

Binz | Bichsel | Geissler | Hall | Huber | Steinke | Weickgenannt

# Energieeffizientes Bauen

Konzepte, Kriterien, Systeme



energieschweiz.ch





# Inhalt

<b>Energieeffizientes Bauen – der Schlüssel zur Energiewende</b>	<b>3</b>	Lüftung bei Modernisierung	71
<b>1. Energie und Gebäude</b>	<b>5</b>	Zentral oder Dezentral?	72
Energieverbrauch im schweizerischen Gebäudepark	5	Effiziente Luftförderung	74
Energieeffizientes Bauen als Teil der Bauwirtschaft	5	Quellen	74
Energieflüsse am Gebäude	7	<b>6. Elektrizität</b>	<b>75</b>
Behaglichkeit	11	Haushaltsgeräte	75
Quellen	13	Beleuchtung	83
<b>2. Koordination, Planung und Optimierung des Energiebedarfs</b>	<b>15</b>	Quellen	91
<b>3. Gebäude – Form und Hülle</b>	<b>19</b>	Photovoltaik	92
Baukörper	19	<b>7. Graue Energie</b>	<b>97</b>
Gebäudehülle	20	Datengrundlage	97
Wärmeschutz	21	Verteilung am Gebäude	98
Opake Bauteile der thermischen Gebäudehülle	24	Materialwahl	99
Vermeidung von Schwachstellen der Gebäudehülle	32	Gesamtbilanz	99
Quellen	34	Life Cycle Energy	100
Gläser	35	Energetische Amortisation von Photovoltaikanlagen	100
Sommerlicher Wärmeschutz	39	Gebäudeerneuerungen	100
Anforderungen und Nachweis	41	Optimierung	101
Tageslichtversorgung	42	Quellen	102
Fenster und Fassaden	46	<b>8. Konzepte, Strategien, Standards</b>	<b>103</b>
Quellen	48	Energieeffizientes Bauen – Ziele und Mittel	103
<b>4. Heizung und Warmwasser</b>	<b>49</b>	Optimierungskonzepte und Schlüsseltechnologien	104
Verständigung und Begriffe	49	Energetische Gebäudeerneuerung	108
Energiestandards	49	Zweckbauten	110
Erneuerbare Energien	49	Energetische Optimierung und Gebäudeautomation	111
Elektrische Leistungsspitzen	49	Energetische Gesamtbilanzierung	114
Konzepte	50	Energiestandards und Nachhaltigkeitslabels	116
Beispiel	54	Quellen	120
Ausgewählte Themen	57	<b>9. Anhang</b>	<b>121</b>
Holzfeuerstätten in Wohnungen	58	Autoren	121
Quellen	59	Stichwortverzeichnis	122
<b>5. Lüftung, Klima und Kühlung</b>	<b>61</b>		
Luftqualität	61		
Lüftungsmethoden und Systeme	64		
Raumluftströmung	67		

## **Impressum**

**Energieeffizientes Bauen – Konzepte, Kriterien, Systeme**

**Herausgeberin:** Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau

**Autoren:** Armin Binz, Jürg Bichsel, Achim Geissler, Monika Hall, Heinrich Huber, Gregor Steinke, Beate Weickgenannt

**Projektleitung:** Achim Geissler, Fachhochschule Nordwestschweiz; Institut Energie am Bau, Muttenz

**Fachlektorat:** Caroline Hoffmann, Christof Bucher

**Lektorat und Seitenherstellung:** Faktor Journalisten AG, Zürich; Othmar Humm, Christine Sidler, Noemi Bösch, Jacqueline Felder

Diese Publikation ist Teil der Fachbuchreihe «Nachhaltiges Bauen und Erneuern». Grundlage bilden die Zertifikatskurse des Masterstudienganges «Energie und Nachhaltigkeit am Bau» ([www.enbau.ch](http://www.enbau.ch)), ein Weiterbildungsangebot von fünf schweizerischen Fachhochschulen. Die Publikation wurde durch das Bundesamt für Energie BFE/EnergieSchweiz und die Konferenz Kantonalen Energiedirektoren (EnDK) finanziert.

**Bezug:** Als Download (kostenfrei) unter [www.energiewissen.ch](http://www.energiewissen.ch) oder als Buch beim Faktor Verlag, [info@faktor.ch](mailto:info@faktor.ch) oder [www.faktor.ch](http://www.faktor.ch)

Januar 2014

ISBN: 978-3-905711-28-8

# Energieeffizientes Bauen – der Schlüssel zur Energiewende

**Armin Binz**

Seit 40 Jahren ist energieeffizientes Bauen ein Thema. Auch wenn seine Bedeutung im Lauf der Zeit mit den Energiepreisen schwankte: Es wurde viel erreicht in dieser Zeit. Neubauten, Heizungen, Pumpen und Ventilatoren, Geräte und Beleuchtungen sind um Grössenordnungen energieeffizienter als damals. Und das Wissen zum energieeffizienten Bauen ist unüberschaubar geworden. Warum also dieses Buch? Einerseits gerade wegen der Fülle an Material. Das Buch soll helfen, die Bäume trotz lauter Wald sehen zu können. Das Wesentliche wird herausgehoben und das Know-how, die Technologien und die Tools in ihrer Bedeutung eingeordnet. Die erfahrene Energiefachperson soll mit wenig Aufwand das Übersichtswissen in den angrenzenden Fachbereichen aktualisieren können. Studierenden und Neueinsteigern soll das Buch eine Landkarte sein; das eigene Fachgebiet zusammenfassen und Grundkenntnisse über das energieeffiziente Bauen vermitteln.

Andererseits braucht es das Buch, weil dieses Wissen rasch veraltet. Entwicklung und Selektion von Effizienztechnologien über die Jahrzehnte haben zu einer gewissen Klärung und auch Fokussierung auf Schlüsseltechnologien bewirkt. Vieles hat sich bewährt und durchgesetzt, etwa Wärmepumpen oder verputzte Aussendämmungen. Anderes ist von der Entwicklung überholt worden und ist verschwunden, beispielsweise wärmedämmende Fensterläden und bald auch Energiesparlampen. Energieeffizientes Bauen hat damit auch eine gewisse Selbstverständlichkeit erlangt. Aber gerade in den letzten Jahren hat der Wandel – auch des Umfelds – zu grundlegenden Änderungen geführt. So haben die enormen technologischen Fortschritte im Bereich der Wärmepumpen den Druck und die Unabdingbarkeit eines hervorragenden Wärmeschutzes relativiert. Nicht jede Fassade muss mit Polystyrol beklebt werden. Nicht jede Wärmebrücke muss – koste es was es wolle – elimi-

niert werden. Die Planung von energetischen Erneuerungen hat einen Freiheitsgrad hinzugewonnen.

Auch sonst hat sich die Situation bei der grossen verbleibenden Aufgabe des energieeffizienten Bauens, der Sanierung der vor 1980 erstellten Gebäude, geändert. Die Grenze zwischen Neubau und Erneuerung wird zunehmend unschärfer. Es ist geradezu ein Hauptmerkmal von erfolgreichen Erneuerungen, dass grössere Teile der Gebäudehülle als Neubau gestaltet werden. Aufstockungen und Anbauten, Integration bestehender Balkone und Neuerstellung ganzer Fassaden mit grossen Fensterflächen bieten dieselben bautechnischen Möglichkeiten wie der Neubau. Und sie entsprechen dem politischen Willen zur Verdichtung, wie er im revidierten Raumplanungsgesetz festgehalten ist, das vom Soverän im Frühling 2011 angenommen wurde und das schon bald von den Kantonen umgesetzt werden wird. Mit dieser Tendenz hält auch der Trend in der Erneuerung Einzug, mehr und mehr integrale Systeme und nicht mehr handwerklich Materialien zu verbauen, mit positiven Folgen für Kosten, Qualität und Energieeffizienz.

Dass auch das politische Umfeld sich grundlegend verändert hat, kommt besonders deutlich im bundesrätlichen Beschluss zur Energiewende zum Ausdruck: Die Energieversorgung, der Wirtschaftsbe- reich der seit Jahrzehnten in hohem Masse globalisiert ist und drei Viertel der Energie als fossile oder nukleare Energieträger aus dem Ausland bezieht, soll umgebaut werden. Einheimisch und erneuerbar sollen die Hauptmerkmale der künftigen Energieversorgung sein. Da die Hälfte des Energieverbrauchs für den Betrieb von Gebäuden gebraucht wird und Energieeffizienz – richtig umgesetzt – mit Komfortgewinn, Nutzungsverbesserung und Aufwertung der Bausubstanz verbunden ist, wird energieeffizientes Bauen die Primadonna der Energiewende sein.



# Energie und Gebäude

## Armin Binz **Energieverbrauch im schweizerischen Gebäudepark**

Mehr als die Hälfte des Energieverbrauchs (und rund die Hälfte der gesamten Treibhausgasemissionen) der Schweiz entfällt auf den Gebäudepark – für Erstellung, Unterhalt und Betrieb (Abbildung 1). Raumwärme, Warmwasser und der grösste Teil des Stromverbrauchs für Beleuchtung, Geräte, Informations- und Kommunikationstechnik sowie die ebenfalls dort subsumierte Energie für Gebäudetechnik (Pumpen, Ventilatoren, Ventile etc.) werden für den Betrieb von Gebäuden gebraucht.

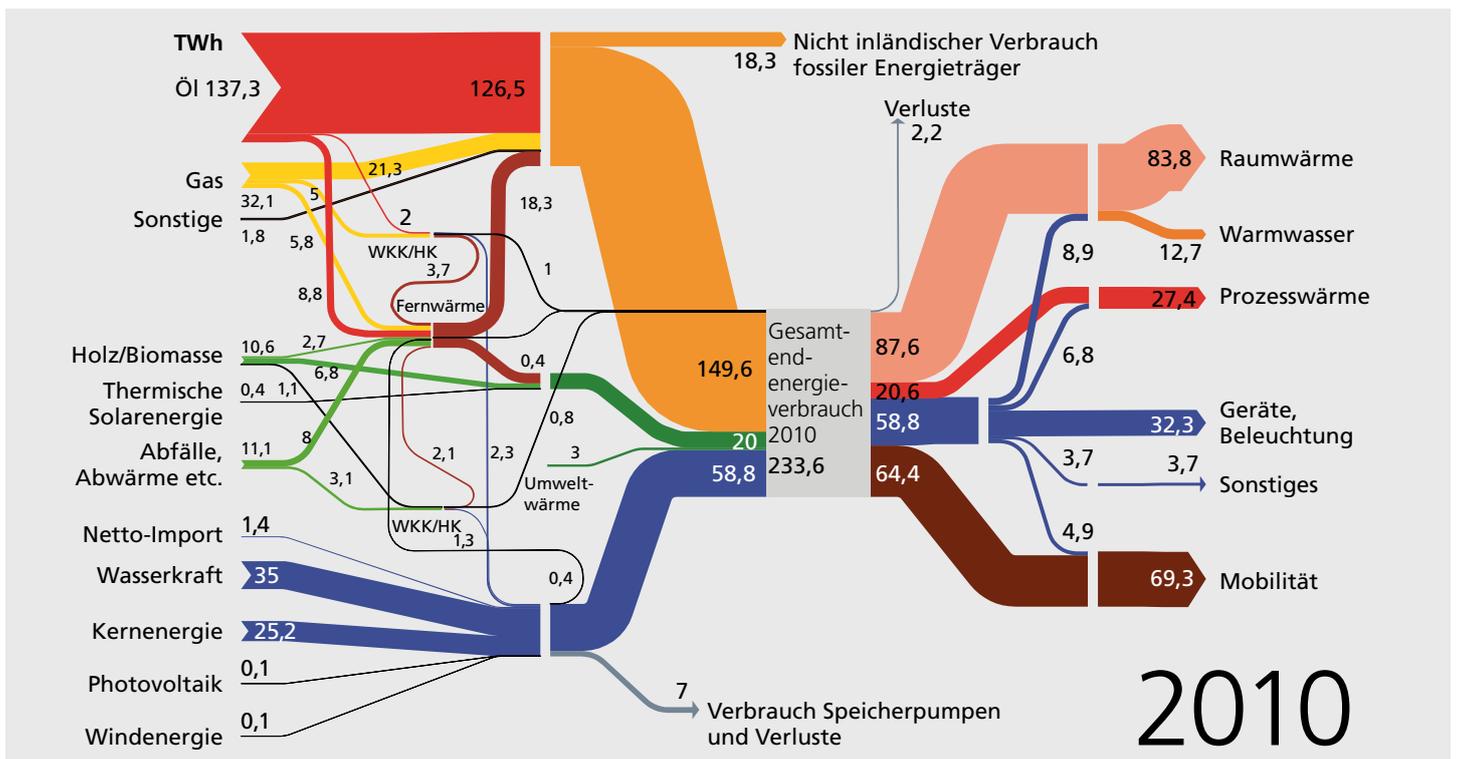
Der Energieverbrauch für die Erstellung und Erneuerung von Bauten (graue Energie bzw. der ganze Aufwand der Bauwirtschaft) ist in Abbildung 3 nicht separat erfasst bzw. dem restlichen Energieverbrauch zugeordnet. Es dürfte sich dabei um eine Grössenordnung von 30 TWh handeln, wovon ein stattlicher Anteil importiert wird (was in Abbildung 3 nicht enthalten ist, aber gleichwohl relevant ist).

In Abbildung 2 wird zudem sichtbar, dass Wohnbauten das vorrangige Thema des energieeffizienten Bauens und Erneuerns im Gebäudepark Schweiz sind.

## **Energieeffizientes Bauen als Teil der Bauwirtschaft**

Die Investitionen im Hochbau lagen 2011 in der Schweiz bei insgesamt 45 Mrd. Fr. Zwei Drittel davon entfielen auf den Neubau, ein Drittel auf Erneuerungen. Von den gut 14 Mrd. Fr., die in Erneuerungen gesteckt wurden, dürften etwa 3 bis 4 Mrd. Fr. als energetisch relevante Massnahmen bezeichnet werden können, davon entfallen wiederum je etwa die Hälfte auf bauliche bzw. auf gebäudetechnische Massnahmen (Gebäudehülle, bzw. Heizungsersatz, Komfortlüftungseinbau etc.). Selbstredend erfüllen diese Massnahmen nicht nur energetische Ziele. Neue Fenster sind in erster Linie ein neues Bauteil, das seine Funktionen besser als die alten Fenster erfüllt. Die moderne Wärmeschutzver-

*Abbildung 1: Inländischer Endenergieverbrauch 2010 in der Schweiz nach Verwendungszwecken in TWh/a. Quelle: [1], Datengrundlage; [2]*



glasung bringt jedoch die erwünschte energetische Verbesserung (und wird deshalb je nach Situation auch subventioniert). Bei Neubauten ist es schwieriger, dem Aspekt Energieeffizienz einen Investitionsanteil zuzuordnen. Anteilsmässig wird es deutlich weniger sein, als bei den Erneuerungen. Absolut gesehen dürfte es nochmals dieselbe Grössenordnung wie bei den Erneuerungen sein, wie dies in Ab-

bildung 4 dargestellt ist. Immerhin lässt sich festhalten, dass die Energievorschriften einerseits und darüber hinausgehende freiwillige Energieeffizienz-Anforderungen, wie die verschiedenen Minergie-Standards oder der SIA Effizienzpfad Energie, auch bei Neubauten einen eigenen «Marktanteil Energieeffizienz» abstecken.

Abbildung 2:  
Die Energiebezugsfläche des schweizerischen Gebäudebestandes nach Nutzungen (2004). 100 % sind 665 Mio. m<sup>2</sup>. Quelle: [3]

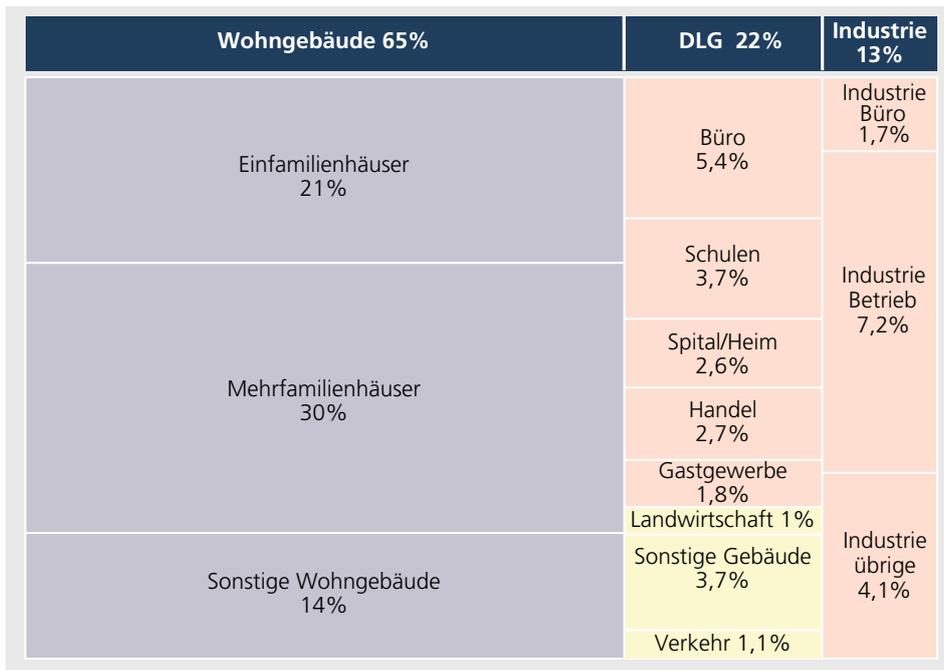
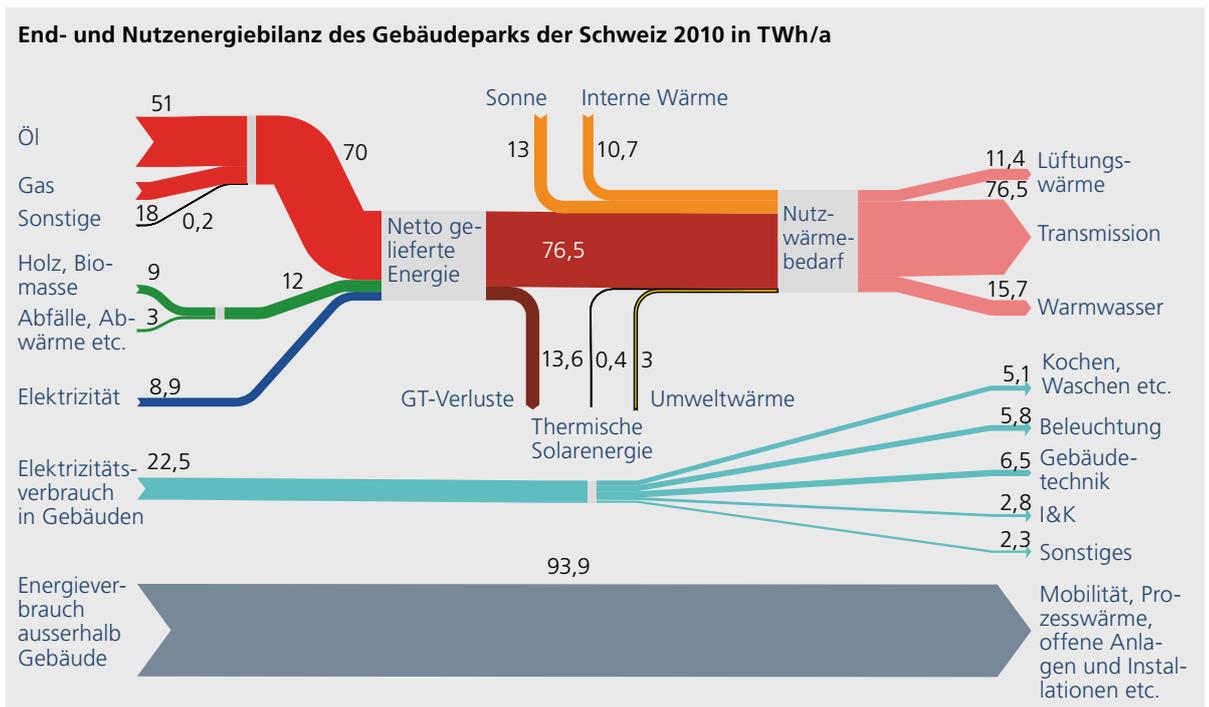


Abbildung 3:  
Inländischer Endenergieverbrauch 2010 in der Schweiz in TWh/a, aufgeteilt in den Anteil, der für Betrieb und Nutzung des Gebäudeparks nötig ist und den Verbrauch für alle übrigen Zwecke (Mobilität, Prozessenergie Industrie, etc.). Dargestellt gemäss Energiedefinitionen des SIA (netto gelieferte Energie anstelle der Endenergie). Quelle: [1], [5], [9], [10], und Berechnungen A. Binz



## Energieflüsse am Gebäude

Energieeffizientes Bauen hat sich über die letzten vier Dekaden vom einfachen «Heizenergiesparen» zur umfassenden und entwurfsintegrierten Energieoptimierung von Bauten und Bauprojekten entwickelt. Sieben Felder gilt es zu bearbeiten:

**1. Raumheizung:** Die Fokussierung auf diesen Bereich in der Vergangenheit hat dazu geführt, dass die weitgehende Optimierung von Neubauten heute schon von Gesetzes wegen gegeben ist. Das Thema bleibt aber von vorrangiger Bedeutung, weil immer noch ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs für die Beheizung von Gebäuden verbraucht wird und die energetische Erneuerung der Bestandsbauten deshalb die vordringliche Aufgabe bleibt.

**2. Raumkühlung** scheint leider ein Zukunftsthema zu sein. Der Wunsch nach grossen Fensterflächen, die gesteigerten Komfortbedürfnisse und die Missachtung der Regeln des sommerlichen Wärmeschutzes führen dazu, dass immer häufiger in Zweckbauten, aber auch immer mehr in Wohnbauten aktiv gekühlt wird. Die Zunahme an überdurchschnittlich heissen Sommern unterstützt diesen Trend noch.

**3. Warmwasser:** Der Spielraum bezüglich Energiebedarf zur Wassererwärmung ist zwischen Gebäudetechnikoptimierung und suffizientem Benutzerverhalten aufgespannt. Beide Ansätze weisen grosse Potenziale auf.

**4. Elektrizitätsverbrauch für Licht und Geräte:** Eigentlich geht es um die zwei grundlegend verschiedenen Optimierungsfelder «Beleuchtung» und «Betriebs-

einrichtungen» (von Kühlschränken bis zu Computern). In dieser Liste sind diese Anwendungen zusammengefasst, weil nicht nur der Energieträger sondern auch der Energielieferant sowie der Planer und der Installateur oft derselbe sind.

**5. Graue Energie:** In den letzten Jahren wurden die nötigen Grundlagen zur Quantifizierung der grauen Energie von Baumaterialien und Bausystemen und die Methoden zur rechnerischen Abschätzung der grauen Energie ganzer Gebäude und Bauvorhaben intensiv vorangetrieben. Heute steht mit dem Merkblatt SIA 2032 «Graue Energie» sowie geeigneten Methoden und Tools wie Minergie-Eco, dem elektronischen Bauteilkatalog und weiterer Software den Planern die Möglichkeit offen, die graue Energie sachgerecht in den Entwurf einzubeziehen.

**6. Eigenerzeugung von Wärme und Elektrizität:** Neben der weitverbreiteten Wassererwärmung mit thermischen Kollektoranlagen ist die Eigenerzeugung von Wärme und Elektrizität vor allem mit zunehmend kostengünstigeren Photovoltaik zu einem wichtigen Thema der Energiewende geworden. Damit verbunden sind ganz neue Herausforderungen, wie etwa die Belastung des Elektrizitätsnetzes, dezentrale Speicherung und Maximierung der Eigennutzung des Stromertrages.

**7. Induzierte Mobilität:** Art und Umfang eines Teils der Mobilität hängt von Gebäuden ab. In erster Linie vom Standort, dann aber auch von Massnahmen zur Förderung bzw. Behinderung verschiedener Fortbewegungsarten. Die Massnahmenpalette erstreckt sich von optimalen Fussgänger-

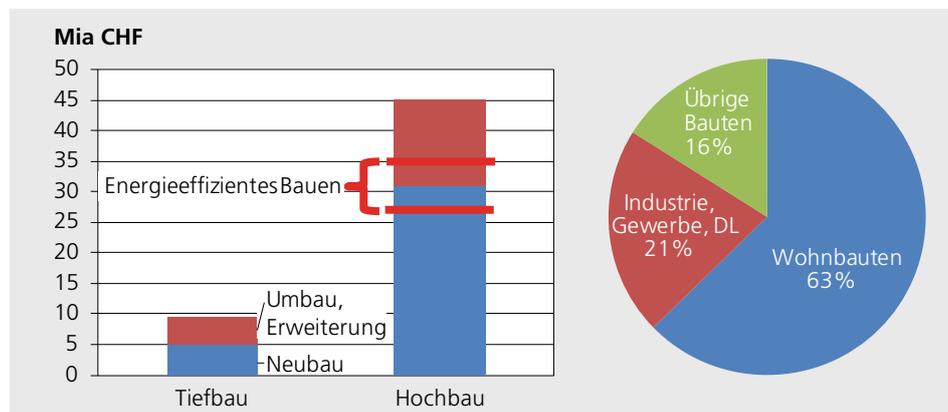


Abbildung 4: Bauinvestitionen in der Schweiz 2011, in Mrd. Fr., aufgeteilt in Neubau und Erneuerung bzw. nach Nutzungsart der Gebäude. Energieeffizienz als Marktkomponente bei Neubau und Erneuerung.

verbindungen und Veloabstellmöglichkeiten bis hin zu Autoparkplatzverknappung. Mit dem Merkblatt SIA 2039 «Mobilität – Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandort» kann der Planer eines Gebäudes auch diesen Aspekt einbeziehen. In den Fachkapiteln dieser Publikation werden diese Bereiche aufgegriffen und – mit bewusster Setzung von Schwerpunkten – abgehandelt.

Umfassende Energieoptimierung heisst nicht nur, alle Energiebereiche abzudecken, sondern auch, die ganze Kette der Energieumwandlung zu berücksichtigen.

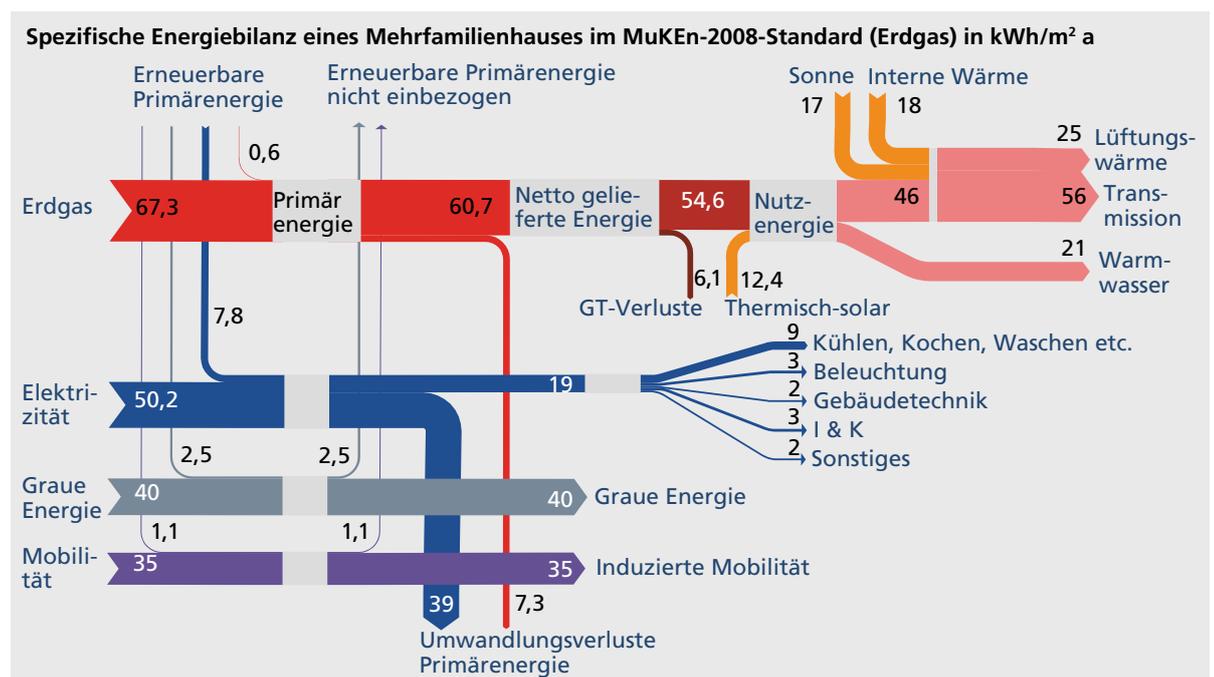


Abbildung 5: Die sieben Bereiche des energieeffizienten Bauens.

Da es letztlich darum geht, Energieresourcen zu schonen und damit Treibhausgas- (und andere) Emissionen zu reduzieren muss gefragt werden, was Einsparungen an Nutz- und Endenergie auf dieser grundsätzlichen Ebene bewirken (Abbildung 6).

Die Basis des Energieflussdiagrammes von Abbildung 6 ist ein typischer Mehrfamilienhaus-Neubau im schweizerischen Mittelland. Alle spezifischen Werte im Diagramm multipliziert mit der Energiebezugsfläche von 600 m<sup>2</sup> ergeben die Absolutwerte des Gebäudes. Das Diagramm zeigt den Energiefluss von links nach rechts. Wobei allerdings die ursächliche Wirkung von rechts nach links geht: Rechts sind die Energiebedarfswerte aufgeführt, die durch Erstellung und Betrieb des Gebäudes entstehen. Um die nötige Nutzenergie zur Bedarfsdeckung zu erzeugen, muss Endenergie eingekauft und umgewandelt werden. Diese Endenergie entsteht wiederum aus Primärenergieressourcen. Die damit verbundenen Umwandlungsverluste sowie zusätzlich nutzbare Energien fließen seitlich zu oder ab. Anhand Abbildung 6 lässt sich die aktuelle Situation des energieeffizienten Bauens illustrieren.

Abbildung 6: Spezifische Energieflüsse in kWh pro m<sup>2</sup> EBF pro Jahr in einem durchschnittlichen Mehrfamilienhaus-Neubau mit einem Erdgas-Wärmeerzeuger für Heizung und Warmwasser.



### **Wärme für Heizung und Warmwasser**

Das dargestellte Mehrfamilienhaus ist kein Vorzeige-Beispiel, sondern soll die heute durchschnittliche und typische Situation illustrieren. Es ist ein Renditeobjekt. Tiefe Baukosten sowie gutes PreisLeistungsverhältnis stehen im Vordergrund und Energieoptimierung ist kein besonderes Anliegen. Eine moderne Gasheizung und ein gesetzeskonformer Wärmeschutz entspricht dieser Haltung. Die gesetzlichen Anforderungen bezüglich Heizung und Warmwasser sind allerdings anspruchsvoll [4]. Sie erzwingen bereits einen recht hohen Standard an Energieeffizienz im Bereich Heizung und Warmwasser. Der Heizwärmebedarf von 46 kWh/(m<sup>2</sup>a) liegt nur knapp unter dem gesetzlich vorgeschriebenen Wert. Die Werte für die Lüftungswärmeverluste und die Abwärmegevinne durch Personen und Elektrizitätsnutzung sind in der Bedarfsberechnung vorgegebene Standardwerte. Optimierungsspielraum bieten nur der Wärmeschutz der Gebäudehülle und die passiven Sonnenenergiegewinne. Ohne weitreichenden Wärmeschutz sind die heute geltenden Vorschriften nicht zu erfüllen. Es kommt jedoch noch eine zweite Bestimmung hinzu: Der maximal zulässige Höchstanteil an nicht erneuerbaren Energien. Höchstens 80 % des maximal zulässigen Wärmebedarfs für Heizung und Warmwasser dürfen durch nichterneuerbare Energien erbracht werden. Weil der gesetzliche maximal zulässige Wärmebedarf aber nur knapp unterschritten ist und die Wärme mit einem nichterneuerbaren Energieträger (Gas) erzeugt wird, muss eine Lösung gesucht werden. Ein verbesserter Wärmeschutz wäre zulässig, jedoch mit einer aufwändigen Aufdoppelung der Dämmschichten verbunden. Die Wahl einer Holzfeuerung wäre möglich, aber ebenfalls mit deutlich höheren Kosten verbunden. Gewählt wurde eine häufige Lösung: Mit einer relativ bescheidenen thermischen Sonnenkollektoranlage kann etwa 60 % des Warmwassers erwärmt werden und die 80-%-Limite für den (nicht erneuerbaren) Erdgaseintrag unterschritten werden.

Erdgas weist auf dem Weg von seiner Gewinnung als Primärressource bis zur Lieferung als Endenergie an den Kunden relativ wenig Verluste auf bzw. braucht wenig Energie für Aufbereitung und Transport. Der erneuerbare Anteil in der Energieaufbereitung ist fast vernachlässigbar, sodass praktisch die ganze Primärenergie als nicht erneuerbare Primärenergie von links in das Diagramm eingeführt wird.

### **Elektrizität für Geräte und Beleuchtung**

Der Energiefluss des «Haushaltstroms» wird nur bis zur Nutzenergie hingeführt. Es ist unüblich, beim Elektrizitätsverbrauch Wirkungsgrade der Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie anzugeben (wieviel Backofenhitze pro kWh Elektrizität und ähnliche Angaben). Vielmehr hat sich die Nutzungseffizienz der einzelnen Geräte, Leuchten, Lampen, etc. als Schlüsselgröße durchgesetzt (beispielsweise in Form von Energieetiketten, Lichtausbeute in Lumen/Watt, etc.). Es wird auch ersichtlich, welches die Verbrauchskategorien sind und dass Kühlen-Waschen-Kochen in der durchschnittlichen Wohnung die dominante Verbrauchskategorie ist. Dass dem Elektrizitätsverbrauch besondere Bedeutung zukommt, wird auf der Stufe Primärenergieverbrauch deutlich. Jede kWh Endenergie Strom (aus dem Netz) wurde (im Mittel) mit 2,64 kWh nicht erneuerbarer Primärenergie hergestellt. Diese Primärenergiegewichtung entspricht nicht der inländischen Produktion von Elektrizität, sondern dem sogenannten Verbrauchermix, der wesentliche Anteile an importiertem Strom enthält.

### **Graue Energie**

In der Herstellung, der Montage und der Entsorgung von Baumaterialien steckt viel Energie – graue Energie. Damit die Energieinhalte der unterschiedlichen Energieträger (Heizöl, Benzin, Elektrizität, Gas, etc.) zusammengezählt werden können, müssen sie auf die Stufe Primärenergie zurückgerechnet werden. Graue Energie wird daher grundsätzlich auf der Stufe Primärenergie bilanziert. In Abbildung 6 wird

daher der Fluss der grauen Energie nicht über die Stufe Endenergie hinausgeführt und es können auch keine entsprechenden Umwandlungsverluste ausgewiesen werden. Auch bei der grauen Energie ist die nicht erneuerbare Primärenergie relevant und damit Ziel der Optimierungsbemühungen. Der Anteil der erneuerbaren Primärenergie ist in der Regel sehr klein, wie im erwähnten MFH. Einzig bei Holzbauten verschieben sich nennenswerte Anteile der grauen Energie vom nicht erneuerbaren zum erneuerbaren Anteil (was ja auch eine Optimierungsmöglichkeit darstellt).

### **Mobilität**

Wie die graue Energie wird auch die vom Gebäude induzierte Mobilität direkt auf Stufe Primärenergie errechnet und es wird nur der nicht erneuerbare Anteil einbezogen. Als (vereinfachte) Gesamtsicht der Energieflüsse am Gebäude zeigt Abbildung 6 die Bedeutung der Energieverbrauchsbereiche, vor allem jene der erst in neuerer Zeit für das energieeffiziente Bauen thematisierten grauen Energie und Mobilität.

### **Umwandlungsstufen der Energie**

Energie wird durch die Umwandlung von Energieträgern genutzt. Diese Umwandlung führt von Stufe zu Stufe und ist jedes Mal mit Energieverlusten verbunden. Hier die wichtigsten Begriffe in dieser Abfolge.

**Primärenergieträger** wurden (noch) keiner Umwandlung unterzogen. Beispiele: Erdöl (Rohöl), Erdgas, Uran, Waldholz, Sonnenstrahlung, Erd- und Umgebungswärme.

**Endenergie:** Energie, die dem Verbraucher zur Umsetzung in Nutzenergie zur Verfügung steht. Dazu zählt die Energie, die von der letzten Stufe des Handels geliefert wird und die am Standort gewonnene und benutzte Energie. Endenergie, die dem Verbraucher von der letzten Stufe des Handels (inkl. nachbarliche Netze) geliefert wird, heisst gelieferte Energie. Massgebend ist der Bilanzperimeter. Wird vom Verbraucher Energie, welche er – z.B. aus erneuerbaren Energien oder mit Wärme-Kraft-Kopplung – erzeugt hat, dem Handel zurückgeliefert, wird die zurückgelieferte Energie von der gelieferten Energie abgezogen und man spricht von netto gelieferter Energie.

**Nutzenergie:** Energie, die aus der Umwandlung von Endenergie entsteht und dem Verbraucher unmittelbar dient, z.B. als Wärme im Raum, als dem Raum entzogene Wärme (Kühlung), als Warmwasser an der Zapfstelle, als Licht in den Räumen als Hitze im Backofen etc.

Grundlage: Normenwerk SIA, Gesamtenergiestatistik Schweiz

## Achim Geissler **Behaglichkeit**

Der Mensch verbringt einen grossen Teil seiner Lebenszeit in geschlossenen Räumen. Es ist daher naheliegend, an diese Räume hohe Ansprüche zu stellen. Man soll sich wohl fühlen. Für Räume mit (Büro-) Arbeitsplätzen bzw. für Schulräume kann hierbei auch die Produktivität oder die Konzentrationsfähigkeit als Motivation dafür dienen, ein möglichst guten Raumkomfort bereitzustellen (Abbildung 7). Dabei ist idealerweise auf die thermische, die visuelle, die akustische sowie die olfaktorische Behaglichkeit respektive auf die allgemeine Luftqualität Rücksicht zu nehmen.

Wechselwirkungen zwischen Behaglichkeit und Energiebedarf sind vielfältig. Primär sind jedoch der Gebäudestandort und die Gebäudeauslegung zu nennen. Beispielsweise ist der Energiebedarf für den Betrieb eines Gebäudes ohne aktive Kühlung im Sommer praktisch unabhängig von der Behaglichkeit. Mit dem Einsatz von Energie lässt sich die Raumlufttemperatur nicht senken. Die Behaglichkeit hängt jedoch sehr stark vom korrekten Betrieb des Gebäudes ab.

Tabelle 1 gibt beispielhaft für ein Bürogebäude ohne mechanische Lüftungsanlage und ohne Klimatisierung an einer innerstädtischen Lage an einer belebten Strasse eine Einordnung an. Ohne Klimatisierung kann im Sommer nicht auf Fehlbedienungen beispielsweise des Sonnenschutzes reagiert werden – Behaglichkeitsdefizite führen zwar nicht zu einer Erhöhung der Betriebsenergie, jedoch zu einem möglicherweise stark reduzierten Gebrauchswert der Räumlichkeiten.

### **Thermische Behaglichkeit**

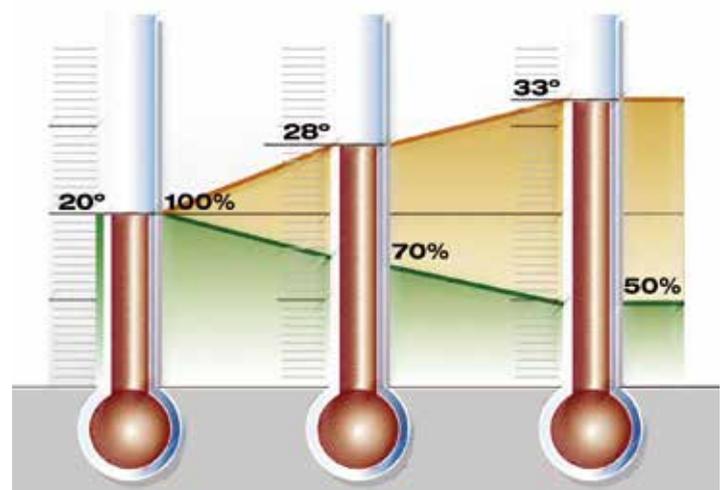
Wohngebäude und auch ein grosser Teil der Verwaltungsgebäude mit dem Anspruch auf gute Energieeffizienz können in allen Schweizer Klimaregionen ohne aktive Kühlung eine gute thermische Behaglichkeit im Sommer aufweisen. Es gehört zum Repertoire des energieeffizienten Bauens, dass dieses Ziel erreicht wird. Einzig Dienstleistungsbauten mit hohen inneren Abwärmen oder Gebäude, die aus

Gründen der Nutzungs- oder der Architektur sehr sonnenexponierte Räume aufweisen (z. B. eine grosse Übereckverglasung nach Südwest) können hier eine Ausnahme bilden. Willkommene gebäudetechnische Unterstützung bietet Freecooling, z. B. durch Erdsonden einer Wärmepumpen-Anlage. Das thermische Behaglichkeitsempfinden hängt wesentlich von den Parametern Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit, Strahlungstemperatur und Kontakttemperatur ab (Abbildung 8) und muss – letztlich wie alle Aspekte der Behaglichkeit – als individuelle Grösse betrachtet werden. D. h., es wird in der Einschätzung der Behaglichkeit in ein und demselben Raum durch verschiedene Personen gleichzeitig stets Unterschiede geben. Die Normung verwendet daher verschiedene statistische Grössen. Die wichtigsten sind: der «Prognostizierte Prozentsatz Unzufriedener» («Predicted Percentage of Dissatisfied», PPD) in Abhängigkeit der Raumtemperatur und das Zugluftrisiko («Draught Rate», DR) in Zusammenhang mit Zuglufterscheinungen. In der Planung wird davon ausgegangen, dass mindestens 5 % der Nutzer unzufrieden sind. Mit diesen Grössen sowie den Behaglichkeitsklassen (Tabelle 2) erfolgt die Zuordnung bzw. Überprüfung der (planerisch) ausreichenden Behaglichkeit.

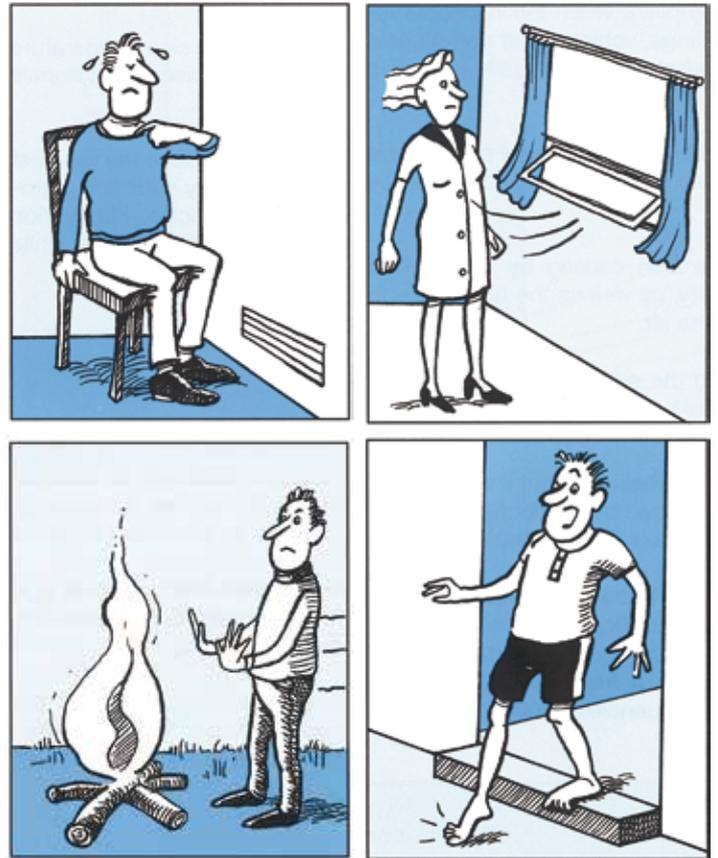
### **Visuelle Behaglichkeit**

Je nach Beschäftigung benötigt man mehr oder weniger Licht. Dabei spielt auch die

*Abbildung 7: Abnahme der Leistungsfähigkeit mit zunehmender Raumlufttemperatur. Quelle: ehlers-media.com*



Farbe des Lichtes eine wichtige Rolle – in Abhängigkeit von der Tageszeit wirkt die Lichtfarbe unterschiedlich auf den menschlichen Organismus (circadiane Rhythmus des Menschen – «Tag-Nacht-Rhythmus»). Die Konzentrationsfähigkeit bzw. die allgemeine Wachheit kann deutlich beeinflusst werden. Insbesondere an Bildschirmarbeitsplätzen, aber auch bei anderen Tätigkeiten sind grosse Helligkeitsunterschiede im Sichtfeld störend – deutlich hellere Bereiche blenden. Der Mensch reagiert auf diese visuelle Beeinträchtigung unterschiedlich. Auch hier werden daher statistische Werte zur Beschreibung der Blendungsintensität herangezogen (Abschnitt).



**Abbildung 8:** Die Lufttemperatur, die Luftgeschwindigkeit, die Strahlungstemperatur und die Kontakttemperatur beeinflussen die thermische Behaglichkeit.

Quelle: Innova

**Tabelle 1 (unten):** Beispiel für die Einordnung der energetischen Relevanz (siehe Text).

**Tabelle 2 (rechts):** Behaglichkeitsklassen und ihre Anforderungen.

### Akustische Behaglichkeit

Auch die Schallempfindlichkeit ist individuell unterschiedlich stark ausgeprägt. In sehr vielen Bereichen nimmt die Belastung mit Lärm stetig zu. Es ist zwischen dem Schutz vor Aussenlärm und vor Lärm in benachbarten Nutzungseinheiten – dem Schallschutz – und dem Schutz vor störendem Lärm innerhalb eines Raumes – der Raumakustik – zu unterscheiden.

Der Schallschutz hat wenige Konfliktstellen mit energetischen Fragestellungen. Mit steigender Scheibengrösse nimmt der Schallschutz von Gläsern ab, die solaren Wärmegewinne mit der gesamten Glasfläche zu. Die Lichtdurchlässigkeit und der g-Wert von Gläsern nehmen mit zunehmender Glasstärke ab, der Schallschutz zu. Geöffnete Fenster haben kaum schalldämmende Wirkung, für den sommerlichen Wärmeschutz kann es jedoch wünschens-

Klasse	Beschreibung
A	Hohes Mass an Erwartungen an das Raumklima; empfohlen für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Bedürfnissen aufhalten.
B	Normales Mass an Erwartungen
C	Annehmbares, moderates Mass an Erwartungen

	Winterfall	Sommerfall
Thermische Behaglichkeit	Energetisch relevant, Heizwärme.	Energetisch nicht relevant.
Visuelle Behaglichkeit	Energetisch relevant, durch Blendschutz möglicherweise stark verringerte solare Energiegewinne.	Energetisch etwas relevant, durch Sonnen- bzw. Blendschutz erhöhter Strombedarf für die Beleuchtung.
Akustische Behaglichkeit	Energetisch kaum relevant.	Energetisch nicht relevant, jedoch beispielsweise für die Abfuhr von Wärme durch Lüftung, z. B. in den Morgenstunden, stark eingeschränkt.
Olfaktorische Behaglichkeit respektive Luftqualität	Energetisch relevant, ohne Lüftungsanlage ist Fensterlüftung nötig, keine Wärmerückgewinnung möglich.	Energetisch nicht relevant, Lüftung gegen Nachmittag, bei hohen Aussentemperaturen jedoch zusätzliche Wärmelast.

wert sein, Fenster zu öffnen. Bei der Raumakustik sind die Interdependenzen eher noch geringer. Zwischen thermisch aktivierbaren Speichermassen und raumakustischen Massnahmen insbesondere bei Grossraumbüros liegt allerdings häufig ein Zielkonflikt vor. Schallabsorbierende Oberflächen sind häufig grossporig und weich – dies ist in der Regel gleichbedeutend mit einer eher geringen Wärmeleitfähigkeit und damit mit einer Entkoppelung zwischen Raumluft und thermischer Masse.

### Olfaktorische Behaglichkeit und Luftqualität

Der Mensch hat eine nur schlecht ausgeprägte Sensorik für schleichende Änderungen der Luftqualität – dies gilt sowohl für Geruchsstoffe als auch für die Belastung der Luft mit CO<sub>2</sub>. Eine schlechte Luftqualität hat jedoch direkte Auswirkungen auf die Konzentrationsfähigkeit. Schlechte Luft kann auch zu Symptomen wie Kopfschmerzen führen. Die Versorgung von Räumen, in denen sich regelmässig Personen aufhalten, mit ausreichend Frischluft ist energetisch relevant. Frischluft bedeutet Aussenluft – diese muss in der Heizperiode erwärmt und im Sommer allenfalls gekühlt werden.

### Quellen

- [1] Binz A., Eicher H.-P., Iten R., Keller M., Bacher R.: «Energierespekt», Faktor Verlag, Zürich 2014
- [2] Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2010, Bundesamt für Energie, Bern 2011
- [3] Zukünftige Entwicklung der Energiebezugsflächen, Wüest&Partner, im Auftrag des BFE, Zürich 2004
- [4] MuKE 2008. Musterverordnung der Kantone im Energiebereich, Energiedirektorenkonferenz der Kantone (EnDK), www.endk.ch
- [5] Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000–2009 nach Verwendungszwecken, Prognos, Bundesamt für Energie, Bern, Dezember 2010
- [6] Schweizer Bauwirtschaft 2012, Zahlen und Fakten, Schweizerischer Baumeisterverband, Zürich 2013
- [7] Jakob M. et al: «Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienz-Massnahmen und optimierter Gebäudetechnik bei Wirtschaftsbauten», CEPE, Zürich, Bundesamt für Energie, Bern 2006
- [8] Schalcher et al., Was kostet das Bauwerk Schweiz in Zukunft und wer bezahlt dafür? vdf Hochschulverlag 2011
- [9] Effizienz und Elektrifizierung Haushalte, Ernst Basler+Partner, VSE, Zollikon 2012
- [10] Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Prognos et al, im Auftrag des BFE, Basel 2012
- [11] CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten bei der Erneuerung von Wohnbauten, Econcept, im Auftrag des BFE, Zürich 2011
- [12] Mobilisierung der energetischen Erneuerungspotenziale im Wohnbaubestand, Econcept, im Auftrag des BFE, Zürich 2005
- [13] Gebäudeparkmodell SIA Effizienzpfad Energie, Dienstleistungs- und Wohngebäude, Institut für Bauplanung und Baubetrieb (ETHZ) und TEP GmbH, im Auftrag des BFE, Zürich 2009
- [14] Grundlagen zu einem Suffizienzpfad Energie, Arge Preisig/Nipkow/Jud, im Auftrag des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich, 20121.



# Koordination, Planung und Optimierung des Energiebedarfs

**Armin Binz** Energieeffizientes Bauen fokussiert auf die Optimierung von Bauvorhaben; Neubauten und Erneuerungen. Das ist richtig und wichtig und ist das Thema dieser Publikation. Dabei darf es aber nicht bleiben. Gebäude bilden Überbauungen, Quartiere, Gemeinden, Städte. Diese Siedlungsstrukturen sind ebenfalls bedeutsam für den Energieverbrauch. Je nach Ausprägung lösen sie übermäßigen Energiekonsum aus. Sie bieten aber auch zusätzliche Chancen für den nachhaltigen Energieeinsatz.

Abbildung 9 zeigt schematisch die Handlungsfelder der Energieoptimierung von Gebäuden zwischen Versorgung und Bedarf. Die rechte Seite des Diagramms repräsentiert die Massnahmen des energieeffizienten Bauens, das in zwei Felder unterschieden werden kann. Einerseits die klassischen Massnahmen der Energiebedarfsreduktion, wie Wärmeschutz, effiziente Heizungs- und Warmwassersysteme und bestmögliche Technologie bei elektrischen Geräten und Beleuchtung. Traditionell werden auch die lokale Nutzung von Sonnenenergie wie auch Wärmerückgewinnungstechnologien (vor allem Lüftung) ebenfalls der Bedarfsreduktion zugeordnet. Neben dieser quantitativen Reduktion

des Bedarfs spielt aber immer mehr auch die qualitative Optimierung eine Rolle:

- Möglichst tiefe (Vorlauf-)Temperaturen von Heizung und Wassererwärmung.
- Minimierung der elektrischen Spitzenlasten des Bedarfsprofils, sowohl im Jahresgang (Hochwinterspitze) wie auch im Tagesgang.
- Hohe Eigenbedarfsdeckung bei eigener Stromerzeugung mit Photovoltaik.
- Optimales Benutzerverhalten bzw. optimale Benutzerfreundlichkeit aller bedienbaren und energieverbrauchsrelevanten Elemente des Gebäudes sowie Messung und Informierung der Nutzer bzw. des Betreibers des Gebäudes.

Was an Energiebedarf nach der Gebäudeoptimierung im engeren Sinne bleibt, wird dem Gebäude von aussen zugeführt. Der energetische Bezug zur Aussenwelt ergibt sich durch die Wahl der Energieträger, die zur Bedarfsdeckung zum Einsatz kommen: Ob erneuerbare oder nicht erneuerbare Brennstoffe verwendet werden und in welchem Mass Elektrizität den Energiebedarf des Gebäudes abdeckt und welcher Herkunft sie ist, spannt das Handlungsfeld von Bauherrschaften und Gebäudeplana-

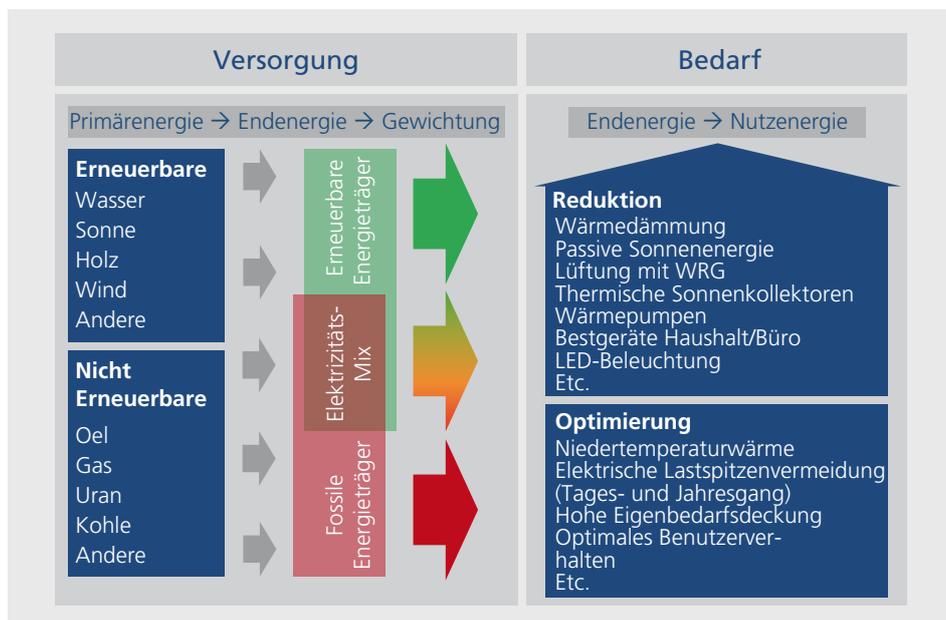


Abbildung 9: Bedarfs- und Versorgungsseite von Energie von Gebäuden. Schematische Darstellung der direkten Optimierungsfelder des Gebäudes und der erforderlichen Energiezufuhr von aussen des Gebäudes.

vern versorgungsseitig auf. Abbildung 10 illustriert (schematisch), wie das Gebäude mit dem Umfeld verbunden ist. Die unmittelbare Einbindung des Einzelgebäudes in eine Überbauung ergibt die meisten Optimierungsmöglichkeiten:

- Heizzentralen mit oder ohne gemeinsame Nutzung lokaler Ressourcen wie Umweltwärmepotenziale (Erdwärme, Grundwasser, Oberflächenwasser) oder von Abwärme benachbarter Betriebe.
- Gemeinsame Anlage zur Sonnenenergienutzung, thermisch respektive photovoltaisch.
- Wärmeverbundsysteme, welche die kritische Grösse erreichen, dass zusätzliche Typen der Wärmeerzeugung möglich sind, z. B. Holzschmelzheizungen oder Wärmekraftkopplungsanlagen.
- Je nach Nutzung und Grösse der Bebauung sind auch Anergienetze, bzw. Niedrigtemperaturnetze, zu prüfen. In Abbildung 11 zeigt die Darstellung aus der Anwendungshilfe von Minergie, welche auch die Definition enthält: «Unter einem Anergienetz wird ein Wärmeverbund verstanden, der auf einem (aus der Optik von Heizungen) tiefen Temperaturniveau betrieben wird. Ein solches Netz gibt einerseits Wärme

Abbildung 10: Energieversorgung aus dem nahen und fernen Umfeld. Schematische Darstellung der energetischen Bezüge des Gebäudes zum Umfeld.

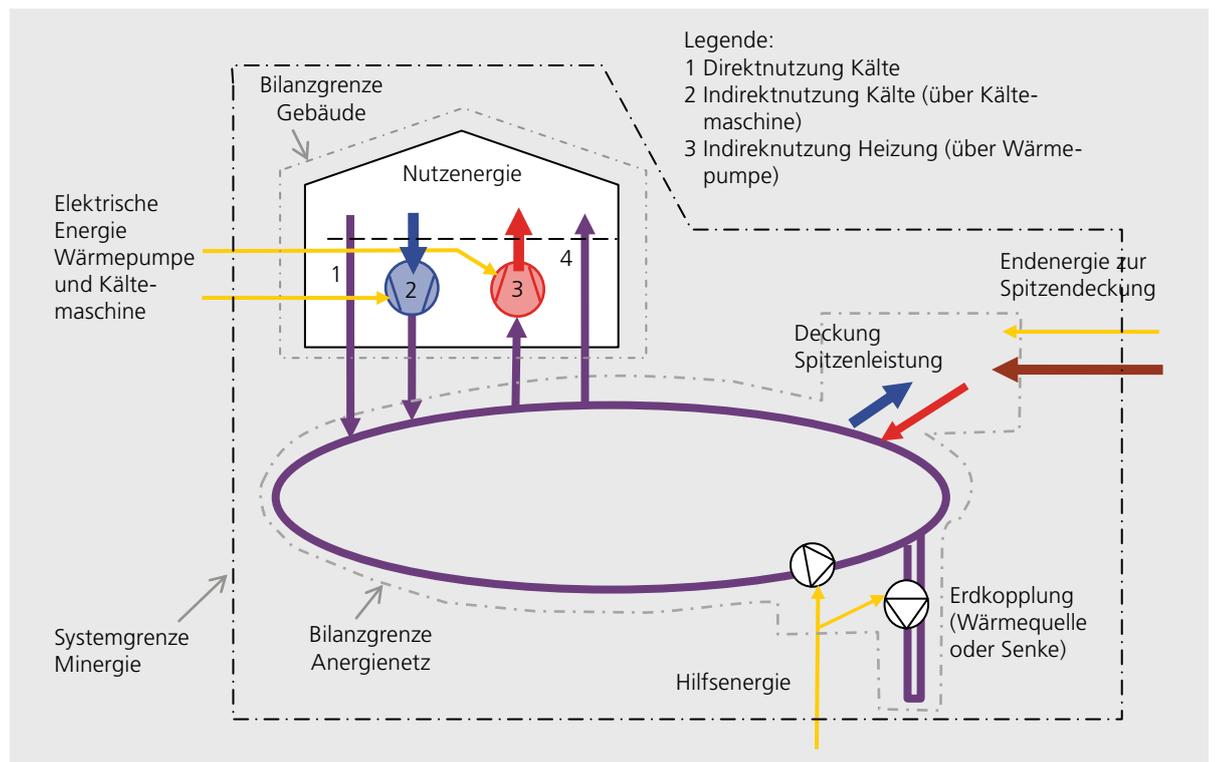
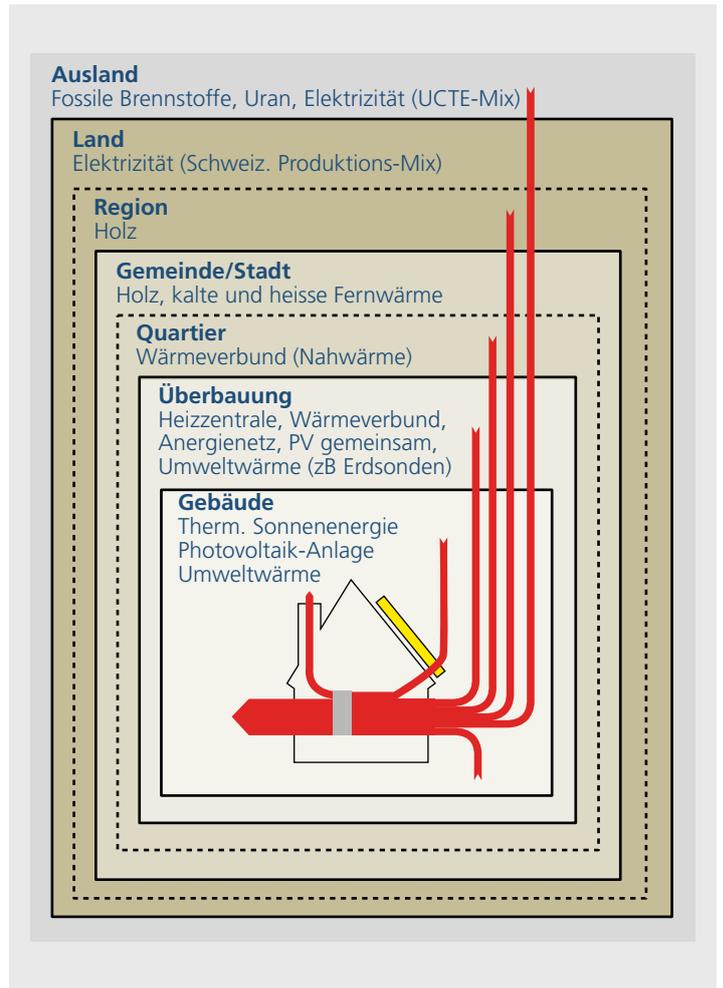


Abbildung 11: Anergienetz. Quelle: Anwendungshilfe Minergie, www.minergie.ch

an verschiedene Bezüger ab (Heizbetrieb) und nimmt andererseits Wärme von Bezügern auf (Kühlbetrieb). Zudem ist eine Kopplung ans Erdreich möglich (Erdsonden). Allenfalls kann eine Spitzendeckung für Heizung respektive Kühlung vorhanden sein.»

### Von der Überbauung zur Stadt

Beim Überschreiten der Grenze von der Überbauung zum Quartier und zur Gemeinde oder gar zur Stadt verändert sich die Situation grundlegend. Bauherrschaften und Gebäudeplaner nutzen Versorgungsangebote einerseits und professionelle Energieanbieter sowie Kommunalplaner und Gemeindepolitiker agieren als Energieversorger bzw. Infrastruktur-Gestalter andererseits. Nebst den Möglichkeiten des Gebäudes und der Überbauung können weitere Optionen zur Diskussion stehen, vor allem Versorgungsnetze aller Art: heisse und kalte Nah- und Fernwärme beispielsweise.

