

# SMART BAUEN

Architektonische und technische Strategien für energieoptimierte Gebäude, Quartiere und Städte

Smart zu bauen bedeutet, ein ganzheitliches Konzept zu entwickeln, das für die jeweilige Bauaufgabe, Situation und Nutzung sowohl eine Optimierung des Energie- und Materialverbrauchs als auch der Behaglichkeit und Gestaltung zum Ziel hat.

Das Buch stellt eine Vielzahl von Strategien vor, die smartes Bauen ermöglichen - vom einzelnen Raum über die Hülle und das Haus bis hin zur ganzen Stadt. Die Themen »Raumklima, Konstruktionsprinzipien, Materialien, Fassadenplanung, Energiekonzepte, digitale Strategien und Quartiersentwicklung« werden jeweils unter dem Aspekt einer intelligenten und energieoptimierten Bauweise betrachtet und anhand von Praxisbeispielen anschaulich vermittelt. Zahlreiche Architekten, Ingenieure, Experten und Akteure kommen dabei zu Wort und teilen ihre Erfahrungen. Dadurch wird ein wertvoller Praxisbezug hergestellt.

Durch den interdisziplinären und themenübergreifenden Ansatz wendet sich das Buch gleichermaßen an Architekten, Ingenieure und Bauherren wie an alle, die sich für ganzheitlich betrachtete Architektur und energieeffiziente Technik interessieren.

## Prof. Dr. Mike de Saldanha

Architekturstudium; Studium Energie und Umwelt; langjährige Tätigkeit im Ingenieurbüro Hausladen; seit 2002 Inhaber von atelier.ClimaDesign mit den Arbeitsgebieten Energie- und Raumklimakonzepte, Simulation und Architekturberatung; 2006 Promotion an der TU München; seit 2010 Professur für Gebäudetechnologie + Energietechnik, Hochschule Darmstadt, FB Architektur und Innenarchitektur; Mitglied der Handelsblatt Energy Academy; Gründungsmitglied des »Open District Hub«; Autor mehrerer Fachbücher und zahlreicher Veröffentlichungen.

Mike de Saldanha

SMART BAUEN

Fraunhofer IRB  Verlag

# SMART BAUEN

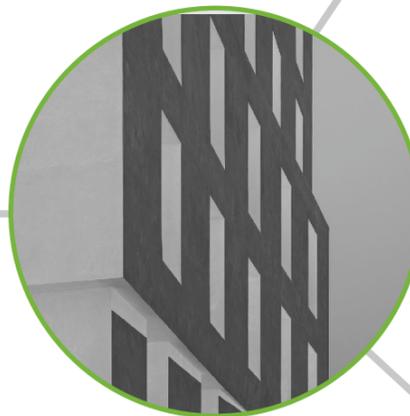
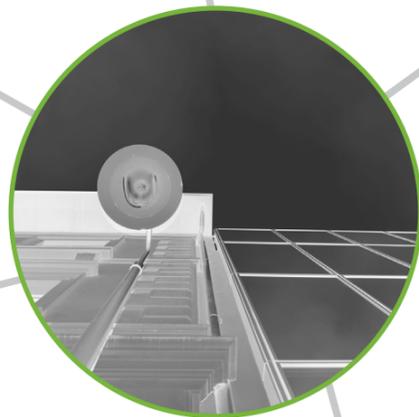
Mike de Saldanha

Architektonische und technische Strategien für energieoptimierte Gebäude, Quartiere und Städte

ISBN 978-3-7388-0277-1



9 783738 802771



# EINBLICK

Seit Anbeginn des energiesparenden Bauens haben sich verschiedene Strategien und Strömungen herausgebildet – angefangen bei einem auf aktive und passive Sonnenenergie gestützten Ansatz in den 1970er- und 1980er-Jahren, gefolgt von einer auf absolutes Einsparen basierten Strategie beim Passivhaus. Eine weitere Bandbreite ergibt sich aktuell im Technisierungsgrad, von absoluten Lowtech-Gebäuden bis hin zu Hightech-Strategien, die auf die Potenziale der Digitalisierung und der künstlichen Intelligenz setzen.

Der Autor favorisiert keinen dieser Ansätze als alleiniges Allheilmittel, vielmehr gilt es, für die jeweilige Bauaufgabe und örtliche Situation aus den gegebenen Möglichkeiten ein ganzheitliches Konzept zu entwickeln, das den Nutzeranforderungen weitreichend entspricht. Deshalb besteht der Ansatz des vorliegenden Buches darin, eine Vielzahl von architektonischen, technischen, energetischen und raumklimatischen Strategien im Kontext mit ihren jeweiligen Protagonisten vorzustellen. Um die vielschichtige Thematik in der Linearität eines Buches abbilden zu können, wurde dieses in die Hauptkapitel »Mensch«, »Raum«, »Hülle«, »Haus«, »Stadt« und »Land« untergliedert.

**Mensch** Die Aspekte der Behaglichkeit werden, gegliedert nach den Sinnen, thematisiert und dabei die wichtigsten planungsrelevanten Parameter zusammengestellt und erläutert. Die Herausforderungen und mögliche Strategien einer kreativen Konzeptentwicklung und

Planung werden diskutiert. Ein Exkurs führt in die Themengebiete »BIM« und »Energie im Architekturwettbewerb« ein.

**Raum** Die Zusammenhänge zwischen Lüftung und Raumkonditionierung werden beschrieben und diesbezügliche technische Systeme und Konzepte sowie ihre jeweiligen Einsatzbereiche aufgezeigt. Darüber hinaus werden die künstliche Beleuchtung und Tageslichtnutzung sowie die digitale Steuerung von technischen Systemen im Raum thematisiert.

**Hülle** Einer Zusammenstellung physikalischer Vorgänge an Fassaden folgen verschiedene Strategien für Dämmung und Sonnenschutz sowie mögliche Fassadenkonzepte. Es werden aktuelle Konstruktionsprinzipien im Detail gezeigt und innovative Materialien vorgestellt.

**Haus** Neben verschiedenen Energieerzeugungskonzepten für Gebäude werden raumklimatische Strategien für Wohn-, Verwaltungs-, Unterrichts- und Versammlungsgebäude aufgezeigt. Planungshinweise für die jeweiligen Nutzungen ergänzen die Erläuterungen.

**Stadt** In diesem Kapitel wird auf den aktuellen Trend der energetischen Betrachtung über das einzelne Gebäude hinaus, hin zu einem übergeordneten Konzeptansatz, der mehrere Gebäude, ein Quartier oder ganze Stadtteile einbezieht, eingegangen. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Sektorenkopplung.

**Land** Sowohl die ökonomischen als auch ökologischen Potenziale im Kontext der Energiewende werden aufgezeigt. Ein Überblick über aktuelle Gesetze sowie regulatorische Rahmenbedingungen vervollständigt das Werk.

**Ausblick** Der Autor wagt einen Blick in die Zukunft des energieoptimierten Bauens auf die Jahre 2030, 2040 und 2050.

Um die komplexen Themen anschaulich und praxisnah zu vermitteln, werden in allen Kapiteln Projektbeispiele vorgestellt und durch ein Statement des jeweiligen Planers ergänzt. Damit wird ein direkter Praxisbezug hergestellt. Die Betrachtung der ökonomischen Aspekte und Kosten sowie konkrete Planungsstrategien runden die unterschiedlichen Themenbereiche jeweils ab.

Das Buch wendet sich an Architekten, für die Behaglichkeit und niedriger Energieverbrauch wichtige Ziele ihrer Arbeit sind, und an Ingenieure, die eine Optimierung der Gebäudestruktur und Fassade erreichen möchten. Für Studierende führt es die Disziplinen »Entwurf«, »Konstruktion«, »Bauphysik« und »Gebäudetechnik« ganzheitlich zusammen, sodass ein interdisziplinärer Blickwinkel bereits in der Ausbildung gegeben ist. Bauherren, Investoren und allen am Bauen Interessierten vermittelt es die Wissensgrundlage, um Konzepte, Entwürfe und Gebäude im Kontext der Energiewende kompetent beurteilen zu können und damit bessere Entscheidungen zu treffen.

Entsprechend der Vielschichtigkeit des Themas wurde das Buch im Dialog entwickelt. Für die fachliche Detaillierung haben zahlreiche Experten ihr Wissen einfließen lassen und viele Planer und Akteure ihre Praxiserfahrungen geteilt. Für den kreativen Input sei allen Beteiligten gedankt. Meiner Lektorin, Sigune Meister vom Fraunhofer IRB Verlag, gilt mein besonderer Dank dafür, die Thematik »Smart bauen« zur richtigen Zeit angestoßen und das Thema durch kritischen Dialog geschärft zu haben. Sabine Uhland danke ich für die innovative Konzeption des Buches, die frische grafische Umsetzung und die inspirierende, kreative Zusammenarbeit über drei Jahre hinweg.

Gewidmet ist dieses Werk Gerhard Hausladen, mit dem mich ein jahrzehntelanger gemeinsamer Weg beim innovativen Bauen verbindet und der mir ermöglicht hat, auf diesem Gebiet zu arbeiten und zu forschen. Ich verdanke dieser Inspiration meine berufliche Laufbahn und viele wertvolle Erfahrungen und Erkenntnisse, die in das vorliegende Buch eingeflossen sind.

Ich wünsche allen Leserinnen und Lesern viel Spaß und interessante Entdeckungen bei der Reise durch die Welt der Sinne, der Physik, der Architektur, der Technik und des Designs – der Welt des smarten Bauens.

München, Darmstadt, Port Adriano  
im April 2021

Mike de Saldanha

# INHALT

<b>EINBLICK</b>	<b>7</b>	Kunstlicht	66
		Ökonomie der Raumkonditionierung	68
		Totenstube, Vrin	70
<b>INHALT</b>	<b>9</b>		
Zeitreise – Konzepte von früher bis heute	10		
<b>MENSCH</b>	<b>13</b>		
Ganzheitliche Behaglichkeit	14		
Visuelle Behaglichkeit	16		
Akustische Behaglichkeit	18		
Thermische Behaglichkeit	20		
Olfaktorische Behaglichkeit	22		
Kreativität und Planung	24		
Building Information Modeling (BIM)	30		
Energie im Wettbewerb	34		
Naturhotel Tannerhof, Bayrischzell	36		
<b>RAUM</b>	<b>39</b>		
Raumkonditionierung	40		
Natürliche Lüftung	48		
Mechanische Lüftung	50		
Raumkonditionierungssysteme	54		
Gebäudesteuerung und Smart Home	56		
»The Living« – Microenergie-apartment	61		
Speichermasse	62		
Technikintegration	63		
Tageslicht	64		

		Kunstlicht	66
		Ökonomie der Raumkonditionierung	68
		Totenstube, Vrin	70
<b>HÜLLE</b>	<b>73</b>		
Fassade als Schnittstelle	74		
Fassadenkonzepte	78		
Bauphysik der Hülle	84		
Wärmeschutz	86		
Anwendung von Dämmstoffen	90		
Glas	92		
Sonnenschutz	94		
Fassadenkonstruktionen	98		
Mehrschichtige Fassaden	100		
Monolithische Fassaden	102		
Holzkonstruktionen	104		
Holzbau	106		
Lehmbau	114		
Strohballenbau	118		
Bauen mit Bambus	120		
Begrünte Fassade	122		
Gebäudeintegrierte Photovoltaik	124		
Hybride Energiefassade	132		
Ökonomie der Gebäudehülle	136		
»Haus 2226« in Lustenau, Österreich	140		

<b>HAUS</b>	<b>143</b>	<b>LAND</b>	<b>217</b>
Standortfaktoren	144	Energiewende im Baubereich	218
Wärme- und Kälteerzeugungssysteme	146	Digitalisierung	222
Energiekonzepte für Gebäude	150	50 Jahre Energiegesetze in Deutschland	224
Technikflächen	154	Energieeinsparverordnung (EnEV) 2016	226
Wohngebäude	156	EnEV-Nachweis Wohngebäude	228
Gemischtgenutzte Gebäude	158	EnEV-Nachweis Nichtwohngebäude	230
Bürogebäude	160	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz	233
Unterrichtsgebäude	162	Mieterstrommodell	234
Versammlungsgebäude	164	Kundenanlage	236
Ökonomie der Energietechnik	166	Gebäudeenergiegesetz (GEG)	239
Wohn- und Bürohaus, Darmstadt	172		
<b>STADT</b>	<b>175</b>	<b>AUSBLICK</b>	<b>241</b>
Potenziale von Quartieren	176	2020–2030 Die digitale Dekade	242
Mobilität	182	2030–2040 Die Green-Tech-Phase	244
Sortimo Innovationspark, Zusmarshausen	186	2040–2050 Das interplanetare Zeitalter	248
Energiekonzepte für das Quartier	188		
Energiespeicherung	192	<b>ANHANG</b>	<b>251</b>
Wasserstoff-Research-Center, Vonovia AG	200	Lebenswege und Stationen	252
Sektorgekoppelte Quartiere	202	Literatur, Normen und Gesetze	254
Musterquartiere	206	Fotografen und Bildnachweis	284
Ökonomie von Quartieren	210	Stichwortverzeichnis	290
Brucklyn – »place to be« in Erlangen	212	Impulse und Unterstützung	296
		Impressum	297



# MENSCH

- | Ganzheitliche Behaglichkeit
- | Visuelle Behaglichkeit
- | Akustische Behaglichkeit
- | Thermische Behaglichkeit
- | Olfaktorische Behaglichkeit
- | Kreativität und Planung
- | Building Information Modeling (BIM)
- | Energie im Wettbewerb
- | 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.

## 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<sup>2</sup> 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-

ßenden 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/m<sup>2</sup> bis 50 W/m<sup>2</sup> begrenzt. Die Fußbodentemperatur sollte 19 °C nicht unterschreiten, wodurch mit ca. 20 W/m<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup>
- 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 %

### Behagliches Raumklima

#### Winter

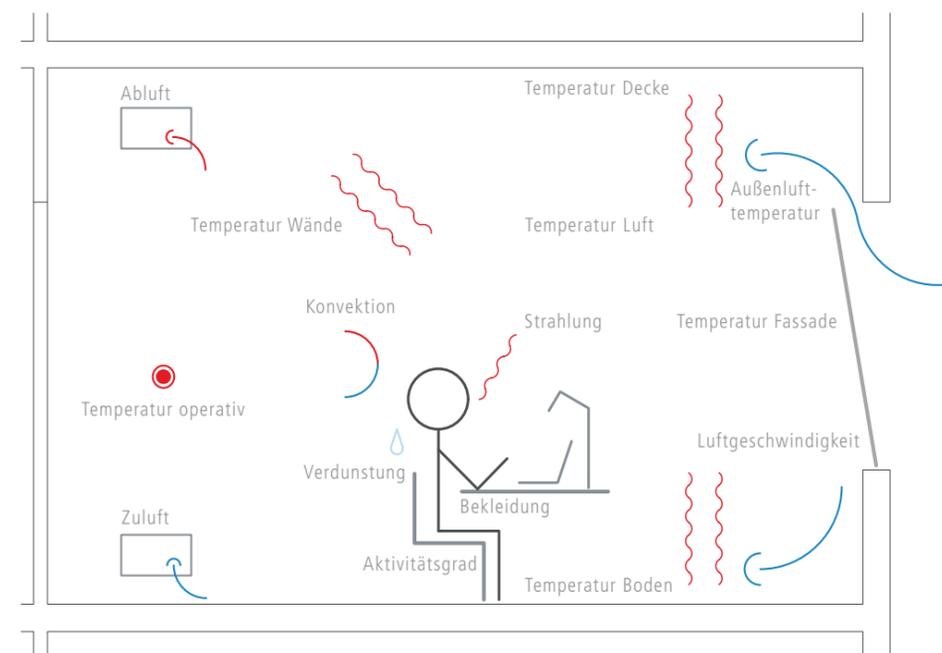
op. Raumtemperatur:  
22° C ± 2 K

Luftgeschwindigkeit:  
0,16 m/s

#### Sommer

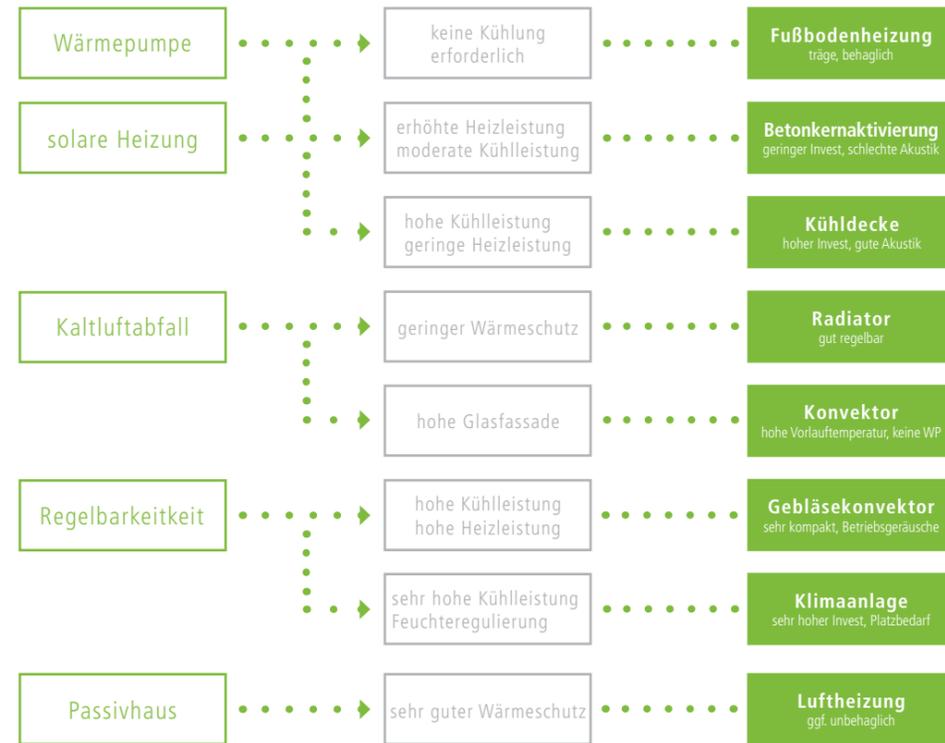
op. Raumtemperatur:  
24° C ± 1,5 K

Luftgeschwindigkeit:  
0,19 m/s



# RAUMKONDITIONIERUNG

Auswahl von Raumkonditionierungssystemen: Die Systemauswahl hängt von grundlegenden Ausgangsparametern und nutzungsspezifischen Einflussfaktoren ab. Bei begrenzten Vorlauftemperaturen sind Flächenheizungen vorteilhaft. Besteht die Gefahr des Kaltluftabfalls, so sind Radiatoren an der Fassade vorzusehen, bei hohen Glasfassaden Konvektoren, die dann jedoch eine sehr hohe Vorlauftemperatur benötigen. Mit einer Betonkernaktivierung können moderate, mit Kühldecken hohe Wärmelasten abgeführt und eine moderate Heizlast gedeckt werden. Ist eine gute Regelbarkeit gewünscht, sind Gebläsekonvektoren sinnvoll, die auch eine Kühlung ermöglichen. Mit Klimaanlage kann zusätzlich die Feuchte geregelt und gekühlt werden. Bei geringer Heizleistung kann die Wärme auch über die Zuluft zugeführt werden. Je nach Raumkonditionierungssystem ergeben sich Auswirkungen auf die Behaglichkeit, die Akustik, die Regelbarkeit sowie die Investitionskosten.



Wärme und Kälte werden in der Regel im Gebäude zentral erzeugt und über Wasser oder Luft in vertikalen Schächten und horizontalen Trassen von den Technikräumen zu den Nutzräumen transportiert und dort über Wärme- und Kälteübergabesysteme abgegeben. In Ausnahmefällen werden Wärme oder Kälte auch direkt im Raum erzeugt, z. B. über Splitgeräte, Elektrodirektheizung oder die Direktverfeuerung von Gas oder Holz im Raum. Übergabesysteme unterscheiden sich hauptsächlich darin, ob sie Wärme bzw. Kälte über Konvektion oder Strahlung abgeben. Dies hat Einfluss auf die Behaglichkeit. Behaglicher ist meist die Energieübergabe über Strahlung, da die Temperaturen der raumumschließenden Oberflächen höher sind und konvektive Luftbewegungen häufig als unangenehm empfunden werden. Ein weiteres Kriterium für das Raumkonditionierungssystem ist die Vorlauftemperatur, die von der Wärme- oder Kälteerzeugung abhängt. Raumkonditionierungssysteme weisen je nach Wärmetransport-

medium und Eigenmasse eine unterschiedliche Regelbarkeit auf.

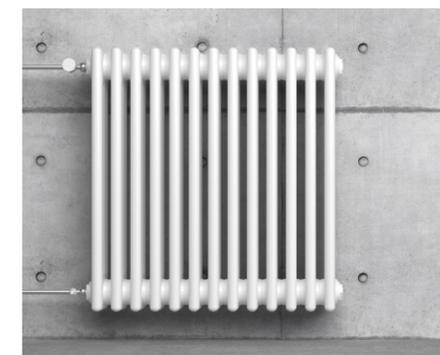
### Heizkörper

Großflächig ausgebildete Flachheizkörper geben Wärme überwiegend über Strahlung ab. Sie benötigen eine vergleichsweise große Fläche, die nicht z. B. durch Möbel verstellt werden darf, was in der Praxis nicht immer leicht zu realisieren ist. Rippenförmig ausgebildete Radiatoren sind kompakter und geben Wärme über Strahlung und Konvektion ab, wobei der konvektive Anteil mit der Bautiefe zunimmt. Sie erfordern je nach Baugröße niedrige bis mittlere Vorlauftemperaturen von 30 °C bis 60 °C. Der Einsatz einer Wärmepumpe ist bei großen Flachheizkörpern gut möglich, bei kompakten Radiatoren nur noch eingeschränkt effizient. Aufgrund der relativ geringen Masse weisen Heizkörper eine gute Regelbarkeit auf und ermöglichen eine Einzelraumregelung mit individueller Abrechnung. Sie werden typischerweise im Wohnungsbau

und bei Bürogebäuden, die nicht gekühlt werden, eingesetzt. Sie dienen aber auch bei allen anderen Bauaufgaben als einfaches System zur Wärmeabgabe. Die typische spezifische Heizleistung liegt je nach Größe bei 50 W/m<sup>2</sup> bis 70 W/m<sup>2</sup>. Bei Fassaden mit geringem Wärmeschutz und natürlicher Lüftung werden sie seit jeher an den Außenwänden unterhalb der Fenster angeordnet, um die Zuluft zu erwärmen und dadurch kalte Luftströmungen und Unbehaglichkeiten im Raum zu vermeiden. Bei gut gedämmten Gebäuden ist auch eine innen liegende Anordnung, z. B. über der Türe, denkbar, wodurch sich funktionale Vorteile ergeben. Der Installationsaufwand reduziert sich und somit auch die Investitionskosten.

### Konvektoren

Konvektoren verfügen im Inneren über zahlreiche Konvektionsbleche, zwischen denen sich die Luft erwärmt und durch Konvektion angetrieben selbstständig nach oben steigt. Sie geben die Wärme nahezu vollständig über Konvektion ab und sind deshalb sehr kompakt. In Bezug auf die Einbausituation ist es möglich, Konvektoren verdeckt, z. B. hinter Möbelstücken oder als Unterflurkonvektoren im Fußboden versenkt, einzubauen. Aufgrund der geringen Masse sind Konvektoren sehr gut regelbar. Damit die Konvektionsströmung entstehen kann, sind sehr hohe Vorlauftemperaturen von 70 °C bis 90 °C erforderlich, sodass Wärmepumpen nicht und Brennwertkessel nur eingeschränkt effizient eingesetzt werden können. Die spezifische Heizleistung steht in



Wechselwirkung mit der Vorlauftemperatur und liegt bei 50 W/m<sup>2</sup> bis 80 W/m<sup>2</sup>. Ein hygienischer Nachteil besteht in der Verschmutzung zwischen den Konvektionsblechen, die nur schwer gereinigt werden können. Dies ist insbesondere bei einer bodengleichen Einbausituation der Fall. Verunreinigungen und Staub können durch die erhöhten Temperaturen verschwelen und so eine Geruchsbeeinträchtigung hervorrufen. Konvektoren werden häufig als Unterflurkonvektoren vor hohen Glasfassaden eingesetzt, um dem Kaltluftabfall entgegenzuwirken, z. B. bei Glasatrien oder Schwimmbädern. Bei Glasfassaden, die über mehrere Geschosse verlaufen, werden Konvektoren teilweise auch über die Höhe verteilt angeordnet, häufig als Rippenrohr. Ein anderes Einsatzgebiet für Konvektoren sind Räume, die flexibel schnell temperiert werden sollen.

