

Behaglichkeit – Wechselwirkung oder Zusammenspiel bauphysikalischer Phänomene?

Schew-Ram Mehra
Institut für Akustik und Bauphysik
Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland



Behaglichkeit – Wechselwirkung oder Zusammenspiel bauphysikalischer Phänomene?

1. Einleitung

Der Mensch verbringt fast 90 % seiner Lebenszeit in Räumen und steht mit ihnen ständig im wechselseitigen Spannungsfeld. "Zuerst prägt der Mensch den Raum, dann prägt der Raum den Menschen", sagte einst Winston Churchill [7]. Der Mensch formt und gestaltet den Raum, um seine Bedürfnisse zu erfüllen, seine Werte sowie Gewohnheiten zu realisieren und die gesellschaftlichen sowie soziokulturellen Vorgaben zu verwirklichen. Der Raum bietet den Menschen Aufenthalts- sowie Lebensbedingungen und nimmt auf ihn durch seine Auswirkungen Einfluss. Dieser Einfluss muss zudem aus dem Blickwinkel der Nutzung, Art und Dauer der Nutzung, Lebensphasen und Emissionen im Raum betrachtet werden.

Es wird immer deutlich, dass die zunehmenden «modernen» Bauweisen, der Einsatz neuer und zum Teil für das lokale Klima und die jeweilige Kultur ungeeigneter Werkstoffe und Konstruktionen, der hohe Ressourcenverbrauch, die steigende und unvermeidbare Technisierung der Räume und die damit verbundenen Emissionen erhebliche Negativfolgen für das menschliche Wohlbefinden, das Umfeld und die Umwelt mit sich gebracht haben. Die Behaglichkeit im Räumen wird wesentlich durch die Zusammen- bzw. Wechselwirkung bauphysikalischer Phänomene dort bestimmt.

2. Behaglichkeit

Die Behaglichkeit ist ein komplexer Begriff, hinter dem viele Zusammenhänge und Empfindungen verborgen sind. 1896 führte der Ernährungsphysiologe Max Rubner für die Wahrnehmung der thermischen Atmosphäre des Raumes erstmalig den Begriff «Behaglichkeitsempfindung» ein [23]. Nicht selten wird die Behaglichkeit mit Phänomenen, wie das Wohlbefinden, wie es aus der Hygiene bekannt ist, und der ästhetischen Wirkung des Raumes bzw. der Wahrnehmung von Sicherheitsmerkmalen im Raum verwechselt [15].

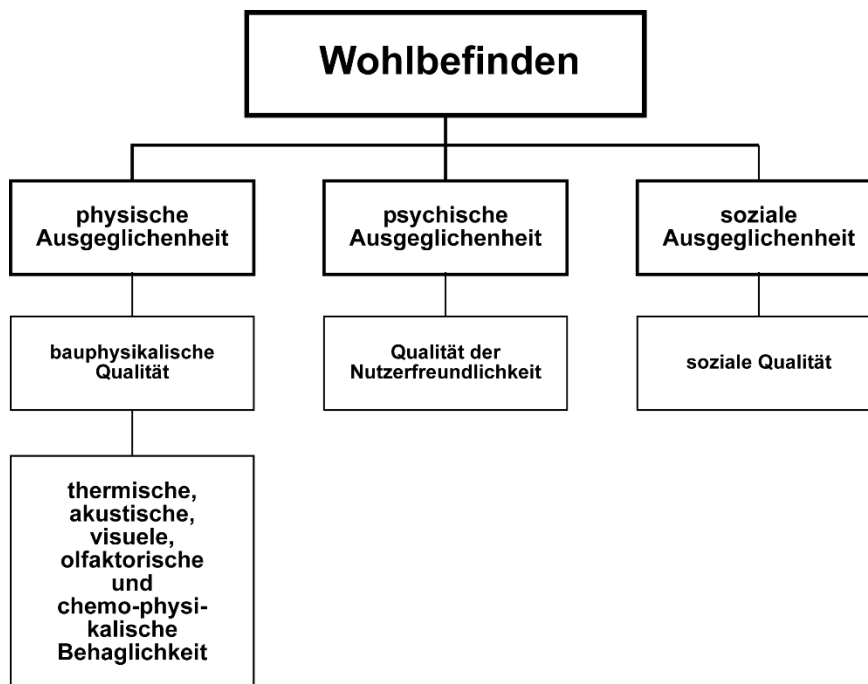


Bild 1: Komponenten des menschlichen Wohlbefindens im Raum mit Angabe der Behaglichkeit unter Einfluss bauphysikalischer Phänomene, nach [16].

Das Wohlbefinden bringt, wie in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt, die physische, psychische und soziale Ausgeglichenheit eines gesunden Menschen mit seinem Umfeld – und damit auch mit dem Raum zum Ausdruck. Die physische Ausgeglichenheit (Behaglichkeit) wird von der bauphysikalischen Qualität des Raumes bestimmt. Obwohl die physischen Auswirkungen häufig nicht direkt wahrgenommen werden, sind ihre gesundheitlichen Folgen dennoch gravierend, z. B. Herz-Kreislaufstörungen durch zu hohen Schallpegel oder Atemwegbeschwerden durch zu trockene Luft. Dagegen werden die psychischen Auswirkungen deutlich bemerkbar, z. B. die Unzufriedenheit mit der Raumgröße, Raumbeleuchtung oder Farbe der Umschließungsflächen. Die sozialen Folgen beinhalten Aspekte wie das Isolations- und Abgeschlossenheitsgefühl aufgrund der Lage und Qualität des Raumes.

Gekennzeichnet wird die Behaglichkeit durch die Abwesenheit von Impulsen, die den unterschiedlichen Rezeptoren am menschlichen Körper zur Veränderung der Situation oder der Umgebungsbedingungen veranlassen. Folglich spiegelt die Behaglichkeit die subjektive Bewertung eines Zustandes, hier des Klimas im Raum, wieder. Mit Raumklima wird dabei das thermische, hygrische, akustische, visuelle und olfaktorische Verhalten des Raumes sowie die Raumluftqualität und elektromagnetische Belastung im Raum zusammengefasst. Entsprechend kann gemäß Bild 2 von der thermischen, hygrischen, akustischen, visuellen und olfaktorischen Behaglichkeit gesprochen werden.