Gemeinden werden in Zukunft eine aktivere Energieplanung betreiben. Dazu gehört eine detaillierte Erfassung und Kartierung aller kommunalen Ressourcen und die Bedingungen für die Beschaffung extrakommunaler Energien sowie die Analyse und Prognose von Energiebedarfswerten für die unterschiedlichen Nutzungen. Abbildung 12 illustriert die Ressourcener-

fassung am Beispiel der Stadt Zürich. Daraus wird auch deutlich, dass mit dem Übergang in das nachfossile Zeitalter der Energieversorgung eine übergeordnete Koordination und Steuerung unumgänglich wird. Auch Bauherrschaften und Gebäudeplaner von Einzelgebäuden werden in Zukunft von solchen neuen Rahmenbedingungen betroffen sein. Natürliche Ressourcen wie See-, Fluss- und Grundwasser werden nach Plan und gesetzlichen Vorgaben erschlossen und genutzt werden müssen. Erdsonden-Wärmepumpenanlagen als Schlüsseltechnologie der zukünftigen Wärmeversorgung werden in einer Dichte auftreten, die voraussichtlich eine systematische Wärmeregeneration zur Pflicht machen wird.

### Kontroverse Debatte

Das regionale und das nationale Umfeld sind vor allem für den Energiemix und die Angebotspalette weiterer Energieträger wie Holz wichtig. Die internationale Ebene ist dies in ähnlicher Art für das Angebot an herkömmlichen Energieträgern (fossile und Uran), aber auch für Elektrizität aus erneuerbaren Quellen (Wind und Photovoltaik). Gebäudeplaner und Bauherrschaften müssen heute noch für sich selbst entscheiden, ob sie Nähe als positiv und Distanz als Nachteil bewerten wollen, was die Herkunft der Energie angeht. In der of-

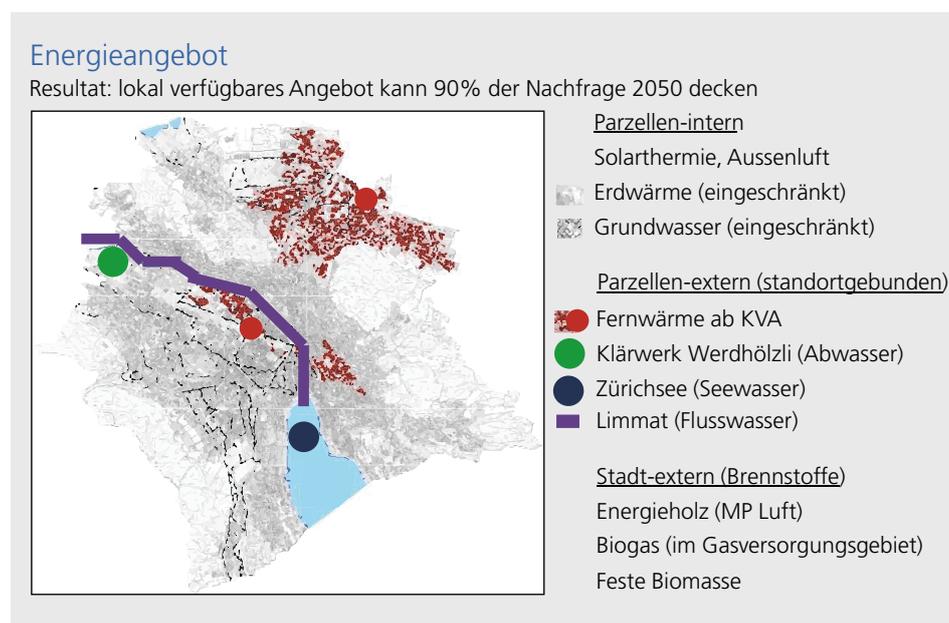


Abbildung 12: Übersicht der erneuerbaren Energieressourcen am Beispiele der Stadt Zürich. Quelle: B. Bébié, Energiebeauftragter der Stadt Zürich.

fiziellen Debatte sind die Meinungen dazu noch kontrovers. Minergie verlangt, dass für das Gebäudelabel anrechenbare Energieerzeugung auch auf dem Gebäude zu realisieren ist. Für die Erreichung der Ziele des SIA Effizienzpfades Energie ist der Zukauf von Photovoltaik-Strom aus dem Ausland zulässig.

Areale, Siedlungen oder gar Städte sind wesentlich komplexer als Gebäude, sie weisen komplizierte Entscheidabläufe auf und Energiefragen sind eng mit anderen Politikbereichen verknüpft. So ist selbstverständlich die Verdichtungsplanung in Gemeinden in höchstem Masse energie-relevant und ist das politische Instrument des Ausnützungsbonus (z. B. im Rahmen von Sonderbauvorschriften bei Arealüberbauungen) ausserordentlich wirksam. Das Umfeld für Gebäudeplaner wird sich durch die intensivierten energieplanerischen Aktivitäten der Gemeinden stark ändern. Es werden neue, ortsbezogene Bestimmungen zu berücksichtigen sein und neue Energieversorgungsangebote zur Verfügung stehen. Der Gebäudeplaner wird auf dieser Ebene tendenziell allerdings vom Agierenden zum Reagierenden. Dies ist auch die Ebene, auf der wirklich wirksame Massnahmen getroffen werden können, beispielsweise durch eine bessere Erschliessung durch den Öffentlichen Verkehr. Denn der durch ein Gebäude induzierte Verkehr ist gemäss Merkblatt SIA 2039 «Mobilität» zu berücksichtigen.

### Instrumente zur Beurteilung und Planung von Arealen

**Zertifizierung von 2000-Watt-Arealen:** «Arealentwicklung für die 2000-Watt-Gesellschaft, Leitfaden und Fallbeispiele», Intep, Bundesamt für Energie, Bern 2012; Unterlagen und Rechenhilfe auf [www.2000watt.ch](http://www.2000watt.ch)

**Sméo:** Frei zugängliches Online-Tool für die Bewertung und Optimierung von Quartieren hinsichtlich Nachhaltigkeit.

Auch die grossen internationalen Labels für nachhaltiges Bauen haben Tools und Zertifizierungsangebote für Areale und Quartiere, so beispielsweise DGNB, LEED und BREEAM.

# Gebäude – Form und Hülle

## Gregor Steinke **Baukörper**

Die Form des Baukörpers, der Wärmeschutz der Gebäudehülle und die Ausrichtung, Verschattung, Grösse und Art der Verglasungsflächen haben eine zentrale Bedeutung für die Energieeffizienz des Gebäudes. In der frühen Entwurfsphase wird mit der Festlegung der Gebäudeform und der Gliederung der Fassaden sowohl eine wichtige Weichenstellung für den Bedarf an Grauer Energie und Betriebsenergie, als auch für die Baukosten vorgenommen.

Kompaktheit im Sinne des energieeffizienten Bauens wird mit der Gebäudehüllzahl (Verhältnis von thermischer Gebäudehüllfläche zur Energiebezugsfläche) zum Ausdruck gebracht (Abbildung 13). Die dominanten Faktoren der Kompaktheit sind absolute Grösse des Baukörpers und Vielgeschossigkeit. Der Grad an Kompaktheit ist jedoch recht variabel und nicht in jedem Fall visuell direkt erfassbar. Ein sehr kompakter Baukörper kann durch feingliedrig gestaltete vorgesetzte Elemente wie Bal-

kone, Laubengänge und andere offene Anbauten sehr zergliedert wirken. Umgekehrt kann ein visuell sehr kompakt erscheinender Grossblock wegen eingezogener Balkone tatsächlich relativ unkompakt sein (Abbildung 14). Zergliederte Baukörper und Fassaden mit Einschnitten, Vor- und Rücksprünge haben ein schlechteres Verhältnis von Gebäudehüllfläche zu Energiebezugsfläche. Während der Heizperiode geht über die Gebäudehülle durch Transmission und Lüftung Wärme verloren. Je grösser die Gebäudehüllfläche im Verhältnis zur Energiebezugsfläche, umso höher ist bei gleichem Wärmeschutz der Gebäudehülle der Heizwärmebedarf. Deshalb muss im Umkehrschluss ein weniger kompaktes Gebäude besser als ein kompaktes Gebäude gedämmt werden, wenn der gleiche Heizwärmebedarf erreicht werden soll. Im Gegensatz zu Neubauten ist bei Erneuerungen die Form des Baukörpers gegeben. Durch Anbauten, Aufstockung oder Integration von Loggien in den Grundriss kann die Kompaktheit erhöht

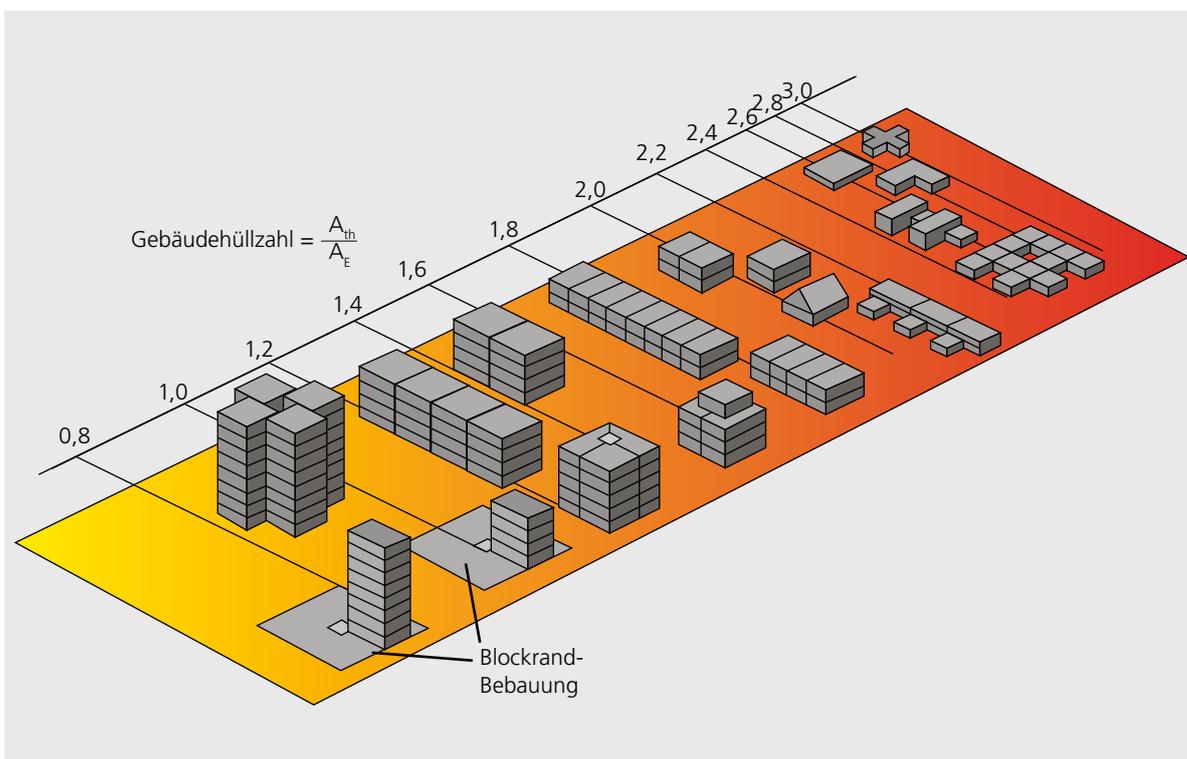
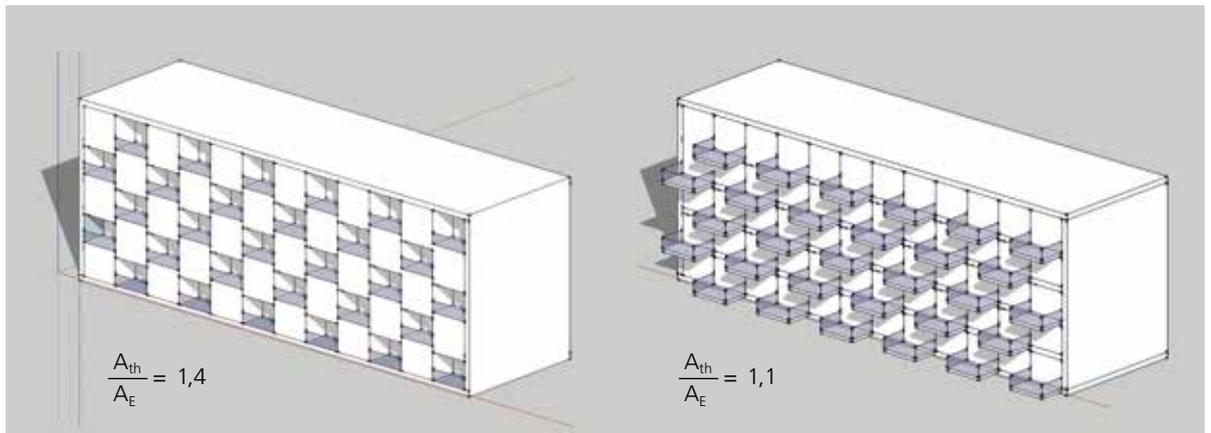


Abbildung 13:  
Kompaktheit und  
Gebäudehüllzahl.  
Quelle: [1]

werden. Kompakte Bauweise hat gegenüber zergliederten Baukörpern folgende Vorteile: geringerer Flächenbedarf/Baulandbedarf, grössere Einwohnerdichte, kostengünstiger, konstruktiv einfacher, weniger graue Energie, geringerer Bedarf an Baumaterial, geringere Eigenbeschattung, geringerer Heizwärmebedarf, geringere Betriebskosten. Allerdings sind der Kompaktheit durch die Notwendigkeit ausreichender natürlicher Belichtung Grenzen gesetzt. Dem geringeren Heizwärmebedarf durch kompaktere Bauweise kann bei grosser Gebäudetiefe ein höherer Elektrizitätsbedarf für künstliche Beleuchtung gegenüberstehen. Zudem steht bei kompakteren Gebäuden weniger Gebäudevüllfläche zur Stromerzeugung durch Photovoltaik zur Verfügung, was die Umsetzung von Null- oder Plusenergiekonzepten erschwert.

*Abbildung 14: Das Gebäudevolumen mit den Loggien wirkt recht kompakt, hat aber auf der Südfassade 111 % mehr Gebäudevüllfläche. Bei gleicher Energiebezugsfläche hat das Gebäude mit Loggien eine Gebäudehüllzahl 1,37, das Gebäude mit vorgehängten oder vorgestellten Balkonen eine Gebäudehüllzahl 1,06.*



Auch die Gebäudestruktur wirkt sich wesentlich auf die graue Energie, Betriebsenergie und Kosten aus. Durch ein Tragwerk mit optimierten Spannweiten und reduzierten Deckendicken kann der Aufwand für die Erstellung minimiert werden. Ein effizientes Steigzonen- und Trassenkonzept mit kurzen Leitungslängen trägt zum energieeffizienten Betrieb bei.

## Gebäudehülle

Die thermische Gebäudehülle muss die die beheizten Bereiche des Gebäudes lückenlos umschliessen. Bei bestehenden Bauten ist dies nicht immer der Fall und oft ist es eine der ersten Aufgaben bei der Planung der Gebäudeerneuerung, eine zukünftig geschlossene thermische Gebäudehülle zu definieren. Unbeheizte Bereiche, z. B. Treppenhäuser oder Kellerräume, können auch in die thermischen Gebäudehülle integriert werden. Somit lassen sich eine unnötige

*Abbildung 15: Verlauf der thermischen Gebäudehülle, links Keller und Dach ausserhalb der thermischen Hülle, rechts Keller und Dach in der thermischen Gebäudehülle.*



tig grosse Abwicklung, komplizierte Bauteilanschlüsse und Wärmebrücken vermeiden (Abbildung 15).

Die Aufteilung des Wärmeschutzes, etwa bei unbeheizten Pufferräumen und verglasten Loggien, ist möglich, aber problematisch. Die faktische Nutzung solcher Räume als vollwertige Wohnräume liegt nahe und kann zu sehr grossen Heizwärmeverlusten führen. Grundsätzlich ist daher anzustreben, dass die thermische Gebäudehülle in der äussersten Schicht des geschlossenen Baukörpers realisiert wird. Daraus ergibt sich auch das Postulat, dass unbeheizte Kellergeschosse innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegen sollten, d.h. die Dämmung im Kellerboden platziert sein sollte, wo dies möglich ist. Die Kellerräume werden so trockener und das Risiko, dass sehr kalte und unbeheizte Kellerräume behelfsmässig beheizt bzw. temperiert werden, wird vermindert. In Kom-

ination mit einer Fussbodenheizung bzw. dem Trittschallschutz der Erdgeschossdecke lässt sich die Decke über dem Keller mit einem gewissen Wärmeschutz ausstatten, der die Auskühlrisiken begrenzt. Bei Erneuerungen ist die Dämmung der Kellerdecke meist einfacher und oft auch bauphysikalisch deutlich harmloser, als die Innendämmung des kalten Kellers.

### Wärmeschutz

Der Wärmeschutz der Gebäudehülle hat verschiedene Funktionen:

- das Sicherstellen ausreichend hoher Innenoberflächentemperaturen der Aussenbauteile zum Schutz der Nutzer vor gesundheitsschädlichen, feuchtebedingt auftretenden Schimmelpilzen an den Innenoberflächen der Aussenwand
- den Schutz der Bausubstanz vor Feuchteschäden durch Vermeidung kritischer Oberflächentemperaturen.

Grenzwerte in W/(m <sup>2</sup> K)	SIA 180	SIA 380/1 Einzelbauteilnachweis	
		Neubau	Umbau
Opake Bauteile gegen Aussenklima oder weniger als 2 m im Erdreich ■ Dach, Decke, Boden ■ Aussenwand	0,40	0,17	0,22 0,25
■ Fenster ■ mit direkt vorgelagerten Heizkörpern	2,4	1,2 0,90	1,2 0,90
Opake Bauteile gegen unbeheizt oder mehr als 2 m im Erdreich ■ Dach, Boden, Aussenwand ■ Oberste Decke gegen unbeheizt	0,60 0,50	0,21	0,28

Tabelle 3: Anforderungen U-Werte SIA 380/1 Einzelbauteilnachweis (Vernehmlassung 2013) und Mindestwärmeschutz SIA 180. Quelle: [2]

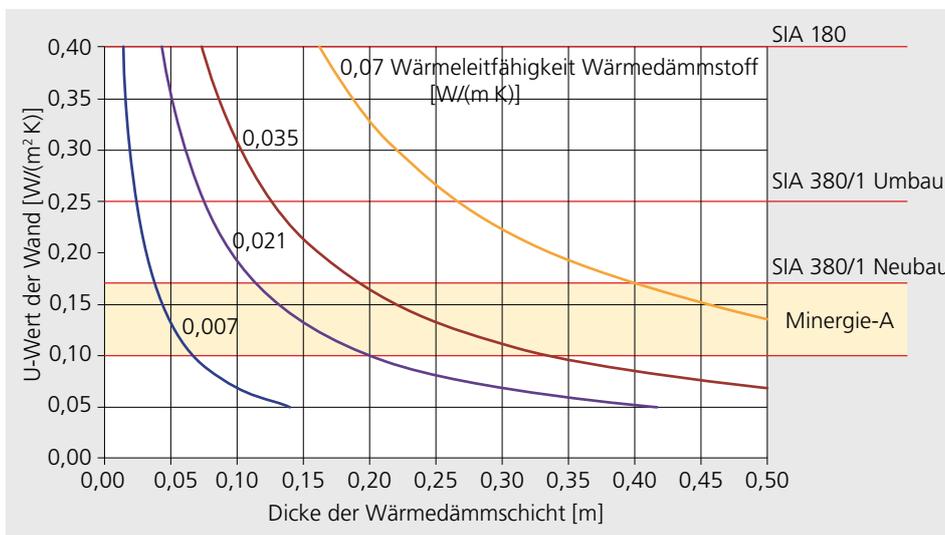


Abbildung 16: Erforderliche Wärmedämmdicken in Abhängigkeit zur Wärmeleitfähigkeit des Wärmedämmstoffs.

■ das Sicherstellen der thermischen Behaglichkeit für die Nutzer. Je besser der Wärmeschutz der Gebäudehülle, umso höher sind die Oberflächentemperaturen an der Innenseite der Aussenwand und umso höher ist die Behaglichkeit. Geringe Unterschiede der Temperatur verschiedener Oberflächen eines Raumes (Innenwände, Aussenwände, Boden, Decke) haben positiven Einfluss auf die Behaglichkeit.

■ die Reduzierung der Umweltbelastung durch Verringerung des Heizwärmebedarfs. Die Höhe des Heizwärmebedarfs hängt von der Höhe der Transmissionswär-

meverluste ab. Je geringer der U-Wert, desto geringer sind die Transmissionswärmeverluste.

Anforderungen an den Wärmeschutz der Gebäudehülle sind in Tabelle 4 dargestellt. Erforderliche Wärmedämmstärken verschiedener Anforderungsniveaus sind in Abbildung 16 enthalten.

Fensterflächen verursachen aufgrund schlechterer U-Werte im Vergleich zu opaken Bauteilen zwar höhere Transmissionswärmeverluste, liefern aber auch die für die Energiebilanz des Gebäudes wichtigen

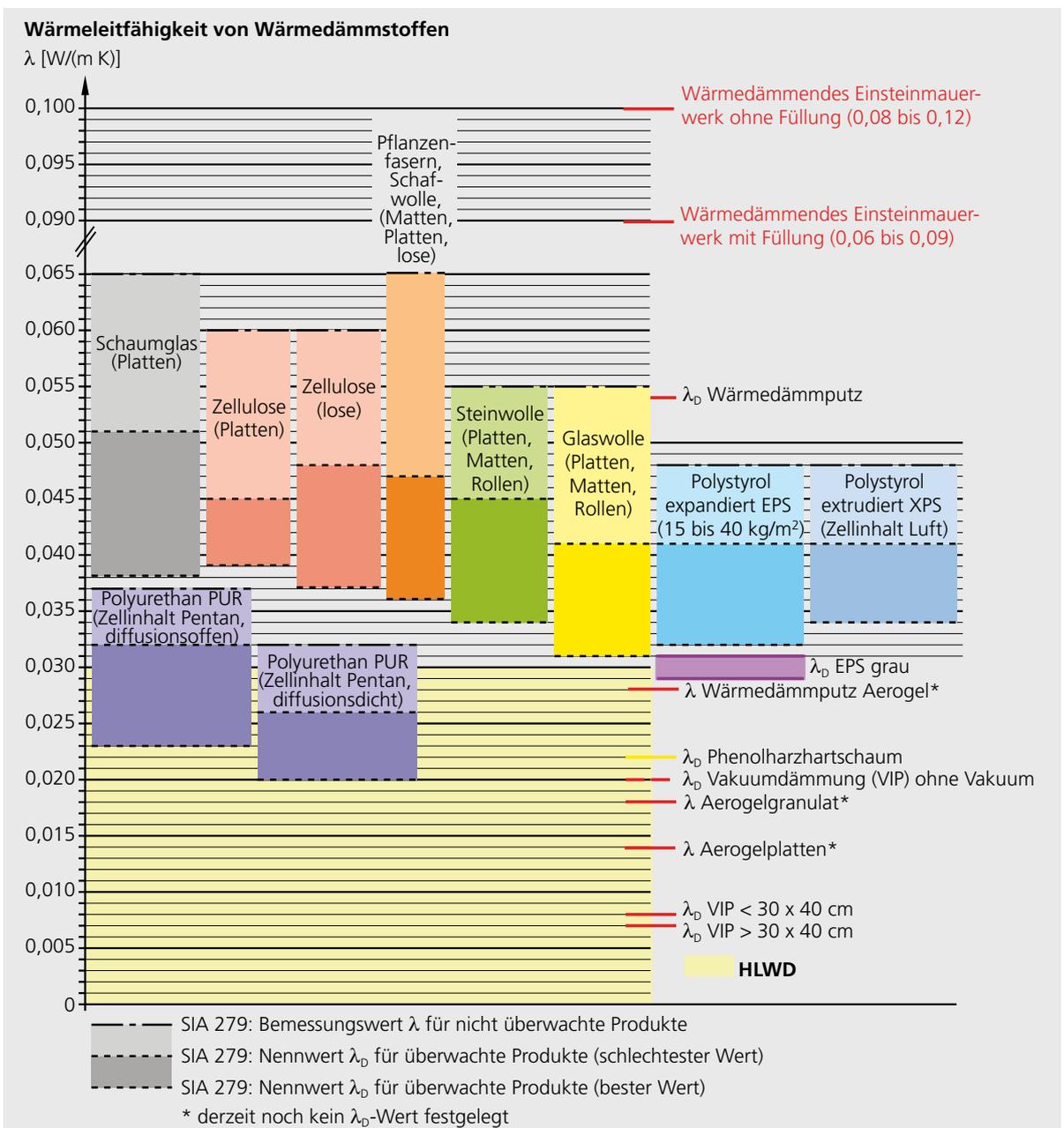


Abbildung 17:  
 Wärmeleitfähigkeit  
 von Wärmedämm-  
 stoffen, Stand  
 1/2013. Quelle: [3]

passiven Solargewinne. Für die Höhe der passiven Solargewinne sind Strahlungsangebot, Ausrichtung, Verschattung, Grösse und Energiedurchlassgrad (g-Wert) der Verglasungsflächen in der Gebäudehülle entscheidend. In Abhängigkeit von Fenstergrösse und Rahmen- und Verglasungskennwerten können unverschattete süd-, ost- und westorientierte Glasflächen mit Dreifachverglasung in der Summe von Transmissionswärmeverlusten und Solargewinnen eine positive Energiebilanz aufweisen. Dieses Bauteil ist somit ein Energiegewinnbauteil. Je höher der Verglasungsanteil der Fassade, umso grösser ist das Risiko der Überhitzung durch hohe Solarwärmelasten und umso wichtiger sind Massnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz. Bei geringen Aussentemperaturen kann es raumseitig zum Kaltluftabfall an den Fensterflächen kommen. Je schlechter der U-Wert und je höher das Fenster, umso stärker ist der Kaltluftabfall.

### Wärmedämmstoffe

Für den Wärmeschutz der opaken Bauteile der thermischen Gebäudehülle sind Wärmedämmstoffe von zentraler Bedeutung. Unter Wärmedämmstoffen versteht man Materialien, deren Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$

höchstens  $0,1 \text{ W/(mK)}$  beträgt. Die Wärmeleitfähigkeit setzt sich aus der Wärmeübertragung durch Konvektion in den Poren, Wärmeleitung im Feststoffanteil zwischen den Poren und der Wärmestrahlung zwischen den Porenwänden zusammen. Entscheidende Einflussgrössen für die Wärmeleitfähigkeit sind die Porengrösse, Eigenschaften des Gases oder Vakuum in den Poren und die Beschaffenheit des Gerüsts um die Poren herum. Wärmedämmstoffe müssen je nach Einsatzgebiet neben ihrer Aufgabe des Wärmeschutzes Anforderungen an Brandschutz, Druckfestigkeit, Wasserdampfdurchlässigkeit, Wasserbeständigkeit, Dauerhaftigkeit etc. erfüllen. Wärmedämmstoffe werden aus natürlichen oder künstlichen, organischen oder anorganischen Materialien hergestellt. Die Wärmeleitfähigkeit verschiedener Wärmedämmstoffe ist in Abbildung 17 dargestellt.

Synthetische anorganische Materialien, wie z. B. Glas- und Steinwolle und synthetische organische Dämmstoffe, wie z. B. EPS, XPS und PUR haben einen Anteil von über 90 % am Dämmstoffmarkt. Bei der Auswahl des Wärmedämmstoffs sollte neben den geforderten Eigenschaften für den Gebrauch auch die Umweltbelastung

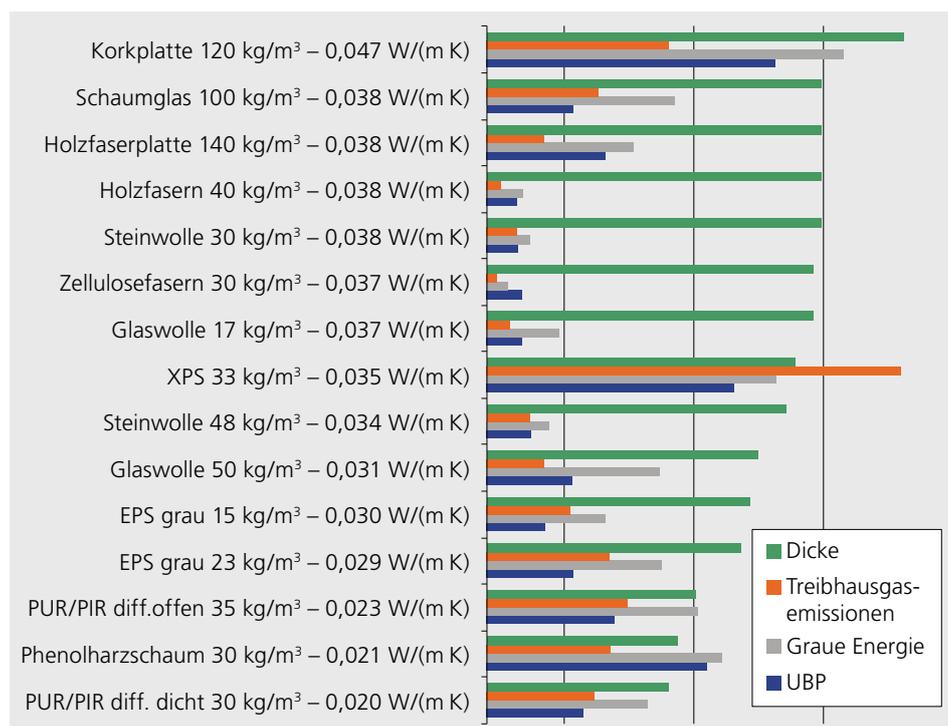


Abbildung 18: Umweltbelastung verschiedener, Wärmedämmstoffe referenziert auf einen U-Wert von  $0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Quelle: [4], [5]

bei der Herstellung berücksichtigt werden (Abbildung 18).

Mit Aerogelen, Nanoschäumen und Vakuumdämmpaneelen stehen Wärmedämmungen zur Verfügung, die eine zwei- bis fünffach geringere Wärmeleitfähigkeit haben, als herkömmliche Wärmedämmstoffe. Diese Hochleistungswärmedämmstoffe (HLWD) werden aufgrund höherer spezifischer Materialpreise meist als Problemlöser an Stellen der Gebäudehülle eingesetzt, wo wenig Platz für Wärmedämmung zur Verfügung steht, durch den Platzbedarf für Wärmedämmung wertvolle Nutzfläche verloren geht oder dickere Dämmstoffschichten konstruktive Probleme verursachen würden.

#### **Anwendungsbeispiele für HLWD**

- Verbesserter Wärmeschutz bei: thermischen Schwachstellen, z. B. Rollladenkästen, Boden/Decke trotz geringer Raumhöhe, Aussenwanddämmung trotz geringer Gehwegbreite
- Konstruktive Vereinfachung z. B. Aussenwanddämmung bei geringem Dachüberstand
- Nutzflächengewinn bei Innendämmung oder festgelegten Aussenabmessungen des Gebäudes
- Schmale Ansichtsbreiten und bessere Raumausnutzung bei Lukarnen
- Komfortgewinn durch schwellenlosen Übergang bei Dachterrassen/Loggien oder Tiefkühlräumen

## **Opake Bauteile der thermischen Gebäudehülle**

### **Dach und oberste Geschossdecke**

Bei Dächern lässt sich häufig ohne hohen Mehraufwand ein sehr guter Wärmeschutz (U-Wert 0,10–0,15 W/(m<sup>2</sup>K)) mit dicken Wärmedämmstoffschichten realisieren. So lassen sich beim SIA 380/1-Systemnachweis weniger gut wärmegeämmte Bereiche der Gebäudehülle kompensieren.

Bei Steildächern werden die Sparren in der Regel über die gesamte Höhe ausgedämmt (Abbildung 19). Eine Kombination der Zwischensparrendämmung mit einer Untersparren- oder Aufsparrendämmung reduziert den Wärmeverlust der Sparren und erlaubt geringere Bauteilhöhe im Vergleich zu Konstruktionen, welche nur zwischen den Sparren gedämmt sind. Diese Konstruktionen sind insbesondere bei Erneuerungen empfehlenswert, falls die Sparrenhöhe gering ist. Wenn die innere Bekleidung der Schrägdachkonstruktion einen ausreichend hohen Dampfdiffusionswiderstand aufweist (z. B. OSB- oder Dreischichtplatte) und die Plattenstöße abgeklebt werden, kann auf eine Dampfbremse verzichtet werden.

Flachdächer werden im Massivbau in der Regel als unbelüftete Warmdachkonstruktionen ausgeführt (Abbildung 20). Über der Wärmedämmung ist die Dachabdichtung angeordnet. Unter der Wärmedämmung muss eine Dampfbremse installiert sein, um ein Durchfeuchten der Wärmedämmung durch Dampfdiffusion aus dem Innenraum zu vermeiden.

Bei sämtlichen Durchdringungen der Dachfläche und Anschlüssen an Wände, Stützen und Balken muss eine lückenlose Luftdichtigkeitsschicht ausgeführt werden. Ansonsten können durch unkontrolliertes Durchströmen der Wärmedämmung mit warmer feuchter Raumluft massive Feuchteschäden auftreten. Die nachträgliche Wärmedämmung der obersten Geschossdecke ist eine sehr effektive und kostengünstige Massnahme zur Verbesserung des Wärmeschutzes, falls das Dachgeschoss bei bestehenden Gebäuden nicht ausgebaut ist und nicht beheizt wird.

**Aussenwand**

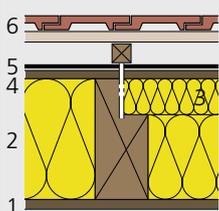
Bei Neubauten ermöglichen vorgefertigte Holzsystembauelemente hochgedämmte und vergleichsweise schlanke Konstruktionen. Die Fassadenelemente können lasttragend (Holzbau) oder nicht tragend (Hybridbauweise mit tragender innerer Massivbaustruktur) ausgeführt werden. Die nicht tragenden Elemente haben schmalere Holzrahmen und einen geringeren Holzanteil. Der Wärmeverlust der Holzrahmen lässt sich durch einen zweischaligen Aufbau mit durchgehender äusserer Wärmedämmschicht reduzieren und erlaubt geringere Bauteiltiefen im Vergleich zu Konstruktionen, welche nur zwischen den

Rahmen gedämmt sind. Abbildung 21 zeigt verschiedene Varianten. Den äusseren Abschluss bildet eine hinterlüftete Bekleidung oder eine verputzte Wärmedämmschicht. In Abhängigkeit der Gebäudehöhe sind zusätzliche Brandschutzmassnahmen notwendig. Für Erneuerungen von Massivbauten können in den vorgefertigten Wandmodulen auch Lüftungsleitungen verlegt werden.

Verputzte Aussenwärmedämmung (Kompaktfassade) auf massiver Aussenwand ist im Neubau und bei Erneuerungen eine der am häufigsten anzutreffenden Konstruktionen (Abbildung 22). Im Vergleich weist

Abbildung 19: Steildach. Quelle: [6]

**Steildach**



**Variante 1**

- 6 Konterlattung, Lattung, Dacheindeckung
- 5 optional Unterdachbahn
- 4 optional Holzwerkstoffplatte
- 2 Sparren Höhe variabel (Holzanteil 8% / 16%)
- 1 Dreischicht- od. OSB-Platte alternativ Gipskarton
- Installationshohlraum
- Dampfbremse

$\lambda$  [W/(m K)]

- 
- 
- 0,09
- 0,13
- variabel
- 0,13
- 0,24
- 
- 

**Variante 2**

- 6 Konterlattung, Lattung, Dacheindeckung
- 5 optional Unterdachbahn
- 4 optional Holzwerkstoffplatte
- 3 Aufsparrendämmung
- 2 Sparren Höhe 18 cm (Holzanteil 8% / 16%)
- 1 Dreischicht- oder OSB-Platte alternativ Gipskarton
- Installationshohlraum
- Dampfbremse

$\lambda$  [W/(m K)]

- 
- 
- 0,09
- variabel
- 0,13
- 0,036
- 0,13
- 0,24
- 
- 

**Variante 1 (einschalig)**

**Erforderliche Dämmschichtdicke [m] in Abhängigkeit vom Holzanteil, U-Wert und Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht**

Holzanteil der Konstruktion	8%					16%					Beispiele
	U-Wert [W/(m² K)]	0,20	0,17	0,15	0,12	0,10	0,20	0,17	0,15	0,12	
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,042$ W/(m K)	0,21	0,26	0,29	0,38	0,46	0,24	0,29	0,34	0,43	0,52	Grasfasern lose
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,038$ W/(m K)	0,20	0,24	0,27	0,35	0,42	0,23	0,27	0,32	0,40	0,49	Zellulosefasern, Holzfasermatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,036$ W/(m K)	0,19	0,23	0,26	0,33	0,41	0,22	0,27	0,31	0,39	0,48	Schafwoll-, Pflanzenfasermatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,034$ W/(m K)	0,18	0,22	0,25	0,32	0,39	0,21	0,26	0,30	0,38	0,46	Mineralwollmatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,032$ W/(m K)	0,17	0,21	0,24	0,31	0,37	0,21	0,25	0,29	0,37	0,44	Mineralwollmatte

**Variante 2 (zweischalig)**

**Erforderliche Dicke der Aufsparrendämmung [m] in Abhängigkeit vom Holzanteil, U-Wert und Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht**

Holzanteil der Konstruktion	8%					16%					Beispiele
	U-Wert [W/(m² K)]	0,20	0,17	0,15	0,12	0,10	0,20	0,17	0,15	0,12	
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,043$ W/(m K)	0,02	0,06	0,09	0,17	0,24	0,05	0,09	0,12	0,19	0,26	Holzfasermatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,036$ W/(m K)	0,02	0,05	0,08	0,14	0,20	0,04	0,07	0,10	0,16	0,22	Mineralwollplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,032$ W/(m K)	0,02	0,05	0,07	0,12	0,18	0,04	0,06	0,09	0,14	0,20	Mineralwollplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,028$ W/(m K)	0,01	0,04	0,06	0,11	0,15	0,03	0,06	0,08	0,13	0,17	PUR-Aufdachelement
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,022$ W/(m K)	0,01	0,03	0,05	0,08	0,12	0,02	0,04	0,06	0,10	0,13	PUR-Aufdachelement alukaschiert
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,018$ W/(m K)	0,01	0,03	0,04	0,07	0,10	0,02	0,04	0,05	0,08	0,11	Aerogelmatte

dieser Bauteilaufbau die geringsten Investitionskosten, aber auch kürzere Instandhaltungsintervalle auf.

■ Es dürfen nur aufeinander abgestimmte Systemkomponenten eingesetzt werden, d.h. Kleber, Wärmedämmung, eingebettetes Armierungsgewebe und Deckputz müssen zueinander passen.

■ Die Wärmedämmschicht besteht meist aus plattenförmigen Wärmedämmstoffen, kann aber auch aus Wärmedämmputz mit z.B. EPS-, Perlite- oder Aerogelzuschlügen bestehen.

■ Das Fenster sollte möglichst in der Wärmedämmebene vorgesehen werden, um Wärmebrückenverluste des Fensteranschlusses zu reduzieren, und passive Solargewinne zu erhöhen.

■ Im Systemaufbau können anstelle des Aussenputzes auch keramische Materialien oder Spaltklinker auf die Wärmedämmschicht geklebt werden.

■ Aus Brandschutzgründen können bei entflammaren Wärmedämmstoffen horizontale Brandriegel oder Fenstersturzdämmung aus nicht brennbaren Wärmedämmstoffen notwendig sein. In bestimmten Fällen dürfen nur nicht brennbare Materialien eingesetzt werden (z. B. Hochhaus).

■ Auf hochgedämmten beschatteten Fassaden kann Algenbildung auftreten. Putze/

Anstriche mit Bioziden können das Auftreten verzögern. Allerdings werden die Stoffe durch Niederschläge ausgewaschen und gelangen in die Umwelt. Dickputzsysteme respektive Wärmedämmstoffe hoher Wärmespeicherkapazität können der Algenbildung entgegenwirken.

■ Rückbau mit getrenntem Recycling der Bauteilschichten ist kaum möglich.

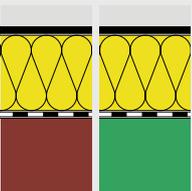
Bei Aussenwärmedämmung mit hinterlüfteter Bekleidung übernehmen die verschiedenen, voneinander getrennten Bauteilschichten unterschiedliche Funktionen der Aussenwand, was zu guten bauphysikalischen Eigenschaften führt. Für die äussere Bekleidung steht eine Vielzahl verschiedener Materialien und Unterkonstruktionen zur Verfügung. Beispielsweise kann eine Bekleidung aus Photovoltaikmodulen zur Stromerzeugung am Gebäude eingesetzt werden.

■ Thermisch optimierte Unterkonstruktionen mit geringen Wärmebrückenzuschlägen wählen. z. B. GFK-Wärmedämmkonsolen (Abbildung 23).

■ Durchströmung der Wärmedämmung (Faserdämmstoffe) bei Wind muss durch winddichte diffusionsoffene Schutzlage auf der Wärmedämmung vermieden werden.

Abbildung 20:  
Flachdach massiv,  
Warmdach.  
Quelle: [6]

#### Flachdach massiv, Warmdach

6		6 Schutz- und Nutzschichten	$\lambda$ [W/(m K)]
5		5 Abdichtung	–
4		4 Wärmedämmschicht	variabel
3		3 Dampfbremse	–
2		2 Massivholz oder Stahlbeton	0,13 / 2,30
1		1 Innenputz	0,70

**Variante:** Oberste Geschossdecke gegen unbeheizt, massiv. Analog Flachdachaufbau, allerdings ohne Dampfsperre und Abdichtung. In Abhängigkeit zur Nutzung des Estrichs bildet ein Unterlagsboden oder eine Holzwerkstoffplatte den oberen Abschluss.

#### Erforderliche Dämmschichtdicke [m] in Abhängigkeit vom Material der Rohdecke, U-Wert und Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht

Material Rohdecke	Massivholz					Stahlbeton					Beispiele
U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10	
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,041$ W/(m K)	0,09	0,13	0,17	0,20	0,34	0,15	0,19	0,23	0,26	0,40	Schaumglasplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,035$ W/(m K)	0,08	0,11	0,15	0,17	0,29	0,13	0,17	0,20	0,22	0,34	Mineralwollplatte. XPS
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,030$ W/(m K)	0,07	0,10	0,12	0,15	0,25	0,11	0,14	0,17	0,19	0,29	EPS-Platte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,027$ W/(m K)	0,06	0,09	0,11	0,13	0,22	0,10	0,13	0,15	0,17	0,26	PUR-Platte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,022$ W/(m K)	0,05	0,07	0,09	0,11	0,18	0,08	0,10	0,12	0,14	0,21	PUR-Platte alukaschiert
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,018$ W/(m K)	0,04	0,06	0,07	0,09	0,15	0,07	0,09	0,10	0,12	0,18	Aerogelplatten
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,008$ W/(m K)	0,02	0,03	0,03	0,04	0,07	0,03	0,04	0,04	0,05	0,08	Vakuumdämmplatten

- Auf eine lückenlos verlegte Wärmedämmung um die Konsolen und Verankerungen achten.
- Bei Unterkonstruktionen mit Distanzschrauben wird zuerst die Wärmedämmung vollflächig montiert und anschließend die Unterkonstruktion auf den tragenden Untergrund verankert.

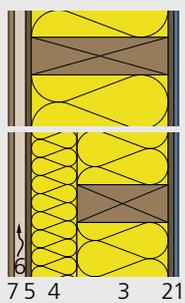
Mit wärmedämmendem Mauerwerk (Abbildung 25) lassen sich verputzte monolithische Aussenwandkonstruktionen ohne zusätzliche Wärmedämmschichten erstellen, welche bei entsprechender Dicke auch hohe Anforderungen an den Wärme-

schutz erfüllen können. Erhältlich sind Porenbetonsteine und Backsteine mit optimierter Lochgeometrie. Die Hohlräume der Backsteine sind bei einigen Produkten zusätzlich mit Wärmedämmmaterial gefüllt. Lastabtragende Aussenwände können maximal drei- bis viergeschossig realisiert werden, da die Druckfestigkeit der Steine relativ gering ist. Die Verarbeitung erfolgt mit speziellem Dünnbettmörtel. Für Bauteilanschlüsse (z. B. Fensteranschlag) werden Sonderbauteile angeboten.

Verputztes Zweischalenmauerwerk mit dazwischenliegender Luftschicht ist im Be-

Abbildung 21: Aussenwand Holzrahmenkonstruktion. Quelle: [6]

**Aussenwand Holzrahmenkonstruktion**



**Variante 1 (einschalig)**

	$\lambda$ [W/(m K)]
1 Gipskarton	0,24
optional Installationshohlraum	–
2 Holzwerkstoffplatte	0,13
3 Holzrahmen Tiefe variabel (Holzanteil 10% / 13%)	0,13
Wärmedämmschicht	variabel
5 Holzwerkstoffplatte	0,13
6 Lattung/Hinterlüftung	–
7 Bekleidung	–

**Variante 2 (zweischalig)**

	$\lambda$ [W/(m K)]
1 Gipskarton	0,24
optional Installationshohlraum	–
2 Holzwerkstoffplatte	0,13
3 Holzrahmen 16 cm (Holzanteil 10% / 13%)	0,13
Wärmedämmschicht 16 cm	0,036
4 Wärmedämmschicht Überdämmung	variabel
6 Lattung/Hinterlüftung	–
- ca. 2,5 Schrauben pro m <sup>2</sup>	
- Wärmebrückenverlust pro Schraube ca. 0,001 W/K	
7 Bekleidung	–
alternativ zu 6+7 verputzte Aussenwärmedämmung	

**Variante 1 (einschalig)**

**Erforderliche Dämmschichtdicke [m] in Abhängigkeit vom Holzanteil, U-Wert und Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht**

Holzanteil der Konstruktion	10%					13%					Beispiele
	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,20	0,17	0,15	0,12	0,10	0,20	0,17	0,15	0,12	
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,042$ W/(m K)	0,23	0,27	0,31	0,40	0,48	0,24	0,29	0,33	0,42	0,51	Grasfasern lose
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,038$ W/(m K)	0,21	0,25	0,29	0,37	0,45	0,23	0,27	0,31	0,39	0,47	Zellulosefasern. Holzfasermatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,036$ W/(m K)	0,20	0,24	0,28	0,35	0,43	0,22	0,26	0,30	0,38	0,46	Schafwoll-. Pflanzenfasermatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,034$ W/(m K)	0,20	0,23	0,27	0,34	0,41	0,21	0,25	0,29	0,36	0,44	Mineralwollmatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,032$ W/(m K)	0,19	0,22	0,26	0,33	0,39	0,20	0,24	0,28	0,35	0,42	Mineralwollmatte

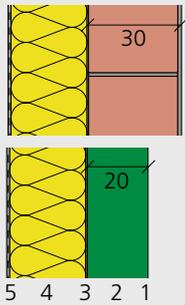
**Variante 2 (zweischalig)**

**Erforderliche Dicke der Überdämmung [m] in Abhängigkeit vom Holzanteil, U-Wert und Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht**

Holzanteil der Konstruktion	10%					13%					Beispiele
	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,20	0,17	0,15	0,12	0,10	0,20	0,17	0,15	0,12	
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,043$ W/(m K)	0,05	0,09	0,12	0,20	0,27	0,06	0,10	0,13	0,21	0,28	Holzfasermatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,036$ W/(m K)	0,04	0,07	0,10	0,17	0,23	0,05	0,08	0,11	0,17	0,24	Mineralwollplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,032$ W/(m K)	0,04	0,07	0,09	0,15	0,20	0,04	0,07	0,10	0,15	0,21	Mineralwollplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,018$ W/(m K)	0,02	0,04	0,05	0,08	0,11	0,02	0,04	0,06	0,09	0,12	Aerogelmatte

Abbildung 22:  
Kompaktfassade. Quelle: [6]

### Aussenwand Kompaktfassade



#### Konstruktionsaufbau

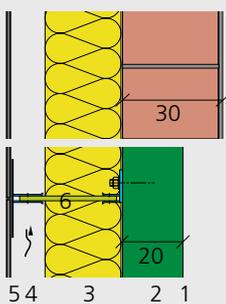
	$\lambda$ [W/(m K)]
1 Innenputz	0,70
2 Backstein oder Stahlbeton	0,35 / 2,3
3 Aussenputz (bei Bestandswand)	0,87
4 Klebemörtel	0,90
5 Wärmedämmschicht	variabel
6 Aussenputz und Armierung	0,90

### Erforderliche Dämmschichtdicke [m] in Abhängigkeit vom Material der Aussenwand, U-Wert und Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht

Material Aussenwand	Backstein					Stahlbeton					Beispiele
	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10	
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,045$ W/(m K)	0,14	0,18	0,22	0,26	0,41	0,17	0,21	0,25	0,29	0,44	Calziumsilikatschaumplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,040$ W/(m K)	0,12	0,16	0,20	0,23	0,36	0,15	0,19	0,22	0,26	0,39	Holzfaserplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,035$ W/(m K)	0,11	0,14	0,17	0,20	0,32	0,13	0,17	0,20	0,22	0,34	Mineralwollplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,030$ W/(m K)	0,09	0,12	0,15	0,17	0,27	0,11	0,14	0,17	0,19	0,29	EPS-Platte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,028$ W/(m K)	0,09	0,11	0,14	0,16	0,25	0,10	0,13	0,16	0,18	0,27	Aerogel-Wärmedämmputz
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,023$ W/(m K)	0,07	0,09	0,11	0,13	0,21	0,09	0,11	0,13	0,15	0,22	EPS-PIR Verbundplatten
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,018$ W/(m K)	0,06	0,07	0,09	0,10	0,16	0,07	0,09	0,10	0,12	0,18	Aerogelplatten

Abbildung 23:  
Hinterlüftete Fassade auf massiver Aussenwand  
mit Wärmedämmkonsole. Quelle: [6]

### Hinterlüftete Fassade auf massiver Aussenwand mit Wärmedämmkonsole



	$\lambda$ [W/(m K)]
1 Innenputz	0,70
2 Backstein oder Stahlbeton	0,35 / 2,3
3 Wärmedämmschicht	variabel
4 Hinterlüftung	–
5 Bekleidung	–
6 Wärmedämmkonsole	–
– etwa 2 Stück pro m <sup>2</sup> Aussenwand	
– Wärmebrückenverlust $\chi$ pro Konsole	etwa 0,0005 W/K

### Erforderliche Dämmschichtdicke [m] in Abhängigkeit vom Material der Aussenwand, U-Wert und Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht

Material Aussenwand	Backstein					Stahlbeton					Beispiele
	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10	
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,040$ W/(m K)	0,12	0,16	0,20	0,23	0,37	0,15	0,19	0,23	0,26	0,39	Mineralwollplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,038$ W/(m K)	0,12	0,16	0,19	0,22	0,35	0,14	0,18	0,21	0,24	0,37	Mineralwollplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,036$ W/(m K)	0,11	0,15	0,18	0,21	0,33	0,13	0,17	0,20	0,23	0,35	Mineralwollplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,034$ W/(m K)	0,11	0,14	0,17	0,20	0,31	0,13	0,16	0,19	0,22	0,33	Mineralwollplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,032$ W/(m K)	0,10	0,13	0,16	0,19	0,29	0,12	0,15	0,18	0,21	0,31	Mineralwollplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,018$ W/(m K)	0,06	0,07	0,09	0,10	0,17	0,07	0,09	0,10	0,12	0,18	Aerogelplatten

stand häufig anzutreffen. Falls bei einer Erneuerung innen- oder aussenseitig eine Wärmedämmung nicht möglich ist, kann der Hohlraum mit Einblasdämmstoffen (z. B. EPS, Blähglasgranulat, Aerogelgranulat) verfüllt werden. Im Neubau ist im Zwischenraum eine Wärmedämmschicht angeordnet (Abbildung 24). Der Abstand der

Mauerwerksschalen ist aus konstruktiven Gründen in der Regel auf 30 cm begrenzt.

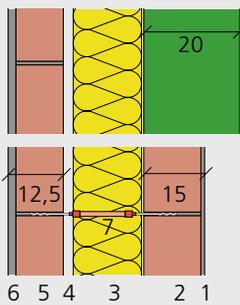
Bei Erneuerungen von Gebäuden mit Sichtfassaden ist oftmals nur eine Innenwärmedämmung möglich (Abbildung 26).

■ Ein intakter Schlagregenschutz ist für eine schadensfreie Konstruktion unabdingbar.

Abbildung 24: Zweischalenmauerwerk. Quelle: [6]

Abbildung 25: Einschaliges wärmedämmendes Mauerwerk. Quelle: [6]

**Zweischalenmauerwerk**

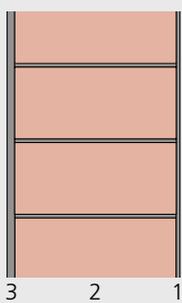


1 Innenputz	$\lambda$ [W/(m K)]
2 Backstein oder Sichtbeton	0,70
3 Wärmedämmschicht	0,35 / 2,30
4 Luftschicht	variabel
5 Backstein	-
6 Aussenputz	0,35
7 Zweischalenanker	0,87
- etwa 0,7 Stück pro m <sup>2</sup> Aussenwand	
- Wärmebrückenverlust $\chi$ pro Anker etwa 0,003 W/K	

**Erforderliche Dämmschichtdicke [m] in Abhängigkeit vom Material der Aussenwand, U-Wert und Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht**

Material Aussenwand	Backstein					Stahlbeton					Beispiele
	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10	0,25	0,20	0,17	0,15	
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,038$ W/(m K)	0,12	0,15	0,19	0,22		0,13	0,17	0,20	0,23		Schaumglasplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,036$ W/(m K)	0,11	0,15	0,18	0,21		0,12	0,16	0,19	0,22		XPS-Platte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,035$ W/(m K)	0,11	0,14	0,17	0,20		0,12	0,15	0,19	0,21		Mineralwollplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,033$ W/(m K)	0,10	0,13	0,16	0,19		0,11	0,15	0,18	0,20		EPS-Platte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,032$ W/(m K)	0,10	0,13	0,16	0,18		0,11	0,14	0,17	0,20		Mineralwollplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,018$ W/(m K)	0,05	0,07	0,09	0,10	0,17	0,06	0,08	0,10	0,11	0,17	Aerogelplatten

**Einsteinmauerwerk wärmedämmend**



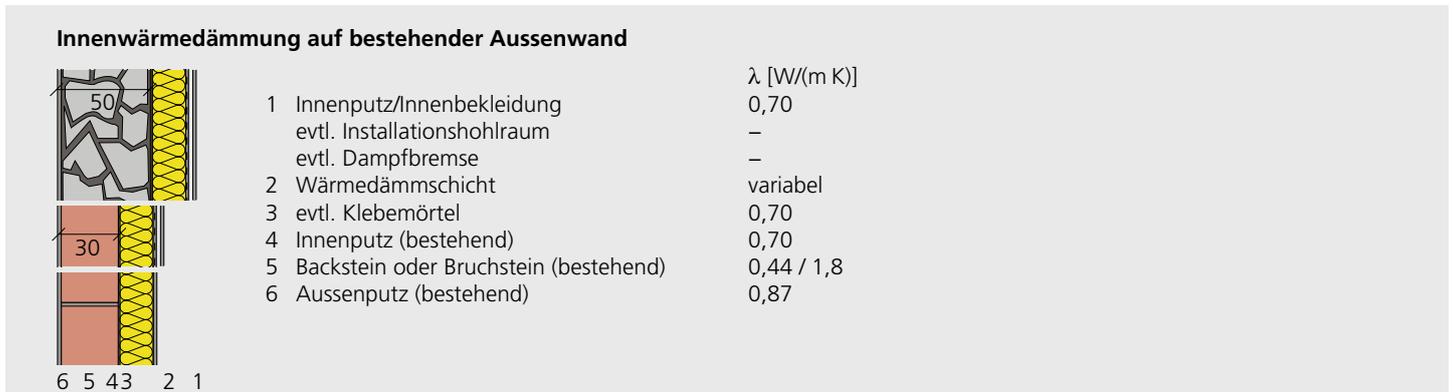
<b>Konstruktionsaufbau</b>	$\lambda$ [W/(m K)]
1 Innenputz 10 mm	0,70
2 wärmedämmende Block- oder Plansteine, variabel	variabel
3 Leichtgrundputz 20 mm	0,30

**Erreichbarer U-Wert [W/(m<sup>2</sup> K)] in Abhängigkeit der Dicke der Aussenwand und der Wärmeleitfähigkeit des Wärmedämmsteins**

Dicke Wärmedämmstein [m]	0,300	0,365	0,400	0,425	0,480	0,490	0,500	
U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)] für $\lambda = 0,090$ W/(m K)	0,28	0,23		0,20				Leichtbackstein
U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)] für $\lambda = 0,085$ W/(m K)	0,27	0,22		0,19				Leichtbackstein
U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)] für $\lambda = 0,080$ W/(m K)	0,25	0,21		0,18		0,16		Leichtbackstein
U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)] für $\lambda = 0,075$ W/(m K)	0,24	0,20		0,17		0,15		Leichtbackstein
U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)] für $\lambda = 0,070$ W/(m K)		0,18		0,16		0,14		Leichtbackstein
U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)] für $\lambda = 0,065$ W/(m K)						0,13		Leichtbackstein
U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)] für $\lambda = 0,081$ W/(m K)	0,26	0,21	0,19		0,16		0,16	Porenbetonstein
U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)] für $\lambda = 0,073$ W/(m K)	0,23	0,19	0,18		0,15		0,14	Porenbetonstein

Abbildung 26:

Innenwärmedämmung auf bestehender Aussenwand.

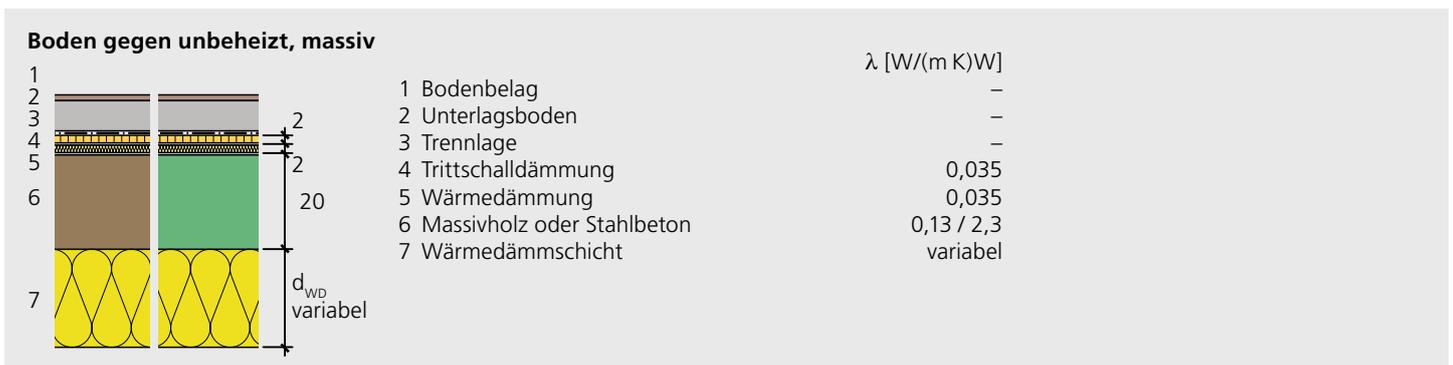


### Erforderliche Dämmschichtdicke [m] in Abhängigkeit vom Material der Aussenwand, U-Wert und Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht

Material Aussenwand	Backstein			Bruchstein			Beispiele
	U-Wert [W/(m² K)]	0,40	0,25	0,20	0,40	0,25	
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,047$ W/(m K)	0,08	0,15	0,19	0,09	0,16	0,21	Holzfaserverplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,045$ W/(m K)	0,07	0,14	0,18	0,09	0,15	0,20	Perliteplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,042$ W/(m K)	0,07	0,13	0,17	0,08	0,14	0,19	Calziumsilikatschaumplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,035$ W/(m K)	0,06	0,11	0,14	0,07	0,12	0,15	Mineralwolle
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,033$ W/(m K)	0,05	0,10	0,14	0,06	0,11	0,15	EPS-Platte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,028$ W/(m K)	0,04	0,09	0,11	0,05	0,10	0,12	Aerogel-Wärmedämmputz
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,022$ W/(m K)	0,04	0,07	0,09	0,04	0,08	0,10	PUR-Platte alukaschiert
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,018$ W/(m K)	0,03	0,06	0,07	0,03	0,06	0,08	Aerogelplatten

Abbildung 27:

Boden gegen unbeheizt, massiv. Quelle: [3]



### Erforderliche Dämmschichtdicke [m] in Abhängigkeit vom Material der Aussenwand, U-Wert und Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht

Material Rohdecke	Massivholz					Stahlbeton					Beispiele
	U-Wert [W/(m² K)]	0,28	0,25	0,21	0,15	0,10	0,28	0,25	0,21	0,15	
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,038$ W/(m K)	0,03	0,05	0,08	0,15	0,28	0,09	0,10	0,13	0,20	0,33	Schaumglasplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,035$ W/(m K)	0,03	0,04	0,07	0,14	0,25	0,08	0,09	0,12	0,19	0,30	Mineralwollplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,032$ W/(m K)	0,03	0,04	0,06	0,12	0,23	0,07	0,09	0,11	0,17	0,28	Mineralwollplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,030$ W/(m K)	0,02	0,04	0,06	0,12	0,22	0,07	0,08	0,10	0,16	0,26	EPS-Platte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,028$ W/(m K)	0,02	0,03	0,06	0,11	0,20	0,06	0,08	0,10	0,15	0,24	PUR-Platte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,022$ W/(m K)	0,02	0,03	0,04	0,09	0,16	0,05	0,06	0,08	0,12	0,19	PUR-Platte alukaschiert
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,018$ W/(m K)	0,01	0,02	0,04	0,07	0,13	0,04	0,05	0,06	0,10	0,16	Aerogelplatten
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,008$ W/(m K)	0,01	0,01	0,02	0,03	0,06	0,02	0,02	0,03	0,04	0,07	Vakuumdämmplatten

■ Der innere Abschluss und sämtliche Anschlüsse an einbindende Bauteile müssen sorgfältig luftdicht ausgeführt werden. Eine Hinterströmung der Dämmschicht mit feuchter warmer Raumluft würde zu massivem Tauwasserausfall führen und muss unbedingt vermieden werden.

■ Wärmebrücken an einbindenden Bauteilen lassen sich nicht vermeiden. Insbesondere die kritische Oberflächenfeuchte an den Anschlussstellen muss beachtet werden. Je höher der R-Wert der Innendämmung, umso heikler wird der Anschluss.

■ Dicke Innenwärmedämmschichten führen zu einem Verlust an Nutzfläche.

■ Die Speichermasse der Aussenwand ist vom Innenraum entkoppelt. Der Raum kann schneller aufgeheizt werden. Der Sommerliche Wärmeschutz kann sich verschlechtern.

■ Heute kommen vermehrt diffusionsoffene Konstruktionen mit kapillaraktiver respektive feuchtepuffernder Wirkung zum Einsatz. Hierbei wird durch Dampfdiffusion anfallende Feuchte im Bauteil aufgenommen und wieder an den Innenraum abgegeben. Hierbei ist ein vollflächiger, hohlraumfreier Verbund der Innendämmung mit der Wand notwendig. Es kommen z. B. folgende Dämmstoffe zum Einsatz: Calciumsilikatplatten, Perliteplatten, Holzfaserplatten, Aerogelplatten

■ Bei Konstruktionen mit diffusionsbremsenden Folien sind Dampfbremsen mit variablem  $s_d$ -Wert von Vorteil. Ein Austrocknen eventuell anfallender Feuchte im Bauteil ist auch zum Innenraum hin möglich.