### Gebläsekonvektoren

Konvektoren können auch als Gebläsekonvektoren mit integriertem Ventilator ausgebildet werden. Dadurch kann mit sehr kompakten Geräten eine hohe Leistung mit sehr guter Regelbarkeit erreicht werden. Da die Strömung nicht durch thermische Konvektion erfolgt, können sie zum Heizen und Kühlen verwendet werden. Häufig werden sie an ein 4-Leiter-System angeschlossen, sodass ein schneller Wechsel von Heizen zu Kühlen möglich ist. Die Vorlauftemperaturen können mit 40 °C bis 80 °C auch wesentlich niedriger sein als bei konventionellen Konvektoren. Ebenso ergibt sich ein sehr großer Leistungsbereich von

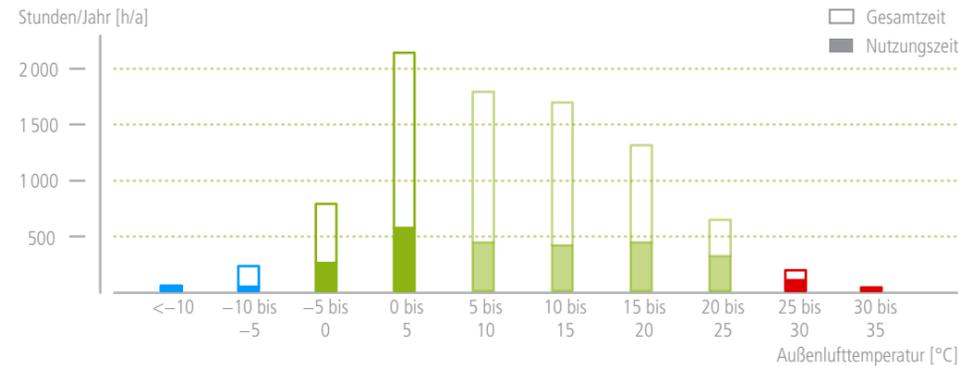


Heizkörper (Radiator): Radiatoren geben die Wärme über Strahlung und Konvektion ab. Die jeweiligen Wärmeübertragungsanteile werden durch die Größe und die Bauform bestimmt. Aufgrund der geringen Masse sind sie gut regelbar.

Konvektor: Konvektoren geben die Wärme über Konvektion ab, weisen eine kleine Bauform auf und sind sehr gut regelbar. Damit die Konvektion sich einstellen kann, benötigen sie eine hohe Vorlauftemperatur. Es entsteht eine aufwärts gerichtete Konvektionsströmung, die dem Kaltluftabfall an hohen Fassaden entgegenwirken kann.

# NATÜRLICHE LÜFTUNG

Bei Außenlufttemperaturen, die zwischen 5 °C und 26 °C liegen, ist eine natürliche Lüftung gut möglich, bei Temperaturen bis zu -5 °C ist dies mit Einschränkungen noch möglich. Bei Temperaturen, die darunter liegen, kommt es bei natürlicher Lüftung zu Behaglichkeits-einbußen, ist es wärmer als 26 °C, ergeben sich unerwünschte Wärmeeinträge.



In Räumen, in denen sich Nutzer über längere Zeit aufhalten, sollte aus emotionalen Behaglichkeitsgründen die Möglichkeit der natürlichen Lüftung bestehen. Wenn die Fenster nicht geöffnet werden können, besteht nur ein eingeschränkter Außenbezug, was bei vielen Menschen Unbehagen auslöst. Eine natürliche Lüftung ist während der meisten Zeit des Jahres gut möglich, lediglich an kalten Wintertagen mit Temperaturen unter 5 °C und an warmen Sommertagen mit Temperaturen über 26 °C ergeben sich Einschränkungen aufgrund der Außenlufttemperatur. Energetisch gesehen benötigt die natürliche Lüftung keine elektrische Antriebsenergie, allerdings fehlt die Möglichkeit der Wärmerückgewinnung im Winter. Auch eine Zuluftkonditionierung in Bezug auf Temperatur oder Feuchte ist nicht möglich, was zu funktionalen und behaglichkeits-spezifischen Einschränkungen führen kann. Einerseits kommt die Luft direkt von außen und kann somit nicht in Luftleitungen oder Lüftungstechnischen Komponenten verunreinigt werden. Andererseits besteht jedoch nicht die Möglichkeit, Staub aus der Zuluft auszufiltern. An Standorten mit schlechter Luftqualität oder hoher Lärmbelastung ist die natürliche Lüftung problematisch. Bei gekippten Fenstern ist nur noch eine Schallpegelminderung von -5 dB gegeben. Mit einer entsprechenden Fassadengestaltung oder einer indirekten natürlichen Lüftung, z. B. über ein Atrium, kann der Außenlärmproblematik begegnet werden. Günstig ist es die Lüftungsöffnungen vom Lärm abgewandt anzuordnen.

## Luftströmung

Die natürliche Lüftung erfolgt über Thermik, Wind und Druckschwankungen in der Atmosphäre. Über ein geschicktes Anordnen von Zuluft-, Überström- und Abluftöffnungen kann das Gebäude über Thermik oder Wind natürlich durchlüftet werden. Auf diese Weise wird Antriebsenergie gespart und es kann effizient Wärme abgeführt werden, u. a. auch als Nachtlüftung. Gegebenenfalls kann ein Atrium oder ein Wintergarten in das Lüftungskonzept eingebunden werden, wodurch sich Vorteile, z. B. durch eine Zuluftvorwärmung über Solarstrahlung oder einen reduzierten Außenlärm-eintrag, ergeben können.

## Lüftungsöffnungen

Um die natürliche Lüftung während des gesamten Jahres zu ermöglichen, ist ein konventioneller Dreh-Kipp-Beschlag meist nicht ausreichend. Weitere Elemente sind je nach Standort und Nutzung vorzusehen. Bei Lärmbelastung und Wind erweisen sich Prallscheiben als hilfreich. Diese bewirken einen Lärm- und Windschutz sowie eine Zuluftvorwärmung in der kalten Jahreszeit. Eine kleine Lüftungsöffnung kann auch bei hohen Windgeschwindigkeiten an hohen Gebäuden eine Lüftung über die Fassade ermöglichen. Es sollten sich verschiedene Öffnungsgrade fein einstellen lassen, um den Luftwechsel zu dosieren. Eine über Sensoren elektrisch gesteuerte Lüftungsöffnung kann nutzerunabhängig die Luftqualität sicherstellen, das Raumklima durch Wärmeabfuhr optimieren und gleich-

zeitig Wärmeverluste durch einen unnötigen Luftaustausch vermeiden. Lüftungsöffnungen müssen nicht zwangsläufig transparent ausgeführt sein, auch wenn dies traditionell meist der Fall ist. Bei einer opaken Ausführung können sie konstruktiv auf einfachere Weise mit weniger Wärmebrücken ausgeführt werden.

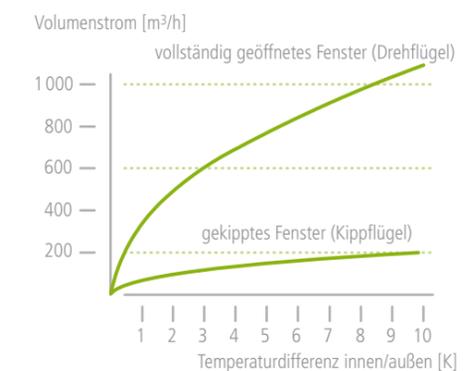
## Behagliche Zuluftbringung

Das behagliche direkte Einbringen der Zuluft ist je nach Luftwechsel bei Außenlufttemperaturen über 5 °C möglich. Liegen die Temperaturen darunter, so kann mit einer Stoßlüftung die thermische Unbehaglichkeit zeitlich eingeschränkt werden. Die Durchmischung von kalter Zuluft mit warmer Raumluft in einer Mischzone oder die Erwärmung der Außenluft an fassadennahen Radiatoren kann die Behaglichkeit verbessern. Eine weitere Möglichkeit ist die Zuluftvorwärmung in Kastenfenstern oder Doppelfassaden. Diese bieten auch die Möglichkeit der Lüftung mit vermindertem Lärm eintrag. Bei Außenlufttemperaturen über 26 °C ist der Luftwechsel auf das hygienisch erforderliche Maß zu begrenzen. Bei Doppelfassaden wird die ohnehin warme Außenluft im Fassadenzwischenraum durch die absorbierte Solarstrahlung weiter erhitzt, sodass eine behagliche Lüftung nicht möglich ist. Bei hohen Gebäuden ist zu bedenken, dass sich an besonnten Fassaden eine fassadennahe Grenzschicht mit erhöhten Lufttemperaturen ausbildet. Dies führt zu Wärmeeinträgen bei natürlicher Lüftung, insbesondere an windstillen Tagen.



## Planungsstrategien

In Räumen, in denen sich der Nutzer länger aufhält, ist eine optionale natürliche Lüftungsmöglichkeit unbedingt vorzusehen. Sie ermöglicht eine thermische, feuchtespezifische, akustische, olfaktorische Verbindung zum Außenraum. Die natürliche Lüftung kann eine mechanische Lüftung ergänzen und auf diese Weise Antriebsenergie einsparen, insbesondere in der Übergangszeit. Gegebenenfalls ist für eine lärmgeschützte Zuluftführung die Fassade entsprechend zu konzipieren. Ein Kastenfenster, im Idealfall im Wechsel mit einem normalen Fenster (Wechsel-fassade), ist hier eine ideale Lösung. Für eine windbedingte Durchströmung ist es sinnvoll, Lüftungsöffnungen über Eck oder gegenüberliegend anzuordnen. Um eine thermisch bedingte Durchströmung des Raums zu optimieren, ist es vorteilhaft, wenn Öffnungsflügel eine vertikale Ausdehnung aufweisen oder im unteren und oberen Bereich der Fassade angeordnet sind. Die natürliche Lüftung über die Fassade erfordert keine Schächte, Kanäle und Lüftungsgeräte sowie keine diesbezüglichen Flächen im Gebäude. Dadurch werden Investitionen für Technik und umbauten Raum sowie Wartungskosten gespart.



Ausbildung, Funktionen und typische Luftwechselzahlen von unterschiedlichen Lüftungsöffnungen

Volumenstrom in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz und der Fensterstellung

## MECHANISCHE LÜFTUNG

Bei Räumen mit hoher Belegungsdichte, bei besonderen Anforderungen in Bezug auf Temperatur und Feuchte der Zuluft, bei Standorten mit Schadstoff- oder Staubemissionen, bei Außenlärmbelastung und zu Zeiten mit zu hohen oder zu niedrigen Außenlufttemperaturen ist eine natürliche Lüftung nur eingeschränkt möglich und eine mechanische Lüftung notwendig. Ein weiteres Argument für die mechanische Lüftung ist die Möglichkeit der Wärmerückgewinnung. Bei der Planung eines Lüftungskonzepts ist entweder eine zentrale oder dezentrale Strategie zu wählen, die Strömung im Raum festzulegen und sind im Grundriss des Gebäudes Zu- und Abluftzonen zu spezifizieren. Weiterhin ist zu entscheiden, ob die Lüftung zur Raumkonditionierung beitragen soll. Die Raumströmung kann als Mischlüftung oder als Quelllüftung erfolgen, gegebenenfalls kann die mechanische Lüftung auch mit einer natürlichen Lüftung kombiniert werden.

### Zentrale mechanische Lüftung

Üblicherweise erfolgt die mechanische Lüftung über zentrale Lüftungsanlagen, von wo aus die Luft über Schächte und Kanäle verteilt wird. In den Lüftungsgeräten erfolgt die Filterung und Förderung der Luft sowie die Wärmerückgewinnung. Sofern erforderlich kann auch eine Erwärmung oder Kühlung sowie eine Befeuchtung oder Entfeuchtung der Zuluft erfolgen. Lüftungsgeräte können zentral an einem Ort im Gebäude angeordnet werden, wodurch eine Wärmerückgewinnung über Platten- oder Rotationswärmetauscher möglich ist. Dies führt jedoch zu vermehrtem Platzbedarf für Schächte. Gegebenenfalls können die Lüftungsgeräte auch in eine Zuluft- und Abluftzentrale aufgeteilt und verteilt im Gebäude angeordnet werden, wodurch sich die erforderlichen Schachtflächen reduzieren. Der Nachteil besteht darin, dass die Wärmerückgewinnung dann entweder mit einem Kreislaufverbundsystem oder über eine Abluftwärmepumpe erfolgen muss, wodurch sich eine geringere energetische Effizienz ergibt.

### Dezentrale Lüftungsgeräte

Fassadenintegrierte dezentrale Lüftungsgeräte saugen die Außenluft direkt über die Fassade an, erwärmen oder kühlen diese und führen sie unmittelbar dem Raum zu. Die Abluft strömt ebenfalls durch das dezentrale Lüftungsgerät, in dem dann auch die Wärmerückgewinnung stattfindet. Die Zuluftführung unmittelbar über die Fassade hat den Vorteil, dass keine Technikflächen, Schächte und Kanäle innerhalb des Gebäudes erforderlich sind, wodurch sich der Platzbedarf erheblich reduziert, gegebenenfalls ist auch eine verminderte Geschosshöhe möglich. Je nach Standort besteht jedoch die Gefahr, dass belastete Luft angesaugt wird. An besonnten Fassaden erwärmt sich im Sommer die Zuluft in der fassadennahen Grenzschicht, was zu einem erhöhten Kühlaufwand führt. Im Vergleich zu einer zentralen Konzeption sind dezentrale Geräte energetisch ungünstiger und der Wartungsaufwand ist höher. Bei überwiegend natürlich belüfteten Gebäuden können dezentrale Geräte eine gute Möglichkeit zur Belüftung einzelner Räume mit erhöhtem Luftbedarf sein. Auch für den Sanierungsfall sind sie oftmals eine einfach zu realisierende Nachrüstooption.

### Quelllüftung

Bei der Quelllüftung strömt die Zuluft in Bodennähe durch große Quellluftauslässe mit langsamer Strömungsgeschwindigkeit von kleiner 0,2 m/s und einer Zulufttemperatur, die 2 K unter der Raumtemperatur liegt, in den Raum. Dadurch bildet sich im unteren Raumbereich ein »Frischlufsee« mit hoher Luftqualität aus. Durch die Wärme des Nutzers steigt die frische Luft aus dem Frischlufsee über Thermik an dem Nutzer empor und er kann diese unbelastete frische Luft atmen. Die ausgeatmete oder durch Geräte verunreinigte warme Luft steigt weiter in den Deckenbereich auf, wo sie über Abluftöffnungen abgesaugt wird. Auf diese Weise ermöglicht die Quelllüftung eine hohe Luftqualität für den Nutzer bei verminderter Luftwechselrate. Eine Raumkonditionierung über die Lüftung ist bei

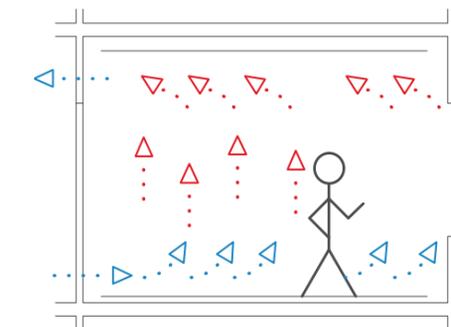
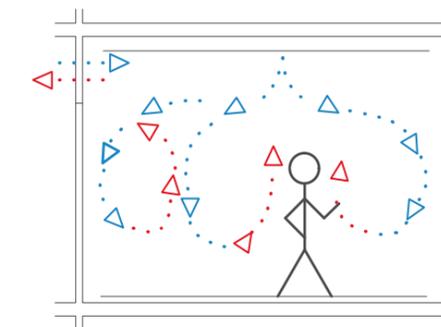
Quelllüftung nicht möglich, da die Zuluft eine definierte Temperatur aufweisen muss. Es ist eine Vorkonditionierung erforderlich und die Luft muss in Bodennähe über große Quellluftauslässe langsam einströmen. Dadurch ergibt sich ein höherer Installations- und Technikaufwand. Insbesondere die bodennahe Zuluftführung ist häufig nur schwierig zu realisieren. Oftmals erfolgt dies über die Möblierung. Bei großen Räumen kann die Quelllüftung große Flächen mit wenigen Zuluftauslässen belüften, da die Luft bis zu 15 m weit um den Auslass »fließt«. Die Quelllüftung wird typischerweise in hochwertigen Büroräumen und in Räumen mit hoher Belegungsdichte wie z. B. Hörsälen oder Veranstaltungsräumen realisiert.

### Mischlüftung

Bei der Mischlüftung kann die Zuluft im oberen Raumbereich eingeblasen und dort auch wieder abgesaugt werden. Die Lüftungsöffnungen können frei im Raum positioniert werden, wodurch sich eine vereinfachte Installation ergibt. Je nach funktionaler Anforderung werden die Zuluftauslässe ausgewählt. Mit Drallauslässen soll eine unmittelbare Vermischung der Zuluft mit der Raumluft erreicht und die Strömungsgeschwindigkeit schnell abgebaut werden. Diese Vermischung der Zuluft mit der Raumluft ermöglicht Zulufttemperaturen, die von der Raumlufttemperatur erheblich abweichen, sodass über die Lüftung ohne Behaglichkeits-einbußen gekühlt und geheizt werden kann. Es sind Zulufttemperaturen zwischen 10 °C und 40 °C möglich. Mit Weitwurfdüsen wird

die Luft mit hoher Geschwindigkeit als Strahl in den Raum eingeblasen, sodass auch vom Auslass weiter entfernte Bereiche frische Luft erhalten. Dadurch können tiefe Räume oder Hallen von einer Seite aus belüftet werden, wodurch der Installationsaufwand und der Platzbedarf sinken. Es ist darauf zu achten, dass sich Zonen mit hoher Luftgeschwindigkeit außerhalb von Aufenthaltsbereichen befinden. Diese Strategie kann für Räume angewendet werden, in denen die Behaglichkeitsanforderungen in Bezug auf die Strömungsgeschwindigkeit nicht sehr hoch sind, z. B. Sport- und Veranstaltungshallen oder Verkehrsbauten. Da bei der Mischlüftung der Luftaustausch nach dem Verdünnungsprinzip erfolgt und somit keine reine Außenluft geatmet wird, sind insgesamt höhere Luftwechselraten erforderlich. Da die Temperatur der Zuluft unabhängig von der Raumlufttemperatur ist und die Zuluft somit nicht definiert erwärmt oder gekühlt werden muss, ergibt sich ein geringerer Energie- und Technikaufwand. Die Mischlüftung kommt zum Einsatz, wenn die Anforderungen an die Luftqualität nicht so hoch sind und eine Raumkonditionierung über die Lüftung erfolgen soll. Bei der Wohnungslüftung handelt es sich in der Regel ebenfalls um eine Mischlüftung. Dort ist aufgrund der geringen Belegungsdichte die Luftqualität nicht kritisch, die Feuchteabfuhr ist hier das entscheidende Kriterium für den Luftaustausch. Zudem kann auf einfache Weise ergänzend über die Fenster gelüftet werden.

Mischlüftung:  
Die Vermischung der Zuluft mit der Raumluft ermöglicht eine Raumkonditionierung über die Lüftung, die Luftqualität ist jedoch schlechter.

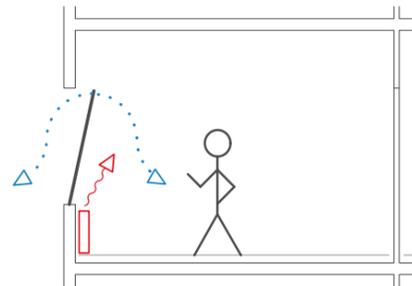


Quelllüftung:  
Die Luft wird mit 2 K Untertemperatur und langsamer Geschwindigkeit in Bodennähe in den Raum eingebracht. Es wird eine sehr gute Luftqualität erreicht.

