final report ASHRAE RP-884.
- DGNB (2009): Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen: Das Deutsche Gütesiegel für Nachhaltiges Bauen. Aufbau -Anwendung – Kriterien. 1. Aufl. Jan 2009.
- DIN 4108-2 (2003): Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Mindestanforderungen an der Wärmeschutz. 2003-07.
- DIN 5034-1, 2, 3 (1999, 1985, 2007): Tageslicht in Innenräumen. Teil 1: Allgemeine Anforderungen. 1999-10. Teil 2 Grundlagen 1985-02. Teil 3: Berechnung. 2007-02.
- DIN 5035-7 (2004): Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 7: Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen. 2004-08.
- DIN 6169 (1976): Farbwiedergabe; Teil 1 Allgemeine Begriffe. 1976-01. Teil 2 Farbwiedergabeeigenschaften von Lichtquellen in der Beleuchtungstechnik. 1976-02.
- DIN 18041 (2004): Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen. 2004-05.
- DIN V 18599 (2005): Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung; 2005-07.
- EN 12464-1 (2003): Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten. Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen; Deutsche Fassung EN 12464-1:2002, 2003-03.
- EN 15251 (2007): Eingangparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung EN 15251: 2007-08.
- EN ISO 7730 (2006): Ergonomie der thermischen Umgebung. Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und PPD- Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. (ISO 7730: 2005), Deutsche Fassung EN ISO 7730: 2006-05.
- FGK (2009): Fachinstitut Gebäude Klima e.V.: Arbeitspapier der AG Raumklima und Behaglichkeit zur Bewertung des Innenraumklimas. Veröffentlichung geplant 2009.
- Frank, W. (1975): Raumklima und Thermische Behaglichkeit. Berichte aus der Bauforschung, Heft 104, Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin, München, Düsseldorf.
- Gertis, K.; Hauser, G.; Sedlbauer, K.; Sobek, W. (2008): Was bedeutet „Platin“? Zur Entwicklung von Nachhaltigkeitsbewertungsverfahren. Bauphysik 30, Heft 4, 244-256.
- Hauser, G.; Hellwig, R. (2008): Kriteriensteckbriefe Thermischer Komfort im Sommer und Thermischer Komfort im Winter. In „Deutsches Gütesiegel für Nachhaltiges Bauen“.

- Hauser, G. (2008): Kriteriensteckbrief Einflussnahme des Nutzers. In „Deutsches Gütesiegel für Nachhaltiges Bauen“.
- Hellwig, R.T. (2005): Thermische Behaglichkeit – Unterschiede zwischen frei und mechanisch belüfteten Gebäuden aus Nutzersicht. Dissertation, Technische Universität München.
- Hellwig, R.T.; Brasche, S.; Bischof, W. (2006): Thermische Behaglichkeit in Bürogebäuden. Zusammenfassender Abschlussbericht an die Rud. Otto Meyer – Umwelt – Stiftung, Jena.
- Hellwig, R.; Steiger, S.; Hauser, G.; Holm, A.; Sedlbauer, K. (2008): Kriterien des nachhaltigen Bauens: Bewertung des thermischen Raumklimas – ein Diskussionsbeitrag. Bauphysik 30, Heft 3, 152–162.
- ISSO 74 (2004): Thermische Behaaglijkheid. Eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen. Rotterdam.
- Leaman, A.; Bordass, B. (1999): Productivity in buildings: the ‘killer’ variable. Building Research & Information 27, 1, 4-19.
- Mayer, E.; Schwab, R. (1990): Untersuchung der physikalischen Ursachen von Zugluft. gi Gesundheitsingenieur, 111, 1, 17-30.
- Nicol, F.; McCartney, K. (2000): Smart controls and thermal comfort project. Final report. Oxford Brooks University School of Architecture.
- Olesen, B.W.; Hellwig, R.T. (2007): Hygienische Grundlagen. Ergänzungen. In: Recknagel/ Sprenger/ Schramek: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 2007/ 2008, München, Oldenbourg.
- Schuster, H. (2008): Kriteriensteckbrief Visueller Komfort. In „Deutsches Gütesiegel für Nachhaltiges Bauen“.
- VDI 3804 (2008): Raumluftechnik für Bürogebäude (VDI Lütingsregeln) Entwurf 2008-04).
- von Hahn, N. (2007): „Trockene Luft“ und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturstudie. Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft, 67, 3, 103-107.
- Wienold, J.; Kuhn, T.; Christoffersen, J. (2005): Blendungsbewertung von Tageslicht am Büroarbeitsplatz. Tagungsband OTTI ENERGIE-KOLLEG – 11. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Kloster Banz.
- 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 28, 743–757.
- Wilson, S.; Hedge, A. (1987): The Office Survey. London, Buildings Use Studies. 1987 zitiert in Leaman, Bordass (1999)