### Boden

Beim Boden gegen unbeheizt als Bauteil der thermischen Gebäudehülle wird im Massivbau zusätzlich zur Trittschalldämmung die Wärmedämmschicht je nach baulicher Situation meist unterhalb oder kombiniert ober- und unterhalb der Geschossdecke angeordnet (Abbildung 28). Wärmebrücken nichttragender Innenwände lassen sich bei Neu- oder Umbauten durch leichte Ständerwände oder eine wärmedämmende erste Steinreihe reduzieren. Bei Erneuerungen ist die mögliche Lage der Wärmedämmschicht von den lichten Raumhöhen und von allfälliger Erneuerung der Fussbodenkonstruktion abhängig. Auch beim Boden gegen Erdreich kann die Wärmedämmung oberhalb, unterhalb oder kombiniert angeordnet werden (Abbildung 29). Unterseitige Wärmedämmung der Bodenplatte muss druckfest und feuchteresistent sein (z.B. Schaumglasplatten- oder Schaumglasschotter, XPS). Bei oberseitiger Wärmedämmung fallen Wärmebrückenverluste der Über-

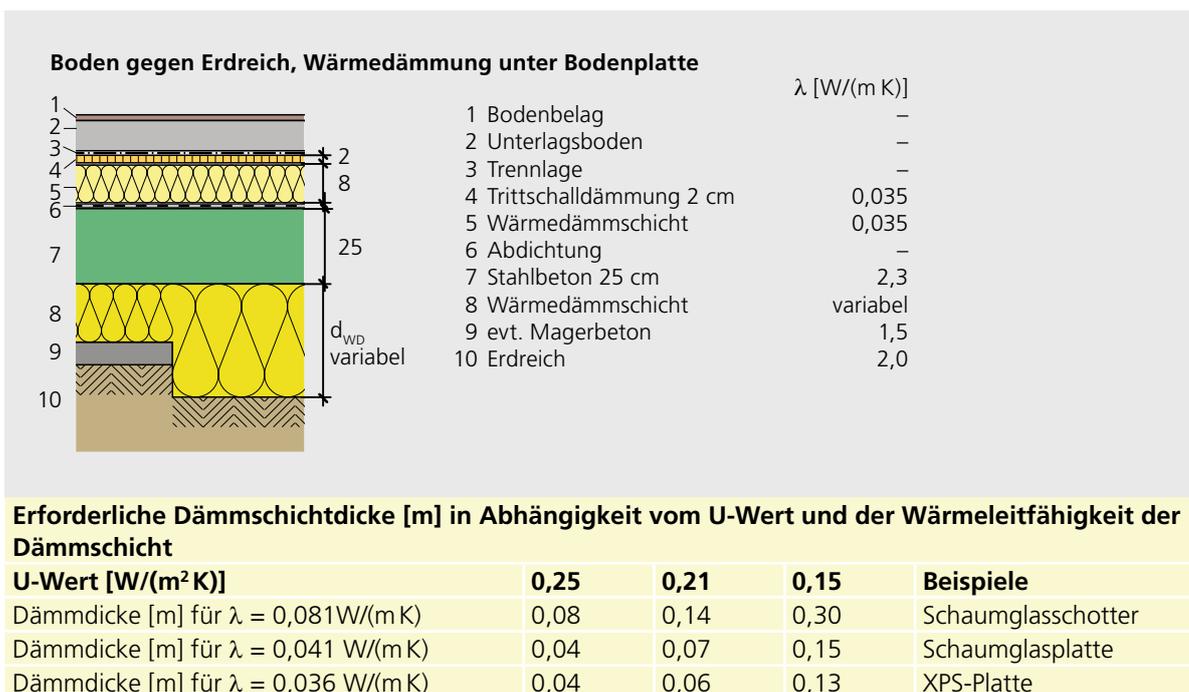


Abbildung 28: Boden gegen Erdreich, Wärmedämmung unter Bodenplatte. Quelle: [3]

gänge von Innenwänden zur Bodenplatte umso weniger ins Gewicht, je tiefer die Bodenplatte im Erdreich und je grösser das Verhältnis von Bodenplattenfläche zu Bodenplattenumfang ist. Demnach wird bei nicht unterkellerten Gebäuden eine Wärmdämmschicht unterhalb der Bodenplatte empfohlen.

## Vermeidung von Schwachstellen der Gebäudehülle

Oft ist in Entwurf und Planung von neuen Gebäuden und Erneuerungen die Aufmerksamkeit ausschliesslich auf die U-Werte gerichtet. Inhomogenitäten und Verbindungsstellen in Bauteilen bergen aber das Risiko von erheblichen Wärmeverlusten und Bauschäden, wenn sie nicht früh und kompetent in der Planung erkannt werden.

## Wärmebrücken

Wärmebrücken sind Übergänge zwischen Bauteilen und Bereiche in Baukonstruktionen, die im Vergleich zur umgebenden Konstruktion einen höheren Wärmefluss bzw. auf der Warmseite eine geringere Oberflächentemperatur aufweisen. Die Folge ist ein höherer Transmissionswärmeverlust durch die Gebäudehülle sowie ein erhöhtes Feuchterisiko im Bereich der Wärmebrücken an der Innenoberfläche der Gebäudehülle. Lineare Wärmebrücken (z.B. Kragplattenanschlüsse, Fensteranschlüsse) werden durch den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\Psi$  ( $\psi$ ,  $W/(mK)$ ) angegeben, punktuelle Wärmebrücken (z.B. Unterkonstruktionen von

Abbildung 29:  
Boden gegen Erdreich, massiv, Wärmedämmung auf Bodenplatte.  
Quelle: [3]



### Erforderliche Dämmschichtdicke [m] in Abhängigkeit vom U-Wert und der Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht

U-Wert [ $W/(m^2K)$ ]	0,28	0,25	0,21	0,15	0,15	Beispiele
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,041$ $W/(mK)$	0,12	0,13	0,17	0,24	0,24	Schaumglasplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,035$ $W/(mK)$	0,10	0,12	0,14	0,21	0,21	Mineralwollplatte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,033$ $W/(mK)$	0,09	0,11	0,13	0,20	0,20	EPS-Platte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,027$ $W/(mK)$	0,08	0,09	0,11	0,16	0,16	PUR-Platte
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,022$ $W/(mK)$	0,06	0,07	0,09	0,13	0,13	PUR-Platte alukaschiert
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,018$ $W/(mK)$	0,05	0,06	0,07	0,11	0,11	Aerogelplatten
Dämmdicke [m] für $\lambda = 0,008$ $W/(mK)$	0,02	0,03	0,03	0,05	0,05	Vakuumdämmplatten

hinterlüfteten Fassaden) durch den punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\chi$  (chi, W/K). Mit Hilfe von Wärmebrückenrechnungsprogrammen und Wärmebrückenkatalogen können die Chi- und Psi-Werte ermittelt werden. Durch wärmebrückenminimierte Konstruktionen lassen sich Transmissionswärmeverluste reduzieren und kritische Oberflächenfeuchten vermeiden. Der gesamte Wärmeverlust einer Wärmebrücke ergibt sich aus der Multiplikation von psi mit der Länge bzw. von chi mit der Anzahl. Oft werden zu hohe psi- und chi-Werte erfolgreich vermieden, aber nicht realisiert, dass grosse Längenabmessungen (z.B. Fensterrahmenabwicklungen) oder grosse Stückzahlen (z.B. Fassadenanker) genauso fatal sind.

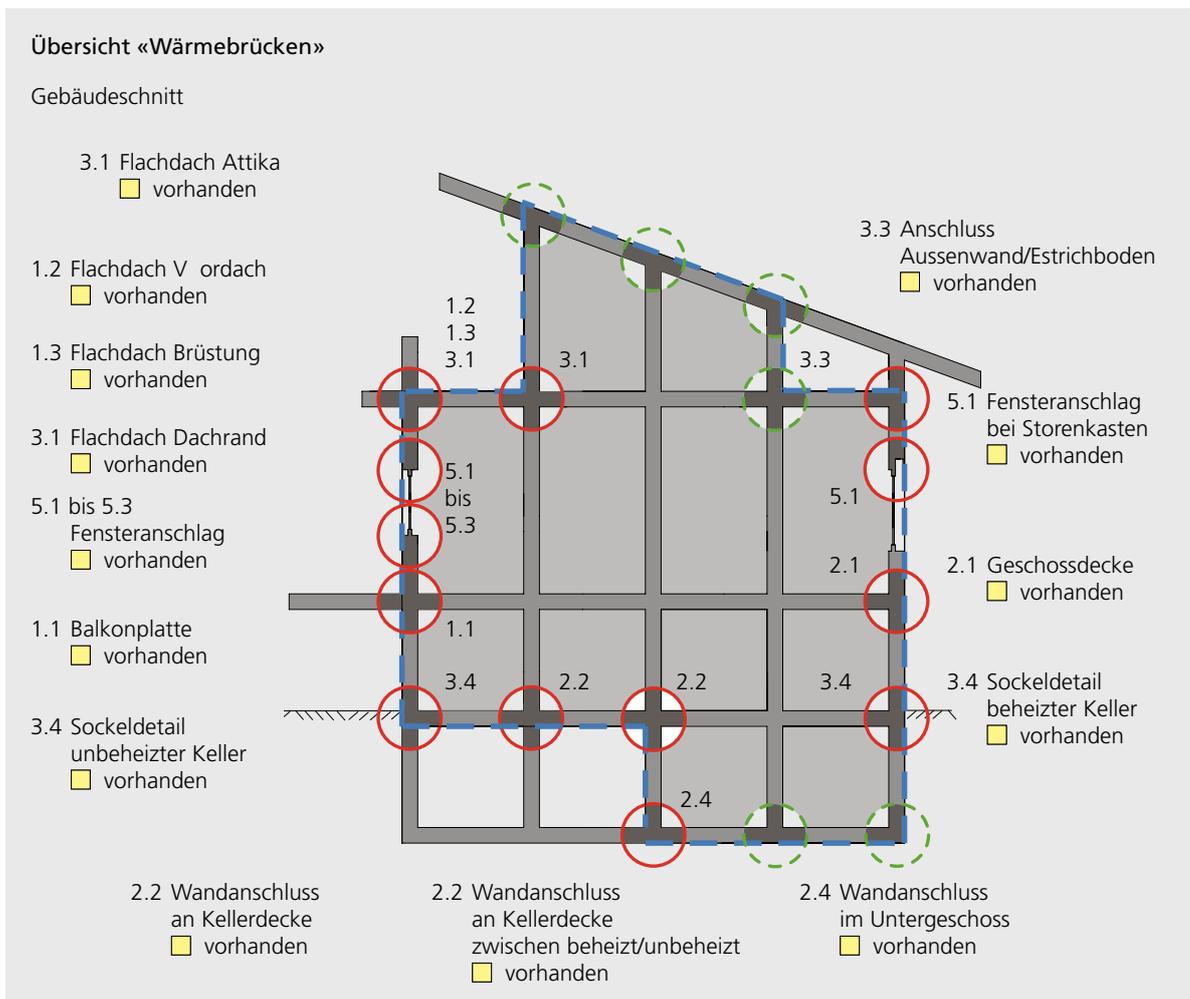
### Luftdichtheit

Die Gebäudehülle muss luftdicht sein. Undichtigkeiten der Gebäudehülle führen zu

Warmluftverlusten und unbefriedigendem Luftwechselverhalten. Sie vermindern die Effektivität von Lüftungsanlagen und führen zu Kondensrisiken aufgrund des Luftlecks. Diese können innert kurzer Zeit hohe Schäden anrichten.

Entsprechend des Wärmedämmperimeters muss auch die Luftdichtheitsebene sorgfältig geplant und ausgeführt werden. Häufig ist der Innenputz der Aussenwand die Luftdichtheitsebene. Im Steildach und Holzelementbau bildet die innere Bekleidung oder Dampfbremse die luftdichte Ebene.

- Anschlüsse Fenster mit geeigneten Klebebändern oder Fugenbändern versehen.
- Im Bereich des Unterlagsbodens Innenputz bis auf die Rohdecke führen.
- Elektroinstallationen dicht ausführen (Unterputzdosen satt eingipsen, luftdichte Dosen verwenden).



**Abbildung 30:** Hinweise und Anforderungen in konzentrierter Form sind in der «Checkliste Wärmebrücken» enthalten, die dem Energienachweis dient.

- Rückwände von Installationsschächten verputzen.
- Übergang von Steigzonen zu Bereichen ausserhalb der thermischen Gebäudehülle luftdicht ausführen.
- Zeitpunkt der Luftdichtigkeitsmessung («Blower-door-Test», v.a. bei nicht durchgängig massiv gebauten Objekten) im Bauablauf einplanen und durchführen, solange die heiklen Stellen noch zugänglich sind.

## Quellen

- [1] Goretzki P., Maass I., Solarfibel – Städtebauliche Massnahmen: Solare und energetische Wirkungszusammenhänge und Anforderungen, Hrsg: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Eigenverlag, Stuttgart 1998
- [2] Norm SIA 380/1, Thermische Energie im Hochbau, Vernehmlassung, Zürich 2013
- [3] Ragonesi M., Menti U.-P., Tschui A., Zurfluh B., Minergie-P – das Haus der 2000-Watt-Gesellschaft, 3. Auflage, Faktor Verlag, Zürich 2010
- [4] KBOB – Ökobilanzdaten im Baubereich, Download: [www.sia.ch](http://www.sia.ch), Zürich 2012
- [5] SIA Baustoffkennwerte, Download: [www.sia.ch](http://www.sia.ch), Zürich 2013
- [6] Frank T., Glanzmann J., Keller B., Queisser A., Ragonesi M., Element 29 – Wärmeschutz im Hochbau, Hrsg: Schweizerische Ziegelindustrie, Faktor Verlag, Zürich 2010
- [7] Bastian Z., Feist W. et al., EnerPHit Planerhandbuch, Passivhaus Institut, Darmstadt 2012

## Achim Geissler Gläser

Gläser sind ein zentrales Bauteil für energieeffiziente Gebäude. Sie versorgen den Innenraum mit Tageslicht und ermöglichen den visuellen Bezug zur Umgebung. Im Winter ermöglichen sie die passive Solarenergienutzung und reduzieren damit den Heizwärmebedarf deutlich. Im Sommer können sie allerdings bei einem zu grossen Flächenanteil auch zu einem Problem werden. Moderne Wärme- bzw. Sonnenschutzgläser sind Hochleistungsprodukte. Die folgenden Komponenten des Glasaufbaues sind dabei für die thermischen Eigenschaften massgebend:

- Anzahl und Dicke der Scheibenzwischenräume (SZR; Zweifach- oder Dreifach-Isolierverglasung, Kastenfenster, Glas-Doppelfassade)
- Gasfüllung (Art des Füllgases; Luft, Argon, Krypton, Xenon)
- Beschichtungen (Emissionskoeffizient und solare Absorption bzw. Reflexion) und
- Glas-Abstandhalter (Material)

Für die schalltechnischen Eigenschaften sind die Glasstärken der Einzelgläser, allenfalls vorhandene laminierte Gläser sowie die Asymmetrie der Glasstärken und Scheibenzwischenräume wesentlich.

## Der U-Wert

Der Glas-U-Wert  $U_g$  wird von Herstellern in aller Regel für den Einbau in vertikaler Anordnung angegeben. Dieser Wert ist für Dachverglasungen und Dachflächenfenster falsch. Die Bestimmung des Glas-U-Wertes ist in SN EN 673 festgelegt. Diese Norm stellt auch für geneigte Gläser die entsprechende Berechnungsgrundlage bereit. Je nach Aufbau einer Isolierverglasung ist bei Verwendung in horizontaler Lage (Wärmestrom nach oben) mit einer Erhöhung des Glas-U-Wertes um 20 % bis 50 % zu rechnen. Die Ursache hierfür ist eine stark erhöhte Konvektion im Scheibenzwischenraum (Abbildung 31 und Abbildung 32). Wird dieser Sachverhalt bei der U-Wert-Berechnung bzw. der energetischen Bilanzierung (Systemnachweis) nicht berücksichtigt, wird der entsprechende Transmissionswärmeverlust dieses Bauteils natürlich deutlich unterschätzt. In Abbildung 32 ist ersichtlich, dass das Bauteil «Fenster» in der Ausbildung «Dachflächenfenster» mit einer 2-fach-Isolierverglasung die Einzelanforderung nach SIA 380/1:2009 nicht erfüllen kann.

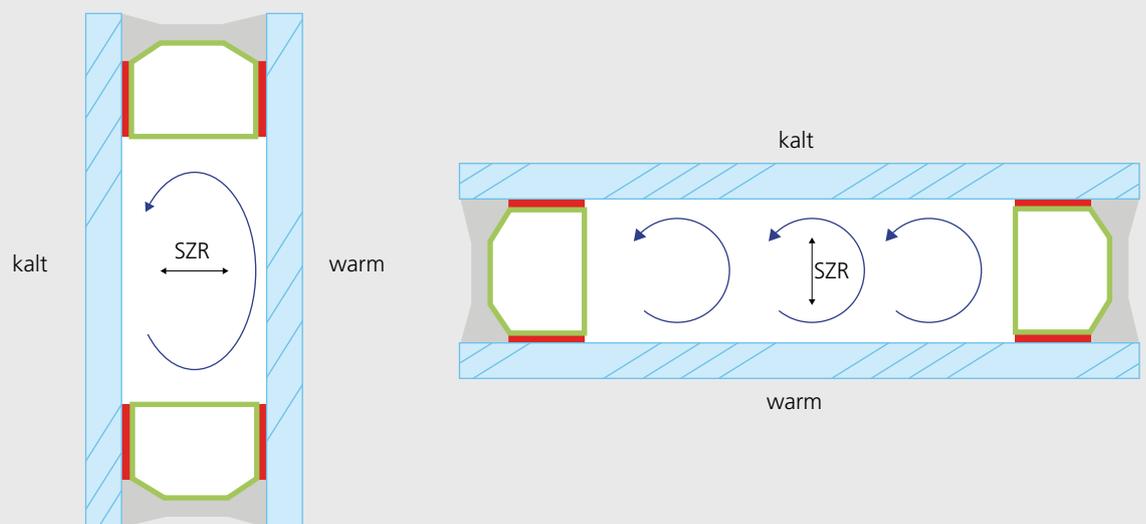


Abbildung 31: Erhöhter konvektiver Wärmetransport bei geneigten Gläsern – sogenannte Raleigh-Bénard-Konvektion (ift Rosenheim).

### Solarstrahlung

Die auf die Erde treffende kurzwellige Solarstrahlung ist auf Wellenlängen zwischen ca. 250 nm und 2500 nm verteilt. Abbildung 34 zeigt die spektrale Verteilung der Strahlungsintensität und auch den Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes im Solarspektrum. Die auf eine Fläche insgesamt auftreffende kurzwellige Einstrahlung setzt sich aus direkten und diffusen Anteilen zusammen. Es gilt:

$$I_{\text{glob}} = I_{\text{dir}} + I_{\text{diff}} \quad (1)$$

mit

$I_{\text{dir}}$ : direkte (gerichtete) Strahlung [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$I_{\text{diff}}$ : diffuse (ungerichtete) Strahlung [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$I_{\text{glob}}$ : Globalstrahlung [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

Dabei können sowohl direkte Anteile als auch diffuse Anteile durch Reflexion am Boden oder an umliegenden Bauten entstehen. Der Anteil der diffusen Strahlung hängt auch stark von der Bewölkung ab.

Trifft kurzwellige solare Strahlung auf einen Körper, so wird sie entweder transmittiert, reflektiert oder absorbiert (Abbildung 33). Der absorbierte Teil wird im Körper zu Wärme. Wie sich eintreffende kurzwellige Strahlung auf diese möglichen Mechanismen verteilt, hängt von den strahlungsphysikalischen Eigenschaften der jeweiligen Bauteilfläche ab. Diese Eigenschaften sind in der Regel von der Wellenlänge abhängig, es gilt also:

$$\tau(\lambda) + \alpha(\lambda) + \rho(\lambda) = 1 \quad (2)$$

mit

$\tau(\lambda)$ : die Transmission bei der Wellenlänge  $\lambda$ ,

$\alpha(\lambda)$ : die Absorption bei der Wellenlänge  $\lambda$  und

$\rho(\lambda)$ : die Reflexion bei der Wellenlänge  $\lambda$ .

Für Bauprodukte werden diese wellenlängenabhängigen Größen üblicherweise zu

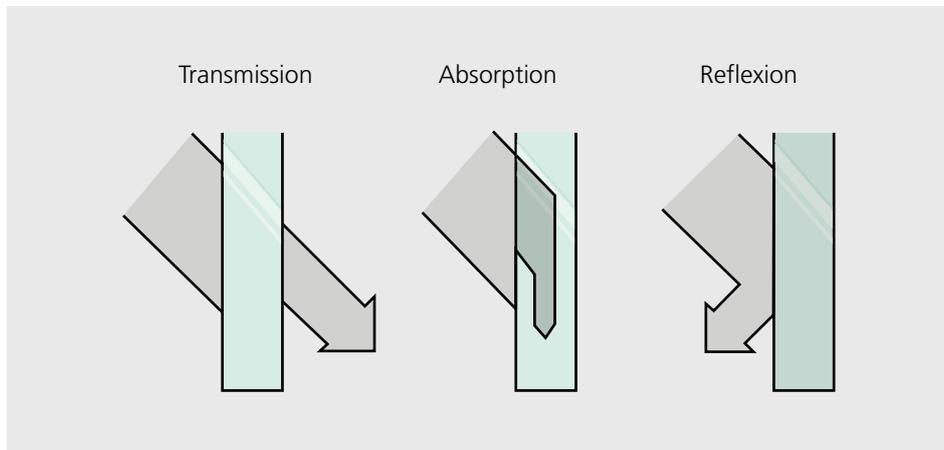
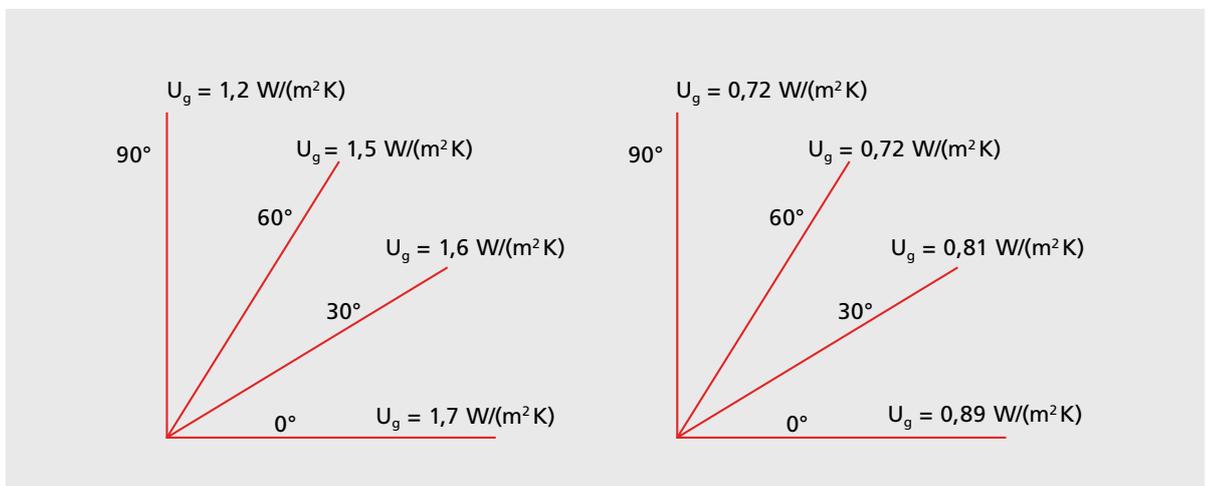


Abbildung 33: Vorgänge beim Auftreffen von kurzwelliger Strahlung auf ein Bauteil. Quelle: Glas Trösch

Abbildung 32:  $U_g$ -Wert in Abhängigkeit vom Neigungswinkel, links für eine 2-fach-, rechts für eine 3-fach-Isoverglasung (ift Rosenheim).



integralen Werten für die solaren und lichttechnischen Eigenschaften zusammengefasst. Ist die (Licht-) Transmission  $\tau_{\text{vis}}$  Null, spricht man von einer opaken Fläche, ist sie grösser als Null von einer transluzenten oder transparenten Fläche. Glas als Werkstoff bietet für kurzwellige solare Strahlung über den gesamten Wellenlängenbereich eine gute Transmission. Isolierverglasungen haben durch die eingesetzten, hoch spezialisierten Beschichtungen eine deutliche Selektivität hinsichtlich der Transmission und Absorption bzw. Reflexion kurzwelliger solarer Strahlung. Selektivität bedeutet dabei, dass das beschichtete Glas selektiv nur kurzwellige Strahlung im Wellenlängenbereich des Lichts durchlässt und andere Wellenlängen überwiegend reflektiert oder absorbiert. Ist diese Selektivität gering, liegt ein einfaches Wärmeschutzglas vor – die Beschichtung ist ausschliesslich auf eine tiefe Emissivität optimiert. Ist die Selektivität ausgeprägt, spricht man von einem Sonnenschutzglas. Der Übergang zwischen diesen Glastypen ist fließend und es gibt eine Vielzahl an Produkten auf dem Markt. Das wesentliche Ziel der Selektivität ist es, viel Licht durchzulassen, also einen hohen Lichttransmissionsgrad zu ermöglichen und gleichzeitig einen möglichst geringen

Durchgang solarer Strahlung bzw. Energie in Kauf zu nehmen, also einen tiefen solaren Strahlungstransmissionsgrad bzw. einen tiefen g-Wert. Abbildung 35 zeigt ein Beispiel der spektralen solaren Transmission einer wenig und einer stark selektiven Beschichtung. Derzeit liegt bei dieser Selektivität der Gläser  $\tau_{\text{vis}}/g$  die technische Grenze sowohl für 2-fach- als auch für 3-fach-Isolierverglasungen bei einem Faktor von ca. 2. Die physikalische Grenze liegt bei einem Faktor von ca. 3.

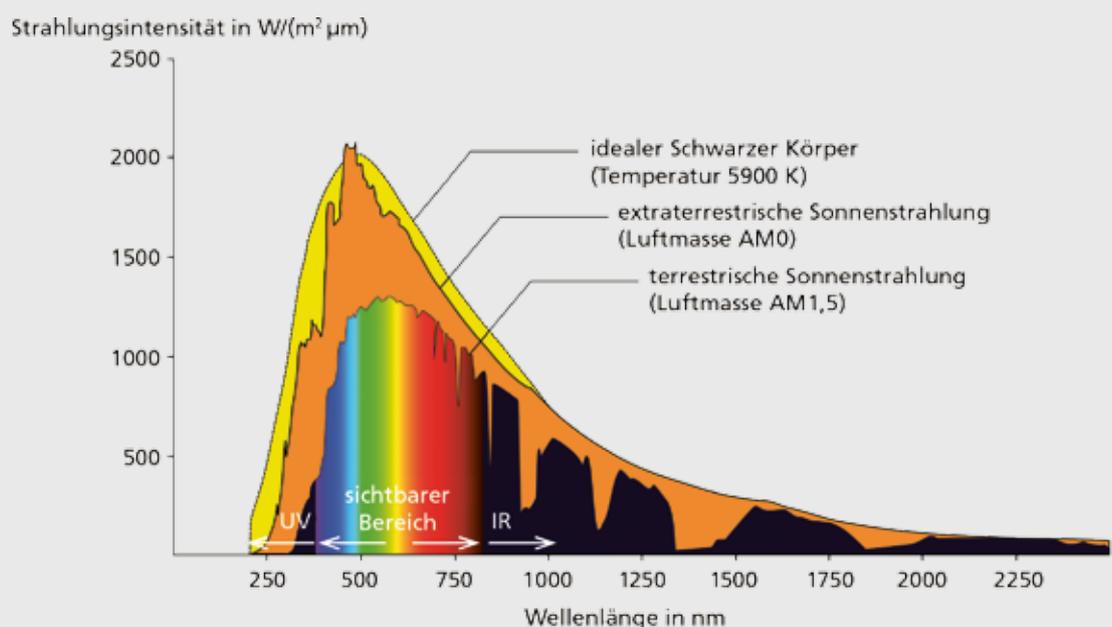


Abbildung 34: Solarspektrum mit Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes. Quelle: Wikimedia

### Der g-Wert

Hersteller von Wärmeschutz- und Sonnenschutzverglasungen (allgemein: Isolierverglasungen) geben einen g-Wert zu jedem Glasprodukt an. Der angegebene g-Wert beruht auf der Norm SN EN 410 und ist eine Kombination aus Mess- und Rechenwerten. Er bezieht sich auf direkte kurzwellige Strahlung, welche normal zur Glasoberfläche auftrifft. Der g-Wert beruht auf Temperaturgleichheit beidseits der Verglasung. Der von Herstellern genannte g-Wert ist demnach eine reine Vergleichsgröße für Produkte.

Es ist üblich, bei der Berücksichtigung von Temperaturdifferenzen und von Strah-

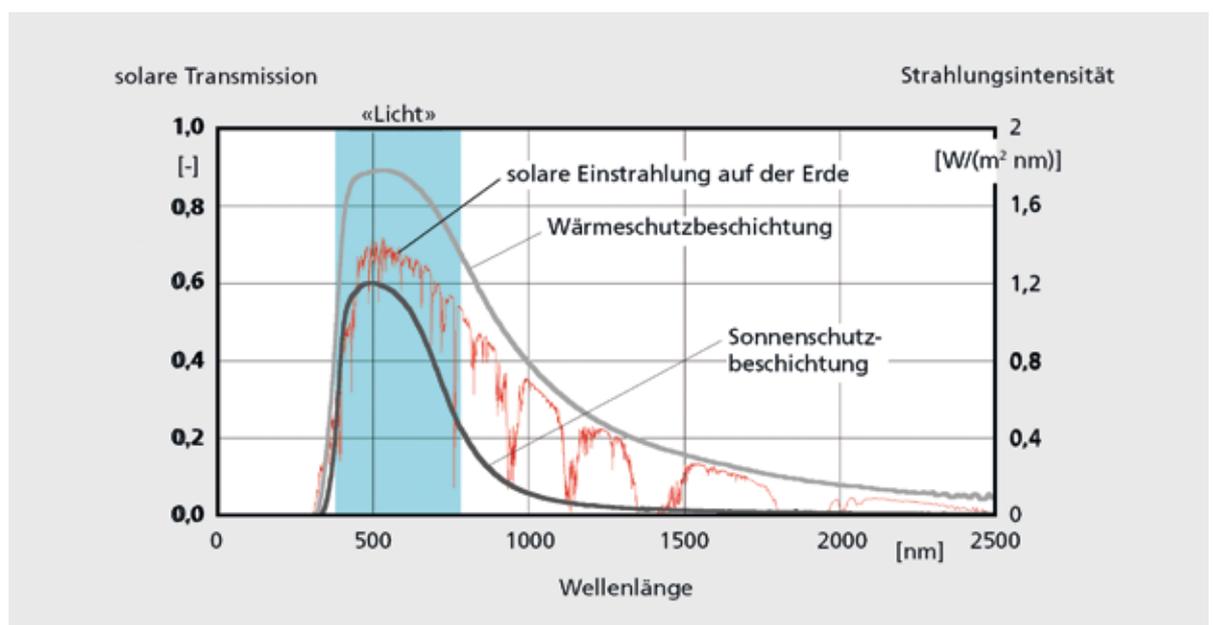
lungseinfallswinkeln, die von der normalen abweichen, von einem «effektiven g-Wert» zu sprechen. Mit zunehmendem Einfallswinkel relativ zur Flächennormale nimmt der effektive g-Wert für direkte Strahlung ab. Der diffuse g-Wert ist unabhängig vom Einfallswinkel der direkten Strahlung. Diese Zusammenhänge sind in Abbildung 36 beispielhaft für ein System, bestehend aus Isolierverglasung und aussen liegender Lamellenstore, wiedergegeben. Mit zunehmender Temperaturdifferenz zwischen aussen und innen nimmt der effektive g-Wert zu (zunehmende Transmissionswärmegewinne).

### Planungswerkzeuge

Das LBNL in Kalifornien, USA, betreut und veröffentlicht die International Glazing Database. Diese Glasdatenbank enthält über 4000 Datensätze zu den optischen Eigenschaften von Glasscheiben (spektrale Daten). Das LBNL stellt darüber hinaus Software zur Analyse von Sonnenschutzgläsern bereit (<http://windows.lbl.gov/>). Ebenfalls verwendet werden kann das aus einem europäischen Forschungsprojekt resultierende Programm WIS ([www.windat.org/wis/html/](http://www.windat.org/wis/html/)). Dieses ermöglicht es, komplexe Systeme aus Glas und Sonnenschutz zu analysieren.

Als Grundlage der Herstellerangaben dient in der Regel ein Aufbau der Isolierverglasung von 4 – 16 – 4 bzw. 4 – 12 – 4 – 12 – 4. Dem angegebenen g-Wert liegt dabei meist normales Flachglas («float») zugrunde. Wird eisenarmes Glas eingesetzt, kann sich bei gleicher Beschichtung der g-Wert signifikant erhöhen. In Abbildung 37 ist exemplarisch die solare Transmission und Absorption sowie die Lichttransmission und Lichtabsorption in Abhängigkeit von der Glasstärke für Flachglas und für eisenarmes Glas wiedergegeben. Zu beachten ist, dass insbesondere Sonnenschutzbeschichtungen bei der Verwendung von eisenarmem Glas unerwünschte Farbeffekte zur Folge haben können.

Abbildung 35: Selektivität. Beispiel der wellenlängenabhängigen solaren Transmission einer Wärmeschutzbeschichtung (Interpane Iplus S) sowie einer Sonnenschutzbeschichtung (Interpane 52/29), jeweils auf einem 6-mm-Flachglas.



In der Planung ist entweder über die im Kasten Planungswerkzeuge genannten Angebote oder mit Daten aus einer konkreten Herstellerangabe mit dem tatsächlich vorgesehenen Aufbau der Verglasung zu arbeiten.

### Sommerlicher Wärmeschutz

Es gibt zwei grundsätzliche Möglichkeiten, eine sommerliche Überhitzung von Räumen zu vermeiden. Wie in Tabelle 4 dargestellt, sind dies die Vermeidung von Wärmeeinträgen und das Abführen von Wärme – optional mit einem vorgängigen Zwischenspeichern der Wärme beispielsweise in Bauteilen.

Bei der Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes muss z. B. der Widerspruch zwischen der möglichst starken Reduktion des solaren Eintrages und der Notwendigkeit einer ausreichenden Tageslichtversorgung gelöst werden. Bei Wohngebäuden ist dies in der Regel kein Problem, bei Büro- und Gewerbebauten sowie Schulgebäuden ein sehr wichtiges.

### Sonnenschutzvorrichtungen

Zentral für einen ausreichenden sommerlichen Wärmeschutz ist ein ausreichender Sonnenschutz für alle transparenten Bauteile. Ein idealer Sonnenschutz kann den

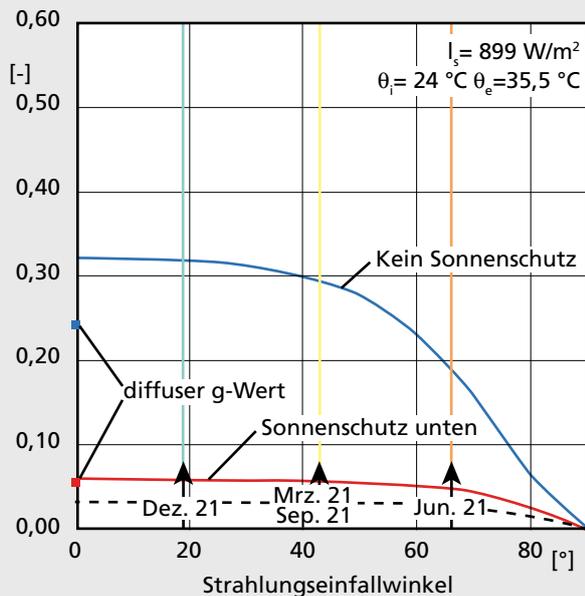
g-Wert des Systems aus Verglasung und Sonnenschutz auf unter ca. 10 % bis 15 % reduzieren, ermöglicht dabei einen visuellen Bezug zur Umgebung und lässt ausreichend Tageslicht durch. In Tabelle 5 ist eine Übersicht über mögliche Ausbildungen gegeben. Bewegliche Vorrichtungen sind zu bevorzugen. Ein wichtiger Aspekt ist die Steuerung – der beste (bewegliche) Sonnenschutz bringt nichts, wenn er nicht korrekt bedient wird – und die Windfestigkeit.

### Wärmespeicherfähigkeit

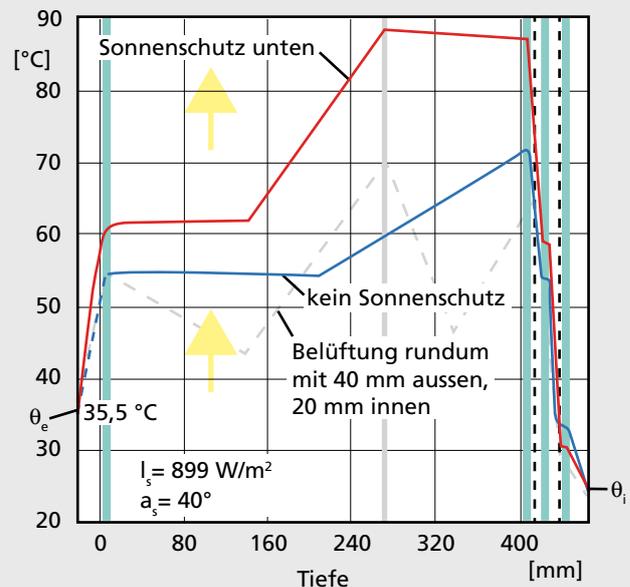
Eine hohe Wärmespeicherfähigkeit eines Raumes hilft, Temperaturspitzen zu vermeiden. Es kann – dies ist insbesondere im Bereich gewerblicher Bauten interessant – eine zeitliche Verschiebung zwischen dem Eintrag und der Abführung der Lasten erreicht werden. Die Wärmespeicherfähigkeit wird in Zusammenhang mit dem sommerlichen Wärmeschutz für eine 24-h-Periode berechnet. Es ist darauf zu achten, ob die Berechnung mit oder ohne Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände an den Bauteiloberflächen erfolgen muss – beide Ansätze werden in unterschiedlichen Verfahren verwendet.

Abbildung 36: Effektiver g-Wert für direkte und diffuse Strahlung mit und ohne Lamellenstore in Abhängigkeit vom Profilwinkel (links) und Temperaturen in den Bauteilebenen für einen Sonnenhöhenwinkel von  $40^\circ$  (Maximalwerte, rechts).

Effektiver g-Wert



Temperatur



**Lüftung**

Über die Lüftung kann einem Raum Wärme zugeführt oder aus diesem abgeführt werden. Sowohl der Wärmeübergang an die Luft als auch die Wärmespeicherfähigkeit der Luft ist jedoch relativ gering. Entsprechend gross muss der Luftvolumenstrom sein, wenn grössere Wärmemengen abgeführt werden sollen. Das Kühlpotential kann abgeschätzt werden über:

$$q_L = \rho c_p \Delta T \quad (3)$$

bzw.

$$Q_L = \dot{V} q_L \quad (4)$$

mit

$q_L$  spezifisches Kühlpotential durch Lüftung in Wh/m<sup>3</sup>

$\rho$  Dichte der Luft in kg/m<sup>3</sup>

$c_p$  spezifische Wärme der Luft in Wh/(kg K)

$c_{p,N} \approx 0,279$  Wh/(kg K) kann als Zahlenwert verwendet werden.

$\Delta T$  nutzbare Temperaturdifferenz

$Q_L$  Kühlpotential durch Lüftung in W

$\dot{V}$  Luftvolumenstrom der Lüftung in m<sup>3</sup>/h

Eine intensive Nachtlüftung über Fenster ist ein gängiges Konzept, mit dem der sommerliche Wärmeschutz häufig entscheidend verbessert werden kann. Grundvoraussetzungen sind dabei, dass

- die Umgebungsluft kühler als die Raumluft bzw. als die Raumumschliessungsflächen ist.

- ein hinreichend grosser Luftvolumenstrom vorliegt.

*Tabelle 4: Möglichkeiten zur Vermeidung und zum Abführen von Wärmelasten in Gebäuden.*

	Grösse	Massnahme
Vermeiden	Fenster- bzw. Glasanteil der Fassade(n)	verringern
	g-Werte (Glas, opak)	verringern
	Interne Lasten	verringern
	U-Wert (transluzent und opak)	klima- und niveauabhängig, nicht unbedingt eindeutig
	Verschattung	erhöhen
	Sonnenschutz	verbessern
Abführen	Lüften	abhängig von der Aussentemperatur erhöhen oder verringern
	Speichern und Nachtlüftung	Speichermöglichkeit vergrössern, Nachtlüftung ermöglichen
	TABS und andere aktive Systeme	im Konzept vorsehen
	U-Wert (transluzent und opak)	klima- und niveauabhängig, nicht unbedingt eindeutig

*Tabelle 5: Sonnenschutzvorrichtungen und ihre Anordnungsmöglichkeit.*

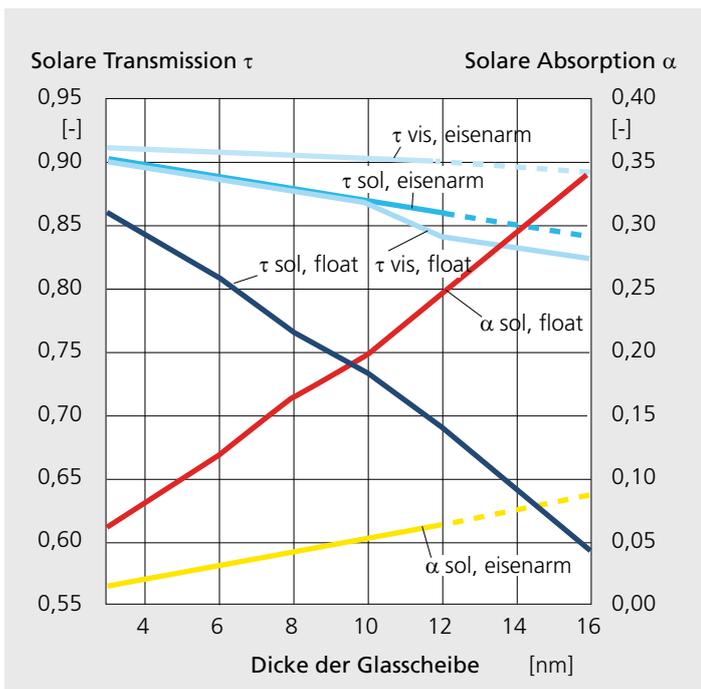
Typ	Varianten	innen	intra	aussen
Bewegliche Behänge	Stoff; reflektierend, lichtdurchlässig	x	x	x
	Normale Lamellen, Lichtlenksysteme (z. B. zweigeteilte Behänge, spezielle Lamellenformen), vertikal, horizontal	x	x	x
Feststehende Verschattungen	Überhänge, Auskragungen	-	-	x
	Seitliche Lisenen	-	-	x
	Brise soleil	-	-	x
Sonnenschutzglas	Normal	-	(x)	-
	Thermo- oder elektrochrom	-	(x)	-
	Aktuelle Entwicklungen umfassen integrierte Lichtlenkung, PCM, neue Verdunklungsmöglichkeiten, etc.	-	(x)	-

■ der Raum eine ausreichende Wärmespeicherfähigkeit aufweist.

Problematisch bleiben längere, sehr warme Perioden ohne nennenswerte Abkühlung in der Nacht. Für die meisten Klimaregionen der Schweiz ist dies bislang jedoch kein häufiges Szenario. Für eine effektive Nachtauskühlung sind Luftwechsel von mindestens ca. 2/h bis 3/h anzustreben. Als Anhaltspunkt für die hierfür notwendige wirksame Querschnittsfläche der Öffnungen können ca. 5 % der Bodenfläche bei einseitiger Lüftung (Abbildung 38) und je 1 % bis 2 % der Bodenfläche bei Querlüftung angesetzt werden.

Der für eine effektive Nachtauskühlung nötige Luftwechsel liegt deutlich über dem hygienisch notwendigen Luftwechsel. Aus diesem Grund eignen sich mechanische Lüftungsanlagen hierfür in aller Regel nicht. Eine entsprechende Anlage muss für die Nachtauskühlung dimensioniert werden und ist damit für den Normalbetrieb überdimensioniert und weder wirtschaftlich noch energetisch sinnvoll.

**Abbildung 37:** Solare Transmission und Absorption ( $\tau_{sol}$ ,  $\alpha_{sol}$ ) sowie Lichttransmission und Lichtabsorption ( $\tau_{vis}$ ,  $\alpha_{vis}$ ) in Abhängigkeit der Glasstärke. Gezeigt sind Werte für Flachglas («float») und eisenarmes Glas.



## Anforderungen und Nachweis

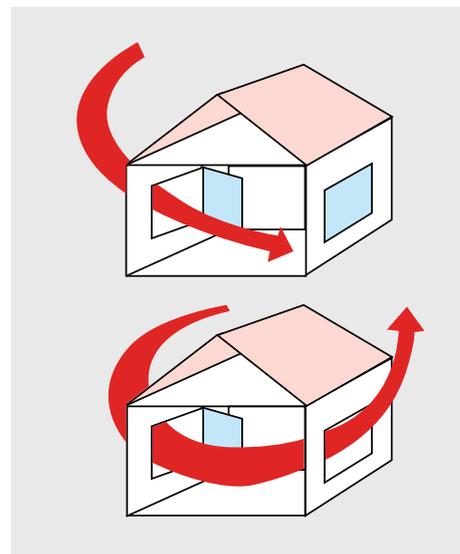
Massgeblich für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes sind in der Schweiz zunächst die kantonalen Anforderungen (Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich, Art. 1.7 und 1.8): «Der sommerliche Wärmeschutz von Gebäuden ist nachzuweisen». Konkretisierungen des Nachweises sind in SIA 180:201X enthalten.

Es sind, entsprechend der Komplexität des Objektes, drei Verfahren für den Nachweis möglich. Verfahren 1 ist sehr einfach, aber nur für gewisse Fälle anwendbar. Verfahren 3, die Simulation, ist allgemeingültig, jedoch aufwändig. Verfahren 2 liegt hinsichtlich Aufwand und Anwendbarkeit dazwischen.

### Einfache Kriterien (Verfahren 1)

Der Nachweis gilt als erfüllt, wenn für alle Räume die allgemeinen Kriterien nach Norm SIA 180:201X erfüllt sind:

- Transparente oder lichtdurchlässige Dachfenster mit äusserem Sonnenschutz haben eine Fläche von weniger als 5 % der Nettobodenfläche des betrachteten Raumes.
- Der Wärmedurchgangskoeffizient des Daches beträgt maximal 0,20 W/(m<sup>2</sup> K).
- Bei allen Fenstern ist ein aussen liegender beweglicher Sonnenschutz mit Windklasse 6 gemäss SIA 342, Anhang B.2, vorhanden. Der Gesamtenergiedurchlassgrad g<sub>tot</sub> des Fensters (Verglasung und Sonnenschutz) beträgt maximal 0,10.



**Abbildung 38:** Einseitige Lüftung (oben) und Querlüftung (unten).  
Quelle: Fenster Keller AG

■ Die Raumtiefe ist bei jedem Fenster mindestens 3,5 m. Gegenüberliegende Fenster müssen einen Abstand von mindestens 7 m aufweisen.

■ eine mittlere bis hohe thermische Trägheit vorhanden ist und die maximalen Glasanteile gemäss Tabelle 6 nicht überschritten werden. Für Orientierungen zwischen Südsüdost und Südsüdwest kann der in Tabelle 6 genannte maximale Glasanteil mit 1,2 multipliziert werden, wenn das Fenster durch ein Vordach oder einen Balkon beschattet wird, deren Auskragung mindestens der halben Fensterhöhe entspricht.

### Vereinfachter Nachweis (Verfahren 2)

Im Verfahren 2 ist insbesondere der Sonnenschutz detaillierter zu betrachten. Der zu erreichende g-Wert ist in Abhängigkeit von der Orientierung und dem Glasanteil festgelegt (der auf die Ansichtsfläche der Fassade bezogenen lichten Glasfläche). Abbildung 39 zeigt die zu erreichenden Werte. Die Werte sind mit aktiviertem Sonnenschutz nachzuweisen.

### Tageslichtversorgung

Die Versorgung von Innenräumen mit Tageslicht ist ein stets aktuelles Thema. Insbesondere an Lern- und Arbeitsplätzen bestehen nebeneinander die Anforderung, einen visuellen Aussenbezug zu gewährleisten, ausreichend Tageslicht zur Verfügung zu stellen und Bildschirmarbeit zu

ermöglichen. In Planungen wird nach wie vor häufig der Tageslichtquotient zur Beurteilung der Tageslichtsituation herangezogen. Der Tageslichtquotient TQ (daylight factor, DF) beschreibt, wie viel Tageslicht an einem Punkt in einem Raum ankommt (üblicherweise eine horizontale Fläche in Schreibtischhöhe). Ausgedrückt wird dies in der prozentualen Beleuchtungsstärke am betrachteten Punkt, bezogen auf die Beleuchtungsstärke auf eine horizontale Fläche im Freien unter einem diffusen Himmel mit 10 000 Lux. Der Tageslichtquotient

#### Konstruktionen mit hoher thermischer Trägheit

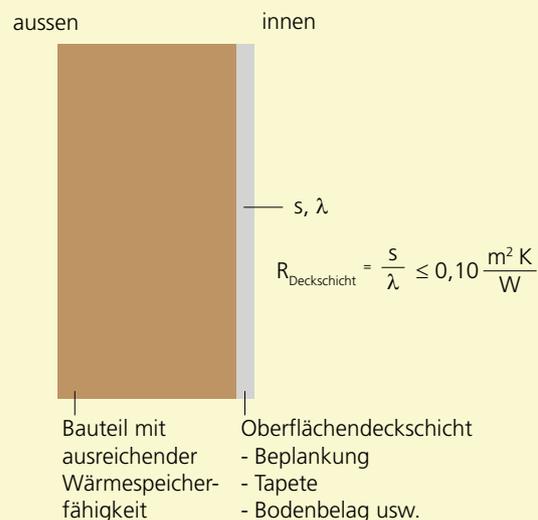
■ Decken in Beton oder Wände in Beton, Backstein oder Kalksandstein mit direktem Raumluftkontakt; die so materialisierten Bauteile sollten mindestens 80 % der Bodenfläche entsprechen.

#### Konstruktionen mit mittlerer thermischer Trägheit

- Zementestrich von mindestens 6 cm Dicke oder Calciumsulfat-Estrich von mindestens 5 cm Dicke auf 80 % der Bodenfläche, belegt mit Platten oder einem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit.
- Massivholzkonstruktion (Wände, Böden, Decken) mit mindestens 10 cm Dicke.
- Folgende Konstruktionen haben eine niedrige thermische Trägheit (was die Anwendung des Verfahrens 1 ausschliesst):
- Leichtbauweise in Holz oder Metall, ohne schwere Schichten.

Der Wärmedurchlasswiderstand R von raumseitigen Oberflächen-Deckschichten darf maximal  $0,10 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  betragen.

#### Wärmedurchlass von Deckschichten an Raumbooberflächen



*Tabelle 6: Auf die Nutzung und die Situation bezogene Kriterien für das Nachweisverfahren 1: Maximale Glasanteile für einen einfachen Nachweis der Behaglichkeit in der warmen Jahreszeit.*

Raumkategorie	Fenster auf	Maximaler Glasanteil für Sonnenschutz mit Bedienung	
		manuell	automatisch
Wohnen hohe thermische Trägheit	einer Fassade	50 %	70 %
	mehreren Fassaden	30 %	50 %
Wohnen mittlere thermische Trägheit	einer Fassade	40 %	60 %
	mehreren Fassaden	30 %	50 %
Büro, Versammlungsraum, Schule, hohe thermische Trägheit	einer Fassade	—	40 %
	mehreren Fassaden	—	30 %

ist damit ein stationärer Wert, der eine ganz bestimmte Situation beschreibt, die nur selten vorkommt. Er kann erste Hinweise auf die Tageslichtsituation geben, genügt aber nicht, um im Spannungsfeld zwischen Tageslicht, solaren Wärmege-  
winnen und der Vermeidung von Blendung eine Fassade optimieren zu können (Abbildung 41). Die Optimierung der Lichtversorgung eines Innenraumes muss jedoch – insbesondere für Fertigungs-

Lern- und Arbeitsplätze – zwischen diesen Polen erfolgen. Aus diesem Grund wird zur Planung der Tageslichtversorgung zunehmend die sogenannte «klimabasierte Tageslichtplanung» verwendet. Das Schema in Abbildung 40 verdeutlicht die Erweiterung auf natürliche Beleuchtungssituationen gegenüber der künstlich-statischen Annahme eines uniformen Himmels mit 10000 Lux.

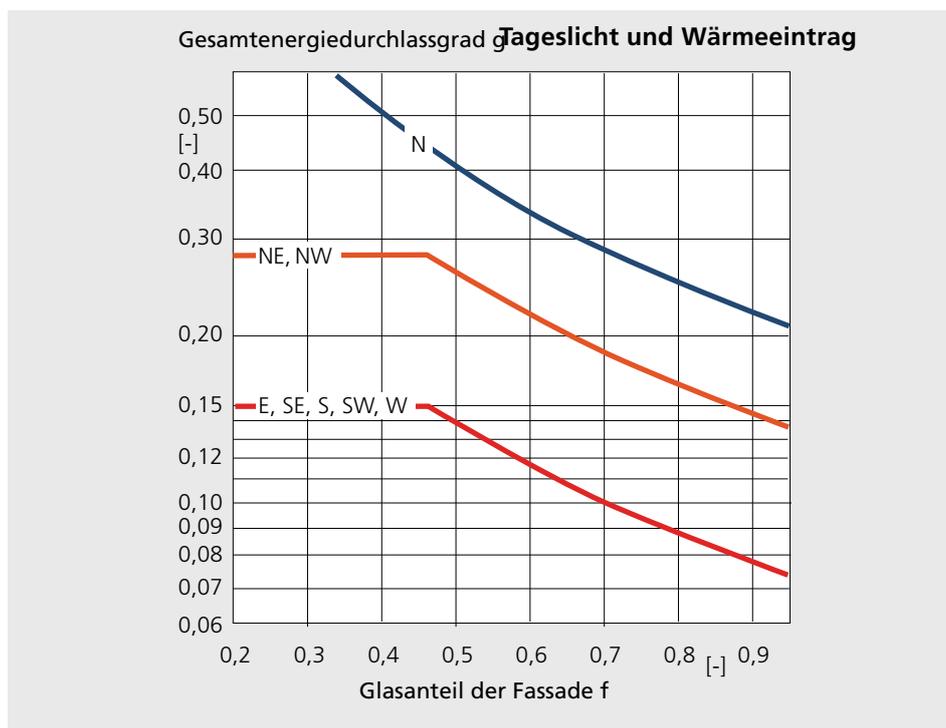


Abbildung 39: Anforderungen an den g-Wert von Fassadenfenstern (Verglasung und Sonnenschutz) je nach Glasanteil und Orientierung der Fassade. Quelle: [7]

### Nachtauskühlung

Die Nachtauskühlung ist im Sinne der Norm SIA 180:201X für Verfahren 1 und Verfahren 2 dann möglich, wenn folgende Bedingungen gegeben sind:

- Eine effiziente Nachtauskühlung der Gebäudemasse durch Lüftung braucht raumvolumenspezifische Luftströme (Luftwechsel) im Bereich von mindestens 3/h bzw. 9 m<sup>3</sup> pro Stunde und pro m<sup>2</sup> Nettogeschossfläche. Liegt der Glasanteil der Fassaden des betreffenden Raumes über 30 %, erhöhen sich diese Werte auf 4/h bzw. 12 m<sup>3</sup> pro Stunde und pro m<sup>2</sup> Nettogeschossfläche.
- An geeigneten Stellen sind grosse Lüftungsöffnungen vorzusehen, die nachts offen bleiben können und die auch bei Windstille zu einer für die Auskühlung des Raumes ausreichenden Belüftung führen. Dafür eignen sich Fenster und Dachöffnungen.
- Eine Abluftöffnung ist an höchstmöglicher Stelle im Raum zu platzieren, um alle warme Luft abzuführen.
- Die wirksame Querschnittsfläche der Öffnungen muss bei einseitiger Lüftung mindestens 5 % der Nettobodenfläche betragen. Bis zu einer Raumtiefe von 3,5 m ist die Belüftung der Räume über eine Fassade möglich, darüber hinaus sind Öffnungen an zwei gegenüberliegenden Fassaden vorzusehen.

Die Versorgung eines Raumes mit Tageslicht – kurzwelliger Strahlung im Wellenlängenbereich 380 nm bis 780 nm – verursacht naturgemäß auch einen Wärmeeintrag. Die Effektivität des Tageslichtes kann analog zur Lichtausbeute von Leuchtmitteln bzw. von Leuchten in lm/W ausgedrückt werden. Die Lichtausbeute hängt von den strahlungsphysikalischen Eigenschaften der Verglasung, insbesondere von der Selektivität der Beschichtung, ab. Sie ist für Wärmeschutzverglasungen geringfügig und für Sonnenschutzverglasungen deutlich höher als bei den besten bisher verfügbaren Leuchten. Diese Situation kann sich voraussichtlich in den nächsten Jahren durch weitere Entwicklungen bei LED (und wahrscheinlich auch bei OLED) ändern – mit der Folge, dass sich zumindest aus energetischer Sicht die Diskussion um das Tageslicht verändern wird. In Tabelle 7 und Tabelle 8 sind Anhaltswerte für die Lichtausbeute von natürlichen und künstlichen Lichtquellen aufgelistet.

### Klimabasierte Tageslichtplanung

Im Rahmen der «klimabasierten Tageslichtplanung» («Climate-based daylight modelling») (CBDM) werden detaillierte, klimadatenbasierte Simulationen (beispielsweise mit Daysim [5]) durchgeführt. Diese sind vom Ansatz her mit thermischen Gebäudesimulationen für die detaillierte Untersuchung und Optimierung des thermischen Verhaltens von Gebäuden vergleichbar. Es gehen sowohl der Standort, Nutzungszeiten, Verschattungen und Sonnenschutzvorrichtungen sowie auch die Regelstrategie und das Nutzerverhalten in die Analyse ein. Wechselwirkungen zwischen der Tageslichtversorgung, Blendungen, dem Beleuchtungsstrombedarf sowie dem solaren Wärmeeintrag können für verschiedene Planungsvarianten ganzheitlich beurteilt werden. Derartige detaillierte Analysen sind auf Grund des Aufwandes kaum für Ein- und Mehrfamilienhäuser geeignet, wohl aber für Schul- und Bürogebäude. Durch die weitere Digitalisierung in allen Planungsphasen ist jedoch

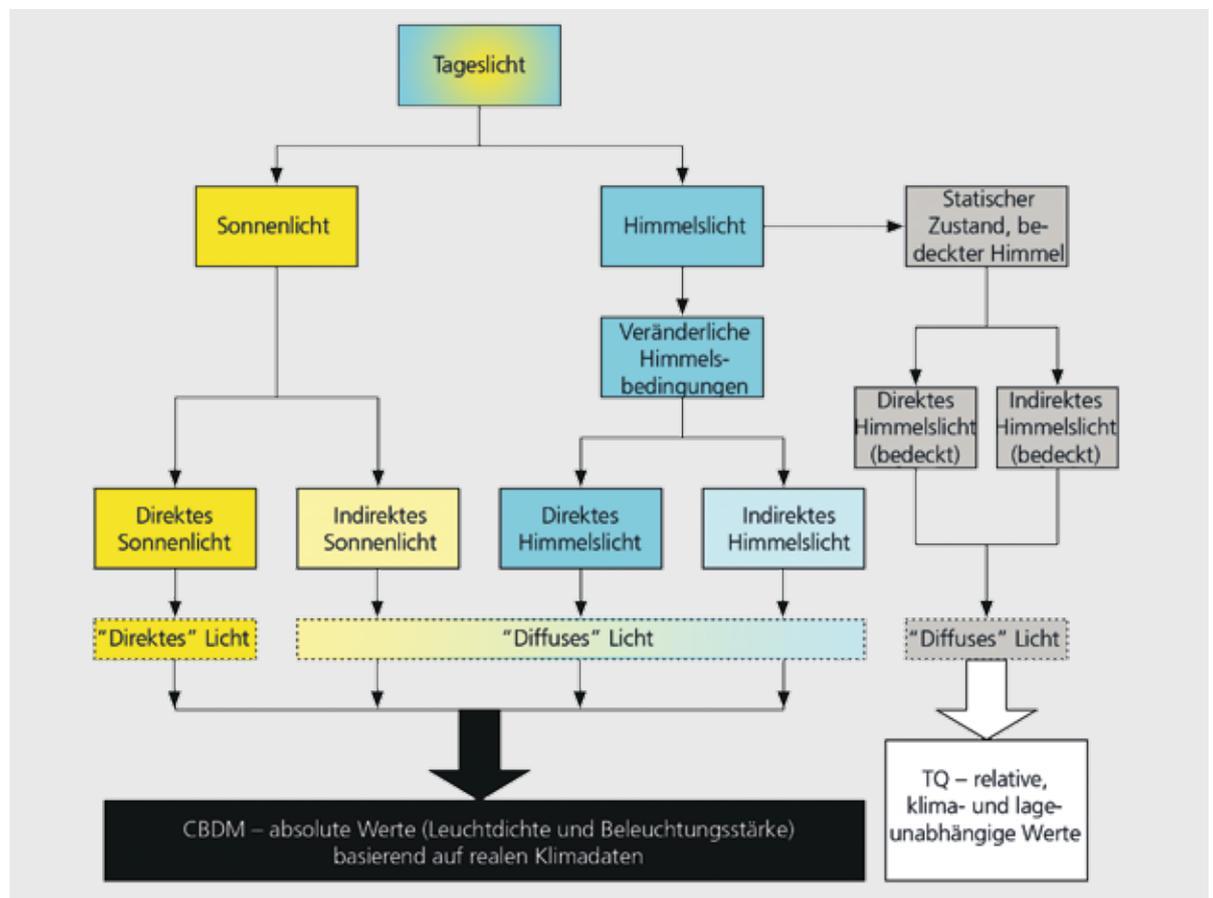


Abbildung 40: Berücksichtigte Lichtquellen bei der klimabasierten Tageslichtplanung (CBDM) im Vergleich zum statischen Wert «Tageslichtquotient» (daylight factor, DF).  
Quelle: [1]

damit zu rechnen, dass auch CBDM mehr und mehr zum Standard wird.

### Metriken

Mit Ausnahme des UGR-Wertes beruhen die folgend genannten Metriken – also Masszahl-Systeme – auf klimabasierten Simulationen in Zeitschritten von in der Regel höchstens einer Stunde. Die Metriken dienen dazu, die erzeugte Datenmenge auf sinnvolle Art und Weise so zu reduzieren, dass die Ergebnisse einer Interpretation zugänglich werden. Der UGR-Wert wird nur der Vollständigkeit halber aufgeführt.

**Die Tageslichtautonomie (TA)** (Daylight Autonomy, DA) ist der Anteil Nutzungsstunden, für den über Tageslicht eine definierte Beleuchtungsstärke erreicht bzw. überschritten wird. Die Angabe erfolgt in Prozent. Der Visualisierung dient eine skalierte Farbdarstellung auf einem Grundriss des betrachteten Raumes.