# RAUMKONDITIONIERUNGSSYSTEME

**Vorteile:**  
Nachvollziehbarkeit,  
direkter Nutzereingriff

**Nachteile:**  
unbehagliche Lüftung  
im Winter, Eintrag von  
Lärm und Staub, keine  
Kühlung im Sommer,  
keine Wärmerück-  
gewinnung

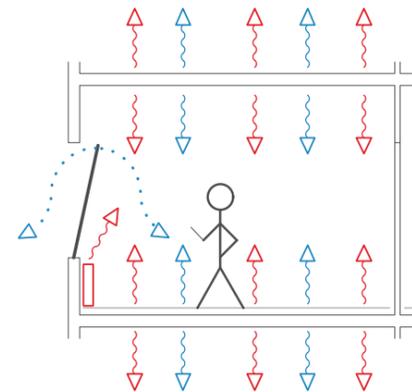


Fensterlüftung mit Radiator  
Heizleistung 40–100 W/m<sup>2</sup>  
Kühlleistung Luft außen-temperatur-  
abhängig  
keine  
Kühlleistung Wasser  
Systemtemperatur Heizung 35–80 °C  
Regelbarkeit gut

typische Anwendungen Büro,  
Wohnung

**Vorteile:**  
Strahlungswärmeabgabe,  
Phasenverschiebung,  
Ausgleich von Lastspitzen,  
regenerative Wärme- und  
Kälteerzeugung

**Nachteile:**  
Trittschallübertragung,  
schlechte Raumakustik,  
keine abgehängten  
Decken, unbehagliche  
Lüftung im Winter, Eintrag  
von Lärm und Staub

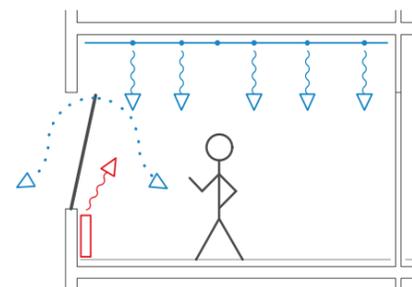


Fensterlüftung mit Betonkernaktivierung und Radiator  
Heizleistung 50 W/m<sup>2</sup>  
Kühlleistung Luft außen-temperatur-  
abhängig  
40 W/m<sup>2</sup>  
Systemtemperatur Heizung 25 °C/35 °C  
(TAD/Radiator)  
Systemtemperatur Kühlung 18 °C  
Regelbarkeit eingeschränkt

typische Anwendungen Büro,  
Produktion

**Vorteile:**  
hohe Behaglichkeit,  
einfache Installation

**Nachteile:**  
Leistungsbegrenzung an  
feuchtwarmen Tagen,  
hoher Aufwand bei Raum-  
änderungen, unbehagliche  
Lüftung im Winter, Eintrag  
von Lärm und Staub, keine  
Wärmerückgewinnung

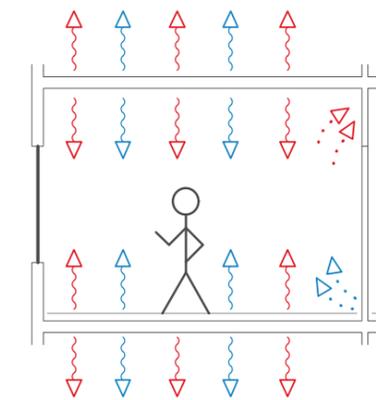


Fensterlüftung mit Kühldecke und Radiator  
Heizleistung 40–100 W/m<sup>2</sup>  
Kühlleistung Luft außen-temperatur-  
abhängig  
30–100 W/m<sup>2</sup>  
Systemtemperatur Heizung 35–60 °C  
Systemtemperatur Kühlung 16 °C  
Regelbarkeit sehr gut

typische Anwendungen Besprechungsraum,  
Konferenzraum,  
Büro

Mechanische Lüftung mit Betonkernaktivierung  
Heizleistung 40 W/m<sup>2</sup>  
Kühlleistung Luft 10 W/m<sup>2</sup>  
Kühlleistung Wasser 40 W/m<sup>2</sup>  
Systemtemperatur Heizung (TAD/mechanische Lüftung) 25 °C/35 °C  
Systemtemperatur Kühlung 18 °C  
Regelbarkeit sehr eingeschränkt

typische Anwendungen Besprechungsraum,  
Büro

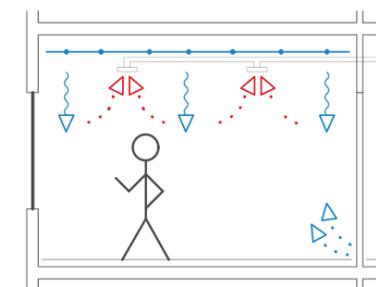


**Vorteile:**  
Wärmerückgewinnung,  
behagliche Lüftung im  
Winter, geringerer Wärme-  
eintrag im Sommer,  
gegebenenfalls Ent-  
feuchtung der Luft

**Nachteile:**  
keine Einzelraumregelung,  
keine raumweise  
Abrechnung, Trittschall-  
übertragung, schlechte  
Raumakustik, keine ab-  
gehängten Decken

Mechanische Lüftung mit Heiz-/Kühldecke  
Heizleistung 50 W/m<sup>2</sup>  
Kühlleistung Luft 10 W/m<sup>2</sup>  
Kühlleistung Wasser 80–100 W/m<sup>2</sup>  
Systemtemperatur Heizung 30 °C  
Systemtemperatur Kühlung 16 °C  
Regelbarkeit sehr gut

typische Anwendungen Besprechungsraum,  
Konferenzraum,  
Büro

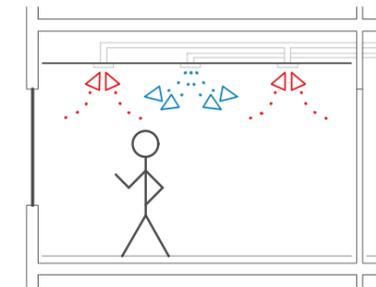


**Vorteile:**  
keine Probleme mit Tau-  
punktunterschreitung,  
hohe Behaglichkeit, gute  
Installationsmöglichkeiten,  
Nutzereingriff möglich

**Nachteile:**  
hoher Aufwand bei Raum-  
änderungen, begrenzte  
Heizleistung

Klimaanlage  
Heizleistung 70 W/m<sup>2</sup>  
Kühlleistung 80 W/m<sup>2</sup>  
Systemtemperatur Heizung 40 °C  
Systemtemperatur Kühlung 6 °C  
Regelbarkeit gut

typische Anwendungen Labor,  
Büro mit hoher  
Belegungsdichte,  
Besprechungsraum,  
Konferenzraum



**Vorteile:**  
Be- und Entfeuchtung,  
für extreme Klimazonen  
geeignet

**Nachteile:**  
hoher Wartungsaufwand,  
kein direkter Nutzerein-  
griff, Beeinträchtigung  
der Luftqualität, hoher  
Energieaufwand, sehr hohe  
Investitionskosten

## ÖKONOMIE DER RAUMKONDITIONIERUNG

Die technische Ausstattung von Räumen hat erheblichen Einfluss auf die Investitions-, Wartungs- und Energiekosten. Zudem spielen die gewünschte Flexibilität und damit verbunden der Aufwand bei Nutzungs- oder Raumänderungen eine Rolle. Grundsätzlich ist im Blick zu behalten, dass mit einem optimierten Gebäudekonzept auf einfache Weise die größten Einsparungen erzielt werden können. Bei einer ganzheitlichen Planung ist auch zu prüfen, ob sich durch eine Mehrinvestition in die Bautechnik, vor allem bei der Fassade, eine Einsparung bei der Gebäudetechnik ergeben kann.

### Raumkonditionierung

Bei den Raumkonditionierungssystemen bestehen erhebliche Unterschiede in Bezug auf die Investitionskosten. Generell sind wassergeführte Systeme zur Heizung und Kühlung mit den geringsten Investitions- und Energiekosten verbunden. Die Betonkernaktivierung ist aufgrund der Integration in die Konstruktion und der sehr einfachen Regeltechnik fünf- bis zehnfach günstiger als Kühldecken oder Klimaanlage. Zudem ist die Flexibilität bei Änderungen der Raumaufteilung wesentlich höher. Weitere Einsparpotenziale ergeben sich durch geringere Investitionen für die Kälteerzeugung und durch die Möglichkeit der Nutzung regenerativer Wärme oder Kälte. Dem steht eine begrenzte Kühlleistung gegenüber. Je nach Fassadenkonzept kann es sinnvoll sein, die Investitionen für den Sonnenschutz zu erhöhen, damit das Kühlpotenzial der Betonkernaktivierung noch ausreichend ist. Ein weiterer Ansatz, der begrenzten Leistung der Betonkernaktivierung zu begegnen, besteht in einer ergänzenden mechanischen Lüftung mit vorkonditionierter, entfeuchteter Luft.

### Lüftung

Sofern am Standort möglich, sollte eine natürliche Lüftung vorgesehen werden. Damit kann ohne Antriebsenergiebedarf über weite Zeiträume des Jahres gelüftet werden. Bei großen Luftmengen ist eine mechanische Lüftung aufgrund der Wärmerückgewinnung sinnvoll,

bei niedrigen Luftmengen ist zu prüfen, ob sie sich in energetischer Hinsicht und mit Blick auf den technischen Aufwand lohnt. Bei einer Quelllüftung sind die Investitionskosten relativ hoch, da die Zuluft definiert konditioniert werden muss. Die bodennahe Zuluft einbringung ist aufwendig zu realisieren und die Zuluftauslässe sind aufgrund der Baugröße teuer. Durch die geringeren Luftmengen kann sich jedoch auch ein ökonomischer Vorteil ergeben, da das Lüftungsgerät und die Kanalquerschnitte kleiner dimensioniert werden können und weniger Antriebsenergie erforderlich ist. Bei der Mischlüftung kann sich ein ökonomischer Synergieeffekt einstellen, wenn die Raumkonditionierung auch über die Lüftung erfolgt. Dies ist jedoch nur bei moderaten Heiz- und Kühlleistungen sinnvoll. Dezentrale Lüftungsgeräte sind im Hinblick auf die Energie- und vor allem die Wartungskosten ungünstiger als zentrale Lüftungsanlagen. Sie können jedoch durch die Einsparung von Zentralen, Schächten und Kanälen insgesamt Kostenvorteile bieten, insbesondere bei hohen Gebäuden. Ebenso ist eine Nachrüstung im Sanierungsfall meist einfacher und damit kostengünstiger umzusetzen.

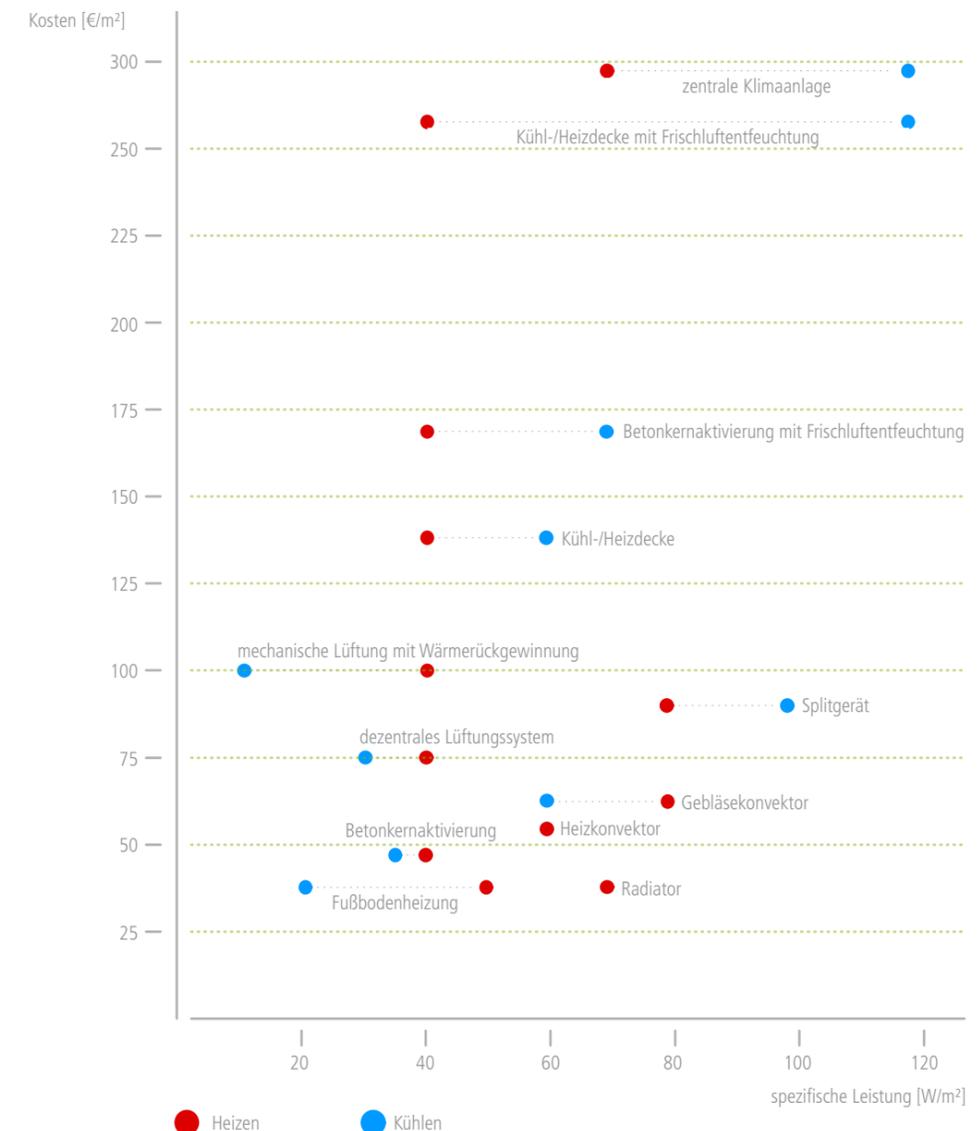
### Technikintegration

Wird die Technik frei im Raum installiert, so bleiben die Speichermassen nutzbar und es ergeben sich geringe Installationskosten bei jedoch eingeschränkter Flexibilität. Bei diesem Konzept kann die Raumkonditionierung sehr gut über eine Betonkernaktivierung erfolgen. Ein Doppelboden bietet eine hohe Flexibilität für Elektro- und Datentechnik und ermöglicht auf einfache Weise die Quelllüftung. Die Investitionskosten liegen im mittleren bis erhöhten Bereich. Eine Betonkernaktivierung ist möglich, jedoch mit einer eingeschränkten Wärmeabgabe über den Boden. Eine abgehängte Decke ermöglicht die Integration von Beleuchtungs- und Lüftungstechnik und bietet als Kühldecke eine hohe Kühlleistung sowie eine gute Raumakustik. Je nach Konstruktion und Ausstattung können sich sehr hohe Investitionskosten ergeben.

### Planungsstrategien

Bei technischen Systemen sind nicht nur die Kosten für Geräte, Leitungen und Kanäle, sondern auch die damit zusammenhängenden Baukosten zu berücksichtigen, die durch den Platzbedarf für Zentralen und Technikräume sowie den Flächenbedarf für Schächte entstehen. Außerdem kann durch Installationszonen in abgehängten Decken oder Doppelböden eine größere Gebäudehöhe erforderlich werden. Durch eine optimierte Integration der

Technik im Raum sowie eine abgestimmte Anordnung von Zentralen lässt sich der technikbedingte Bauaufwand begrenzen. In der Regel kann durch moderate Mehrinvestitionen in die Wärmedämmung und in Sonnenschutzsysteme eine erhebliche Einsparung bei den Investitionen in die Technik erzielt werden, verbunden mit verminderten Energie- und Wartungskosten.



Spezifische Kosten für verschiedene Raumkonditionierungssysteme pro m² Raumfläche und deren jeweilige spezifische Heiz- oder Kühlleistung

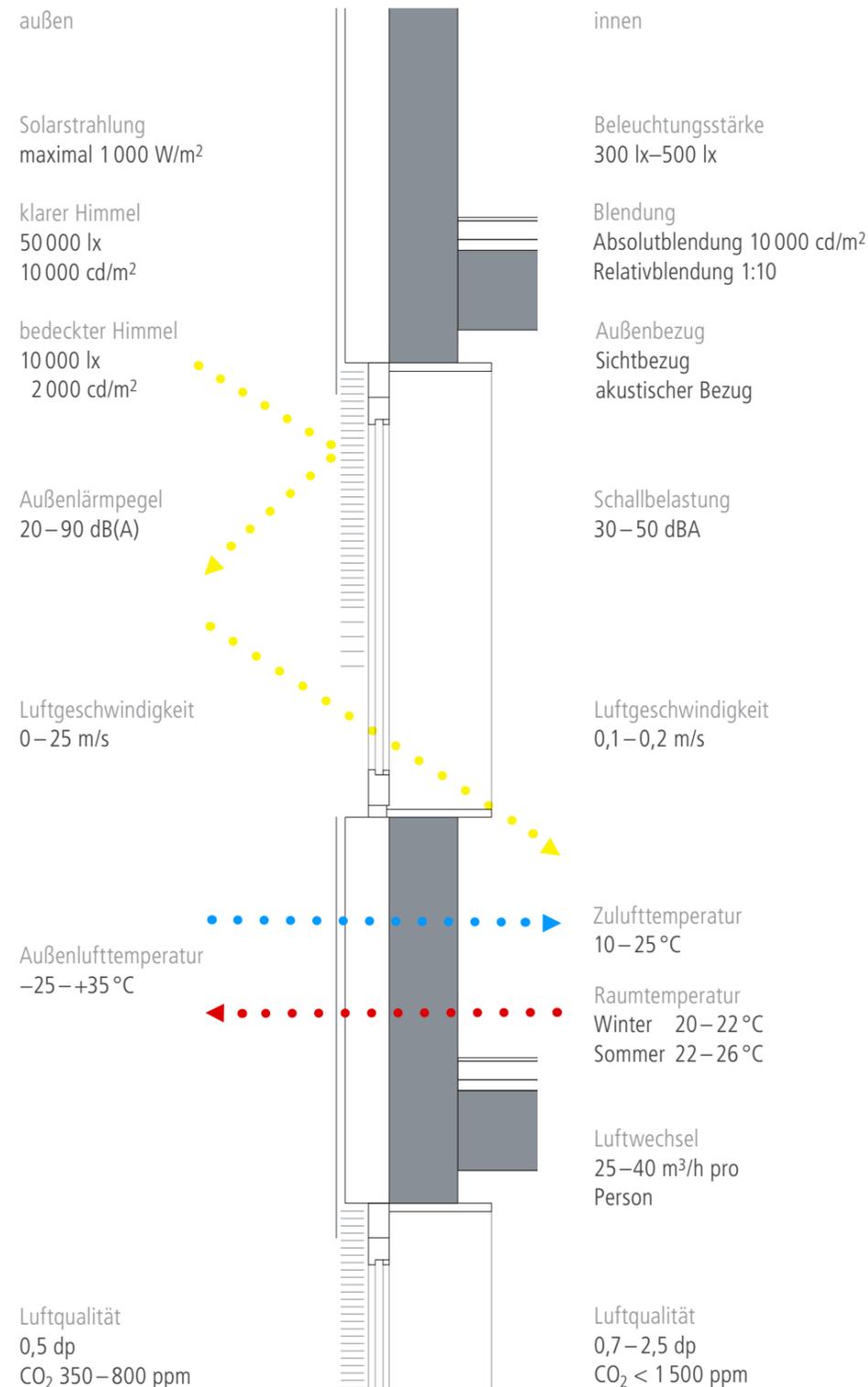
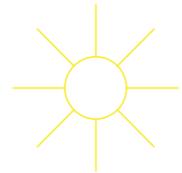


# HÜLLE

- | Fassade als Schnittstelle
- | Fassadenkonzepte
- | Bauphysik der Hülle
- | Wärmeschutz
- | Anwendung von Dämmstoffen
- | Glas
- | Sonnenschutz
- | Fassadenkonstruktionen
- | Mehrschichtige Fassaden
- | Monolithische Fassaden
- | Holzkonstruktionen
- | Holzbau
- | Lehmbau
- | Strohballenbau
- | Bauen mit Bambus
- | Begrünte Fassade
- | Gebäudeintegrierte Photovoltaik
- | Hybride Energiefassade
- | Ökonomie der Gebäudehülle
- | »Haus 2226« in Lustenau, Österreich

Die Fassade bestimmt den architektonischen Ausdruck des Gebäudes maßgeblich und hat als Schnittstelle zwischen dem Nutzer im Innenraum und den Klima- und Umweltbedingungen im Außenraum einen besonderen Einfluss auf die Behaglichkeit, die Gebäudefunktion sowie den Energiebedarf. Eine leistungsfähige Gebäudehülle kann die erforderliche Technik im Gebäude erheblich reduzieren. Neue, innovative Fassadenmaterialien und Gläser bieten das Potenzial für funktionale Gebäudehüllen mit minimierten Transmissionswärmeverlusten, begrenzten Strahlungseinträgen und einer weitreichenden Tageslichtversorgung. Mit entsprechend ausgebildeten Lüftungsöffnungen kann eine mechanische Lüftung bei gleichzeitig verbesserter Luftqualität ersetzt oder vermindert werden. Sind Fassaden besonnt, eignen sie sich für die Erzeugung elektrischer und thermischer Solarenergie durch fassadenintegrierte Systeme. Ideal ist es, wenn diese Systeme nicht appliziert werden, sondern integraler Teil der Gebäudehülle sind. Aktuell gibt es den Trend, auf robuste, langlebige, monolithische Konstruktionen zurückzukommen, auch als Rückbesinnung auf tradierte Bauweisen. Ebenso stoßen natürliche Baumaterialien, die mit nur geringem Energieeinsatz produziert werden können, wie Holz, Lehm oder Stroh, auf reges Interesse, vor allem auch vor dem Hintergrund, dass die graue Energie und das Wiederverwenden und -verwerten von Baumaterialien immer mehr in den Fokus rücken.

## FASSADE ALS SCHNITTSTELLE



Die Fassade ist die Schnittstelle zwischen den wechselnden Bedingungen im Außenraum und den definierten klimatischen Anforderungen im Innenraum. Je leistungsfähiger die Fassade ist, umso weniger Energie- und Technikaufwand ist erforderlich. Bei der Fassadenplanung gilt es zahlreiche Zielkonflikte in Bezug auf Einstrahlung, Tageslicht, Lüftung und Schallschutz zu lösen.

Die Fassade ist die Schnittstelle zwischen innen und außen. Je besser die Fassade die Anforderungen des Innenraums bei den jeweils gegebenen Bedingungen im Außenraum erfüllen kann, umso geringer sind der Energie- und Technikaufwand des Gebäudes und umso besser ist die Behaglichkeit. Oftmals ist es sinnvoll, mehr in die Fassade zu investieren, da diese Ausgaben durch Einsparungen bei der Technik kompensiert werden. Bei der Fassadenplanung sind zahlreiche Anforderungen zu berücksichtigen, die teilweise zu Zielkonflikten führen: So soll im Winter Solarstrahlung umfangreich in den Raum dringen, gleichzeitig jedoch ist Blendung zu vermeiden. Im Sommer soll die Solarstrahlung möglichst abgehalten werden, eine weitreichende Tageslichtversorgung ist jedoch erwünscht. Eine natürliche Lüftung kann zu einer Außenlärmbelastung und zum Eintrag von Staub und Schadstoffen führen. Insgesamt kommt der ganzheitlichen Fassadenplanung eine besondere Bedeutung zu, bei der es gilt, diese Zielkonflikte sorgfältig abzuwägen und ein abgestimmtes Gesamtkonzept zu entwickeln.

### Wärmeschutz

Der Wärmeschutz ist ein wesentlicher Planungsaspekt. Er vermindert nicht nur unmittelbar den Energiebedarf, sondern verbessert auch die Behaglichkeit aufgrund höherer Oberflächentemperaturen an der Innenseite der Außenfassade. Bei guter Dämmung kann die Leistung der Energieerzeugungs- und Wärmeübergabesysteme geringer dimensioniert werden und es muss kein Heizkörper an der Fassadenseite des Raums angeordnet werden, um niedrige Oberflächentemperaturen der Außenwände zu kompensieren. Dadurch wird das Technikkonzept einfacher und der Energiebedarf reduziert sich. Opake Hüllflächen sollten mit mindestens 20 cm Dämmung (WLG 035) versehen werden bzw. einen äquivalenten Wärmeschutz aufweisen. Homogene Flächen ohne Öffnungen, wie Dächer oder erdberührte Bauteile, sollten umfangreicher gedämmt werden, da dies konstruktiv einfach zu lösen

ist und nur geringe Mehrkosten für das Dämmmaterial entstehen. Transparente Bauteile sollten mit einer Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung ausgeführt werden. Alternativ sind Kastenfenster oder Doppelfassaden denkbar. Bei diesen ergeben sich auch Vorteile in Bezug auf die natürliche Lüftung und sie ermöglichen eine passive Kühlung durch Nachtlüftung über die witterungsgeschützten Fassadenöffnungen. Zudem ist der im Fassadenzwischenraum angeordnete Sonnenschutz witterungs- und windgeschützt, sodass dieser an windigen Tagen nicht hochgefahren werden muss. Durch den insgesamt verbesserten Dämmstandard ist auf Wärmebrücken ein besonderes Augenmerk zu richten. Einerseits weil diese nun einen höheren Anteil am Heizwärmebedarf einnehmen, andererseits weil die Gefahr von Schimmelpilzbildung und Bauschäden vermindert werden soll.

### Sonnenschutz

Für ein gutes Raumklima im Sommer und zur Vermeidung von hohem technischen und energetischen Aufwand für Raumkühlung ist ein außenliegender Sonnenschutz ( $F_c$ -Wert <0,20) an der Ost-, Süd- und Westfassade vorzusehen. Dieser sollte so ausgeführt werden, dass auch im geschlossenen Zustand im oberen Bereich des Fensters ein gewisser Strahlungsanteil in Form von sichtbarem Licht in den Raum eindringen kann und dadurch eine ausreichende Tageslichtversorgung gegeben ist. Innenliegende Systeme sind an Nordfassaden sowie an Südfassaden in Kombination mit Auskragungen oder feststehenden Systemen denkbar. Sonnenschutzverglasungen sind aufgrund der fehlenden erwünschten solaren Einstrahlung im Winter und des deutlich geringeren Tageslichteintrags bei Wohn-, Büro- und Unterrichtsräumen nicht sinnvoll. Bei der Konzeption des Sonnenschutzes ist es wünschenswert, dass auch in geschlossenem Zustand ein gewisser Ausblick und Außenbezug gegeben ist.