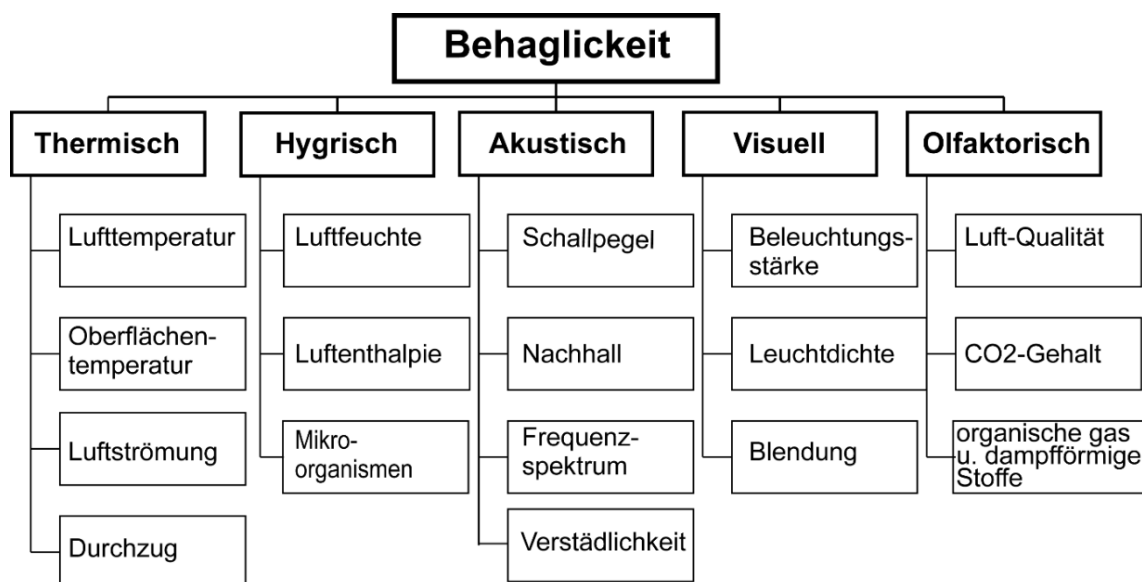


Bild 2: Übersicht über die Komponenten der Behaglichkeit im Raum mit Angabe von Einwirkungen, die sie beeinflussen.

Da die bauphysikalischen Phänomene, Wärme, Feuchte, Schall, Licht, Gerüche und andere Emissionen im Raum nicht getrennt, sondern alle oder zum Teil zusammen auftreten, bestimmen sie in ihrer Kombination das Raumklima und damit die Behaglichkeit im Raum, Bild 3. Es ist auffallend, dass in der Forschung kaum oder nur wenige Untersuchungen, z.B. [11], vorliegen, die sich ganzheitlich mit der Behaglichkeit befassen. Die notwendige ganzheitliche Erforschung der Behaglichkeit ist aufwendig und anspruchsvoll. Die meisten wissenschaftlichen Arbeiten beziehen sich auf die thermische Behaglichkeit. Nur Einzelarbeiten, z. B. [1, 3, 9, 11, 20], setzen sich mit der Auswirkung von ausgewählten Einflussparametern in Kombination auseinander. Beispielsweise haben die Arbeiten [3, 8, 11] das Wechsel- und Zusammenwirken von Wärme und Schall oder [1, 11] Schall und Licht bzw. [11] Wärme und Licht zum Inhalt. Bei den durchgeführten Untersuchungen sind häufig die zugrunde gelegten Randbedingungen sehr unterschiedlich, sodass die Ergebnisse nicht vergleichbar und nicht selten sogar widersprüchlich sind.

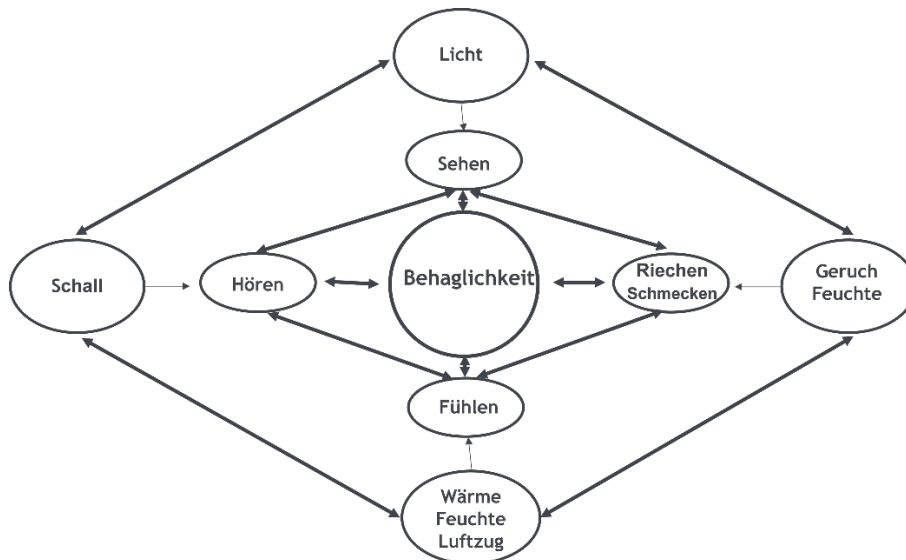


Bild 3: Schematische Darstellung der Wechselwirkung bauphysikalischer Phänomene und ihrer Einwirkung auf die Behaglichkeit.