### Vereinfachte Tageslichtautonomie

**(TA<sub>380/4</sub>):** Auf der Grundlage der Norm SIA 380/4:2006 kann der Kehrwert der Voll-

laststunden der Beleuchtung für eine vereinfachte Abschätzung der Tageslichtautonomie herangezogen werden – das Planungsziel ist es, die Volllaststunden der Beleuchtung zu minimieren. Dies ist gleichbedeutend mit einer Erhöhung der Tageslichtautonomie.

$$TA_{380/4} = 100 \cdot (1 - t_{Li,Nz}/Nz)$$

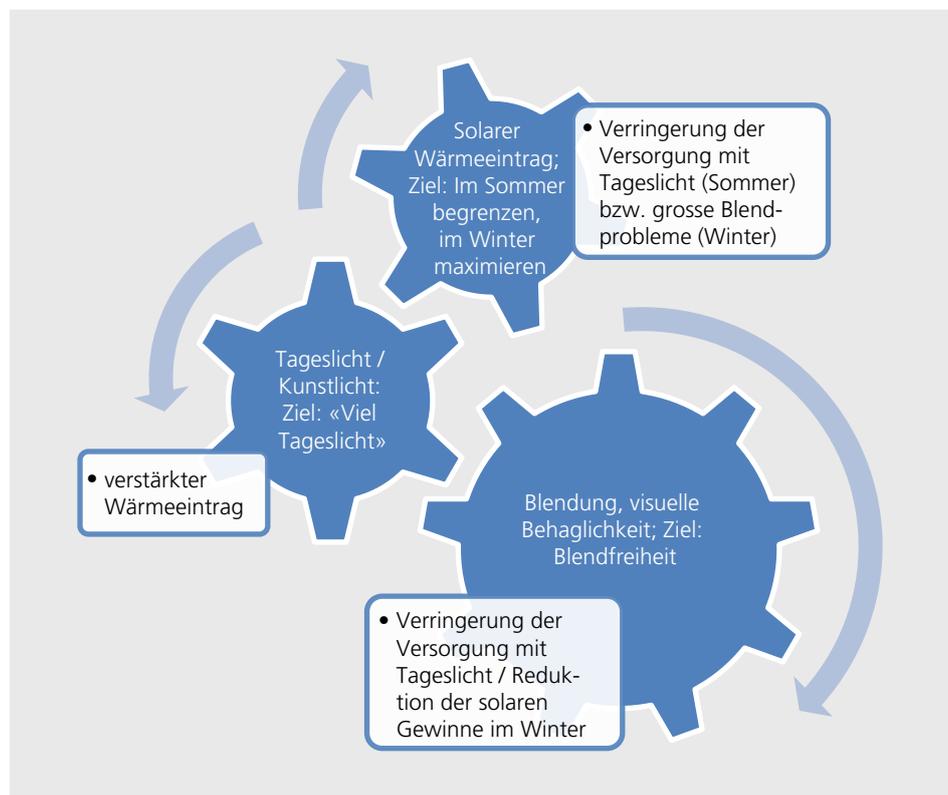
Nz Nutzungszeit gemäss SIA 380/4 in Stunden pro Tag (Standardwert 11 Stunden)

$t_{Li,Nz}$  Volllaststunden pro Tag für eine Nutzungszeit Nz gemäss SIA 380/4

### Nützliche Beleuchtungsstärke (UDI):

Die nützliche Beleuchtungsstärke durch Tageslicht (Useful Daylight Illuminance, UDI) beschreibt den Prozentsatz der Nutzungsstunden im Jahr, die mit Tageslicht eine gegebene Beleuchtungsstärke erreichen. Übliche Wertebereiche sind z. B. UDI<sub>>2000Lux</sub> (zu hell), UDI<sub>500-2000Lux</sub> (Autonomie), UDI<sub>100-500Lux</sub> (unterstützend) und UDI<sub><100Lux</sub> (kein Tageslicht). Die Werte las-

Abbildung 41:  
Spannungsdreieck zwischen den Zielen optimale Tageslichtversorgung, Blendfreiheit und Wärmeeinträge – die Wärmeeinträge sind zudem im Winter zu maximieren und im Sommer zu minimieren.



sen sich als entsprechend skalierte Farbdarstellung auf einem Grundriss des betrachteten Raumes wiedergeben. Die Kombination aus Tageslichtautonomie und UDI kann zusätzlich Bereiche aufzeigen, die zwar autonom aber zu hell sind – ein Hinweis darauf, dass der Sonnenschutz häufiger nötig sein wird, als dies im aktuellen Planungsstand vorgesehen ist [3].

**Die Blendwahrscheinlichkeit** (DGP, Daylight Glare Probability) gibt den Prozentsatz der Nutzer an, die sich an der ausgewerteten Stelle mit der betrachteten Blickrichtung in einem Raum geblendet fühlen werden. Der Definitionsbereich liegt zwischen 20 % und 80 %, wobei Werte unter ca. 32 % bis 35 % als «nicht wahrnehmbare Blendung», Werte bis ca. 40 % als «wahrnehmbar», Werte bis ca. 45 % als «störend» und Werte darüber als «nicht tolerierbar» einzustufen sind [4].

**Direktblendungsgrad (UGR):** Der Grad der Direktblendung (Unified Glare Rating) ist für Leuchten definiert und auf Quellen mit einem Raumwinkel zwischen  $3 \cdot 10^{-4}$  bis  $1 \cdot 10^{-1}$  sr beschränkt (sr steht für Stera-

diant). Der UGR-Wert hat keine Einheit. Der Direktblendungsgrad wird in SIA 380/4:2006 für die Planung der Beleuchtung verwendet. Die empfohlenen UGR-Grenzwerte bilden eine Reihe, deren Stufen eine merkliche Änderung der Blendung darstellen: 10, 13, 16, 19, 22, 25 und 28. Arbeitsplätze sollen einen UGR-Wert von 19 bis 22 nicht überschreiten (SN EN 12464-1).

## Fenster und Fassaden

Fenster sind heute Hochleistungsprodukte. Sie erfüllen vielfältige Anforderungen, sorgen für Licht im Innenraum, für passive solare Wärmegewinne und für einen direkten visuellen Bezug zur Umgebung. Viele moderne Verwaltungsbauten, aber auch vereinzelte Wohnbauten werden mit Vorhangfassaden geplant und ausgeführt. Im Prinzip ist eine vollverglaste Vorhangfassade ein grosses Fenster. In Abbildung 42 und Abbildung 43 sind Gebäude mit Vorhangfassaden abgebildet – der Prime Tower entspricht der üblichen Erwartung, das Renaissancegebäude könnte auch eine Lochfassade sein.

*Tabelle 7: Richtwerte für die Lichtausbeute natürlicher und künstlicher Lichtquellen.  
Quelle: [1]*

Quelle	Lichtausbeute (lm/W)
Direktes Sonnenlicht	70 – 95
Klarer blauer Himmel, diffuser Anteil	130
Bedeckter Himmel, diffuser Anteil	110
Tageslicht global (direkt und diffus)	105
Glühbirne	15
Leuchtstoff-Leuchten	57 – 72
T5-Leuchtstoff-Röhren	70 – 100
LED	90 – 180*
*Stand 2012 für diverse Prototypen – einzelne LED, noch keine fertigen Leuchtmittel respektive Leuchten; Lichttemperatur unterschiedlich.	

*Tabelle 8: Richtwerte für die Lichtausbeute natürlicher Lichtquellen aus Tabelle 7 mit selektiven Eigenschaften von modernen Gläsern korrigiert.*

Quelle	Glastyp*	Lichtausbeute (lm/W)
Direktes Sonnenlicht	Wärmeschutz	100 – 130
	Sonnenschutz	115 – 160
Klarer blauer Himmel, diffuser Anteil	Wärmeschutz	180
	Sonnenschutz	217
Bedeckter Himmel, diffuser Anteil	Wärmeschutz	150
	Sonnenschutz	180
Tageslicht global (direkt und diffus)	Wärmeschutz	145
	Sonnenschutz	176
*Wärmeschutzglas Interpane IPlusE, Sonnenschutzglas Interpane 52/29; jeweils 6-16-6.		

### Wärmeverluste

Wie Abbildung 42 und Abbildung 43 zeigen, ist die architektonische Gestaltung durch die Konstruktionsart Vorhangfassade kaum eingeschränkt. Eine Lochfensteroptik ist genauso realisierbar wie eine Fensterbänder-Optik. Der konstruktive Aufbau einer Fassade ist aus Ansichten nicht unbedingt ersichtlich. Der Aufbau kann jedoch hinsichtlich der thermischen Eigenschaften einer Fassade einen deutlichen Unterschied machen – Vorhangfassaden haben in den opaken Bereichen in der Regel einen gewissen Rahmenanteil. Dieser ist nötig, um die notwendige selbsttragende Eigenschaft der Vorhangfassade zu gewährleisten. Der Rahmenanteil führt jedoch aus thermischer Sicht zwangsweise zu Wärmebrücken, die in diesem Umfang bei Loch- oder Fensterbandfassaden nicht unbedingt vorkommen. Der gewöhnliche Ansatz für die U-Wert Berechnung Wand plus Fenster plus Wärmebrückenzuschlag für Wandanker plus Wärmebrückenzuschlag Fensteranschlag kann zu einem zu tiefen Gesamt-U-Wert führen. Mit der Faustformel  $U_{cw} \approx 1,5 \cdot U_g$  kann für Vorhangfassaden eine erste Abschätzung erfolgen. Liegt der U-Wert aus einer Berechnung gemäss dem erwähnten gewöhnlichen Ansatz deutlich tiefer, ist Vorsicht geboten. Die Frage «Warum kann

auch mit einem U-Wert der Fassade um 1  $W/(m^2K)$  der Grenzwert des Systemnachweises trotzdem noch erfüllt werden?» ist rasch erklärt. Zum einen ist bei grösseren Verwaltungsbauten die Gebäudehüllzahl sehr tief. Der Wärmeverlust durch die Hülle lässt sich auf eine grosse Energiebezugsfläche verteilen. Zudem sind der interne und der solare Wärmege Gewinn oft verhältnismässig hoch. Ein häufiger Denkfehler bei derartigen Fassaden ist, dass mit einer Erhöhung der Dämmschichtstärke im Geschossdeckenbereich der U-Wert der Gesamtfassade nennenswert beeinflusst werden kann – das kann er in der Regel eher nicht! Das Optimierungspotenzial liegt anderswo.

### Wärmege winne

Fenster und Vorhangfassaden mit grossen Glasanteilen sind hinsichtlich der Transmissionswärmeverluste zwar deutlich schlechter zu bewerten als eine opake Wand mit zeitgemässer Dämmstärke. Umgekehrt ermöglichen die Verglasungen den Eintrag von solarer Wärme in das Gebäude. In der Gesamtbilanz Wärmeverluste abzüglich Wärmege winne schneiden diese Flächen gut ab. Diese Bilanz kann mit einem äquivalenten U-Wert erstellt werden. Wichtig ist, dass derartige äquivalente U-Werte ausschliesslich für den Vergleich von Fens-



Abbildung 42:  
Prime Tower in Zürich mit einer vollverglasten Vorhangfassade.



Abbildung 43:  
Mobimo Tower in Zürich – Vorhangfassade mit Lochfas-sadenoptik.

tern bzw. Fassaden als «Produkt» herangezogen werden und nicht in weiterführende Berechnungen wie beispielsweise einen Wärmeschutznachweis gemäss SIA 380/1 einfließen.

### **U<sub>cw</sub>-Wert**

Es ist nach Norm SIA 380/1:2009 nicht zulässig, für Vorhangfassaden einen Einzelbauteilnachweis zu führen. Bei diesen Fassaden sind die Bauteile Fenster und Wand für eine thermische Berechnung untrennbar zusammengesetzt. Aus diesem Grund erfolgt die Berechnung des U<sub>cw</sub>-Wertes von Vorhangfassaden im Rahmen des Systemnachweises mit der Norm SN EN ISO 12631 (cw steht dabei für curtain wall – Vorhangfassade). Für die typischen Konstruktionsdetails derartiger Fassaden – z. B. Rahmen/Dämmpaneel, Rahmen/Isolierverglasung, etc. – sind lineare Verlustkoeffizienten gegeben, anhand derer ein einfacher Nachweis möglich ist. Eine detaillierte Berechnung mit einem zweidimensionalen Wärmebrückenprogramm erlaubt allerdings eine projektbezogene Optimierung und ist vorzuziehen.

### **Äquivalenter U-Wert für Fenster und Fassaden**

$$U_{eq,w} = U_w - S_f \cdot (1 - F_f) \cdot g$$

- U<sub>w</sub> U-Wert des Fensters respektive der Fassade
- S<sub>f</sub> Solarer Gewinnfaktor, abhängig von der Orientierung, z. B. Wärmeschutz Verordnung 1995: Nord S<sub>f</sub> = 0,95; West/Ost S<sub>f</sub> = 1,65; Süd S<sub>f</sub> = 2,4; dieser Faktor berücksichtigt individuelle Verschattungen nicht.
- F<sub>f</sub> Rahmenanteil Fenster respektive Fassade (Verhältnis zwischen der Bauteilfläche, für die der U-Wert gilt zur sichtbaren Glasfläche)
- g g-Wert des Fensters respektive Fassade (dieser g-Wert sollte sich auf die gesamte der Solarstrahlung ausgesetzte Bauteilfläche beziehen, bei Fenstern auf die lichte Maueröffnung)

## **Quellen**

- [1] J Mardaljevic, L Hescong, E Lee; Daylight metrics and energy savings; Lighting Res. Technol. 2009; 41: 261–283
- [2], Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung); 1995
- [3] C. F. Reinhart, J. Wienold; The daylighting dashboard – A simulation-based design analysis for daylight spaces; Building and Environment 46 (2011), 386 – 396
- [4] Wienold, J. (2009); Dynamic daylight glare evaluation; Building Simulation 2009, Glasgow (UK), 944 – 951
- [5] Reinhart CF.; Daysim; version 4.0, <http://daysim.ning.com> (Stand Juni 2013)
- [6] Merkblatt SIA 2024; Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik; 2006
- [7] Norm SIA 180 (Vernehmlassungsversion, September 2013)
- [8] Norm SIA 380/1; Thermische Energie im Hochbau; 2009
- [9] Norm SIA 380/4; Elektrische Energie im Hochbau; 2006
- [10] Norm SIA 382/1 Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen; 2007
- [11] Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich, 2008
- [12] SN EN-673, SIA 331.152:2011; Glas im Bauwesen – Bestimmung des U-Werts (Wärmedurchgangskoeffizient) – Berechnungsverfahren; 2011
- [13] SN EN-410, SIA 331.151:2011; Glas im Bauwesen – Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrössen von Verglasungen; 2011
- [14] SN EN ISO 12631, SN EN ISO 12631 (SIA 180.083:2012); Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangfassaden – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten (ISO 12631:2012); 2012

# Heizung und Warmwasser

## Heinrich Huber **Verständigung und Begriffe**

Ohne andere Angaben verstehen sich Flächenangaben als Energiebezugsflächen. Ausnahmen sind explizit aufgeführt. Ein Verzeichnis der häufig verwendeten Abkürzungen findet sich am Schluss des Kapitels.

### **Verweise**

Hier wird lediglich ein kurzer Überblick über Heizung, Wassererwärmung, Lüftung und Klima gegeben. Für eine Vertiefung wird auf folgende Publikationen der Fachbuchreihe verwiesen:

- Gebäudetechnik, Systeme integral planen [1]
- Erneuerbare Energien [2]

### **Energiestandards**

Auf Grund der laufenden Entwicklungen der Energiestandards und Vorschriften ist anzunehmen, dass ab dem Jahr 2020 an den Energiebedarf für Heizung, Warmwasser und Lüftung folgende Anforderungen gestellt werden dürften:

■ Der Endenergiebedarf von Neubauten liegt bei einem Heizöläquivalent von ca. 3 l pro m<sup>2</sup> respektive einer gewichteten Energiekennzahl Wärme von 30 kWh/m<sup>2</sup>. Berechnet mit den nationalen Gewichtungsfaktoren, die auch beim GEAK und bei Minergie verwendet werden.

■ Bei bestehenden Gebäuden wird ein Heizöläquivalent von ca. 6 l pro m<sup>2</sup> respektive eine gewichtete Energiekennzahl Wärme von 60 kWh/m<sup>2</sup> angestrebt.

Die genannten Werte verstehen sich als die dem Gebäude zugeführte Endenergie, ohne Berücksichtigung der Eigenproduktion einer allfälligen Photovoltaikanlage (PV). Bei Null- oder Fast-Null-Energie-Gebäuden ist die Jahresproduktion einer eigenen PV-Anlage mindestens gleich gross wie der erwähnte Bedarf. Die hier behandelten Konzepte und Detaillösungen sind so zu verstehen, dass sie die Erreichung dieser Energiestandards unterstützen.

## **Erneuerbare Energien**

Die heutige sowie auch die nächste Generation von Gebäuden setzt auch beim Einsatz von erneuerbaren Energien eine effiziente Gebäudetechnik voraus. In absehbarer Zeit ist es nicht angemessen, und wird kaum von Energievorschriften erlaubt, dass ein Gebäude mit einer elektrischen Widerstandsheizung beheizt wird, wenn der Strom mit einer eigenen PV-Anlage (vorwiegend im Sommer) produziert wird. Holz ist ein erneuerbarer Energieträger. Da Holz aber begrenzt verfügbar ist und zudem künftig vermehrt für Prozesswärme eingesetzt werden soll, muss dieser Brennstoff zurückhaltend für Raumheizung und Wassererwärmung verwendet werden. Es wird z. B. als nicht zweckmässig erachtet, wenn bei einem bestehenden, mittelmässig wärmegeprägten Wohngebäude lediglich die Ölheizung durch eine Pelletsheizung ersetzt wird und keine weiteren energetischen Massnahmen getroffen werden. Wenn hingegen bei einem neuen Niedrigstenergie-Einfamilienhaus ein bis zwei Ster Holz verbraucht werden, ist das keine relevante Beanspruchung des schweizerischen Holzenergiepotenzials, selbst wenn das Konzept tausendfach reproduziert würde.

### **Elektrische Leistungsspitzen**

Die Wärmeversorgung soll bei tiefen Aussentemperaturen den elektrischen Leistungsbezug eines Gebäudes nicht wesentlich erhöhen. In dieser Hinsicht ist es ungünstig, wenn bei einem bestehenden, mittelmässig wärmegeprägten Mehrfamilienhaus ein Ölkessel durch eine monovalente Luft-Wasser-Wärmepumpe ersetzt wird, da dies zu einer zusätzlichen elektrischen Leistungsspitze von rund 35 W/m<sup>2</sup> führt. Hingegen ist es unproblematisch, wenn ein neues Minergie-P-Gebäude mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe beheizt wird, da die elektrische Leistungsspitze lediglich um etwa 6 W/m<sup>2</sup> zunimmt. Bei Gebäuden mit eigenen PV-Anlagen soll der

produzierte Strom soweit als möglich im Haus verbraucht respektive der ins Netz eingespeisene Anteil soll minimiert werden. Bei einer Wärmeversorgung mit Wärmepumpe bietet sich an, dass die Wassererwärmung zwischen ca. 10 Uhr und 14 Uhr erfolgt. Je nach Mittagsspitze im Stromverbrauch des Gebäudes und im Niederspannungsnetz der Umgebung, ist eventuell eine Verschiebung auf 12 Uhr bis 16 Uhr sinnvoll.

#### Tiefe Temperaturen – hohe Effizienz

Praktisch jede Art von Wärmeerzeugung arbeitet umso effizienter, je tiefer die Heizmediumtemperatur ist. Sehr ausgeprägt ist dieser Zusammenhang bei Wärmepumpen. Wenn die Vorlauftemperatur z. B. von 50°C (max. zulässiger Wert im Betrieb von neuen Heizkörpern) auf 35°C (max. zulässiger Wert bei der Versorgung von neuen Fussbodenheizungen) sinkt, verbessert sich die Jahresarbeitszahl einer Luft-Wasser-Wärmepumpe um gut 30 % respektive der Stromverbrauch sinkt um rund einen Drittel. Bei thermischen Solaranlagen steigt der Ertrag mit sinkender Nutztemperatur. Selbst bei neuen Heizkesseln wirken sich tiefe Heizmediumtemperaturen positiv aus: Je tiefer die Rücklauftemperatur ist, umso mehr Wasser kondensiert aus dem Abgas aus, was zu einem höheren Wirkungsgrad führt.

## Konzepte

In diesem Abschnitt finden sich Empfehlungen für Wärmeversorgungskonzepte von kleineren und mittleren Wohnhäusern. Die Konzepte lassen sich teilweise auch auf kleinere und mittlere Bürogebäude und Schulhäuser übertragen. Behandelt sind nur die häufigsten Wärmeerzeugungen:

- Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Sole-Wasser-Wärmepumpe, als Wärmequelle dient in der Regel eine Erdwärmesonde.
- Holzheizung: darunter fallen Pellet, Stückholz und Hackschnitzel.
- Thermische Solaranlagen für Heizungsunterstützung und Wassererwärmung

Nicht behandelt sind:

- Fossil befeuerte Heizkessel, da diese höchstens noch als Spitzendeckung bei Modernisierungen eingesetzt werden sollen.
- Wärmekraftkopplung, da diese Technik eher bei grossen Wärmeverbrauchern zum Einsatz kommt.

## Wärmeversorgung und Gebäude

Für drei verschiedene Wärmdämmstandards werden Kombinationen mit verschiedenen Wärmeversorgungen dargestellt. Die Werte für den Heizwärmebedarf gelten für Wohngebäude im schweizerischen Mittelland mit einer Gebäudehüllzahl von ca. 1,2 (mittleres MFH) bis etwa 2,2 (Reihen-EFH, kompaktes EFH).

Kennwerte von Gebäuden			
Standard	Saniertes bestehendes Gebäude	Neubau Minergie	Neubau Minergie-P
Heizwärme nach SIA 380/1	83 kWh/(m <sup>2</sup> a)	42 kWh/(m <sup>2</sup> a)	21 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Energiebedarf für Wassererwärmung EFH /MFH	14 kWh/(m <sup>2</sup> a) / 21 kWh/(m <sup>2</sup> a)		
Heizleistungsbedarf	35 bis 42 W/(m <sup>2</sup> a)	22 bis 28 W/(m <sup>2</sup> a)	12 bis 18 W/(m <sup>2</sup> a)
Lüftung	Handbetätigte Fenster, Abluft in Bad und WC	Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung	Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung

*Tabelle 9: Vergleich von Kennwerten verschiedener Standards.*

### Grundkonzepte der Wärmeverteilung Wasserheizung mit Heizkörpern

Ein Wasserkreislauf versorgt die Heizkörper in den einzelnen Räumen mit Wärme. Bestehende Anlagen sind oft auf relativ hohe Vorlauf-Temperaturen (VL) ausgelegt, z. B. 60°C bis 70°C. Als Folge von Wärmedämmmassnahmen an der Gebäudehülle kann der VL aber auf ca. 50°C bis 60°C sinken. Bei neuen Anlagen liegt der VL zwischen 40°C bis 50°C. Die VL-Temperatur ist in der Regel witterungsgeführt. Die einzelnen Heizkörper sind zumeist mit Thermostatventilen ausgerüstet.

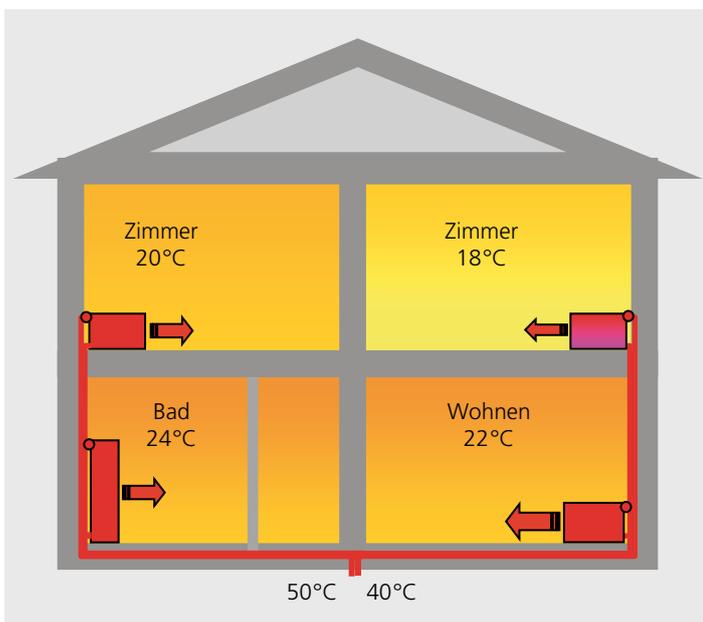
Die Vorteile dieses Anlagentyps sind:

- In den einzelnen Räumen kann die Temperatur individuell eingestellt und geregelt werden.
- Die Wärmeabgabe ist rasch veränderbar.

Nachteilig sind folgende Merkmale:

- Für Gebäude mit einem sehr tiefen Heizleistungsbedarf ist die Wärmeverteilung relativ aufwändig und damit spezifisch teuer (grosse Investition pro Watt Wärmeleistung).
- Heizkörper können die Möblierung einschränken und sind teilweise aus ästhetischen Gründen unbeliebt.
- Die relativ hohen VL-Temperaturen wirken sich negativ auf Arbeitszahlen von Wärmepumpen aus.

Abbildung 44:  
Prinzip Wasserheizung mit Heizkörpern.



### Wasserheizung mit Fussbodenheizung oder thermoaktiven Bauteilen (TABS)

Die grossflächige Wärmeabgabe erlaubt tiefe Vorlauftemperaturen. Bei neuen, gut wärmegeprägten Gebäuden liegen die Werte im Bereich von 30°C bis maximal 35°C. Bei TABS sind noch tiefere Vorlauftemperaturen möglich. Ältere Bodenheizungen und Deckenheizungen können aber deutlich höhere Vorlauftemperaturen erfordern (bis ca. 60°C). Die Vorlauftemperatur ist in der Regel witterungsgeführt. In Einfamilienhäusern wird anstelle der Vorlauftemperatur oft die Rücklauftemperatur geregelt.

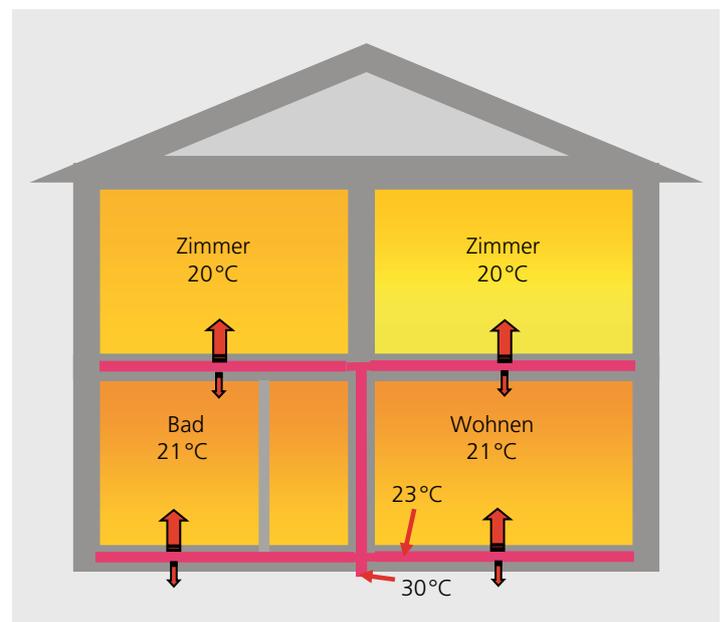
Die Vorteile dieses Anlagentyps sind:

- Die tiefen Vorlauftemperaturen bieten eine gute Voraussetzung für den Einsatz von Wärmepumpen.
- Bei Vorlauftemperaturen von 30°C und tiefer ist der Selbstregelleffekt in der Regel wirksam, womit auf eine Einzelraumregelung verzichtet werden kann.

Einschränkend oder nachteilig sind folgende Merkmale:

- Die Wärmeabgabeleistung ist begrenzt (z. B. rund 30 W pro m<sup>2</sup> Bodenfläche bei einer Vorlauftemperatur von 30°C).
- Durch die hohe Wärmekapazität reagiert die Wärmeabgabe träge.

Abbildung 45:  
Prinzip Wasserheizung mit Fussbodenheizung oder TABS.



■ Bei Fussbodenheizungen wird ein Teil der Wärme nach unten abgegeben. Dies ist ein Nachteil, wenn diese Räume zu einer anderen Nutzungseinheit gehören.

■ Bei Gebäuden mit tiefem Heizleistungsbedarf ist die Oberflächentemperatur der Heizfläche nicht spürbar warm. Benutzer können beim Berühren der Heizfläche den Eindruck erhalten, dass die Heizung nicht in Betrieb sei.

### Heizen mit Zuluft

Bei Gebäuden mit einem spezifischen Heizleistungsbedarf von maximal  $10 \text{ W/m}^2$  kann die Heizwärme über eine mechanische Lüftungsanlage verteilt werden. Die Raumtemperatur wird typischerweise über einen Referenzraum geregelt.

Der Vorteil dieser Lösung ist:

■ Eine vorhandene einfache Lüftungsanlage kann mit wenigen Zusatzausrüstungen auch eine Heizfunktion übernehmen.

Einschränkend und nachteilig sind:

■ Einzelraumregelungen werden aus Kostengründen meist nicht realisiert. Dadurch ist keine individuell einstellbare Raumtemperatur möglich.

■ Bei exponierten Räumen, wie Eckzimmern, kann der zum Heizen benötigte Zuluftvolumenstrom über dem hygienisch angemessenen Zuluftvolumenstrom liegen, auch wenn der Heizleistungsbedarf

im Mittel (d. h. über die gesamte Wohnung) unter  $10 \text{ W/m}^2$  liegt.

■ Die Wärmeerzeugung gibt die produzierte Wärme typischerweise auf einem höheren Temperaturniveau ab als bei einer Wärmeverteilung mit Wasser. Dementsprechend reduziert sich bei Wärmepumpen die Arbeitszahl.

■ In Bad und WC wird meist keine Zuluft zugeführt. Bei Gebäuden mit Luftheizung sollen diese Räume daher im Zentrum liegen.

### Ofen mit freier Wärmeverteilung

Ein zentraler Ofen (z. B. Kachelofen oder Pelletsofen) steht typischerweise im Wohnzimmer. Die Wärme wird über Strahlung und natürliche Luftströmungen verteilt. In Niedrigenergiehäusern kann ein Ofen als Ganzhausheizung eingesetzt werden. Durch bauliche und betriebliche Massnahmen muss dafür gesorgt werden, dass sich die Wärme in alle Räume verteilt.

Ortsfeste Öfen können so konstruiert werden, dass sie Heizflächen zu mehreren Räumen aufweisen. Bei sogenannten Satelliten-Öfen werden die Heizflächen auf zwei Geschossen platziert. Die Vorteile dieser Lösung sind:

■ Holzöfen sind beliebte Wärmeerzeuger.

■ Einfache Anlage

■ Frostsichere Anlage

Abbildung 46: Prinzip Heizung mit Zuluft.

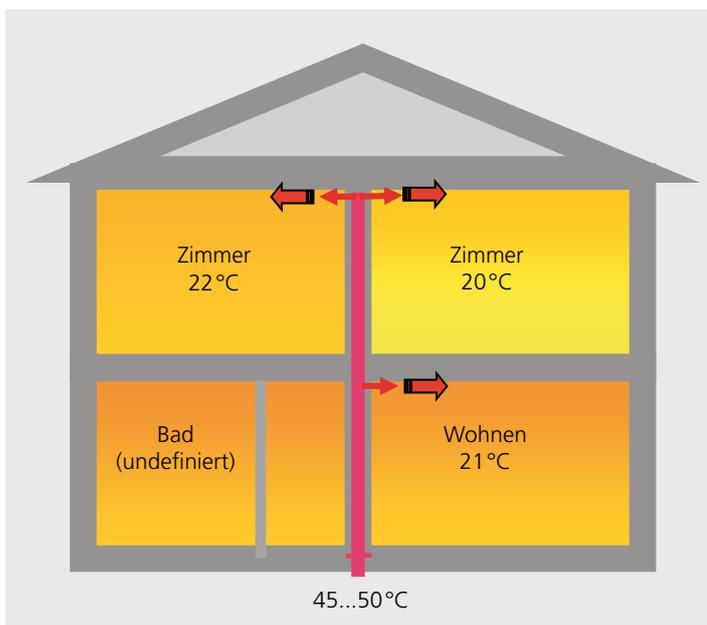
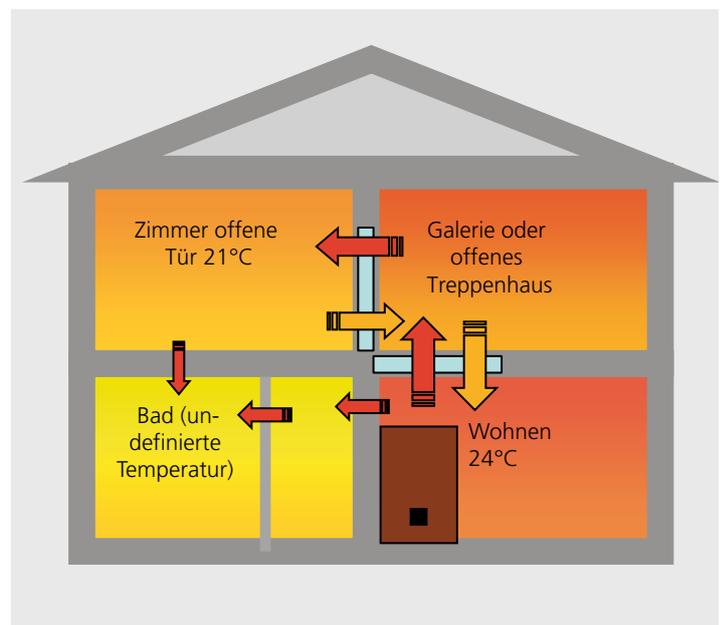


Abbildung 47: Prinzip Ofen mit freier Wärmeverteilung.



Einschränkend oder nachteilig sind folgende Merkmale:

■ Die zeitliche und räumlichen Temperaturunterschiede sowie der Arbeitsaufwand müssen von den Benutzern akzeptiert werden.

■ Für die Wärmeverteilung müssen die Zimmertüren häufig offen stehen.

### Mischsysteme

Bei Anlagen für Gebäude mit tiefem Heizwärmebedarf können Wärmeerzeuger eingesetzt werden, die einen Teil der produzierten Wärme an eine Wasserheizung abgeben. Beispiele sind Wärmepumpen-Kompaktgeräte mit kombinierter Wärmeabgabe an Luft und Wasser oder Öfen mit Absorbertechnik.

Bei der Absorbertechnik wird die Speichermasse eines Ofens mit Absorbern (gleiche Konstruktion wie Sonnenkollektoren) umgeben. Damit kann bis zu 70 % der Wärmeabgabe an ein wasserführendes System abgegeben werden. Ein Vorteil der Absorbertechnik ist die einfache hydraulische Einbindung.

### Kombinationen von Energiestandards und Heizsystemen

Tabelle 10 zeigt, bei welcher Kombination von Wärmedämmstandard und Wärme-

verteilung welche Wärmeversorgung empfohlen wird. Kommentare zu Tabelle 10

■ Bei der Variante Modernisierung lässt sich das energetische Ziel einer gewichteten Energiekennzahl von 60 kWh/m<sup>2</sup> mit allen Varianten nur knapp erreichen. Das heisst, dass der Heizenergiebedarf von 83 kWh/m<sup>2</sup> an der oberen Grenze liegt.

■ Bei den Varianten mit Holzheizung sollte eine thermische Solaranlage eingesetzt werden, die mindestens 60 % des jährlichen Warmwasser-Wärmebedarfs deckt. Der Grund ist, dass die Holzheizung im Sommer ausgeschaltet werden soll, da Wirkungsgrad und Schadstoffemissionen bei Holzfeuerungen in Teillast ungünstig sind. Falls Platz für einen genügend grossen Speicher vorhanden ist, soll die Solaranlage so ausgelegt werden, dass sie zusätzlich 10 % bis 20 % des Heizwärmebedarfs deckt. Wenn keine thermische Solaranlage möglich ist, kann zur Wassererwärmung auch eine separate Warmwasser-Wärmepumpe (WP-Boiler oder Abluft-WP) eingesetzt werden.

■ Bei der Variante Minergie-P ist der Wärmebedarf so gering, dass ein Anschluss an ein allfälliges Fernwärmenetz gut überlegt werden muss. Bei grossen Gebäuden im städtischen Raum kann die Wärmebezugs-

*Tabelle 10: Empfehlungen für die Kombinationen von Wärmedämmstandards und Heizungsanlage.*

Wärmedämmstandard → Wärmeverteilung	Modernisierung Q <sub>h</sub> = 83 kWh/m <sup>2</sup>	Neubau Minergie Q <sub>h</sub> = 42 kWh/m <sup>2</sup>	Neubau Minergie-P Q <sub>h</sub> = 21 kWh/m <sup>2</sup>
Wasserheizung mit Heizkörper	Geeignet für Fernwärme sowie Holzheizungen. Bei VL > 50 °C nicht geeignet für WP.	Auslegung auf VL ≤ 45 °C. Geeignet für Holzheizung, Fernwärme und Sole-Wasser-WP.	Auslegung auf VL ≤ 40 °C. Geeignet für Holzheizung und Sole-Wasser-WP.
Fussbodenheizung oder TABS	Bei VL ≤ 50 °C geeignet für Holzheizung, Fernwärme und Erdsonden-WP, bei grösseren Gebäuden ev. Wärmepumpe und Spitzenheizkessel.	Auslegung auf VL ≤ 35 °C. Gut geeignet für alle Wärmeerzeuger.	Auslegung auf VL ≤ 30 °C. Sehr gut geeignet für alle Wärmeerzeuger.
Heizen mit Zuluft	Ungeeignet	Ungeeignet	Geeignet bei einer Heizleistung von maximale 10 W/m <sup>2</sup> . In Kombination mit Abluft-Wärmepumpe für Heizung und Wassererwärmung.
Ofen mit freier Wärmeverteilung	Nicht empfohlen wegen grossen Temperaturdifferenzen und hohem Arbeitsaufwand.	Ungeeignet für MFH. Bei Kombination mit thermischer Solaranlage geeignet für kompakte EFH.	Ungeeignet für MFH. Bei Kombination mit thermischer Solaranlage geeignet für EFH.

dichte allenfalls genügend hoch sein, dass sich ein Anschluss ökonomisch vertreten lässt. Bei kleinen Objekten dürfte eine eigene Wärmeerzeugung angemessen sein.

### Tiefe Vorlauftemperaturen versus Heizleistung Selbstregeleffekt

Eine tiefe Vorlauftemperatur ist der Schlüssel zu einer effizienten Wärmeversorgung. Ein zweiter, mindestens so bedeutender Grund ist, dass bei Vorlauftemperaturen 30°C und tiefer der Selbstregeleffekt zum Tragen kommt. Die Oberflächentemperatur des Fussbodens liegt dabei nur etwa 2 K über der Raumtemperatur. Wenn nun z. B. wegen Sonneneinstrahlung die Raumtemperatur von 20°C auf 22°C steigt, gibt der Fussboden keine Wärme mehr an den Raum ab. Da diese Anpassung ohne technische Regeleinrichtungen erfolgt, wird vom Selbstregeleffekt gesprochen.

Die Energievorschriften verlangen bei Vorlauftemperaturen  $\leq 30^\circ\text{C}$  keine technische Einzelraumregelung. Dies führt zu hydraulisch einfachen und zuverlässigen Anlagen.

### Spezifische Heizleistung

Um praktikable Verlegabstände zu erhalten, sollte der spezifische Heizleistungsbedarf im ungünstigsten Zimmer nicht über 30 W/m<sup>2</sup> liegen. Bei kleinen Flächen, wie Bäder, können allenfalls Verlegabstände von 10 cm oder weniger realisiert werden.

### Beispiel

Eine Attikawohnung eines Minergie-Mehrfamilienhauses hat ein 30 m<sup>2</sup> grosses Wohnzimmer mit Daten gemäss Tabelle 12. Trotz tiefen U-Werten von Wand und Dach ist die spezifische Heizlast zu hoch, um eine Vorlauftemperatur von 30°C zu erreichen. Der Grund liegt bei den grossen Fenstern mit Doppelverglasung. Bei guten Fenstern mit Dreifachverglasung lässt sich ein Fenster-U-Wert von 0,9 W/m<sup>2</sup> erreichen. Damit sinkt der spezifische Heizleistungsbedarf auf 27 W/m<sup>2</sup> und die angestrebte Vorlauftemperatur von 30°C ist problemlos realisierbar. Neben der Reduktion des Heizleistungsbedarfs erhöht sich durch diese Massnahme die thermische

Behaglichkeit. Da heutige Dreifachverglasungen g-Werte von bis zu 0,6 erreichen, muss auch keine schlechtere Energiebilanz der Südverglasung in Kauf genommen werden.

### Warmwasser

#### Verteilverluste minimieren

Die Wärmeverluste von Warmwasseranlagen können in einem Bereich von etwa 20% bis 60% liegen. Ein wesentlicher Grund für diese grosse Spanne sind die teilweise hohen Verteilverluste. Bei Niedrigstenergie-Wohngebäuden, wie z. B. Minergie-P, ist der Warmwasserbedarf etwa gleich gross wie der Heizwärmebedarf. Warmwasserverluste haben bei diesen Gebäuden einen mindestens so grossen Einfluss wie Wärmebrücken. Das bedeutet auch, dass den Warmwasserverlusten in der Planung und Ausführung mindestens eine gleiche grosse Bedeutung gegeben werden soll wie Wärmebrücken. Warmwasserverluste werden vor allem in der ersten Planungsphase beeinflusst. Die Verluste werden durch folgende Massnahmen gering gehalten:

Verlegeabstand	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
Spezifische Heizleistung	35 W/m <sup>2</sup>	33 W/m <sup>2</sup>	30 W/m <sup>2</sup>	28 W/m <sup>2</sup>

Bauteil	Fläche A m <sup>2</sup>	U-Wert U W/(m <sup>2</sup> K)	Leistung Φ W	Relative Leistung
Aussenwände und Dach	37,0	0,20	207	20 %
Fenster	21,6	1,30	786	74 %
Lüftungsverlust	—	—	67	6 %
Summe			1061	100 %

Spezifischer Heizleistungsbedarf 35 W/m<sup>2</sup>

#### Merkpunkte für Vorlauftemperaturen von maximal 30°C

- Maximaler Heizleistungsbedarf (bezogen auf nutzbare Bodenfläche): 30 W/m<sup>2</sup>
- Allenfalls U-Wert der Fenster optimieren.
- Allenfalls bei Fenstern, die nicht nach Süden ausgerichtet sind, die Grössen prüfen (z. B. Brüstungen in Schlafzimmern)

Tabelle 11: Typische spezifische Heizleistung (bezogen auf die Bodenfläche) einer Fussbodenheizung bei einem Parkettbelag, Vorlauftemperatur 30°C, Rücklauftemperatur 26°C.

Tabelle 12: Beispiel Wohnzimmer einer Attikawohnung.

■ Im Grundriss sollen die Zapfstellen um die Steigzonen herum konzentriert werden.

■ Bei Einfamilienhäusern soll auf eine Zirkulation oder auf Begleitbandheizungen verzichtet werden.

■ Bei Mehrfamilienhäusern sind Zirkulationssysteme gegenüber elektrischen Begleitbandheizungen zu bevorzugen.

### Warmwasserversorgung zentral oder dezentral?

Bei Mehrfamilienhäusern stellt sich die Frage, ob die Wassererwärmung und Speicherung zentral erfolgen soll, oder dezentral in den einzelnen Wohnungen. Bei zentralen Anlagen muss gemäss Normen das Wasser im Speicher auf 60°C erwärmt werden. Bei wohnungsweisen Wassererwärmern sind tiefere Temperaturen, z.B. 50°C, zulässig. Eine zentrale Wassererwärmung soll gewählt werden bei einer solaren Wassererwärmung oder bei einem Fernwärmeanschluss.

Wassererwärmer dürfen höchstens zu einem kleinen Teil direkt elektrisch beheizt werden. Eine effiziente dezentrale Wassererwärmung ist mit Rücklauf- oder Abluft-Wärmepumpen möglich. Abluft-Wärmepumpen werden vorzugsweise bei einfachen Abluftanlagen eingesetzt. Es gibt aber auch Geräte, die bei Komfortlüftungen (d. h. Anlagen mit Zu- und Abluft) eingesetzt werden können. Abluft-Wärmepumpen erreichen Jahresarbeitszahlen von 2,3 bis 3,0. Rücklauf-Wärmepumpen nutzen den Heizungsrücklauf der Wohnung als Wärmequelle. Der energetische Nutzen dieses Systems hängt entscheidend von der Wärmeerzeugung der Heizung ab. Rücklauf-Wärmepumpen lassen sich bezüglich Energieeffizienz nur dann rechtfertigen, wenn die Heizungswärmepumpe eine Jahresarbeitszahl von mindestens 4,5 erreicht.

### Wassererwärmung thermisch-solar oder elektrisch-solar?

In Zusammenhang mit den stetig sinkenden Kosten von photovoltaischen Zellen stellt sich die Frage, wie weit eine thermisch-solare Wassererwärmung Sinn

macht, wenn zur Gebäudeheizung (wie es bei rund 70 % der neuen Wohnbauten der Fall) eine Wärmepumpe eingesetzt wird. Am Beispiel eines Mehrfamilienhauses sind zwei Varianten einander gegenüber gestellt:

■ Thermisch-Solar: 60 % des Warmwassers werden mit einer thermischen Solaranlage bereitgestellt. Die Wärmepumpe heizt das Gebäude und erwärmt das restliche Warmwasser.

■ Elektrisch-Solar: Die Wärmepumpe übernimmt die gesamte Wärmeversorgung für Heizung und Warmwasser.

Für den Vergleich gelten folgende Annahmen:

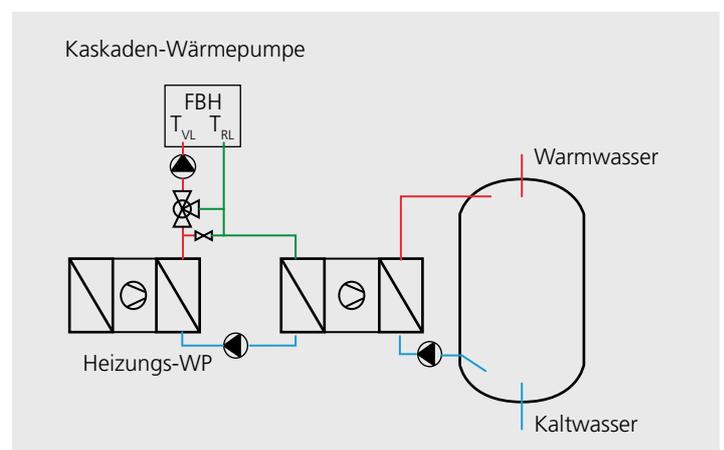
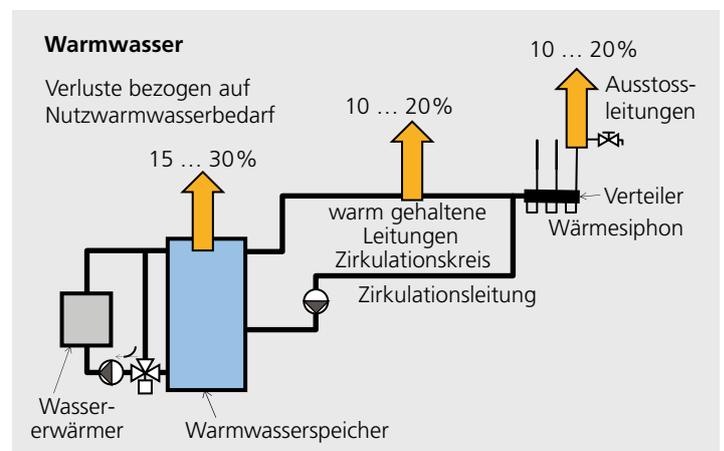
■ Der Wärmebedarf Warmwasser entspricht der Standardnutzung von Norm SIA 380/1 von 21 kWh/m<sup>2</sup>.

■ Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für die Wassererwärmung liegt bei 2,8.

■ Der Vergleich wird für eine Wohnung mit 100 m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche durchgeführt.

Abbildung 48: Verluste bei Warmwasseranlagen.

Abbildung 49: Schema RL-Wärmepumpe.



■ Der Netto-Stromverbrauch ist bei beiden Varianten gleich gross.

Bei einem für heutige Verhältnisse hohen PV-Preis von 4 000 Fr. pro kWp, ergibt sich im Beispiel lediglich eine Investition von 2 000 Fr. bis 2 500 Fr. pro Wohnung (EBF 100 m<sup>2</sup>). Selbst bei einem grossen MFH könnte eine thermisch-solare Wassererwärmung kaum für diesen Preis realisiert werden.

Zusätzliche Vorteile der Variante Elektrisch-Solar sind:

- Einfache Heizungsanlage mit einfacher Regelung
- Geringer Platzbedarf: kleinerer Warmwasserspeicher
- Das System lässt sich auch mit dezentraler Wassererwärmung (Rücklauf-Wärmepumpe oder Abluft-Wärmepumpe) realisieren.
- Vor allem bei Erneuerungen sind Elektrokabel einfacher zu führen als Wasserleitungen.

#### **Merkmale für Gesamtkonzepte**

Bei Wärmeversorgungskonzepten sollen folgende Punkte beachtet werden:

**Beschränkung auf zwei Wärmeerzeuger:** Bei mehr als zwei Wärmeerzeugern werden kleine und mittlere Anlagen so komplex, dass sie oft nicht mehr optimal einreguliert und betrieben werden.

**Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Leistungsregelung:** Die Jahresarbeitszahlen

von Luft-Wasser-Wärmepumpen konnten dank Leistungsregelung (z. B. Invertertechnik) markant verbessert werden und erreichen bei Wohnbauten im Ganzjahresbetrieb (Heizung und Warmwasser) Werte von 3,0 bis 4,0. Erdwärmesonden-Wärmepumpen sind zwar immer noch etwas effizienter, aber bei kleinen Gebäuden mit tiefen Vorlauftemperaturen ist die Energieeinsparung oft zu gering, um die Mehrinvestitionen rechtfertigen zu können.

**Erdwärmesonden-Wärmepumpen bei Kühlbedarf:** Mit Erdwärmesonden-Wärmepumpen lassen sich im Ganzjahresbetrieb Jahresarbeitszahlen von 3,5 bis 5,0 erreichen. Sobald ein Kühlbedarf vorhanden ist, stehen Erdwärmesonden-Wärmepumpen auch bei kleinen Gebäuden im Vordergrund, da die Erdwärmesonde im Sommer eine kostengünstige und sehr effiziente Raumkühlung ermöglicht.

**Wärmepumpen mit Photovoltaik kombinieren:** Wenn bei Gebäuden mit Wärmepumpen-Heizungen zusätzlich Solarenergie genutzt werden soll, dann führt Photovoltaik zu einfacheren und zuverlässigeren Lösungen als die Kombination mit thermischen Solaranlagen.

**Holz mit thermischer Solarenergie kombinieren:** Holz- oder Pelletsheizkessel eignen sich sehr gut für den Winterbetrieb. Wenn sie aber im Sommer zur Wassererwärmung eingesetzt werden, führt der Teillastbetrieb oft zu einer deutlichen Abnahme des Nutzungsgrades und zu höheren Schadstoffemissionen. Daher ist es

*Tabelle 13: Vergleich einer thermisch-solaren mit einer elektrisch-solaren Wassererwärmung, für eine 4-Zimmer-Wohnung (100 m<sup>2</sup>) in einem MFH.*

Variante	Thermisch-Solar	Elektrisch-Solar
Spezifischer Solarertrag	450 kWh thermische Energie pro m <sup>2</sup> Kollektor (pro Jahr)	800 kWh elektrische Energie pro kW installierte Leistung (pro Jahr)
Installierte Kollektoren respektive Panels	2,8 m <sup>2</sup>	0,56 kW <sub>p</sub> (ca. 4 m <sup>2</sup> )
Absoluter Solarertrag	1250 kWh thermisch	466 kWh elektrisch
Wärmeproduktion Warmwasser		
■ Solaranlage	1250 kWh	0 kWh
■ Wärmepumpe	833 kWh	2083 kWh
Elektrische Energie		
■ Verbrauch Wärmepumpe	298 kWh	744 kWh
■ Produktion Photovoltaik	0 kWh	446 kWh

sinnvoll, Holz- und Pelletsheizkessel mit thermischen Solaranlagen zu kombinieren, die mindestens 60 % des jährlichen Warmwasserbedarfs decken.

**Hilfsenergie beachten:** Der Stromverbrauch von Umwälzpumpen, Brennergebläsen, Brennstofffördereinrichtungen sowie Steuerung und Regelung liegt oft zwischen 1 % und 5 % der produzierten Wärme. Unter Berücksichtigung des Gewichtungsfaktors von elektrischer Energie kann die Hilfsenergie deshalb zu einem wesentlichen Primärenergieverbraucher werden. Bei der Erneuerung der Wärmezeugung in bestehenden Gebäuden lohnt sich in der Regel der Austausch alter Umwälzpumpen. Die installierte elektrische Leistung lässt sich oft um 50 % und mehr reduzieren. Zudem führen Bedarfsregelungen zu einer Reduktion der Betriebszeit.

## Ausgewählte Themen

### Heizung im Bad

Je tiefer die Vorlauftemperatur ist, desto effizienter arbeitet eine Wärmepumpe. Wegen der begrenzten Bodenfläche bestimmt oft das Bad die Auslegungstemperatur der Bodenheizung.

Wegen einer etwas unglücklichen Tabelle im Merkblatt SIA 2024:2006 ist immer wieder zu hören, dass im Bad eine Raumtemperatur von 24°C gefordert wird. Es genügt indessen, ein unbenutztes Bad auf 22°C Raumtemperatur zu beheizen. Bei Benutzung (Duschen, Baden) steigt die Raumtemperatur sofort um einige Grade an, z. B. auf rund 25°C. Fazit: Bäder und Duschen in Wohnungen können auf die gleiche Temperatur ausgelegt werden, wie Haupträume. Dies wird auch in einer Korrigenda der SIA 384.201 bestätigt.

Zudem ist es weiterhin zulässig, in Bädern elektrische Heizungen (Handtuchheizkörper) einzusetzen, sofern diese nur zu Komfortzwecken und nicht zur Deckung des Heizleistungsbedarfs eingesetzt werden. Details dazu finden sich in der Vollzugshilfe EN-3 der MuKE n 2008.

### Komfortfaktor Bodenbelag

Bei Bodenbelägen mit Keramik und Steinplatten wird mehr Körperwärme über die Füße abgeleitet als bei einem Teppich oder einem Parkett. Die physikalische Kenngröße dazu heisst Wärmeeindringzahl. Bei einer hohen Wärmeeindringzahl resultieren rasch kalte Füße. Früher konnte dies im Winter durch Bodenheizungen kompensiert werden. Bei den heute zulässigen Vorlauftemperaturen liegen die Bodenoberflächentemperaturen aber höchstens bei etwa 25°C und somit unter der Fusssohlentemperatur. Das heisst, dass auch während des Betriebs der Bodenheizung Wärme vom Fuss an den Boden strömt. Dazu kommt, dass in der Übergangszeit und ausserhalb der Heizsaison die Bodenoberflächentemperatur sinkt.

In Wohnräumen können keramische Bodenbeläge zu einer tieferen empfundenen Raumtemperatur führen als z. B. Parkett, auch wenn eine identische Raumtempera-

tur gemessen wird. Daher lässt sich feststellen, dass in Wohngebäuden mit keramischen Bodenbelägen in den Hauptnutzräumen (speziell Wohnzimmer) die Heizung in der Übergangszeit teilweise früher eingeschaltet wird als bei Wohnungen mit Parkett oder Teppich.

## Holzfeuerstätten in Wohnungen

Cheminees und Holzöfen in Wohnungen sind vor allem als Ambientefeuier beliebt. Diese Aggregate können in gut wärmege-dämmten Gebäuden aber auch als Heizungsunterstützung oder Ganzhausheizung eingesetzt werden. Unabhängig vom Einsatzbereich sollen aber einige Grundsätze beachtet werden.

### Druckverhältnisse

Bei neuen Feuerstätten muss die Verbrennungsluft über eine separate Leitung direkt von aussen in den Brennraum geführt werden. Bei Ersatz von Feuerstätten darf auf diese Leitung nur dann verzichtet werden, wenn gewährleistet ist, dass über die ganze Nutzungszeit genügend Luft frei nachströmen kann.

Eine Verbrennungsluftleitung macht eine Feuerstätte nicht raumluftunabhängig. Der Begriff «raumluftunabhängig» meint, dass eine Feuerung bei Unterdruck im Aufstellungsraum nicht gestört wird und dass kein Rauch aus dem Ofen dringt. Eine Feuerstätte ist nur dann raumluftunabhängig, wenn dies durch eine unabhängige akkreditierte Prüfstelle nachgewiesen ist. Leider ist dies auch bei Fachhändlern und Installationsfirmen nicht immer bekannt, so dass selbst Fachleute teilweise fälschlicherweise von raumluftunabhängigen Feuerungen sprechen, sobald eine Verbrennungsluftzufuhr vorhanden ist. Auf dem Markt sind raumluftunabhängige Holz- und Pelletsöfen verfügbar. Besteht kein Risiko für einen Unterdruck, müssen auch keine Anforderungen bezüglich geprüfter Aggregate erfüllt werden.

Norm SIA 384/1:2009 legt fest, dass keine Lüftungstechnische Einrichtung einen Un-

terdruck verursachen darf, der die folgenden Werte übertrifft:

- Raumluftabhängige Feuerstätten (übliche Holz- und Pelletsöfen) maximal 4 Pa
  - Raumluftunabhängige Feuerstätten (spezielle geprüfte Aggregate) maximal 8 Pa
- Unzulässiger Unterdruck kann durch folgende Massnahmen verhindert werden:
- Sperren von Ablufteinrichtungen (Dunstabzughauben, WC-Abluft, Zentralstaubsauger, etc.) über Fensterkontaktschalter. Solche Schalter finden sich auch unter der Bezeichnung «Reed-Kontakt».
  - Nachströmeinrichtungen, die mit elektrischen Antrieben öffnen und schliessen, z. B. automatische Fensterantriebe.
  - Geprüfte Unterdrucküberwachung, die von Lieferanten von Feuerungsaggregaten angeboten werden.
  - Bei Komfortlüftungen sollen Geräte eingesetzt werden, die für den Betrieb mit Feuerungen konzipiert sind (kein Vereisungsschutz via Ventilatorsteuerung, Strömungsüberwachung).

### Heizleistung

Ein Aufstellungsraum kann schnell überhitzt werden, wenn ein zu grosser Holzofen eingefeuert wird. Es wird daher empfohlen, dass die Abgabeleistung an den Aufstellungsraum höchstens dreimal grösser sein soll, als dessen Heizleistungsbedarf. Zum Aufstellungsraum ist jene Fläche anrechenbar, die nicht durch Türen abgetrennt werden kann. Bei neuen Wohnungsgrundrissen sind das typischerweise das Wohnzimmer, der Essbereich, die Küche und der Korridor. Bei Neubauten bedeutet dies aber dennoch, dass die Nennleistung der Feuerstätte bei höchstens 8 kW liegt, bei Minergie-P sollten es nicht mehr als 4 kW sein. Vor allem Cheminees und sogenannte Schwedenöfen geben aber teilweise wesentlich grössere Heizleistungen an den Raum ab, zum Teil über 20 kW. Neben einer geringen Abbrandleistung führt auch eine hohe Speichermasse zu einer kleineren Abgabeleistung. Die Abgabeleistung an den Aufstellungsraum kann mit Satelliten oder Absorbertechnik zusätzlich reduziert werden.

### Keine offene Feuer

Offene Feuer gehören nicht in Wohnungen. Ein wesentlicher Grund ist, dass die Verbrennungsqualität schlechter und damit der Schadstoffausstoss grösser ist als bei geschlossenen Brennräumen. Da die Verbrennung deutlich weniger kontrolliert ist als bei geschlossenen Brennräumen, sinkt auch der Wirkungsgrad. Ein weiterer Grund ist, dass die Luftdichtheit der Wohnung deutlich geschwächt wird. Die Lüftungsverluste nehmen dadurch zu.

### Minergie-Modul

Das Minergie-Modul Holzfeuerstätte umfasst nicht nur den Holzofen, sondern auch die Abgasleitung und die Verbrennungsluftzufuhr. Zudem werden hohe Ansprüche an die Planungs- und Ausführungsqualität gestellt. Damit erhält der Endkunde die Gewissheit, dass die Anlage nach den oben genannten Grundsätzen realisiert wird.

### Lagerung von Holz und Pellets

Bei Brennstofflagern sind generell die Vorgaben der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF) sowie allfällige lokale Vorschriften zu beachten. Das Brennstofflager soll sich möglichst nahe bei der Feuerstätte befinden, um den Arbeitsaufwand gering zu halten. Bei Heizungsunterstützung oder Ganzhausheizungen sollte in unmittelbarer Nähe des Ofens ein Vorrat für einige Tage gelagert werden können.

### Quellen

■ [1] Von Euw, Alimpic, Hildebrand: Gebäudetechnik, Systeme integral planen. Faktor Verlag, Zürich 2012

■ [2] Eicher, H.P., et al.: Erneuerbare Energien, Faktor Verlag, Zürich 2013



Abbildung 50:  
Minergie-Modul-  
Ofen. Quelle:  
Tonwerk AG



# Lüftung, Klima und Kühlung

## Heinrich Huber **Luftqualität**

### **Raumluftbelastung und Luftvolumenströme**

SIA-Normen und freiwilligen Baustandards ist gemeinsam, dass eine Gebäudehülle grundsätzlich luftdicht sein soll. Die Konsequenz ist, dass für jedes Gebäude ein Lüftungskonzept zu erarbeiten ist. Eine Lüftung hat in erster Linie die Aufgabe, Luftbelastungen, die in Räumen anfallen, abzuführen:

- Gerüche von Personen
- Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), das vorwiegend von Personen stammt
- Wasserdampf
- Emissionen von Baustoffen, Möbeln und Betriebseinrichtungen

In Räumen, in denen Personen die massgebende Raumluftbelastung darstellen, ist der CO<sub>2</sub>-Gehalt eine praktikable und gut messbare Grösse für die Beurteilung der empfundenen Raumluftqualität. In Wohn- und Bürogebäuden wird meistens ein CO<sub>2</sub>-Gehalt von 950 bis 1300 ppm angestrebt. Dieser Werte entspricht gemäss SIA 382/2 einer mittleren Raumluftqualität.

CO<sub>2</sub> ist nicht riechbar und bis zu einer Konzentration von 5000 ppm gesundheitlich nicht relevant. Dieser Stoff dient lediglich als Indikator für Gerüche, die Personen abgeben. Gerüche können nicht präzise gemessen werden und eignen sich daher nicht als Anforderungsgrössen für Normen. Hingegen kann eine Raumluftqualitätsregelung mit Mischgassensoren (die Geruchsstoffe summarisch detektieren) in Räumen mit grosser Geruchsbelastung durchaus Sinn machen.

Luftvolumenströme sollen nach der Personenbelegung dimensioniert und einreguliert werden. Um die oben erwähnte mittlere Raumluftqualität zu erreichen, sind gemäss SIA 382/1 folgende Werte erforderlich:

- Büro: 36 m<sup>3</sup>/h pro Person
- Schulzimmer und Verkauf: 30 m<sup>3</sup>/h pro Person

Bei Wohnungen ist die Personenbelegung nicht exakt planbar. Daher wird als Hilfsgrösse die Zimmerzahl verwendet. Als Richtwert kann ein Luftvolumenstrom von 30 m<sup>3</sup>/h pro Schlafzimmer verwendet werden. Eine differenzierte Dimensionierung erfolgt nach Merkblatt SIA 2023.

### **Hygiene**

Zuluft, die dem Raum zugeführt wird, soll hygienisch mindestens die gleiche Qualität aufweisen wie die Aussenluft. Um dieses allgemeine Hygieneziel zu erreichen, sind folgende Grundsätze zu beachten:

- Die Aussenluftfassung muss bei grösseren Anlagen mindestens 3 m über Boden positioniert sein. Bei kleineren Anlagen, z. B. für Einfamilienhäuser, kann die Höhe auf 1,5 m bis minimal 0,7 m über Boden reduziert werden (Details siehe Merkblatt SIA 2023). Eine Aussenluftfassung auf Bodenhöhe oder gar in einem Lichtschacht muss heute als Mangel bezeichnet werden.