## ANWENDUNG VON DÄMMSTOFFEN

Verwendung verschiedener Dämmstoffe nach Bauteilen und Einbausituation

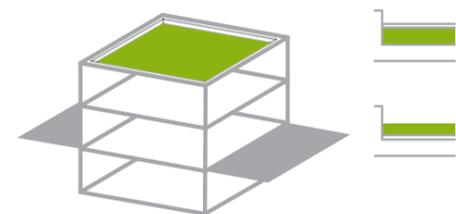
Satteldach



Aufsparrendämmung  
EPS, XPS, PUR, Holzfaser

Zwischensparrendämmung  
Mineralwolle, Holzwolle, Holzfaser,  
Hanf, Zellulose

Flachdach



Warmdach  
Mineralwolle, EPS, XPS

Umkehrdach  
XPS

oberste Geschossdecke



Dämmung unter der Decke  
EPS, PUR, Holzfaser, Mineralwolle

Dämmung auf der Decke  
EPS, PUR, Holzwolle, Mineralwolle,  
Zellulose, Hanf, Perlite

Trittschalldämmung



mit Schallschutzanforderungen  
EPS, Holzfaser, Mineralwolle

ohne Schallschutzanforderungen  
Mineralwolle, EPS, Holzfaser, Holzwolle,  
Kork, PUR

Außenwand



Außenwand hinter Bekleidung  
EPS, XPS, Mineralwolle, PUR  
Außenwand hinter Abdichtung  
EPS, XPS, PUR

Kerndämmung  
Mineralwolle, EPS, XPS, PUR,  
Holzfaser, Holzwolle

Innendämmung  
Mineralwolle, EPS, PUR, Holzwolle,  
Holzfaser, Zellulose, Hanf

Kellerdecke



unterhalb der Kellerdecke  
Mineralwolle, EPS, PUR, Holzwolle,  
Holzfaser, Hanf

Kellerwand/Perimeterdämmung



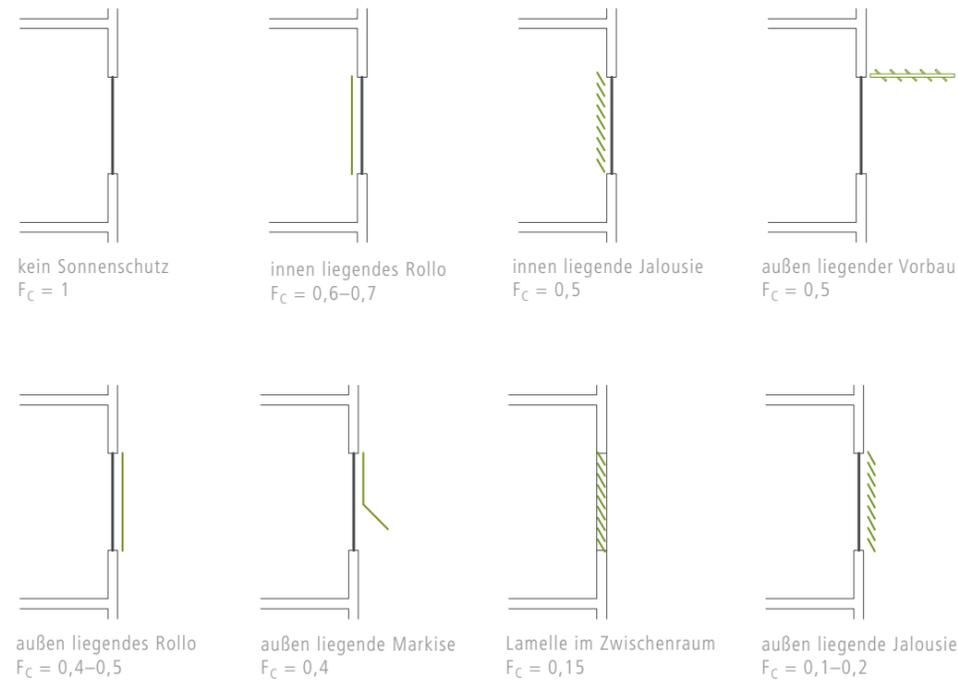
entlang der Wände gegen Erdreich  
XPS, PUR

Bodenplatte



unterhalb der Bodenplatte  
XPS, PUR

## SONNENSCHUTZ



Position der Sonnenschutzebene und  $F_c$ -Werte typischer Sonnenschutzsysteme

Das thermische Verhalten von Gebäuden im Sommer wird maßgeblich von der solaren Einstrahlung in den Raum und den internen Wärmelasten bestimmt. Während die Wärmeabgabe durch Personen und Geräte nur in geringem Maße zu beeinflussen ist, stehen die solaren Strahlungseinträge in direktem Zusammenhang mit dem Energiedurchlassgrad der Fassade. Der Strahlungseintrag ist direkt proportional zum Fensterflächenanteil. Insofern sind große Fensterflächenanteile an strahlungsexponierten Fassaden zu überdenken. Bei einer einseitigen Optimierung der Fassade für den Sommer können sich ungünstige Auswirkungen auf die Tageslichtversorgung und die erwünschten solaren Gewinne im Winter ergeben.

### Strahlungsdurchgang

Der Strahlungsdurchgang wird bestimmt durch den Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) der Verglasung und den Abminderungsfaktor ( $F_c$ -Wert) des Sonnenschutzes. Der Gesamtener-

giedurchlassgrad der Verglasung kann durch Beschichtung des Glases oder durch Sonnenschutzmaßnahmen in der Verglasungsebene beeinflusst werden. Der Abminderungsfaktor des Sonnenschutzes hängt maßgeblich davon ab, ob dieser innen oder außen angeordnet ist. Ist er außen liegend, so ist die Effizienz um den Faktor 3 bis 5 höher als bei innen liegendem Sonnenschutz, allerdings muss er bei starkem Wind hochgefahren werden. Bei der Anordnung des Sonnenschutzes im Fassadenzwischenraum von Doppelfassaden wird eine hohe Wirksamkeit witterungsunabhängig erreicht.

### Außen liegender Sonnenschutz

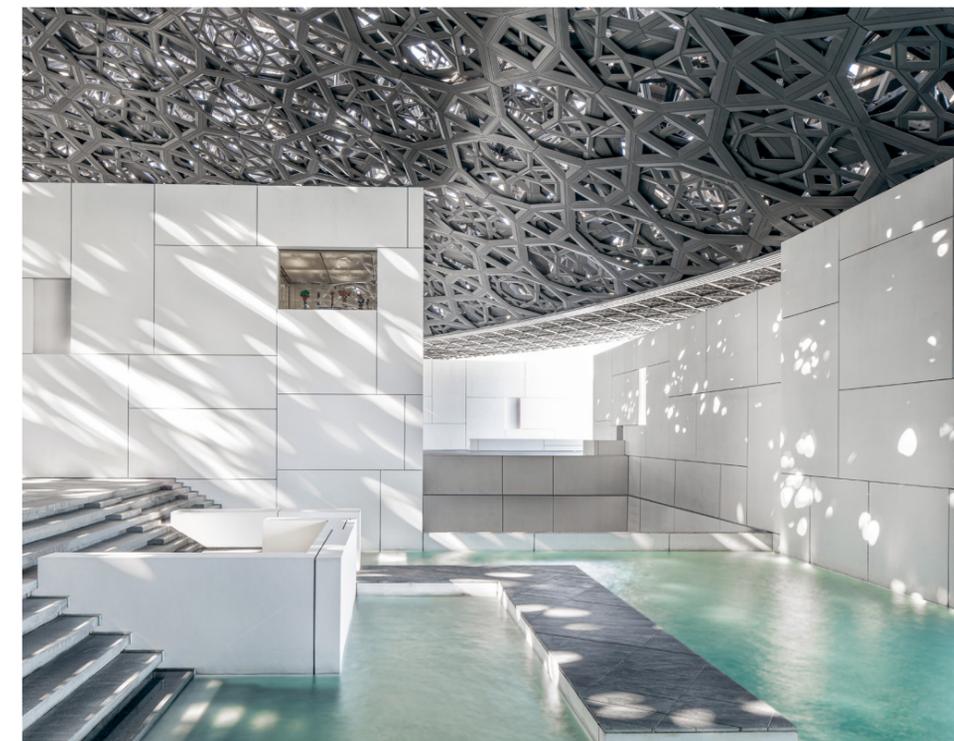
Ein außen liegender Sonnenschutz ist am wirkungsvollsten, da die Solarstrahlung schon vor der Fassade ausgeblendet wird. Die Witterungs- und Windexposition bedingt jedoch höhere Investitions- und Wartungskosten und erfordert einen Antrieb für die Sonnenschutzsteuerung sowie die zugehörige Mess- und

Regeltechnik zur Erfassung der Einstrahlsituation und der Windgeschwindigkeit. Bei starkem Wind ist keine Sonnenschutzwirkung gegeben und es ist ein zusätzlicher Blendschutz erforderlich. Um eine gute Durchsicht zu ermöglichen, können bewegliche Elemente, z. B. Markisen, ausgestellt werden. Außen liegende Jalousien aus Aluminium, Kunststoff oder Holz erreichen Abminderungsfaktoren von bis zu  $F_c = 0,1$ . Die Tageslichtversorgung kann durch Jalousien mit differenziert verstellbaren Lamellenwinkeln im Oberlichtbereich verbessert werden. Gegebenenfalls können diese auch eine lichtlenkende Wirkung haben. An Südfassaden können aufgrund des steilen Einstrahlwinkels auch feststehende Verschattungen zum Einsatz kommen, wie z. B. Balkone, Vorsprünge oder Loggien. Ein zusätzlicher innen liegender Sonnenschutz ist dann meist erforderlich.

### Innen liegende Systeme

Der innen liegende Sonnenschutz ist witterungsgeschützt und kann daher windunab-

hängig betrieben werden. Er ist wartungsarm und kostengünstig und kann zusätzlich die Blendschutzfunktion übernehmen. Die Sonnenschutzwirkung ist jedoch wesentlich geringer als bei außen liegenden Systemen. Der innen liegende Sonnenschutz kann als Rollo oder reflektierende Jalousie ausgebildet sein. Sonnenschutzfolien ermöglichen eine gewisse Durchsicht, wodurch der Außenbezug erhalten bleibt. Die Sonnenschutzwirkung basiert auf der Rückreflexion nach außen und steht damit in Wechselwirkung mit dem Absorptions- und Reflexionsverhalten der Verglasung. Innen liegende Systeme erreichen  $F_c$ -Werte von bis zu 0,3. Angegebene Messwerte werden in der Praxis jedoch aufgrund von Verschmutzung oftmals nicht erreicht. Aus Sicht der thermischen Behaglichkeit kann die Aufheizung des innen liegenden Sonnenschutzes und die damit verbundene höhere Oberflächentemperatur und Abstrahlung von Wärme als unbehaglich empfunden werden, da er wie eine Heizfläche wirkt.



Beim Louvre in Abu Dhabi von Jean Nouvel verschmelzen Gebäudeabschluss und Sonnenschutz zu einer funktionalen Einheit. Das Konzept verbindet effiziente Sonnenschutzwirkung mit einer dynamischen Lichtatmosphäre im Inneren.

Architektur: Ateliers Jean Nouvel, Paris

## MEHRSCICHTIGE FASSADEN

Fassadenschnitt – M. 1:25

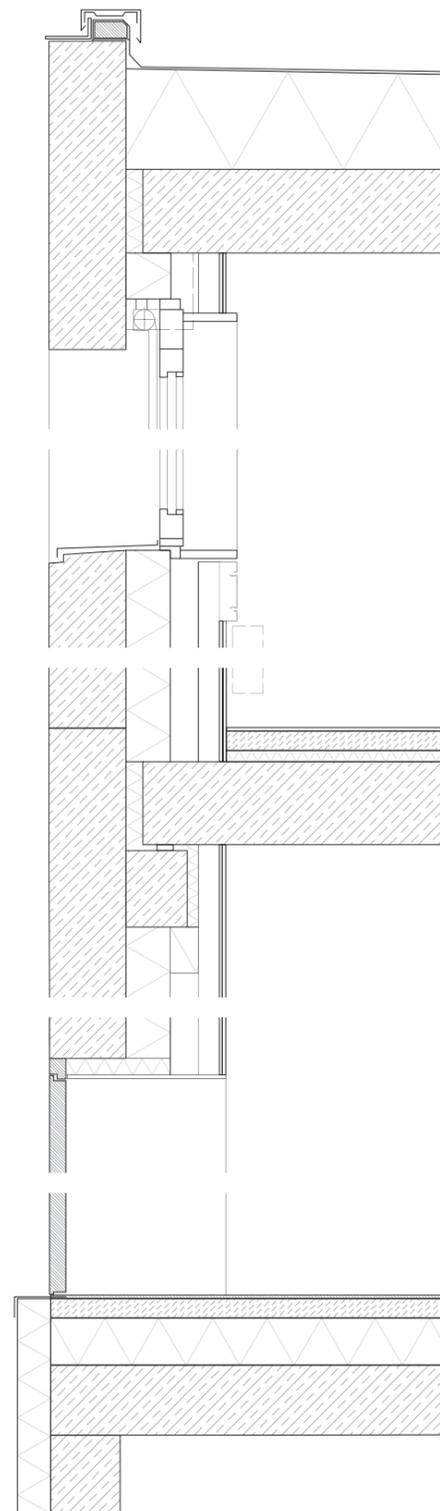
Dach:  
Attikablech,  
Kantholz 60 x 120 mm,  
Wärmedämmung 360 mm,  
Stahlbetondecke 300 mm

Wand:  
Sichtbeton 280 mm,  
Innendämmung  
Schaumglas 160 mm,  
Installationsebene  
175 mm,  
Gipskarton 2 x 12,5 mm

Boden/Decke:  
Parkett 15 mm,  
Estrich 70 mm,  
Trittschalldämmung  
40 mm,  
Stahlbeton 280 mm

Seminargebäude in Kon-  
stanz

Architektur:  
MGF Architekten GmbH,  
Stuttgart



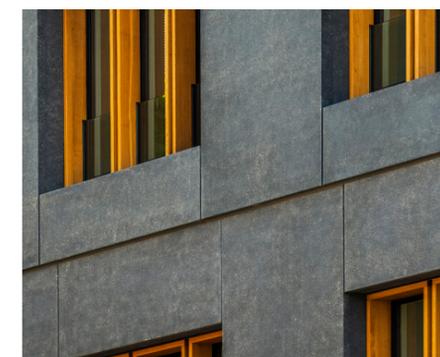
### Innen liegende Wärmedämmung

Eine Innendämmung kommt immer dann zum Einsatz, wenn die äußere Erscheinung einer Fassade eine besondere Rolle spielt. Dies kann bei einer Sanierung der Fall sein, z. B. bei einem Fachwerkhaus, oder wenn beim Neubau die Wirkung des Materials architektonisch gewünscht ist, z. B. bei Sichtbeton. Die Innendämmung ist aus bauphysikalischer und konstruktiver Sicht ungünstiger als eine außen liegende Dämmung. Es gilt, den Tauwasseranfall in der Konstruktion und Wärmebrücken zu vermeiden. Damit kein Tauwasser ausfällt, muss die Innenseite der Fassade dampfdicht ausgeführt werden. Dies ist besonders an den Materialübergängen, aber auch bei Durchdringungen schwierig. Insbesondere bei Fachwerkhäusern hat dies eine besondere Bedeutung, da bei zu hoher Feuchtigkeit die tragende Holzkonstruktion Schaden nimmt. Auch die Anschlussdetails sind bei einer Innendämmung nicht einfach zu lösen, da beim Auflager der Geschossdecken und gegebenenfalls beim Anschluss der Innenwände die Dämmschicht durchdrungen wird und so eine Wärmebrücke entsteht. Dies kann durch eine Dämmung der Flanken gemindert werden, wodurch sich jedoch ein erhöhter konstruktiver Aufwand ergibt. Ein weiterer Nachteil der Innendämmung besteht darin, dass die Speichermasse der Konstruktion thermisch abgekoppelt wird. Die Innendämmung ist demnach konstruktiv und klimatisch ungünstig, deshalb ist ihr Einsatz vor allem architektonisch oder bauhistorisch motiviert.



### Außen liegende Wärmedämmung

Eine vor der tragenden Wand liegende Dämmschicht ist aufgrund der vermiedenen Wärmebrücken und der geringeren Tauwasserproblematik einer Innendämmung vorzuziehen. Sie kann als hinterlüftete Fassade, als Kerndämmung oder als Wärmedämmverbundsystem ausgebildet sein. Bei der hinterlüfteten Fassade wird die gedämmte tragende Konstruktion von einer Wetterschutzschicht umgeben, die hinterlüftet ist. Diese Wetterschutzschicht kann u. a. aus vorgesetzten Klinkern, Paneelen, Holzelementen, Ton oder Naturstein bestehen. Durch die Hinterlüftung wird mögliche Feuchtigkeit in der Konstruktion abgeführt. Dafür müssen genügend Lüftungsöffnungen in der äußeren Fassade vorgesehen werden, die häufig als Fugen in der Verkleidung ausgebildet werden. Hinterlüftete Konstruktionen sind langlebig und wartungsarm. Wird keine Hinterlüftungsebene vorgesehen, so liegt eine Kerndämmung vor. Dabei muss auf Tauwasserausfall in der Konstruktion ein besonderes Augenmerk gerichtet werden. Bei einem Wärmedämmverbundsystem wird auf eine tragende Wand aus Beton, Ziegel oder Kalksandstein eine Dämmschicht aus Hartschaum- oder Mineralwolleplatten aufgebracht und mit Dübeln verankert. Auf diese Dämmschicht wird ein Kunstharzputz aufgebracht, der die Fassadenoberfläche bildet. Kritisch gesehen werden dabei Fragestellungen zu Dauerhaftigkeit, Verschmutzung, Algenbewuchs, Rückbau, Recycling und Brandverhalten.



Fassadenschnitt – M. 1:25

Dach:  
Stehfalzdach  
Blechdeckung,  
Wärmedämmung 200 mm,  
Abdichtung,  
Stahlbeton 190 mm,  
Anstrich

Wand (WDVS):  
Putz 25 mm,  
Wärmedämmung 200 mm,  
Beton 250 mm,  
Anstrich

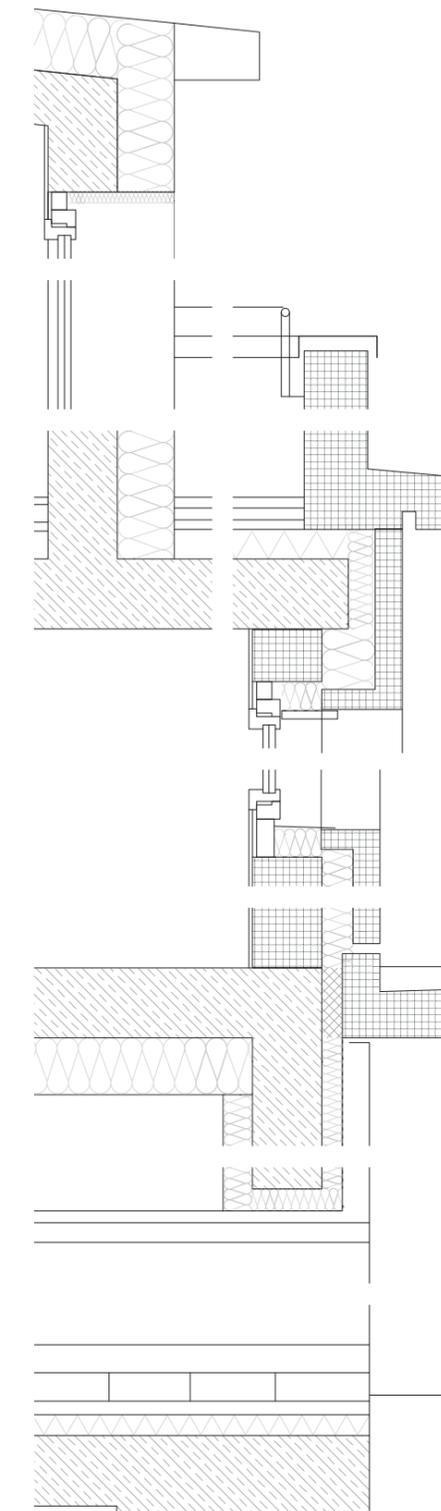
Boden:  
Massivholz Eiche 25 mm,  
Heizestrich 65 mm,  
Trittschalldämmung  
30 mm,  
Installationsebene 100 mm,  
Stahlbeton 250 mm

Wand (Kerndämmung):  
Holz-Alufenster,  
Dreischeibenverglasung,  
Leichtbeton 100 mm,  
Dämmung 110 mm,  
Sichtbeton 250 mm

Wohn- und Geschäftshaus  
in Weiden

Architektur:  
Karlheinz Beer, Architekt +  
Stadtplaner, Weiden

Energiekonzept:  
atelier.ClímaDesign  
Prof. Dr. Mike de Saldanha,  
Elisabeth Möller



kann. Monokristalline Module sind dunkelblau bis schwarz und weisen eine homogene Oberfläche auf, polykristalline Module sind blau bis dunkelblau und zeigen eine kristalline Strukturierung auf der Oberfläche der Zelle. Bei beiden Zelltypen sind die Kontaktbahnen auf den Zellen und die Leiterbahnen, welche die Verbindung zwischen den Zellen herstellen, sichtbar. Die Zellen können fugenlos oder auf Abstand angeordnet sein. Sofern ein Abstand gegeben ist, kann Licht zwischen den Zellen durch das Solarmodul dringen, dies wird häufig bei Dachverglasungen angewendet. Mono- und polykristalline Zellen können auch farbig in Silber-, Gold- oder Grüntönen ausgebildet werden. Dies ergibt sich durch eine Veränderung der obersten Zellschicht. Ein Abweichen von der optimalen bläulichen bis schwarzen Zellfarbe bewirkt jedoch Wirkungsgradeinbußen. Monokristalline Zellen haben einen höheren Wirkungsgrad als polykristalline Zellen, der in der Praxis bis zu 19 % erreicht. Für eine Leistung von 1 kW<sub>p</sub> wird eine Fläche von ca. 5,5 m<sup>2</sup> benötigt. Der Wirkungsgrad von polykristallinen Zellen liegt bei ca. 17 % mit einem Flächenbedarf von ca. 6,0 m<sup>2</sup>/kW<sub>p</sub>. Dafür sind die Zellen kostengünstiger, sodass sie insgesamt wirtschaftlicher sind, sofern genügend PV-Fläche vorhanden ist. Bei begrenzt verfügbarer Fläche werden häufig monokristalline Zellen eingesetzt.

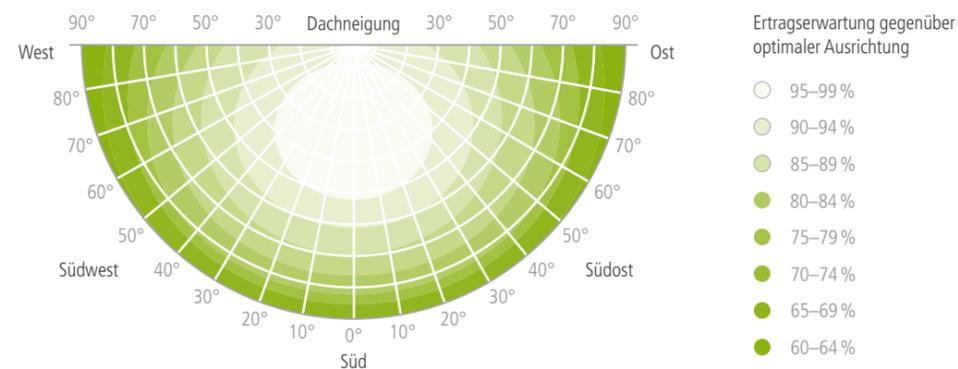
Silizium. Bei diesen wird Silizium auf eine Glasscheibe aufgedampft. Diese Bauweise ist kostengünstiger, verfügt jedoch nur über einen Wirkungsgrad von bis zu 8 %, sodass eine Fläche von ca. 15,0 m<sup>2</sup>/kW<sub>p</sub> erforderlich ist. Der Wirkungsgrad fällt bei schwachem oder diffusem Licht und bei erhöhten Modultemperaturen nicht so stark ab wie bei kristallinen Zellen. Dünnschichtmodule haben eine bräunliche bis schwarze Farbe und weisen eine nahezu homogene Struktur auf. Sie werden häufig im Fassadenbereich eingesetzt, vor allem wenn die Einstrahlung niedrig ist oder sich hohe Modultemperaturen ergeben.

