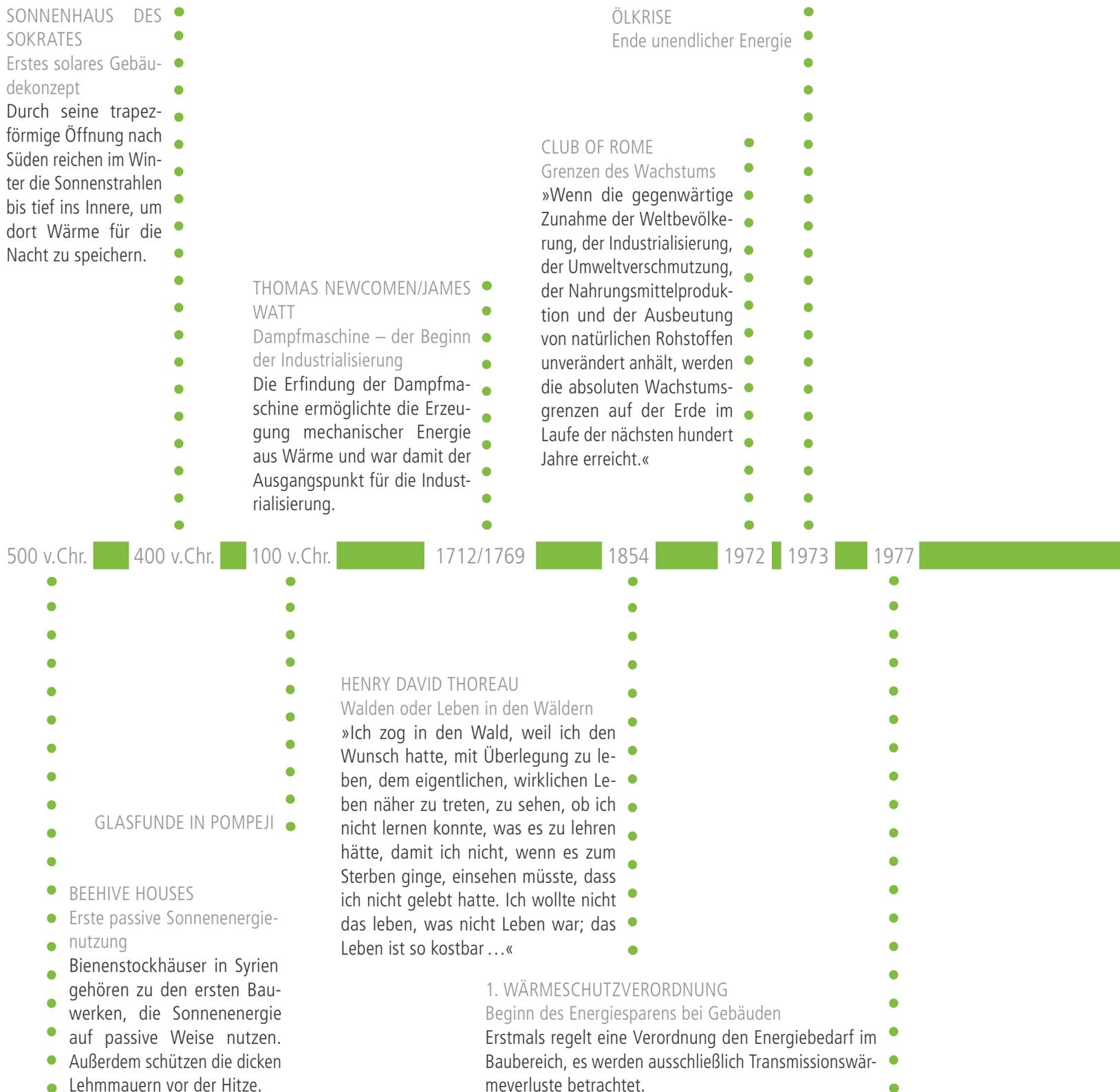
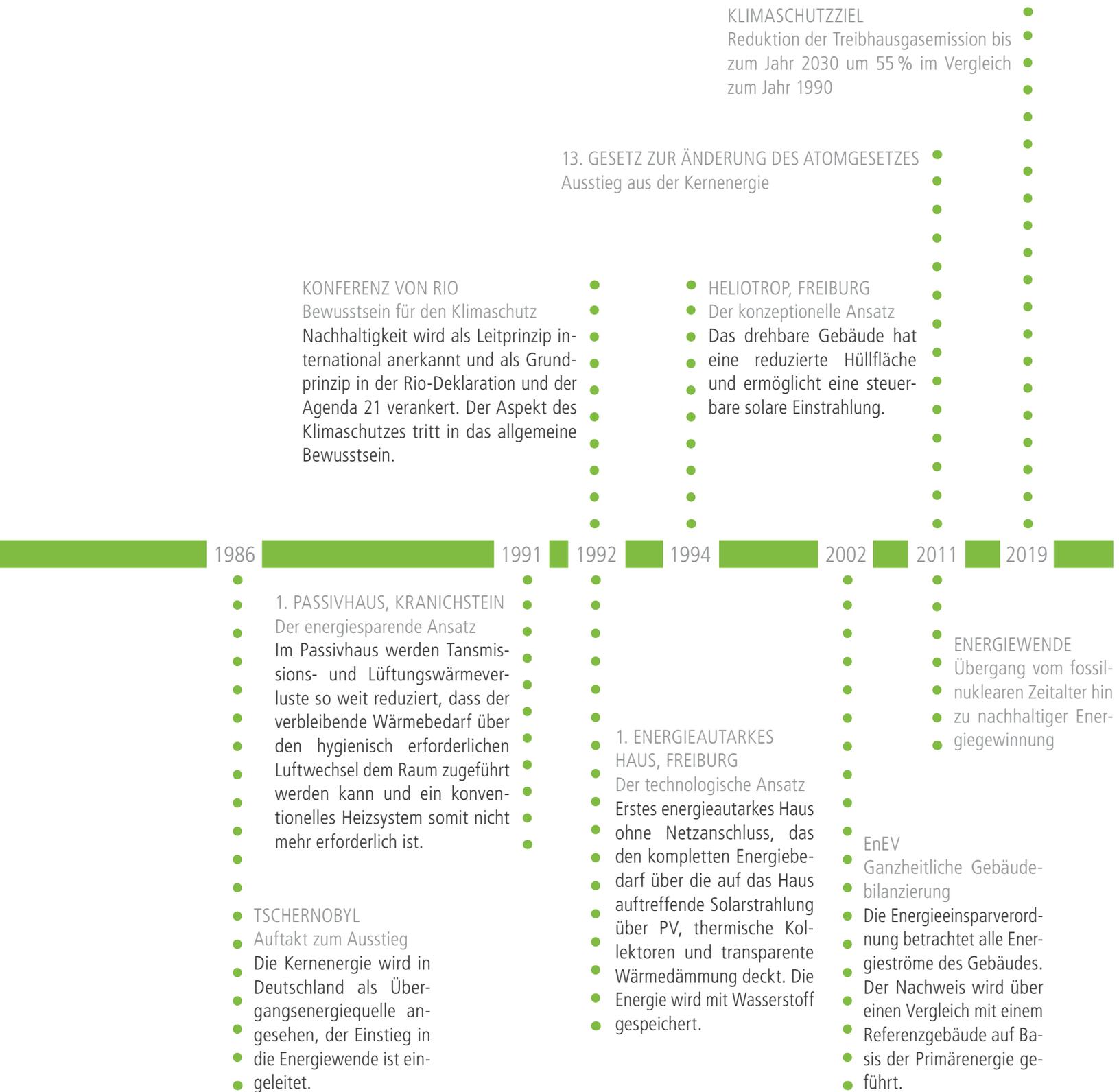