- Die Aussenluft soll mit Filtern der Klasse F7 gefiltert werden. Die Staublast, die bei dieser Filterqualität in die Anlage gelangt, ist so gering, dass die Zuluftleitungen höchstens alle 10 bis 20 Jahre gereinigt werden müssen. Abluftleitungen sind einer grösseren Staubbelastung ausgesetzt und sollten daher ca. alle 5 bis 10 Jahre gereinigt werden.

- Sämtliche Komponenten einer Lüftungsanlage müssen für Inspektion und Reinigung zugänglich sein. Bei einbetonierten Leitungen sind Revisionszugänge, z. B. in Verteilerkästen, einzubauen.

- Stehendes Wasser in Lüftungsanlagen ist ein Hygienierisiko. Anlagen ohne Luftbefeuchtung sind daher von Technik her hygienisch wesentlich unproblematischer als Anlagen mit Befeuchtung. Aber auch bei Anlagen ohne Befeuchtung muss darauf geachtet werden, dass kein Wasser, z. B. durch Aussenluftfassung oder Lufterdregister, in den Zuluftteil der Anlage gelangt.

- Hygienekontrollen und Inspektionen sollen bei mittleren und grösseren Anlagen

ohne Befeuchtung alle 3 Jahre durchgeführt werden. Bei Anlagen mit Befeuchtung beträgt das Intervall 2 Jahre. Bei kleinen Anlagen ohne Befeuchtung, z.B. Komfortlüftungen in Einfamilienhäusern, kann das Intervall auch auf etwa sechs Jahre erhöht werden. Eine Reinigung erfolgt bei allen Anlagen nach Bedarf. Das heisst, dass anlässlich einer Inspektion entschieden wird, welche Anlageteile tatsächlich zu reinigen sind. Das grösste Verschmutzungsrisiko besteht während der Bauphase. Daher wird für alle Arten von Lüftungsanlagen empfohlen, eine erste Inspektion nach der Montage durchzuführen. Im Werkvertrag sollte deshalb geregelt sein, wie die Kosten der Inspektion und von allfälligen Reinigungen zu bezahlen sind.

#### Spezielle Aspekte bei Abluftanlagen

Bei Aussenluft-Durchlässen von Abluftanlagen kann auf einen F7-Filter verzichtet werden, wenn die Aussenluftqualität gut ist. In Anlehnung an SIA 382/1 soll nur dann auf einen F7-Filter verzichtet werden, wenn der Jahresmittelwert der Feinstaub-Immission PM10 unter  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  liegt. Immissionswerte finden sich auf den Webseiten von kantonalen Umwelt- respektive Luftfachstellen\* und dem Bundesamt für Umwelt (BAFU). Leitungen von Abluftanlagen verschmutzen gleich stark wie Abluftleitungen von

Komfortlüftungen. Das heisst, dass auch bei Abluftanlagen die Leitungen ca. alle 5 bis 10 Jahre gereinigt werden sollten. Zudem sind alle Aussenluft-Durchlässe mindestens jährlich zu inspizieren. Der Instandhaltungsaufwand ist daher bei Abluftanlagen kaum tiefer als bei Komfortlüftungen.

#### Raumluftfeuchte

In Wohnungen verdunsten pro Tag und Person etwa 1,5 bis 3 Liter Wasser. Diese Dampfmenge muss durch Lüften abgeführt werden, damit keine Bauschäden oder Schimmelpilze entstehen.

Aus Sicht der thermischen Behaglichkeit wird gemäss SIA-Normen eine relative Raumluftfeuchte zwischen 30 % und 60 % relative Feuchte angestrebt. Kurzzeitige Unterschreitungen sind unproblematisch. In üblichen Wohn-, Büro- und Schulräumen kann die Einhaltung von Feuchtegrenzwerten mit keinem Lüftungssystem garantiert werden, da der Benutzereinfluss zu gross ist. Besonders in Zusammenhang mit Komfortlüftungen wird oft über zu tiefe Raumluftfeuchten diskutiert. Massnahmen dagegen sind:

- Keine zu hohen Aussenluftraten. Lüftungsanlagen sollen nicht überdimensioniert werden. Bei allen Arten von Lüftungssystemen sollen die Luftvolumenströme dem hygienischen Bedarf entsprechen.
- Bei tiefen Aussentemperaturen soll die Aussenluftrate reduziert werden. Bei mechanischen Anlagen heisst dies, dass eine tiefere Betriebsstufe gewählt wird.
- Nicht überheizen. Wenn ein Raum um 2 K überheizt wird, sinkt die relative Luftfeuchte um ca. 5 % relative Feuchte.
- Allenfalls können Lüftungsgeräte mit Feuchterückgewinnung eingesetzt werden. Ein spürbarer Nutzen stellt sich aber nur bei optimal dimensionierten und betriebenen Anlagen ein.
- Bei kleinen Lüftungsanlagen, wie z.B. Komfortlüftungen für einzelne Wohnungen, sollen aus hygienischen Gründen keine aktiven Zuluftbefeuchtungen eingesetzt werden. Bei grösseren Anlagen mit Zuluftbefeuchtung gelten hohe hygienische Anforderungen.

\* z. B. [www.ostluft.ch](http://www.ostluft.ch) oder [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch)

Abbildung 51: Inspektions- und Reinigungseinrichtung: IR-Kamera und Druckluft-Reinigungskopf an flexiblem Schlauch. Monitor für Online-Anzeige (SM Heag).



Abbildung 52: IR-Kamera und Druckluft-Reinigungskopf im Einsatz.



■ Bei besonderen Nutzungen, z. B. Schlafzimmer für Asthmatiker, können kurzzeitig Raumluftbefeuchter eingesetzt werden. Aber auch hier ist aus hygienischer Sicht Vorsicht geboten.

■ Zu hohe Raumluftfeuchten sind hygienisch problematischer als tiefe Werte. Insbesondere Hausstaubmilbenallergiker sollen darauf achten, dass die Raumluftfeuchte im Winter nicht über 50 % relative Feuchte steigt.

### Parkett

Die Zuluftbefeuchtung wird in sehr trockenen Räumen zur Verbesserung der Behaglichkeit für die Nutzer und nicht wegen spezieller Baumaterialien gewählt. In diesem Zusammenhang ist Parkett zu erwähnen. Ein guter Parkettbelag, der für schweizerisches Klima geeignet ist, trägt eine Raumluftfeuchte von 30 % so wie kurzzeitige Unterschreitungen.

### «Atmende Wände»

Wasserdampfdiffusion durch Wand- und Dachkonstruktionen kann nur einen Bruchteil der Feuchte abführen, die im Raum anfällt. Auch bei diffusionsoffenen Konstruktionen mit offenporigen oder «atmenden» Wänden, ist daher eine ausreichende Aussenluftzufuhr erforderlich. Offenporige Oberflächen können aber Feuchte puffern: Bei hohen Raumluftfeuchten wird Wasserdampf eingelagert, der dann bei tiefen Raumluftfeuchten wieder in den Raum gelangt. Je nach Art und Grösse dieser Flächen können diese einen Beitrag gegen tiefe Raumluftfeuchten leisten.

### Klima und Kühlung

Bis in die 1980er-Jahre wurden Kühllasten meistens über die Lüftung abgeführt. Die dazu notwendigen grossen Luftwechselraten haben teilweise zu Zugscheinungen geführt. Die heutige Schulmeinung in der Schweiz ist, dass die Funktionen Lüften und Kühlen getrennt werden sollen. Eine Lüftungsanlage wird so dimensioniert, dass sie die Raumluftbelastungen abführt. Für die Dimensionierung ist in der Regel die Personenbelegung massgebend. Das bedeutet auch, dass bei neuen Lüftungs-

anlagen kein Umluftbetrieb vorgesehen wird. Gegenüber älteren Klimaanlageanlagen ergeben sich etwa zwei- bis viermal kleinere Luftvolumenströme.

Bei Gebäuden mit geringen Wärmelasten und öffnenbaren Fenstern erfolgt die Kühlung traditionell über eine Fensterlüftung nachts oder in den frühen Morgenstunden. Bei nicht öffnenbaren Fenstern oder wenn eine Bedarfsermittlung nach SIA 180\* zeigt, dass eine Kühlung erforderlich ist, soll über wasserführende Systeme gekühlt werden. Bei dieser sogenannten statischen Kühlung lassen sich oft die gleichen Elemente respektive Bauteile einsetzen, wie für die Raumheizung: Thermisch aktive Bauteilsysteme (TABS) oder, bei sehr geringen Kühllasten, auch Fussbodenheizungen. Eine andere Lösung sind Konvektoren, die mit Hilfe von kleinen, sehr effizienten Ventilatoren die Wärme mit kleinen Temperaturdifferenzen (zwischen Wasser und Raumluft) abgeben respektive abführen können. Weiter kommen auch Kühldecken in Frage. Diese Elemente können allenfalls für die Raumheizung eingesetzt werden, respektive diese unterstützen.

### Kühlung nicht verhindern, sondern effizient lösen

Alte Klimaanlageanlagen haben berechtigterweise den Ruf von Energieschleudern. Heute lassen sich aber sehr effiziente Raumkühlungen realisieren. Eine Voraussetzung dazu ist, dass der Wärmeeintrag von aussen durch einen wirksamen Sonnenschutz minimiert wird. Weiter sollen trotz guter Anlagentechnik die internen Lasten gering gehalten werden.

Analog zu Heizungsanlagen liegt die Lösung für eine energieeffiziente Kühlung bei der Wassertemperatur: Je näher die Kaltwassertemperatur (der Raumkühlung) bei der Raumtemperatur liegt, desto höher ist die Arbeitszahl der Kälteerzeugung respektive umso mehr freie Kühlung ist möglich.

Tabelle 14 zeigt typische Arbeitszahlen von Kälteerzeugern für Raumkühlung. Dabei sind Hilfsbetriebe und Rückkühlung eingerechnet.

*\* Solange die Ausgabe 1999 gültig ist, erfolgt der Bedarfsnachweis nach SIA 382/1:2007.*

Die sehr guten Werte von neuen Systemen lassen sich nur erreichen, wenn die Kühlung ab Beginn des Planungsprozesses berücksichtigt wird. Falls erst in einer späten Planungs- oder gar in der Ausführungsphase entschieden wird, eine Kühlung zu realisieren, lassen sich energetisch optimale Konzepte nicht mehr umsetzen. Bei einer Nachrüstung lassen sich fallweise nur noch Splitgeräte einbauen. Sehr gute Splitgeräte erreichen zwar auch Jahresarbeitszahlen von 4 bis 5, aber der Energieverbrauch ist damit zwei- bis dreimal höher als bei einer Bestlösung. Zudem müssen bezüglich Komfort und Ästhetik Kompromisse eingegangen werden.

Fazit: Bei Neubauten soll eine Kühlung nicht verhindert werden, es sollen vielmehr von Beginn an optimale Lösungen gesucht werden. Die heutigen Energiegesetze unterstützen diesen Ansatz.

## Lüftungsmethoden und Systeme

### Fensterlüftung

Die natürliche Lüftung ist komplex, da sie neben der Geometrie (neben anderem Grösse und Lage von Fenstern) auch von Witterungsverhältnissen und vom Benutzerverhalten beeinflusst wird. Automatisierte natürliche Lüftungen von grossen Gebäuden werden daher mit Simulationsprogrammen dimensioniert und über Gebäudeautomationssysteme betrieben. Die handbetätigte natürliche Lüftung für Wohnbauten kann aber anhand von Richtwerten gemäss Merkblatt SIA 2023 ausgelegt werden.

Richtwerte für die Auslegung von Fensterlüftungen bei Wohnbauten. Freie Querschnittsflächen von Lüftungsflügeln in Wohnbauten:

- Einseitige Lüftung mindestens 2 % bis 3 % der Bodenfläche
- Querlüftung mindestens 1 % bis 2 % der Bodenfläche

Tabelle 14: Arbeitszahlen von Kälteerzeugungen.

\*VL: Vorlauftemperatur, RL: Rücklauftemperatur  
 \*\*JAZ: Jahresarbeitszahl; ETV: Elektro-Thermo-Verstärkung

System	Kaltwassertemperatur VL/RL in °C *	JAZ respektive ETV **
Klimaanlage bis ca. 1970	6 °C/12 °C	2 bis 3
Kühlbalken, ab ca. 1990	12 °C/18 °C	3 bis 4
TABS oder effiziente Ventilator-konvektoren ohne Freecooling	18 °C/22 °C	5 bis 7
TABS oder effiziente Ventilator-konvektoren mit Freecooling	20 °C/23 °C	8 bis 15

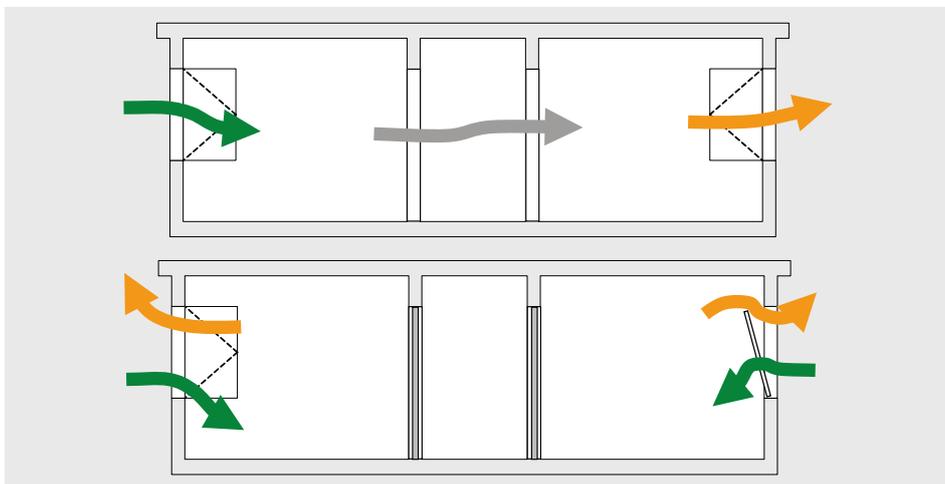


Abbildung 53: Einseitige Fensterlüftung und Querlüftung.

Maximales Verhältnis von Raumtiefe L zur Raumhöhe H:

- Einseitige Lüftung: L/H kleiner 2,5
- Querlüftung: L/H kleiner 5,0

Richtwerte für freie Öffnungsflächen von Lüftungsflügeln beruhen darauf, dass Fensterlüftung zur Nachtauskühlung eingesetzt wird. Damit wird in Sommernächten ein 2- bis 3-facher stündlicher Luftwechsel erreicht. Diese Auslegung für die Nachtauskühlung genügt auch, um ganzjährig mit einer Stosslüftung eine hygienisch gute Raumluftqualität zu garantieren.

Die Richtwerte gehen von einer üblichen Fenstergeometrie aus. Das heisst insbesondere, dass die Lüftungsflügel bis ca. 20 cm unter die Decke reichen. Die tieferen Wert gelten für hohe, schmale Lüftungsflügel (Verhältnis von Höhe zu Breite grösser 2). Für Lüftungsflügel mit geringer Höhe und grosser Breite (z. B. Oberlichter) gelten die höheren Werte.

Die Flächen sind als freie Querschnitte zu verstehen. Bei allfälligen Wetterschutz- oder Insektenschutzgittern sind daher die Lüftungsflügel umgekehrt proportional zur freien Querschnittsfläche der Gitter zu vergrössern.

Für Nichtwohnbauten finden sich im schweizerischen Normenwerk keine Richtwerte. Teilweise gibt es aber Vorgaben in den Bauvorschriften. Wo solche Vorgaben fehlen, wird empfohlen, etwa 50 % höhere Werte als jene für Wohnbauten anzuwenden.

Bei Räumen mit grossen Personenbelegungen und entsprechend hohen Aussenlufttraten spielt nicht nur die Fenstergrösse eine Rolle, sondern auch die Raumgeo-

metrie. Damit eine genügende Raumdurchspülung erreicht wird, soll das Verhältnis von Raumtiefe und Raumhöhe die Richtwerte nicht überschreiten.

Einsatzgrenzen der Fensterlüftung

An Lagen mit grosser Lärmbelastung oder starken Schadstoffimmissionen (speziell Feinstaub) ist eine reine Fensterlüftung nicht empfehlenswert. In SIA 382/1 finden sich quantitative Anforderungen bezüglich Schall und Schadstoffen.

### Abluftanlage

■ Da keine Zuluftleitungen erforderlich sind, stellen Abluftanlagen speziell für Sanierungen eine Alternative zu Komfortlüftungen dar.

■ Wo Abluft abgesaugt wird, muss auch Ersatzluft definiert nachströmen. Gebäude mit Abluftanlagen müssen daher mit Aussenluft-Durchlässen (ALD) ausgerüstet werden. Wegen Schallschutz, Verschmutzung respektive Filterung, Unterdruck und thermischer Behaglichkeit sind ALD nicht einfach Löcher in der Wand, es sind vielmehr anspruchsvolle Komponenten.

■ Die Planung und Ausführung von Abluftanlagen ist mindestens so anspruchsvoll wie von anderen Lüftungsanlagen. Das heisst auch, dass qualifizierte Planungsleistungen zu erbringen sind, die zu vergüten sind. Die lüftungstechnische Dimensionierung von Abluftanlagen ist in SIA 2023 geregelt. Die akustische Auslegung respektive der Schallschutznachweis für die ALD erfolgt nach SIA 181.

Bei Abluftanlagen sind folgende Punkte speziell zu beachten:

■ ALD sind so auszulegen, dass der Unterdruck im Raum nicht grösser als 4 Pa bis 5 Pa ist. Diese Anforderung lässt sich in der

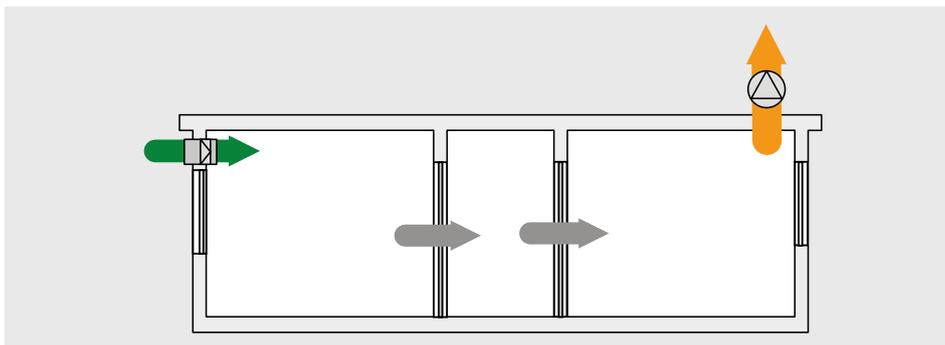


Abbildung 54:  
Schema Abluftanlage.

Praxis nur erreichen, wenn keine F7-Filter eingesetzt werden müssen (Abschnitt Hygiene). Das heisst, dass Abluftanlagen nur an Standorten mit guter Aussenluftqualität (Jahresmittelwert PM10 maximal 20 mg/m<sup>3</sup>) in Frage kommen.

■ Durch den Unterdruck darf das Radonrisiko nicht erhöht werden. Insbesondere für bestehende Einfamilienhäuser muss dieses Risiko erhoben werden.

■ Wegen Infiltration (verursacht durch den Unterdruck) ist der Aussenluftvolumenstrom bei Abluftanlagen rund 30 % bis 40 % grösser als bei Komfortlüftungen.

■ Trotz dem höheren Aussenluftvolumenstrom funktioniert eine Abluftanlagen nur einwandfrei, wenn die Gebäudehülle eine gute Luftdichtheit aufweist. Die Luftdurchlässigkeit soll einen  $n_{50}$ -Wert von 1,0 / h nicht übersteigen.

■ Eine weitere Folge des Unterdrucks ist, dass Feuerungen gestört werden können. Raumluftabhängige Feuerstätten dürfen daher nicht in Wohnungen mit Abluftanlagen betrieben werden. Auch von raumluf-tunabhängigen Feuerstätten wird abgeraten.

■ Wenn Fenster längere Zeit geöffnet sind, funktioniert eine Abluftanlage nicht mehr richtig. Die Aussenluft strömt dann über die Zimmer mit offenen Fenstern nach und die Zimmer mit geschlossenen Fenstern werden trotz ALD praktisch nicht mehr mit frischer Luft versorgt.

### Komfortlüftung

Dank der Wärmerückgewinnung werden die Lüftungswärmeverluste mit einer Komfortlüftung gegenüber einer Fensterlüftung um ca. 80 % reduziert. Bei fachgerecht realisierten Anlagen ist der Verbrauch an Ventilatorenergie rund 7- bis 10-mal kleiner als die Wärmeeinsparung der Wärmerückgewinnung.

Die Komfortlüftung hat sich in der Schweiz gut etabliert. Die Qualität der realisierten Anlagen weist aber noch Unterschiede auf. Es soll daher unbedingt darauf geachtet werden, dass die Anforderungen des Merkblatts SIA 2023 eingehalten werden. Detaillierte Hinweise und Tipps finden sich auch in «Komfortlüftung – Projektierung von einfachen Lüftungsanlagen in Wohnbauten» [1]. Eine kostenlose Kurzanleitung sowie Checklisten bietet «Leistungsgarantie Komfortlüftung» [2] von EnergieSchweiz.

Bei einer Komfortlüftung dürfen die Fenster jederzeit geöffnet werden, ohne dass die Funktion der Anlage beeinträchtigt wird. Es ist lediglich darauf hinzuweisen, dass bei häufig geöffneten Fenstern im Winter zusätzliche Lüftungswärmeverluste entstehen.

### Kochstellenabluft in Wohnungen

Die Kochstellenabluft funktioniert in den meisten Fällen unabhängig von der Wohnungslüftung. Sie kann aber die Raumluft-

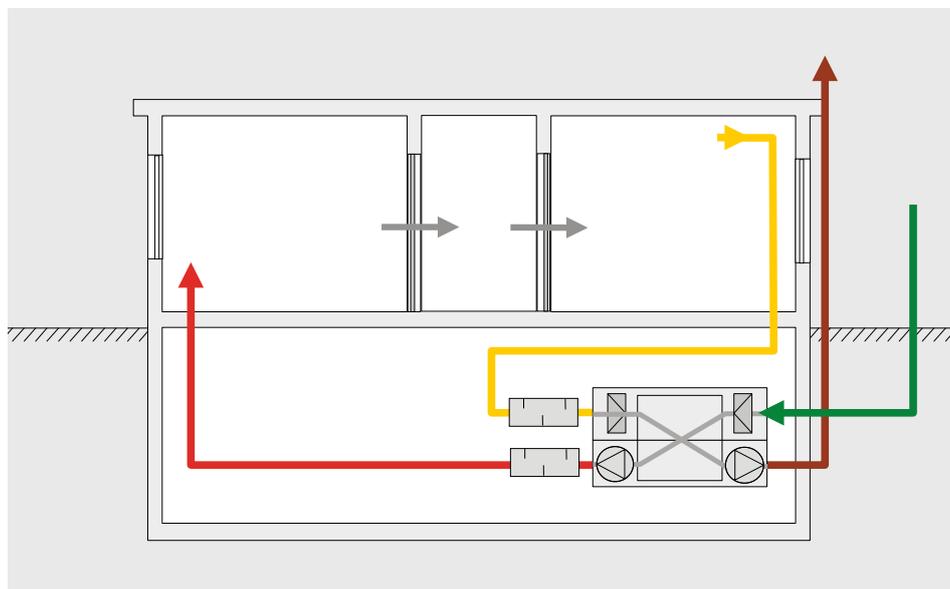


Abbildung 55:  
Prinzip Komfortlüftung.

qualität auch ausserhalb der Küche beeinflussen.

Fortlufthauben fördern die Kochstellenabluft direkt ins Freie. Wie alle Abluftanlagen bedingen sie grundsätzlich Nachströmeinrichtungen. Andernfalls können Feuerungen gestört werden und Ersatzluft strömt über hygienisch unerwünschte Wege nach (Installationsschächte, Rückströmung WC-Abluft, Nachbarwohnung, etc.).

Bei Umlufthauben wird die Luft nur umgewälzt. Fett- und AktivkohlfILTER reinigen die Luft. Der Wasserdampf bleibt aber in der Wohnung und muss durch eine andere Lüftung (z.B. Fenster oder Komfortlüftung) abgeführt werden. Kein Filter eliminiert 100% der Luftfremdstoffe. Daher gelangt ein geringer Teil der Gerüche wieder in den Raum zurück.

Unter Beachtung von speziellen brandschutztechnischen Auflagen dürfen Ablufthauben mit Komfortlüftungen kombiniert werden.

Beim Kochen, insbesondere Anbraten und Frittieren, entsteht Feinstaub. Bei Gasherden kommen Partikel aus der Verbrennung hinzu. Daher soll eine Abzughaube eine möglichst hohe Erfassungseffizienz aufweisen. Wandhauben sind diesbezüglich effizienter als Inselhauben.

## Raumluftströmung

Als Faustformel gilt, dass bei einem mechanischen Luftwechsel von unter etwa 3/h die thermische Konvektion (Personen, Geräte, Heizung, warme respektive kühle Raumflächen) die Raumluchtströmung prägt. Bei einem mechanischen Luftwechsel von über 3/h dominiert die mechanisch zugeführte Luft die Raumluchtströmung. Da der Übergang fließend ist und der Nahbereich von Luftdurchlässen immer durch die mechanisch zugeführte Luft beeinflusst wird, muss der Richtwert von 3/h mit Vorsicht angewandt werden.

## Wohnbauten und Nutzungen mit kleinen Luftwechseln

In Räumen mit folgenden Merkmalen kann davon ausgegangen werden, dass die Raumluchtströmung vorwiegend durch thermische Konvektion geprägt wird:

- Luftwechsel maximal 1,5 / h
- Zuluftvolumenstrom pro Luftdurchlass maximal 40 m<sup>3</sup>/h

Bei diesen Verhältnissen wird die Zuluft praktisch vollständig mit der Raumluft gemischt und es treten praktische keine Kurzschlüsse auf. In solchen Räumen hat die Lage von Zuluftdurchlässen keinen relevanten Einfluss auf die Raumluchtqualität. Das heisst, dass bei der Platzierung der Durchlässe eine grosse planerische Freiheit besteht. So spielt es z. B. keine Rolle, ob in einem Schlafzimmer die Zuluft beim Fenster oder über der Zimmertür zugeführt wird.

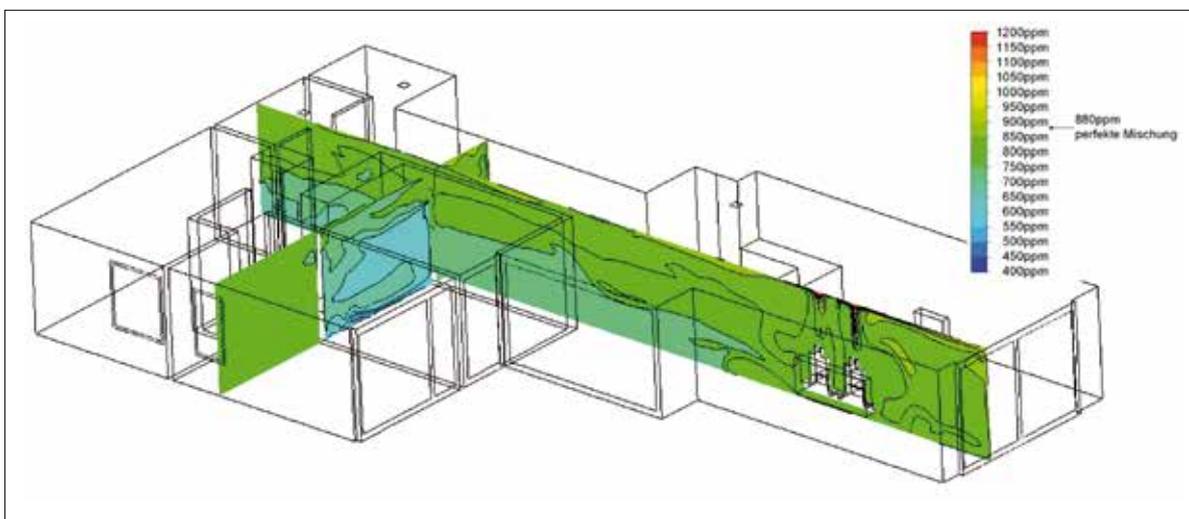


Abbildung 56:  
CO<sub>2</sub>-Konzentration  
bei freier Durchströmung  
des Wohnzimmers. Quelle:  
AHB 09

Diese Aussagen können auch auf mehrere Räume übertragen werden, die nicht durch geschlossene Türen voneinander abgetrennt sind. Im Projekt [3] wurde die Frage in einer realen 4,5-Zimmer-Wohnung untersucht, in der nur in den Schlafzimmern Zuluftdurchlässe vorhanden sind, nicht aber im Wohn- und Essbereich. Da das Wohnzimmer ungewöhnlich lang ist, wurde eine schlechtere freie Durchströmung vermutet als bei typischen Grundrissen. Für die Untersuchungen wurde angenommen, dass im Wohnzimmer zwei Personen sitzen. Die in Abbildung 56 dargestellte  $\text{CO}_2$ -Konzentration zeigt, dass sich die Luft im Aufenthaltsbereich fast überall perfekt mischt. Folglich steht die erforderliche Aussenluft in diesen Bereichen zur Verfügung und das System funktioniert.

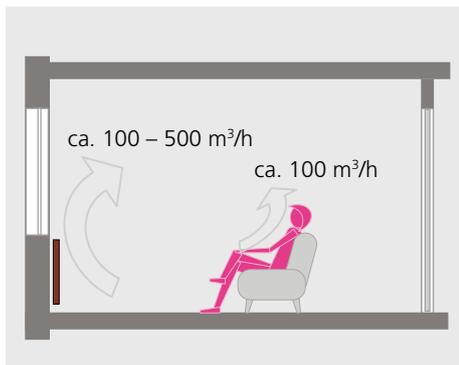


Abbildung 57: Luftbewegung in Wohnräumen.

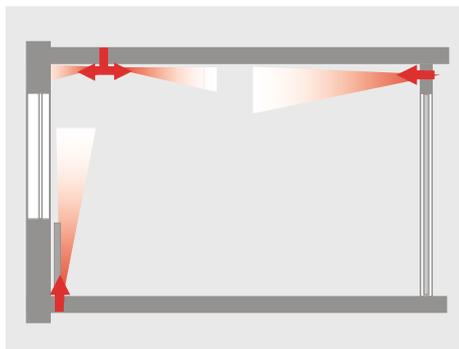


Abbildung 58: Lage von Zuluft-Durchlässen; der Zuluftstrahl darf nicht in den Aufenthaltsbereich gerichtet sein.



Abbildung 59: Beispiele von Zuluft-Durchlässen.

Diese Simulationsergebnisse konnten durch eine Messung bestätigt werden. Beachtenswert ist, dass der im Korridor zirkulierende Luftvolumenstrom rund 10-mal grösser ist als der Zuluftvolumenstrom der gesamten Wohnung. In offenen Wohnzimmern kann also aus Gründen der Raumluftqualität auf Luftdurchlässe verzichtet werden.

### Nutzungen mit mittleren und hohen Luftwechsell

In Räumen mit mechanischen Luftwechsell von über 1,5/h kann allenfalls die thermische Konvektion die Raumluftströmung prägen, aber die Platzierung und Auswahl der Zuluftdurchlässe erfordert deutlich mehr Fachwissen als bei Wohnbauten.

Allgemein wird zwischen Misch- und Quelllüftung unterschieden (Abbildung 60). Bei der Mischlüftung wird die Zuluft möglichst ideal mit der Raumluft gemischt. Die Vorteile sind, dass Luftdurchlässe an Decken (z. B. Drallauslässe) und Wänden (z. B. Gitter, Weitwurfdüsen) platziert werden können. Die Nutzfläche von Räumen wird dadurch kaum beeinträchtigt. Weiter kann die Zuluft mit Untertemperaturen von bis zu 10 K zugeführt werden. Auch Übertemperaturen in diesem Bereich sind möglich. Die grossen Spannen von Unter- und Übertemperatur können speziell bei kleineren Anlagen zu günstigeren Luftaufbereitungen führen. Das heisst, dass gegebenenfalls auf Nachwärmer und Kühler verzichtet werden kann.

Bei der Quelllüftung, die ausserhalb von Laboranwendungen auch mit der Verdrängungslüftung gleichgesetzt werden kann, strömt die Zuluft mit einer tiefen Geschwindigkeit von maximal 0,2 m/s und einer Untertemperatur von 2 K bis 3 K in den Raum. Dadurch bildet sich ein Frischluftsee. An warmen Oberflächen, wie Personen und Geräten, steigt die Frischluft auf. Personen «saugen» durch ihre Körperwärme Frischluft aus dem Bodenbereich an. Quelllüftung gilt als effizient und komfortabel. Zugerscheinungen treten nur im Nahbereich der Zuluftdurchlässe auf, das heisst, dass diese Nahbereiche nicht für ei-

nen Aufenthalt von Personen geeignet sind. Die definierte Untertemperatur von 2 K bis 3 K erfordert eine entsprechende Luftaufbereitung mit Nachwärmung und Kühlung. Ein Nachteil der Quelllüftung ist zudem, dass ein Frischluftsee durch kalte oder warme Raumboflächen (speziell Fenster) und durch mechanische Bewegungen (z. B. sich bewegende Personen) gestört werden kann.

### Verbundlüftung

In der klassischen Lüftungstechnik wird Zuluft durch Luftleitungen zu Räumen geführt, für die sie bestimmt ist. Wie im Abschnitt Wohnbauten aufgezeigt ist, verteilt sich Luft typischerweise sehr gut in Zonen mit mehreren Räumen, wenn die Zimmertüren offen sind. Das heisst, dass in einer Wohnung oder einem kleineren Bürogeschoss die gesamte Zuluft an einer Stelle im Verkehrsbereich zugeführt werden kann. Falls die Türen offen stehen, verteilt sich die Zuluft auf die Räume. Um dieses Konzept auch bei geschlossenen Türen realisieren zu können wurden Verbundlüfter oder aktive Überströmer entwickelt. Diese werden in den Türen oder neben den Türen eingebaut. Bei geschlossenen Türen fördert ein Kleinventilator Luft aus dem Korridor in den Raum (Zimmer oder Büro) und ein zweiter Kleinventilator gibt die Raumluft wieder in den Korridor zurück. Bei offenen Türen können die Kleinventilatoren ausgeschaltet werden. Der Korridor

wird bei diesem Konzept quasi zum Frischluftkanal oder Frischluftreservoir. Bei Verbundlüftungen ist zu beachten:

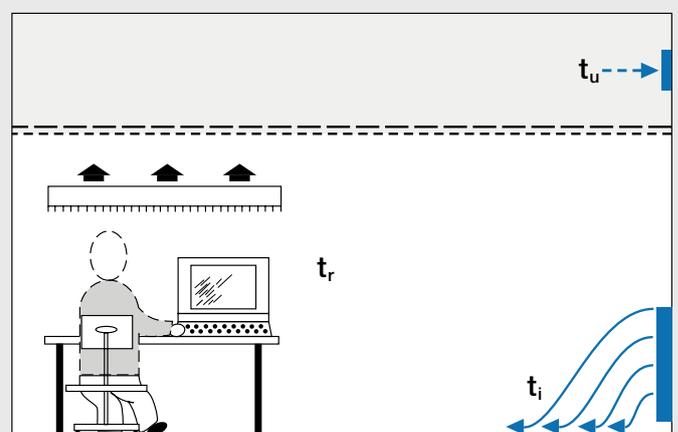
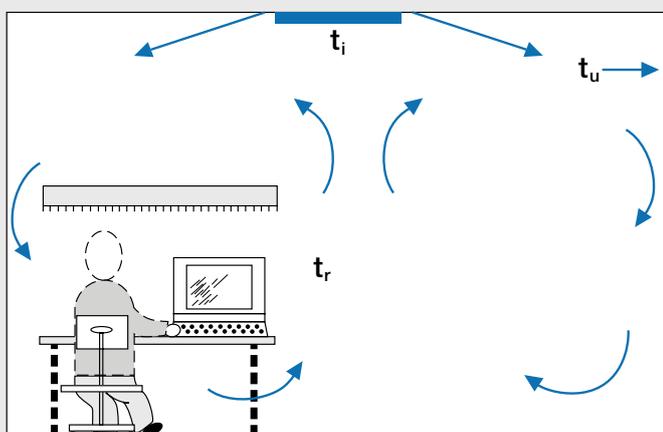
- Der Brandschutz begrenzt die Zonengrösse. In Wohnungen ist diese unproblematisch, da eine Wohnung einen Brandabschnitt bildet. In Büros sind Brandabschnitte und Fluchtwege zu berücksichtigen.

- Nassräume und Räume mit hohen Raumluftbelastungen (Räume mit Druckern, Raucherräume) dürfen nicht in Verbundlüftungen eingebunden werden. Solche Räume sind mit Abluftdurchlässen auszurüsten. Falls brandschutztechnisch zulässig, kann die Zuluft dieser Räume aber aus dem Korridor von Verbundlüftungszonen stammen.

- Da die Luft im Korridor eine Mischqualität aufweist, sollten Verbundlüfter etwa doppelt so grosse Luftvolumenströme fördern, wie den Räumen mit klassischen Lüftungen zugeführt würde. Da die Förderdrücke der Kleinventilatoren aber sehr klein sind, liegt die Leistungsaufnahme für ein Büro oder Schlafzimmer im Bereich von 2 bis 3 Watt.

- Gerüche können sich in Verbundlüftungszonen gleichmässig verbreiten. Bei Wohnungen sind dies speziell Kochgerüche. Es wird deshalb empfohlen, die Verbundlüfter der einzelnen Räume mit Timerschaltern auszurüsten: Wenn ein Timer betätigt wird, soll der Luftaustausch mit dem Korridor für ca. eine halbe Stunde unterbrochen werden. Die Essgerüche breiten

Abbildung 60: Mischlüftung (links) und Quelllüftung (rechts). Quelle: Lindab



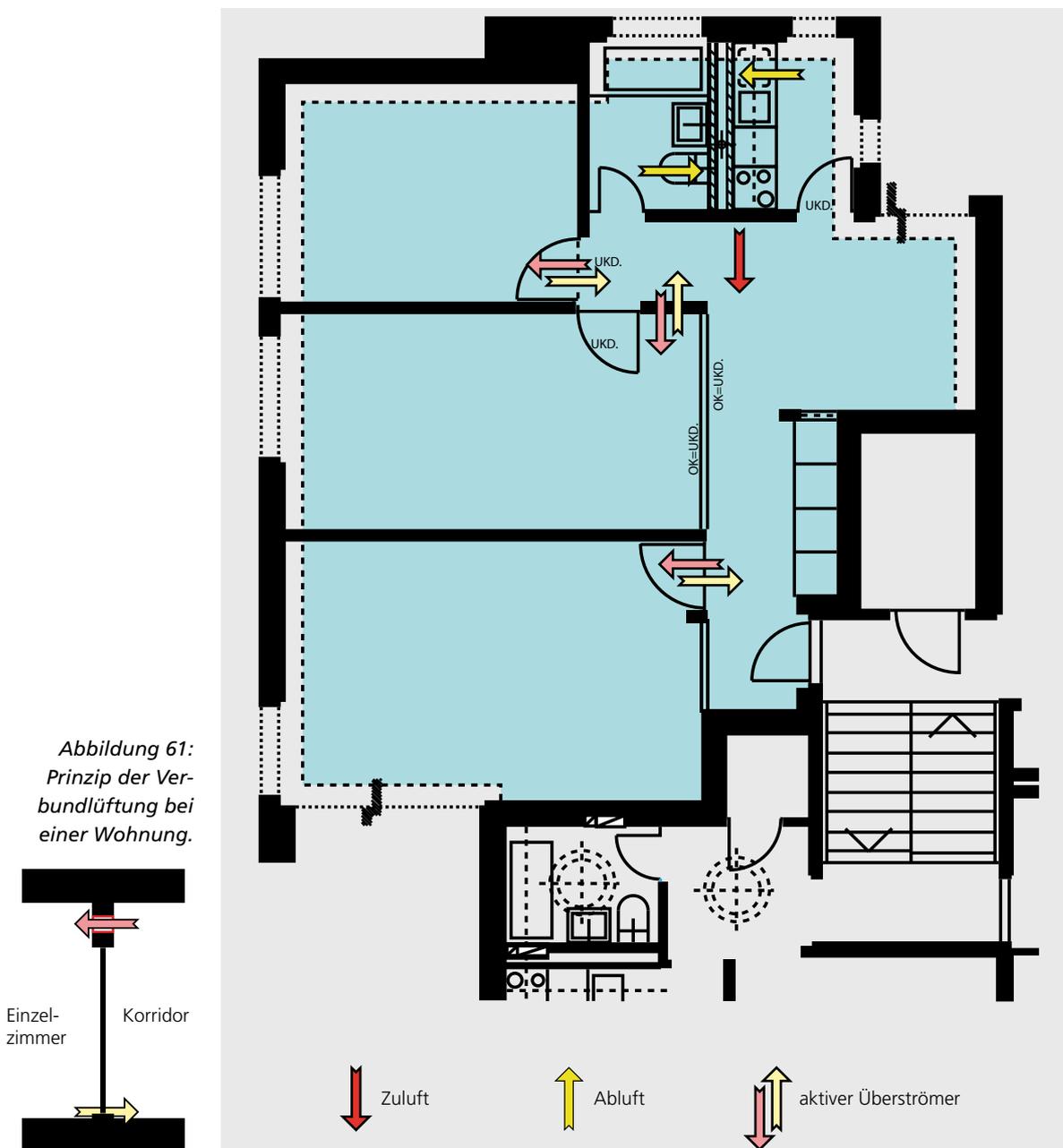
sich nicht stärker aus, als wenn die Zimmertüren offen stehen.

■ Verbundlüfter erzeugen Strömungsgeräusche und können den Schallschutz zwischen Raum und Korridor schwächen. Die Konstruktion von akustisch hochwertigen Verbundlüftern ist daher sehr anspruchsvoll. Vor allem aus akustischen Gründen sollen daher nur Verbundlüfter eingesetzt werden, die als Serienprodukte entwickelt wurden und von denen akustische Prüfdaten vorliegen.

Ein grosser Vorteil von Verbundlüftungen ist, dass die Luftqualität einer ganzen Zone

über einen einzigen Sensor geregelt werden kann. Speziell für Büros wird daher eine CO<sub>2</sub>-Regelung empfohlen. Durch die starke Vereinfachung der Zuluftverteilung, kann allenfalls die Geschosshöhe reduziert werden.

Wie alle lüftungstechnischen Einrichtungen, erfordern auch Verbundlüfter Instandhaltungsarbeiten. So soll mindestens eine jährliche Kontrolle vorgesehen werden. Weiter ist zu beachten, dass die Kleinstventilatoren rotierende Teile sind, deren Nutzungsdauer bei etwa 10 bis 15 Jahren liegt.



## Lüftung bei Modernisierung

Grundsätzlich gelten für Neubauten und Modernisierungen dieselben Lüftungstechnische Anforderungen und wirken die gleichen Phänomene. Der wesentliche Unterschied liegt in den baulichen Voraussetzungen. Während Abluftleitungen, respektive Installationszonen für Abluftleitungen oft vorhanden sind, ist die Zuluftführung der Knackpunkt. Die Kernfrage bei Modernisierungen lautet: Wie kommt die Zuluft in den Raum?

Im Wohnbau und teilweise auch bei Nichtwohnbauten kommen folgende Varianten in Frage:

- Zuluftleitungen an Decken von Korridoren und Zuluftdurchlässe über Zimmertüren. Voraussetzung ist, dass die lichte Raumhöhe im Korridor um ca. 15 cm reduziert werden kann. Je nach architektonischen Ansprüchen und Konzept sind heruntergehängte Decken oder sichtbare Leitungen realisierbar.

- Zuluft im Korridor, Versorgung der Zimmer über Verbundlüfter

- Zuluftleitungen an der Fassade: Die wesentliche Voraussetzung ist, dass die Fassade mit einer Stärke von mindestens 15 cm wärmedämmt wird. Diese Variante wurde im Projekt CCEM [4] detailliert untersucht und dokumentiert. Diverse Hinweise, z.B. Brandschutz, finden sich im entsprechenden Schlussbericht.

- Einzelraumlüftungsgeräte respektive Fassadengeräte: Kleine Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung werden in Wohn-, Schlaf- und Arbeitszimmern installiert. Heutige Einzelraumlüftungsgeräte stehen bezüglich Energieeffizienz (Ventilatorenergie und Wärmerückgewinnung) kaum grösseren Geräten und Anlagen nach. Im Wohnbereich ist speziell der Schall zu beachten: Nur wenige Produkte erfüllen die Anforderung von einem Schalldruckpegel von 25 dBA bei einem Luftvolumenstrom von 30 m<sup>3</sup>/h.

- Abluftanlagen: Aussenluft strömt über Aussenluftdurchlässe (ALD) in der Fassade nach.

- Automatische Fensterlüftung



Abbildung 62: PremiVent, das Fensterlüftungssystem mit Wärme- und Feuchterückgewinnung, gewann auf der Swissbau 2012 den ersten Preis des vom Bundesamt für Energie und Amt für Hochbauten der Stadt Zürich ausgeschriebenen Produkt-Wettbewerbs. (Zehnder Comfosystems)

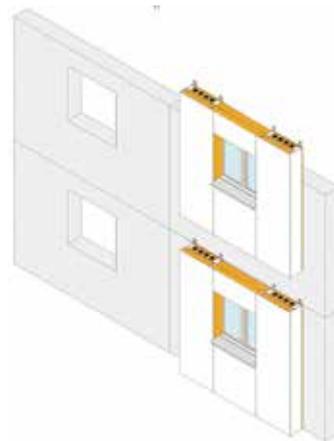


Abbildung 63: Fassadenelemente mit Luftleitungen. Quelle: Projekt CCEM [4]



Die Reihenfolge der Varianten entspricht einer Empfehlung des Autors zur Priorität der Anwendung. Bei Abluftanlagen und automatischen Fensterlüftungen ist zu beachten, dass Aussenlärmbelastung und Aussenluftbelastung den Einsatz erschweren oder ausschliessen können.

Neben der konsequenten Umsetzung einzelner Konzepte sind auch Mischlösungen und Hybridsysteme möglich. So ist es z. B. denkbar einige Zimmer einer Wohnung über klassische Zuluftleitungen zu erschliessen. Ein abgelegenes Zimmer kann mit einem Verbundlüfter oder einem Einzelraumlüftungsgerät ausgerüstet werden. Innerhalb einer Nutzungseinheit sollen nur Lüftungssysteme mit gleichen Druckverhältnissen zum Einsatz kommen. Das heisst, dass Abluftanlagen nicht mit anderen Systemen kombiniert werden können. Da bei älteren Gebäuden die Luftdichtheit zwischen Nutzungseinheiten oft nicht heutigen Normen entspricht, ist auch Vorsicht geboten, wenn benachbarte Nutzungseinheiten mit Systemen mit unterschiedlichen Druckverhältnissen versorgt werden. Wenn z. B. in einer Wohnung eine Abluftanlage installiert wird, könnte durch den Unterdruck Luft und damit auch Gerüche aus einer angrenzenden Wohnung übertragen werden.

## Zentral oder Dezentral?

Bei Wohn- und Nichtwohngebäuden stehen grundsätzlich folgende Anlagenkonzepte zur Auswahl

■ Anlagen für mehrere Nutzungseinheiten. Bei Wohngebäuden werden diese als Mehrwohnungsanlagen bezeichnet.

■ Anlagen für einzelne Nutzungseinheiten. Bei Wohngebäuden wird hier von Einzelwohnungsanlagen gesprochen.

■ Ein Lüftungsgerät pro Raum. Bei Wohngebäuden wird hier der Begriff Einzelraumlüftungsgerät verwendet. Bei Nichtwohnbauten ist die Bezeichnung Fassadengerät verbreitet.

Bezüglich Energieeffizienz unterscheiden sich die verschiedenen Lösungen kaum. Sowohl für die Wärmerückgewinnung wie auch für die Ventilatorenergie werden bei fachgerechten Anlagen und heutiger Anlagentechnik sehr ähnliche spezifische Werte erreicht. Dabei wird aber vorausgesetzt, dass die Mehrzonen- respektive Mehrwohnungsanlagen mit Bedarfssteuerungen oder besser Bedarfsregelungen ausgerüstet sind. Bei Nichtwohnbauten wird die entsprechende Technik der Variabel-Volumenstrom-Regler (VAV) schon seit Jahrzehnten eingesetzt. Bei Wohnbauten sind, u. a. wegen höheren Schallanforderungen, erst seit etwa 2012 geeignete Systeme auf dem Markt. Bei Mehrwohnungsanlagen wird aus Gründen der Schnittstellen empfohlen, ganze Systeme, d. h. VAV und Lüftungsgeräte und Regelung, von einem einzigen Systemanbieter zu beziehen.

Ein energetischer Aspekt, der oft vergessen wird, sind die Wärmeverluste von Luftleitungen und Luftkanälen. Bei Hauptleitungen von grossen zentralen Anlagen fallen diese Verluste kaum ins Gewicht. Bei Einzelwohnungsanlagen hingegen entscheidet die Disposition darüber, ob 10 % oder mehr der von der WRG zurückgewonnene Energie allenfalls durch Leitungsverluste verloren geht. Aus energetischer Sicht ist ein Lüftungsgerät nahe an der thermischen Gebäudehülle platziert, z. B. nahe an der Aussenwand oder im Keller unmittelbar unter dem ersten beheiz-

ten Geschoss. Kalte Leitungen (Aussen- und Fortluft) sollen möglichst durch unbeheizte Räume geführt werden und warme Leitungen (Zu- und Abluft der Wohnung) möglichst durch warme. Mehrwohnungsanlagen sind in der Regel so konzipiert, dass dieser Grundsatz ohne spezielle Massnahmen eingehalten wird. Bei Einzelwohnungsanlagen, bei denen die Geräte in den Geschosswohnungen platziert werden, muss durch eine geschickte Disposition für kurze kalte Leitungen gesorgt werden (Abbildung 64), ansonsten werden gemäss kantonalen Energievorschriften 100 mm Dämmstärke verlangt.

Je grösser die Anlage ist, desto anspruchsvoller sind Planung, Installation und Inbetriebsetzung. Kleinere Anlagen sind dafür aufwändiger im Betrieb. Bezüglich Hygiene heisst das, dass grössere Anlagen eher bei der Montage verschmutzt werden. Bei kleinen Anlagen sind der Filterwechsel und die Inspektion von z. B. hunderten von Einzelraumgeräten aufwändiger. Bei fachgerechter Planung und Ausführung werden aber Mehrzonenanlagen insgesamt hygienischer als unproblematischer beurteilt als dezentrale Anlagen.

Bei den Kosten dürfte sich ein ähnliches Bild ergeben: Dezentrale Lösungen können zu geringeren baulichen Massnahmen führen, sie sind aber im Betrieb oft teurer. Bei Einzelwohnungsanlagen von Komfort-

lüftungen ist der Vereisungsschutz der Wärmerückgewinnung gut zu überlegen. Geeignet sind Geräte mit Enthalpie-Wärmeübertragern oder eine Vorwärmung der Aussenluft mit Umgebungswärme (Sole-Wärmeübertrager oder Lufterdregister). Nicht fachgerecht sind Lösungen, die Unterdruck verursachen, indem der Zuluftventilator abgestellt oder dessen Drehzahl reduziert wird. Eine elektrische Aussenluftvorwärmung ist in den meisten Fällen energetisch problematisch. Bei Mehrwohnungsanlagen lässt sich der Verweisungsschutz anlagentechnisch einfach lösen, da die entsprechenden technischen Lösungen (Vorwärmung, Bypass) schon lange auf dem Markt eingeführt sind.

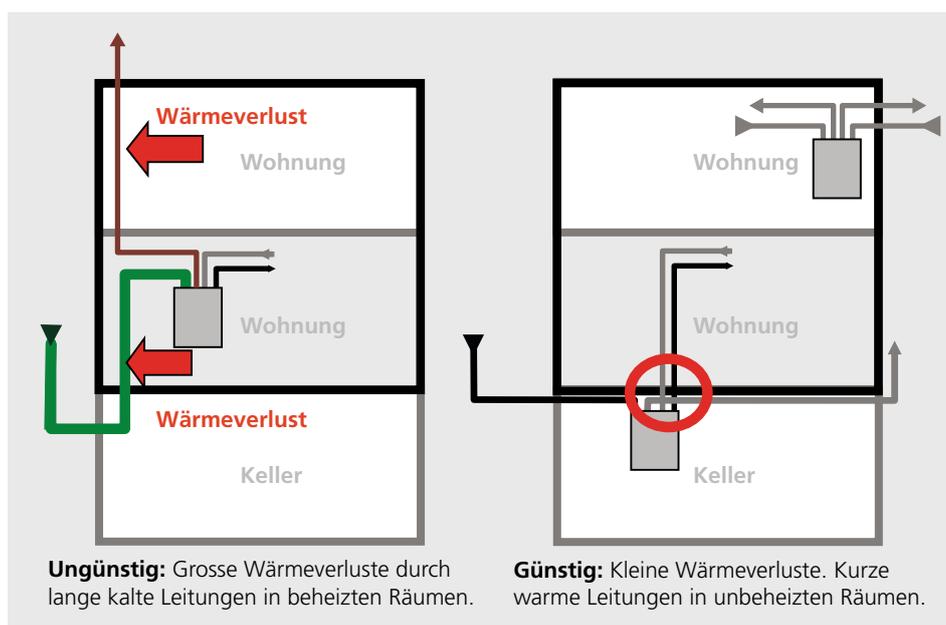


Abbildung 64:  
Skizze mit günstiger  
und ungünstiger  
Anordnung.

### Effiziente Luftförderung

Bei vielen Lüftungsanlagen entspricht die Ventilatorleistung nicht den Anforderungen gemäss SIA 382/1. Eine Komfortlüftung soll für einen Luftvolumenstrom von 100 m<sup>3</sup>/h eine elektrische Aufnahmeleistung von 35 W aufweisen. Damit ist der Stromverbrauch von Zu- und Abluftventilator, eingeschlossen allfälliger Hilfsantriebe wie Rotorantrieb und Steuerung, gemeint. Untersuchungen zeigen, dass diese elektrische Aufnahmeleistung in der Praxis machbar ist.

### Strömungstechnische Dimensionierung

Bei Einzelwohnungsanlagen soll der externe Druckverlust (Druckverlust der Luftleitungen und Komponenten ausserhalb des Lüftungsgerätes) sowohl auf der Aussen- und Zuluftseite wie auch auf der Ab- und Fortluftseite maximal 70 Pa betragen. Dies setzt einen Betrieb mit den gesetzlich geforderten Luftgeschwindigkeiten und strömungstechnisch günstige Komponenten voraus. Das heisst runde Luftleitungen und keine scharfkantigen Umlenkungen. Oft werden Aussen- und Fortluftgitter zu klein dimensioniert. Runde Gitter sollen mindestens um eine Nennweite grösser sein als die angeschlossene Leitung. Konstantvolumenstromregler sollen vermieden werden.

### Beste Geräte

Bei neuen Geräten werden die Ventilatoren mit Gleichstrom- oder mit EC-Motoren angetrieben. Bei Kleinanlagen wird so gegenüber alten Ventilatoren mit Wechselstrommotoren die elektrische Aufnahmeleistung etwa halbiert. Aber auch mit der neuen Technologie geht die Entwicklung weiter. Es lohnt sich daher, anhand von Gerätedeklarationen zu vergleichen, wie hoch die elektrische Aufnahmeleistung ist. Neben Passivhaus-Prüfungen und der Deklaration von energie-cluster.ch stehen auch Daten des Minergie-Moduls Komfortlüftung zur Verfügung.

### Quellen

- [1] Huber, H.: Planungshandbuch Komfortlüftung, Faktor Verlag, Zürich 2010
- [2] Leistungsgarantie Komfortlüftung. EnergieSchweiz, Bern 2010. Bezug unter [www.leistungsgarantie.ch](http://www.leistungsgarantie.ch)
- [3] Amt für Hochbauten der Stadt Zürich: Projekt Luftaustausch. Diverse Publikationen zum Projekt, (Synthesebericht), Zürich 2009. Bezug unter [www.stadt-zuerich.ch/nachhaltigesbauen](http://www.stadt-zuerich.ch/nachhaltigesbauen) → 2000-Watt-Gesellschaft → Technik
- [4] Kobler, R., et al.: Nachhaltige Wohnbauerneuerung: Schlussbericht der Module A3, A4 im CCEM Forschungsprojekt. Vorfabrizierte Fassaden- und Dachmodule. FHNW, IEBAu, Muttenz 2010

# Elektrizität

## Beate Weickgenannt Haushaltsgeräte

### Fest installierte Haushaltsgeräte

**Herdmulden:** In Kochplatten wird auf unterschiedliche Weise Wärme erzeugt. In Elektrokochplatten von Herdmulden wird mittels eines elektrischen Heizelements das Kochgut erhitzt. In der Regel sind drei Heizwicklungen in die Kochplatte eingegossen, die mittels einer 7-Takt-Schaltung betrieben wird. Der 7-Takt-Schalter ermöglicht das Einstellen von 6 Leistungsstufen und einer Aus-Stufe.

Die Vertiefung in der Mitte der Kochplatten bewirkt, dass die Platte sich bei Erwärmung nicht nach oben ausdehnt und damit die Kontaktfläche zum Topf reduziert.

**Glaskeramik-Herde** haben anstelle der Kochplatten Kochzonen, unter denen die Wärmeerzeugung stattfindet. Die Strahlungsheizkörper bestehen aus Tellern, die mit einer Wärmedämmschicht ausgestattet sind. Hier können neben Heizspiralen und Heizbändern auch Halogenstrahler zur Wärmeerzeugung zum Einsatz kommen.

Diese sind wie eine Halogenglühlampe mit Reflektor aufgebaut. Die Wärmeübertragung erfolgt vom Heizelement durch die Glaskeramikplatte zum Kochgeschirr. Um die Glasplatte vor Beschädigung durch Wärme zu schützen, sind die Heizelemente mit einem Überhitzungsschutz ausgestattet.

Die Wärmeübertragung bei diesen drei Heizarten erfolgt durch vertikale Wärmestrahlung. Da ein Teil der Strahlung vom Glasmaterial absorbiert wird, erfolgt die Wärmeübertragung zum Kochgeschirr durch Wärmestrahlung und Wärmeleitung.

Abbildung 65: Herd mit Kochmulden



Abbildung 66: Schnitt durch eine Kochplatte.

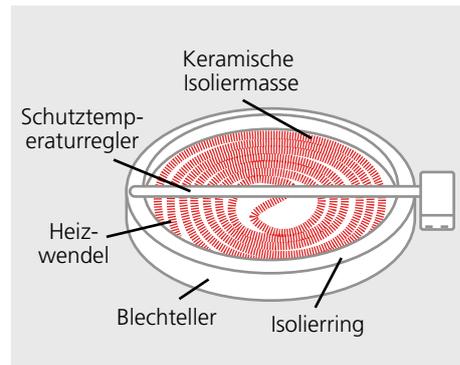
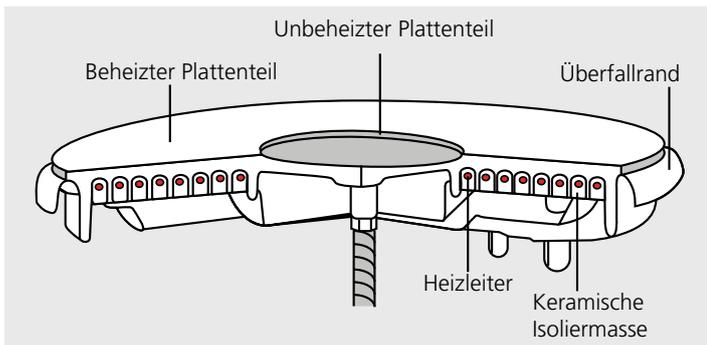


Abbildung 67: Mit Heizwendel. Ein bis drei freistrahrende, gewendelte Heizleiter sind ringförmig angeordnet und in einem Blechteller mit Isolerring eingebaut.

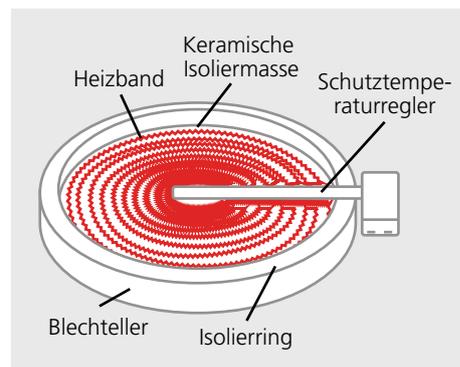


Abbildung 68: Mit Heizband. Bei der Kochzone mit Heizband besteht das Heizelement aus einem freistrahrenden, ca. 0,7 mm dicken und 4 mm hohen gewellten Band.

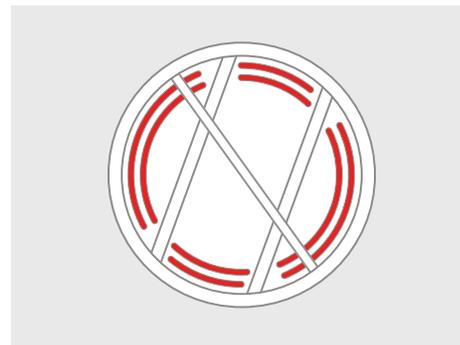
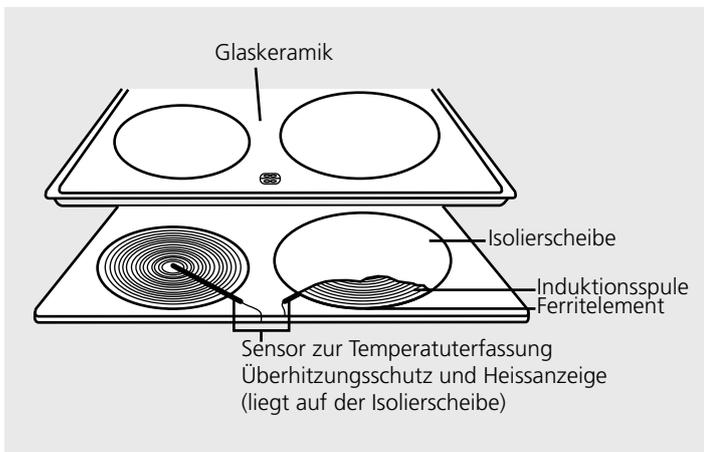


Abbildung 69: Mit Halogenstrahler und Heizwendel. Die stabförmigen Halogenheizelemente werden mit einer Strahlungsbeheizung durch Heizwendel respektive Heizband kombiniert.

**Induktionsherde:** Bei Induktionsherden befindet sich unter der Glaskeramikplatte eine flache Induktionsspule aus Kupferleitern. Die Kupferspule wird mit hochfrequenten Wechselströmen gespeist und erzeugt damit starke elektromagnetische Wechselfelder. Das zu verwendende Kochgeschirr muss aus einem magnetischen und gut wärmeleitenden Material bestehen. Stellt man dieses auf die Kochzone, entstehen Wirbelströme im Topfboden, der sich daraufhin erwärmt. Das hat den Vorteil, dass erst die Wärme erzeugt wird, wenn ein Topf aufgesetzt wird. Nur durch die Rückwärme des Kochgeschirrs wird die Glaskeramikkochfläche erwärmt. Weitere Vorteile sind die Reaktionszeiten, die feinstufige Regulierbarkeit und kürzere Ankochzeiten. Quelle: hea.de

Wie gross die Energieersparnis bei Induktionsherden aber letztendlich ist, hängt stark vom Nutzerverhalten ab. Wird häufig und viel gekocht, ist die Einsparung gegenüber anderen Heizarten grösser.