**Innovative Zellen**

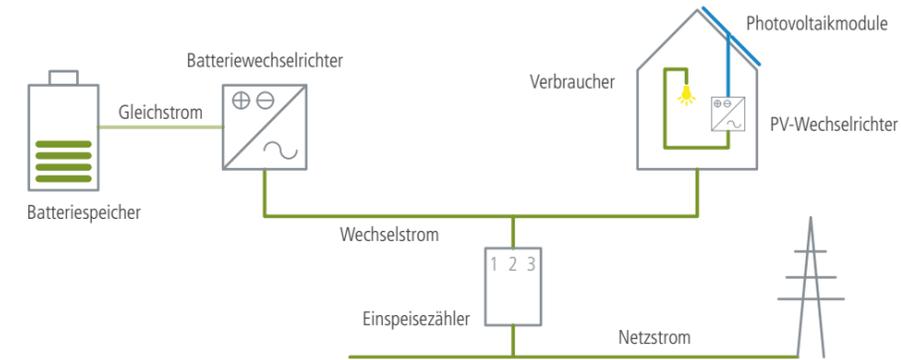
Aktuell in der Entwicklung befinden sich diverse neue Zellentypen mit dem Ziel, den Wirkungsgrad zu erhöhen oder die Herstellkosten durch günstigeres Material und einfachere Produktionsprozesse zu reduzieren. Mit Konzentratorzellen wird der Wirkungsgrad erhöht, indem eine optische Linse oder ein Spiegel das Sonnenlicht gebündelt auf den Halbleiter lenkt. Auf diese Weise kann Halbleitermaterial eingespart werden und der Wirkungsgrad steigt. Allerdings muss das System dem Sonnenstand nachgeführt werden, was technisch aufwendig ist. Eine weitere Möglichkeit, den Wirkungsgrad zu erhöhen, sind Mehrfachsolarzellen. Dabei werden mehrere Schichten aus unterschiedlichem Zellmaterial übereinander angeordnet. Aktuell wird auch an organischen Solarzellen gearbeitet. Diese bestehen aus Kohlenwasserstoffen, die halb-

**Dünnschichtmodule**

Eine weitere im Baubereich gebräuchliche Modulart sind Dünnschichtmodule mit amorphem



Ertragsanteile in Abhängigkeit der Dachneigung und der Orientierung: Aufgrund der gefallenen Modulpreise sind Fassaden von Südost bis Südwest wirtschaftlich. Dabei ergibt sich immer noch ein Ertrag von etwa 65 %. Bei Dächern sind Orientierungen von Ost bis West möglich, der Ertrag liegt bei ca. 75 %. Bei Dächern ist es vorteilhaft, wenn der Neigungswinkel flacher ist, je weiter man sich von der Südorientierung wegbewegt. Das Ertragsmaximum ergibt sich bei Südausrichtung und 28° Neigungswinkel.



Schaltschema einer PV-Anlage im Netzparallelbetrieb mit eingebundenem Batteriespeicher zur Erhöhung des Eigenverbrauchsanteils

leitende Eigenschaften haben. Diese Zellen auf Kunststoffbasis sind günstiger herzustellen, können transparent gestaltet werden und weisen eine hohe Flexibilität auf, sodass sie auch auf gekrümmten Bauteilen angebracht werden können. Es werden aktuell Wirkungsgrade von ca. 10 % erreicht. Perspektivisch wird aufgrund des fallenden Herstellungspreises eine weite Verbreitung erwartet.

**Orientierung und Ertrag**

Der optimale Winkel eines PV-Moduls liegt vertikal zur Einstrahlrichtung. In Deutschland ergibt sich bei einem südorientierten Modul ein optimaler Winkel zwischen 20 Grad und 45 Grad. In Norddeutschland sollte der Winkel eher etwas steiler sein, im Süden eher flacher. Bei einer begrenzten Dachfläche ist es sinnvoll, die Module tendenziell in flacherem Winkel aufzustellen, da dann die Belegungsichte ohne gegenseitige Verschattung höher wird. Es ist jedoch ein Mindestwinkel von 10 Grad bis 20 Grad einzuhalten, damit die Selbstreinigung durch Regen und das Abrutschen des Schnees gewährleistet bleiben. Kontinuierlich nachgeführte Systeme sind aufgrund der mittlerweile geringen Modulpreise nicht mehr wirtschaftlich, allenfalls bei sehr geringen verfügbaren PV-Flächen oder hohen direkten Strahlungsanteilen können diese in Betracht gezogen werden. Bei Anlagen im Privatbetrieb, wo der Personalaufwand eine untergeordnete Rolle spielt, kann eine saisonale Winkelverstellung, z. B. zusammen mit der Modulreinigung, sinnvoll sein. Früher wurden aufgrund der hohen

Modulpreise nur Süddächer und Südfassaden mit PV-Modulen belegt. Mittlerweile ist dies auch bei einer Südost- oder Südwest-Orientierung sinnvoll, bei Dächern ist dies mit einem Ertragsanteil von 95 % sehr wirtschaftlich und bei vertikalen Fassaden mit 65 % immer noch rentabel. Bei einer Belegung von ost- oder westorientierten Dachflächen liegt der Ertrag bei 75 %, wodurch sich eine gute Wirtschaftlichkeit ergibt. Bei Dachflächen nimmt mit flacher werdender Dachneigung der Einfluss der Orientierung ab.

**Verschattung**

PV-Anlagen sind sehr empfindlich in Bezug auf Teilabschattung. Bereits ein Schatten auf einem Modul oder einem Teil eines Moduls reduziert die Leistung des gesamten Strings erheblich. Vor diesem Hintergrund sind bei Anlagen, die im Tagesverlauf temporär durch Bäume oder Gebäudeteile verschattet werden, die Module in der Weise zu verschalten, dass die Verschattung nur möglichst wenige Strings betrifft. Bei der Erstellung eines Belegungsplans für eine Dachanlage ist auf die gegenseitige Verschattung der Module bei flachem Sonnenwinkel zu achten und auf eine mögliche Verschattung durch die Attika oder Dachaufbauten wie z. B. Aufzugsüberfahrten oder Lüftungsgeräte.

**Temperaturabhängigkeit**

Kristalline Solarzellen weisen in Bezug auf den Wirkungsgrad eine erhebliche Temperaturabhängigkeit auf. Die Leistungsangabe eines Mo-

## HYBRIDE ENERGIEFASSADE

Hybride Energiefassade am Deutsch-Chinesischen Haus in Shenyang, Nordost-China:  
Aufgrund der sehr kalten, aber strahlungsreichen Winter bietet es sich an, Sonnenenergie über die Fassade mit maximalem Wirkungsgrad zu nutzen.



Soll auf einer begrenzten Fassadenfläche ein Maximum an solarem Ertrag erreicht werden, so bietet sich eine hybride Energiefassade an. Dabei wird zusätzlich zur Gewinnung von elektrischem Strom über PV-Module die an der Fassade absorbierte Wärmeenergie genutzt. Die Wärme kann dabei über Luft oder flüssigkeitsdurchströmte Absorber abgeführt werden. Je nach Jahreszeit stellt sich ein Temperaturniveau von 30 °C bis 80 °C ein. Bei einer Wärmeabfuhr über die Luft kann diese direkt zur Vorwärmung der Zuluft oder indirekt über einen Luftwärmetauscher oder eine Wärmepumpe genutzt werden. Erfolgt die Wärmeabfuhr über einen wasserdurchströmten Absorber, so kann damit das Trinkwarmwasser erwärmt oder eine Flächenheizung betrieben werden. Perspektivisch sind auch mit Kältemittel durchströmte Absorber denkbar, wodurch sich eine höhere Flexibilität in Bezug auf das nutzbare Temperaturniveau ergibt. Wird die Wärmeabfuhr mechanisch unterstützt, so kann die dafür erforderliche Energie direkt über den So-

larstrom bereit gestellt werden, da Erzeugung und Bedarf zeitgleich auftreten. Es ergeben sich dann keine Umwandlungs- oder Speicherverluste, insbesondere dann, wenn der Antrieb über Gleichstrommotoren erfolgt. Ein weiteres Potenzial für einen Synergieeffekt ist die Nutzung des Temperaturniveaus einer hybriden Energiefassade zur »solaren Kühlung« über einen Absorptionskälteprozess. Hier tritt das Maximum der Kälteerzeugung zeitgleich mit der höchsten solaren Einstrahlung auf. Da kristalline Solarzellen je Kelvin Temperaturerhöhung eine Ertragseinbuße von ca. 0,4 % aufweisen, kann durch die hybride Nutzung je nach Intensität der Wärmeabfuhr der Stromertrag des PV-Systems um bis zu 25 % gesteigert werden. Durch die kombinierte Energieerzeugung an der Fassade können sich Gesamtwirkungsgrade bezogen auf die eingestrahlte Energie von bis zu 60 % ergeben. Diese liegen erheblich über den Wirkungsgraden einer rein solarthermischen Nutzung mit ca. 45 % oder einer solaren Stromerzeugung mit 18 %.

Schirmherr:  
Botschafter (bis 2013)  
Dr. Michael Schaefer

Projektinitiative:  
Deutsche Botschaft Peking mit  
Goethe-Institut Shanghai  
Winfried Eckstein

Architektur:  
Studierende der Hochschule Darmstadt und der Shenyang Jianzhu University

Energie- und Klimakonzept:  
Prof. Dr. Mike de Saldanha



## Deutsch-Chinesisches Haus

In Shenyang, in der aufstrebenden nordöstlichen Provinz Liaoning, 750 km nordöstlich der Hauptstadt Peking, wurde von der Deutschen Botschaft in Peking unter der Schirmherrschaft des damaligen Botschafters Dr. Michael Schaefer gemeinsam mit dem Goethe-Institut in Shanghai das Projekt »Deutsch-Chinesisches Haus« initiiert. Dabei sollte von deutschen Studierenden der Hochschule Darmstadt und chinesischen Studierenden der Shenyang Jianzhu University gemeinsam ein Haus entworfen werden, das einerseits neue Strategien im Bereich des energie- und klimaoptimierten Bauens aufzeigt und andererseits eine Technologie- und Kommunikationsplattform für alle technischen, ökologischen, ökonomischen und kulturellen Themen zwischen Deutschland und China bildet. Dies auch vor dem Hintergrund, dass für die großen Städte in China nachhaltige Mobilitätskonzepte weiterentwickelt werden sollen. Ein weiterer Schwerpunkt bei dem Projekt lag darin, dass es von jungen

Menschen beider Länder entwickelt, realisiert und getragen werden sollte, um weitreichenden Raum für Dialog, Austausch und Freundschaft zu schaffen. Das Gebäude gehört zu den fünf effizientesten Gebäuden in Nordchina und wurde dafür mit dem Preis der Deutschen Außenhandelskammer ausgezeichnet.

## Klimaoptimiertes Gebäudekonzept

Das Klima im Nordosten Chinas ist geprägt von trockenen, kalten Wintern und warmen, feuchten Sommern mit sehr kurzen Übergangszeiten. Die sehr kalten Wintermonate mit längeren Kälteperioden von bis zu -20 °C weisen aufgrund der Trockenheit viele Sonnenstunden mit hoher solarer Einstrahlung auf die Südfassade auf. Die Sommermonate sind feuchtwarm mit einem aufgrund der Luftfeuchtigkeit hohen diffusen Strahlungsanteil. Das Gebäudekonzept entwickelt sich aus den herausfordernden klimatischen Gegebenheiten heraus. Es galt, die Wärmeverluste im Winter zu minimieren und gleichzeitig das Potenzial



Dr. Michael Schaefer,  
Botschafter der Bundesrepublik Deutschland in der Volksrepublik China von 2007 bis 2013:

»Die über einjährige Zusammenarbeit beider Universitätsteams war keine Einbahnstraße. Sie bestand vielmehr in einem gegenseitigen Austausch von Ideen und Konzepten. Sie war im bestverstandenen Sinne eine gelungene interkulturelle Zusammenarbeit, da die Teilnehmer den unterschiedlichen Mentalitäten und Erfahrungen der jeweils anderen Seite Rechnung tragen und Kompromisse suchen mussten, ohne qualitative Abstriche zu machen. ... Ihr Einsatz, ihre Kreativität und ihr Enthusiasmus waren ganz entscheidend für den Erfolg des Projektes ... Ich bin sehr zuversichtlich, dass aus der Partnerschaft der Universitäten und aus den zwischen den Teilnehmern entstandenen persönlichen Freundschaften weitere, auch für die deutsch-chinesischen Beziehungen fruchtbare Kooperationen und Aktivitäten erwachsen werden.«

Skizze des Deutsch-Chinesischen Hauses von der Nord-Westseite mit der Eingangszone im Norden



Özlem Gün,  
Hochschule Darmstadt,  
Projektleitung Deutsch-  
Chinesisches Haus:

»Bei dem Projekt ging es nicht nur darum, den Energiebedarf des Hauses zu minimieren, es galt auch die positive Energie zwischen den Studierenden aus Deutschland und China zu maximieren. Indem dies gelungen ist, wurde der Grundstein für Freundschaften für ein ganzes Leben gelegt.«

Eröffnung des Hauses durch den deutschen Generalkonsul



Blick in das innen liegende Atrium, welches das Gebäude mit Tageslicht und passiven Solargewinnen versorgt und die natürliche Lüftung sowie die Nachtauskühlung verbessert.

Die Nordfassade hat minimierte Fensterflächen und einen sehr guten Wärmeschutz.



Südwest-Ansicht des Deutsch-Chinesischen Hauses mit Blick auf die Solarfassade im Süden und die gut gedämmte Westfassade



einer Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung in hochgedämmten Rahmen mit einem Fenster-U-Wert von 0,90 W/m<sup>2</sup>K sind in der Weise dimensioniert und angeordnet worden, dass zur Reduktion der Transmission die Fensterfläche zwar gering, jedoch ein ausreichender gleichmäßiger Tageslichteintrag gegeben ist. Zudem begrenzen die moderaten Fensterflächen, die mit einem außen liegenden Sonnenschutz verschattet sind, die Strahlungseinträge im Sommer.

Hybride Energiefassade

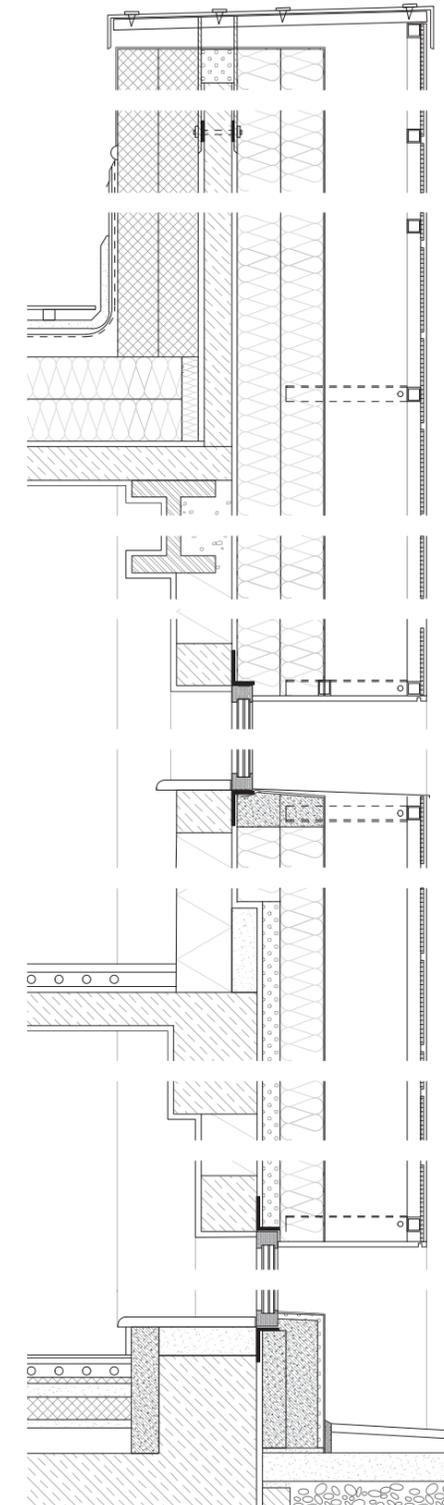
Da in Shenyang aufgrund des sehr trockenen Winterklimas auf die vertikale Südfassade mit 540 kWh/m<sup>2</sup> im Winterhalbjahr annähernd so viel Einstrahlung gegeben ist wie im Sommerhalbjahr, bietet es sich an, diese Einstrahlung auf maximale Weise zu nutzen. Dazu wurde eine gebäudeintegrierte hybride Klimafassade konzipiert, die über hinterlüftete Solarzellen einerseits Strom erzeugt, andererseits als Luftkollektor auch zur Wärmegewinnung



dient. Die im Luftkollektor erzeugte Wärme wird im Winter über die Lüftungsanlage direkt zur Beheizung des Gebäudes genutzt. Im Sommer wird diese Wärme zum Betrieb einer Absorptions-Kältemaschine eingesetzt, um das Gebäude aktiv zu kühlen. Durch diesen Aufbau vermindert sich die Modultemperatur, wodurch der Wirkungsgrad der Solarzellen steigt. Um einen maximalen Solarertrag über die Klimafassade zu erzielen, wurden im Süden die Fenster nur so groß dimensioniert, dass eine gute Tageslichtversorgung gegeben ist.

Gebäudetechnik

Zur regenerativen Wärmeversorgung wurden Erdsonden in Verbindung mit einer Wärmepumpe vorgesehen, die ihren Strom maßgeblich über die Solarzellen der hybriden Klimafassade und die Solarmodule auf dem Dach erhält. Im Sommer dienen die Erdsonden als passive Kältequelle, die zur Kühlung lediglich den Strom für die Umlaufpumpe des Solekreislaufes benötigen. Zur Spitzenlastkühlung wird zusätzlich Kälte über die Absorptions-Kältemaschine bereitgestellt, die ihr Leistungsmaximum in den Zeiten mit der höchsten Einstrahlung aufweist. Wärme und Kälte werden den Räumen über Flächen zugeführt. Damit wird in China, wo die Raumkonditionierung typischerweise über luftbasierte Splitgeräte erfolgt, eine neue Art der Raumkonditionierung eingesetzt und demonstriert. Die Lüftungswärmeverluste zur sehr kalten Außenluft werden über eine Lüftungsanlage mit Plattenwärmetauschern minimiert. Dadurch verbessert sich auch die Behaglichkeit in den Räumen, da die Zulufttemperaturen höher sind. Weiterhin werden die Räume über die warme Luft aus der Solarfassade temperiert.



Fassadenschnitt – M. 1:25

Dach:  
Dachplatten 80 mm,  
Dachabdichtung,  
Gefälledämmung  
300–400 mm,  
Stahlbetonfertigteile auf  
Stahlträger 200 mm,  
Gipskarton 15 mm

Fenster:  
Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung mit gedämmtem Rahmen und außen liegendem Sonnenschutz

Decke:  
Bodenbelag 20 mm,  
Estrich mit Fußbodenheizung 50 mm,  
Trittschalldämmung 20 mm,  
Stahlbetonfertigteile 200 mm,  
Gipskartonplatte 15 mm

Aufbau PV-Fassade mit Luftkollektor:  
PV-Verglasung,  
Luftkollektor 250 mm,  
Blechverkleidung,  
Mineralwolledämmung 150–250 mm,  
Lüftungsöffnungen zum Raum,  
Dämmebene Polystyrol 200 mm,  
Gipskartonplatte 15 mm

Boden:  
Estrich mit Fußbodenheizung 50 mm,  
innen liegende Dämmebene 150 mm,  
Stahlbetonbodenplatte 300 mm,  
Dämmung 300 mm

## STANDORTFAKTOREN

Bereits die allererste Konzeptphase eines Gebäudes, in der der Standort und die Struktur festgelegt werden, hat einen überproportional großen Einfluss auf die energetischen und raumklimatischen Eigenschaften des Gebäudes. Vom Standort mit seinen individuellen Eigenschaften werden die Einstrahlsituation, die Windanströmung, die Schallbelastung, die Luftqualität und das Mikroklima bestimmt. Die Gebäudestruktur definiert die Orientierung und damit die Einstrahlsituation und die windbedingten Druckverhältnisse am Gebäude. Weiterhin wird das Potenzial der natürlichen Belüftung und Belichtung durch die Geometrie festgelegt.

### Gebäudestruktur und Einstrahlung

Bei der Orientierung besteht die prinzipielle Möglichkeit einer Nord-Süd- oder einer Ost-West-Ausrichtung. Die Nord-Süd-Ausrichtung hat den Vorteil eines etwas verminderten Heizwärmebedarfs durch erhöhte Strahlungseinträge im Winter und eines besseren Raumklimas im Sommer aufgrund der nur wenig besonnten Nordfassade und eines steilen Einstrahlwinkels an der Südfassade, wodurch die Einstrahlleistung geringer und eine Verschattung gut möglich ist. Als Nachteil wird von einigen Nutzern empfunden, dass die Hälfte der Nutzfläche über lange Zeit im Jahr keine direkte Solarstrahlung erhält.

Die Ost-West-Orientierung hat den Vorteil, dass alle Räume zu gewissen Zeiten des Tages direktes Sonnenlicht erhalten, was für einige

Nutzer eine grundlegende Anforderung ist. Aus energetischer und raumklimatischer Sicht hat die Ost-West-Orientierung jedoch Nachteile. In der Heizperiode ergeben sich geringe solare Strahlungseinträge. In den Sommermonaten bewirkt die flachstehende Morgen- bzw. Abendsonne eine hohe Einstrahlung, die sich aufgrund des flachen Einstrahlwinkels nur schwer verschatten lässt. Deshalb ist auch die Tageslichtnutzung schwieriger und es ergibt sich die Gefahr von Blendung. Insbesondere die Westfassade ist raumklimatisch problematisch, da dort eine hohe Einstrahlleistung mit hohen Außenlufttemperaturen zeitlich zusammentrifft, sodass die Wärme im Raum nicht über Lüftung abgeführt werden kann.

### Gebäudestruktur und Lüftung

Der Wind kann durch eine Querlüftung den Luftaustausch verbessern, dadurch kann Antriebsenergie eingespart werden. Bei großen Gebäuden, die quer zum Wind stehen, und bei hohen Gebäuden können sich jedoch unerwünscht hohe windbedingte Druckdifferenzen aufbauen, die eine unkontrollierte Luftströmung im Inneren des Gebäudes bewirken können. Es besteht die Gefahr von Strömungsgeräuschen und erhöhten Fenster- und Türöffnungskräften. Bei runden Gebäuden können sich durch Windanströmung vor allem durch Sogkräfte hohe Druckdifferenzen einstellen. Die Baukörperstellung hat auch einen Einfluss auf die windbedingte Aufenthaltsqualität im Freien. Entsteht zwischen Baukörpern Durchzug, so können sich unbehaglich hohe Wind-

geschwindigkeiten ergeben. Dies ist häufig auch bei Durchfahrten, z. B. zu Innenhöfen, der Fall.

Sind zusammenhängende vertikale Lufträume vorhanden, so können diese für einen thermischen Luftaustausch genutzt werden. Neben der Lüftungsfunktion kann dies das Raumklima durch intensivierte Nachtlüftung verbessern.

### Lärmsituation

Bei der Anordnung des Baukörpers auf dem Grundstück und bei der Spezifikation der Grundrisstruktur ist die Außenlärmsituation ein wichtiger Planungsparameter. Durch die Anordnung von Nutzräumen an der vom Lärm abgewandten Seite vermindert sich die Schallbelastung erheblich, wodurch eine natürliche Lüftung zu vielen Stunden während des Jahres möglich wird. Oftmals kann die Lärmsituation durch die optimierte Stellung von untergeordneten Baukörpern, z. B. Garagen, oder von Lärmschutzwänden, die auch verglast sein können, verbessert werden.