ZEITREISE – KONZEPTE VON FRÜHER BIS HEUTE





DAHOOAM

IS DA WOS

GFU_I IS

MENSCH

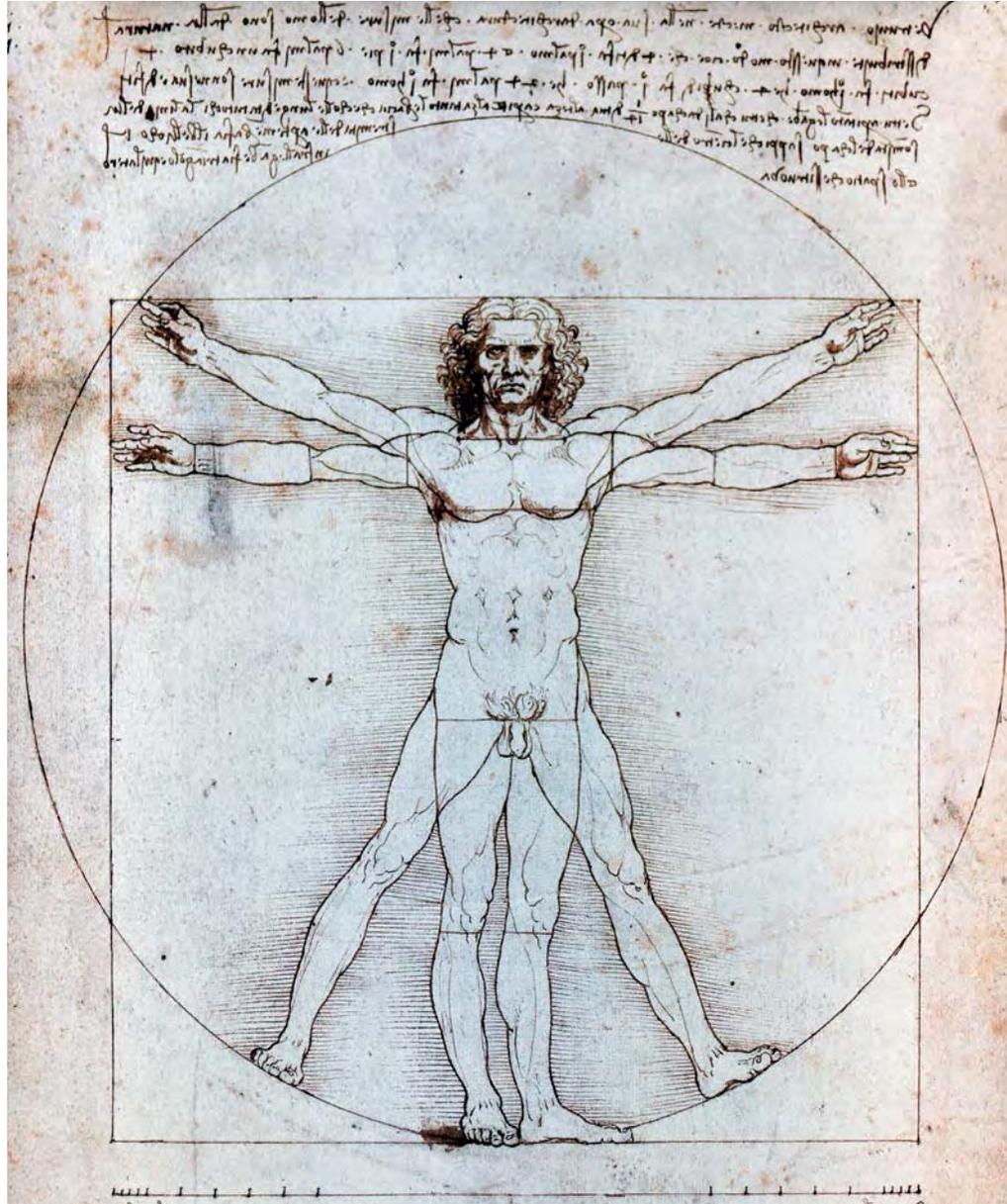
- I Ganzheitliche Behaglichkeit
- I Visuelle Behaglichkeit
- I Akustische Behaglichkeit
- I Thermische Behaglichkeit
- I Olfaktorische Behaglichkeit
- I Kreativität und Planung
- I Building Information Modeling (BIM)
- I Energie im Wettbewerb
- I Naturhotel Tannerhof, Bayrischzell

Behaglichkeit wird beim Bauen oft mit der Einhaltung von genormten, messbaren Grenzwerten gleichgesetzt, z. B. für die Raumtemperatur, die Luftqualität oder die Beleuchtungsstärke. Für das Wohlbefinden spielen jedoch weitere, oft subjektive und nur schwer bewertbare Aspekte eine Rolle, wie Ästhetik, Magie, Geborgenheit, die Möglichkeit der Einflussnahme oder die Nachvollziehbarkeit. Diese Aspekte sind zudem kulturell, alters- und geschlechtsspezifisch unterschiedlich, unterliegen einem Wandel im Laufe des Tages und des Jahres und ändern sich mit dem Zeitgeist. Der Mensch analysiert seine Umwelt nicht wie ein physikalisches Messinstrument, sondern gewinnt stets mit mehreren Sinnen gleichzeitig einen Gesamteindruck. So stehen die Temperatur- und Schallwahrnehmung in Wechselwirkung mit der Farbe oder das Geruchsempfinden mit der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit. Mittlerweile ist es möglich, nahezu alle Prozesse des Gebäudebetriebs zu automatisieren. Grundsätzlich sollten jedoch Gebäudehülle und Gebäudetechnik so konzipiert sein, dass der Nutzer die Raumtemperatur, den Luftwechsel sowie das Tages- und Kunstlichtmilieu nach seinen individuellen Bedürfnissen direkt einstellen kann. Die Berücksichtigung energetischer Aspekte bereits im Architekturwettbewerb sowie die Nutzung neuer digitaler Planungsmethoden erweitern die Möglichkeiten, energieoptimierte Gebäude zu entwickeln, in denen sich der Nutzer wohlfühlt.

GANZHEITLICHE BEHAGLICHKEIT

»Der Körper des Menschen ist so geformt, dass das Gesicht vom Kinn bis zum oberen Ende der Stirn und dem unteren Rand des Haarschopfes $1/10$ beträgt, die Handfläche von der Handwurzel bis zur Spitze des Fingers ebenso viel, der Kopf vom Kinn bis zum höchsten Punkt des Scheitels $1/8$ [...] Vom unteren Teil des Kinns aber bis zu den Nasenlöchern ist der dritte Teil der Länge des Gesichts selbst, ebenso viel die Nase von den Nasenlöchern bis zur Mitte der Linie der Augenbrauen. Von dieser Linie bis zum Haaransatz wird die Stirn gebildet, ebenfalls $1/3$. [...]«

(Vitruv: Zehn Bücher über Architektur 3,1,2)



Das Wohlbefinden des Menschen setzt sich aus messbaren Behaglichkeitsgrößen, die über die Sinne wahrgenommen werden, der physischen und psychischen Konstitution sowie sozialen und kulturellen Prägungen zusammen. Um die Behaglichkeit zu bewerten, dürfen nicht nur einzelne Behaglichkeitsparameter betrachtet werden, sondern es müssen auch die umfangreichen Wechselwirkungen zwischen diesen Parametern analysiert werden. So können sich verschiedene Behaglichkeits-

parameter gegenseitig verstärken oder abschwächen. Weiterhin ist zu bedenken, dass die Behaglichkeitsaspekte von Mensch zu Mensch unterschiedlich wahrgenommen und bewertet werden. Behaglichkeit wird auch situativ unterschiedlich empfunden, je nach Art der Tätigkeit, der Nutzungssituation sowie der Tages- und Jahreszeit. Eine weitere Rolle spielen die Erwartungshaltung, die mit einer bestimmten Situation verbunden wird, sowie die spezifische Aufenthaltsdauer.

Objektive Größen

Die objektiven Größen sind messbar und werden maßgeblich über die Sinne wahrgenommen. Es sind visuelle, akustische, thermische und olfaktorische Parameter, die jeweils in einem gewissen Behaglichkeitsbereich liegen müssen, damit der Mensch sich wohlfühlt. Für diese Größen sind in den Normen Bandbreiten angegeben, innerhalb derer sich ein Großteil der Menschen wohlfühlt. Dennoch bestehen individuelle Wünsche, sodass es sinnvoll ist, wenn der Nutzer auf diese objektiven Behaglichkeitsparameter individuell Einfluss nehmen kann. Ist dem Nutzer bewusst, dass er sich nur kurze Zeit in einem bestimmten Raum aufhält bzw. dass er den Ort jederzeit selbstbestimmt verändern kann, so werden auch unbehaglichere Bedingungen akzeptiert, teilweise sogar als anregend empfunden. So kann eine kühle Bauernstube mit einem Kachelofen in der Ecke mit Wohlgefühl in Verbindung gebracht werden, obwohl objektiv viele Parameter nicht im optimalen Bereich liegen. Andererseits können technisch perfekt klimatisierte Räume von vielen Menschen als unbehaglich wahrgenommen werden.

Physikalische Einflussfaktoren

Die von Mensch zu Mensch unterschiedlichen physischen Eigenschaften haben großen Einfluss auf das Behaglichkeitsempfinden. Wesentliche Parameter sind das Alter, das Geschlecht, das Gewicht, die Konstitution und der Gesundheitszustand. Auch die Tätigkeit und der damit verbundene Aktivitätsgrad spielen eine große Rolle. Die thermische Behaglichkeit ist zudem von der Kleidung abhängig.

Psychische Einflussfaktoren

Die psychische Situation eines Menschen beeinflusst das Wohlbefinden in erheblichem Maße. Je ausgeglichener ein Mensch in emotionaler Hinsicht ist, umso größer ist die Toleranz in Bezug auf objektive Behaglichkeitsparameter. Stress oder mentale Anforderungen vermindern die Toleranz für erhöhte Temperaturen, ebenso für Lärm und Störgeräusche.

Die Raumakustik kann je nach Nutzung einen großen Einfluss auf das mentale Wohlbefinden haben. Die Lichtsituation kann anregend oder beruhigend wirken, je nach Tageszeit und Raumnutzung kann eine Anregung oder Beruhigung erwünscht sein.

Kulturelle Einflussfaktoren

Die kulturelle Prägung beeinflusst die Erwartungshaltung an die Behaglichkeit. In Gegenden mit einer hohen Außenluftqualität und einer geringen Lärmbelastung wird die Möglichkeit der natürlichen Lüftung als unabdingbar gesehen. In Ländern mit einem sehr heißen, feuchten oder kalten Klima bzw. einer Lärm- oder Staubbelastung im Außenraum wird die mechanische Lüftung mit konditionierter und gefilterter Luft wertgeschätzt. Teilweise wird diese Luft durch Aromastoffe optimiert.

Soziale Einflussfaktoren

Oftmals stehen behaglichkeitsspezifische Aspekte in Wechselbeziehung mit der Wertigkeit. In kühlen Ländern werden wärmere Räume und in warmen Ländern kühlere Räume als luxuriös wahrgenommen. Auch eine gedämpfte Raumakustik wird mit Wertigkeit assoziiert. Bestehen im deutschsprachigen Raum oftmals Vorbehalte gegenüber technischen Systemen zur Konditionierung der Luft, so werden diese in anderen Ländern, insbesondere im amerikanischen oder asiatischen Raum, mit großer Begeisterung angenommen.