Abbildung 70: Funktionsschema einer Induktionskochstelle.



Nachteil der Induktionstechnik ist ein Brummen; die Geräusche hängen vom Topf und der Füllung ab. Ausserdem müssen in der Regel neue induktionsfähige Töpfe und Pfannen angeschafft werden. Alle Kochfelder, die über ein Touchscreen verfügen, haben eine Standby-Leistung. Auf diese ist besonders zu achten, da sie einige Watt betragen kann. Bei guten Herden ist die Standby-Leistung auf unter 1 W begrenzt.

**Energiespartipps bei Kochfeldern**

1. Wasser lässt sich mit Wasserkochern wesentlich günstiger erhitzen, als auf einer Kochstelle.
2. Kochgeschirr und Kochstellengrösse aufeinander abstimmen: sind die Töpfe zu gross, verlängert sich die Ankochzeit, sind sie zu klein, geht unnötig Wärme verloren; bei Induktionsherden können Streufelder auftreten (Magnetfeld, das nicht durch die

Abbildung 71: Aufbau einer Induktionskochstelle.

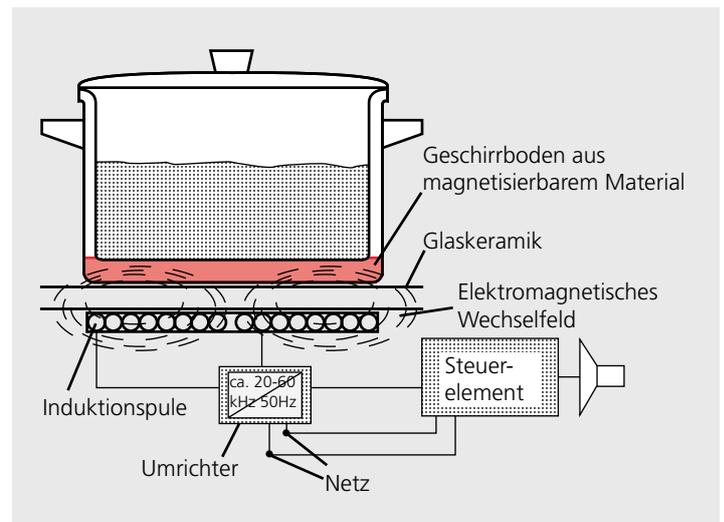


Tabelle 15: Vergleich von Zeit- und Energiebedarf beim Einsatz verschiedener Kochstellen. Quelle: Stiftung Warentest

Produktbeschreibung		Klassische Kochplatten	Glaskeramik Infrarot	Glaskeramik Halogen	Glaskeramik Induktion
Funktionsbeschreibung		Heizspiralen in metallischer Kochplatte	Heizwendeln unter Glaskeramik	Wolframdraht in gasgefülltem Glaskörper unter Glaskeramik	Elektromagnetische Spule unter Glaskeramik
1,5l Wasser auf 90 °C erhitzen	Zeitbedarf	10,5 Minuten	8 Minuten	7,5 Minuten	6,5 Minuten
	Energiebedarf	260 Wh	220 Wh	230 Wh	180 Wh
Linseneintopf aufwärmen	Zeitbedarf	4,0 Minuten	3,0 Minuten	3,0 Minuten	2,0 Minuten
	Energiebedarf	100 Wh	80 Wh	90 Wh	60 Wh

Induktion im Pfannenboden aufgefangen wird). Weitere Infos: [www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/00673/03156/](http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/00673/03156/)

3. Auf gutes Kochgeschirr achten (unebene Pfannenböden reduzieren die Wärmeübertragung).

4. Mit geschlossenem Deckel garen.

5. Bei Kochplatten mit strahlungsbeheizten Kochzonen die Nachwärme nutzen.

### Backöfen

Bei Backöfen unterscheidet man drei verschiedene Bauweisen, die sich in der Abgabe der Wärme unterscheiden. Der Standard-Backofen erwärmt das Backgut durch Strahlung und natürliche Konvektion. Dabei befinden sich Heizstäbe im oberen und unteren Bereich des Ofens. Der Ofen kann nur auf einer Ebene bestückt werden. Wird die Wärme mittels eines Ventilators gleichmässig verteilt, spricht man von einem Umluftofen. Hier kann auf zwei Ebenen gleichzeitig gebacken werden (Abbildung 72). Beim Heissluft-Backofen verteilt ein Ventilator, der in der Rückwand des Backofens sitzt, die in einem Ringheizkörper

per erzeugte Wärme in den Garraum. Durch diese erzwungene Konvektion ist es möglich, bis zu vier Einschubebenen gleichzeitig zu benutzen. Das spart Zeit und somit auch Energie. Zudem kann die Temperatur um 20°C bis 30°C geringer eingestellt werden als bei einem Ofen mit konventioneller Beheizung (Abbildung 73). Seit 2004 gibt es eine obligatorische Energieetikette für Backöfen. Die Skala der Energieeffizienz reicht von G (rot, grösster Energieverbrauch) bis A (grün, niedrigster Energieverbrauch). Auf der Energieetikette ist neben dem Energieverbrauch auch das Nutzvolumen deklariert, das sich in klein, mittel und gross unterscheidet.

### Energiespartipps

1. Backraum voll ausnutzen.
2. Nur grosse Mengen im Backofen zubereiten.
3. Auf Vorheizen möglichst verzichten.
4. Unnötiges Öffnen der Backofentür verzichten.

Abbildung 72:  
Beheizung durch  
Ober- und Unter-  
hitze respektive  
Umluft.

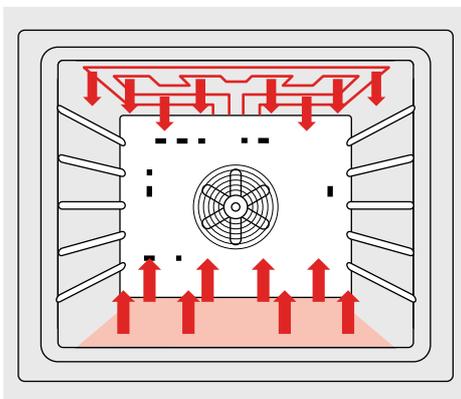


Abbildung 73:  
Beheizung mit  
Heissluft.

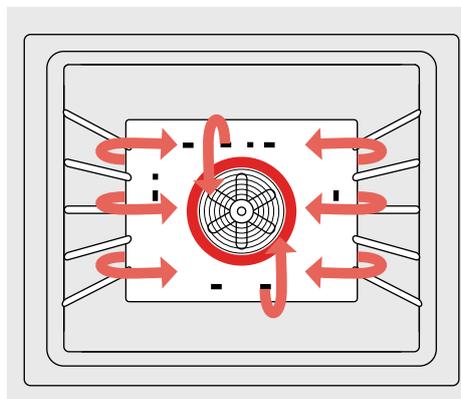


Tabelle 16: Energieverbrauch von Backöfen in Abhängigkeit der Grösse und der Energieeffizienzklasse (je Standard-Aufheizvorgang).

Energieverbrauch E (kWh/a) bei Standardbelastung	Klein 12 l – 35 l	Mittel 35 l – 65 l	Gross über 65 l
A	$E < 0,6$	$E < 0,8$	$E < 1,0$
B	$0,6 \leq E < 0,8$	$0,8 \leq E < 1,0$	$1,0 \leq E < 1,2$
C	$0,8 \leq E < 1,0$	$1,0 \leq E < 1,2$	$1,2 \leq E < 1,4$
D	$1,0 \leq E < 1,2$	$1,2 \leq E < 1,4$	$1,4 \leq E < 1,6$
E	$1,2 \leq E < 1,4$	$1,4 \leq E < 1,6$	$1,6 \leq E < 1,8$
F	$1,4 \leq E < 1,6$	$1,6 \leq E < 1,8$	$1,8 \leq E < 2,0$
G	$1,6 \leq E$	$1,8 \leq E$	$2,0 \leq E$

Abbildung 74: Energie-  
etikette Backofen.

Energie		Elektrobacköfen
Hersteller Modell		
<b>Niedriger Verbrauch</b> A B C D E F G <b>Hoher Verbrauch</b>		<b>A</b>
Energieverbrauch (kWh) Beheizung: Konventionelle Beheizung Um-/Heissluft (Bei Standardbelastung)		X.YZ X.YZ
Nettovolumen (Liter)		XZ
Typ: klein mittel gross		— — —
Geräusch (dB(A) re 1 pw)		
Ein Datenblatt mit weiteren Geräteangaben ist in den Prospekten enthalten.		
Norm EN 50304 Elektrobacköfen Richtlinie Energiekennzeichnung 2002/40/EG		

### Kühlgeräte

Zu den Kühlgeräten gehören Kühlschränke, Tiefkühlgeräte und Gefriergeräte. Allen Kühlgeräten liegt aber die technische Funktion zugrunde, einem definierten Raum Wärme zu entziehen. Das Funktionsprinzip: Durch Verdampfen einer Flüssigkeit wird der Umgebung Wärme entzogen. Die Temperatur der Flüssigkeit bleibt dabei konstant. Wird der entstandene Dampf komprimiert, steigt seine Temperatur. Durch Abführen der entstandenen Temperatur kann der Dampf kondensieren und der Kreislauf kann von vorne beginnen.

Im Kühlraum von Kühlschränken herrschen Temperaturen von +4°C bis +8°C. Dies ist für eine kurzfristige Lagerung von leicht verderblichen Lebensmitteln geeignet. In Frischlagerzonen von Kühlschränken ist es rund +2°C warm. Die relative Feuchte in der trockenen Frischlagerzone beträgt ca. 50% und ist für die Lagerung von verpackten frischen Lebensmitteln, wie Fisch und Fleisch, geeignet. In der darunterliegenden Frischlagerzone beträgt die relative Luftfeuchtigkeit ca. 90%. Sie entsteht durch die niedrige Lufttemperatur und der Lagerung von unverpackten Lebensmitteln, wie Obst und Gemüse, die durch ihre Eigenfeuchtigkeit zur hohen Luftfeuchte beitragen. Die in der Frischlagerzone gelagerten frischen Lebensmittel sind teilweise 2- bis 3-mal so lange haltbar als bei einer Lagerung im üblichen Kühlraum.

Gefriergeräte sind zum Einfrieren von Lebensmitteln geeignet. Es herrschen Temperaturen von -18°C und tiefer.

Die Energieetikette unterscheidet seit 2012 sieben Energieeffizienzklassen. Diese

reichen von A+++ bis D. Seit Januar 2011 dürfen in der Schweiz nur Kühl- und Gefriergeräte mit der Effizienzklasse A+ verkauft werden. Bei der Einteilung von Kühl- und Gefriergeräten wird ein Energieeffizienzindex berechnet. Ihm liegen verschiedenen Werte, wie der Energieverbrauch, das Nutzvolumen, die tiefste Temperatur und einige Korrekturfaktoren zugrunde.

### Energiespartipps

1. Da Kühl- und Gefriergeräte rund um die Uhr im Einsatz sind, lohnt sich die Anschaffung eines A+++-Gerätes.
2. Wahl der richtigen Grösse (für eine Grossfamilie ist ein grösserer Kühlschrank notwendig als für ein 2-Personen-Haushalt).
3. Warme Speisen erst abkühlen lassen, bevor sie in das Kühlgerät gestellt werden.
4. Tür nur kurz öffnen.

Tabelle 17: Energieeffizienzindices von Kühlgeräten in Abhängigkeit der Energieeffizienzklasse (Faktenblätter Energie-Schweiz).

Energieeffizienzklasse	Energieeffizienzindex EEI
A+++	EEI < 22
A++	22 ≤ EEI < 33
A+	33 ≤ EEI < 44
A	44 ≤ EEI < 55
B	55 ≤ EEI < 75
C	75 ≤ EEI < 95
D	EEI ≥ 95

Abbildung 75: Energieetikette für Kühlgerät.

The image shows a standard European energy label for a refrigerator. It features a scale from A+++ (green) to D (red). The label is for a model 'XYZ' with an energy consumption of 4 kWh/annum. It also includes icons for a 1L milk can (5), a snowflake (6), and a speaker (7). The label is marked with '2010/XYZ 8' at the bottom.

- 1 Name oder Marke des Herstellers
- 2 Typenbezeichnung
- 3 Energieeffizienzklasse
- 4 Energieverbrauch in kWh/Jahr basierend auf 280 Standard. Der tatsächliche Energieverbrauch hängt von der Nutzung des Gerätes ab.
- 5 Gesamtnutzzinhalt aller Kühlfächer (Fächer ohne Sternkennzeichnung)
- 6 Gesamtnutzzinhalt aller Tiefkühlfächer (Fächer mit Sternkennzeichnung)
- 7 Geräuschemission in dB(A) respektive 1pW (Schalleistung)
- 8 Bezeichnung der Regulierung

### Geschirrspüler

Die Geschirrspülmaschine funktioniert folgendermassen: Der untere Teil der Spülmaschine wird mit Wasser gefüllt. Eine Umwälzpumpe fördert das Wasser in die Sprüharme, die durch Rotieren das Geschirrgut mit Wasser besprühen. Die Rotation der Sprüharme ergibt sich durch Rückstoss des Wasserstrahls. Das Wasser sammelt sich am tiefsten Punkt der Maschine und wird durch die Umwälzpumpe wieder in die Sprüharme gepumpt.

Die Heizung, die das Wasser auf die geeignete Temperatur erwärmt befindet sich im unteren Teil des Geschirrspülers. Dafür wird der grösste Teil des Stroms verbraucht. Neuste Geräte verfügen über einen Anschluss an die Warmwasserversorgung, wodurch die Erwärmung im Gerät entfällt. Ökologisch und ökonomisch macht dieser Anschluss Sinn, wenn:

1. das Warmwasser zu über 50 % mit erneuerbaren Energien oder Fernwärme (aus erneuerbaren Energien oder Abwärme) erwärmt wird.
2. wenn der «Kalte Zapfen» unter 1,5 Liter beträgt. Das ist erfüllt, wenn nach Norm SIA 385/1(2010) «Warmwasserversorgung für Trinkwasser in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen» geplant wurde.
3. Der Einbau eines Doppelventils unter dem Spültisch beim Warm- und beim Kaltwasseranschluss möglich sind.

*Tabelle 18: Energieeffizienzindizes von Geschirrspülern in Abhängigkeit der Energieeffizienzklasse (Faktenblätter Energie-Schweiz).*

Energieeffizienzklasse	Energieeffizienzindex EEI
A+++	EEI < 50
A++	50 ≤ EEI < 56
A+	56 ≤ EEI < 63
A	63 ≤ EEI < 71
B	71 ≤ EEI < 80
C	80 ≤ EEI < 90
D	EEI ≥ 90

### Effizienzetikette

- Die Etikette enthält keine Angaben über die Reinigungswirkung, denn eine Mindestreinigungswirkung, die der Klasse «A» entspricht ist vorgeschrieben.
- Der Wasserverbrauch wird nicht in die Energieetikette einbezogen, sondern separat ausgeschrieben.
- Die Trocknungswirkung wird separat von A bis G klassifiziert.
- Die Energieeffizienzklassen zwischen alter und neuer Energieetikette stimmen nicht überein. Eine alte Geschirrspülmaschine der Klasse A wird zum grössten Teil zu A+.

### Energiespartipps

1. Geschirrspüler gut füllen und das richtige Programm wählen.
2. Weil die Geräte kaum hörbar sind, stören längere Programme wenig. Kurze Programme erhöhen den Stromverbrauch um ca. 15 %.

*Abbildung 76: Energieetikette Geschirrspüler.*

The image shows a standard European energy label for a dishwasher. It features a color scale from A+++ (green) to D (red). The label includes fields for brand name, model, energy class (A+), energy consumption (4 XYZ kWh/annum), noise emission (5 YZ dB), water consumption (8 WXYZ L/annum), and drying class (7 ABCDEFG). The label also includes the 'ENERG' logo and the text 'ENERGIA - энергия - ενεργεια', 'ENERGIJA - ENERGY - ENERGIE', and 'ENERGI'.

- 1 Name oder Marke des Herstellers
- 2 Typenbezeichnung
- 3 Energieeffizienzklasse
- 4 Energieverbrauch in kWh/Jahr basierend auf 280 Standard-Spülgängen. Der tatsächliche Energieverbrauch hängt von der Nutzung des Gerätes ab.
- 5 Geräuschemission indB(A) respektive 1pW (Schalleistung)
- 6 Anzahl der Massgedecke bei Standardbeladung
- 7 Klassifizierung der Trocknungswirkung
- 8 Jährlicher Wasserverbrauch in Litern basierend auf 280 Standard-Spülgängen. Der tatsächliche Wasserverbrauch hängt von der Nutzung des Gerätes ab.
- 9 Bezeichnung der Regulierung

### Waschmaschine

Abbildung 77 zeigt, wie der Waschkreis nach Sinner funktioniert: wird die Temperatur gesenkt, muss für ein gleich gutes Waschergebnis die Wirkung der anderen Faktoren vergrössert werden. Da für die Aufheizung des Wassers der grösste Anteil der Energie einer Waschmaschine gebraucht wird (wie auch beim Geschirrspüler), besteht die Energiesparmassnahmen darin, das Wasser zu verringern, das pro kg Wäsche gebraucht wird. Die Flotte ist die Flüssigkeitsmenge, die während eines Arbeitsganges in der Maschine verfügbar ist. Bei älteren Waschmaschinen betrug das Verhältnis von Füllmenge (in kg) zur Flotte 1 zu 4 bis 1 zu 5 für den Arbeitsgang Waschen. Das heisst, dass für 1 kg Wäsche 4 l bis 5 l Wasser gebraucht wurde. Neuere Waschmaschinen kommen auf ein Verhältnis von 1 zu 3. Eine andere Möglichkeit, den Energieverbrauch zu verringern, ist die Reduzierung der Temperatur eines Waschganges respektive die Wahl eines Waschganges mit tieferer Temperatur. Die Effizienzklassen von Waschmaschinen reichen

von D (schlechteste Klasse) bis A+++ und werden anhand des Energieeffizienzindex eingeteilt. Die Schleuderleistung wird in den Effizienzklassen von A bis G eingeteilt. In der Schweiz dürfen seit dem 1. Januar 2010 nur noch Waschmaschinen der Effizienzklasse A oder besser verkauft werden.

### Energiespartipps

1. Waschmaschine maximal füllen, denn dann ist der Energie- und Wasserverbrauch, bezogen auf die Gesamtmenge, am niedrigsten.
2. Das richtige Waschprogramm bzw. die richtige Temperatur wählen: die meisten Bakterien werden schon bei 60 °C abgetötet. Eine Temperatur von 95 °C sollte nur bei sehr stark verschmutzter Wäsche gewählt werden. Die heutigen Waschmittel ermöglichen das Waschen mit abgesenkten Temperaturen (z.B. 20 °C).
3. Sollte die Wäsche anschliessend maschinell getrocknet werden, ist es ratsam die höchstmögliche Schleuderdrehzahl zu wählen, damit die Restfeuchte der Wäsche geringer ist.

Abbildung 77: Waschkreis nach Sinner (HEA).

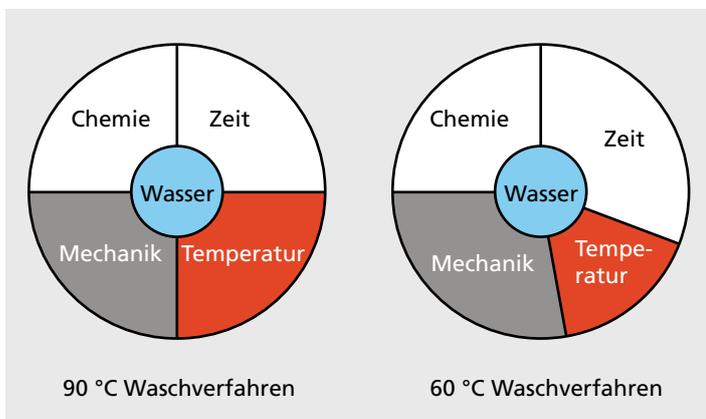
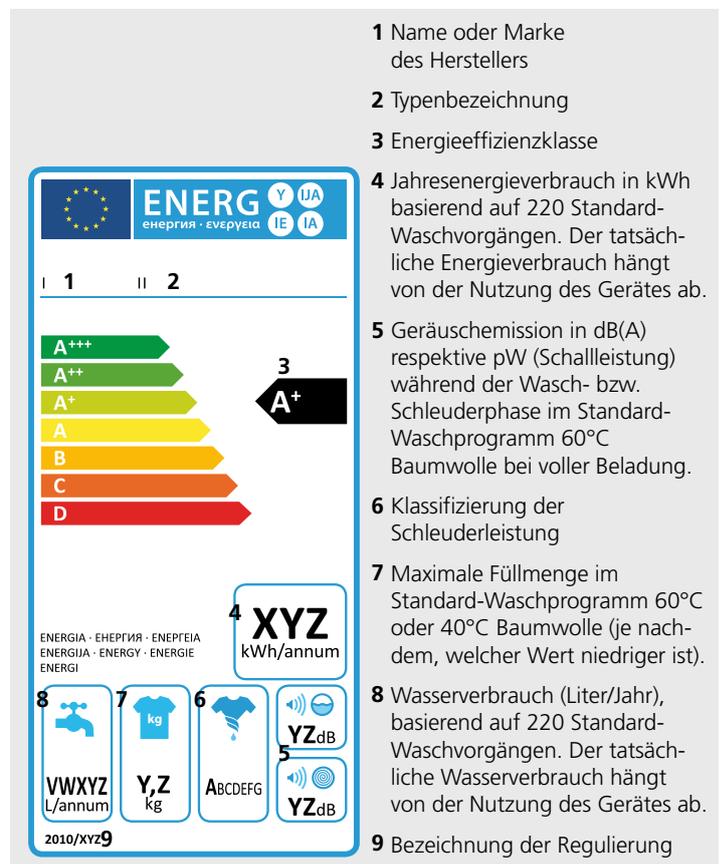


Abbildung 78: Energieetikette für Waschmaschinen.

Tabelle 19: Energieeffizienzindizes von Waschmaschinen in Abhängigkeit der Energieeffizienzklasse (Faktenblätter Energie-Schweiz).

Energieeffizienzklasse	Energieeffizienzindex EEI
A+++	EEI < 46
A++	46 ≤ EEI < 52
A+	52 ≤ EEI < 59
A	59 ≤ EEI < 68
B	68 ≤ EEI < 77
C	77 ≤ EEI < 87
D	EEI ≥ 87



- 1 Name oder Marke des Herstellers
- 2 Typenbezeichnung
- 3 Energieeffizienzklasse
- 4 Jahresenergieverbrauch in kWh basierend auf 220 Standard-Waschvorgängen. Der tatsächliche Energieverbrauch hängt von der Nutzung des Gerätes ab.
- 5 Geräuschemission in dB(A) respektive pW (Schallleistung) während der Wasch- bzw. Schleuderphase im Standard-Waschprogramm 60°C Baumwolle bei voller Beladung.
- 6 Klassifizierung der Schleuderleistung
- 7 Maximale Füllmenge im Standard-Waschprogramm 60°C oder 40°C Baumwolle (je nachdem, welcher Wert niedriger ist).
- 8 Wasserverbrauch (Liter/Jahr), basierend auf 220 Standard-Waschvorgängen. Der tatsächliche Wasserverbrauch hängt von der Nutzung des Gerätes ab.
- 9 Bezeichnung der Regulierung

### Wäschetrockner

Bei Wäschetrocknern (Tumbler) wird warme Luft durch die Wäsche geblasen, was ein Verdampfen des Wassers zur Folge hat. Die Programme werden nach Restfeuchte unterschieden. Diese wird in Prozent angegeben und bezieht sich jeweils auf die jeweilige Menge der luftgetrockneten Wäsche. Das maschinelle Trocknen von Wäsche verbraucht sehr viel Energie. Sollte die gesamte Wäsche maschinell getrocknet werden, würde doppelt so viel Energie verwendet werden, wie für das Waschen. Die steigenden Umsatzzahlen von Tumbler zeigen, dass dies der Trend ist. Die Skala der Energieetikette von Tumbler reicht von G bis A.

Die Energieverbrauchswerte beziehen sich auf ein Gerät mit 5 kg Füllmenge. Das heisst also, dass für einen Tumbler mit 5 kg Füllmenge max. 2,75 kWh Energie verbraucht werden dürfen, um die Effizienzklasse A zu erreichen. Angegeben wird auch der Gerätetyp, also ob es sich um einen Ablufttrockner oder Kondensationstrockner handelt. Beim Ablufttrockner wird die feuchte Luft über einen Abluftschlauch oder Abluftleitung abgeführt. Diese Luft beinhaltet neben der Feuchte auch die Flusen, die meist ins Freie abgeführt werden, um feuchte Räume zu vermeiden. Bei den Kondensationstrocknern wird die warme, mit Wasser angereicherte Luft über einen Kondensator abgekühlt. Dazu wird kühle Umgebungsluft quer über den Kondensator geführt. Besonders energieeffizient sind Kondensationstrockner, die nach dem Prinzip einer Wärmepumpe funktionieren. Raumluftwärmetrockner sind Geräte, die an die Wand montiert werden und einen trockenen Luftstrom in den Raum bläst. Die an Leinen aufge-

*Tabelle 20: Energieeffizienzindizes von Wäschetrocknern in Abhängigkeit der Energieeffizienzklasse (Faktenblätter Energie-Schweiz).*

Energieeffizienzklasse	Energieeffizienzindex EEI
A	Unter 0,55 kWh
B	0,56 bis 0,64 kWh
C	0,65 bis 0,73 kWh
D	0,74 bis 0,82 kWh
E	0,83 bis 0,91 kWh
F	0,92 bis 1,00 kWh
G	Mehr als 1,00 kWh

hängte Wäsche gibt die Feuchte an die Raumluft ab und das Gerät saugt diese Luft wieder an. Die Feuchtigkeit kondensiert auf der kalten Oberfläche des Wärmetauschers. Sobald der Feuchtigkeitsgehalt der Raumluft einem gewünschten Niveau entspricht, schaltet das Gerät ab. Raumluftwäschetrockner sollten in nicht zu kalten Räumen eingesetzt werden. Denn viele Wäschetrockner sind mit einer Startheizung für kalte Räume ausgerüstet, die den Stromverbrauch in die Höhe treibt.

### Energiespartipps

1. Je trockener die Wäsche aus der Waschmaschine kommt, desto geringer ist der Energieverbrauch beim Trocknen.
2. Alte Geräte sind über Zeitprogramme gesteuert und haben keinen Feuchtesensor. Diese Geräte verbrauchen viel Energie, da sie allenfalls noch laufen, auch wenn die Wäsche trocken ist.
3. Wenn möglich, Wäsche draussen bei Luft und Sonne trocknen.
4. Richtiges Programm und richtige Füllmenge wählen.

Energie		Trockner
Hersteller Modell	Logo ABC 123	
<b>Niedriger Energieverbrauch</b>		<b>A</b>
Energieverbrauch kWh/Trockenprogramm (ausgehend von den Ergebnissen der Normprüfung für das Programm «Baumwolle, schranktrocknen») <small>Der tatsächliche Energieverbrauch hängt von der Art der Nutzung des Gerätes ab.</small>		1.65
Füllmenge (Baumwolle) kg		5.0
Ablufttrockner Kondensationstrockner	— ←	
<b>Geräusch</b> (dB(A) re 1 pW) <small>Ein Datenblatt mit weiteren Geräteangaben ist in den Prospekten enthalten.</small>		
<small>Norm EN 61121 Richtlinie 95/13/EG Wäschetrockneretikett</small>		

*Abbildung 79: Energieetikette Wäschetrockner.*

### Austausch von Haushaltsgeräten

Beim Kauf von Haushaltsgeräten ist es ökologisch und ökonomisch sinnvoll, Bestgeräte zu kaufen. Die meist höheren Anschaffungskosten zahlen sich durch einen geringeren Stromverbrauch aus. Ist ein altes Gerät kaputt, lohnt es sich in den meisten Fällen nicht, diese zu reparieren. Durch die rasante Entwicklung von energieeffizienten Haushaltsgeräten können sogar noch funktionierende Geräte durch neue ersetzt werden, um Strom zu sparen.

Die graue Energie, also der Energieaufwand, der für die Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung eines Haushaltsgerätes benötigt wird, ist schwer abzuschätzen. Aber auch diese Energie wird je nach Geräteart mehr oder weniger schnell kompensiert. Vorsicht ist geboten bei Einbaugeräten. Das bis 1995 gültige Masssystem in der Schweiz regelte die Gerätegrößen. Dabei ist das Grundmass 55-60-90 cm (Elementbreite-Arbeitstiefe-Arbeitshöhe). Beim Austausch eines alten Einbaugerätes muss also auf diese Masse geachtet werden, will man nicht die ganze Küche erneuern. Unter Umständen kann das auch dazu führen, dass nicht das Bestgerät gekauft werden kann.

### Sonstige Geräte

Für viele andere Geräte gibt es inzwischen auch Energieetiketten, beispielsweise Fernseher und Kaffeemaschinen. Bei Staubsaugern ist nicht die Leistungsaufnahme die Referenzgrösse für ein gutes Saugergebnis, sondern die Saugwirkung. Diese hängt unter anderem vom Bürstenkopf, vom Saugrohr und von der Gestaltung der Luftwege ab. Viele Firmen werben mit hohen Leistungszahlen für angeblich «kraftvolle» Staubsauger. Aber auch Staubsauger mit niedrigeren Wattzahlen erreichen eine sehr gute Saugwirkung. Grundsätzlich lohnt sich ein Vergleich des Stromverbrauchs nicht nur im Betrieb sondern auch im Stand-by. Typische Geräte mit Stand-by-Verbrauch sind Computer mit sämtlichen Peripheriegeräten sowie Fernseher, DVD-Player, Hi-Fi-Anlage und Kaffeemaschine. Bei diesen Geräten lohnt es sich, Möglichkeiten der Komplettab-

schaltung zu prüfen. Zur Verfügung stehen manuelle Abschalthilfen, automatische Abschalthilfen, Fernschalter und Schaltuhren, die sich in ihrer Bedienung und im Preis unterscheiden. Einige dieser Abschalthilfen (z.B. die Master-Slave-Steckerleiste) benötigen sogar eigenen Strom, so dass bei diesen die Stromeinsparung nicht so gross ausfällt.

**Steckerleiste mit Schalter.** Vorteil: wenn die Leiste ausgeschaltet wird, sind alle angeschlossenen Geräte ebenfalls vollständig vom Netz getrennt. Nachteil: Der Schalter ist manchmal nicht einfach zu erreichen. Eine Alternative dazu ist die Steckerleiste mit Schaltermaus oder der Stecker mit Funkschalter. Automatische Abschalthilfen wie die Master-Slave-Steckerleiste: Durch Ausschalten des Hauptgerätes (Master) werden alle anderen angeschlossenen Geräte ebenfalls ausgeschaltet. Wenn also der PC als Hauptgerät abgeschaltet wird, werden Drucker, Monitor, Modem usw. ebenfalls ausgeschaltet. Das Hauptgerät bleibt jedoch mit dem Stromnetz verbunden und verbraucht weiter Stand-by-Energie. Dadurch und auch durch einen Eigenverbrauch der Steckerleiste ist die Energieeinsparung nicht ganz so hoch, wie bei einer manuellen Steckerleiste. Diese Steckerleisten gibt es ebenfalls mit Fernbedienung oder mit Näherungsschalter, der wie ein Präsenzmelder funktioniert. Beim Kauf einer automatischen Abschalthilfe ist auf deren Eigenverbrauch zu achten, der unter 0,5 W liegen sollte. Bei Zeitschaltuhren können Zeiträume definiert werden, in denen das angeschlossene Gerät mit dem Netz verbunden ist.



Abbildung 80: Programmierbare und handbetätigte Schaltgeräte

Weitere Informationen  
[www.energyday.ch/images/Altgeraete\\_A5\\_DE\\_web.pdf](http://www.energyday.ch/images/Altgeraete_A5_DE_web.pdf)  
[www.topten.ch](http://www.topten.ch)

## Beleuchtung

### Was ist Licht?

Licht ist elektromagnetische Strahlung, für die unser Auge empfindlich ist. Der Wellenlängenbereich beginnt bei ungefähr 380 nm und geht bis 780 nm und ist somit ein sehr kleiner Bereich des gesamten elektromagnetischen Spektrums der Sonneneinstrahlung (Abbildung 81). Der Bereich der sichtbaren Strahlung wird umrahmt von der Ultraviolett-Strahlung (kurze Wellenlängen) und der Infrarot-Strahlung (lange Wellenlängen).

### Lichttechnische Größen

Licht wird von einer Lichtquelle ausgesendet und trifft auf Gegenstände, Wände, Decken und Böden. Die Lichtmenge ist definiert durch den Lichtstrom  $\Phi$  in Lumen (lm). Da Lichtquellen in verschiedenen Richtungen unterschiedlich abstrahlen, wird der Lichtstrom auf die räumliche Größe der Raumwinkel  $\Omega$  in Steradian (sr) bezogen. Die daraus resultierende licht-

technische Größe ist die Lichtstärke  $I$  in Candela (cd). Sie ist die einzige lichttechnische Größe im SI-Einheitensystem (Internationales Einheitensystem). Werden die beiden Größen  $\Phi$  und  $I$  auf die Fläche bezogen, auf die sie strahlen, ergeben sich zwei weitere lichttechnische Größen. Die Leuchtdichte  $L$  ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) vermittelt einen Helligkeitseindruck. Sie ist die einzige lichttechnische Größe, die vom Menschen wahrgenommen werden kann. Und die Beleuchtungsstärke  $E$  ( $\Phi/\text{m}^2$ ), die in der Norm SN EN 12464-1 Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen für viele Arbeitsbereiche dokumentiert ist.

### Lichtquellen – Kenngrößen von Lampen

Um Lichtquellen energetisch zu bewerten und zu vergleichen eignen sich verschiedene Kenngrößen. Als erstes ist die **Leistungsaufnahme** in Watt zu nennen. Es ist interessant, wie viel von der aufgenommenen elektrischen Leistung tatsächlich in Licht umgewandelt wird. Die **Lichtaus-**

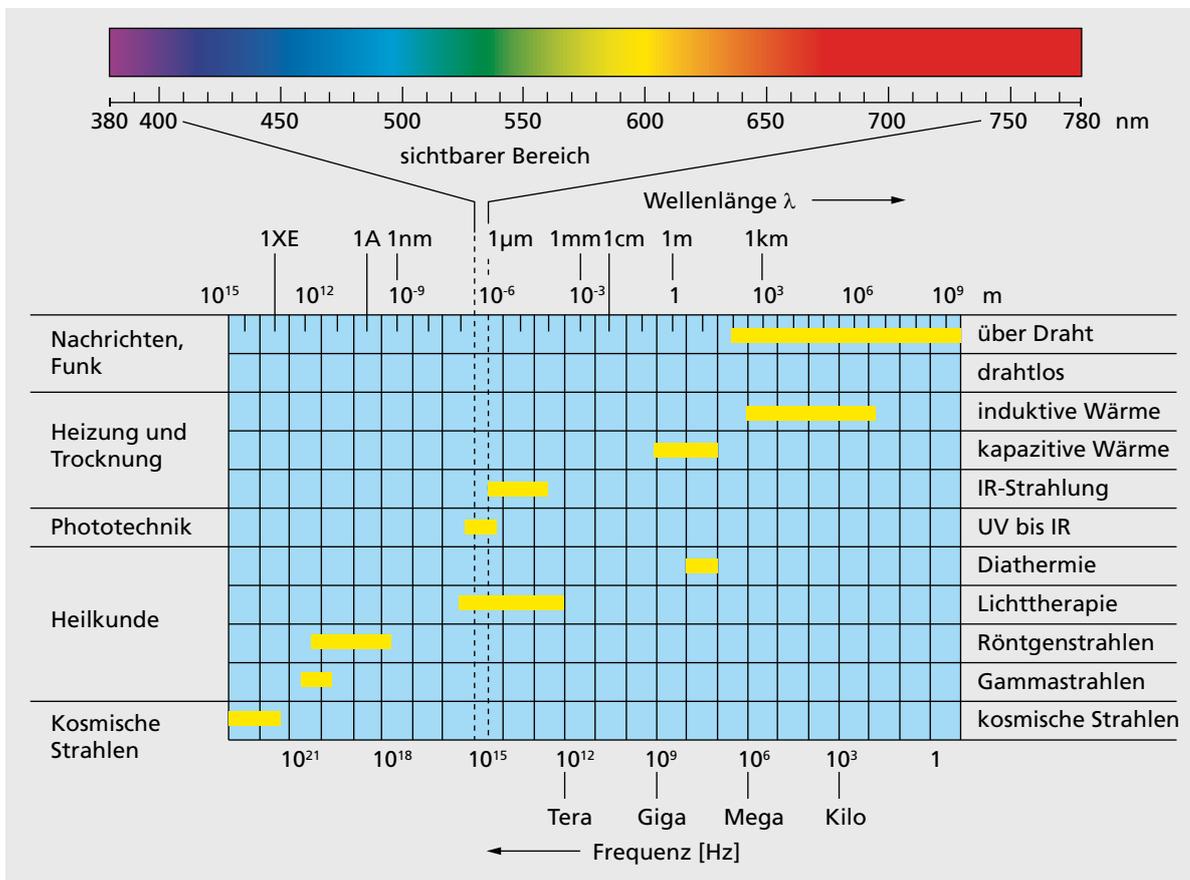


Abbildung 81: Spektrum der elektromagnetischen Strahlung. Quelle: Handbuch für Beleuchtung; Lange

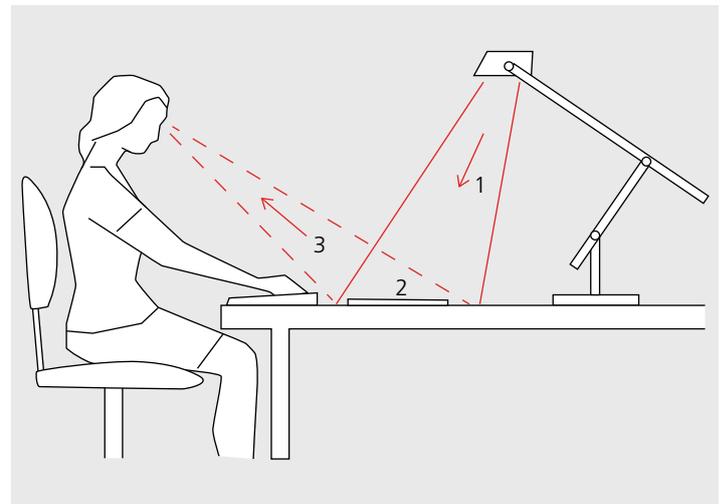
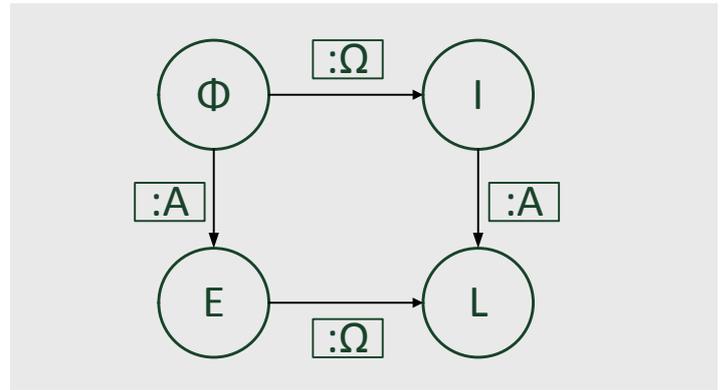
**Abbildung 82:** Zusammenhang der lichttechnischen Grössen. Lichtstrom  $\Phi$  (Lumen), Lichtstärke  $I$  (Candela), Beleuchtungsstärke  $E$  (Lumen/m<sup>2</sup>), Leuchtdichte  $L$  (Candela/m<sup>2</sup>). Quelle: *Lichttechnische Grundlagen*; ADB

**Abbildung 83:** 1 Lichtstrom in Lumen, 2 Beleuchtungsstärke in Lux, 3 Leuchtdichte in Candela pro Fläche, 4 Reflexionsgrad. Quelle: *Handbuch für Beleuchtung*; Lange

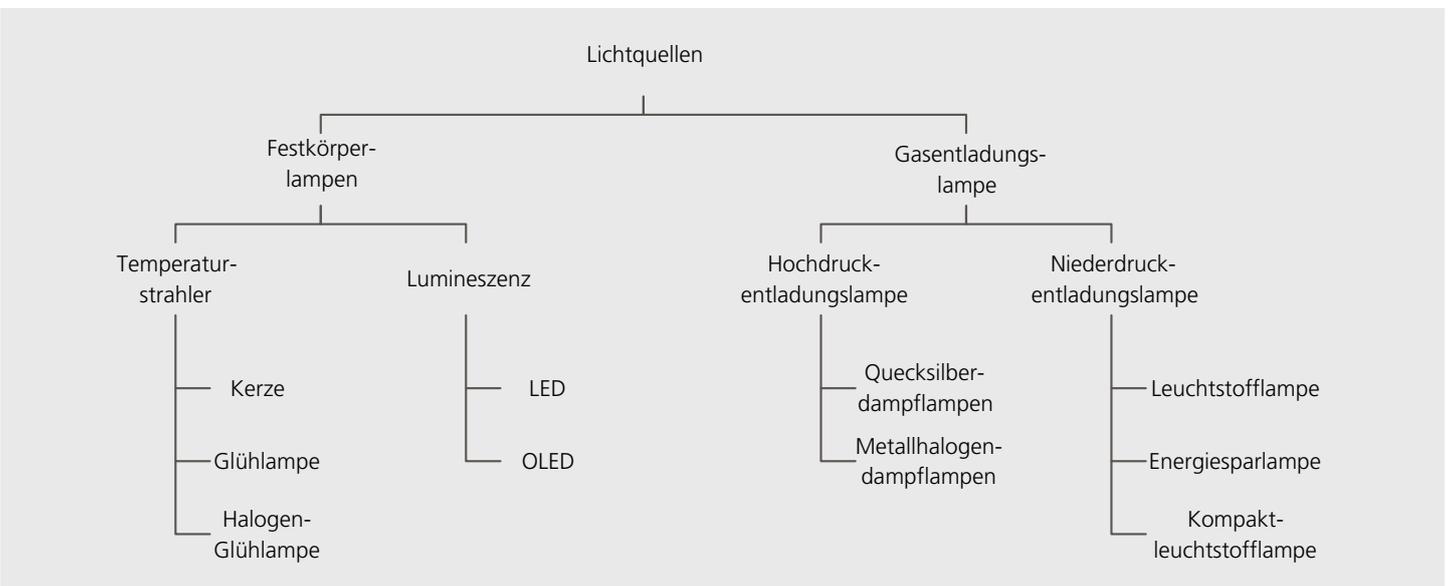
**Tabelle 21:** Lichtfarben respektive Farbtemperaturen von Leuchtstofflampen (Osram Katalog). **Abbildung 84:** Systematik von Lichtquellen mit Beispielen.

**beute** ist der Faktor von Lichtstrom zur elektrischen Leistung (Lumen/Watt). Die **Farbtemperatur** einer Lichtquelle wird in Kelvin gemessen. Wenn ein schwarzer Körper langsam erhitzt wird, durchläuft sein Aussehen die Farben von dunkelrot, rot, orange, gelb, weiss bis hellblau. Man stelle sich ein Stück Eisen beim Schmied vor: je höher die Temperatur des Eisens, desto weisser glüht es. Die Farbtemperatur einer Lichtquelle ist die Temperatur, die ein schwarzer Körper hätte, wenn er auf diese Temperatur erhitzt würde. Je höher die Farbtemperatur, desto weisser (kälter) wird das Licht. Weisses Licht wird in unterschiedliche Weissfarbtönen unterschieden: warmweiss (ww), neutralweiss (nw) und tageslichtweiss (tw) kategorisiert (Tabelle 21).

Der **Farbwiedergabeindex  $R_a$**  gibt Auskunft darüber, wie gut die Farbe eines Gegenstandes unter dem Licht einer bestimmten Lichtquelle wiedergegeben wird. Der höchste Wert von  $R_a$  ist 100. Er hängt massgeblich vom Spektrum der Lichtquelle ab. Fehlt zum Beispiel eine Farbe im Spektrum einer Lichtquelle, so erscheint ein Körper in dieser Farbe Grau. Die Lichtquelle mit dem besten Farbwiedergabeindex ist die Sonne. Ihr Spektrum ist kontinuierlich, das heisst sie strahlt in jedem Wellenlängenbereich zwischen 380 nm und 780 nm Strahlung ab und hat somit einen  $R_a$ -Wert von 100. Um den Farbwie-



Bezeichnung	Farbtemperatur in Kelvin [K]
Warmweiss	2700 K bis 3300 K
Neutralweiss	4000 K
Tageslichtweiss	5400 K bis 8000 K



dergabeindex zu ermitteln, dienen acht Testfarben, die jeweils mit einer Bezugslichtquelle ( $R_a = 100$ ) und der zu testenden Lichtquelle beleuchtet werden. Je geringer die Unterschiede, desto besser ist der Farbwiedergabeindex der Lichtquelle.

Die Lichtfarbe einer Lichtquelle bestimmt nur das farbliche Aussehen, nicht aber, wie gut sie die Farbe wiedergibt. Eine Glühlampe mit 2700 K (warmweiss) hat einen Farbwiedergabeindex  $R_a = 100$ , wohingegen eine Leuchtstofflampe mit 4000 K (neutralweiss) einen geringeren Farbwiedergabeindex von bis zu  $R_a = 90$  erreicht.

Die **Lebensdauer** von Lichtquellen hängt vom Typ der Lichtquelle ab und von ihrem Betrieb. Bei Temperaturstrahlern und bei Energiesparlampen wird die mittlere Lebensdauer angegeben. Diese kennzeichnet die Zeit bis zum Ausfall von 50 % der Lampen einer Beleuchtungsanlage. Bei Entladungslampen wird die Nutzlebensdauer angegeben. Neben den ausgefallenen Lampen berücksichtigt die Nutzlebensdauer auch den Rückgang des Lichtstroms einer Beleuchtungsanlage nach einer bestimmten Betriebsdauer. Dieser darf die Mindestwerte nicht unterschreiten. Quelle: licht.de



Abbildung 85: Allgebrauchsglühlampe (Osram)

Tabelle 22: Leistung, Lichtstrom und Lichtausbeute von Glühlampen.

Leistung [W]	Lichtstrom [lm]	Lichtausbeute [lm/W]
15	100	7
25	220	9
40	415	10
60	710	12
75	935	12

### Glühlampe und Halogenglühlampe

Lichtquellen, die mit Hilfe von Feuer Licht erzeugen, aber auch die bereits verbotene Allgebrauchsglühlampe und die Halogenglühlampe gehören zu den Temperaturstrahlern. Dabei wird durch Strom Wolframdraht zum Glühen gebracht. Ein Teil der dadurch entstehenden elektromagnetischen Strahlung liegt im sichtbaren Bereich und wird somit als Licht wahrgenommen. Wie der Oberbegriff «Temperaturstrahler» andeutet, liegt das Strahlungsmaximum im infraroten Bereich. Das

heisst, dass neben Licht auch viel Wärmestrahlung entsteht. Rund 95 % der eingespeisten Leistung fällt als Wärme an (Verlustleistung). Die **Lichtausbeute** der Glühlampe ist somit auch sehr klein.

Die **Farbtemperatur** einer Allgebrauchsglühlampe ist ziemlich gering (2700 K) und wird somit als warmweiss empfunden. Aufgrund ihres kontinuierlichen Spektrums hat die Glühlampe hervorragende Farbwiedergabeeigenschaften und erreicht einen **Farbwiedergabeindex** von  $R_a = 100$ . Eine Allgebrauchsglühlampe braucht keine zusätzlichen Betriebsgeräte und ist einfach zu dimmen. Jedoch führt eine Spannungsreduzierung zu einem überproportionalen Rückgang des Lichtstroms. Das hat wieder Auswirkungen auf die energetische Betrachtung der Allgebrauchsglühlampe: Wird die Leistung auf die Hälfte reduziert, reduziert sich der Lichtstrom auf ca. 10 %.

Neben dem Nachteil der geringen Lichtausbeute und dem Dimmverhalten ist auch die relativ kurze **Lebensdauer** von ca. 1000 h zu nennen. Bei der Erwärmung des Wolframdrahtes einer Allgebrauchsglühlampe verdampft ein Teil der Atome und schlagen sich an der Glaskolbenwand nieder. Da dies nicht gleichmässig erfolgt, wird an manchen Stellen der Draht dünner, was zu einem Riss in der Wolframwendel führt. Versorgungsspannung und Erschütterungen, haben ebenfalls einen Einfluss auf die Lebensdauer einer Glühlampe.

Eine Weiterentwicklung der Glühlampe stellt die **Halogenglühlampe** dar. Dem Verdampfen der Wolframteilchen kann mit einem erhöhten Gasdruck im Kolben entgegengewirkt werden, was kleinere Kolbenabmessungen nötig macht. Durch Zusatz eines Halogengases findet im Kolben eine Art Kreisprozess statt: Wolfram verdampft und schlägt sich an der Glaskolbenwand nieder; in der Nähe der Kolbenwand verbinden sich die Wolframatomte mit den Atomen des Halogens. Die entstandenen Verbindungen gelangen durch Konvektion wieder in die Nähe des glühenden Wolframdrahtes, wo sie aufgrund der hohen Temperaturen zerfallen und



Abbildung 86: Halogenglühlampen

sich die Wolframatome wieder auf der Wendel niederschlagen. Die frei gewordenen Halogenatome stehen dem Kreislauf wieder zur Verfügung. Die Lichtausbeute von Halogenglühlampen ist nicht markant höher als die der Allgebrauchsglühlampe. Auch in Bezug auf die **Farbtemperatur** und die **Farbwiedergabeeigenschaften** gilt für die Halogenglühlampe das gleiche wie für die Allgebrauchsglühlampe. Mit ca. 3000 K ist die Farbtemperatur etwas höher, liegt aber immer noch im Warmweiss-Bereich. Auch das Spektrum einer Halogenglühlampe ist kontinuierlich, was hervorragende Farbwiedergabeeigenschaften ermöglicht. Das Dimmverhalten ist energetisch ebenso ungünstig wie das der Allgebrauchsglühlampe. Für Niedervolt-Halogenglühlampen sind Betriebsgeräte notwendig.

Die **Lebensdauer** von ca. 2000 h bis 5000 h von Halogenglühlampen ist stark von der Spannung abhängig, mit der sie betrieben werden. Eine höhere Spannung führt zwar zu mehr Licht, reduziert aber überproportional die Lebensdauer. Geringere Spannung verlängert die Lebensdauer ist aber wenig energieeffizient.

### Gasentladungslampen

Die Gasentladung wird bei Hochdruckentladungslampen in einem Brennergefäss zwischen zwei Elektroden erzeugt. Durch einen Entladungsbogen entsteht ein Plasma, das heisst, dass die Füllung zum Teil ionisiert werden. Im Entladungsgefäss entstehen hohe Temperaturen und es herrscht ein hoher Druck. Als Hochdruckentladungslampen gelten Quecksilberdampflampen, Metaldampflampen und Natriumdampflampen. Je nach Bautyp und Füllung des Brenners sind die Lampenkenngrössen unterschiedlich. Die Lichtausbeuten variieren von 50 lm/W bis 114 lm/W. Bei Entladungsvorgängen in Gasen entstehen nur bestimmte Lichtfarben. Das Spektrum besteht aus einzelnen Linien, die im Gegensatz zu jenen von Temperaturstrahlern (kontinuierliches Spektrum) grössere Abstände aufweisen. Durch unterschiedliche Elemente im Brenner werden die gewünschte Farbtempera-

tur (warmweiss und neutralweiss) und Farbwiedergabe ( $R_a$  80 oder  $R_a$  90) erzeugt. Grosse Unterschiede auch bei der Lebensdauer: 5000 h bis 10 000 h. Metaldampflampen brauchen zum Betrieb ein Zünd- sowie Vorschaltgerät und benötigen eine Einbrennzeit von einigen Minuten sowie eine längere Abkühlphase vor dem Wiederezünden.

### Niederdruckentladungslampen

Zu den Niederdruckentladungslampen gehören die Leuchtstofflampen, die je nach ihrer Bauweise anders bezeichnet werden. Unter dem Begriff Leuchtstofflampe wird die stabförmige Lampe verstanden. Kompaktleuchtstofflampen sowie Energiesparlampen sind ebenfalls Leuchtstofflampen, die allerdings mindestens einmal gefaltet sind oder im Fall der Energiesparlampe einer Glühlampe ähnlich sind. Wie die Hochdruckentladungslampen brauchen auch die Niederdruckentladungslampen ein Vorschaltgerät zur Begrenzung ihres Stromes.

Leuchtstofflampen sind Quecksilberdampf-Niederdrucklampen. Hier werden die Quecksilberatome durch Anlegen einer elektrischen Spannung zur Emission von UV-Strahlung angeregt. UV-Strahlung ist elektromagnetische Strahlung ausserhalb des sichtbaren Bereichs. Durch einen Leuchtstoff, der auf das Innere der Glasröhre aufgebracht wird, verschiebt sich die erzeugte UV-Strahlung in den sichtbaren Bereich.

Tabelle 23: Lichtstrom und Lichtausbeute von Leuchtstoffröhren.

Lichtausbeuten von T8-Röhren		
Leistung [W]	Lichtstrom [lm]	Lichtausbeute [lm/W]
18	1350	75
36	3350	93
58	5200	90
Lichtausbeuten von T5-Röhren		
Leistung [W]	Lichtstrom [lm]	Lichtausbeute [lm/W]
28	2600	93
35	3320	95
49	4310	88
54	4450	82
80	6150	77



Abbildung 87: Hochdruckentladungslampen.

Bei den stabförmigen Leuchtstofflampen kommen Lampen mit zwei unterschiedlichen Durchmessern zum Einsatz. Die Lampen mit einem Durchmesser von 26 mm werden als T8- oder T26-Lampen bezeichnet und jene mit einem Durchmesser von 16 mm als T5- oder T16-Lampen. Sehr alte Beleuchtungsanlagen sind noch mit Leuchtstofflampen mit einem Durchmesser von 38 mm (T12) bestückt. Diese kommen aber heutzutage nicht mehr zum Einsatz. Die Lichtausbeuten sind je nach

Durchmesser und Länge des Glasrohres und dem Leuchtstoff, der verwendet wird unterschiedlich. Die Farbtemperaturen von Leuchtstofflampen können mit dem Leuchtstoff auf der Glasinnenseite beeinflusst werden. Die Temperaturen reichen im Allgemeinen von 2700 K (warmweiss) bis 6500 K (tageslichtweiss). Ebenfalls von der Leuchtschicht beeinflusst ist die Farbwiedergabe. Bei den 3-Banden-Leuchtstofflampen wird die bei der Entladung entstehende UV-Strahlung in vorwiegend blaues, grünes und rotes Licht umgewandelt. Die Mischung dieser drei Lichtfarben ergibt weisses Licht. Allerdings sind damit nur Farbwiedergabeindexe bis Ra 80 möglich. 5-Banden-Leuchtstofflampen können Farbwiedergabeindexe bis Ra 90 erreichen. Kompaktleuchtstofflampen sind mindestens einmal gefaltete Leuchtstofflampen. Durch diese kompaktere Form lassen sie sich beispielsweise in Downlights verwenden. Allerdings haben diese Lichtquellen den Nachteil, dass sie erst einige Sekunden nach dem Einschalten ihren maximalen Lichtstrom erreichen (Abbildung 88). Die Energiesparlampe verfügt im Gegensatz zur Leuchtstofflampe und Kompaktleuchtstofflampe ein eingebautes Vorschaltgerät im Sockel.



Abbildung 89: Energiesparlampen.

Tabelle 24: Lichtausbeuten von Energiesparlampen.

Leistung [W]	Lichtstrom [lm]	Lichtausbeute [lm/W]
8	400	50
14	740	53
23	1400	61
30	1940	65

Tabelle 25: Lichtausbeuten von Kompaktleuchtstofflampen.

Leistung [W]	Lichtstrom [lm]	Lichtausbeute [lm/W]
18	1200	67
55	4800	87
80	6500	81

relativer Lichtstrom in [%] zum Endwert

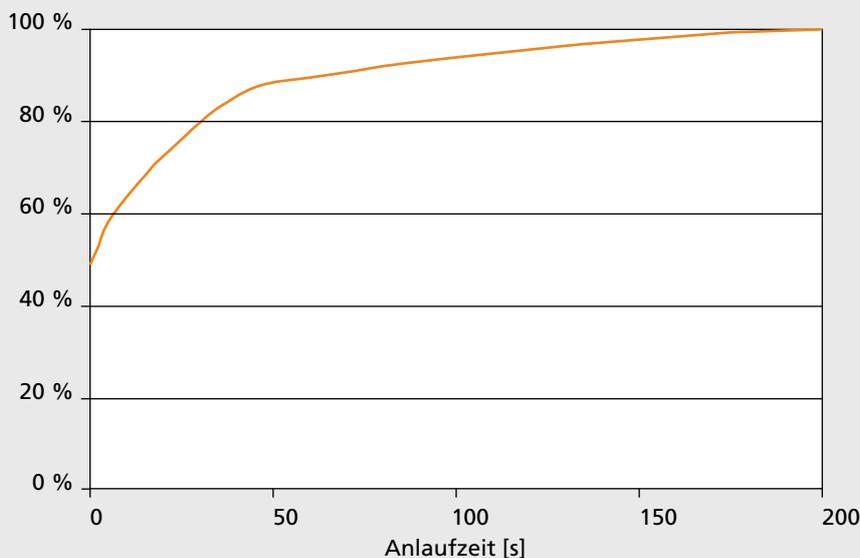


Abbildung 88: Entwicklung des Lichtstroms nach dem Einschalten im Normalanlauf. Quelle: Osram



Abbildung 90: Kompaktleuchtstofflampen.

**Elektrolumineszenz**

LED sind Halbleiterelemente, also Festkörper, die in elektrischer Hinsicht als Leiter wie auch als Nichtleiter betrachtet werden können. Im Fall einer Diode weist das Halbleiterelement eine richtungsabhängige Leitfähigkeit auf. Die Leuchtdiode besteht aus zwei Schichten: dem negativen Grundhalbleiter mit einem Überschuss an Elektronen und eine dünne, positiv leitende Halbleiterschicht mit Mangel an Elektronen (oft auch als «Löcher» bezeichnet). Wird eine Spannung angelegt, wandern die überzähligen Elektronen der einen Schicht und die «Löcher» der anderen Schicht aufeinander zu und rekombinieren in einer Sperrschicht. Diese Rekombination verläuft in einer LED strahlend. Mit welcher Wellenlänge und damit auch in welcher Farbe diese Strahlung wirkt hängt vom Halbleitermaterial ab. Rote, grüne, orange und gelbe LED sind schon in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts entwickelt worden. Die Erzeugung von weissem LED-Licht ist auf zwei unterschiedliche Arten möglich, die beide erst später entwickelt wurden. Die kommerziell erfolgreiche blaue LED wurde erst in den 1990-er Jahren entwickelt. Das eine Verfahren nutzt die Lumineszenzkonversion, bei der über einer blauen LED eine Phosphor-Leuchtschicht aufgedampft ist. Diese Schicht wandelt das blaue Licht der LED in weisses Licht um. Eine andere Möglichkeit, weisses Licht mit LED zu generieren ist die additive Farbmischung. Dabei wird rotes, grünes und blaues (RGB) Licht so gemischt, dass weisses Licht entsteht. Es kann aber auch jede andere Mischfarbe erzeugt werden.

Inzwischen gibt es eine Vielzahl von «Retrofit»-LED-Lampen auf dem Markt – in der Bauweise von herkömmlichen Lichtquellen. Das bietet den Vorteil, alte Leuchtmittel zu ersetzen. Dabei ist zu beachten, dass der Lichtstrom und die Lebensdauer von der Temperatur abhängen. Abbildung 94 zeigt den schematischen Aufbau einer LED-Lampe. Meist ist die Kühlstruktur der augenfälligste Teil der Lampe und schafft Platzprobleme, vor allem bei Ersatzlampen.

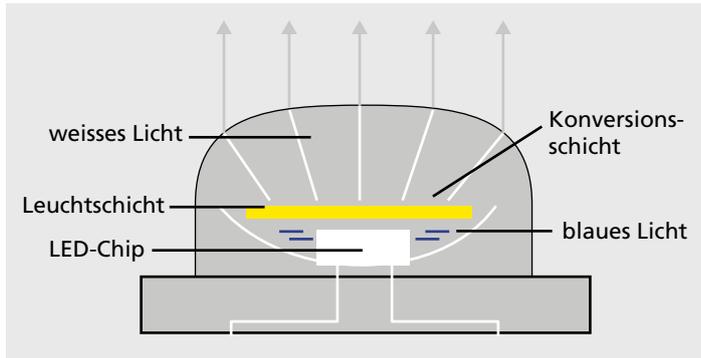


Abbildung 91: Erzeugung von weissem Licht mit einer blauen LED.

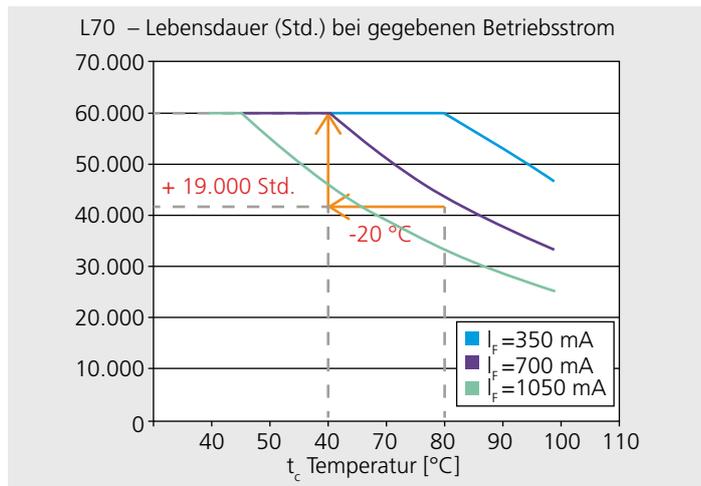


Abbildung 92: Verringerung der Lebensdauer in Abhängigkeit der Temperatur. Quelle: Vossloh-Schwabe

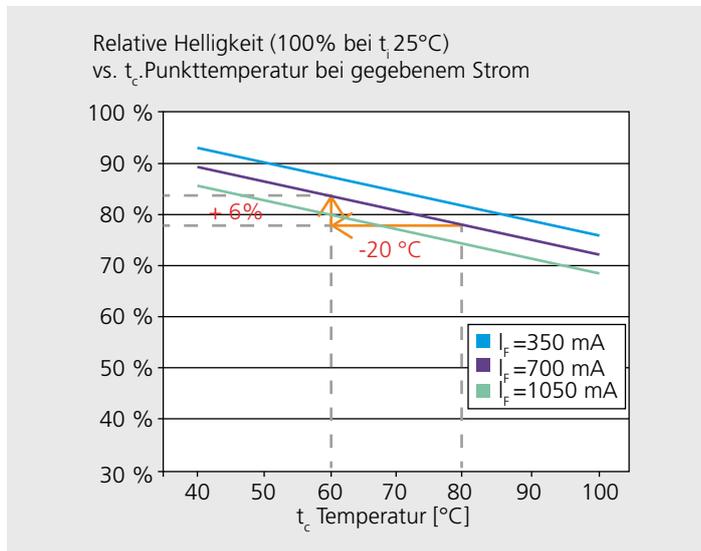


Abbildung 93: Verringerung der Helligkeit. Quelle: Vossloh-Schwabe

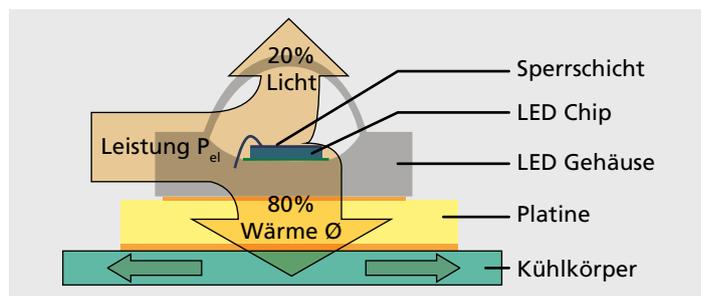


Abbildung 94: Energiefluss einer LED.