### Mikroklima

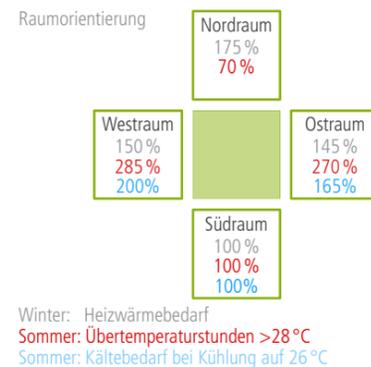
Insbesondere im Sommer können sich versiegelte dunkle Oberflächen stark aufheizen und so das Mikroklima am Standort ungünstig beeinflussen. Sehr helle oder reflektierende Flächen können durch Blendung unbehaglich wirken. Bepflanzte Flächen heizen sich hingegen nur wenig auf, bewirken eine durchlüftete Verschattung der Gebäude und reduzieren die Temperatur im Außenraum durch adiabate

Kühlung, der Kühlung durch Verdunstungskälte. Durch die niedrigere Oberflächentemperatur ergibt sich ein angenehmes Strahlungsmilieu. Auch Wasserflächen verzögern durch die Speicherwirkung des Wassers und die adiabate Kühlung durch Verdunstung die Aufheizung im Sommer. Dieser Effekt kann durch Versprühen des Wassers, z. B. über Springbrunnen oder Wasserspiele, noch gesteigert werden. Im Winter kann sich eine thermisch ausgleichende Wirkung einstellen, die angenehm empfunden wird.

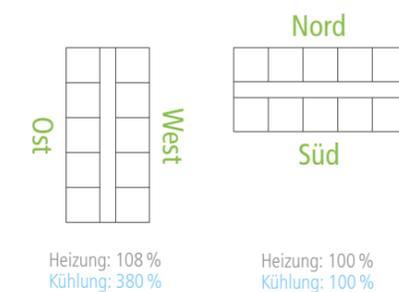
### Planungsstrategien

Bei der Konzeption und Planung der Gebäudestruktur und der unmittelbaren Gebäudeumgebung werden viele energetische und klimatische Einflussfaktoren festgelegt, die sich im weiteren Planungsverlauf nicht mehr optimieren lassen. Die energetischen Einsparpotenziale liegen hier in der Größenordnung von 20 % bis 40 % und sind somit erheblich, zumal eine Optimierung in diesem Bereich oftmals nicht mit zusätzlichen Investitionskosten verbunden ist, sondern nur einer sorgfältigen Planung bedarf. Häufig reduziert sich dadurch der Technikaufwand mit den daraus resultierenden Investitions- und Wartungskosten. In der Regel ist mit einer Energieoptimierung im Lageplanmaßstab auch eine Verbesserung der Nutzungsqualität verbunden, z. B. bei der einstrahlungsoptimierten Orientierung, der erweiterten Möglichkeit der natürlichen Lüftung sowie der Integration von Pflanzen in die Gebäudehülle und die Außenräume.

Einfluss der Orientierung eines Raums auf den Heizwärme- und Kühlkältebedarf sowie auf die Zahl der Stunden pro Jahr, an denen die Raumtemperatur über 28 °C liegt



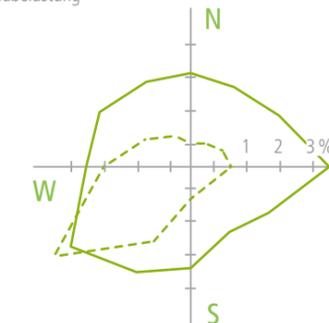
### Gebäudeorientierung



### Straßenlärmbelastung



### Windbelastung



Durch eine optimierte Gebäudeausrichtung können sich Vorteile in Bezug auf die Außenlärmsituation und die Luftqualität ergeben.

Windrichtungsverteilung für schwache (durchgezogene Linie) und starke (gepunktete Linie) Winde in Deutschland. Starke Winde kommen überwiegend aus westlichen Richtungen.

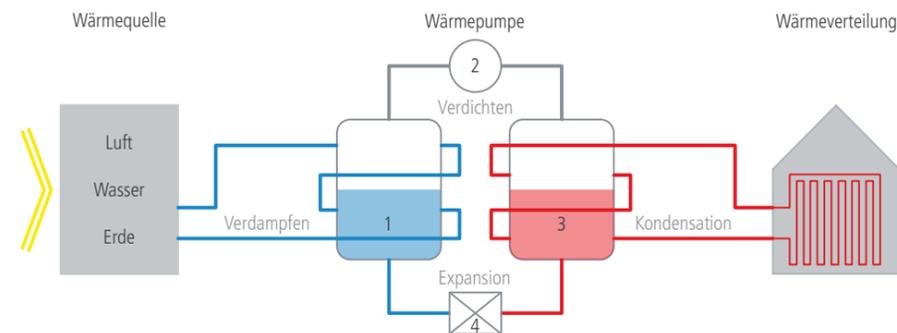
Die prinzipiellen Komponenten einer Wärmepumpe sind der Verdampfer, der Verdichter, der Kondensator und das Expansionsventil. Der Motor des Verdichters treibt einen Kältemittel-Kreisprozess an, der in folgenden vier Phasen abläuft:

- 1. Verdampfen**  
Das Kältemittel verdampft bei einem Druck von ca. 3 bar und entzieht dabei seiner Umgebung Wärme. Dadurch wird von der Primärwärmequelle Wärme aufgenommen.
- 2. Verdichten**  
Der mit Strom angetriebene Kompressor verdichtet das Kältemittel auf 12 bar bis 22 bar, wodurch die Temperatur und der Kondensationspunkt ansteigen.
- 3. Kondensation**  
Im Verflüssiger kondensiert das Kältemittel bei hohem Druck und gibt dabei seine Wärme an den Heizkreislauf ab.
- 4. Expansion**  
Durch das Expansionsventil kommt es zu einer Druckreduzierung verbunden mit einer Abkühlung des Kältemittels und einer Absenkung des Verdampfungspunkts. Hier beginnt der Kreislauf von Neuem.

Wärmeerzeugung über eine Wärmepumpe: Die Arbeitszahl einer Wärmepumpe ist abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Primärwärmequelle und abgegebener Nutzwärme. Vor diesem Hintergrund ist es sinnvoll, zur Wärmeübergabe Flächenheizsysteme zu nutzen. Die Primärwärmequelle sollte eine Temperatur über 0 °C aufweisen.

Wärmepumpe

Technisch gesehen ist eine Wärmepumpe ein Kühlschrank, der »umgekehrt« genutzt wird. Dabei wird über einen thermodynamischen Kreisprozess mit einem verdampfenden Kältemittel einer kälteren Primärwärmequelle Wärme entzogen und diese von der Wärmepumpe durch das Verdichten des gasförmigen Kältemittels auf einem höheren Temperaturniveau abgegeben, um sie zum Heizen oder zur Warmwasserbereitung zu nutzen. Die Wärmepumpe hat eine hohe Lebensdauer und der Wartungsaufwand ist minimal. Dadurch relativieren sich die erhöhten Investitionskosten, die maßgeblich von der Primärwärmequelle bestimmt werden und in linearem Zusammenhang mit der Leistung stehen. Ein Vorteil besteht darin, dass als Energieträger überall verfügbarer Strom genutzt wird. Eine Abgasanlage ist nicht erforderlich und es entstehen keine lokalen Emissionen. Mit regenerativem Strom wird die Wärmepumpe CO<sub>2</sub>-neutral betrieben. Die Effizienz des Wärmepumpenprozesses wird über die Arbeitszahl bestimmt. Sie gibt an, wie viel Wärmeenergie je eingesetzter Strommenge abgegeben wird. Sie ist umso höher, je geringer der Temperaturunterschied zwischen der Primärwärmequelle und der Nutzwärme ist. Typische Arbeitszahlen im Baubereich liegen zwischen drei und sechs. Wärmepumpen stehen in einem breiten Leistungsspektrum zur Verfügung, die Geräte haben Leistungen von 5 kW bis zu 250 kW. Höhere Leistungen werden durch Kaskadenschaltungen realisiert.



Primärwärmequellen

Es sollten Primärwärmequellen genutzt werden, die auch im Winter eine relativ hohe Temperatur aufweisen. Dies ist bei Erdsonden, Erdregistern oder Grundwasser der Fall. In Gebieten mit milden Wintern, wo die Außenlufttemperatur nur selten unter 0 °C fällt, kann auch eine Luftwärmepumpe effizient und wirtschaftlich betrieben werden. Neuerdings werden auch Eisspeicher oder kalte Nahwärmenetze als Primärwärmequelle eingesetzt. Mit Solarabsorbern kann der Wirkungsgrad im Jahresverlauf gesteigert werden. Denkbar ist auch, ein beliebiges Wärmepotenzial zu nutzen, z. B. industrielle Abwärme aus Produktionsprozessen, Rückkühlwärme aus der Gebäudekühlung, Abwasserwärme, Wärme aus der Gebäudeabluft, Wärme aus dem Rücklauf einer Fernwärmeleitung, Abwärme von Computer-Servern oder aus Energieerzeugungsprozessen.

Planungsstrategie

Um den Temperaturhub möglichst gering zu halten, sollten Wärmepumpen mit einem Flächenheizsystem kombiniert werden, zumindest sind jedoch großzügig dimensionierte Flächenheizkörper vorzusehen. Muss ein Gebäude gekühlt werden, so bietet sich die Realisierung einer Wärmepumpe in Verbindung mit Erdsonden oder Grundwasser an, da damit eine regenerative Kältequelle zur Verfügung steht. Bei hohen Kühlleistungen kann eine Wärmepumpe reversibel betrieben werden und somit eine konventionelle Kältemaschine ersetzen.

Solarthermie

Solarthermie ist die Nutzung der Solarstrahlung zur Erzeugung von Wärme durch Solar Kollektoren. Die Kollektoren machen sich den sogenannten Glashauffekt zunutze. Dabei dringt kurzwelliges Sonnenlicht durch das Glas des Kollektors auf den Absorber und wird dort in Wärme umgewandelt. In Deutschland werden pro Jahr im Mittel 1 054 kWh auf einen Quadratmeter eingestrahlt. Im Sommerhalbjahr ist die Einstrahlung mit 818 kWh/m<sup>2</sup> jedoch dreieinhalb mal so hoch wie in der Heizperiode mit 236 kWh/m<sup>2</sup>. Aufgrund dieser saisonalen Verteilung und der begrenzten Speicherbarkeit von Wärme lässt sich Solarthermie nur begrenzt zum Heizen nutzen. Deshalb wird sie überwiegend zur Brauchwassererwärmung und zur Heizung in der Übergangszeit sowie für Nutzungen mit Wärmebedarf im Sommer, z. B. in Schwimmbädern, eingesetzt.

Aufbau der Solaranlage

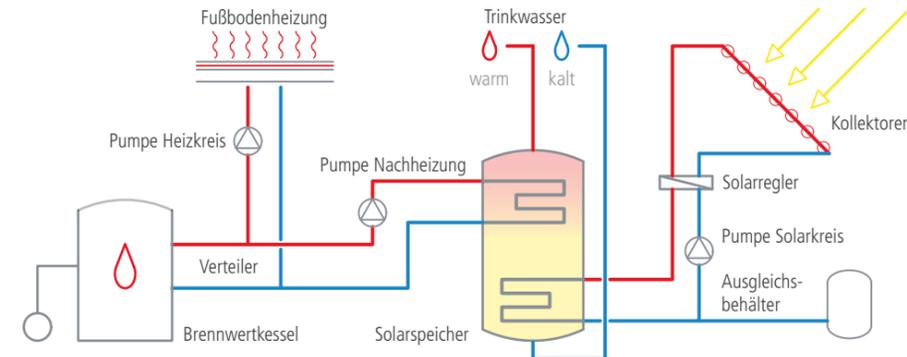
Eine Solaranlage besteht aus den Kollektoren und dem Solar-Pufferspeicher, die über den Kollektorkreislauf miteinander verbunden sind. In diesem wird Wasser von einer Pumpe umgewälzt, sobald die Temperatur im Kollektor höher ist als die im Speicher. Der Speicher ist als Schichtenspeicher konstruiert, sodass die Wärme je nach Temperaturniveau in verschiedenen Schichten, die von unten nach oben wärmer werden, eingespeichert wird. Bei fehlender Einstrahlung wird der Speicher im oberen Bereich durch einen konventionellen Kessel oder eine Wärmepumpe nachgeheizt.

Kollektorbauformen

Am weitesten verbreitet sind Flachkollektoren. Diese bestehen aus einem gut gedämmten Kollektorgehäuse, in das der dunkle Metallabsorber integriert ist. Das Deckglas ist in der Weise konfiguriert, dass es für das Sonnenlicht möglichst durchlässig ist, nur wenig Strahlung reflektiert und die Wärme gut im Kollektor zurückhält. Durch eine Evakuierung des Kollektors können die Wärmeverluste minimiert werden. Bei Vakuumröhrenkollektoren befindet sich der Absorber in einer Glasröhre, in der das Vakuum sehr gut ausgebildet werden kann, und der Wirkungsgrad dadurch höher ist als bei einem Flachkollektor. Eine kostengünstige Sonderform mit jedoch geringem Wirkungsgrad sind Solarabsorber. Diese bestehen aus Kunststoffrohren oder flachen Schläuchen, die auf Dächern ausgelegt werden.

Planungsstrategie

Die Kollektorfläche zur Warmwassererwärmung wird auf ca. 60 % des Wärmebedarfs ausgelegt. Dies entspricht ca. 1,5 m<sup>2</sup> Kollektorfläche pro Person. Das Speichervolumen liegt dann bei ca. 200 l pro Person. Soll auch die Heizung unterstützt und dabei der Heizwärmebedarf um ca. 20 % reduziert werden, so verdoppelt sich die Kollektorfläche. Es sind dann eine Flächenheizung und ein Speichervolumen von ca. 1 000 l vorzusehen. Bei Gebäuden mit geringem Wärmeschutz kann die Solarthermie dazu beitragen, den Primärenergiebedarf auf nachhaltige Weise zu vermindern.



Aufbau einer solarthermischen Anlage: Die thermischen Solar Kollektoren sind über einen Wasserkreislauf mit dem Schichtenspeicher verbunden. Ein Solarregler schaltet die Umwälzpumpe ein, sobald die Temperatur im Kollektor höher ist als im Speicher. Im Speicher besteht eine Temperaturschichtung, die von unten nach oben zunehmend wärmer wird. Reicht die Temperatur des Solarstromes nicht aus, so wird der Schichtenspeicher im oberen Bereich durch den Brennwertkessel nachgeheizt. In der Übergangszeit kann dem Schichtenspeicher Wärme zur Heizungsunterstützung entnommen werden. Ideal ist dabei eine Flächenheizung.

## VERSAMMLUNGSGEBÄUDE

Versammlungsräume stellen durch ihre unterschiedliche Größe und Nutzung ein breites Spektrum an Bauaufgaben dar. Meist sind es hohe Räume mit großer Grundfläche, die wenig unterteilt sind. Es kann sich eine sehr hohe Belegungsdichte oder eine Nutzung mit nur wenigen Personen ergeben. Dementsprechend schwanken der Luftbedarf und die internen Wärmelasten erheblich. Die Herausforderung liegt in der behaglichen Zuluftführung und Kälteeinbringung.

### Kleine Hallen

Versammlungsräume und kleine Hallen werden in der Regel auf ein normales Temperaturniveau beheizt und haben höhere Anforderungen an die Behaglichkeit. Meist werden sie mit einer mechanischen Be- und Entlüftungsanlage ausgestattet. Je nach Nutzung kann entweder über die Fenster oder bei größeren Veranstaltungen mit der Lüftungsanlage gelüftet werden. Die Zuluft wird entweder über Weitwurfdüsen, mit denen die Möglichkeit besteht, Veranstaltungsräume von den Raumseiten aus zu belüften, oder über Quellauslässe in unmittelbarer Nähe der Nutzer eingebracht. Hier ist auf moderate Luftgeschwindigkeiten und geringe Untertemperaturen zu achten. Die Beheizung kann über Radiatoren, eine Fußbodenheizung oder über die Lüftung erfolgen. Radiatoren bieten sich für kleine Hallen ohne kontinuierliche Nutzung an, da sie schnell regelbar sind. Über eine Fußbodenheizung lässt sich bei mäßigem Kältebedarf im Sommer ergänzend kühlen. Mit einer Luftheizung kann schnell eine gewisse Raumtemperatur erreicht werden, sodass sie bei unregelmäßig genutzten Räumen Vorteile bietet.

### Sporthallen

Hallen mit geringer Belegungsdichte, wie Sporthallen im Trainingsbetrieb, lassen sich in der Regel natürlich belüften. Motorisch betriebene Oberlichter können während der Nutzung über einen einfachen Taster bedarfsgerecht geöffnet werden. Besteht die Möglichkeit, auf beiden Seiten der Halle Lüftungsklappen

zu öffnen, wird die Durchströmung der Halle deutlich verbessert. Wird eine Lüftungsanlage eingebaut, so muss sichergestellt werden, dass sie entsprechend dem tatsächlichen Bedarf geregelt werden kann. Dies kann über nutzungsabhängige Lüftungsszenarien oder eine CO<sub>2</sub>-Steuerung erfolgen. Wird über die Luft geheizt, so sollte aus Effizienzgründen ein Umluftbetrieb möglich sein. Deckenstrahlplatten sind eine schnell regelbare Heizmöglichkeit und können auch zur Kühlung beitragen. Fußbodenheizungen sind für Sporthallen nur mit höherem Aufwand zu realisieren, da der Boden elastisch sein muss. Für Sportarten am Boden, wie z. B. Gymnastik oder Yoga, bieten sie jedoch Behaglichkeitsvorteile.

### Veranstaltungsräume

Räume mit Musikveranstaltungen können aufgrund der Lärmbelastung für angrenzende Gebäude normalerweise nicht über Fenster gelüftet werden. Aus diesem Grund und wegen der hohen Belegungsdichte muss eine mechanische Lüftungsanlage eingebaut werden. Auch aufgrund der Musikinstrumente können sich besondere Anforderungen an die Luftkonditionierung ergeben. Hier ist vor allem die Luftfeuchte und die Veränderungsgeschwindigkeit der Lufttemperatur und der Luftfeuchte von Bedeutung. Die Lüftungsanlage sollte zur Vermeidung unnötiger Energieverluste bedarfsgerecht geregelt werden können. Die Beheizung kann über Heizflächen und eine ergänzende Luftheizung erfolgen. In der Regel besteht bei Veranstaltungen mit vielen Teilnehmern ab Veranstaltungsbeginn durch die Wärmeabgabe der Personen selbst bei niedrigen Außentemperaturen nur noch wenig Heizbedarf, deshalb ist ein schnell regelbares System vorzuziehen. Angenehm wirkt sich eine hohe Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen aus. Bei sehr großen Veranstaltungshallen kann es sinnvoll sein, nicht das gesamte Hallenvolumen zu konditionieren, sondern Luft und Wärme direkt dem Aufenthaltsbereich der Zuschauer zuzuführen.



Peter Haimerl,  
Peter Haimerl.Architektur,  
München:

»Ich suche nach Lösungen, die der Geschichte Rechnung tragen und die Gebäude trotzdem räumlich und zeitgenössisch durchdringen.«

Blick auf die Bühne des Konzertsaals:  
Die nach akustischen Aspekten ausgelegte unregelmäßige Struktur der Innenwände optimiert auch das Raumklima.

Blick auf den Haupteingang des Konzerthauses und die Fassade aus Dämmbeton und einer äußeren Schicht aus Granitsteinen

### Konzerthaus in Blaubach

Der auf Musikgenuss hin optimierte, monolithische Dämmbetonbau mit 200 Plätzen strahlt Minimalismus und Eleganz aus. Der in den Hang der Ortsmitte gegrabene Solitär knüpft mit seiner Granitfassade an die Steinhauertradition der Gegend an. Das Konzept mit seiner von Erdreich umschlossenen Gebäudestruktur und der opaken Fassade bildet die Ausgangsbasis für einen niedrigen Energiebedarf und ein gutes stabiles Raumklima im Konzertraum. Die akustisch optimierten, unregelmäßigen, großen Innenoberflächen aus Ort beton stellen eine umfangreiche thermisch wirksame Speichermasse zur Verfügung. Diese gleicht Schwankungen der inneren Wärmelasten aus. In den Schlitzen an Wänden und Boden befinden sich die Bassabsorber und LED-Leuchten. Im Konzerthaus in Blaubach legt das architektonische Konzept den Grundstein für einen minimierten Energiebedarf bei reduziertem Technikaufwand.

Architektur:  
Peter Haimerl.Architektur,  
München

Akustikplanung:  
Müller-BBM, München

# WASSERSTOFF-RESEARCH-CENTER, VONOVIA AG

Wasserstoff-Research-Center der Vonovia AG in Bochum:

Im Research-Center werden mögliche Technologien zur Versorgung von Quartieren entwickelt, um diese dann auf den großen Immobilienbestand des Konzerns übertragen zu können. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Abwägung zwischen energetischer Effizienz und technischer Komplexität.

Innovative Technologien:  
 – Digitalisierung  
 – selbstlernendes EMS  
 – Einbindung Nutzerdaten

Energietechnik:  
 PV-Anlage 180 kW<sub>p</sub>  
 Wärmepumpe 110 kW  
 Elektrolyseur 75 kW  
 Brennstoffzelle 20 kW<sub>el</sub>  
 Gaskessel 160 kW

Speichertechnik:  
 Lithium-Ionen Batt. 50 kWh  
 Redox-Flow Batt. 50 kWh  
 Wasserstoffspe. 2 100 kWh  
 Wärmespeicher 400 kWh



Im Baugebiet Bochum Weitmar realisiert der DAX-Immobilienkonzern Vonovia AG ein Research-Center, um innovative Energieerzeugungskonzepte für große Immobilien und Quartiere zu erforschen und unter Praxisbedingungen zu betreiben. Im Research-Center sollen innovative Technologiebausteine, mit einem Schwerpunkt auf Wasserstofftechnologie, kombiniert werden. Insbesondere »Power-to-Hydrogen-Systeme«, Brennstoffzellen und Wasserstoffspeicher werden erprobt, um klimaneutrale Energieversorgungs- und Speicherkonzepte für den Immobilienbereich weiterzuentwickeln. Der Fokus liegt dabei auf der Nutzung von lokalem Überschuss-Strom aus dem Quartier. Ein weiterer Aspekt ist die Realisierung einer Sektorenkopplung aus Wärme, Strom und Mobilität. Damit alle Komponenten reibungslos zusammenarbeiten, ist ein Energiemanagementsystem erforderlich, das im Research-Center auf Basis der Praxiserfahrungen kontinuierlich weiterentwickelt wird. Um die Praxistauglichkeit und eine wirtschaft-

liche Übertragbarkeit auf andere Quartiere bewerten zu können, findet eine ökologische und ökonomische Evaluation statt. Ziel ist es, Erkenntnisse zu gewinnen, wie klimaneutrale Energiekonzepte in anderen Bauprojekten und Quartieren des Konzerns realisiert werden können.

### Technische Konzeption

Eine PV-Anlage mit 180 kW<sub>p</sub> erzeugt ca. 150 000 kWh Strom pro Jahr. Dieser Strom kann entweder direkt verbraucht oder in einen Batteriespeicher eingespeichert werden, der aus einer Kombination eines Lithium-Ionen-Akkumulators und einer Redox-Flow-Batterie mit insgesamt 100 kWh Kapazität besteht. Ein Teil des Stroms wird über einen Elektrolyseur in Wasserstoff umgewandelt. Der Elektrolyseur mit einer Leistung von 75 kW produziert 1 400 kg Wasserstoff pro Jahr, was einer Energiemenge von etwa 45 000 kWh entspricht. Der Wasserstoff wird auf 35 bar verdichtet und in einem Tank mit 20 m<sup>3</sup> Volumen eingespei-

chert. Aufgrund des niedrigen Speicherdrucks werden nur etwa 120 kWh zur Kompression benötigt, um eine Energiemenge von über 45 000 kWh zu speichern. Dieser Wasserstoff kann dann über eine Brennstoffzelle mit 20 kW elektrischer und 20 kW thermischer Leistung und einem elektrischen Wirkungsgrad von 50 % in Strom umgewandelt werden. Die dabei entstehende Wärme wird entweder direkt genutzt oder in einen Wärmespeicher mit 5,5 m<sup>3</sup> Volumen zwischengespeichert. Im Research-Center können ca. 22 % des Strombedarfs und 62 % des Wärmebedarfs des Quartiers erneuerbar und lokal erzeugt bereitgestellt werden.