Planungskriterien

Um die Vielzahl an individuellen Behaglichkeitswünschen befriedigen zu können, ist es sinnvoll, technische und raumklimatische Systeme mit einer hohen Flexibilität zu versehen und dem Nutzer die Möglichkeit zu geben, die Bedingungen im Raum nach seinen Bedürfnissen individuell einstellen zu können. Dafür sind einfach zu bedienende und nachvollziehbare Nutzerschnittstellen vorzusehen.

VISUELLE BEHAGLICHKEIT

Über den Sehsinn erhält der Mensch die umfassendste Information über seine Lebensumgebung. Er kann damit den Innen- oder Außenraum sowie dort vorhandene Objekte wahrnehmen. Über das Erkennen der diesbezüglichen Texturen und Farben ergibt sich eine Information über die Materialität. Für die visuelle Wahrnehmung ist Licht erforderlich, elektromagnetische Strahlung im wahrnehmbaren Wellenlängenbereich von 380 nm bis 750 nm. Das Auge kann sich in einem weiten Bereich an verschiedene Lichtsituationen anpassen, so kann sich der Mensch bei Sternenlicht bei 0,001 lx und bei strahlendem Sonnenschein bei 100 000 lx orientieren. Zunächst erfolgt die Anpassung über den Pupillenreflex innerhalb einer Bandbreite von 1 : 10. Über eine Anpassung der Lichtempfindlichkeit der Netzhaut im Auge wird diese Bandbreite um das ca. Zehnfache erweitert. Dabei erfolgt die Anpassung von dunkel auf hell sehr schnell, von hell auf dunkel kann die Adaptionzeit bis zu 40 Minuten betragen. Neben der visuel-

len Information hat das Licht eine große Bedeutung für die Behaglichkeit, die Leistungsfähigkeit, die Psyche und die Gesundheit des Menschen. Licht und Farbe prägen Kunst und Kultur bzw. stehen damit in Wechselwirkung. Für den Sehschutz und somit für das Bauen sind die Beleuchtungsstärke, die Blendung und die spektrale Zusammensetzung, welche die Farbwiedergabe und die Farbtemperatur beeinflusst, die bestimmenden Parameter. Ob das Licht diffus oder direkt abgestrahlt wird, ist ebenfalls von Bedeutung, insbesondere für die Raumwahrnehmung.

Beleuchtungsstärke

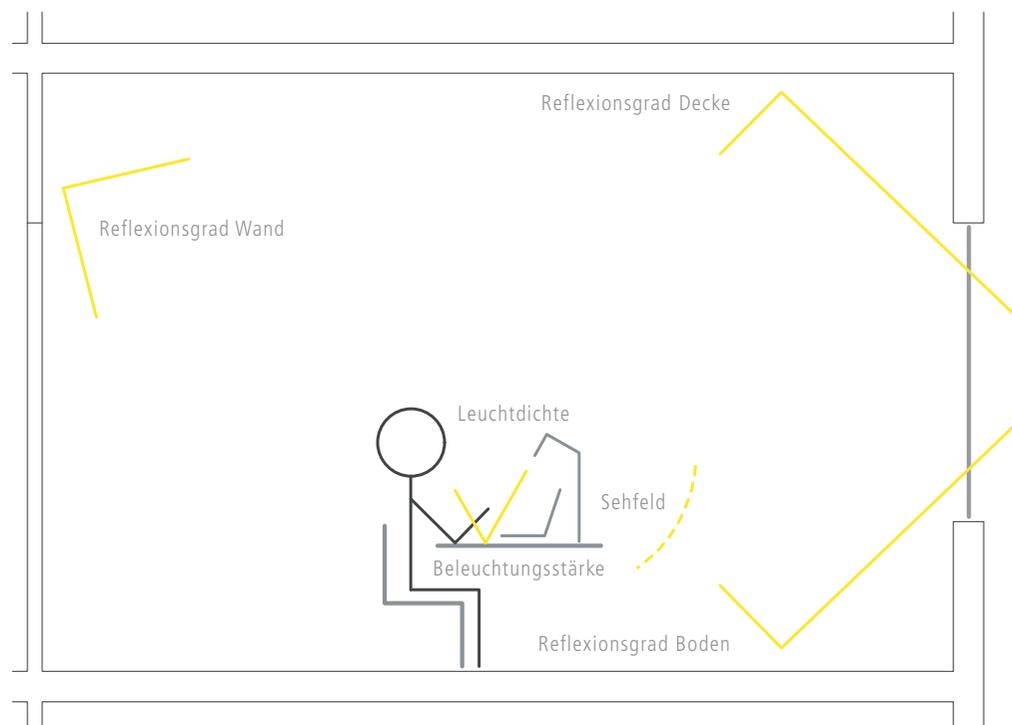
Der Sehschutz wird maßgeblich durch die Beleuchtungsstärke in Lux [lx] bestimmt. Diese bezeichnet die Lichtmenge, die auf eine bestimmte Fläche fällt. Sie ergibt sich aus dem Lichtstrom in Lumen [lm] und der Größe der jeweiligen Fläche [m²]. Der Lichtstrom ist die gesamte Lichtmenge, die von einem Leuchtmittel abgegeben wird. Dieser ist abhängig

Empfohlene Beleuchtungsstärken nach DIN EN 12464-1:

Verkehrszonen	200 lx
Archive	300 lx
Arbeitsplatz	500 lx
CAD-Arbeitsplatz	500 lx
Konferenzraum	500 lx
Techn. Zeichnen	750 lx

Empfohlene Reflexionsgrade nach DIN EN 12464-1:

Decke	60–90 %
Wände	30–80 %
Arbeitsflächen	20–60 %
Boden	10–50 %



von der elektrischen Leistung [W] und der Lichtausbeute [lm/W]. Die erforderlichen Beleuchtungsstärken sind in der DIN 5035 spezifiziert. Je komplexer die Sehaufgabe ist, umso höher muss die Beleuchtungsstärke sein. Für Erschließungsflächen genügen 100 lx, für Nebenzone 300 lx, für Büroarbeitsplätze sind mindestens 500 lx einzuhalten. Bei detailreichen Arbeiten sind höhere Beleuchtungsstärken von 750 lx bis zu 2 500 lx erforderlich, in Spezialanwendungen wie z. B. der Medizin teilweise erheblich mehr.

Blendung

Die Blendung hat maßgeblichen Einfluss auf den Sehkomfort. Sie steht in Wechselwirkung mit der absoluten Leuchtdichte [cd/m^2] oder mit den Leuchtdichteunterschieden. Ist die Leuchtdichte größer als $10\,000\text{ cd/m}^2$, kommt es zur Absolutblendung, das Auge kann sich nicht mehr anpassen und die Sehleistung ist gestört. Direktblendung entsteht durch zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld. Reflexblendung ergibt sich durch die Reflexion von Lichtquellen auf Oberflächen, sie hängt vom Glanzgrad und der Position der reflektierenden Fläche zur Lichtquelle ab. Relativblendung wird durch zu hohe Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld hervorgerufen. Diese dürfen das Verhältnis von 10 : 3 : 1 für die Bereiche Sehaufgabe, Umgebungsbereich und Umfeld nicht überschreiten.

Farbtemperatur und Farbwiedergabe

Die spektrale Zusammensetzung des Lichts bestimmt die Farbtemperatur in Kelvin [K] und die Farbwiedergabe. Licht mit einer Farbtemperatur bis ca. 3 300 K ist warmweiß und wird aufgrund des erhöhten Rotanteils als warm und beruhigend wahrgenommen. Zwischen 3 300 K und 5 300 K ist das Licht neutralweiß. Über 5 300 K ist das Licht tageslichtweiß und wirkt auf den Menschen aktivierend. Das Tageslicht schwankt von 5 000 K morgens und abends bis über 10 000 K bei blauem wolkenlosen Himmel. Die spektrale Zusammensetzung von künstlichem Licht bestimmt die

Farbwiedergabe. Enthält das Licht einer künstlichen Lichtquelle alle Spektralfarben im selben Verhältnis wie das Sonnenlicht, so sehen die Farben natürlich aus. Fehlen bei einem Leuchtmittel Spektralbereiche, dann ergibt sich eine Farbverschiebung. Diese hat Auswirkungen auf die Behaglichkeit und die Farbwahrnehmung, die vor allem im Handel oder in der Produktion von Bedeutung ist.

Planungsstrategien

Für die Behaglichkeit ist in Daueraufenthaltsräumen eine weitreichende Tageslichtversorgung unabdingbar. Ebenso reduziert diese den Strombedarf und die Kühllasten sind geringer. Vor diesem Hintergrund sind bei der Gebäudekonzeption die Tiefe von Räumen und die Innenzonen von Gebäuden auf eine optimale Tageslichtnutzung abzustimmen. Bei Nutzräumen beträgt die Raumtiefe ca. das 1,5-fache der Sturzhöhe. Innenbereiche von Gebäuden können auch durch Oberlichter oder Lichthöfe mit Tageslicht versorgt werden. Ein wichtiger Aspekt ist die Blendung, insbesondere bei Bildschirmarbeitsplätzen. Hier ist ein innenliegender Blendschutz vorzusehen, auch an nördlich orientierten Fassaden.