Das heisst, dass beim Austausch von konventionellen Lichtquellen durch Retrofit-Lampen sehr genau geprüft werden sollte, ob dies möglich ist. Das Leuchtmittel in der Leuchte sollte luftumströmt sein, was das Einsetzen in geschlossene Leuchten quasi verbietet. Auch bei Einbauleuchten sollten auf genügend Raum geachtet werden. Der Einsatz von LED-Leuchten ist deshalb vorzuziehen. Bei diesen Leuchten wird der Kühlkörper oder die aktive Kühlung (durch einen Ventilator) so konstruiert, dass der eingebaute LED-Chip bei der optimalen Temperatur betrieben wird. So ist gewährleistet, dass eine lange Lebensdauer und ein grosser Lichtstrom (und somit auch die gute Energieeffizienz) der LED auch erreicht wird.

### Leuchten

Leuchten sind das Umfeld einer Lichtquelle. Sie sind mit Vorrichtungen ausgerüstet, Leuchtmittel aufzunehmen und mit der Stromquelle zu verbinden. Zudem kann das Licht durch Reflektoren gelenkt, durch Diffusoren (beispielsweise Lampenschirme) gemildert und durch Raster blendfrei gemacht werden. Für eine Systematik von Leuchten gibt es verschiedene Kriterien:

- Montageart: Pendelleuchte, Aufbauleuchte, Einbauleuchte
- Montageort: Deckenleuchte, Wandleuchte, Bodenleuchte, Innenraumleuchte, Aussenraumleuchte, explosionsgeschützte Leuchte
- Abstrahlcharakteristik: Downlight, Wallwasher, indirektstrahlende Leuchte, Spot, Langfeldleuchte, frei strahlende Leuchte

Abbildung 95: Retrofit-Lampen.



Tabelle 26: Beispiele von Lichtquellen

	LED	Glühlampe	Halogen-Niedervolt	Halogen-Hochvolt	Kompaktleuchtstofflampe	Leuchtstofflampe	Hochdruckentladungslampe
<b>Leistung (Watt)</b>	2–48	100	20–100	80–1000	9–55	24–54	20–400
<b>Lichtstrom (Lumen)</b>	160–4800	1380	320–2200	1450–22 000	600–4800	1750–4450	18 000–35 000
<b>Lichtausbeute (Lumen pro Watt)</b>	100	15	22	22	78	90	114
<b>Lichtfarbe</b>	verschieden	warmweiss	warmweiss	warmweiss	warmweiss, neutralweiss, tageslicht-weiss	warmweiss, neutralweiss, tageslicht-weiss	warmweiss, neutralweiss
<b>Farbtemperatur (Kelvin)</b>	1700–10 000	2700	3000	3000	2700–6500	2700–6500	3000–4200
<b>Farbwiedergabe</b>	80–90	100	100	100	80–82	89	81–90
<b>Lebensdauer (Stunden)</b>	50 000	1000	4000	2000	12 000–13 000	18 000–20 000	5000–15 000

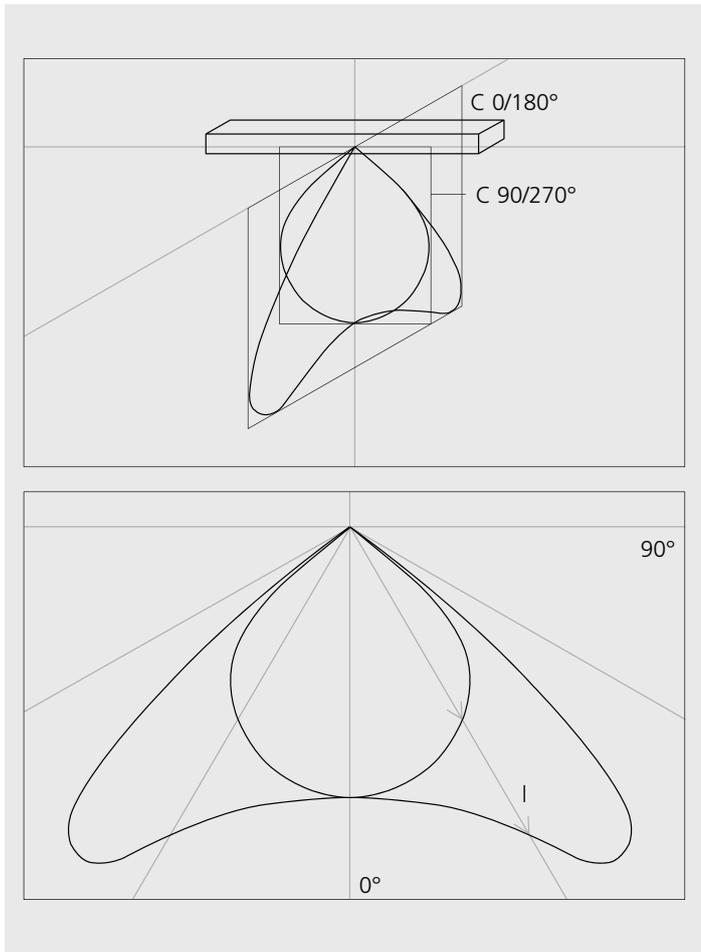


Abbildung 96: Erco Ratgeber.

Kenngrossen von Leuchten sind der Leuchtenwirkungsgrad  $\eta_L$  und der Leuchtenbetriebswirkungsgrad  $\eta_{LB}$ . Der Leuchtenwirkungsgrad ist das Verhältnis von Leuchtenlichtstrom und Lichtstrom der eingesetzten Lampe. Da der Lichtstrom einiger Leuchtmittel temperaturabhängig ist (beispielsweise Leuchtstofflampe) wird häufig der Betriebswirkungsgrad angegeben. Er ist das Verhältnis von Lichtstrom, der bei der Umgebungstemperatur  $t_U$  aus der Leuchte austritt, und dem Lichtstrom der Lampe bei  $t_0$ .  $t_0$  ist die Umgebungstemperatur, auf die sich die Listenangaben von Herstellern bei freibrennender Lampe beziehen. Diese ist, sofern nicht anders angegeben,  $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ . Dieser Betriebswirkungsgrad ist nicht wirklich ein Wirkungsgrad, denn er kann auch einen Wert grösser als eins annehmen. Einige T5-Lampen haben ihr Maximum bei einer Umgebungstemperatur von ca.  $38^\circ\text{C}$ , wie Abbildung 93 zeigt. Die Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) einer Leuchte ist ebenfalls eine charakteristische Eigenschaft von Leuchten. Sie gibt an, in welche Richtung die Leuchte wie viel Lichtstärke abgibt. Dieser Wert wird in einem Polarkoordinatensystem eingetragen.

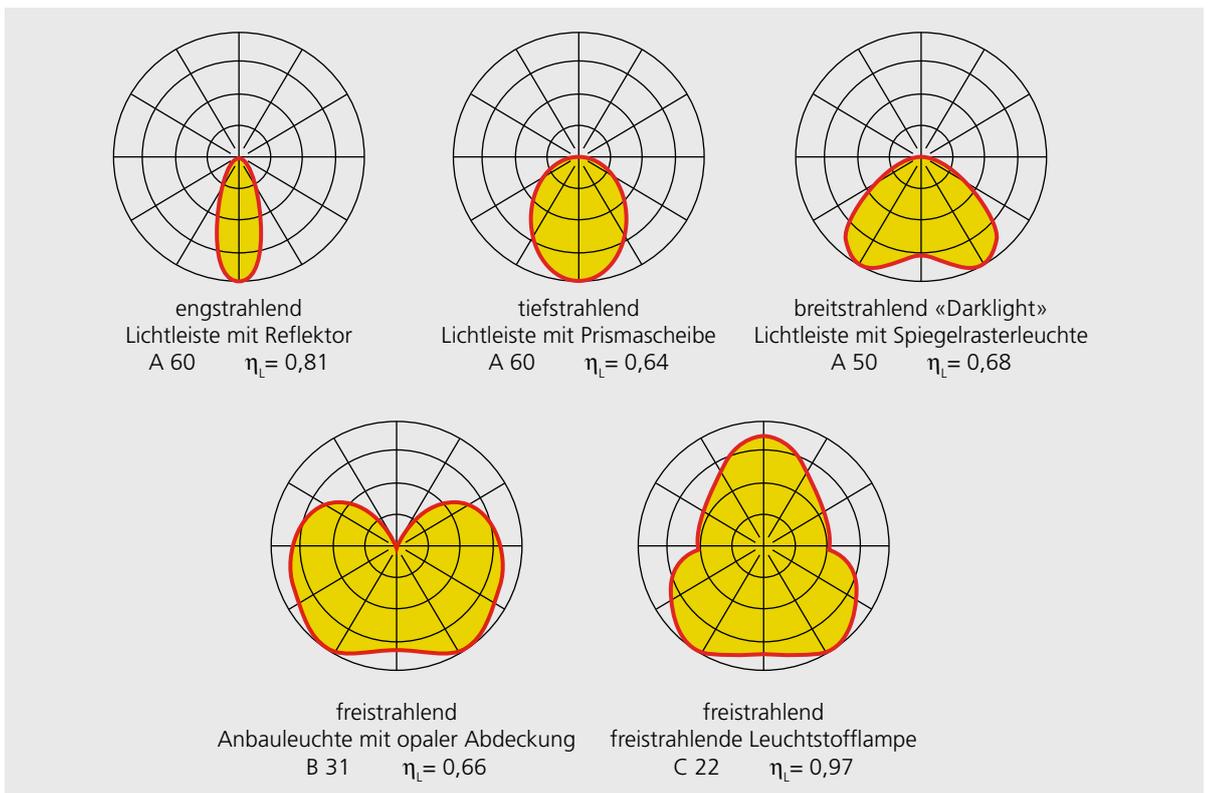


Abbildung 97: Lichtstärkenverteilungskurven von Leuchten.

### Tipps für die Planung von energieeffizienten Beleuchtungen

Die Verwendung von Lichtquellen mit einer hohen Lichtausbeute ist selbstverständlich. Bei der Wahl der Lichtquelle sollte aber auch auf ihren Einsatzort Rücksicht genommen werden. Die T5-Leuchtstofflampen haben den maximalen Lichtstrom bei ca. 38°C (Abbildung 13). Dieses Leuchtmittel eignet sich also nicht für einen Betrieb in einer offenen Einstellhalle, oder im Aussenbereich.

In Zonen mit hoher Schalthäufigkeit, wie beispielsweise WC oder Flure mit Präsenzmeldern, eignen sich Leuchtmittel, die ihren maximalen Lichtstrom sofort erreichen und es nicht noch einige Minuten bis zur vollen Leistung dauert. Obwohl diesbezüglich Kompaktleuchtstofflampen besser geworden sind, erreichen diese aber niemals die Vorteile von LED. Diese starten mit maximalem Lichtstrom und können in kurzen Zeitintervallen ein- und ausgeschaltet werden. Aber auch bei LED muss darauf geachtet werden, dass diese sinnvoll eingesetzt werden. Zum Beispiel wird eine LED-Tube mit 25 W Systemleistung als Ersatz einer 36-W-Leuchtstofflampe angeboten (T-8). Diese Leuchtstofflampe hat einen Lichtstrom von 3350 lm, die «Ersatz»-LED kommt aber nur auf 1850 lm.

Die Wahl der Leuchte hängt auch von ihrem Einsatzort ab, aber das primäre Ziel sollte sein, dass sie das Licht dahin lenkt, wo es benötigt wird. Dabei muss nicht auf

gestalterische, dekorative und atmosphärische Elemente wie beispielsweise indirektes Licht verzichtet werden. Mit der richtigen Wahl der Lichtquelle und der Leuchte ist dies durchaus in Einklang zu bringen.

Die Farbwahl und somit der Reflexionsgrad der Wände und Decken haben ebenfalls einen grossen Einfluss. Ebenso sollte die Farbe der Möbel das Licht gut reflektieren.

### Quellen

- [www.hea.de](http://www.hea.de) (Stand 2013)
- [www.topten.ch](http://www.topten.ch) (Stand 2013)
- [www.energieetikette.ch](http://www.energieetikette.ch) (Stand 2013)
- Handbuch für Beleuchtung; Lange Eco-med-Verlag

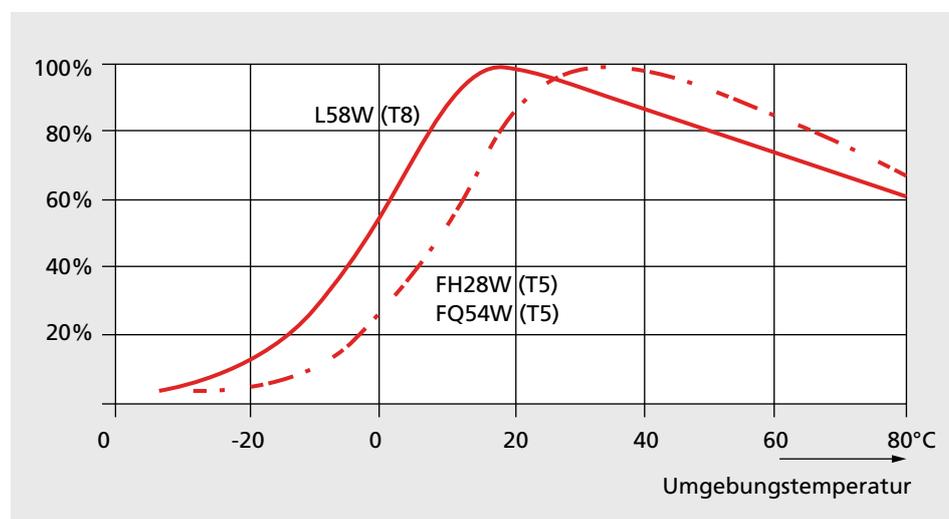


Abbildung 98: Temperaturabhängigkeit von Leuchtstofflampen.  
Quelle: Osram

## Armin Binz Photovoltaik

### Photovoltaik auf dem Vormarsch

Photovoltaik wird zu einer tragenden Säule der Elektrizitätsversorgung der Zukunft werden. Zwei Ursachen hat diese allgemeine Zuversicht:

1. Die Technologie hat sich bewährt. Einerseits funktionieren Anlagen aus den 80er Jahren auch heute noch einwandfrei. Andererseits wurden Lösungen für die Vielzahl von Anwendungsfragen wie Betriebssicherheit, Blitzschutz, Feuerrisiken, etc. gefunden und sind heute Standard der Anlagen.

2. Die Preise für PV-Module sind über die letzten dreissig Jahre im Schnitt mit jeder Verdoppelung der Photovoltaik-Installationen um 20 % gesunken (Abbildung 98). Da die Modulkosten etwa die Hälfte der Gesamtkosten einer PV-Anlage ausmachen, wirkte sich dies entsprechend auch auf die gesamten Anlagenkosten aus.

Diese Zuversicht hat bereits ihren politischen Niederschlag in den Leitlinien der Konferenz der kantonalen Energiedirektoren (EnDK) vom Frühjahr 2012 gefunden, indem dort postuliert wird, dass sich ab 2020 Neubauten «ganzjährig möglichst selbst mit Wärme sowie mit einem angemessenen Anteil Strom» versorgen sollen und bei Gebäudesanierungen «eine weit-

gehende Selbstversorgung mit Wärme» anzustreben sei. Energieeffizientes Bauen für die Zukunft heisst demzufolge auch, dass dem Einsatz von Photovoltaik-Anlagen auf Gebäuden hohe Priorität beizumessen ist.

### Die Technologie

Die Vielfalt der Photovoltaik-Zellen, mit denen Sonnenstrahlung in elektrischen Gleichstrom umgewandelt werden, lässt sich grob in zwei Gruppen unterteilen: Zellen auf der Basis von kristallinem Silizium mit Wirkungsgraden (Umsetzung von Sonnenstrahlung in Elektrizität) von 12 % bis 23 % und amorphe, oder auch Dünnschicht-Zellen mit Wirkungsgraden von 6 % bis 13 %. Kristalline Zellen machen mehr als 80 % des Marktes aus. Obwohl sie geringfügig teurer als Dünnschichtzellen sind, hat ihr Preiszerfall und der höhere Wirkungsgrad bewirkt, dass sie dank der hohen Wirkungsgrade ihre Marktposition weiter behaupten konnten.

Eine Photovoltaik-Anlage besteht aus wesentlich mehr, als nur aus den Zellen. Gruppen von Zellen werden zu Modulen zusammengefasst. Module sind die relevante Fertigungs-, Handels- und Montageeinheit von PV-Anlagen. Daher sind Modul-Wirkungsgrade bedeutsamer und näher an der Realität als Zellen-Wirkungs-

Mittlerer Preis PV-Module in Europa/Wp, 2012

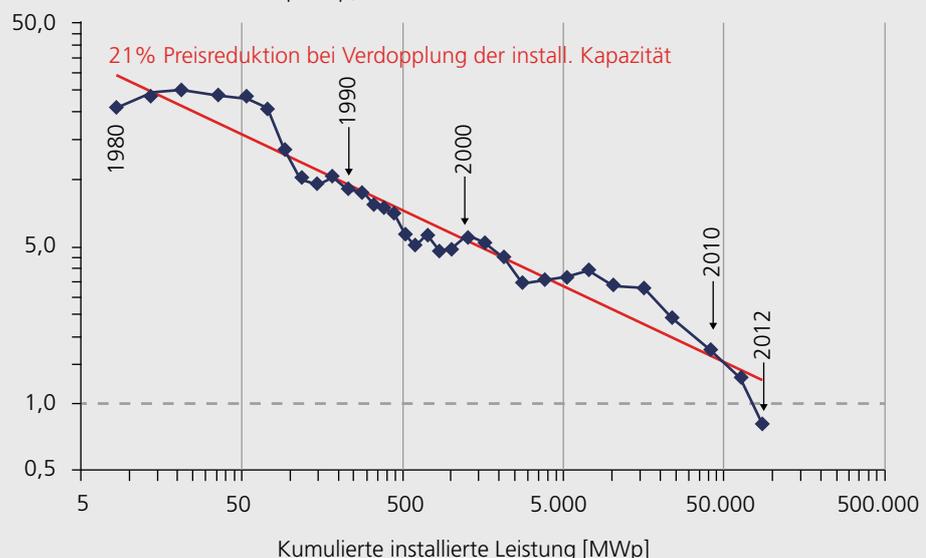


Abbildung 99: Entwicklung der Preise für PV-Module (Weltmarkt) in Euro pro Watt (2012 geschätzt). Die Gerade zeigt den Trend der Preisentwicklung.  
Quelle: ISE 2013

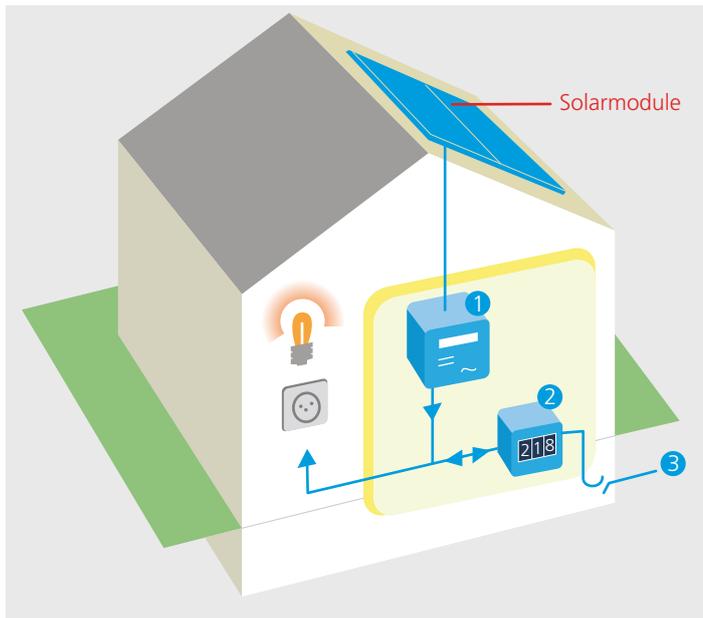


Abbildung 100: Die typische, netzangelegte PV-Anlage auf dem Gebäude. (Swissolar)  
1 = Wechselrichter  
2 = Stromzähler  
3 = Stromeinspeisung und Strombezug (Netz)

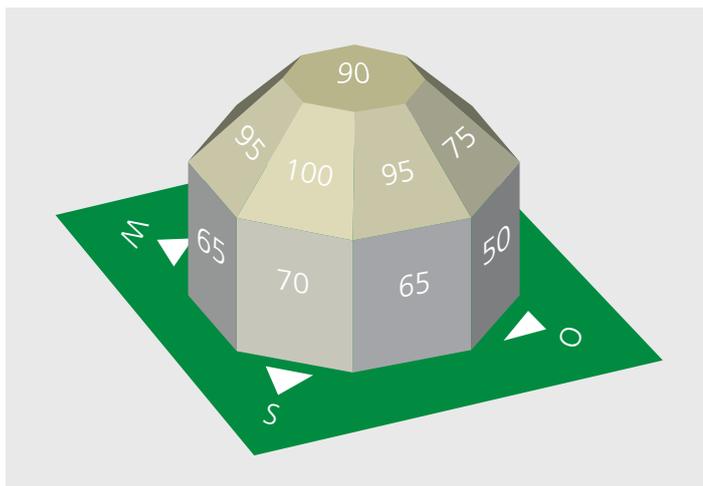


Abbildung 101: Abhängigkeit der Stromproduktion von PV-Modulen von der Orientierung. Quelle: Swissolar

Abbildung 102: Siegerprojekt «Ca d'oro» des Architekturwettbewerbs für den Neubau des Amtes für Umwelt und Energie in Basel. Fassadenpaneele mit goldschimmernden PV-Modulen. Quelle: Architekturbüro Jessen + Vollenweider GmbH, Basel



grade. Sie liegen bei Modulen mit kristallinen Zellen bei 14 % bis 21 % und bei Modulen mit Dünnschichttechnologie bei 5 % bis 13 %. Module werden elektrisch zu Strängen zusammengefasst und Wechselrichter formen den Strom um, so dass ein Anschluss an das Stromnetz möglich ist. Ebenfalls notwendig sind wetterfeste Verkabelungen, Sicherheitsmassnahmen gegen Brandrisiken, Blitzschutz, etc. sowie eine Kommunikationseinrichtung, die Betriebsdaten und Störfälle meldet. Zudem muss die ganze Anlage solide gebaut und am Gebäude befestigt sein (Windlasten).

### Photovoltaik am Gebäude

Wenn Gebäude als Photovoltaikträger genutzt werden sollen, stellt sich sofort die Frage, wo die Paneele platziert werden und damit auch die Frage, wie sie ausgerichtet sein sollen. Abbildung 101 zeigt die ungefähre Abhängigkeit der Erträge von PV-Anlagen von Neigung und Orientierung. Bei der Wertung dieser Zahlen ist noch einzubeziehen, dass die produzierte Elektrizität zum grössten Teil in das Netz eingespeist wird und daher der Nachfrage anderer Nutzer respektive der jeweiligen Nachfrage im Netz entsprechen sollte. Heute sind im internationalen Stromhandel bereits deutliche Auswirkungen der solaren Spitzen-Stromproduktion der Photovoltaikanlagen feststellbar. Ein etwas verminderter Ertrag wegen Ost- oder West-Ausrichtung der Module fällt dafür zu Zeiten ausserhalb der Mittagsspitze an. Südfassaden bringen zwar 30 % weniger Jahresertrag als optimal ausgerichtete Zellen. Bezogen auf besonders willkommenen Winterstrom sieht die Bilanz allerdings anders aus (in Winter-Sonnengebieten!). Allerdings werden diese Zusammenhänge weder mit der Förderung, etwa der kostendeckenden Einspeisevergütungen (KEV), noch mit der regulären Einspeisevergütung gewürdigt. Der massive Preiszerfall hat dazu geführt, dass PV-Module als Alternativen zu gewöhnlichen Wetterschutzschichten konkurrenzfähig werden. In Fassaden sind sie eine Alternative zu Steinplatten, Metall-Paneelen oder Gläsern. Im Dach ersetzen



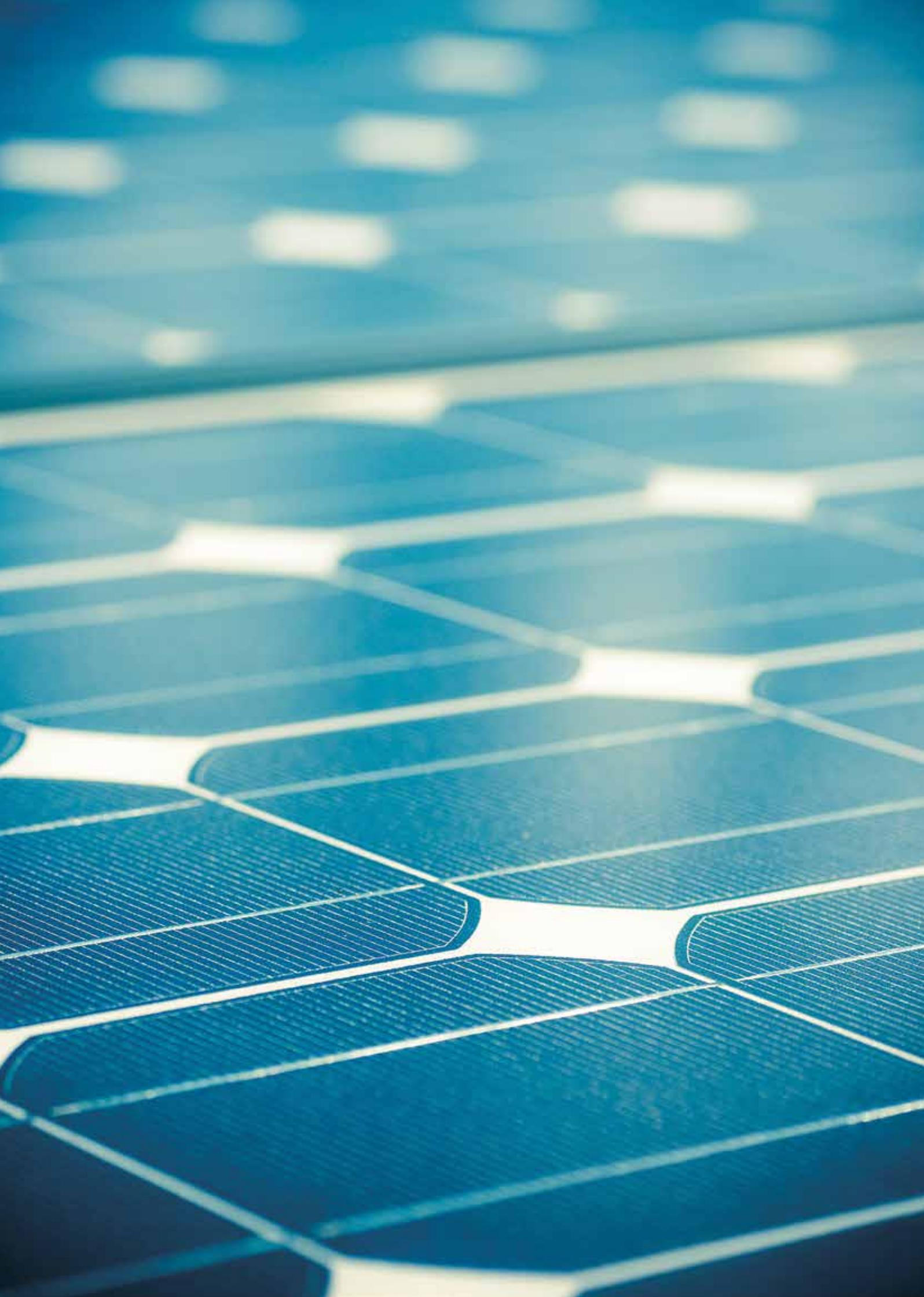
Bedarfs bei. Da aber ein Grundbetrag an Elektrizitätsbedarf für Warmwasser, Beleuchtung und Geräte über das ganze Jahr vorhanden ist, entsteht trotzdem auch in der Sommerperiode kein Überschuss. Bei Fokussierung auf die Tagesgänge im Sommer wäre dann festzustellen, dass eine Einspeisung ins Netz trotzdem nötig ist, weil Bedarf und Nachfrage im Haus sich nie decken. Die Speicherung und Regelung von tageszeitlichen Differenzen bietet aber wesentlich einfachere Lösungsmöglichkeiten, als der Ausgleich von jahreszeitlichen Unterschieden. Durch Verschiebung von Lastbezügern in die Spitzenproduktionszeit (z.B. waschen und Geschirrspülen in der Mittagszeit) und in der Zukunft evtl. auch durch die dezentrale Speicherung von Elektrizität in Batterien oder die Aufladung von Elektromobilen sollen diese Herausforderungen angegangen werden.

*Abbildung 104: Vorplatzbeschattung mit PV-Modulen, Gemeindezentrum Ludesch, Österreich.  
Quelle: Ertex Solar, Amstetten, Österreich*



*Abbildung 105: Berufsschule in Wolfhagen (Deutschland), Überdachung mit ASI-THRU-Module (Schott) mit integriertem Sonnenschutz. Deutscher Solarpreis 2011.  
Quelle: HHS Planer + Architekten AG*





# Graue Energie

## Monika Hall **Datengrundlage**

Energie wird nicht nur zum Betreiben eines Gebäudes benötigt, sondern auch bei den Herstellungsprozessen, dem Transport und der Entsorgung von Baumaterialien, aus denen ein Gebäude besteht. Diese Energie wird graue Energie (embodied energy) oder auch kumulierter Energieaufwand (KEA) genannt. Bei dem Vergleich der grauen Energie verschiedener Gebäude ist es wichtig, eine einheitliche Basis zu finden. Die Datengrundlage ist abhängig von

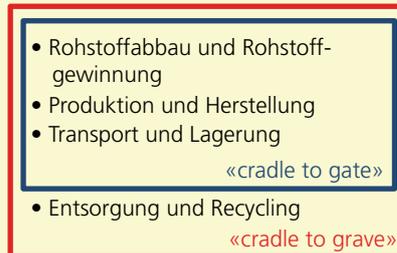
- der verwendeten Datenbank
- dem Alter der Daten
- der eingesetzten Amortisationszeit von Materialien und Komponenten
- welche Bauteile und Komponenten berücksichtigt werden (Tabelle 27)
- wie die Bauteile und Komponenten berücksichtigt werden (Tabelle 27)
- dem Zeitraum der Betrachtung
- dem Umfang des betrachteten Lebenszyklus (z. B. cradle to grave, cradle to gate)
- der Gewichtung der Energieträger (Primärenergie total respektive nicht erneuerbar Umweltbelastungspunkte, Treibhausgasemissionen, etc.)

### Definition «Graue Energie»

Die graue Energie umfasst nach Merkblatt SIA 2032 «Graue Energie» den Energieaufwand für

- die Rohstoffgewinnung
- die Herstellung einzelner Materialien, Bauteilen und Komponenten
- den Transport und Lagerung sowie
- die Entsorgung der Materialien

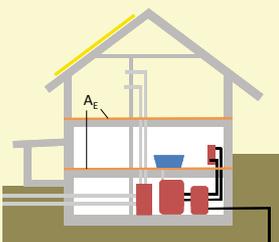
Der gesamte Lebenszyklus einzelner Baumaterialien ist in dem «cradle to grave»-Ansatz berücksichtigt. Die graue Energie wird in nicht erneuerbare Primärenergie (EPnren) ausgedrückt und ist damit ein Mass für den Aufwand an nicht erneuerbaren Ressourcen für den Lebenszyklus eines Baustoffes. Für jedes Material bzw. jede Komponente wird eine definierte Amortisationszeit zugrunde gelegt.



*Tabelle 27: Bilanzierung nach Merkblatt SIA 2032 «Graue Energie».*

*Anmerkung: Die Gebäudehülle besteht grundsätzlich aus Bauteilen mit relativ hohem Gehalt an grauer Energie, wenn sie viele Anschlüsse, Ecken und Kanten aufweist, gilt dies noch verstärkt. Einfaches und kompaktes Bauen ist deshalb aus der Sicht der grauen Energie wünschenswert. Die Tragstruktur sowie Umfang und Art der Untergeschosse tragen viel zur grauen Energie bei.*

Bilanzperimeter	Vernachlässigungen	Berechnung
Der Bilanzperimeter umfasst das gesamte Gebäude (beheizte und unbeheizte Bereiche) inklusive der dazugehörigen Aussenanlagen: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Aushub</li> <li>■ Gebäudehülle</li> <li>■ Innenbauteile</li> <li>■ Gebäudetechnik + Verteilung</li> <li>■ Balkon, Wintergarten</li> <li>■ Aussenbauteile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sicherheits- und Transportanlagen</li> <li>■ Eingebautes Mobiliar</li> <li>■ Umgebung und Ausstattung des Gebäudes</li> <li>■ Transporte auf die Baustelle (Ausnahme z. B. Helikoptertransport)</li> <li>■ Energieverbrauch auf der Baustelle</li> <li>■ Baustellenabfälle, Verpackungsmaterialien</li> <li>■ Treppen, Türen, Zargen</li> <li>■ Kleinbauteile, z. B.: Lichtschächte, Sonnenschutz</li> <li>■ Lineare Elemente, z. B. Regenrinnen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Aussenwände mit Aussenmass</li> <li>■ Decken ohne Abzüge für Schächte und Treppen</li> <li>■ Innenwände mit Innenabmessungen und ohne Abzüge für Türen, Leitungs- und Kanaldurchbrüche</li> </ul>



### Verteilung am Gebäude

Die graue Energie von Gebäuden teilt sich in den Energieaufwand für den Baukörper sowie für die verwendete Gebäudetechnik auf. Je nach Ausstattung der Gebäudetechnik kann ihr Anteil an der gesamten grauen Energie für ein Gebäude zwischen 17 % bis 52 % ausmachen (Abbildung 106). Eine Analyse von rund 230 provisorisch und definitiv zertifizierten Minergie-A-Wohngebäuden gibt detaillierte Auskunft über die Verteilung der grauen Energie in der Praxis. Diese Objekte eignen sich sehr gut für eine Analyse, da der Nachweis für die graue Energie für alle Gebäude in einem Zeitraum von 2 Jahren erfolgte, die Berechnung von Minergie vorgegeben ist und zum überwiegenden Teil mit demselben Tool erstellt wurde. Es kann also von

einer einheitlichen Datenbasis ausgegangen werden. Der Mittelwert über die gesamte graue Energie der Minergie-A-Gebäude beträgt  $42 \pm 6 \text{ kWh}_{\text{EPnren}}/(\text{m}^2 \text{ a})$ . Dies entspricht ca. 84 % der Anforderung zur grauen Energie für Minergie-A-Neubauten ( $50 \text{ kWh}_{\text{EPnren}}/(\text{m}^2 \text{ a})$ , Abbildung 107). Rund zwei Drittel der grauen Energie entfällt auf den Baukörper, 20 % auf die Standard-Gebäudetechnik (Heizung, Warmwasser, Lüftung, elektrische Installationen, Sanitär) und ca. 17 % auf thermische Solaranlagen und Photovoltaikanlagen.

**Graue Energie [kWh/(m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> a)]**

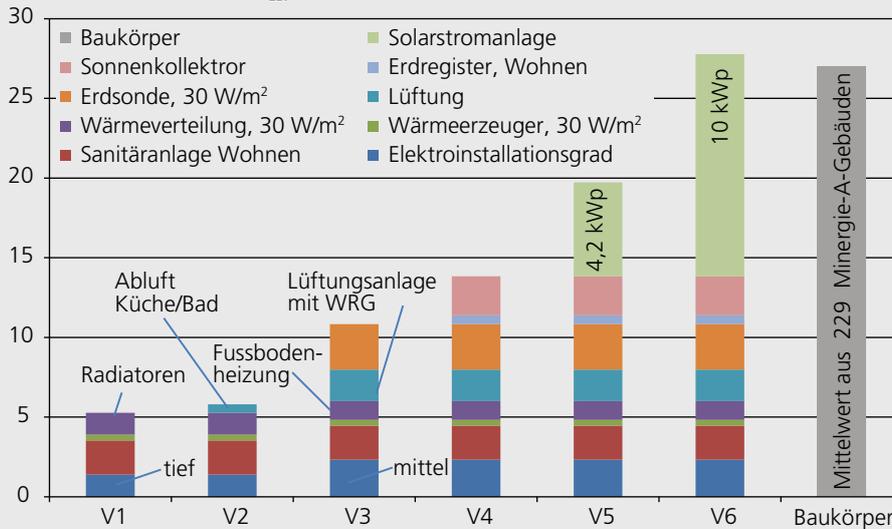
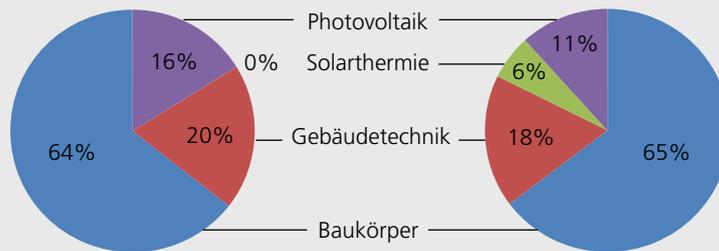


Abbildung 106: Graue Energie von verschiedenen Standards der Gebäudetechnik im Vergleich zum Baukörper.

**196 Gebäude ohne Solarkollektor**

**33 Gebäude mit Solarkollektor**



Mittelwert:  $42 \pm 6 \text{ kWh}_{\text{EPnren}}/(\text{m}^2 \text{ a})$

Abbildung 107: Anteil von Gewerken an der grauen Energie von 229 Minergie-A-Gebäude mit und ohne Solarthermie.

### Materialwahl

Die graue Energie wird entweder pro kg oder pro m<sup>2</sup> der einzelnen eingesetzten Materialien respektive Bauteile oder pro Stück, Lauflänge, Energiebezugsfläche, Leistung oder m<sup>2</sup> bei den Gebäudetechnikkomponenten angegeben. Für ein Bauteil, welches sich aus mehreren Materialien zusammensetzt, wird ein Gesamtwert pro m<sup>2</sup> Bauteilfläche berechnet, der abhängig von der Materialstärke, der Dichte sowie von der Nutzungsdauer der einzelnen Materialien ist. Nach Merkblatt SIA 2032 wird die graue Energie als Jahreswert angegeben, d.h. der Gesamtwert wird durch die Amortisationszeit geteilt. Somit wird über die Nutzungsdauer eines Bauteils ein konstanter Wert für die graue Energie pro Jahr angenommen.

Die graue Energie von verschiedenen Materialien mit der gleichen Funktionalität ist sehr unterschiedlich. Für verschiedene Dämmmaterialien ist die graue Energie in Abbildung 18 auf Seite 23 dargestellt. Der Vergleich der grauen Energie von Dämmstoffen muss immer in Abhängigkeit des erforderlichen U-Wertes erfolgen. Ein Dämmstoff mit einem hohen grauen energetischen Wert pro kg Material kann durch eine dünnere Schichtdicke infolge einer geringen Wärmeleitfähigkeit zum Optimum führen.

Abbildung 108 zeigt den Einfluss des Rahmenmaterials und der Verglasung auf die

graue Energie eines Fensters. Die Wahl des Rahmenmaterials hat einen grösseren Einfluss auf die graue Energie als der Wechsel von 2-fach- auf 3-fach-Verglasung.

Prinzipiell hat die Materialisierung einen starken Einfluss auf den Gesamtwert. Bei der Wahl von Materialien ist darauf zu achten, dass die tatsächlich eingebauten Mengen berücksichtigt werden, da Gewicht und Ausmass den effektiven Wert der grauen Energie bestimmen.

### Gesamtbilanz

Die Energie, um den Heizwärmebedarf zu decken, kann durch eine thermisch verbesserte Gebäudehülle reduziert werden. Hierfür wird in der Regel die Dämmstärke erhöht, was zu einem zusätzlichen Einsatz an grauer Energie führt. Die Erhöhung der grauen Energie für den vermehrten Materialaufwand steht der Einsparung beim Heizwärmebedarf gegenüber. Eine gute Wärmedämmung spart mehr Betriebsenergie ein, als die zusätzliche graue Energie zu nimmt.

Um eine Gesamtbilanz aufstellen zu können, muss der Heizwärmebedarf analog zur grauen Energie in nicht erneuerbarer Primärenergie ausgedrückt werden. In Abhängigkeit vom Wärmesystem und Energieträger variiert der nicht erneuerbare primärenergetische Heizwärmebedarf. Je nach Wärmerezeuger und Energieträger ergibt sich ein anderes Optimum der

Abbildung 108: Graue Energie von 2- und 3-fach verglasten Fenster mit verschiedenen Rahmenmaterialien (KBOB-Ökobilanzdatenbank 2012).

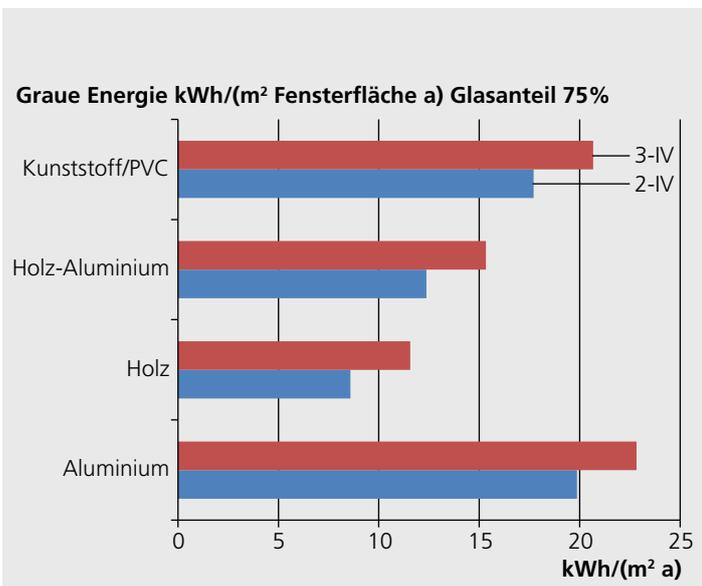
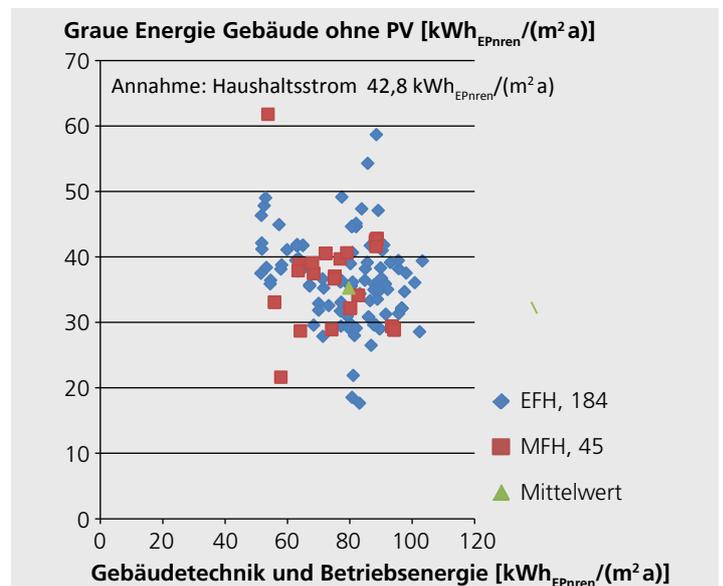


Abbildung 109: Betriebsenergie in Abhängigkeit der grauen Energie des Gebäudes ohne Berücksichtigung einer Photovoltaikanlage und deren Ertrag für 229 Minerogie-A-Wohnbauten.



Dämmstärke. Abbildung 109 zeigt die graue Energie in Anhängigkeit der Betriebsenergie (Gebäudetechnik und Betriebsenergie) für rund 230 Minergie-A-Gebäude. Gebäude mit einer niedrigen Gesamtenergie weisen nicht unbedingt eine höhere graue Energie auf.

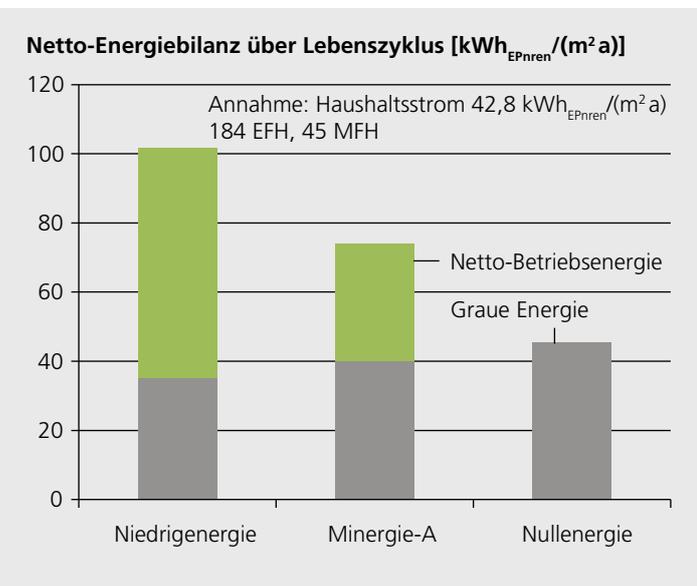
### Life Cycle Energy

Wird die Eigenenergieproduktion in der Bilanzierung berücksichtigt, wird eine Netto-Bilanz über die gesamte Betriebsenergie aufgestellt. Die Summe aus Netto-Betriebsenergie und graue Energie wird Lebenszyklusenergie oder Life Cycle Energy, LCE, genannt. Die Life Cycle Energy ist für drei Energiestandards in Abbildung 110 dargestellt. Ausgehend von den rund 230 Minergie-A-Gebäuden wurde der Anteil an Photovoltaikanlagen (PV) bei den Gebäuden so variiert, dass

- Standard 1 keine PV aufweist (Niedrigenergiegebäude)
- bei Standard 2 der Energiebedarf für Wärme durch PV gedeckt wird (Minergie-A-Standard) und
- für Standard 3 die gesamte Betriebsenergie über PV gedeckt wird (Nullenergiegebäude)

Abbildung 110: Gesamtbilanz von Netto-Betriebsenergie und grauer Energie von verschiedenen Gebäudestandards.

Es zeigt sich, dass die graue Energie vom Niedrigenergie- zum Nullenergiegebäude ansteigt, jedoch gleichzeitig die Netto-Betriebsbilanz per Definition auf 0 kWh/(m<sup>2</sup>a)



fällt. Damit reduziert sich, trotz steigender grauer Energie, die Life Cycle Energy eines Nullenergiegebäudes gegenüber eines Niedrigenergiegebäudes um rund 60%. Das Nullenergiegebäude weist die niedrigste Netto-Gesamtbilanz auf.

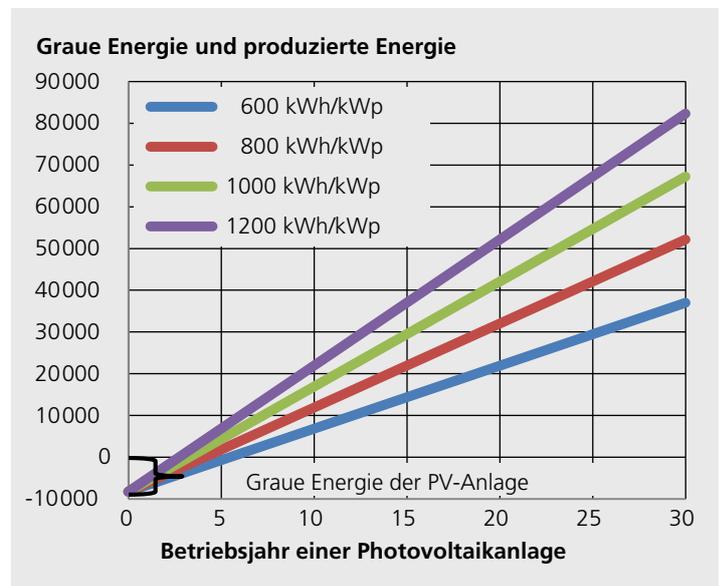
### Energetische Amortisation von Photovoltaikanlagen

Abbildung 111 zeigt die energetische Amortisationszeit einer Photovoltaikanlage. Nach 2 bis 5 Jahren hat die Anlage selbst bei einer Aufstellung im nicht besonders sonnenreichen schweizerischen Mittelland soviel Elektrizität erzeugt und damit nicht erneuerbare Primärenergie eingespart, wie sie an grauer Energie zur Herstellung und Entsorgung benötigt. Aus primärenergetischer Sicht, ist es positiv eine Photovoltaikanlage einzusetzen.

### Gebäudeerneuerungen

Bei Gebäudeerneuerungen bestimmen die Eingriffstiefe und die Konstruktionsdetails den Aufwand an grauer Energie. Grundsätzlich haben Gebäudeerneuerungen den Vorteil, dass die Bauteile mit einem grossen Aufwand an grauer Energie, wie unterirdische Teile, der Rohbau und die Bodenplatte, schon vorhanden sind. Bei einem 1-zu-1-Materialersatz von z. B. einer Fassade oder einem Dach ist die Materialisierung ausschlaggebend. Neue Kom-

Abbildung 111: Amortisationszeit von Photovoltaikanlagen (graue Energie: 277 kWh/(kWp a) aus [www.bauteilkatalog.ch](http://www.bauteilkatalog.ch), basierend auf KBOB-Ökobilanzdatenbank 2012, 30 Jahre Nutzungsdauer, 10% Ertragsverlust über die Zeit).



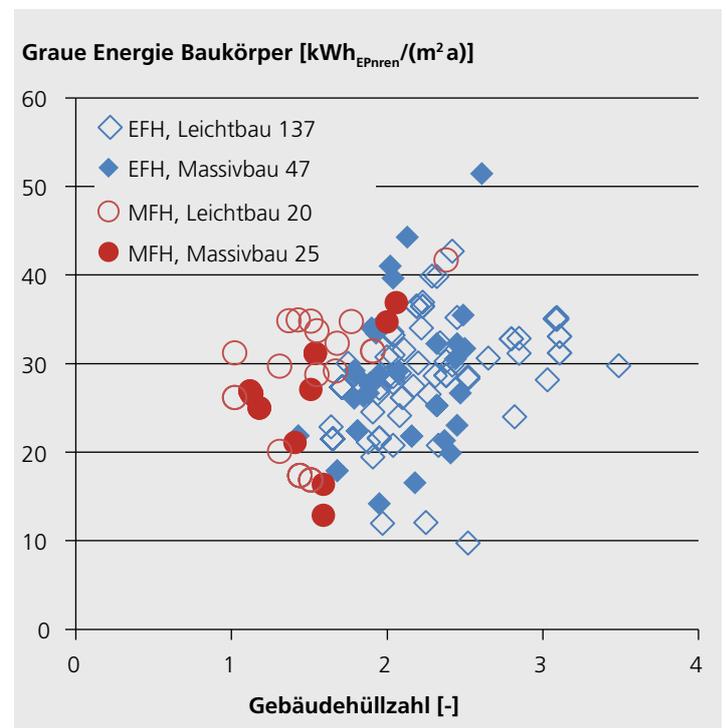
ponenten, wie z. B. der erstmalige Einbau einer Lüftungsanlage erhöhen die graue Energie. Zur Bestimmung der grauen Energie bei Gebäudeerneuerungen muss eine Bilanzgrenze gezogen werden, da einige Bauteile respektive Komponenten ausgetauscht werden und andere nicht. Prinzipiell werden alle Bauteile bilanziert, die erneuert werden. Dasselbe gilt auch für Komponenten der Gebäudetechnik. Bauteile und Komponenten von neuen zusätzlichen Geschossen und Anbauten werden ebenfalls angerechnet. Für Gebäudeerneuerungen, die die Zielwerte der 2000-Watt-Gesellschaft erreichen sollen, d. h. eine Erneuerung nach Merkblatt SIA 2040 «SIA-Effizienzpfad Energie» anstreben, wird die graue Energie von Gebäuden, die älter als 30 Jahre sind, als amortisiert betrachtet. Für jüngere Gebäude muss die noch nicht amortisierte graue Energie der Erstellung anteilmässig über die Restlaufzeit angerechnet werden. Die Zielwerte für Umbau von Merkblatt SIA 2040 sind zu beachten. Die gleiche Berechnungsweise wird für die Treibhausgasemissionen angewendet.

### Optimierung

Die Analyse der knapp 230 Minergie-A-Wohngebäude zeigt, dass die Optimierung der grauen Energie hauptsächlich von der konkreten Materialisierung abhängt. Infolge der Vorgabe eines fixen

Grenzwertes des Minergie-A-Standards wird die graue Energie unabhängig von der Kompaktheit und der Bauweise (Abbildung 112). Einflussfaktoren auf die graue Energie sind in Tabelle 28 zusammengefasst. Materialien und Komponenten mit einem geringen Wert an grauer Energie und einer langen Lebensdauer sind zu bevorzugen.

Abbildung 112: Graue Energie von Baukörpern in Abhängigkeit von der Kompaktheit und der Bauweise der Gebäude bei 229 Minergie-A-Wohnbauten.



Einflussfaktor	Auswirkungen
Materialisierung	Verschiedene Materialien mit gleicher Funktionalität haben unterschiedliche Werte der grauen Energie. Materialien mit einem geringen grauen Energiegehalt sind zu bevorzugen.
Lebensdauer	Bauteile und Komponenten mit langen Lebensdauern verwenden. Bei Bestandsbauten: Lebensdaueranalyse von bestehenden Bauteilen und Komponenten durchführen. Bauteile und Komponenten nur austauschen, wenn die Funktionalität nicht mehr gegeben ist, die Lebensdauer nahezu oder vollständig abgelaufen oder die Energieeffizienz von neuen Komponenten z. B. von modernen Pumpen, deutlich gestiegen ist.
Trennbarkeit von Materialien und Bauteilen	Die Trennbarkeit von Materialien und Bauteilen gewährleistet, dass bei einem Ersatz nicht das gesamte Bauteil ausgetauscht werden muss.
Gesamtbilanz	Die Betrachtung der Gesamtbilanz aus Betriebsenergie und Grauer Energie führt zu optimalen Dämmstärken in Abhängigkeit vom Dämmmaterial und Wärmeerzeugung. Die Bewertung erfolgt in nicht erneuerbarer Primärenergie.

Tabelle 28: Einflussfaktoren auf die graue Energie.

## Quellen

- Merkblatt SIA 2032: Graue Energie (2010)
- Merkblatt SIA 2040: SIA-Effizienzpfad Energie (2011)
- Ragonesi M.: Effizienzstrategie. Faktor Verlag, Heft 36 Wärmeschutz, 2012, Seiten 26 bis 35.
- KBOB-Ökobilanzliste 2012
- [www.bauteilkatalog.ch](http://www.bauteilkatalog.ch), Stand 2012

# Konzepte, Strategien, Standards

## Armin Binz **Energieeffizientes Bauen – Ziele und Mittel**

Das energieeffiziente Bauen hat sich mittlerweile über mehr als vier Jahrzehnte entwickelt. Mehrere Entwicklungslinien lassen sich erkennen: Der Fokus des energieeffizienten Baues ist breiter und umfassender geworden. Von Heizung und Warmwasser über Geräte, Beleuchtung und Eigenenergieerzeugung bis hin zu grauer Energie und Mobilität werden alle Energiewirkungen eines Gebäudes in Betracht gezogen. In Abbildung 113 werden die dem

Thema heute zugehörigen Elemente aufgezeigt: Sämtliche Energieverwendungen und nicht nur Endenergie wird betrachtet, sondern der gesamte Primärenergiebedarf wird zum massgeblichen Optimierungsgegenstand. Die Wertigkeit von Nutzenergie und Energieträgern wird gewürdigt und exergetische Potenziale genutzt. Die Vielfalt an Konzepten, Normen, Standards und Hilfsmitteln, aber auch an Technologien, Materialien und Geräten ist ins Unübersehbare gewachsen. Abbildung 114 stellt eine Auswahl heute massgeblicher Instrumente dar.

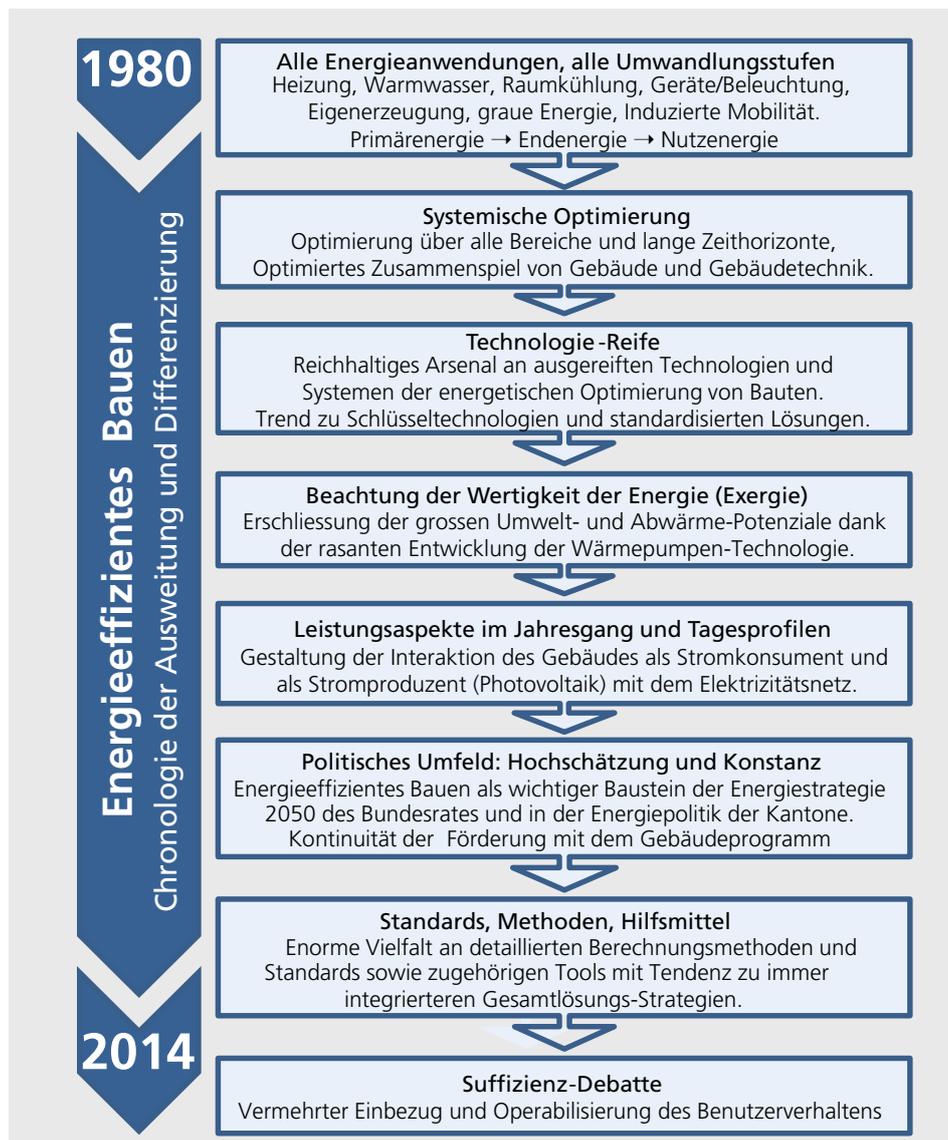


Abbildung 113: Themenbereiche, Hintergrund und Rahmenbedingungen des energieeffizienten Bauens.

Das Gebäudeprogramm als Nachfolger des Förderprogramms Klimarappens stellt umfangreiche Mittel mit langfristiger Kontinuität zur Förderung der Energieeffizienz am Bau zur Verfügung. Zusammen mit der nächsten Generation der Energievorschriften im Gebäudebereich, der Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich 2014 (MuKE 2014), dem Beschluss zum Ausstieg aus der Kernenergie und der Energiestrategie 2050 des Bundesrates hat das energieeffiziente Bauen weiteren Auftrieb erhalten. Neue Themenfelder werden angegangen. Ein Beispiel ist die Suffizienz-Debatte, in der das Benutzerverhalten und die Benutzerbedürfnisse thematisiert wird. Im technologischen Bereich wird einerseits der Siegeszug der Photovoltaik wohl weitergehen und neue Chancen bieten und andererseits liegt eine grosse Hoffnung auf modernen Technologien der Gebäudautomation.

## Optimierungskonzepte und Schlüsseltechnologien

Die politisch beschlossene Energiewende lässt sich nicht mit einem Patent-Konzept erreichen. Es werden alle Register der Energieeffizienz gezogen und alle zur Verfügung stehenden erneuerbaren Energieträger eingesetzt werden müssen. Trotzdem kann festgestellt werden, dass es einige Schlüsseltechnologien gibt, welche die Energiezukunft prägen werden. Am bereits mit Abbildung 6 auf Seite 8 eingeführten typischen Mehrfamilienhaus-Neubau soll dies illustriert werden. Verschiedene Stufen der Energieoptimierung werden in der Folge an diesem Beispiel gezeigt und kommentiert.