2.1. Thermische Behaglichkeit

Die thermische Behaglichkeit beschreibt das Zusammenspiel der lokalen thermischen Bedingungen im Raum und der menschlichen Wahrnehmung [10]. Sie ist seit mehr als hundert Jahren Gegenstand der Forschung. Zum Beginn des 20-ten Jahrhunderts wurde die thermische Belastung von Bergarbeitern in Großbritannien untersucht [6]. Definitionsgemäß ist die thermische Behaglichkeit der Zustand, in dem die Zufriedenheit mit der thermischen Umgebung im Raum vorliegt. Physikalisch kennzeichnet sie gemäß [22] die Erfüllung der Gesamtwärmebilanz des menschlichen Körpers, bei geringsten thermoregulatorischen Anstrengungen des

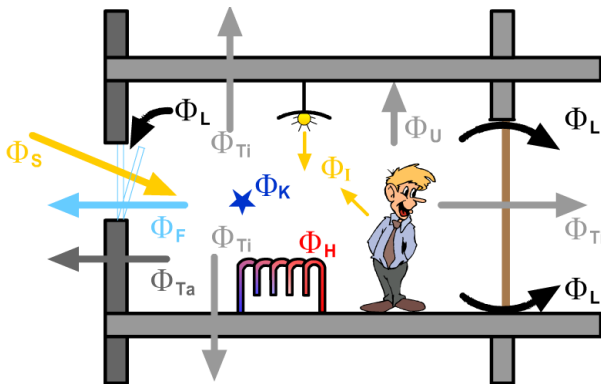


Bild 4: Schematische Darstellung der Wärmeströme, mit denen der Mensch im Raum in Wechselwirkung steht.

Organismus, Bild 4. Dazu müssen sich die Wärmeproduktion des Körpers und die Wärmeabgabe an die Umgebung ausgleichen. Der Wärmeaustausch mit der Umgebung wird zusätzlich von der Bekleidung beeinflusst. Sie wirkt wie eine Wärmedämmschicht, deren Wirkung vom Grad der Bedeckung der Körperfläche und der Dicke der Kleidung abhängig ist. Die interne Wärmeproduktion erfolgt dabei durch den Stoffwechsel und die äußere Arbeit, z.B. infolge erhöhter Aktivität, die mit metabolischer Rate gekennzeichnet wird. Welche physikalischen, intermediären und physiologischen Bedingungen die thermische Behaglichkeit beeinflussen, zeigt Bild 5.

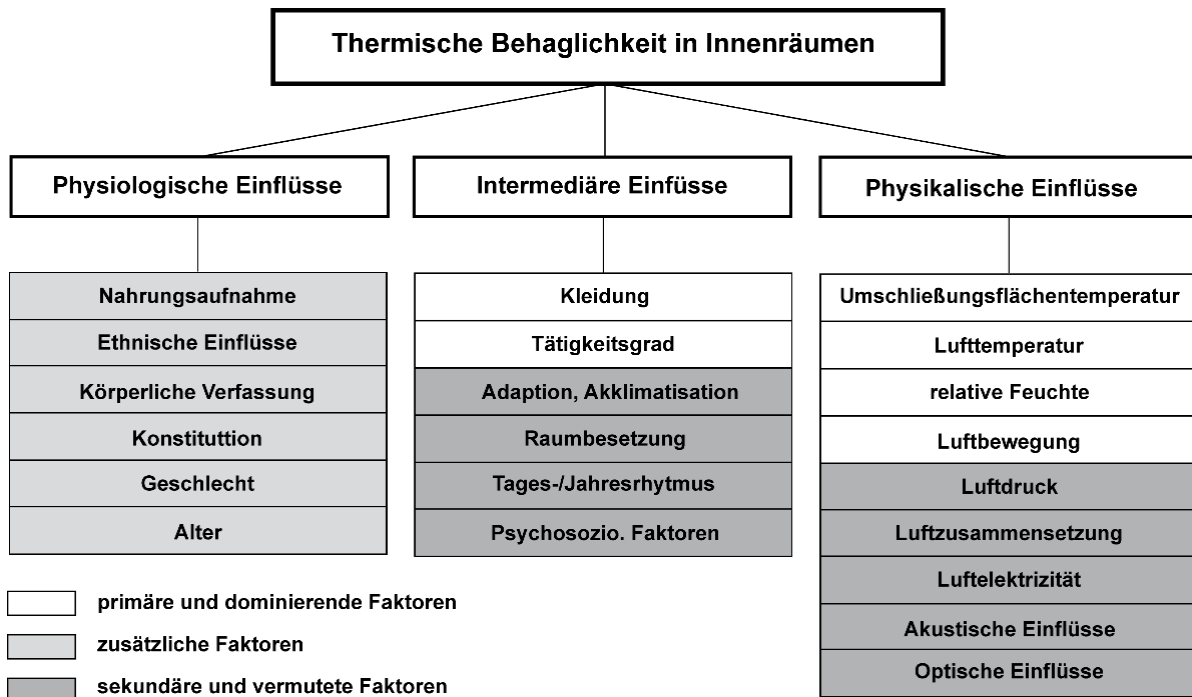


Bild 5: Zusammenstellung von Einflüssen auf die thermische Behaglichkeit in Innenräumen.

Bild 6 (rechts) zeigt schematisch die Richtung des Wärmeaustausches zwischen dem Menschen und seiner Umgebung unter Angabe der gemessenen und empfundenen Temperatur. Demnach wird ein Raum mit geringer Lufttemperatur (18 °C), aufgrund der Strahlungswärmezufuhr über warme Umschließungsflächen, thermisch identisch empfunden, wie ein Raum mit hoher Lufttemperatur (22 °C) und kalten Umschließungsflächen, die dem Körper Strahlungswärme entziehen. Links im Bild 6 ist die thermische Behaglichkeit in geschlossenen Räumen in Abhängigkeit von der Luft- und Umschließungstemperatur dargestellt. Es gibt Bereiche an, in welchen bei verschiedenen Umschließungs- und Raumlufttemperaturen das Raumklima als behaglich, noch behaglich oder nicht behaglich empfunden wird.