### KI-basiertes selbstlernendes EMS

Um alle Systemkomponenten optimal miteinander vernetzen und ansteuern zu können, wird ein selbstlernendes Energiemanagementsystem (EMS) eingesetzt, das sich Algorithmen der künstlichen Intelligenz zunutze macht. Dadurch können durch Vorhersagemodelle, die

sich selbstständig immer weiter optimieren, die verschiedenen Speichertypen optimiert beladen werden.

### Systemkomplexität

Im Vordergrund steht bei dem Projekt, Erkenntnisse über den optimalen Komplexitätsgrad zu sammeln. Das Ziel ist es, gut skalierbare, robuste Technologien zu finden, um einen zügigen »Rollout« in die breite Masse des Immobilienbestands realisieren zu können. Dafür gilt es, Systemkonfigurationen zu finden, die mit möglichst geringer Komplexität eine maximale Effizienz aufweisen – einerseits um Umwandlungsverluste zu minimieren, andererseits um Nebenkosten für Inbetriebnahme, Wartung und Anlagenüberwachung zu reduzieren. In der Baupraxis, in der jedes Projekt ein Prototyp ist, zeigt sich, dass es meist wirtschaftlicher ist, nicht das letzte Prozent an Effizienz auszureizen, sondern technisch einfache Systeme zu betreiben, die störungs- und wartungsfrei über viele Jahre in Betrieb sind.



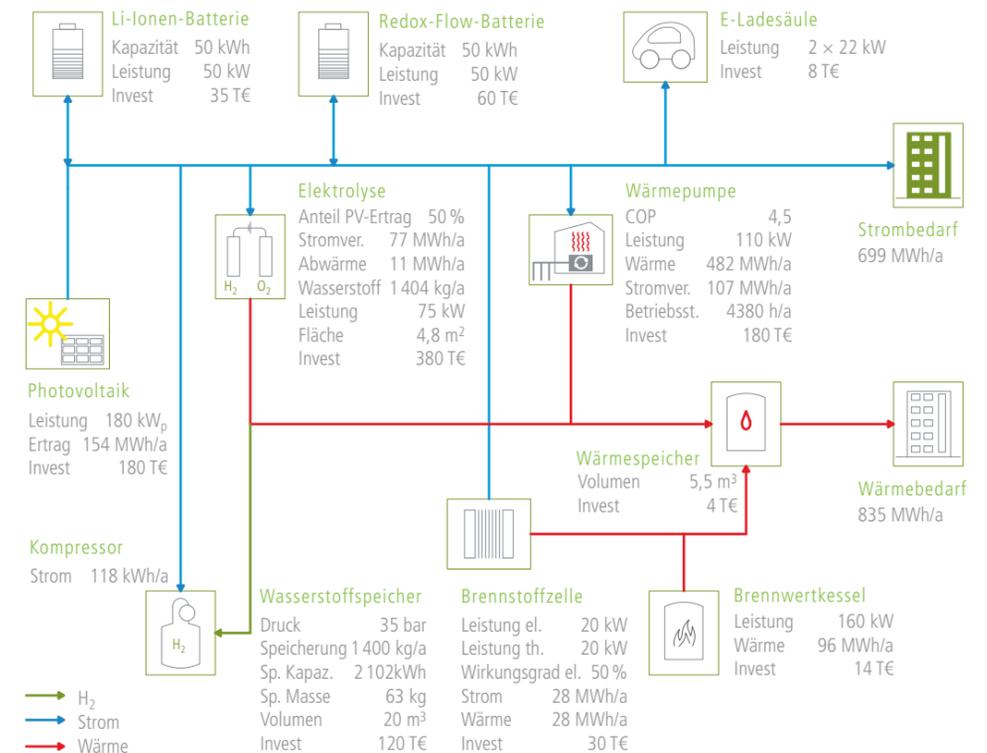
Tobias Hoffmann, Vonovia AG, Bochum:

»Die Energiewende kann nur dann funktionieren, wenn das Thema auf allen Ebenen angegangen wird: Beginnend bei der smarten Steuerung von Verbrauchern über die energetische Optimierung des Gebäudes durch die Sanierung von Fassaden und Heizung bis hin zur ganzheitlichen Sektorenkopplung auf Quartierebene.«

Projektentwicklung: Vonovia AG, Bochum

Projektsteuerung Wasserstofftechnik: PwC, Düsseldorf

KI-basiertes selbstlernendes Energiemanagementsystem: Ampeers Energy, München



### Energieflussschema für das Wasserstoff-Research-Center:

In der Versuchsanlage wird überschüssiger PV-Strom in Lithium-Ionen- und Redox-Flow-Batterien zwischengespeichert. Aus einem Teil des Stroms werden über Elektrolyse jährlich 1 400 kg Wasserstoff erzeugt, die bei 35 bar in einem 20 m<sup>3</sup> Niederdrucktank gespeichert werden. Eine Brennstoffzelle verwandelt den Wasserstoff zu gleichen Teilen in Strom und Wärme zurück.

**Digitaler Zwilling:**  
Um alle Energieströme im Quartier analysieren zu können, wird das gesamte Quartier als »digitaler Zwilling« modelliert und abgebildet. Damit können zum einen alle Energieströme in Echtzeit überwacht und auf übersichtliche Weise dargestellt werden. Zum anderen können KI-basierte Prognosen als Grundlage für Regelstrategien für die Energieerzeuger und die Energiespeicher genutzt werden.

**Modellierung des digitalen Zwillings:**  
Ampeers Energy, München

**Fraunhofer IOSB, Geschäftsfeld Energie-, Umwelt- und Sicherheitssysteme, Ilmenau**

**Prof. Dr.-Ing. Peter Bretschneider, TU Ilmenau**

nicht zu überlasten, wird es erforderlich sein, die Ladung von Elektrofahrzeugen energiesystemoptimiert durchzuführen. Dabei wird die Ladeleistung in Abstimmung mit dem geplanten Fahrzeugeinsatz an die Verfügbarkeit von lokaler erneuerbarer Energie angepasst. Um Leistungsspitzen bei Schnellladesystemen zu reduzieren, wird es teilweise notwendig werden, Strom in dezentrale Batterie-Pufferspeicher einzuspeisen, um diesen dann in kurzer Zeit an das Elektrofahrzeug abgeben zu können. Weitere Potenziale bietet das bidirektionale Laden, bei dem die Elektrofahrzeuge auch als Spitzenlast-Stromspeicher wirken können.

**Selbstlernendes Energiemanagementsystem**  
Um energetische Prozesse im Quartiersmaßstab optimiert und sektorenübergreifend steuern zu können, ist ein übergeordnetes Energiemanagementsystem notwendig. Dieses muss aus Kostengründen voll automatisiert und integriert arbeiten. Von daher ist es von entscheidender Bedeutung, dass das Energie-

managementsystem über eine künstliche Intelligenz verfügt, die selbstlernend Regel- und Steuerbefehle auf Basis vorangegangener Systemzustände generieren kann. Weitere Parameter wie Wetter- und Nutzungsprognosen, Lastprofile und Energiepreise können in die Prozesse mit eingebunden werden. Ebenso können alle Systemzustände in Echtzeit oder aus einer Datenbank heraus ausgelesen werden. Ein Energiemanagementsystem besteht aus drei prinzipiellen Softwareebenen: Grundlage ist der am Fraunhofer-Institut für Optoelektronik, Systemtechnik und Bildauswertung in Ilmenau entwickelte Rechenkern »Prophet X«, der basierend auf künstlicher Intelligenz digitale Prozesse im Energiebereich selbstlernend optimieren kann. Dieser Rechenkern wurde ursprünglich für den optimierten Betrieb von Kraftwerken und Stromnetzen entwickelt und eignet sich deshalb auch gut für die Optimierung von Quartieren. Darüber liegt die Ebene eines cloudbasierten Energiedatenmanagements. Damit kann auf die Systemzustände

eines Quartiers ortsunabhängig zugegriffen werden, sowohl in Echtzeit als auch datenbankbasiert für vergangene Zeitabschnitte. Darüber befindet sich die »Application-Ebene«, in der konkrete Funktionen und Anwendungen gespeichert sind. Dies ist die Ebene, die der Anwender sieht und aus der er Daten auslesen bzw. Eingaben tätigen kann. In dieser Ebene lassen sich auf einfache Weise alle erdenklichen Funktionalitäten hinterlegen. Die Herausforderung besteht darin, die komplexen Vorgänge in einem Quartier einfach nachvollziehbar auf visuelle Weise darzustellen. Alle Abrechnungsprozesse bis hin zur automatisierten Rechnungsstellung sind ebenfalls in dieser »Application-Ebene« integriert.

**Regulatorische und rechtliche Bedingungen**  
Der aktuelle regulatorische Rahmen hat sich in Deutschland aus der Tradition einer zentralen Energieerzeugungsstruktur heraus entwickelt. Dieser Rahmen passt nicht zu der kleinteiligen, dezentralen Struktur von Quartierskonzepten.

Oftmals führen hohe bürokratische und regulatorische Hürden dazu, dass Quartiers-Energiekonzepte nicht realisiert werden können oder unwirtschaftlich sind. Dies liegt daran, dass aufgrund der typischerweise geringen Energiemengen die juristischen und bürokratischen Kosten einen überproportional großen Anteil einnehmen. Hier gilt es, die Regulierung an die neuen Strukturen anzupassen, um allen möglichen Marktteilnehmern einen einfachen Zugang zu gewähren.

**Planungsstrategien**  
Um ein energieoptimiertes, sektorgekoppeltes Quartier zu realisieren, ist von Anfang an ein Gesamtkonzept zu entwickeln, das Energieerzeuger und Speicher einschließlich deren Verknüpfung, die digitale Vernetzung und Steuerung sowie administrative und juristische Regelungen abdeckt. Viele dieser Aspekte werden bei Projektbeginn festgelegt und lassen sich später oftmals nicht mehr ändern, z. B. weil Leitungen schon verlegt sind.

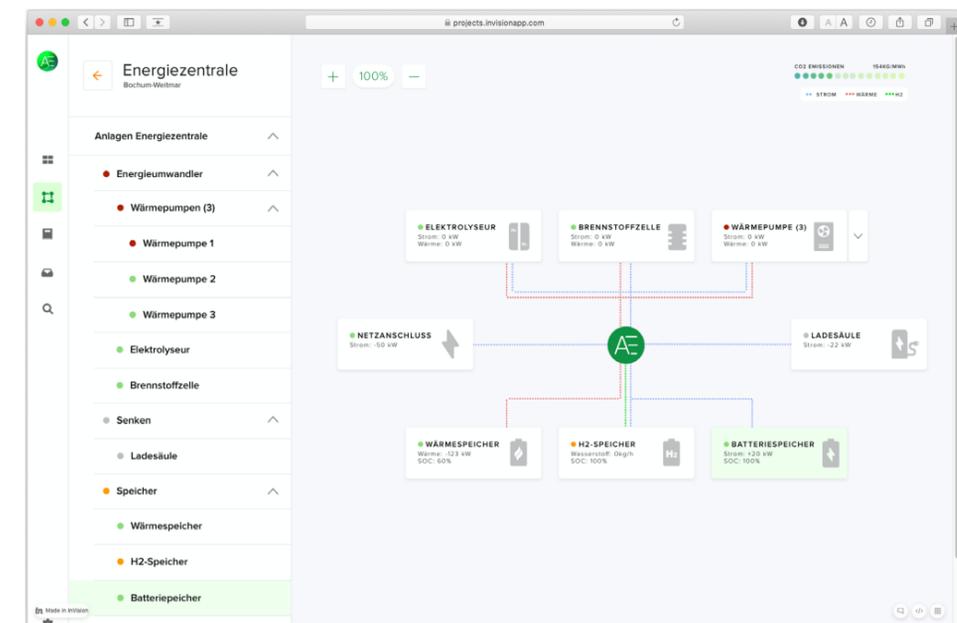
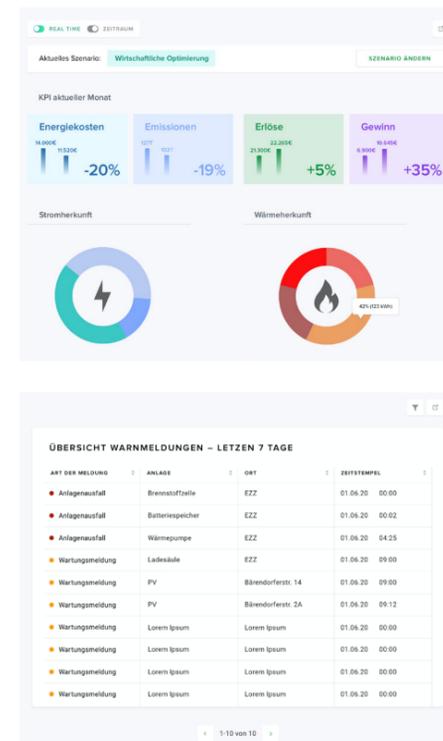
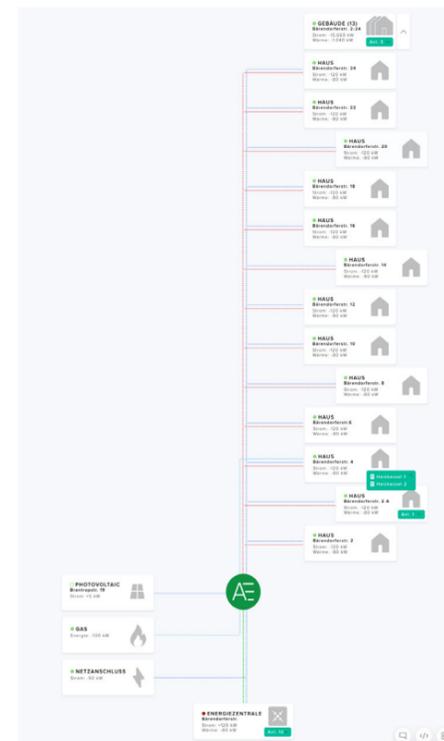


Gerrit Ellerwald, Ampeers Energy, ein Spin-off der Fraunhofer-Gesellschaft:

»Der lokal optimierte Eigenverbrauch von regenerativen Energien ist der Schlüssel zur Dekarbonisierung des Real Estate Sektors. Hier ermöglichen wir es Immobilienbesitzern mit unseren Softwarelösungen, erneuerbare Energien profitabel und nachhaltig einzusetzen. Das reduziert nicht nur die CO<sub>2</sub>-Emissionen, sondern ist darüber hinaus noch ein lukrativer Business Case.«

**Energetische, ökonomische und ökologische Datenanalyse mithilfe eines Quartiers-Energiemanagementsystems**

**Cloudbasierte Anlagenüberwachung mit Anzeige der Betriebszustände und Alarmlmeldungen**

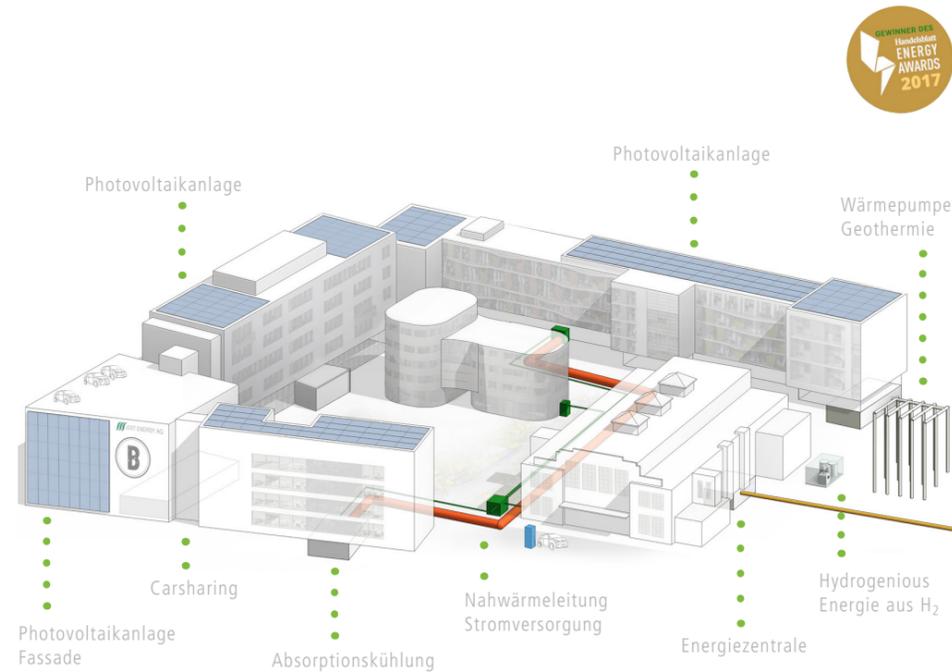


**Benutzerschnittstelle des Energiemanagementsystems »Ampeers District Manager« zur optimierten Steuerung der Energieerzeugungs- und Speichersysteme:**  
Die browserbasierte Benutzeroberfläche kann ortsunabhängig über das Internet bedient werden. Damit lassen sich die Regelprozesse des selbstlernenden Systems überwachen und auswerten. Gegebenenfalls können die Parameter auf einfache Weise optimiert werden.

**Managementsystem für eine Wasserstoff-Energiezentrale:**  
Ampeers Energy, München  
Fraunhofer IOSB, Ilmenau  
Vonovia AG, Bochum  
PwC, Düsseldorf

## BRUCKLYN – »PLACE TO BE« IN ERLANGEN

Im Quartier »Brucklyn« in Erlangen sind alle Gebäude über ein Nahwärmenetz und eine lokale Stromleitung energetisch und digital verbunden. Das Quartier wird aus der Energiezentrale im Keller der denkmalgeschützten Scheinwerferhalle mit Wärme und Strom versorgt. Teilweise wird Wärme aus den BHKW mit Absorptionskältemaschinen in der Energiezentrale und in den einzelnen Gebäuden in Kälte umgewandelt. Ein digitales Netzwerk mit einer KI-basierten Steuerung optimiert alle energetischen Prozesse. Durch das selbstlernende System werden zusätzliche Energieeinsparungen von 20% generiert.



Jürgen Jost, Jost Energy AG, Grünwald:

»Der Erfolg unserer Immobilienprojekte liegt in der Verknüpfung von hoher Lebensqualität mit weitreichender Nachhaltigkeit. Dabei versuchen wir stets, innovative Technologien einzubinden und so der Zeit voraus zu sein.«

Projektentwicklung: Jost Unternehmensgruppe, Jürgen Jost

Energiekonzept: atelier.ClimaDesign Prof. Dr. Mike de Saldanha

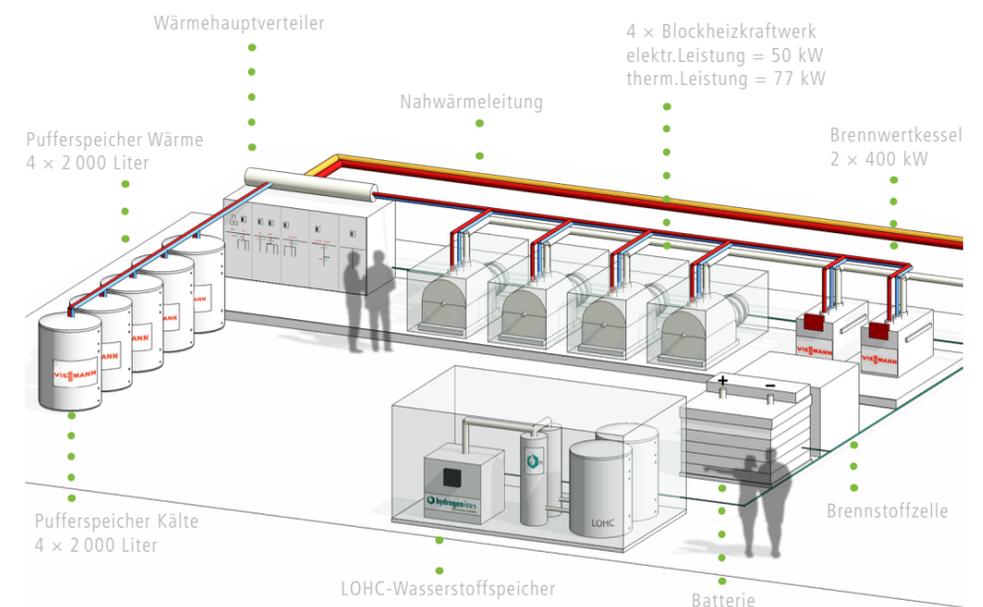
Im Quartier »Brucklyn« in Erlangen-Bruck wird ein Ensemble aus sechs Gebäuden verschiedener Nutzung errichtet. Das Quartier hat als Hauptzielgruppe »digitale Nomaden«, technikaffine, mobile Menschen, die flexible Lebensentwürfe haben, denen der »Sharing-Gedanke« vertraut ist und die Leben und Arbeiten zu einem ganzheitlichen Lebensentwurf verbinden. Die Gebäude weisen je nach Nutzung unterschiedliche Anforderungen an den Heizwärme-, den Kühlkälte- und den Strombedarf sowie unterschiedliche erforderliche Leistungen für Wärme, Kälte und Strom auf. Vor diesem Hintergrund kann durch ein quartierübergreifendes, sektorgekoppeltes Energiekonzept ein großes Einsparpotenzial erreicht werden. Die optimierten Niedrigst-Energiegebäude und die sparsamen Verbraucher sind energetisch und digital verknüpft. Wärme, Strom und Kälte werden zentral über vier Blockheizkraftwerke, zwei Gas-Brennwert-Spitzenlastkessel und eine Absorptionskältemaschine in einer modularen Energiezentrale erzeugt und über ein

Nahwärmenetz und ein quartiereigenes Niederspannungsnetz verteilt. Zentrale Wärme-, Kälte- und Stromspeicher ergänzen die Energieerzeuger und optimieren die Laufzeiten. Auf allen Dächern und an den besonnten Fassaden wird Strom über PV-Anlagen erzeugt und in die quartiereigene Kundenanlage eingespeist. Ziel ist es, einen hohen Anteil des erzeugten Stroms im Quartier selbst zu verbrauchen. Ein Erdsondenfeld stellt über eine Wärmepumpe Wärme und regenerative Kälte zur Verfügung. Dadurch wird auch die Speicherwirkung des Erdreichs genutzt und die Eigenstromnutzung erhöht. Darüber hinaus erhöht auch die Einbindung der Elektromobilität den Anteil des selbstgenutzten Stroms. Das sektorgekoppelte Energiekonzept des Quartiers »Brucklyn« hat im Jahr 2017 den »Handelsblatt Energy Award« in der Kategorie »smart infrastructure« gewonnen. »Brucklyn« ist Musterquartier im »Open District Hub«, einem Konsortium aus Firmen und Forschungseinrichtungen unter Federführung der Fraunhofer-Gesellschaft.