Mit der Digitalisierung ist eine Lichtsteuerung auf einfache Weise möglich geworden. Dadurch werden Beleuchtungsstrom eingespart, interne Wärmelasten reduziert und der Nutzer kann die Beleuchtungsstärke seinen Tätigkeiten und seinen Bedürfnissen entsprechend anpassen. Bei LED lassen sich die Lichtfarbe und die Farbtemperatur steuern. Damit ergeben sich neue Möglichkeiten, das Licht auf die Nutzung, den Aktivitätsgrad und den Tagesrhythmus anzupassen (biodynamisches Licht). Es ist zu prüfen, wie hoch das Beleuchtungsniveau in den jeweiligen Bereichen eines Raums sein muss. So ist es nicht immer notwendig, die komplette Fläche eines Büros mit 500 lx auszuleuchten. Durch eine Konzeption von Beleuchtungszonen und eine entsprechende Steuerbarkeit, auch mit Bewegungssensoren, kann Beleuchtungsstrom eingespart werden.

Mensch

Wahrnehmbare Beleuchtungsstärken:
0,1–100 000 lx

Leuchtdichtebereich:
 10^{-6} – 10^5 cd/m^2

Gesichtsfeld Mensch:
vertikal 140°
horizontal 180°

AKUSTISCHE BEHAGLICHKEIT

Über das Hören findet eine unterbewusste Raumwahrnehmung statt. Auch die zwischenmenschliche Kommunikation erfolgt maßgeblich darüber. Die akustische Wahrnehmung erfolgt über Schallwellen. Diese sind Druck- und Dichteschwankungen in der Luft, die sich mit Schallgeschwindigkeit ausbreiten. Das menschliche Ohr kann Tonhöhen [Hz] in einem Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 000 Hz wahrnehmen. In Bezug auf die Schallintensität in Dezibel [dB] kann das Gehör in einem Bereich von ca. 10 dB bis zur Schmerzgrenze von 130 dB hören. Die Schallwahrnehmung ist dabei frequenzabhängig und bei 4 000 Hz am höchsten. Darüber nimmt sie etwas ab, bei tiefen Frequenzen nimmt sie erheblich ab. Dieser Effekt ist auch schallpegelabhängig. Um diese Eigenschaft des Ohrs in einer Kenngröße abzubilden, gibt es bewertete Schalldruckpegel [dB(A)]. Eine Verdopplung der Schallquellen bewirkt eine Schallpegeländerung von +3 dB, eine Schallpegeländerung von +10 dB wird als doppelt so laut wahrgenommen. Das Hören

beeinflusst die Behaglichkeit, die Konzentrationsfähigkeit und die Kommunikationsfähigkeit von Menschen in Räumen. Im Baubereich sind der Schallschutz vor Außenlärm, die Körper- und Luftschallübertragung innerhalb eines Gebäudes sowie die Raumakustik von Bedeutung. Die akustischen Verhältnisse in einem Raum werden von der Raumanordnung im Gebäude, dem Außenlärm, der Schalldämmung der Fassade und der Innenbauteile, der Geräuschentwicklung haustechnischer Anlagen, der Raumgröße, der Raumform sowie der Schallabsorptionsfähigkeit der Innenoberflächen bestimmt.

Luftschallschutz

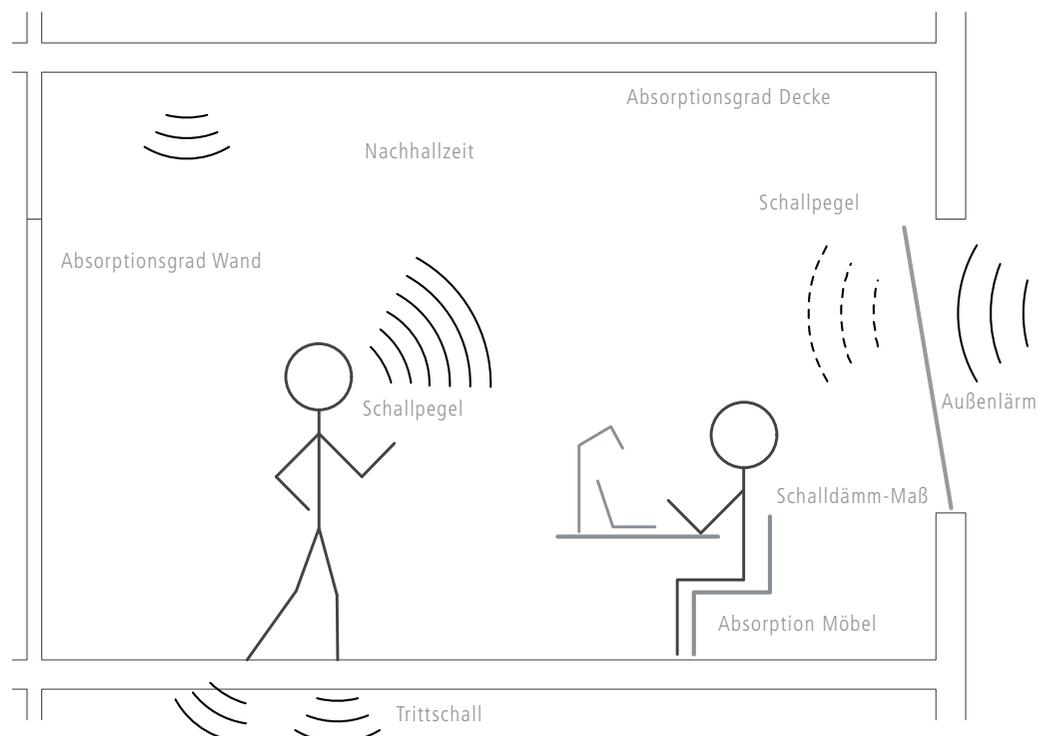
Beim Schallschutz gilt es, das Eindringen von Außenlärm und die Luftschallübertragung von Raum zu Raum zu verhindern. Der Außenlärm-eintrag kann in einem ersten Ansatz konzeptionell durch eine optimierte Baukörperanordnung, durch Wintergärten, Schallschutzwände oder Pflanzen reduziert werden. Weiterhin ist

Typische Schallpegel:

Konzerthaus	< 20 dB(A)
Schlafraum	25–30 dB(A)
Wohnraum	35–40 dB(A)
Büro	45–55 dB(A)

Typische Nachhallzeiten:

Tonstudio	0,2–0,3 s
Wohnraum	0,5–0,6 s
Büroraum	0,5–0,7 s
Besprechung	0,6–0,8 s
Unterricht	0,6–0,8 s
Vortrag	0,7–0,9 s
Konzerthaus	1,0–2,0 s



die Fassade in Bezug auf den Schallschutz optimiert auszubilden. Dies erfolgt durch Bauteile mit höherer Masse und durch Schallschutzgläser. Der größte Teil des Außenlärmbeitrags dringt über geöffnete Fassadenöffnungen für die natürliche Lüftung in den Raum ein. Hier kann durch eine zweite Glasebene der Lärmbeitrag vermindert werden. Ein Mindestmaß an akustischen Einflüssen vom Außenraum ist günstig für den Außenbezug und ein gewisser Grundsollpegel vermindert die Verständlichkeit von Gesprächen in Nachbarräumen, wodurch sich die Vertraulichkeit verbessert. Um die Schallübertragung innerhalb des Gebäudes zu reduzieren, sollten die Innenwände schalldämmend ausgeführt werden. Dies kann durch Innenbauteile höherer Masse oder durch Konstruktionen mit zwei akustisch entkoppelten Schalen unterschiedlicher Eigenfrequenz in Verbindung mit einer Dämpfung des Zwischenraums erfolgen. In Büroräumen soll der Schallpegel 55 dB(A) nicht überschreiten, bei Arbeiten, die eine hohe Konzentration erfordern, sollte er unter 45 dB(A) liegen. Bei Wohngebäuden sind die Anforderungen höher. In Wohnräumen sollte der Schallpegel unter 40 dB(A) liegen, in Schlafräumen unter 30 dB(A).

Körperschallschutz

Die Körperschallübertragung tritt in der Regel durch Trittschall, aber auch durch Anregung von Bauteilen, z. B. über Sanitärgegenstände, auf. Um eine Trittschallübertragung zu vermeiden, ist der Estrich schwimmend auf einer Trittschalldämmung auszuführen. Dabei ist auf die Entkoppelung der Ränder mit einem Randdämmstreifen ein besonderes Augenmerk zu richten. Im Sanitärbereich sollte eine weitreichende Entkopplung vorgesehen werden.

Raumakustik

Die Raumakustik beschreibt die Art der Schallausbreitung in Räumen. Hier ist die Dimensionierung und räumliche Verteilung schallabsorbierender und schallreflektierender Flächen im Raum das bestimmende Kriterium für die

Behaglichkeit, die Konzentrationsfähigkeit und die Sprachverständlichkeit. Das Maß für die Raumakustik ist die Nachhallzeit T_{60} [s], die Zeitdauer in Sekunden, in der der Schalldruckpegel um 60 dB abnimmt, nachdem die Schallquelle verstummt ist. Die für einen bestimmten Raum richtige Nachhallzeit hängt von seinem Volumen und seiner Nutzung ab. In Büroräumen ist ein niedriger Geräuschpegel wichtig. Das bedeutet, dass solche Räume keine lange Nachhallzeit haben dürfen. Sie sollte je nach Raumvolumen bei 0,5 s bis 0,7 s liegen. In Unterrichts-, Besprechungs- und Vortragsräumen ist eine gute Sprachverständlichkeit wichtig. Hier liegt die anzustrebende Nachhallzeit mit 0,6 s bis 0,9 s höher. Säle für Musik haben mitunter lange Nachhallzeiten von bis zu 2,0 s, teilweise kann diese durch bauliche Maßnahmen auch variabel anpassbar sein.

Planungsstrategien

Für den Schallschutz ist eine günstige Raumanordnung die effizienteste Maßnahme. Räume mit erhöhten Schallschutzanforderungen sollten von Außenlärmquellen und von inneren Schallemissionen möglichst weit entfernt angeordnet werden. Eine Herausforderung ist die natürliche Lüftung bei Schallbelastung. Hier können Prallscheiben, Kastenfenster, ein Wintergarten oder eine Doppelfassade eine natürliche Lüftung ermöglichen und gegebenenfalls eine mechanische Lüftung erübrigen.