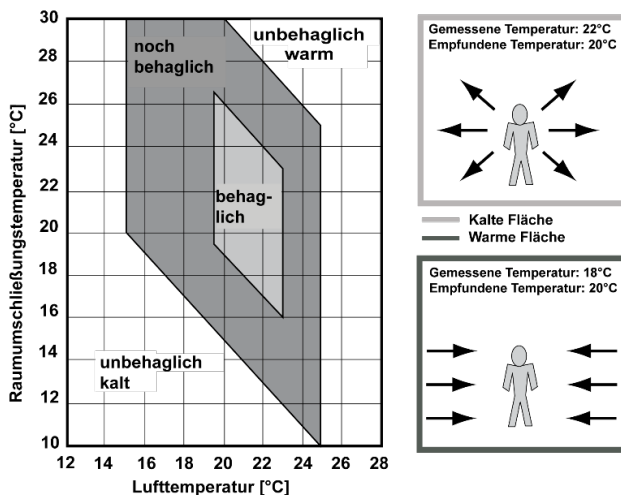


Bild 6: Thermische Behaglichkeit in geschlossenen Räumen in Abhängigkeit von Raumumschließungs- und Raumlufttemperatur (links). Rechts ist der Wärmeaustausch zwischen dem Menschen und seiner Umgebung unter Angabe der gemessenen und empfundenen Temperatur dargestellt, nach [26].

Thermische, hygrische, akustische, visuelle und olfaktorische Raumparameter haben einen interagierenden Einfluss auf die Bewertung der Gesamtbehaglichkeit, siehe Ziffer 2.2, 0, 2.4 und 2.5. Nach [5] stellt die thermische Komponente des Raumes den dominierenden Faktor für die Behaglichkeit dar. Der Einfluss von Akustik, Licht, olfaktorischen Güte, Luftqualität und Temperaturschwankungen auf die thermische Behaglichkeit wird in [11] untersucht. Nach [8] kann die subjektive Bewertung des thermischen Komforts durch die

akustische Umgebung beeinflusst werden, aber die subjektive Bewertung von Bürogeräuschen nicht von der thermischen Umgebung. Im Rahmen von [18] wird die kombinierte Wirkung von Temperatur und Lärm näher betrachtet und feststellt, dass der Raum als unbehaglich eingestuft wird, sobald eine Raumrandbedingung als unbehaglich empfunden wird. Der Einfluss des als negativ empfundenen Faktors auf die Gesamtzufriedenheit ist immer größer als der einer positiv empfundenen Größe [12].

2.2. Hygrische Behaglichkeit

Der Mensch verfügt über keinen Feuchtesinn zur Wahrnehmung der Luftfeuchte. Sein Behaglichkeitsempfinden wird jedoch vom Feuchtegehalt der Luft beeinflusst, der von der Wärmeabgabe über die Verdunstung des Wassers auf der Haut (Schweiß) abhängt und durch Lüftung, Alltagsaktivitäten des Menschen sowie Pflanzen dem Raum zusätzlich zugefügt wird. Die menschliche Reaktion auf die Luftfeuchte erfolgt erst bei extremen Situationen, wie Schwüle oder Trockenheit der Schleimhäute und der Haut. Hohe relative Luftfeuchte wird als unbehaglich, feucht und stickig empfunden. Zu geringe Luftfeuchte trocknet die Schleimhäute aus und die Luft wirkt staubig.

Beeinflusst werden vom Feuchtegehalt der Luft sowohl die Temperaturempfindung als auch die Wahrnehmung der Luftqualität, siehe Ziffer 2.5. Bild 7 stellt die Behaglichkeit bei verschiedenen Kombinationen der relativen Luftfeuchte und der Lufttemperatur in geschlossenen Räumen dar. Es gibt, ähnlich wie im Bild 6, Bereiche an, in welchen bei verschiedenen Kombinationen von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte das Raumklima als behaglich, noch behaglich oder nicht behaglich empfunden wird.

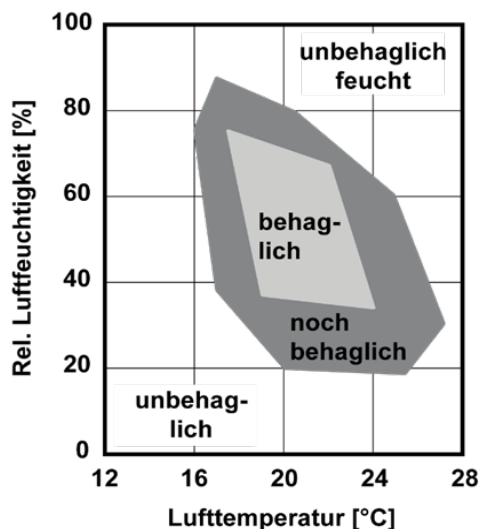


Bild 7: Hygrische Behaglichkeit in geschlossenen Räumen in Abhängigkeit von relativer Luftfeuchte und Lufttemperatur, nach [26].

Die Auswirkung der relativen Luftfeuchte auf die thermische Behaglichkeit ist bei den üblichen Verhältnissen im Raum (40% bis 60%), wie Bild 7 zeigt, nicht sehr groß.

2.3. Akustische Behaglichkeit

Der Mensch ist im Alltag zahlreichen Schallereignissen, z. B. Sprache, Geräuschen oder Klängen, ausgesetzt, Bild 8. Sie entstehen im Raum oder gelangen von benachbarten Räumen (innen und außen) dort hinein und bilden das akustische Raumklima. Die Zufriedenheit mit den akustischen Umgebungsbedingungen gewährleistet die akustische Behaglichkeit und hängt, wie Bild 9 zeigt, von physikalischen, physiologischen und sonstigen Einflüssen ab.

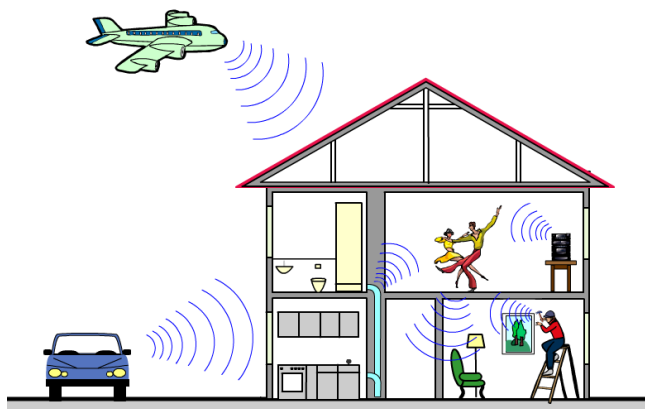


Bild 8: Schematische Darstellung der internen und externen akustischen Einwirkungen auf Gebäuden und in Räumen.