### Modulare Energiezentrale

Bei der Quartiersenergieversorgung besteht die Herausforderung darin, dass Quartiere zehn und mehr Jahre Projektierungs-, Planungs- und Realisierungszeit aufweisen und die Gebäude Zug um Zug errichtet werden. In diesen Zeiträumen ergeben sich in der Regel Veränderungen im Konzept, der Nutzung sowie der Funktion der einzelnen Gebäude. Dadurch ändern sich die erforderlichen Energiemengen für Wärme, Kälte und Strom sowie die diesbezüglichen Lastprofile. Ein weiterer Aspekt besteht darin, dass der technologische Fortschritt während der Projektentwicklungszeit fortschreitet, insbesondere im digitalen Bereich. Dadurch ergeben sich Software- und Schnittstellenprobleme. Auch die Verfügbarkeit am Markt und die fallenden Investitionskosten für innovative Technologien erfordern eine Flexibilität im Konzept. Zudem können sich ändernde juristische und regulatorische Rahmenbedingungen, z. B. Einspeisevergütungen, EEG-Umlage, eine Anpassung des Ener-

gieversorgungskonzepts, ergeben. Um sich der Entwicklung im Quartier und den sich ändernden Rahmenbedingungen anpassen zu können, wurde die Energiezentrale in »Brucklyn« modular konzipiert. Im Endausbau sind vier Blockheizkraftwerke mit je 50 kW elektrischer Leistung vorgesehen. Diese BHKW werden Zug um Zug mit dem Baufortschritt und dem damit steigenden Energiebedarf realisiert. Sie decken einen Großteil des Heizwärmebedarfs und den gesamten Wärmebedarf für Warmwasser ab. Im Sommer wandeln Absorptionskältemaschinen Wärme in Kälte um und erhöhen somit die Laufzeiten der BHKW, wodurch sich eine maximale Wirtschaftlichkeit ergibt. Zwei Spitzenlast-Brennwertkessel mit je 400 kW decken die Leistungsspitzen beim Wärmebedarf im Quartier ab, ihr Anteil an der erzeugten Wärme ist mit ca. 20% jedoch relativ gering. In dem modularen Konzept wurde die Integration künftig verfügbarer Technologien, wie z. B. Brennstoffzellen oder Wasserstoffspeicher, bereits berücksichtigt.



### Energetische Maßnahmen

**Hocheffiziente Gebäude:** KfW-40-Standard, Betonkernaktivierung, Lüftung mit WRG

**Energieerzeugung:** PV auf allen Dächern, Geothermie zum Heizen, passive Kühlung, Kraft-Wärme-Kopplung, Nahwärmenetz, digitale Steuerung

**Innovative Speicherung:** Wärme- und Kältespeicher, Speicherung in BKT, Batterien, LOHC-Langzeitspeicher

**Digitale Vernetzung:** Smart-Home-Steuerung, Vernetzung aller Erzeuger, Nutzer- und Klimadaten

**Einbindung Mobilität:** Online-Fahrzeugaufbuchung, digitale Ladeprozesse, Fahrzeuge als Speicher

**Prinzipschema der Energiezentrale in »Brucklyn«, Erlangen:** Die Energiezentrale ist modular aufgebaut, sodass sie mit dem Quartier mitwachsen kann und innovative neue Technologien später auf einfache Weise integriert werden können.



Vinzenz Singer,  
Singer Ingenieur Consult  
GmbH, Bayreuth:

»Die Kompetenz vieler  
Spezialisten ist der Garant  
für die Zuverlässigkeit des  
Ganzen.«

**Stromnetz mit Mittelspannungsanbindung**  
Das Quartier verfügt über ein eigenes Niederspannungsnetz als Kundenanlage, das über zwei quartiereigene Transformatoren mit je 1 000 kVA auf der Mittelspannungsebene an das öffentliche Stromnetz angeschlossen ist. Dadurch ergibt sich ein wirtschaftlicher Vorteil, da Netzentgelte für die Niederspannungsebene und die Umspannung nicht anfallen. Der Leistungspreis für die einzelnen Verbraucher sinkt, da die Gesamtanschlussleistung des Quartiers wesentlich niedriger ist als die Summe der Einzelleistungen aller Verbraucher. Zudem kann die erforderliche Anschlussleistung durch einen optimierten Betrieb quartierinterner Erzeuger und Speicher sowie durch eine optimierte Steuerung regelbarer Lasten weiter reduziert werden. Durch diese Konzeption wird der Eigenverbrauch von im Quartier erzeugter Energie maximiert. Dies reduziert die Leitungs- und Umspannverluste, spart Netzentgelte und ermöglicht auf diese Weise attraktive Strompreise für die Nutzer im Quartier. Insgesamt ergeben sich durch dieses Konzept beim Strompreis Kostenvorteile in der Größenordnung von 40 %. Zudem werden das öffentliche Stromnetz und die diesbezüglichen Erzeugungsanlagen entlastet, wodurch ein grundlegender Beitrag zur Energiewende und zur Thematik des Netzausbaus geleistet wird.

**Einbindung der Mobilität**

Die elektrische und datentechnische Einbindung von Elektrofahrzeugen in das Multi-sektorensystem des Quartiers schafft weitere

Synergien. Durch die Verfügbarkeit von Nutzungs- und Buchungsdaten sowie die Kenntnis der Ladezustände der Fahrzeuge können Energieerzeugung und Fahrzeugladung optimal aufeinander abgestimmt werden. Die Beladung der Fahrzeuge erfolgt je nach Nutzeranforderung, Buchungsstatus, Verfügbarkeit, erforderlicher Reichweite, möglicher Ladezeit und dem aktuellem Status des Energiesystems. Mit einer intelligenten Ladestrategie können Elektrofahrzeuge Lastverläufe optimieren und so die Eigenstromnutzung im Quartier erhöhen. Perspektivisch können Fahrzeuge durch bidirektionales Laden auch als Stromspeicher wirken und so die Energieversorgung verbessern.

**LOHC-Wasserstoff-Langzeitspeicher**

Erstmalig wird in »Brucklyn« ein LOHC-Wasserstoff-Langzeitspeicher im Quartierskontext eingesetzt werden. Dabei wird Wasserstoff an eine ungiftige, nicht brennbare Trägerflüssigkeit LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carriers), in der Praxis meist Dibenzyltoluol – ein handelsübliches Wärmeträgeröl, angelagert. In dem beladenen LOHC kann Energie in Form von chemisch gebundenem Wasserstoff langfristig, verlustfrei und ohne Risiko gespeichert werden. Das beladene LOHC kann ähnlich wie Dieselöl gelagert und transportiert werden. Es ergibt sich eine, im Vergleich zu gasförmigem komprimierten Wasserstoff, sechsfach höhere Energiedichte, wodurch auch ein Transport von gespeicherter Energie einfach und gefahrlos möglich ist. Beim Ein- und Ausspeichern ist



Ansicht Quartier »Brucklyn« in Erlangen-Bruck: Energetisch hochwertige Neubauten gruppieren sich um die denkmalgeschützte, sanierte Scheinwerferhalle. Das Quartier weist eine BGF von 22 000 m<sup>2</sup> auf. Es besteht ein Nutzungsmix aus Wohnen, Gewerbe, Handel und Innovationszentrum. Dadurch ergeben sich Potenziale für eine sektorgekoppelte Energieversorgung.

jeweils Wärmeenergie beteiligt, sodass sich eine Anwendung im Quartierskontext anbietet, da diese Prozesswärme dann im Quartier zur Wärmeversorgung beiträgt. Zudem kann der ausgespeicherte Wasserstoff in dem BHKW direkt vor Ort genutzt werden. Die Wärme des BHKW wiederum wird für die Speicherprozesse genutzt. Alternativ zu einem BHKW können dabei auch Brennstoffzellen eingesetzt werden wodurch die elektrische Effizienz steigt.

**KI-basiertes Energiemanagementsystem**

Alle Systeme sind quartierübergreifend digital verknüpft und werden über ein selbstlernendes Energiemanagementsystem auf Basis künstlicher Intelligenz gesteuert. Dabei gibt eine cloudbasierte KI-Software, in der das Quartier als »digitaler Zwilling« abgebildet ist, Regel- und Steuerbefehle an die konventionelle Gebäudeleittechnik in den einzelnen Gebäuden und der Energiezentrale. Auf diese Weise werden in Abhängigkeit der Nutzerprofile, der Wetter- und der Energiemarktdaten Erzeuger

optimiert betrieben und Speicher optimal be- und entladen. Durch die künstliche Intelligenz ist das System selbstlernend, wodurch sich die Betriebsstrategien auf Basis vorangegangener Daten kontinuierlich optimieren und Erzeuger, Verbraucher, Speicher und Netzeinspeisung bzw. Netzbezug effektiv zusammenwirken.

**Quartier als virtueller Speicher**

Das Quartier mit seinen flexiblen Erzeugern, Verbrauchern und Speichern kann durch das intelligente Energiemanagementsystem wie ein großer virtueller Energiespeicher wirken, der elektrische Energie in großem Umfang in das öffentliche Stromnetz einspeisen und abnehmen kann. Dieses Potenzial kann zur Bereitstellung von Regelenergie genutzt werden, wodurch sich die Wirtschaftlichkeit erhöht und ein Beitrag zur Energiewende geleistet wird.

Gebäudetechnik:  
Singer IC GmbH,  
Jürgen Schuster

Wärmeerzeugung mit bis zu vier BHKW-Modulen mit je 50 kW<sub>el</sub> und zwei Brennwert-Spitzenlastkesseln mit jeweils 400 kW Wärmeleistung



Absorptionskältemaschine zur Kälteerzeugung aus der Wärme des BHKW: Kälteleistung = 54 kW



Übergabepunkt von der Energiezentrale zum Nahwärmenetz

Versuchscontainer mit dem LOHC-Wasserstoffspeicher des Fraunhofer-Instituts IISB: Mit dem LOHC-Speicher kann Energie unbegrenzt mit hoher Speicherdichte gespeichert werden.

# ENEV-NACHWEIS NICHTWOHNGBÄUDE

**DIN 18599**  
Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung

**Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger**

**Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen**

**Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung**

**Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung**

**Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen**

**Teil 7: Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau**

**Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen**

**Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen**

**Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten**

**Teil 11: Gebäudeautomation**

**Beiblatt 1: Bedarfs-/Verbrauchsabgleich**

**Beiblatt 2: Beschreibung der Anwendung von Kennwerten aus der DIN V 18599 bei Nachweisen des Gesetzes zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG)**

Bei Nichtwohngebäuden erfolgt die Berechnung des Primärenergiebedarfs für den EnEV-Nachweis nach der im Jahr 2005 eingeführten und 2016 letztmals überarbeiteten Norm DIN 18599. Die Norm gliedert sich in zwölf Teile und hat den energetischen Bilanzierungsrahmen wesentlich erweitert. Sie deckt die Themenfelder Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung, Warmwasserbereitung und Gebäudeautomation ab. Neu bei der EnEV ist auch die Zonierung der Nichtwohngebäude in Nutzungseinheiten und eine sehr detaillierte Ermittlung der Erzeugungs-, Verteilungs- und Übergabeverluste. Dieser hohe Detaillierungsgrad führt in der Praxis zu einem hohen Datenerfassungs- und Berechnungsaufwand, insbesondere durch die Aufteilung des Gebäudes in verschiedene Nutzungszonen. Andererseits ergibt sich eine gute Ausgangsbasis, um das Gebäude in vielen Detailspekten optimieren zu können und dabei auch die Wechselwirkungen, insbesondere zwischen dem Gebäude und der Anlagentechnik, zu berücksichtigen. Eine Herausforderung in der Baupraxis besteht darin, dass viele Parameter zum Zeitpunkt des Bauantrags, zu dem der Nachweis vorgelegt werden muss, noch nicht feststehen. Eine Bilanzierung nach DIN 18599 erfolgt in nachfolgend beschriebenen prinzipiellen Schritten.

## Zonierung des Gebäudes

Auch wenn es denkbar ist, ein Nichtwohngebäude als eine Zone zu betrachten, so liefert eine Aufteilung in Zonen gleicher Nutzung gemäß DIN 18599 Teil 1 bessere Ergebnisse. In diesen Zonen kann es dann unterschiedliche Beleuchtungsbereiche geben, in denen jeweils unterschiedliche Beleuchtungsparameter, wie z. B. Raumtiefe, Verschattung, Leuchtmittel, Lichtsteuerung, spezifiziert werden können. Für die Anlagentechnik werden verschiedene Versorgungsbereiche festgelegt, in denen eine bestimmte Raumkonditionierung erfolgt und die von einem oder unterschiedlichen Energieerzeugern versorgt werden. Dafür sind die diesbezüglichen anlagenspezifischen Werte zu erfassen. Diese Beleuchtungs- und Ver-

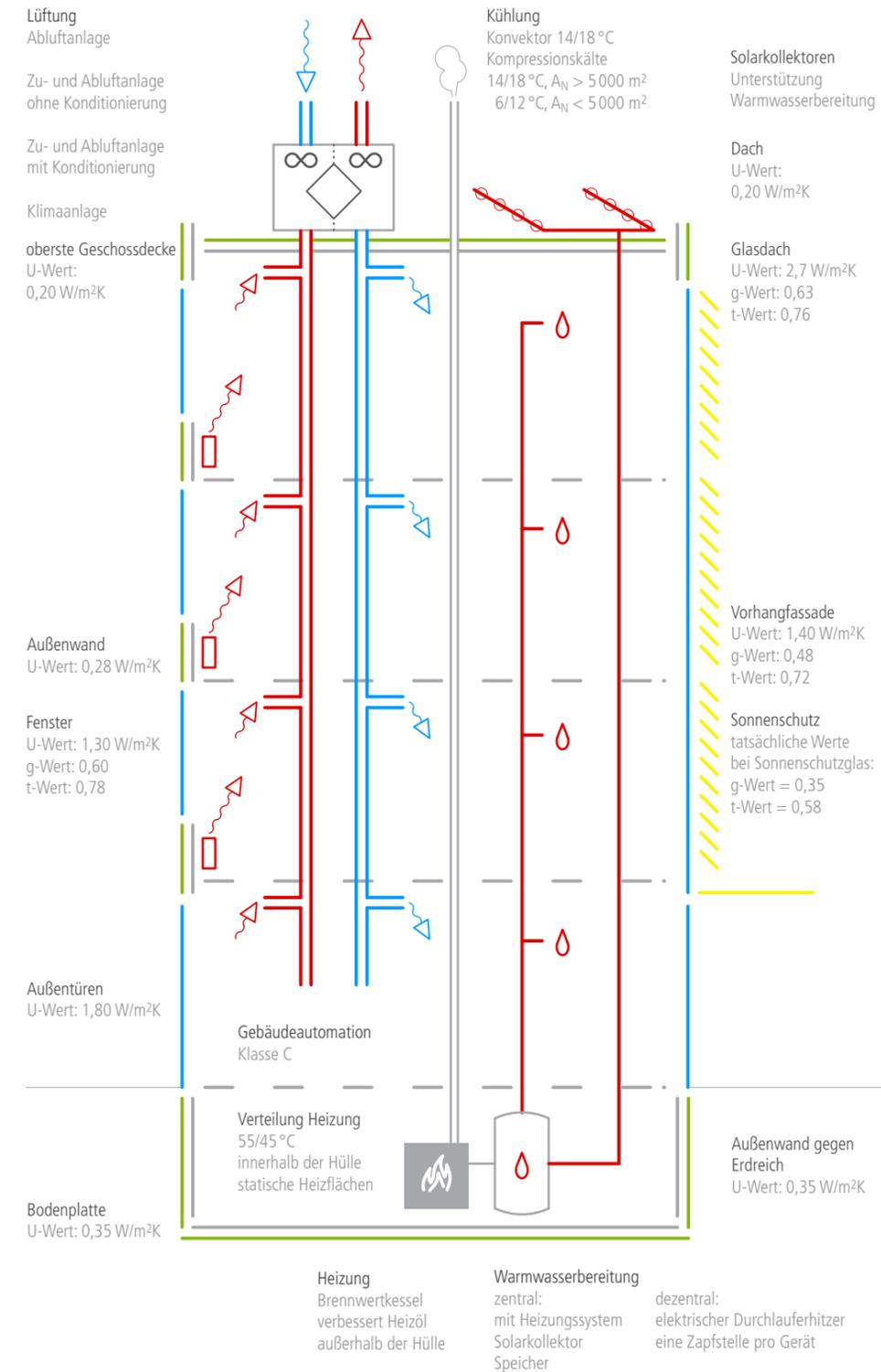
sorgungsbereiche können sich über Teile von Zonen oder über mehrere Zonen erstrecken. Für alle Zonen sind die Raumflächen, das Raumvolumen und die Hüllflächen zu ermitteln, denen eine entsprechende Außenwand- bzw. Deckenkonstruktion mit dem jeweiligen U-Wert zugeordnet wird. Transparente Flächen sind mit ihrer Geometrie, den Glas- und Rahmeneigenschaften und dem Verschattungssystem zu erfassen. Alle diese Anforderungen bedeuten einen großen Aufwand, insbesondere bei komplexen Gebäudestrukturen und bei Planungsänderungen. Die dreidimensionale Gebäudeplanung auf Basis eines BIM-Modells wird hier zukünftig Vereinfachungen bieten.

## Berechnung des Nutzenergiebedarfs für Heizen, Kühlen und Lüftung

In DIN 18599 Teil 2 und Teil 3 ist die Berechnung des Nutzenergiebedarfs für Heizung, Kühlung und Lüftung spezifiziert. Dabei werden für die Wärme die Verluste durch Transmission sowie jene über mechanische und natürliche Lüftung erfasst und zusammen mit den internen und solaren Wärmegewinnen bilanziert. Für die Kühllaste erfolgt dies analog umgekehrt. Der Berechnung liegen prinzipiell Monatsbilanzen zugrunde. Dabei werden auch Wärmeströme zwischen den Zonen mitbilanziert und die Nutzungsprofile der jeweiligen Zonen fließen detailliert in die Bilanz mit ein. Für die mechanische Lüftung wird auch der Energiebedarf für die thermische Luftaufbereitung und die dafür erforderliche Antriebsenergie ermittelt.

## Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung

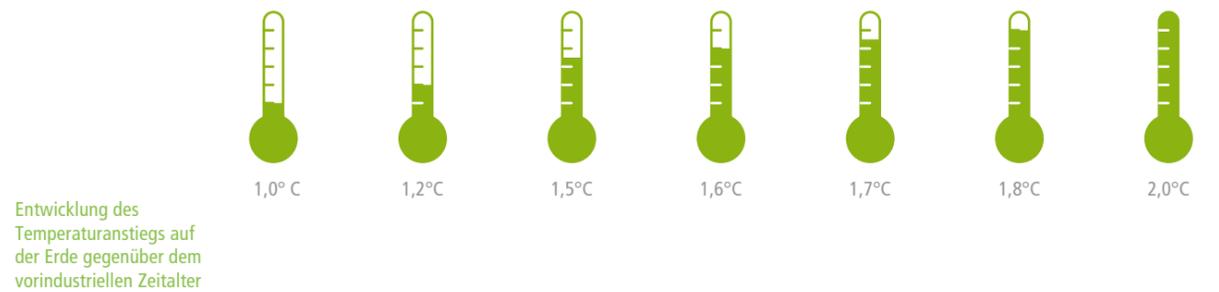
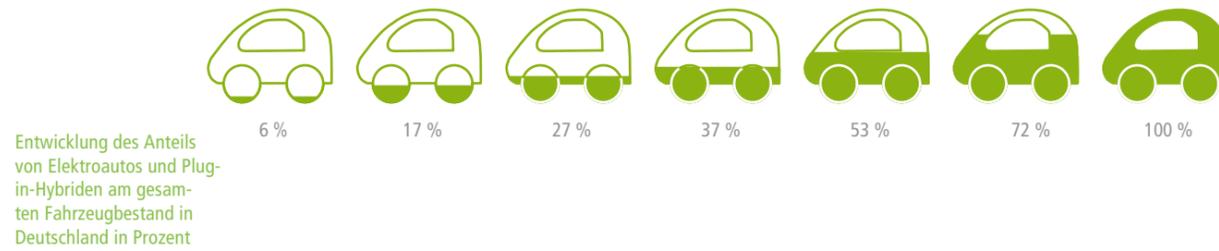
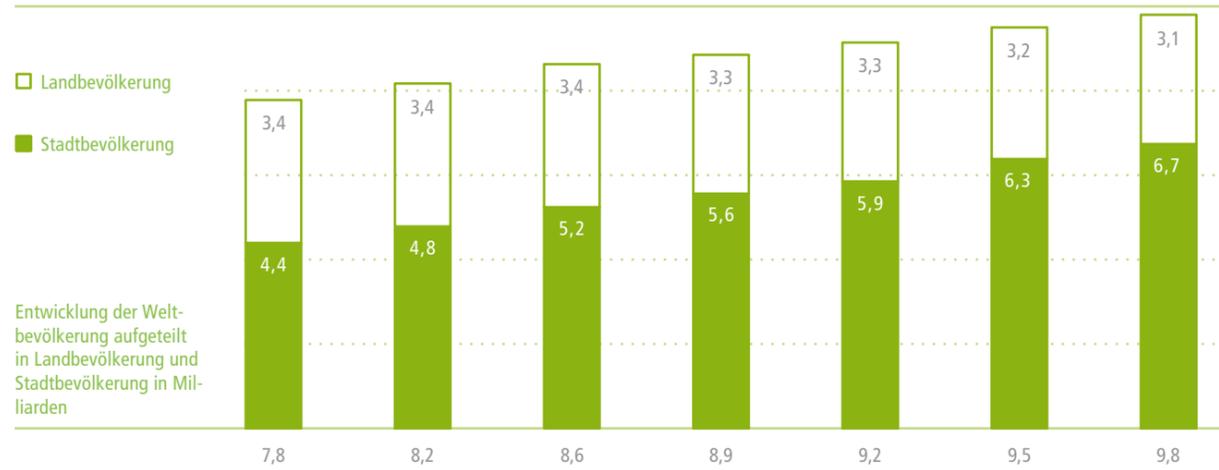
In DIN 18599 Teil 4 ist die Berechnung des Endenergiebedarfs für die Beleuchtung spezifiziert. Dabei werden für alle Zonen der Strombedarf für Kunstlicht und die damit verbundene Abwärme auf Basis des erforderlichen Beleuchtungsniveaus, des Nutzungsprofils, der Leuchtmittel und der Beleuchtungssteuerung ermittelt. Die raumspezifische Tageslichtversorgung, die sich durch die Raumtiefe, die Fenstergeometrie und die Verschattung ergibt,



**Bauliche und anlagentechnische Ausführung des Referenzgebäudes für Nichtwohngebäude:**  
Die Berechnung des Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes erfolgt mit der Geometrie des zu realisierenden Gebäudes unter Zugrundelegung der Referenz-U-Werte und der Referenz-Anlagentechnik nach EnEV Anlage 2, Tabelle 1.

Beim Nichtwohngebäude werden Zonen unterschiedlicher Nutzung spezifiziert und zusätzlich die Energiebedarfe für Kühlung und Beleuchtung mitberücksichtigt.

# AUSBLICK



- | 2020–2030 Die digitale Dekade
- | 2030–2040 Die Green-Tech-Phase
- | 2040–2050 Das interplanetare Zeitalter

»Prognosen sind schwierig, besonders wenn sie die Zukunft betreffen.« In Anlehnung an dieses bekannte Zitat, das Karl Valentin zugeschrieben wird, ist es immer eine besondere Herausforderung, in die Zukunft zu blicken. Dennoch soll ein Ausblick gewagt werden, der Tendenzen der nächsten drei Dekaden in energetischer, klimatischer und technologischer Hinsicht beleuchtet, die für die Architektur und das Bauen relevant werden. Der Weg, der begangen wird, besteht darin, gesichertes Wissen der Gegenwart und gut prognostizierbare zukünftige Einflussfaktoren zu analysieren und daraus mögliche Auswirkungen auf das Bauen der Zukunft abzuleiten. Auch kann ein analytischer Blick in die Vergangenheit Hinweise für künftige Entwicklungen geben. Ebenso können aus Kulminationspunkten oder Durchbrüchen im gesellschaftlichen oder technologischen Bereich, die mit hoher Wahrscheinlichkeit eintreten, mögliche Szenarien abgeleitet werden. Generell geht es nicht darum, eine exakte Prognose aufzustellen, sondern Positionen für den architektonischen und technischen Diskurs in den Raum zu stellen, um damit wiederum einen Entwicklungs- und Kreativitätsprozess anzuregen.

Grundsätzlich wird hier von einem positiven Verlauf der Dinge ausgegangen, da trotz aller aktuellen Unzulänglichkeiten die Menschen im Verlauf der Menschheitsgeschichte noch nie besser gelebt haben als derzeit. Hoffen wir, dass dies im Jahr 2050 in großem Maße noch so gilt.