Freiliegende Speichermassen, die aus raumklimatischer Sicht wünschenswert sind, führen oftmals zu raumakustischen Nachteilen, da eine abgehängte Decke mit Akustikelementen nicht möglich ist. Mit einer raumakustisch wirksamen Möblierung kann Abhilfe geschaffen werden, z. B. durch eine perforierte Tischunterseite. Bei der Betonkernaktivierung stellt der Trittschallschutz eine besondere Herausforderung dar, da ein schwimmender Estrich gegebenenfalls nicht eingebaut werden kann. Eine erhöhte Deckendicke und ein weicher Bodenbelag, z. B. Nadelfilz, können zu einer Verbesserung des Schallschutzes beitragen.

Mensch

Wahrnehmbarer
Frequenzbereich:
20–20 000 Hz

Frequenzbereich
menschliche Sprache:
100–8 000 Hz

Wahrnehmbarer
Schalldruckpegel:
10–130 dB

THERMISCHE BEHAGLICHKEIT

Die Haut ist das sensibelste Sinnesorgan des Menschen mit Rezeptoren für Kälte, Wärme, Druck und Schmerz. Das Kälteempfinden wird lokal über Kältesensoren der Haut registriert, das Wärmeempfinden global über Wärmesensoren im Gehirn. Über die Haut wird die Temperatur des Körpers reguliert. Bei zu niedrigen Temperaturen verengen sich die Blutgefäße, wodurch die Durchblutung vermindert wird und sich die Wärmeabgabe reduziert. Bei zu hohen Temperaturen fängt der Körper zu schwitzen an und es wird Wärme mit bis zu 300 W/m^2 über Verdunstung abgegeben. Luftbewegung erhöht die Wärmeabgabe, dies wird je nach Situation als behaglich oder unbehaglich empfunden. Das Wärmeempfinden eines Menschen wird beeinflusst von seiner Tätigkeit, seiner Bekleidung, seiner Gesundheit, seinem Alter und dem Geschlecht. Weitere Faktoren sind die Aufenthaltsdauer im Raum, die Jahreszeit oder auch der kulturelle Hintergrund. Das Raumklima in Gebäuden setzt sich zusammen aus der Lufttemperatur, der Luft-

temperaturverteilung, den Oberflächentemperaturen, den Strahlungsverhältnissen, der Luftgeschwindigkeit und der Luftfeuchte. Bei längerem Aufenthalt in Räumen mit zu hohen Temperaturen verringert sich die Leistungsfähigkeit, bei zu niedrigen entsteht thermische Unbehaglichkeit. Die thermische Behaglichkeit hat Auswirkungen auf die erforderliche thermische Qualität der Gebäudehülle und auf die notwendige Gebäudetechnik. Sie beeinflusst den Energieaufwand für Heizung und Kühlung, der mit 50 % bis 75 % den größten Anteil am Gesamtenergiebedarf eines Gebäudes einnimmt. Insbesondere der Kältebedarf steht in Wechselbeziehung mit der thermischen Behaglichkeit. Der Energiebedarf für die Kühlung wird infolge der Klimaerwärmung künftig zunehmen.

Operative Raumtemperatur

Die operative Raumtemperatur setzt sich aus der Raumlufttemperatur und der mittleren Oberflächentemperatur der raumumschlie-

Behagliches Raumklima

Winter

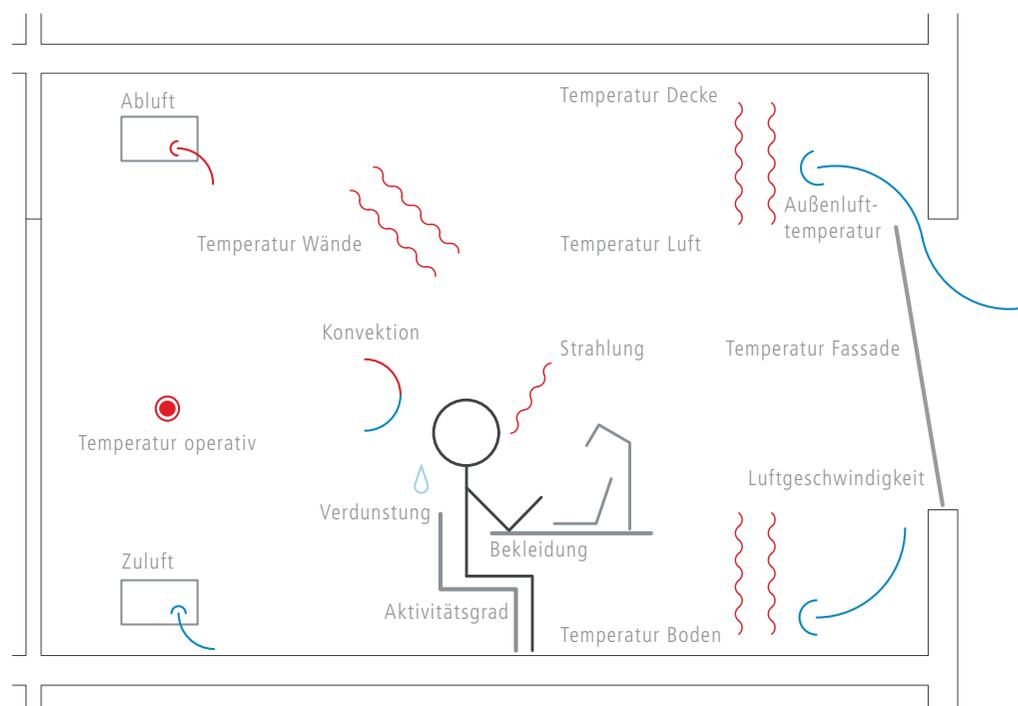
op. Raumtemperatur:
 $22^\circ \text{C} \pm 2 \text{ K}$

Luftgeschwindigkeit:
 $0,16 \text{ m/s}$

Sommer

op. Raumtemperatur:
 $24^\circ \text{C} \pm 1,5 \text{ K}$

Luftgeschwindigkeit:
 $0,19 \text{ m/s}$



Benden Flächen zusammen. Sind die Temperaturen der Oberflächen bedingt durch einen besseren Wärmeschutz oder aufgrund von Flächenheizsystemen höher, so kann die Raumlufttemperatur niedriger sein, wodurch sich die Lüftungswärmeverluste reduzieren. Die optimale operative Raumtemperatur hängt vom Aktivitätsgrad und der Bekleidung ab. In Ruhe bei angepasster Bekleidung ist im Winter eine operative Raumtemperatur von 22 °C ein guter Wert, Temperaturen unter 20 °C werden als kühl empfunden, Temperaturen über 24 °C als zu warm. Bei Nutzungen mit hoher Aktivität oder wärmerer Bekleidung, z. B. im Fitnessstudio, in der Werkstatt, im Flughafen, sind niedrigere Temperaturen zu wählen, höhere Temperaturen sind z. B. in medizinischen Behandlungsräumen oder Schwimmbädern sinnvoll. Im Sommer empfiehlt sich ein Temperaturbereich von 22 °C bis 26 °C, die Grenztemperatur nach der Arbeitsstättenrichtlinie liegt bei 26 °C. Gegebenenfalls sind auch Temperaturen über 26 °C akzeptabel, sofern sie gleitend 5 K unter der Außenlufttemperatur liegen. Bei erhöhten Anforderungen an die Leistungsfähigkeit oder bei einem bestehenden Kleidungscode stellen 25 °C eine sinnvolle Obergrenze dar. Ein weiterer Aspekt für die thermische Behaglichkeit besteht darin, dass für die Temperaturen einzelner Flächen Grenzen bestehen, welche die Energieübertragung einschränken. So ist die Heizleistung über die Decke mit 40 W/m² bis 50 W/m² begrenzt. Die Fußbodentemperatur sollte 19 °C nicht unterschreiten, wodurch mit ca. 20 W/m² nur ein geringes Kühlpotenzial besteht. Ebenso kann sich bei schlecht gedämmten Außenfassaden Strahlungsasymmetrie einstellen, der durch fassadennahe Heizflächen begegnet werden kann.

Luftfeuchte

Die Luftfeuchte hat Einfluss auf die thermische Behaglichkeit und Auswirkungen auf die Schleimhäute und die Haut. Die ideale Luftfeuchte liegt bei 40 % bis 50 %. Im Sommer werden relative Luftfeuchten über 70 % als un-

angenehm schwül empfunden. Eine zu hohe Luftfeuchte birgt zudem die Gefahr von Schimmelpilzbildung, insbesondere bei vorhandenen Wärmebrücken. Im Winter besteht die Gefahr einer zu niedrigen Luftfeuchte von unter 20 %, die zu trockener Haut und gereizten Schleimhäuten und infolgedessen zu Atemwegserkrankungen führen kann. Zudem wird die elektrostatische Aufladung von Kunststoffen begünstigt. Dennoch wird eine maschinelle Befuchtung der Zuluft aufgrund der möglichen Keimbildung mittlerweile kritisch gesehen.

Luftgeschwindigkeit

Luftbewegung im Winter wird ab einer Geschwindigkeit von 0,1 m/s bis 0,2 m/s als unbehaglicher Luftzug wahrgenommen. Bei Zuluftauslässen und an hohen Glasfassaden ist auf zu hohe Strömungsgeschwindigkeiten zu achten. Im Sommer kann eine höhere Luftgeschwindigkeit die Wärmeabgabe des menschlichen Körpers verbessern, was als angenehm empfunden werden kann, sofern die Luftgeschwindigkeit unter 0,5 m/s bleibt und der Nutzer Einfluss auf den Luftstrom nehmen kann, z. B. bei einem Ventilator.