Zu den physikalischen Einflüssen gehören z. B. der Schallpegel und die Nachhallzeit im Raum oder die Schalldämmung der Umschließungsbauteile. Optische und thermische Einflüsse gehören zu den sonstigen physikalischen Parametern. Im Zusammenhang mit der akustischen Behaglichkeit in Räumen kommt auch der akustischen Privatheit eine besondere Bedeutung zu. Dies ist insbesondere für die Nutzer von Großraumbüros, in Arztpraxen und anderen Räumen, in denen vertrauliche Gespräche stattfinden, relevant [8].

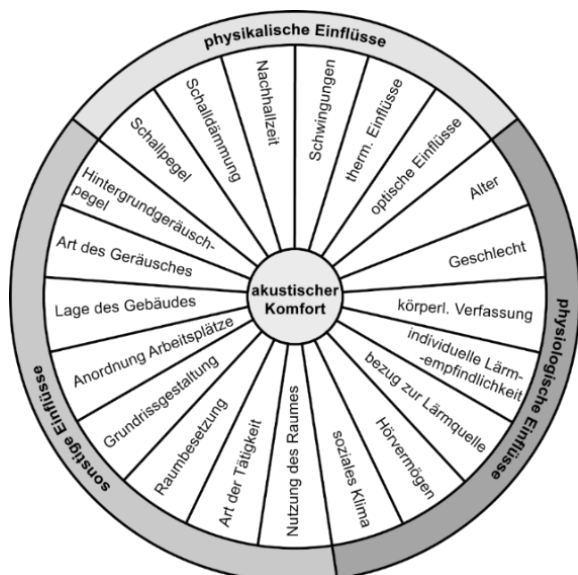


Bild 9: Physikalische, physiologische und sonstige Einflüsse, die die akustische Behaglichkeit in Räumen beeinflussen, nach [8].

Kein oder zu wenig Schall im Raum führt nicht nur zum Unbehagen, sondern kann auch erhebliche gesundheitliche und psychische wie auch soziale Folgen haben, z. B. das Gefühl, eingesperrt und isoliert zu sein. Auch Orientierungslosigkeit, Verwirrtheit und das psychische Ungleichgewicht können Folgen totaler Ruhe und Stille im Raum sein. Beim zu geringen Grundgeräuschpegel im Raum können beispielsweise unerwünschte Nachbarschaftsgeräusche dominieren und zur Lärmbelästigung der Rauminnsassen führen.

Im Rahmen von [11] wird festgestellt, dass zwischen der thermischen Behaglichkeit (unbehaglich – behaglich) und den störenden Geräuschen (viele – wenige störende Geräusche) ein Zusammenhang besteht. Danach fühlen sich die Rauminnsassen sehr warm oder unbehaglich warm, wenn eine niedrige akustische Güte im Raum vorliegt. Nach [17, 18] wird festgestellt, dass die akustische Behaglichkeit bei höheren Temperaturen von 27°C bis 39°C vornehmlich vom Schalldruckpegel und nachgeordnet von der Temperatur beeinflusst wird. Es wird dabei auch gezeigt, dass sie sehr stark auch von der Interaktion beider Parameter bestimmt wird. Mit zunehmender Operativtemperatur (Kombination aus der

Raumluft- und der Strahlungstemperatur der Raumumschließungsflächen) und abnehmendem Schallpegel nimmt die Behaglichkeit im Raum zu, wie es Bild 10 nach [8] zeigt. Dargestellt sind im Bild Kurven gleicher Behaglichkeit (links) bzw. Unbehaglichkeit (rechts), jeweils in Prozent, in Abhängigkeit von der Operativtemperatur und des Schalldruckpegels.

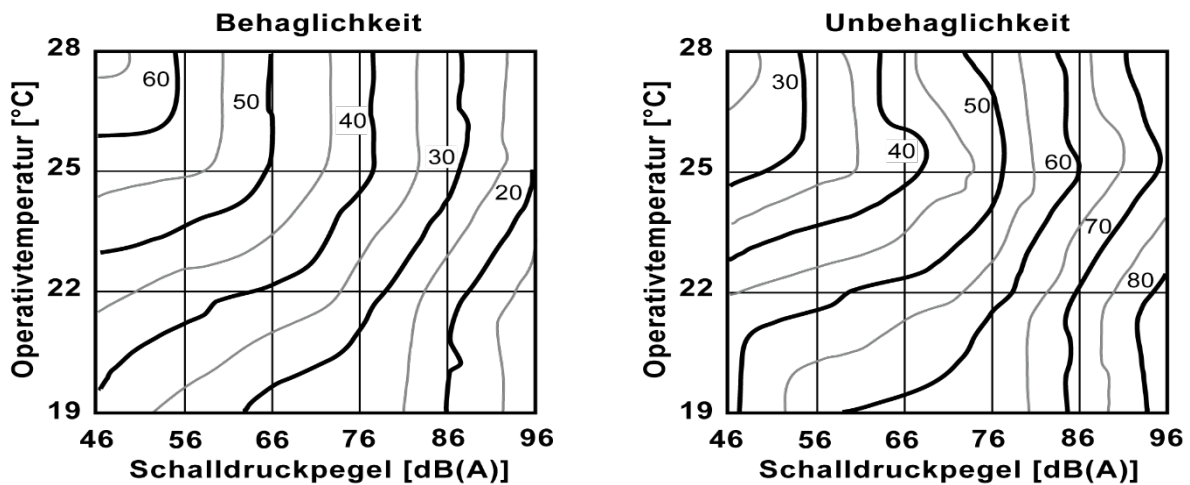


Bild 10: Linien gleicher Behaglichkeit (links) bzw. Unbehaglichkeit (rechts) in Abhängigkeit von der Operativtemperatur und dem Schalldruckpegel im Raum, aus [18].

Es ist die Tendenz festzustellen, dass mit zunehmendem Schalldruckpegel um 30 bis 50 dB die thermische Umgebung als unbehaglicher eingestuft wird [8]. Ein Temperaturanstieg von 26 °C auf 30 °C hat den gleichen Effekt auf die Gesamtbehaglichkeit, wie der Anstieg des Schalldruckpegels von 40 dB auf 70 dB [2]. In warmer und lärmreicher Umgebung wird ein Absinken der Gesamtakzeptanz festgestellt [8].

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung der Behaglichkeit in Büroräumen befasst sich die Arbeit [8] mit der Zusammenwirkung von raumakustischen und thermischen Randbedingungen dort und entwickelt ein raumakustisch-thermisches Behaglichkeitsmodell (RTBM). Entwickelt wurde das Modell anhand von raumakustischen Messungen, Probandenbefragungen und einer Strukturgleichungsanalyse. Aufbauend darauf werden Prognosegleichungen (1) und (2) zur Bestimmung der Behaglichkeit in Büros entwickelt. Schematisch ist das entwickelte Modell in Bild 11 wiedergegeben.

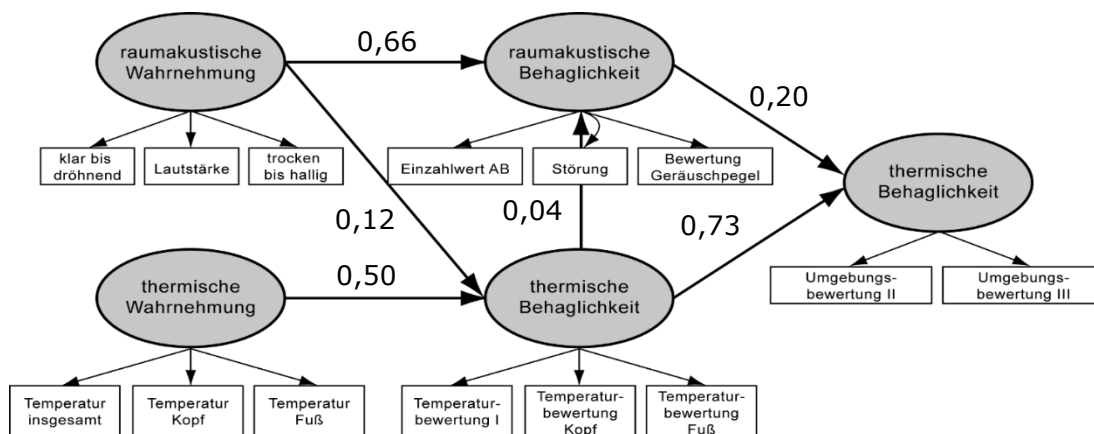


Bild 11: Schematische Darstellung des Strukturgleichungsmodells RTBM mit Angabe der Pfadkoeffizienten, nach [8].

$$B_{allg} = -0,05 \cdot t_g + 2,257 - 0,054 \cdot T - 26,752 \quad [1]$$

$$B_g = -0,046 \cdot t_g^2 + 2,257 \cdot t_g - 0,054 \cdot T + 0,072 \cdot g - 26,931 \quad [2]$$

T Nachhallzeit
 t_g Globetemperatur
 g Emissionsart

Als Eingangsparameter gehen die Globetemperatur und die Nachhallzeit im Raum in die Gleichungen ein. Gleichung (2) berücksichtigt die Art des Geräusches, Sprache, Telefon, Tastatur und Drucker, als Einflussparameter. Damit ist ein Vergleich der sich einstellenden Behaglichkeit über ein breites Spektrum an raumakustischen und thermischen Randbedingungen möglich. Bei der Verwendung anderer Randbedingungen, Probandenstruktur und einer größeren Anzahl von Probanden, als in [8] zu Grunde gelegt, sind Abweichungen möglich.

2.4. Visuelle Behaglichkeit

Das Licht ist für die Wahrnehmung des Raumes, die Orientierung und das Sicherheitsgefühl im Raum von besonderer Bedeutung. Das visuelle Raumklima umfasst all die Lichtanteile, die im Raum entstehen, von Raumumschließungsflächen reflektiert werden oder von außen dort hineingelangen, Bild 12.

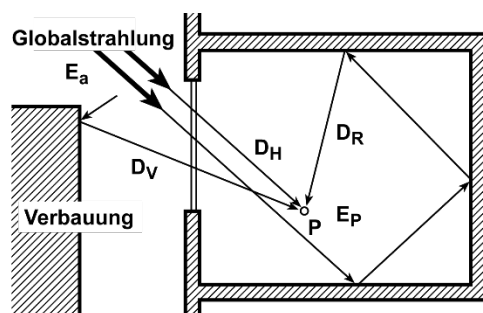


Bild 12: Schematische Darstellung eines Raumes mit Angabe von direkten und reflektierten kurzwelligen Strahlungsanteilen (Tageslicht).

DH: Himmelslichtanteil

D_R : Innenreflexionsanteil

D_v : Außenreflexionsanteil

Visuelle Behaglichkeit wird unabhängig von der Art der Beleuchtung (Tages- oder Kunstlicht) durch ausgeglichene Beleuchtung des Raumes (ohne störende Blendung), Raumnutzung und Tätigkeit der Rauminssassen sowie angepasstes Beleuchtungsniveau gewährleistet. Die Blendfreiheit und Angenehmheit sind zwei wesentliche Aspekte der Raumbeleuchtung bezüglich des visuellen Komforts [21]. Zusätzlich ist auch die Lichtverteilung im Raum dabei von Bedeutung, sie wirkt orientierend und vermittelt das Sicherheitsgefühl. Während eine blendungsfreie Beleuchtung und dem Zweck angepasste Beleuchtungsstärke das menschliche Sehvermögen unterstützen, wirkt das blendende Licht desorientierend [4]. Über 90 % der Büroangestellten würde lieber bei Tageslicht arbeiten als unter Kunstlicht [24]. Die Nutzung von Tageslicht wirkt anregend und gesundheits- sowie leistungsfördernd und führt zur Reduzierung des Energieverbrauchs.