Planungsstrategien

In Bezug auf das Raumklima gilt es, die Anforderungen für die maximal zulässigen Raumtemperaturen sorgfältig abzuwägen, da mit jedem Grad geringerer Raumtemperatur im Sommer bzw. höherer Raumtemperatur im Winter der technische und energetische Aufwand enorm steigt. Gut gedämmte Außenwände und Fenster mit Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung weisen höhere innere Oberflächentemperaturen auf. Dadurch ist keine Heizfläche an der Außenfassade notwendig und der Installationsaufwand reduziert sich. Zudem ist die erforderliche Heizleistung des Gebäudes geringer. Insbesondere bei innovativen Wärmeerzeugungssystemen können somit Investitionskosten eingespart werden. Insgesamt reduziert ein guter Wärmeschutz den Energiebedarf, vermindert die Technikkosten und erhöht die Behaglichkeit.

Mensch

Hauttemperatur:
im Mittel 32–34 °C

Körperkerntemperatur:
36,5–37,0 °C

Oberfläche:
1,7–1,9 m²

Feuchteabgabe:
ca. 30 g/h bis zu 150 g/h

Gesamtwärmeabgabe:
von 80 W bis über 270 W

Anteile der Wärmeabgabe:
Kopf 30 %, Hände 20 %,
Fußsohlen 35 %, Rumpf 15 %

OLFAKTORISCHE BEHAGLICHKEIT

Die ursprünglichste Aufgabe des Geruchssinns war es, reflexartig und ohne Umwege über das Bewusstsein bei Gefahr Schutzreaktionen auszulösen. Über die Nase hat ein Mensch den schnellsten Zugang zu seiner Gefühlswelt, da jeder Duft auf direktem Weg das Gefühls- und Erinnerungszentrum im Gehirn anregt. Gerüche, an die man sich erinnert, sind immer emotional belegt. Ein Mensch kann mindestens 10 000 verschiedene Gerüche durch abgespeicherte Geruchsmuster im Gehirn auch in extremer Verdünnung unterscheiden. Die menschliche Nase kann aktuell nicht durch Sensoren nachgebildet werden. Die Wahrnehmung eines intensiven Geruchs nimmt bereits nach sehr kurzer Zeit ab, man bemerkt typischerweise nicht, wenn man sich in einem Raum mit schlechter werdender Luftqualität aufhält. Die Luftfeuchte und Lufttemperatur haben einen wichtigen Einfluss auf das Geruchsempfinden. Die Luftqualität wird mit zunehmender Luftfeuchte oder Lufttemperatur als schlechter empfunden. Das Lüften von Räumen ist primär

zur Abfuhr von ausgeatmetem CO_2 wichtig, weniger – wie häufig angenommen – für die Versorgung mit Sauerstoff. Weitere Aspekte sind die Abfuhr von Luftfeuchtigkeit und von Schad- und Geruchsstoffen. Die Qualität der Raumluft ist abhängig von der Reinheit der Frischluft und den Verunreinigungen, die sich durch die Nutzung sowie die Materialien im Raum und in Lüftungsanlagen ergeben. Die Lüftung hat einen erheblichen Einfluss auf den technischen Aufwand und die Fassadenkonstruktion. Zudem bestimmt sie den Energiebedarf zur Kompensation der Lüftungswärmeverluste, für die Antriebsenergie sowie für die Kühlung der Zuluft im Sommer.

CO_2 -Konzentration

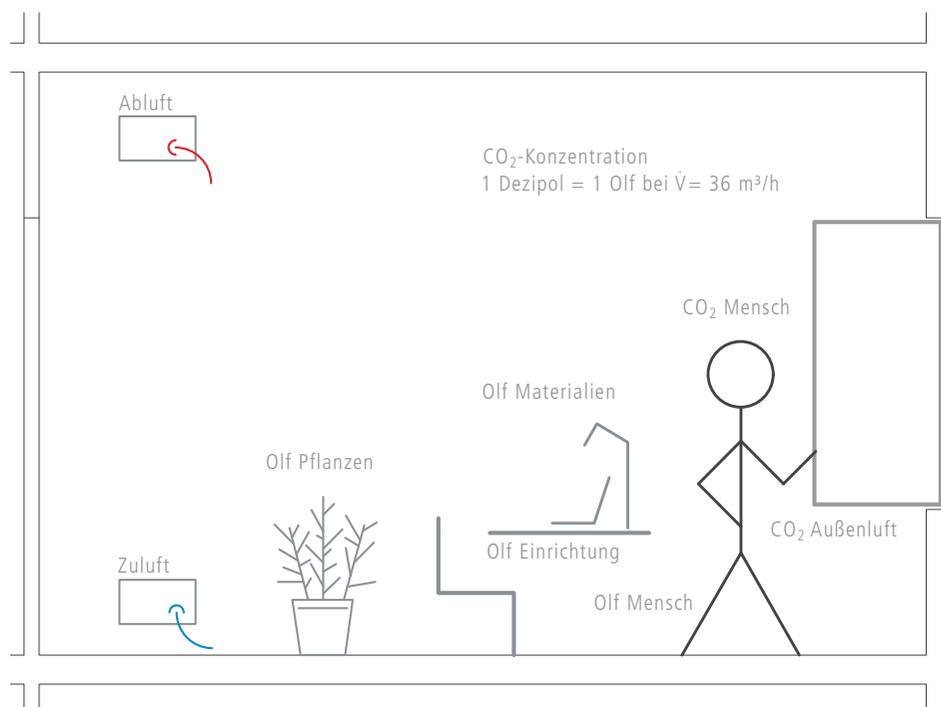
Die CO_2 -Konzentration sollte unter 0,10 % liegen. Dieser Wert wurde von Max von Pettenkofer bereits 1858 beschrieben. Die DIN 1946 fordert als Grenzwert 0,15 %. Steigt die CO_2 -Konzentration über diesen Wert, können Nutzer sich unwohl fühlen, was sich in

Typischer erforderlicher
Frischlufthbedarf je Person:

Verkehrsfläche:	20 m ³ /h
Wohnraum:	30 m ³ /h
Schulungsraum:	30 m ³ /h
Gastronomie:	30 m ³ /h
Konferenzraum:	30 m ³ /h
Einzelbüro:	40 m ³ /h
Großraumbüro:	60 m ³ /h

Flächenbezogene Ver-
unreinigungslast in Büros:

Personen:	0,1 olf/m ²
Materialien:	0,2 olf/m ²
Lüftung:	0,2 olf/m ²
Raucher:	0,5 olf/m ²



Müdigkeit, verminderter Konzentration oder Kopfschmerzen äußern kann. Ebenso nimmt das Ansteckungsrisiko zu. Für die CO₂-Abfuhr ist je Person ein Luftwechsel von 30 m³ in der Stunde ein guter Wert, bei dem die Pettenkofer-Grenze eingehalten wird. Mit diesem Volumenstrom werden in der Regel auch die Geruchsstoffe und die Luftfeuchtigkeit sicher abgeführt.

Feuchteabfuhr

Eine weitere wichtige Funktion der Lüftung ist die Abfuhr von Feuchte, die in den Räumen durch Menschen und durch die Nutzung, wie z. B. Kochen oder Duschen, oder durch Feuchtequellen, wie Pflanzen oder Wäsche, freigesetzt wird. Diese Thematik hat in den letzten Jahrzehnten vor dem Hintergrund dichter werdender Gebäudehüllen zugenommen. Insbesondere an Wärmebrücken besteht bei einer relativen Raumluftheuchte über 70 % die Gefahr von Kondensat auf der Bauteiloberfläche mit der Folge von Schimmelpilzbildung.

Olfaktorische Luftqualität

Ein Maß für die geruchsspezifische Verunreinigung der Luft ist das Olf [olf]. Es entspricht der Freisetzung von Geruchsstoffen durch einen Menschen mit üblichem Hygienestandard bei leichter Bürotätigkeit. Findet die Geruchsbelastung von einem Olf in einem Luftvolumenstrom von 36 m³/h statt, so ergibt sich eine wahrnehmbare Geruchsintensität von einem Dezipol [dp]. Die Anforderungen an eine als angenehm empfundene Luftqualität beim Betreten des Raums bewegen sich zwischen 0,7 dp und 2,5 dp. Für eine gute olfaktorische Behaglichkeit ist es vorteilhaft, wenn nur wenige geruchsemittierende Materialien im Raum verbaut sind. Weiterhin ist es günstig, wenn die Oberflächen leicht zu reinigen und wischbar sind. Textile Bodenbeläge, Vorhänge oder Möbel neigen dazu, Gerüche anzunehmen. Dadurch ist ein höherer Luftwechsel im Raum notwendig, wodurch sich ein erhöhter Lüftungswärmebedarf ergeben kann.

Planungsstrategien

Die Festlegung des Luftwechsels muss sorgfältig erfolgen. Einerseits soll dem Nutzer eine möglichst gute Luftqualität zur Verfügung stehen, andererseits steigt mit zunehmendem Luftwechsel der technische Aufwand und der Energiebedarf. Wenn der Nutzer individuell und selbstbestimmt ergänzend natürlich lüften kann, ist auch ein geringerer Luftwechsel als 30 m³/h pro Person möglich. Dadurch kann die Dimensionierung einer Lüftungsanlage kleiner erfolgen und der Platzbedarf für die Lüftungszentrale sowie für Schächte und Kanäle vermindert sich, wodurch technische und bauliche Kosten eingespart werden. Bei hoher Außenluftqualität lässt sich die Außenluftwechselrate reduzieren. Die Untergrenze sollte 20 m³/h je Person allerdings nicht unterschreiten.