Ein Zusammenhang zwischen der thermischen Behaglichkeit und Licht (blendendes – arbeitsgerechtes Licht) wird in [11] festgestellt. Danach wird unabhängig von der Art der Belüftung eine Umgebung als kalt oder unbehaglich kalt empfunden, wenn die Lichtverhältnisse dort schlecht sind und eine als schwankend empfundene Temperatur vorliegt. D. h. schlechte bis mittlere Lichtverhältnisse reduzieren eine Sehr-Warm-Empfindung im Raum. In mechanisch belüfteten Gebäuden fühlen sich die Menschen thermisch unbehaglich, bezeichnen den Luftzustand als verbraucht sowie trocken und fühlen sich durch Blendungseffekte unbehaglicher.

2.5. Olfaktorische Behaglichkeit

Olfaktorische Behaglichkeit betrifft die Wahrnehmung und Bewertung von Gerüchen im Raum. Wahrgenommen werden die Gerüche erst dann, wenn ihre Moleküle durch Luftfeuchte an die Raumluft abgegeben werden. Über die Atemluft gelangen sie an die Rezeptorzellen an der Nasenschleimhaut. Ihre Verarbeitung erfolgt im limbischen System, das als physiologisches Zentrum emotionaler Reizverarbeitung gilt [19]. Bei der Rückmeldung auf Geruchsstimuli scheint es, dass die meisten Reaktionen erlernt sind [13]. Raumgerüche sind in der Regel flüchtige Empfindung, die nur kurz wahrgenommen werden, aber entscheidend dazu beitragen, ob der Raum als angenehm oder unangenehm empfunden wird.

Insbesondere ist die Hygiene für die Qualität der Raumluft entscheidend. Auch der Schimmel, die Transpiration, die Speisen und die verwendeten Baumaterialien können Gerüche verursachen. Bei fenstergelüfteten Räumen spielt nach [11] die olfaktorische Güte bei der thermischen Behaglichkeit eine Rolle. Eine niedrige olfaktorische Güte erhöht das Sehr-Warm-Empfinden um das Doppelte.

Die Luftqualität im Raum wird neben den Gerüchen vornehmlich durch die Luftschadstoffe, die die natürliche Zusammensetzung der Luft verändern, beeinträchtigt. Verbrauchte und modrige Raumluft wirkt sich negativ auf die Behaglichkeit und damit auf die Gesundheit. Müdigkeit, Konzentrationsstörung, Reizhusten sowie Atemprobleme bzw. Atemwegserkrankungen können die Folge sein [24]. Bild 13 gibt den Anteil der Unzufriedenen im Raum in Abhängigkeit von der Luftqualität grafisch wieder. Nach [11] besteht auch ein Zusammenhang zwischen der thermischen Behaglichkeit (unbehaglich – behaglich) und der Luftqualität (verbrauchte – frische Luft). Es wird festgestellt, dass Menschen sich in mechanisch belüfteten Gebäuden thermisch unbehaglich fühlen und den Luftzustand als verbraucht und trocken bezeichnen.

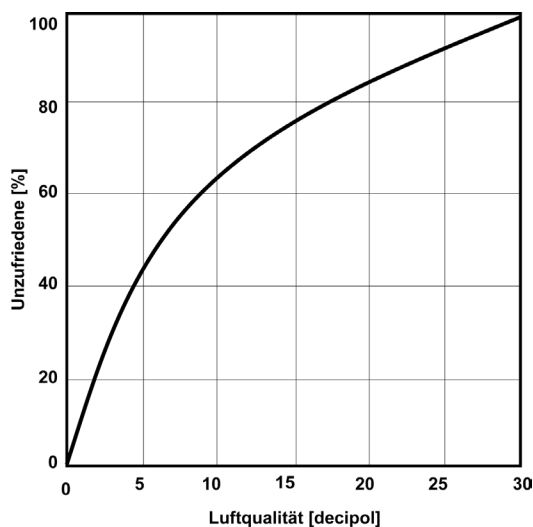


Bild 13: Anteil unzufriedener Personen im Raum in Abhängigkeit von der empfundenen Luftqualität, nach [14].

Die Qualität der Luft ist nicht nur für die Behaglichkeit im Raum maßgebend, sondern auch für die Gesundheit und die Leistungsfähigkeit der Raumnutzer. Gesundheitsschäden, die durch Luftschadstoffeinwirkungen verursacht werden können, umfassen ein breites Spektrum. Das Kohlendioxid ist die wesentliche Komponente der Luftverunreinigung in Räumen. Es ist fast geruchsneutral und ungiftig, hat erst ab einer bestimmten Konzentration direkte physiologische Wirkung auf den Körper [25]. Der Arzt Max von Pettenkofer (1818-1901) stellte 1858 fest, dass «jede Luft als schlecht und für einen beständigen Aufenthalt als ungeeignet zu erklären [ist], welche in Folge der Respiration und Perspiration der Menschen mehr als 1 pro mille Kohlensäure enthält.»[25].

3. Zusammenfassung

Die Behaglichkeit ist ein einfacher Begriff, der komplexe Zusammenhänge hinter sich verbirgt. Sie ist seit fast einem Jahrhundert Gegenstand der Forschung, aber dennoch nicht vollständig erforscht. In Räumen bringt die Behaglichkeit die Bewertung des wahrgenommenen Raumklimas zum Ausdruck. Dazu liegen zahlreiche Untersuchungen und Vorhersagemodelle vor, die sich aber hauptsächlich mit der thermischen Behaglichkeit befassen. Zur Wechselwirkung bzw. zum Zusammenspiel sämtlicher Parameter des Raumklimas, Wärme, Feuchte, Schall, Licht und Gerüche inklusive Raumluftqualität liegen kaum fundierte Ergebnisse vor. Einzeluntersuchungen, die im Rahmen des Beitrags präsentiert werden, befassen sich mit ausgewählten Phänomenen. Ihre Ergebnisse sind vor allem von nicht einheitlichen Versuchsrandbedingungen geprägt und sind teilweise widersprüchlich. Um Aussagen zur Behaglichkeit infolge der sämtlichen bauphysikalischen Einflüsse machen zu können, sind ganzheitliche Ansätze erforderlich, die ihre Wechsel- bzw. Zusammenwirkung differenzierter betrachten.