Für eine sichere Feuchteabfuhr in Abwesenheit des Nutzers sollte die Luftfeuchte gemessen werden und der Raum so lange maschinell gelüftet werden, bis die relative Luftfeuchte wieder unter 70 % liegt. Im Hinblick auf die olfaktorische Behaglichkeit kann durch eine Auswahl von Materialien, die wenig Gerüche absorbieren, die Luftqualität verbessert und der Energiebedarf für Lüftung verringert werden. In der Regel sind dann allerdings die Flächen weniger schallabsorbierend, sodass auf eine Wechselwirkung mit der Raumakustik zu achten ist.

Mensch

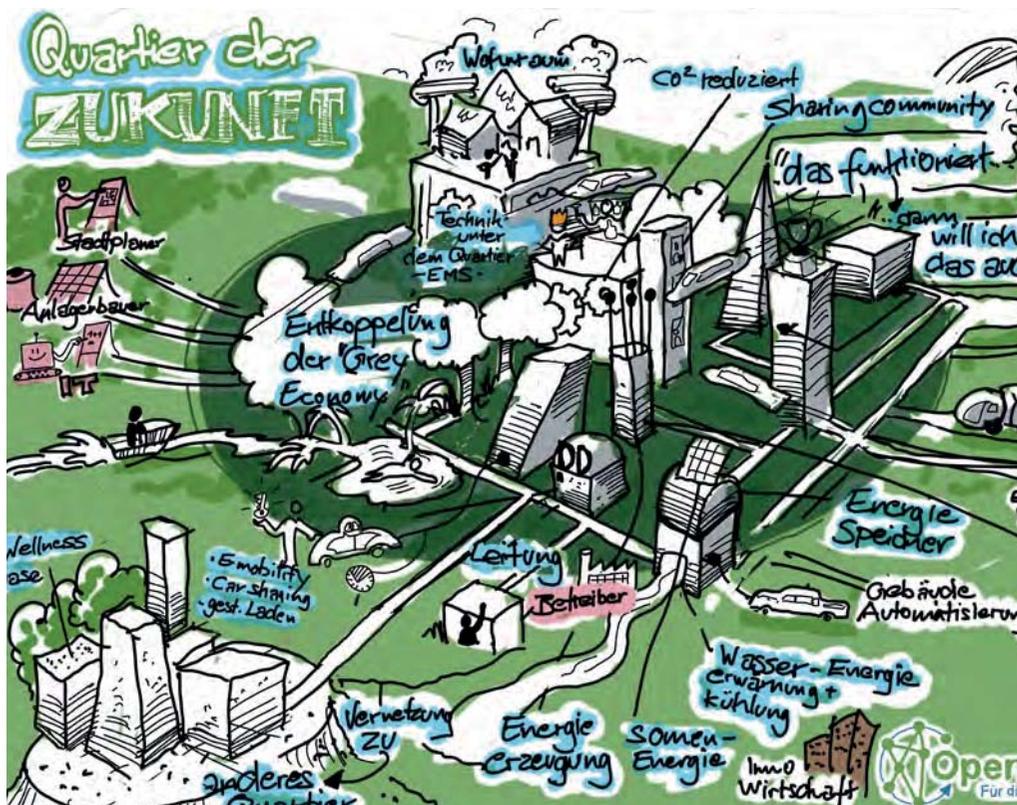
Unterscheidung von 10 000 verschiedenen Düften

16 Atemzüge pro Minute

Atemluftmenge:
0,5–9 m³/h

CO₂-Abgabe:
10–20 l/h

Geruchsemmission:
1 olf



Mit sogenanntem »Graphic Recording« kann ein intuitiver spielerischer Kreativitätsprozess einer Gruppe begleitend dokumentiert werden. Es entstehen dann »Wimmelbilder«, die je nach Prozess eine unterschiedliche Detaillierung der jeweiligen Themen aufweisen. In der reflexiven Diskussion der Beteiligten über das »Wimmelbild« entstehen wiederum neue Erkenntnisse, sodass ein kontinuierlicher Prozess in Gang kommt.

Die Grafik wurde im Kontext eines Workshops des »Open District Hub« in Kooperation mit der Fraunhofer-Gesellschaft erstellt.

Zeichnung: Jens Hahn

Technologien und Nachhaltigkeitsstrategien anpassen zu können. Der Planungsprozess für ein Gebäude gliedert sich in verschiedene aufeinanderfolgende Phasen, die jeweils eigene Arbeitsmethoden und Planungsstrategien erfordern: Bevor die eigentliche Planung für ein Projekt beginnt, ist es wichtig, sich über die Projektziele Klarheit zu verschaffen und eine Bedarfsplanung durchzuführen. Dies ist teils ein logischer Prozess, teils läuft er jedoch vollkommen intuitiv ab. In dieser Ideen- oder Konzeptphase geht es darum, sich über die Funktionen und Eigenschaften des geplanten Gebäudes klar zu werden. Hier werden die Rahmenbedingungen und Anforderungen spezifiziert. Diese sind dabei sorgfältig zu überprüfen und abzuwägen, da sie im weiteren Projektverlauf umfangreiche Einschränkungen oder Mehrkosten bewirken bzw. zu einem erheblichen Energie- und Technikaufwand führen können. In dieser Phase ist es häufig auch sinnvoll, die späteren Nutzer oder andere von dem Projekt Betroffene einzubeziehen, um

die bestmögliche Funktionalität zu erreichen und um mögliche Bedenken gegenüber dem Projekt auszuräumen. Um im Planungsprozess intuitive Erkenntnisse zu erhalten, ist es häufig hilfreich, mit den Händen zu arbeiten, zu skizzieren, zu modellieren oder im freien Dialog mit anderen zu stehen. Generell ist es sinnvoll, Lösungsstrategien strukturiert und spielerisch im Team zu entwickeln, um das Wissen und die Erfahrungen zahlreicher Nutzer, Planer und Experten interaktiv in den Planungsprozess einfließen zu lassen. Bei heutigen Bauprojekten, die energetisch und funktional optimiert werden, sind eine Vielzahl von Fachdisziplinen involviert. Hierbei ist es notwendig, die verschiedenen Spezialisten zu einem Planungsteam zusammenzuführen, damit diese ihr Expertenwissen optimal in das Projekt einbringen können. Ein idealer Planungsprozess ist eine Kombination von strukturierten zielgerichteten Arbeiten in Verbindung mit einer intuitiven agilen Vorgehensweise, die Raum lässt für unerwartete Lösungsmöglichkeiten.

Beteiligungsverfahren

Neue Projekte und Technologien lösen oftmals Widerstände bei betroffenen Nutzern, Mitarbeitern oder Bürgern aus. Um berechtigte Bedenken zu erkennen und in den Prozess einfließen zu lassen und um unbegründete Sorgen auszuräumen, ist es wichtig, alle von einem Vorhaben Betroffenen von Beginn an in den Verfahrensprozess einzubinden, auch um nachhaltig tragfähige Kompromisse oder Kompensationsmöglichkeiten zu finden. Diese Beteiligungsverfahren bedürfen der empathischen Moderation, damit alle Beteiligten »sich mitgenommen fühlen«. Der Mensch neigt dazu, Veränderungen des Gewohnten tendenziell abzulehnen. Diesen Mechanismus gilt es zu durchbrechen und die Chancen und Potenziale der Veränderung aufzuzeigen. Im Idealfall fließt die Erfahrung der Betroffenen in den Prozess mit ein und bietet auf diese Weise ein Optimierungspotenzial.

Planungsworkshops

In der Spezifikationsphase eines Gebäudes müssen die Erfahrungen der Planer und späteren Nutzer eines Gebäudes zusammengeführt werden. Die Schwierigkeit besteht darin, dass die Nutzer nicht in bauspezifischen oder technischen Kategorien denken und die Planer die oftmals komplexen nutzungsspezifischen Zusammenhänge nicht vollumfänglich überblicken können. Um dieser Herausforderung zu begegnen, ist es in der Praxis oft sinnvoll, moderierte interaktive Workshops durchzuführen. Dabei haben sich auch spielerische Me-

thoden, wie das Malen oder das Bauen mit Legosteinen, bewährt, um komplexe Sachverhalte auf intuitive Weise verständlich zu machen. Eine weitere Methode, um die spätere Nutzung zu analysieren, ist die Entwicklung von sogenannten »Personas«. Dabei werden mögliche Nutzer eines Projekts beschrieben und charakterisiert. Anhand der Eigenschaften dieser »Personas« werden dann mögliche Nutzungsszenarien, Prozessabläufe, Bedürfnisse und Eigenschaften abgeleitet. Häufig werden die Nutzungsabläufe dieser »Personas« auf spielerische Weise in der Gruppe nachvollzogen, z. B. in Rollenspielen. Dadurch können Probleme in Funktionsabläufen besser erkannt werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Dialoge und Aussagen im Verlauf dieser interaktiven Prozesse begleitend mit »Wimmelbildern« zu visualisieren. In der Auseinandersetzung mit diesen Visualisierungen werden oftmals unterbewusste Optimierungsprozesse ausgelöst und angestoßen. Bei Planungsworkshops geht es zunächst darum, dass hoch spezialisierte Experten ihr Wissen und ihre Erfahrung in ein interdisziplinäres Gesamtprojekt einfließen lassen. Dabei besteht die Herausforderung darin, sich einerseits nicht in Details zu verlieren und andererseits keine relevante Information zu übersehen. Darauf müssen die Moderatoren dieser Prozesse einen besonderen Fokus richten.