4. Literaturverzeichnis

- [1] Abou-Elleal, E. R. E.: Raumakustik - Interaktion visueller und auditiver Wahrnehmungen. Dissertation, RWTH Aachen (2003).
- [2] Alm, O., Witterseh, Thomas, et al.: The impact of human perception of simultaneous exposure to thermal load, low-frequency ventilation noise and indoor air pollution. Proc. of 8th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Edinburgh, United Kingdom (1999), S. 270-275.
- [3] Balazova, I., Clausen, Geo, et al.: Open-plan Office Environments: A Laboratory Experiment to Examine the Effect of Office Noise and Temperature on Human Perception, Comfort and Office Work Performance. Indoor Air 2008, Copenhagen, Denmark. https://www.researchgate.net/publication/265991981_Open-plan_Office_Environments_A_Laboratory_Experiment_to_Examine_the_Effect_of_Office_Noise_and_Temperature_on_Human_Perception_Comfort_and_Office_Work_Performance
- [4] Bierbaum, H., Donat, M., et al.: Österreichischer Leitfaden; Außenbeleuchtung, Licht, das mehr nützt als stört. Friedrich Druck & Medien GmbH (2018), 1. Auflage.
- [5] Candas, V., Dufour, A.: Thermal comfort: multisensory interactions? Journal of physiological anthropology and applied human science 24 (2005), Nr. 1, S. 33-36.
- [6] Cheng, V. and Ng, E.: Thermal Comfort in Urban Open Spaces for Hong Kong. Architectural Science Review 49 (2006), No. 3, S. 236-242.
- [7] Demmelhuber, S.: Architektur und Psychologie: Wie Räume auf Menschen wirken. <https://www.br.de/nachrichten/bayern/architektur-und-psychologie-wie-raeume-auf-menschen-wirken,SZf6pq5>.
- [8] Dworok, P.-M.: Raumakustisch-thermisches Behaglichkeitsmodell für Büroräume. Dissertation, Universität Stuttgart (2020).
- [9] Dworok, P.-M., Mehra, S. R.: Behaglichkeit - Wechselwirkungen bauphysikalischer Einflüsse. Bauphysik 40 (2018), H. 1, S. 9-18.
- [10] Goshayeshi, D., Shahidan, M. F., Khafi, F. et. al.: A review of researches about human thermal comfort in semi-outdoor spaces. European Online Journal of Natural and Social Sciences 2 (2013), No. 2, S. 516-523.
- [11] Hellwig, R.: Thermische Behaglichkeit; Unterschiede zwischen frei und mechanisch belüfteten Bürogebäuden aus Nutzersicht. Diss. TU München (2005).
- [12] Kim, J., Dear, R. de: Nonlinear relationships between individual IEQ factors and overall workspace satisfaction. Building and Environment 49 (2012), S. 33-40.
- [13] Majchrzak, D.: Die Rolle des limbischen systems in der Sinneswahrnehmung. Ernährung/Nutrition 36 (2012), H. 4, S. 160-165.
- [14] Mayer, E. und Schwab, R.: Geruchsbeurteilung in Gebäuden nach unterschiedlichen Methoden. IBP-Mitteilung 22 (1995), Nr.276, Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart.
- [15] Mehra, S.R. und Gertis, K.: Wohlbefinden.; Abschlußbericht der DFG-Forscherguppe «Ingenieurbauten – Wege zu einer ganzheitlichen Betrachtung» FOGIB, an der Universität Stuttgart (1997).
- [16] Mehra, S.R. und Veres, E.: Menschliches Wohlbefinden und Brückenbauwerke. Ges.-Ing. 121 (2000), H. 5, S. 241-251.
- [17] Nagano, K., Horikoshi, T.: New index of combined effect of temperature and noise on human comfort: summer experiments on hot ambient temperature and traffic noise. Archives of Complex Environmental Studies, 3-4 (2001).
- [18] Nagano, K., Horikoshi, T.: New comfort index during combined conditions of moderate low ambient temperature and traffic noise. Energy and Buildings 37 (2005), Nr. 3, S. 287-294.
- [19] Hübl, J.: Emotionale Reizverarbeitung in den Basalganglien. Diss.; Universitätsmedizin Berlin (2010).
- [20] Püttmann, H.: Bioklimatische Bewertung von Bebauungsstrukturen - am Beispiel zweier Wohngebiete in Halle / S. Diss., Martin-Luther-Universität Halle-Wittenber (2002).
- [21] Raynham, P. J.: Public Lighting in Cities. The Bartlett School of Graduate Studies, University College London. https://mpe.arkitektur.lth.se/fileadmin/miljopsykologi/images/pdf_filer/light_and_colour._litteratur_Raynham.pdf
- [22] Richter, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Dortmund (2007).
- [23] Rubner, M.: Zur Bilanz unserer Wärmeökonomie. Arch. Hyg 27 (1896), S. 69.
- [24] Schakib-Ekbatan, K.: Bürogebäude auf dem Prüfstand: Zur Zufriedenheit mit Raumklima und Raum am Arbeitsplatz unter Einbindung der NutzerInnenperspektive in die Nachhaltigkeitsbewertung. Diss., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (2015).
- [25] Sedlbauer K., Holm, A. und Hellwig, R.: Raumklima und Schülerleistung. Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP), Holzkirchen (2009).
- [26] Sedlbauer, K., Holm, A., Künzel, H.M. et. al.: Raumklima und Innovation; Eine Aufgabe der Bauphysik. WKS 51 (2006), H. 57, S. 9-16.