Planungsteam

War früher der Baumeister der Planer und Bauleiter eines Gebäudes in einer Person, so sind

Auf Flipcharts können mit einfachen Skizzen erste Lösungsansätze visualisiert werden. Dafür können vorbereitete Vorlagen den Ideenprozess strukturieren. In Moderations- und Beteiligungsverfahren bietet es sich an, mit beweglichen Pinnwänden zu arbeiten, sodass alle Beteiligten den Überblick behalten, am Prozess mitwirken und auf diese Weise ihre Expertise einbringen können.



Mit Quartierbauspielen können die Wünsche und Bedürfnisse der Nutzer auf einfache Weise experimentell visualisiert werden.



mittlerweile eine Vielzahl von Spezialisten an der Planung beteiligt. Dies liegt einerseits an der zunehmenden Komplexität der Gebäude an sich, andererseits an den umfangreichen funktionalen Anforderungen, die ein Gebäude in der späteren Nutzung erfüllen muss. Vor diesem Hintergrund ist es erforderlich, dass die Planungs- und Bauprozesse eines Gebäudes koordiniert werden. Lag dies bisher allein in der Hand des Architekten, so sind bei großen Bauvorhaben Projektsteuerer oder bei komplexen Bauprojekten übergeordnete koordinierende Spezialisten für Teilbereiche, z. B. für den Bereich der energetischen, klimatischen und technischen Planung, zielführend. Dadurch können hoch spezialisierte Experten, wie z. B. Programmierer, Physiker oder Aerodynamiker, die normalerweise in anderen Technikdisziplinen mit eigenen Anforderungen, Detaillierungsgraden und Arbeitsmethoden arbeiten, in einen Bauplanungsprozess eingebunden werden.

Planungswerkzeuge

Auch im Zeitalter der Digitalisierung haben die tradierten Planungswerkzeuge im Baubereich, die Skizze, die Zeichnung und das Modell, ihre Bedeutung nicht verloren. Vor allem im Skizzieren und im Bauen von zahlreichen Arbeitsmodellen findet ein interaktiver unterbewusster Lernprozess statt, der eine kontinuierliche Annäherung an das Planungsziel ermöglicht. Digitale Planungsmethoden sind im allerersten Planungsstadium in der Regel schwieriger einzusetzen. Dies liegt insbesondere darin be-



gründet, dass sie noch nicht in dem erforderlichen Maße intuitiv bedienbar sind. Im späteren Planungsverlauf können digitale Modelle auf einfache Weise Visualisierungen ermöglichen und Entwurfsaspekte können, teilweise automatisiert, verändert werden. Damit kann ohne großen Aufwand eine umfangreiche Zahl an Varianten erstellt werden. Die Qualität von digitalen Ergebnissen ist mit konventionellen Methoden nur mit sehr großem Aufwand zu erreichen. Mit der Weiterentwicklung digitaler Technologien auf Basis enorm erhöhter Rechenleistung und durch verbesserte Mensch-Maschine-Schnittstellen werden neue intuitive Planungswerkzeuge entstehen, die auch schon in frühen Planungsphasen eingesetzt werden können. Diese Funktionalitäten kommen aus dem Bereich des Gamedesigns und der »Augmented-Reality«.

Parametrisches Design

Die nächste Evolutionsstufe liegt im »parametrischen Design«, bei dem durch eine automatisierte Varianz der Geometrie oder der Materialien eine optimale Gebäudekonfiguration mit den dafür ausgelegten technischen Systemen im Computer berechnet wird. Dadurch kann z. B. eine Fassade mit optimierten Fensterflächen in Verbindung mit einem geometrisch optimierten und nach klimatischen Kriterien gesteuerten Sonnenschutz für einen bestimmten Standort und eine bestimmte Gebäudenutzung ermittelt werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, ein Optimum aus Energieeinsparung, Material- und Ressourcenverbrauch



Beim Zusammenwirken von hoch spezialisierten Experten kann es sinnvoll sein, mit den Händen zu interagieren, um die intuitive Kreativität zu aktivieren. Auf diese Weise können mit »Lego Serious Play-Workshops« spontane und unerwartete Lösungen gefunden werden.

Mit Arbeitsmodellen können bauliche Strukturen auf einfache Weise ausprobiert und weiter entwickelt werden. Sie dienen weniger der Präsentation, sondern vielmehr dem Prozess der Form- und Strukturfindung und sind daher auch nur temporär von Bedeutung wie hier das »essbare Modell« eines städtebaulichen Konzepts.

und Wirtschaftlichkeit zu entwickeln. Diese Optimierung ist bisher auf Basis der Erfahrung des Planers teilweise intuitiv erfolgt. Mit einer Berechnung am Computer sind die Ergebnisse jedoch viel präziser und fundierter.

Generative Design

Die Weiterentwicklung des »parametrischen Designs« führt zum »generativen Design«. Dabei wird mithilfe von selbstlernenden Algorithmen, auf Basis von künstlicher Intelligenz und unter Nutzung großer, vernetzter, cloud-basierter Rechenleistung auf Supercomputern eine Vielzahl von Entwurfsalternativen berechnet. Damit können extrem viele Szenarien entwickelt werden, die hinsichtlich verschiedener Kriterien, wie z. B. Ökonomie, Energiebedarf, Struktur etc., optimiert sind. Der Planer legt die Rahmenbedingungen in einem digitalen Planungssystem als Planungsparameter, wie z. B. Gewicht, Belastbarkeit, Werkstoffart, bauphysikalische Eigenschaften oder Kosten, fest. Anhand von Algorithmen und logischen

Kalkulationen werden mittels »Cloud Computing« Tausende Entwürfe erstellt und für jede Entwurfsvariante automatisiert die Leistungsfähigkeit analysiert sowie die Vor- und Nachteile abgewogen. In der Zeit, die ein Mensch braucht, um einen einzigen Entwurf durchzuplanen und zu bewerten, kann der Computer Tausende Alternativen erstellen. Der Konstrukteur verfeinert die Parameter und Problemstellungen. Der Computer führt seine Berechnungen dann erneut durch. Die künstliche Intelligenz des Computers und der Mensch finden auf diese Weise in einem interaktiven Prozess gemeinsam eine optimale Lösung.

Da Simulationen, auch zur Optimierung energetischer und klimatischer Aspekte, bereits in der frühen Entwurfsphase integriert sind und mit zunehmendem Planungsfortschritt fortgeschrieben werden, lassen sich aufwendige Planungsänderungen in der Bauphase vermeiden. Auf diese Weise können Kosten und Bauzeiten reduziert werden.

Nationalmuseum Katar:
539 zweifach gekrümmte Rundscheiben verschneiden sich und fügen sich so zu einer Gesamtform, die eine Analogie zu der kristallinen Sandrose aus der Wüste bildet. Aufgrund der komplexen Geometrie ist die passgenaue Realisierung eines solchen Projekts nur mit digitalen Planungs- und Fertigungsmethoden möglich, bei denen jeder Punkt eines jeden Bauteils des Gebäudes eindeutig definiert ist.

»Es ist eine Form, die aus dem Zusammenwirken von Wüste und Zeit entsteht, eine Struktur aus unendlich wiederholten Über- und Unterschneidungen.«
[Jean Nouvel]

Architektur:
Ateliers Jean Nouvel, Paris

3D-Detail- und Fertigungsplanung:
Werner Sobek, Stuttgart





Prof. Kristian Kaffenberger,
Architekturbüro Kaffenberger,
Dilshofen:

»Nur beim freien Malen und Zeichnen, ohne zielgerichteten Anspruch, gelingt mir im Entwurfsprozess ein echter Austausch mit mir selbst. Die Skizze gibt meinem Unterbewusstsein, in dem ansonsten häufig sehr rationalen Planungsprozess, eine Stimme für mehr Sinnlichkeit.«

Ausblick

Die Planung von Gebäuden wird zukünftig einerseits digitaler, andererseits menschlicher werden. In der Konstruktionsphase wird zunehmend mit digitalen Modellen gearbeitet, die cloudbasiert gleichzeitig im Team weiterentwickelt werden. Auch die Gebäudeerstellung wird digitalisiert, von vorgefertigten Bauweisen im Holzbau bis hin zum robotergestützten Bauen und dem 3D-Druck von Bauteilen oder ganzen Gebäuden. Es werden rechnergestützte Fabrikationsmethoden eingesetzt. Die digitale Prozesskette von der Idee bis zur Herstellung wird geschlossen (»from design to production«). In der Konzeptphase von Planungsprozessen für Gebäude hingegen werden agile und kommunikative Entwicklungsstrategien und Methoden aus anderen Disziplinen, vor allem aus dem Projektmanagementbereich und den Sozialwissenschaften sowie der Produkt- und Softwareentwicklung, Anwendung finden. Die Durchdringung der digitalen Planung in allen Projektphasen

und Disziplinen wird mit kontinuierlich zunehmender Rechenleistung und Vernetzung der Hardware sowie intelligenter, selbstlernender Software immer zügiger voranschreiten. Und trotzdem wird der Computer den Menschen als Entwerfer niemals ersetzen können. Die Beurteilung nicht quantifizierbarer Aspekte wie Ästhetik und Poesie, der Einfluss von Emotionen, die Erschaffung von Unerwartetem, Unvernünftigem – das wird immer der menschlichen Fantasie vorbehalten bleiben.

Konzeptstudie für die nachhaltige Erweiterung des denkmalgeschützten Hochschulgebäudes des Fachbereichs Architektur der Hochschule Darmstadt

Zeichnung:
Prof. Kristian Kaffenberger