In Abbildung 115 wird das Energieflussdiagramm desselben Mehrfamilienhaus-Neubaus mit einer anderen, ebenfalls häufigen technischen Lösung gezeigt und auf den Einsatz eines fossilen Energieträgers (Erdgas) verzichtet. Erdsonden-Wärmepumpen sind zur Schlüsseltechnologie für Heizung und Warmwasser geworden. Mit Jahresarbeitszahlen deutlich über drei erfüllen sie die Forderung nach Nutzung der Exergie von Energieträgern optimal. Die Energiebilanz ist geprägt vom Ausmass an

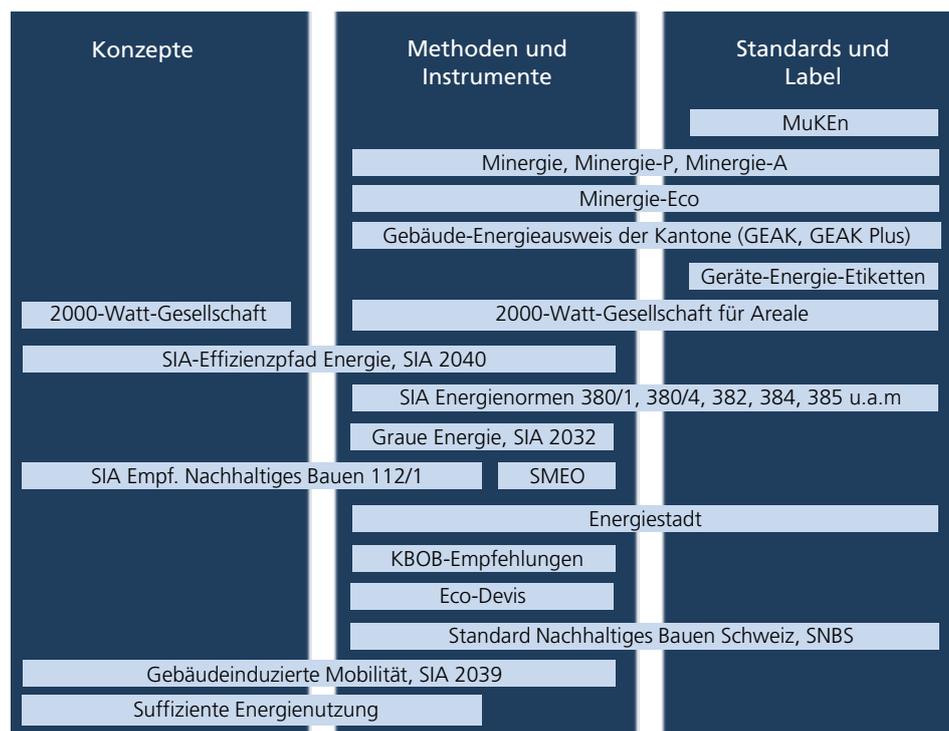
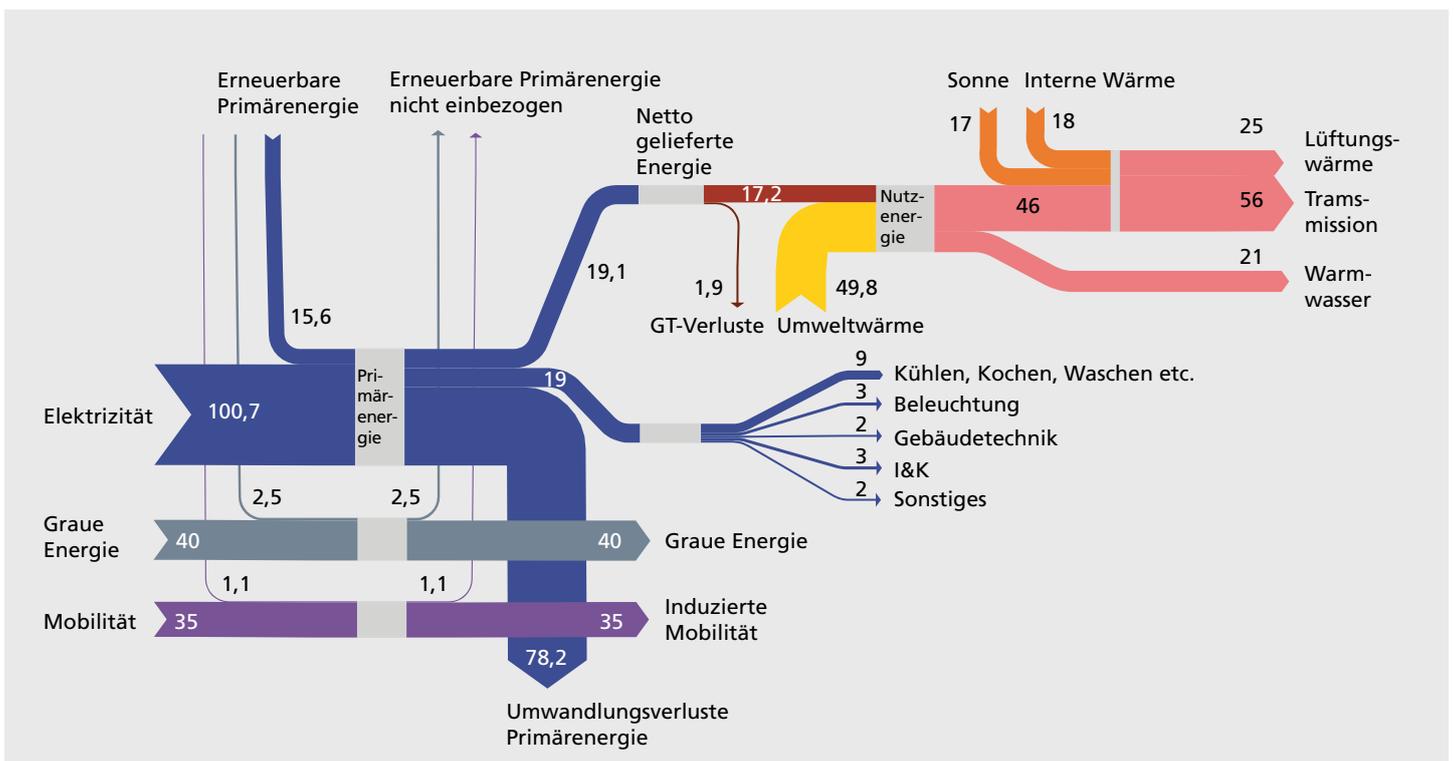


Abbildung 114:  
Übersicht über  
wichtige Instru-  
mente des nachhal-  
tigen Bauens (Aus-  
wahl).

Umweltwärme, welche gewonnen werden kann. Das Grundscheema dieses Konzepts dürfte in Zukunft sehr häufig sein und es illustriert den Trend zur «Voll-elektrifizierung» der Gebäude. Nicht nur bei der Mobilität, wo ein starker Trend zur «Elektromobilität» hin feststellbar ist, wird auch der Gebäudepark in Zukunft mehr und mehr mit Elektrizität betrieben werden. Auch die damit verbundene Problematik wird augenfällig: Der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie liegt wegen des hohen Strombedarfs hoch, weil für die durchschnittliche kWh Elektrizität in der Schweiz 2,6 kWh nicht erneuerbare Primärenergie eingesetzt werden müssen. Die 2000-Watt-Gesellschaft bezieht sich auf Primärenergie. Dank der hohen Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpenanlagen kann der Primärenergiefaktor (nicht erneuerbar) von Elektrizität mehr als kompensiert werden. Der Effizienzpfad Energie des SIA, der sich als Instrument des Konzepts der 2000-Watt-Gesellschaft versteht, setzt seine Ziel- und Richtwerte daher auch auf Stufe Primärenergie an. Die Summe der Richtwerte für Erstellung, Betrieb und Mobilität ergeben den Zielwert für die 2000-Watt-Gesellschafts-Kompatibilität eines Bauvorhabens. Bei neuen Wohnbauten liest sich diese Gleichung als  $110 + 200 + 130 = 440 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{a})$  oder in kWh, gerundet:  $31 + 55 + 36 = 122 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Mit  $175 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  ist das Beispiel gemäss Abbildung 115 allerdings mehr als 40 % von diesem Zielwert entfernt. Eine oft vergessene Anforderung des Effizienzpfades Energie ist die Erfüllung des Grenzwertes für den Heizwärmebedarf nach Norm SIA 380/1. Wäre das betrachtete Mehrfamilienhaus eine Erneuerung, würde das immerhin bedeuten, dass der Heizwärmebedarf  $276 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{a})$  (entspr.  $77 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ) unterschreiten müsste. Dies stellt sicher, dass zur Einhaltung des Zielwertes gemäss Effizienzpfad nicht eine thermisch miserable Gebäudehülle mit einem erneuerbaren Energieträger oder mit eingekauftem Ökostrom kompensiert wird. Bei Minergie würde das Bild leicht anders aussehen, weil anstelle der nicht erneuerbaren Primärenergie die gewichtete Endenergie (bzw. gelieferte Energie) stehen würde. Ausserdem würde nur der Wärmeteil vom Minergie-Grenzwert betroffen. Mit einer Gewichtung von 2 des Elektrizitätsbedarfs für Heizung und Warmwasser

Abbildung 115: Spezifische Energieflüsse in kWh pro m<sup>2</sup> EBF pro Jahr in einem durchschnittlichen Mehrfamilienhaus-Neubau mit einer Erdsonden-Wärmepumpenanlage für Heizung und Warmwasser.

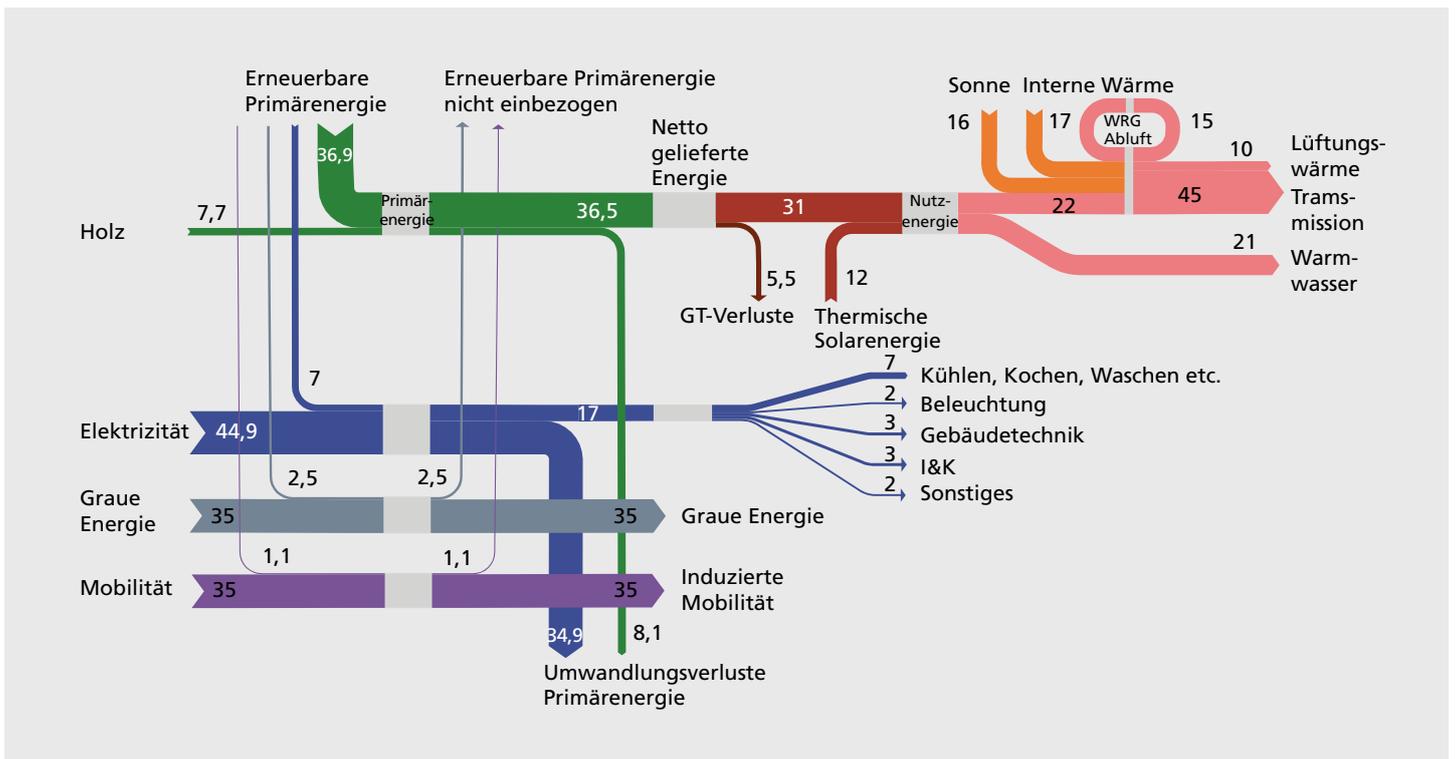


von 18,9 kWh/(m²a) erreicht das Projekt den Grenzwert von Minergie gerade 38 kWh/(m²a). Allerdings sind andere Anforderungen an Minergie nicht erfüllt bzw. nachgewiesen, vor allem die automatische Lüftung sowie die Einhaltung von 90 % des Grenzwertes des Heizwärmebedarfs nach SIA 380/1.

In Abbildung 116 wird der Schritt zum Minergie-Standard gemacht. Der Nutzwärmebedarf wird durch zwei Massnahmen deutlich verringert, nämlich den Einbau einer Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung und einen verbesserten Wärmeschutz der Gebäudehülle. Wegen der geringeren Verluste verschlechtert sich die Fähigkeit des Gebäudes, Solarstrahlung und interne Wärme (Abwärme von Beleuchtung, Geräten und Personen) zu nutzen und die entsprechenden Erträge sinken etwas. Für die Wärmeversorgung wird auf einheimische erneuerbare Energie gesetzt. 60 % der Wassererwärmung wird mit einer thermischen Kollektoranlage gedeckt. Für die Heizung und den Rest der Wassererwärmung kommt eine Holzheizung mit einer automatischen Pelletfeuerung zum Einsatz. Da der Brennwert von Holz erneuerbar ist, beschränkt sich der

Anteil nicht erneuerbarer Primärenergie auf Holzschlag, Pelletierung und Transport und ist damit minimal. Selbstverständlich könnte das Ziel Minergie auch mit einer Wärmepumpenlösung wie im erwähnten Fall erreicht werden. Beim übrigen Elektrizitätsverbrauch wird angenommen, dass überdurchschnittlich effiziente Geräte und Leuchten eingesetzt werden. Auch bei der grauen Energie wird angenommen, dass die diesbezügliche Optimierung ein Anliegen sei. Das führt zum Resultat, dass der Richtwert des Effizienzpfades für den Betrieb des Gebäudes (Wärme und Elektrizität für Geräte, Beleuchtung, etc.) um 5 % unterschritten und der Gesamt-Zielwert gerade erreicht wird, obwohl der Richtwert für graue Energie nicht ganz eingehalten wird. Dass der Bedarf an Holzenergie im Effizienzpfad Energie kaum ins Gewicht fällt und daher alle Schwächen eines Gebäudekonzeptes mit dieser Wahl ausgegügelt werden können, wird oft bemängelt. Bei Minergie ist dies anders. Der Gewichtungsfaktor für Holz liegt bei 0,7, sodass im betrachteten Fall der gewichtete Holzbedarf bei 23 kWh/(m²a) liegt. Dazu zurechnen ist noch der Elektrizitätsbedarf für die Lüftung von ca. 2 kWh/(m²a), wo-

Abbildung 116: Spezifische Energieflüsse in kWh pro m² EBF pro Jahr im Minergie Mehrfamilienhaus-Neubau im Minergie-Standard.

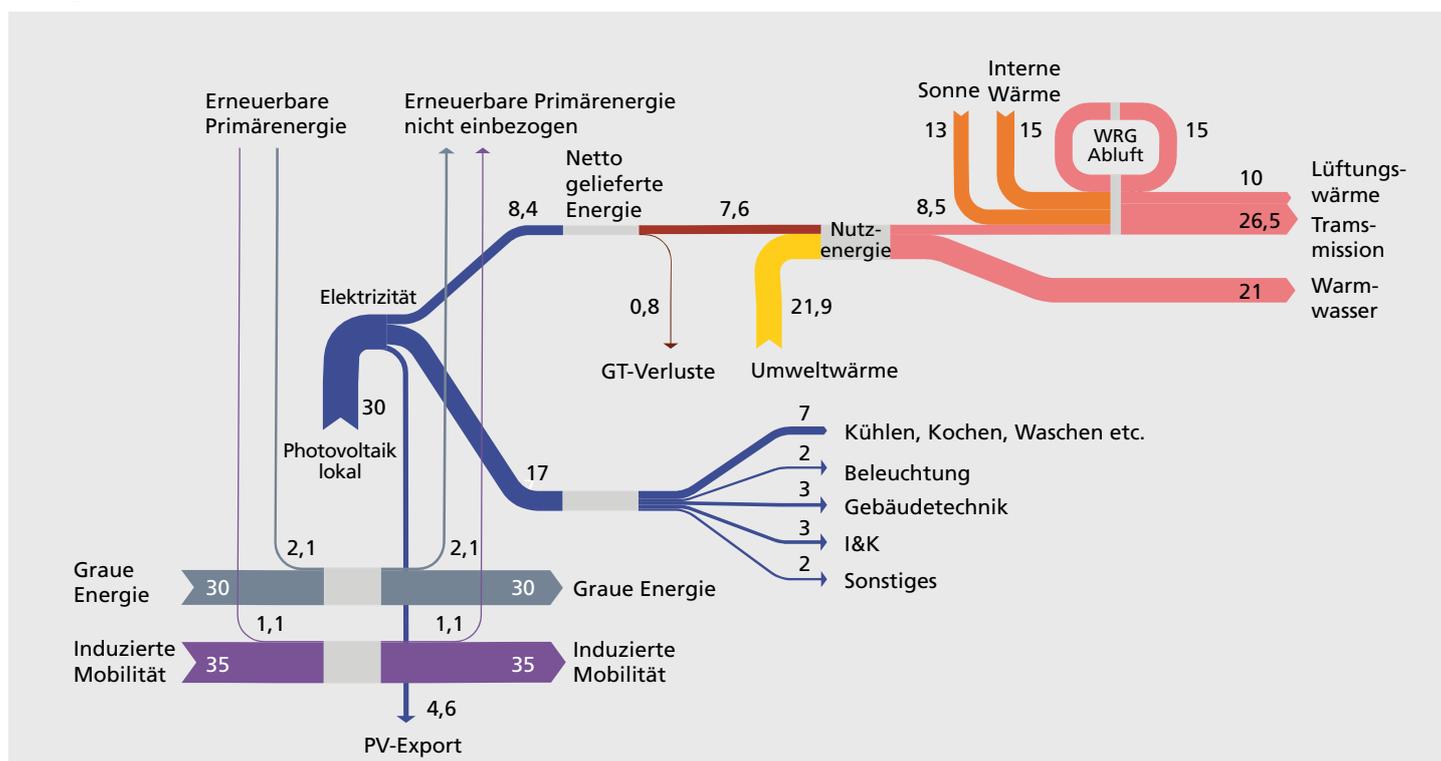


mit die Minergie-Kennzahl Wärme auf  $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  zu liegen kommt (was immer noch deutlich unter dem Minergie-Grenzwert von  $38 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  liegt).

In Abbildung 117 ist die Projektvariante Minergie-A dargestellt, mit einer Lösung, die auch die Anforderungen von Minergie-P erreicht, d. h. über einen aussergewöhnlich guten Wärmeschutz verfügt. Die sehr stark reduzierten Wärmeverluste führen dazu, dass die Ausnutzung der einstrahlten Sonnenenergie und der internen Abwärmen sich nochmals etwas verschlechtert. Minergie-A wird hier durch eine relativ grosse Photovoltaik-Anlage erreicht, welche nicht nur den Wärmebedarf abdeckt, wie dies für Minergie-A verlangt ist (inkl. Ventilatorenergie der Lüftung), sondern auch noch den Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung, Geräte, etc. und sogar noch überschüssiger Strom an das Netz abgegeben werden kann. Bei einem Gebäudestandort im schweizerischen Mittelland braucht es für die Erzeugung von  $30 \text{ kWh}$  Photovoltaikstrom etwa  $0,25 \text{ m}^2$  bis  $0,3 \text{ m}^2$  hochwertiger Photovoltaik-Zellen. Das bedeutet, dass das diskutierte Energieflussbild nur für ein Gebäude mit maximal vier Stockwerken (bei  $0,25 \text{ m}^2$ )

bzw. mit maximal drei Stockwerken (bei  $0,3 \text{ m}^2$ ) realisiert werden kann. Jedenfalls, wenn die ganze Photovoltaik auf dem Dach platziert ist und das Dach vollständig dafür genutzt werden kann.

**Abbildung 117:**  
Spezifische Energieflüsse in kWh pro  $\text{m}^2$  EBF und pro Jahr im Mehrfamilienhaus-Neubau, der die Standards Minergie-P und Minergie-A erreicht.



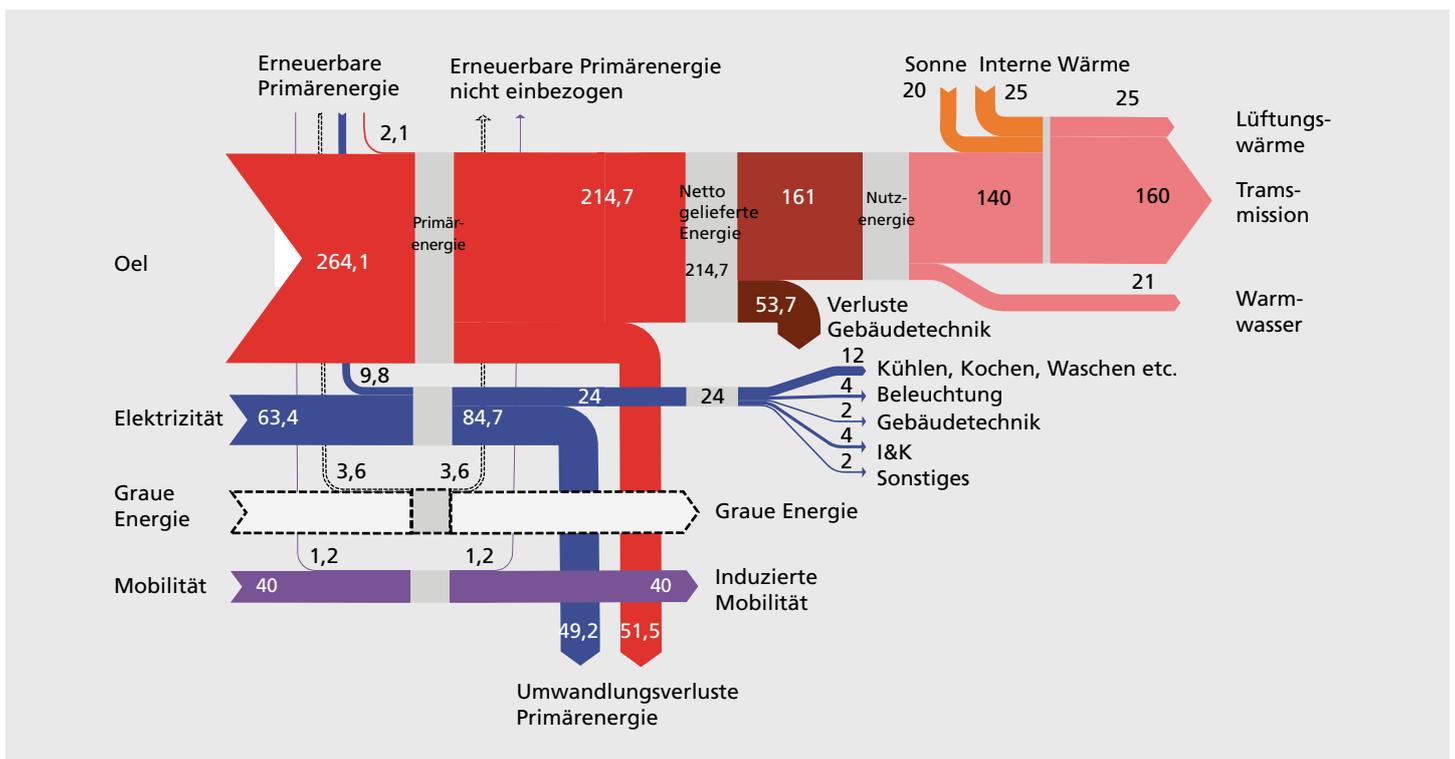
## Energetische Gebäudeerneuerung

Die Situation im Gebäudebestand ist eine ganz andere als bei Neubauten. Abbildung 118 zeigt das als Neubau in verschiedenen Varianten dargestellte Mehrfamilienhaus als Altbau aus den siebziger Jahren. Es wird sofort klar, dass hier die Wärmeversorgung nach wie vor das dominierende Thema ist. Ein weiterer Aspekt ergibt sich aus dem Umstand, dass es sich um ein Erneuerungsobjekt handelt. Die graue Energie des bestehenden Gebäudes interessiert nicht mehr. Es interessiert lediglich die graue Energie des Umbau- und Erneuerungsprojektes. Da bei Erneuerungen meist die Rohbaustruktur bestehen bleibt, ist die graue Energie von Erneuerungsprojekten grundsätzlich deutlich geringer als bei Neubauten. Die Palette der Massnahmen ist auf grundsätzlicher Ebene gleich wie bei Neubauten. Es geht um den Wärmeschutz der Gebäudehülle, um die Rückgewinnung der Lüftungswärmeverluste, um die effiziente Erzeugung von Wärme unter Nutzung von möglichst viel Umweltwärme, sodass auch auf Stufe nicht erneuerbarer Primärenergie ein möglichst geringer

Bedarf anfällt. In der technischen Umsetzung allerdings wird das in der Regel alles wesentlich vielfältiger und komplizierter (und oft auch deutlich teurer) als im Neubau.

Die graue Energie, die vor Jahrzehnten zur Erstellung des Mehrfamilienhauses aufgewendet wurde, ist der Vollständigkeit halber angeführt. Bei bestehenden Bauten interessiert aber eigentlich der Aufwand an grauer Energie, der durch die energetische Erneuerung aufgewendet wird (Abbildung 119). Zu dieser Übersicht ist die graue Energie für den Wärmeschutz und die neue Wärmepumpe mit Erdsonden und alle anderen energietechnischen Massnahmen mit  $18 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  belastet. Anders als der Neubau-Standard stellt der Modernisierungsstandard von Minergie keine Anforderungen an den Wärmeschutz (bzw. den Heizwärmebedarf nach SIA 380/1). Die Voraussetzungen dazu bei bestehenden Bauten sind dermassen unterschiedlich, dass jeder Grenzwert im Einzelfall entweder zu hoch oder zu tief wäre. Der Minergie-Grenzwert Wärme ist für Wohnbauten auf  $60 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  angesetzt; daraus ergibt sich ein indirekter Druck, die mit vernünftigem Aufwand

**Abbildung 118:**  
Spezifische Energieflüsse in kWh pro m<sup>2</sup> und EBF pro Jahr in einem typischen, unsanierten Mehrfamilienhaus-Altbau aus den 50-er bis 70-er Jahren.



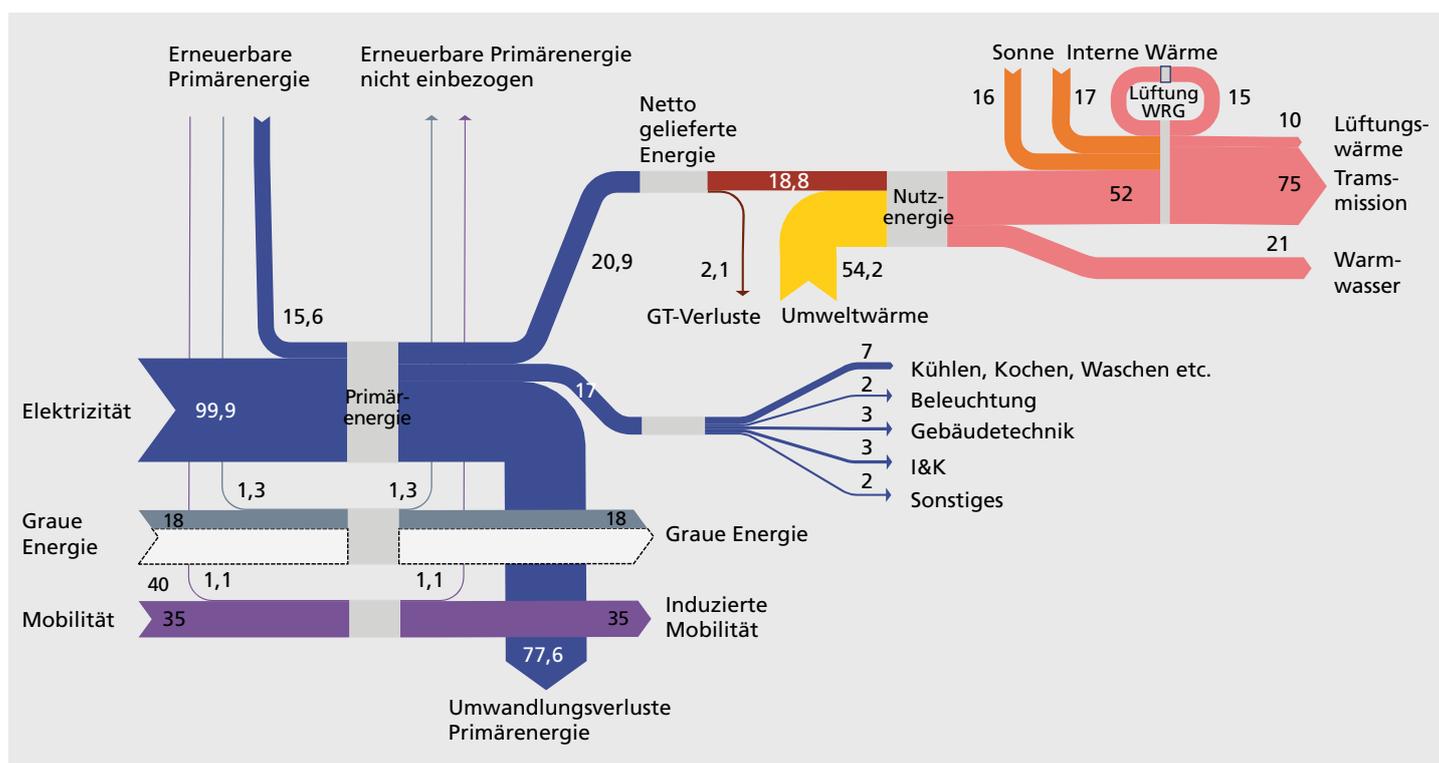
machbaren Massnahmen an der Gebäudehülle auch tatsächlich auszuführen. Im Beispiel gemäss Abbildung 119 ist ersichtlich, dass die Voraussetzungen für eine deutliche Reduktion der Wärmeverluste gut sind und Wärmeverluste durch Wand, Dach, Fenster und Boden halbiert werden können. Der Minergie-Modernisierungsstandard würde auch noch erreicht, wenn die Wärmeverluste von ursprünglich 160 kWh/(m<sup>2</sup>a) auf nur 100 kWh/(m<sup>2</sup>a) (statt 75 kWh/(m<sup>2</sup>a)) abgesenkt werden könnten.

Die Konzipierung von Massnahmenpaketen bei bestehenden Bauten muss vielen Rahmenbedingungen gerecht werden. Oberster Grundsatz sollte sein, dass eine übergeordnete langfristige Perspektive für die Entwicklung des Gebäudes zugrunde gelegt wird. Dabei sind natürlich Eigentumsverhältnisse und Lebenssituation der Eigentümer und Bewohner zu berücksichtigen. Ältere Eigentümer verhalten sich naturgemäss in diesen Fragen anders als etwa eine Familie mit kleinen Kindern in einer selbstgenutzten Liegenschaft. Aus technischer Sicht sollen sich die Massnahmen zu einem stimmigen Gesamtkonzept ergänzen. Zwei Leitplanken für die Ent-

wicklung von Massnahmenpaketen haben sich bewährt: Erstens sollen Zusatznutzen wo immer möglich gesucht und ausgeschöpft werden, seien es nun eine höhere Ausnutzung des Grundstückes (z. B. Dachausbau) oder eine Verbesserung der Tageslichtsituation durch grössere Fenster oder ähnliche Massnahmen. Zweitens: Der Wirtschaftlichkeit soll hohes Gewicht beigemessen werden. Für das zur Verfügung stehende Geld soll ein möglichst grosser (energetischer) Nutzen erzielt werden. Die Priorisierung der Massnahmen nach ihrer Wirtschaftlichkeit gehört deshalb zum Planungsprozess, auch wenn die direkte Umsetzung aus Gründen der konzeptionellen Stimmigkeit meist nicht möglich ist. So ist nach wie vor bei einem Fensterersatz die Frage zu klären, ob sich infolge höherer Dichtigkeit der Gebäudehülle grössere Kondensationsrisiken ergeben und mit welchen Massnahmen diesen Risiken begegnet werden soll.

Die frühere Regel, dass in der Abfolge der Sanierungsetappen die Verbrauchsreduktion, also die Massnahmen an der Gebäudehülle, vor der Sanierung der Haustechnik (Heizungseratz) erfolgen müsse, ist aufgeweicht worden. In vielen Fällen ist

**Abbildung 119:** Spezifische Energieflüsse in kWh pro m<sup>2</sup> EBF und pro Jahr in einem typischen Mehrfamilienhaus-Altbau aus den 50-er bis 70-er Jahren nach einer weitreichenden energetischen Erneuerung im Minergie-Modernisierungsstandard.



dies schlecht oder gar nicht möglich oder zu teuer. Vor allem wirkt sich eine allfällige Überdimensionierung der Heizung, wenn die Hülle erst später gedämmt wird, kaum mehr negativ auf den Anlagenwirkungsgrad aus. Die Potenziale der Energieeinsparung und der Reduktion der Treibhausgasemissionen durch eine neue Haustechnik können somit genutzt werden, auch wenn die Hüllensanierung noch nicht erfolgen kann. In den Debatten um diesen Sachverhalt in den letzten Jahren wurde aber oft das Kind mit dem Bad ausgeschüttet. Der Wert einer guten Gebäudehülle wurde zu Unrecht auf den Aspekt des Energiesparens reduziert. Bedarfsreduktion (durch Wärmedämmung und optimierte passive Sonnenenergienutzung) ist Ursachenbekämpfung. Bedarfsdeckung ist ein End-of-Pipe-Ansatz. Vor allem bei sehr weitgehender Reduktion treten wichtige Synergien und Zusatznutzen auf:

- Die Wärmeabgabeflächen (Fussbodenheizung bzw. Heizkörper) werden kleiner und billiger. Oder: bei gleichbleibender Wärmeabgabefläche sinkt die Vorlauftemperatur.

- Der Selbstregelungseffekt (Vorlauftemperaturen im oberen Bereich der Raumtemperaturen) ermöglicht ein komfortables und gleichzeitig billiges und einfaches Regelungskonzept.

- Die relative thermisch nutzbare Masse wird grösser, d. h. die Speichereffekte wirksamer und das thermische Verhalten träger, die Zeitkonstante höher, die Temperatur konstanter und die Behaglichkeit besser (z. B. nur geringe Abkühlung bei Ferienabwesenheiten).

- Der Wärmeleistungsbedarf wird kleiner, d. h. Not- und Ersatz-Heizanlagen werden kleiner und billiger. Heizungsausfälle haben harmlosere Auswirkungen.

- Wärmeschutz funktioniert zuverlässiger als jedes Heizsystem.

## Zweckbauten

Die Regeln zum energieeffizienten Bauen basieren auf Wohnbauten. Komplexe Grossbauten und spezielle Nutzungen wie Turnhallen, Hallenbäder oder Industriebauten sprengen den Rahmen dieser Publikation. Einfache Zweckbauten für Büronutzungen, Schulen und ähnliche Bauten werden in der Folge thematisiert. Sie bilden neben den Wohnbauten den zweiten grossen Teil des schweizerischen Gebäudeparks. Grundsätzlich kommen dieselben Massnahmen zur energetischen Sanierung zur Anwendung wie bei Wohnbauten. Zwei Unterschiede sind zu nennen:

1. Mechanische Kühlung und Klimatisierung sind in zunehmendem Masse ein Thema, vor allem bei Neubauten und neueren Bestandsbauten. Der sommerliche Wärmeschutz verfolgt zwei Stossrichtungen: Einerseits sollen Kenntnis und Einhaltung der Grundregeln des sommerlichen Wärmeschutzes bei Wohnbauten dazu führen, dass sie weiterhin nicht mit mechanischer Kühlung ausgerüstet werden und andererseits, dass Zweckbauten nach Möglichkeit ebenfalls mittels Freecooling gekühlt werden respektive dass die Gebäudebereiche, in denen eine aktive Kühlung notwendig ist, möglichst klein sind und der spezifische Kältebedarf geringfügig bleibt.

2. Der Elektrizitätsbedarf für Beleuchtungen und Betriebseinrichtungen hat eine wesentlich grössere Bedeutung als bei Wohnbauten (was wiederum mit dem Kühlbedarf zu tun hat, da hier grössere interne Wärmelasten anfallen).

Die Optimierung von Zweckbauten (Neubauten wie Sanierungen) ist ausserdem geprägt von einer anderen Nutzungs- und Betriebsweise. Während Wohnbauten rund um die Uhr genutzt und häufig im Privatbesitz sind (und teilweise auch vom Eigentümer genutzt werden), sind bei Zweckbauten Eigentümerschaft und Nutzer stärker getrennt, die Nutzer in den Betrieb des Gebäudes kaum involviert und die Gebäude nachts und an den Wochenenden oft nicht benutzt. Daraus ergeben sich wichtige Chancen für Automatisierung, Steuerung und Regelung des Betriebs.

## Jürg Bichsel Energetische Optimierung und Gebäudeautomation

### Was ist Gebäudeautomation?

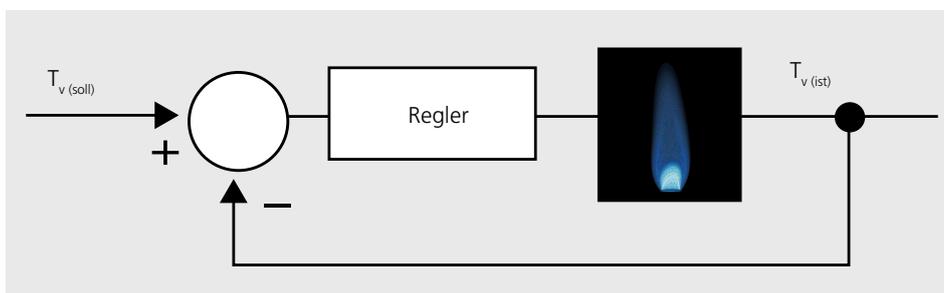
Gebäudeautomation befasst sich mit der Überwachung, Steuerung, Regelung (Abbildung 120) und Optimierung aller technischen Anlagen in Gebäuden. Dies beginnt bei der Zutrittskontrolle, geht über die Brandschutzüberwachung bis hin zur intelligenten Raumkomfortregelung. Bis heute werden in vielen Gebäuden übergreifende Aspekte wie beispielsweise Klimatisierung, Beleuchtung und Verschattung separat behandelt. Gerade diese Aufteilung ist in einer vernetzten Betrachtungsweise nicht mehr zielführend. Wenn beispielsweise im Sommer die Sonneneinstrahlung durch die Verglasung das Gebäude aufheizt, soll nicht einfach die Klimaanlage automatisch eingeschaltet werden, sondern zuerst die Storen abgesenkt und allenfalls der Benutzer informiert wer-

den. Erst danach, bei noch nicht akzeptablem Komfort, wird die Kältemaschine gestartet. Ein gut geführtes Gebäude betrachtet alle wichtigen Teilaspekte vernetzt und optimiert das Gebäude im Verbund.

### Energetische Optimierung heute

Gebäudesysteme sind darauf ausgelegt, Zielwerte wie Temperaturen oder Beleuchtungsstärken jeweils einzeln möglichst exakt auf einen vordefinierten Wert zu regeln. Hierbei wird heute bei einer Temperaturregelung weder die benötigte Wärmemenge, der Einsatz erneuerbarer Energie, der CO<sub>2</sub>-Austoss, die Umweltbelastung noch die Hilfsenergie (Antriebe, Pumpen, Regler) aufgezeigt und optimiert. Prinzipiell könnte eine Gebäudeautomation die optimalen Betriebspunkte bestimmen. Da es hier um komplizierte physikalische Zusammenhänge mit aufwändiger Modellierung geht, scheitert die Umsetzung speziell im Bereich von Wohnbauten

*Abbildung 120: Regelung der Vorlauftemperatur in einer Heizung. Die Vorlauftemperatur  $T_{v(ist)}$  wird mit einem Temperaturfühler gemessen und mit einer Vorgabetemperatur  $T_{v(soll)}$  verglichen; aufgrund der Temperaturdifferenz kontrolliert der Regler die Brennerflamme.*



### Effizienzklasse nach SIA 386.110

<b>A</b> Klasse A	<b>Hoch energieeffizientes Gebäudeautomationssystem</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vernetzte Raumautomation mit automatischer Bedarfserfassung</li> <li>• Regelmässige Wartung</li> <li>• Monatliches Energiemonitoring</li> <li>• Nachhaltige Energieoptimierung durch ausgebildete Fachkräfte</li> </ul>
<b>B</b> Klasse B	<b>Weiterentwickeltes Gebäudeautomationssystem</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vernetzte Raumautomation ohne automatische Bedarfserfassung</li> <li>• Jährliches Energiemonitoring</li> </ul>
<b>C</b> Klasse C	<b>Standard Gebäudeautomationssystem</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vernetzte Gebäudeautomation der Primäranlagen</li> <li>• Keine elektronische Raumautomation, z. B. Thermostatventile an Heizkörpern</li> <li>• Kein Energiemonitoring</li> </ul>
<b>D</b> Klasse D	<b>Gebäudeautomationssystem mit schlechter Energieeffizienz</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Es empfiehlt sich, Gebäude mit derartigen Systemen zu modernisieren.</li> </ul>

*Abbildung 121: Norm SIA 386.110 Effizienzklassen der Gebäudeautomation. Lesebeispiel: Heutige Gebäude finden sich typischerweise in der Klasse C; das Erreichen der Klasse A bedingt eine nachhaltige Energieoptimierung.*

an den Kosten. Deshalb werden energetische Optimierungen meist manuell durch den Hauswart vorgenommen und die erzielten Einsparungen sind direkt von seinem Wissen und seinen Erfahrungen abhängig.

### Wie kann mit einfachen Mitteln ohne automatische Optimierung etwas erreicht werden?

Auch ohne Neuinvestitionen lassen sich bei bestehenden Anlagen mit Wärmepumpen und Brennwertkesseln Energieeinsparungen im Bereich mehrerer Prozente erzielen. Dies allein durch die an das Gebäude angepasste Heizkreis-Vorlauftemperatur und die reduzierte Temperatur des Warmwassers (maximal 60°C). Norm SIA 386.110 (Abbildung 121) beschreibt weitere Massnahmen, welche durch geringfügige Investitionen signifikante Energieeinsparungen ermöglichen. Beispielsweise reduziert der Einsatz eines Raumtemperatur-Zeitprogramms, welches bereits heute Bestandteil jedes Heizungsreglers ist, die benötigte thermische Energie bis zu 20 % und die elektrische bis zu 7 %. Neben den technischen Möglichkeiten kann auch der Bewohner durch seinen Anspruch an den Komfort einen Beitrag leisten. Muss die Raumtemperatur wirklich starr auf einen Sollwert (z. B. von 21°C  $\pm 0,1^\circ\text{K}$ ) geregelt werden oder ist eine Schwankungsbreite als Funktion der Aussentemperatur zulässig, welche beim Hei-

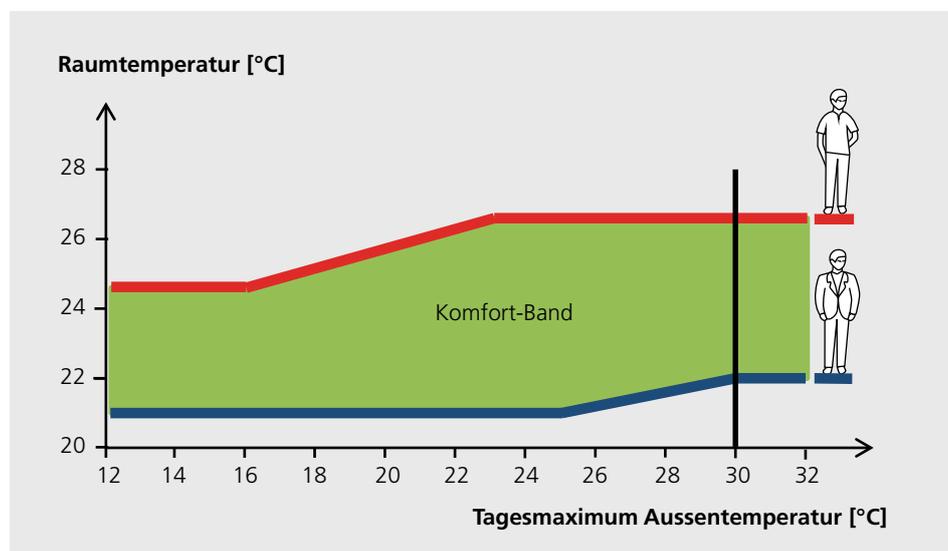
zen und Kühlen Energie sparen hilft? Diese Überlegungen finden sich in der Norm SIA 382/1, die es erlaubt, Raumtemperaturen als Funktion der Aussentemperatur zwischen einer oberen und einer unteren Grenze pendeln zu lassen. Voraussetzung hierbei ist, dass die Bewohner die Möglichkeit haben, die Bekleidung anzupassen (Abbildung 122). Die Regelung in Temperaturbändern bietet ein erhebliches Einsparpotenzial, da die Faustregel nach wie vor gültig ist, dass im Winter eine um 1 K tiefere Raumtemperatur zirka 6 % Heizenergie einspart.

Der Mensch hat kein Sinnesorgan, welches den Energieverbrauch direkt messbar macht. Deshalb ist er auf einfache Darstellungen angewiesen. Technisch ist heute von der Anzeige mit «rot-grün» bis hin zu grafischen Oberflächen mit Fernzugriff über das Internet alles möglich. Mit einer einfachen, nachvollziehbaren Darstellung sollen Benutzer zu einem sparsamen Umgang mit der nicht fühlbaren Energie motiviert werden. Beispielsweise werden heute Raumbediengeräte (wie im Minergie-Modul Raumkomfort definiert), welche die Temperatur in Einzelräumen regeln, zusätzlich mit farbigen Leuchtdioden ausgerüstet: Leuchten diese grün, so ist der Energieverbrauch in einem günstigen Bereich, leuchten diese rot, so wird zu viel Energie verbraucht. Der Benutzer kann allein durch das Verstellen des Temperatur-Sollwert-Knopfes die Leuchtdiode vom



Abbildung 123: Grün signalisiert einen kleinen, rot einen hohen Energiebedarf; durch Drehen am Sollwertknopf durch den Benutzer direkt beeinflussbar.

Abbildung 122: Norm SIA 382/1, Komfortbänder (Grafik: FHNW, J. Bichsel, und Norm SIA 180).  
Lesebeispiel: Bei einer maximalen Aussentemperatur von 30°C liegt das Temperatur-Komfortband zwischen 22°C (Bekleidung: Business-Anzug mit Krawatte) und 26,5°C (Bekleidung: lange Hose und Kurzarm-Hemd).



«roten» in den «grünen» Zustand bringen (Abbildung 123). Die heutige Technik erlaubt auch das Überwachen des Energieverbrauchs und das Steuern (Ein- und Ausschalten, Veränderung von Temperatur-Sollwerten, Fehlermeldungen) ganzer Liegenschaften über das Internet. Einfamilienhäuser werden durch Bewohner gesteuert, Mehrfamilienhäuser zum Teil durch selbständig agierende Firmen (technical facility management) gewartet. Durch das Internet wird die Heizung von unterwegs überwacht und Fehler werden rasch erkannt. So kann beispielsweise die Temperatur in Ferienhäuser bei Nichtbelegung bewusst tief gehalten werden, da durch das Ferneinschalten der Heizung die Temperatur zeitnah hochgefahren werden kann. Gemäss Art. 5.1 MuKE ist dies für neu erstellte zeitweise bewohnten Wohnbauten zwingend vorzusehen. Gleiches gilt bei Sanierungen von nur zeitweise bewohnten Bauten. Diese technischen Möglichkeiten sind mit Bedacht einzusetzen, da der Benutzer leicht überfordert, oder bei rascher Abfolge von Meldungen, versichert wird.

### **Forschungsaktivitäten**

Zukünftig werden Themen der Gebäudeautomatisierung dahingehend untersucht, wie die gespeicherte Energie durch die Kenntnis der Ladezustände der Speicher besser genutzt werden kann. Durch eine Energieverschiebung vom Gebäude zum Warmwasser- oder zum Erdspeicher lässt sich der Gesamtenergieverbrauch einer Liegenschaft optimieren. Zusätzlich kann die momentan verfügbare Sonnenenergie in die Rechnung einbezogen werden. Dies alles unter der Vorgabe, dass der Komfort der Benutzer nicht leidet. Eine Luft-Wasser-Wärmepumpe sollte tagsüber den Warmwasser- und Gebäudespeicher mit Energie laden, da die Photovoltaik auf dem Gebäude elektrischen Strom zum Betreiben liefert und am Tag die Effizienz der Wärmepumpe – aufgrund der höheren Umgebungstemperatur – grösser ist. Hiermit wird eine erhöhte Gleichzeitigkeit von Verbrauch und Erzeugung mit Zwischenspeicher erreicht, die heute nicht selbstver-

ständig ist. Mit dem Einbezug der Wettervorhersage kann dieser Effekt noch verstärkt werden, da der Warmwasser- und Gebäudespeicher in der Schönwetter-Periode vor dem Wetterumschwung maximal aufgeladen werden können. Heutige Systeme im Wohnbereich nutzen diese Möglichkeiten kaum, da vorgängig recht hohe Investitionen in die Software, die Internetanbindung und die Aufrüstung der Regler notwendig sind.

Das Ziel der Gebäudeautomation ist nicht das energieautarke Gebäude, sondern das Gebäude, welches mit seiner Umgebung vernetzt ist und hierdurch einen minimalen Energiebedarf oder sogar eine positive Energiebilanz erlaubt. Die zukünftige Herausforderung wird die Gesamtoptimierung der Energieflüsse sein. In heutigen Gebäuden passiert es immer wieder, dass in den südlich ausgerichteten Räumen gekühlt werden muss, während gleichzeitig in den nördlich positionierten Räumen geheizt wird. Sind die Heiz- und Kühlsysteme weder energetisch noch signalmässig miteinander verbunden, wird das Gebäude aus Sicht des Energieverbrauchs nicht optimal betrieben.

Selbstlernende Systeme sind der Traum jedes Benutzers; ohne dass er sich um die Details kümmern muss, optimiert sich seine Heizungsanlage selbständig immer wieder neu auf die sich ändernden Bedingungen wie Belegung der Räume, andere Aussentemperaturen und wechselnde Sonneneinstrahlung. Dieser Traum – obwohl technisch machbar – scheitert in der Praxis meist an den Kosten, der fehlenden Robustheit und Langzeitstabilität der installierten Systeme.

## Monika Hall Energetische Gesamtbilanzierung

### Grundlagen der Energiebilanz

Während der Ölkrise 1973 wurde der Energieverbrauch für die Raumwärme ein relevantes Thema und seit dem steigen kontinuierlich die Anforderungen an den Heizenergiebedarf. Als Folge dessen wird die energetische Qualität der Gebäudehülle immer besser und dadurch reduziert sich der Heizenergiebedarf. Damit sinkt einerseits der absolute Energiebedarf des Gebäudes und andererseits wird der Anteil für den Heizenergiebedarf am Gesamtenergiebedarf des Gebäudes deutlich geringer. Dieser Anteil beträgt bei modernen Gebäuden rund 20 % des Gesamtenergiebedarfs, während er bei Bestandsbauten bis zu 70 % bis 80 % betragen kann. Mit dieser Verschiebung rückt die Betriebsenergie deutlich in den Vordergrund und eine energetische Gesamtbilanzierung wird immer wichtiger.

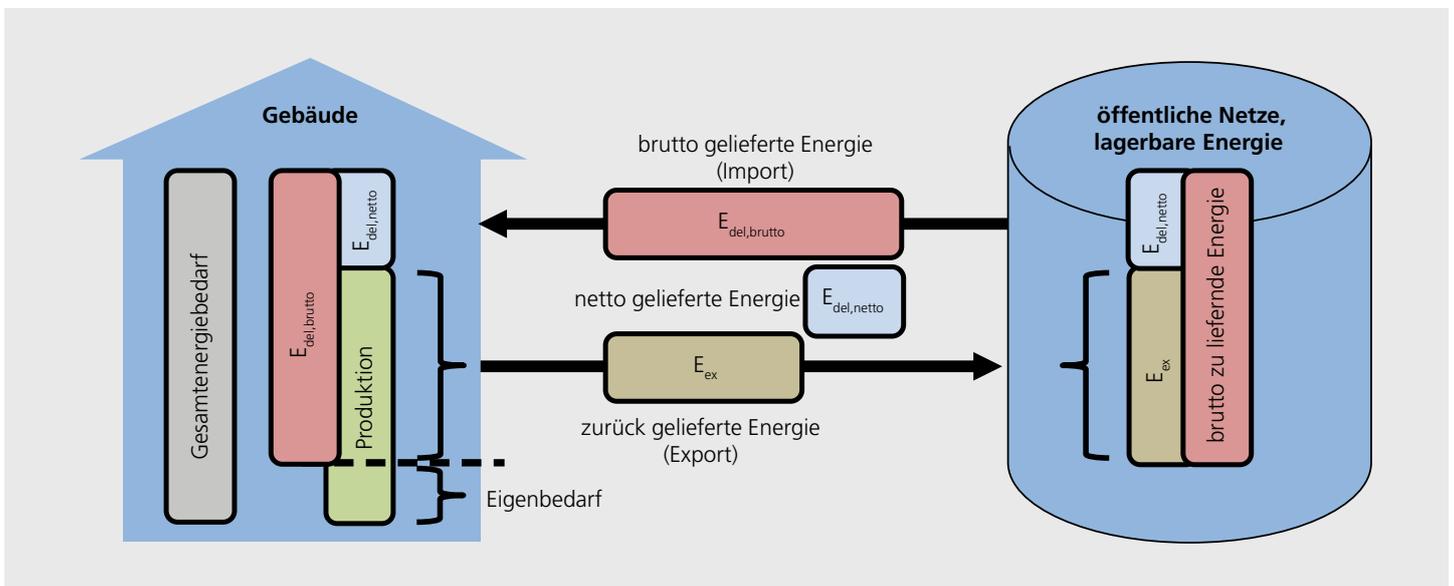
Zusätzlich wirkte in den letzten Jahre der Trend, dass im Gebäude nicht nur Energie für verschiedene Verwendungszwecke verbraucht, sondern auch immer öfters am Gebäude Energie erzeugt wird. Das Gebäude entwickelt sich von einem reinen Konsumenten zu einem Konsumenten mit eigener lokaler Energieproduktion. Diese Entwicklung hat ebenfalls einen Einfluss auf die energetische Bilanzierung. Abbil-

dung 124 zeigt die energetische Gesamtbilanz eines Gebäudes mit eigener Energieproduktion. Der Gesamtenergiebedarf wird durch den Eigenbedarf der eigenen Energieproduktion sowie der brutto gelieferten Energie gedeckt. Die netto gelieferte Energie ergibt sich aus der Differenz zwischen der ins öffentliche Netz zurückgelieferten Energie (Export der Überschussproduktion) und der brutto gelieferten Energie (Import der benötigten Energie). Um die eingesetzte Gebäudetechnik und die verwendeten Energieträger in die Bilanzierung zu berücksichtigen, wird die Netto-Jahresbilanz auf der Basis von gewichteter Endenergie erstellt. Prinzipiell hängt die energetische Gesamtbilanzierung eines Gebäudes von verschiedenen Parametern ab (Tabelle 29). Diese variieren erheblich von Gebäudestandard zu Gebäudestandard. Abbildung 125 zeigt Bilanzgrenzen und Gewichtungen der Energieträger sowie die Anforderung an die Netto-Jahresbilanz von verschiedenen Gebäudestandards.

### Energetische und ökologische Bilanz

Insbesondere der Einsatz von Photovoltaikanlagen erweist sich als lokale Energieerzeugung von erneuerbarer Energie als unkompliziert. Physikalisch werden die erzeugten Kilowattstunden in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Auf welche Art, wann und wo die eingespeisten Kilo-

Abbildung 124:  
Energetische Gesamtbilanz eines Gebäudes.





konventionell produziertem Strom aufweist. Dieser ist z. B. via Zertifikate separat vom physischen «Graustrom» handelbar.» (Bundesamt für Energie: Leitfaden Stromkennzeichnung Version 4.1, Januar 2012). Für die Gesamtbilanzierung folgt daraus, dass zwischen einer energetischen Bilanzierung auf Grund des reinen Energiekonzeptes und des ökologischen Konzeptes unterschieden werden muss, da die Energiebilanz und die Buchhaltung des ökologischen Mehrwerts unabhängige Grössen sind. Die Netto-Bilanz auf Grund des reinen Energiekonzeptes ist in der Praxis leicht umsetzbar; nur der Bedarf und die Produktion am Gebäude zählt. Kompliziert wird es bei der Umsetzung der ökologischen Bilanz. Diese ist von Verträgen abhängig, die sich jederzeit ändern können. Dies gilt nicht nur für den Verkauf von Zertifikaten der Eigenproduktion, sondern auch für den Zukauf von ökologisch erzeugter Energie, falls keine Eigenproduktion möglich ist. Die energetische und ökologische Bilanz gleichen sich immer mehr an, je höher der Anteil an erneuerbaren Energien im öffentlichen Strom-, Gas- und Wärmenetze wird.

## Energiestandards und Nachhaltigkeitslabels

Der Trend, nicht nur die Energieeffizienz für die Heizung, Kühlung und Lüftung sowie der Warmwassererwärmung eines Gebäudes zu betrachten, sondern auch den Fokus auf die gesamte Betriebsenergie, die graue Energie und Mobilität zu legen, nimmt immer mehr zu. Zusätzlich wächst die Forderung auf eine möglichst umfassende Nachhaltigkeitsbetrachtung, die ausser energetischen und ökologischen Aspekten auch wirtschaftliche und gesellschaftliche Kriterien beinhaltet. Die in der Schweiz am häufigsten anzutreffenden nationalen und internationalen Energiestandards und Nachhaltigkeitslabels sind in Tabelle 30 aufgelistet. Während die Energiestandards hauptsächlich auf die Themen Betriebsenergie, Komfort und Ökologie der Baustoffe fokussieren, umfassen die Nachhaltigkeitslabels auch andere Themenbereiche wie z. B. Standort, Infrastruktur und Betriebskosten. Abbildung 126 zeigt exemplarisch einige Kriterien der häufigsten Energiestandards und Nachhaltigkeitslabels in der Schweiz.

Die Struktur aller Standards respektive Labels ist gleich: sie umfasst die drei Nachhaltigkeitsbereiche Gesellschaft, Umwelt und Wirtschaft. Diese Bereiche werden in Themenfelder unterteilt, die jeweils ein oder mehrere Kriterien enthalten. Für jeden Standard variiert der Inhalt und der Umfang der einzelnen Themenbereiche sowie die Ermittlung, Anforderung und Bewertung der Einzelkriterien, was die Vergleichbarkeit erschwert bzw. unmöglich macht. Zertifikate werden in Abhängigkeit des Erfüllungsgrads der Themenbereiche vergeben (Tabelle 31). Bei den Energiestandards muss das geforderte Anforderungsniveau von allen Themenbereichen und Einzelkriterien eingehalten werden, während bei den Nachhaltigkeitsstandards eine Kompensation durch Leistung aus verschiedenen Themenbereichen erfolgen kann.

### Der Nutzen

Der Nutzen von Energiestandards und Nachhaltigkeitslabels liegt darin, dass ein Gebäude klar definierte Kriterien und Anforderungen in unterschiedlichen Bereichen erfüllt. Damit wird der Wunsch nach energieeffizienten und nachhaltigen Bauen umgesetzt, die geforderte Qualität dokumentiert und nach aussen sichtbar gemacht. Vor- und Nachteile von Standards und Labels sind in Tabelle 32 zusammengestellt.

### Nationale und internationale Standards

Bei Wohnbauten dominiert in der Schweiz der Minergie-Energiestandard mit oder ohne Eco-Zusatz. Im Bereich der Verwaltungsbauten wird vermehrt auf internationale Labels gesetzt, da ausländische Konzerne mit Sitz in der Schweiz einen internationalen Nachhaltigkeitsstandard verlangen. Meist erfolgt die Bewertung nach einem nationalen Minergie-Energiestandard und wird durch ein internationales Nachhaltigkeitslabel wie z.B. LEED (Lea-

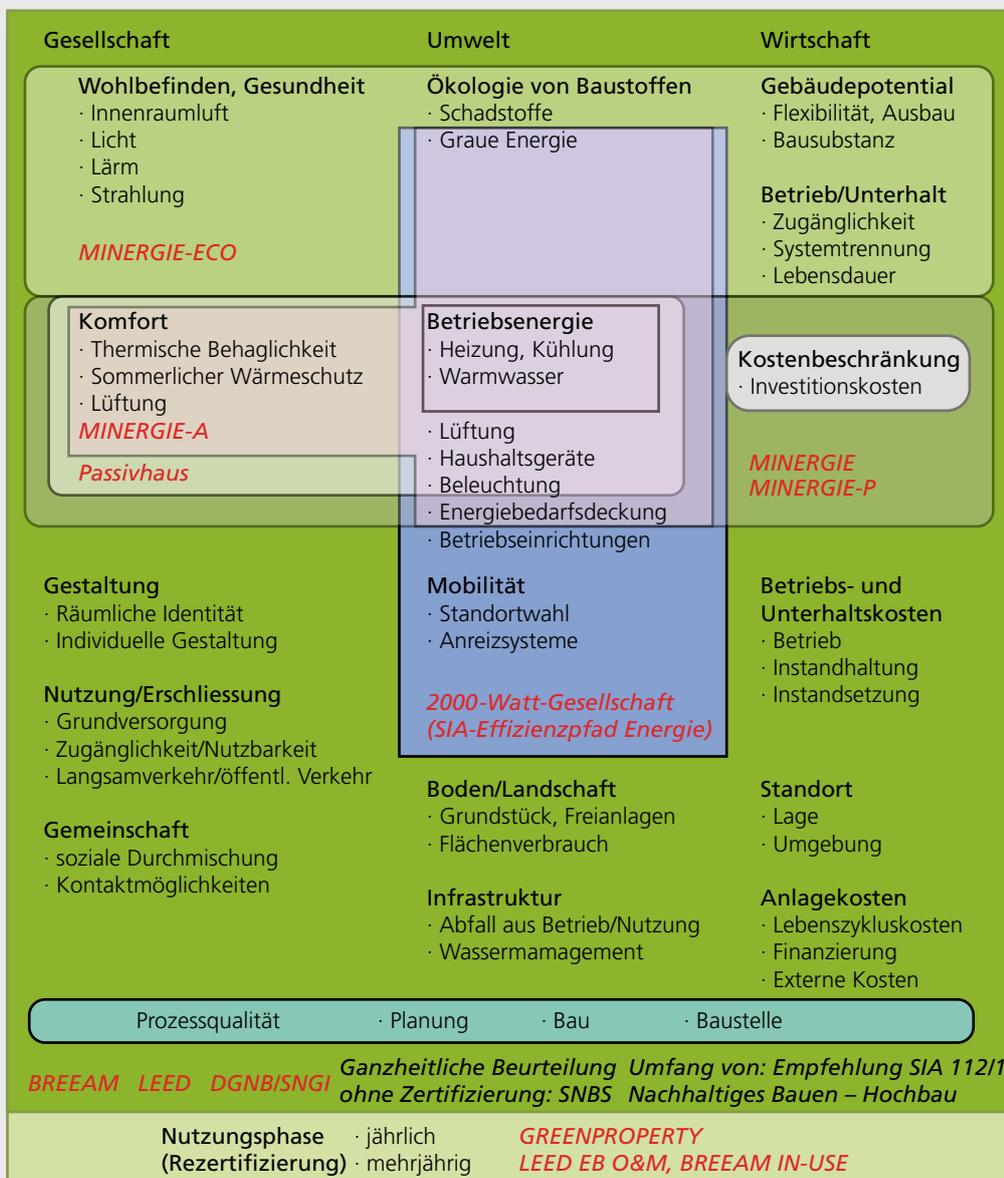


Abbildung 126: Schematische Darstellung von Themenbereichen und Kriterien der häufigsten Energiestandards und Nachhaltigkeitslabels in der Schweiz.

Tabelle 30: Die häufigsten Energiestandards, Nachhaltigkeitslabels und Energieausweise in der Schweiz.

Energiestandards (eine Bewertungsstufe)	Nachhaltigkeitslabels (verschiedene Bewertungsstufen)	Energieausweise (Energieetikette für Ist-Zustand)
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Minergie/-P/-A/-ECO</li> <li>■ SIA-Effizienzpfad Energie (2000-Watt-Gesellschaft)</li> <li>■ Passivhaus (D)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ LEED (US), DGNB (D), BREEAM (UK)</li> <li>■ Energiestadt</li> <li>■ Greenproperty</li> <li>■ Alternative Bank Schweiz (ABS – Immobilienrating)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gebäudeenergieausweis der Kantone GEAK</li> <li>■ Display</li> <li>■ Merkblatt SIA 2031</li> <li>■ ImmoGreen</li> </ul>

Tabelle 31: Themenbereiche, Gewichtung und Bewertung von drei Nachhaltigkeitslabels.

DGNB/SNGI	LEED 2009 (New Construction)	BREEAM 2011
<b>Themenbereich (Gewichtung, Anzahl der Einzelkriterien)</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ökologische Qualität (22,5 %, 12 Kriterien)</li> <li>■ Ökonomische Qualität (22,5 %, 2 Kriterien)</li> <li>■ Soziokulturelle und funktionale Qualität (22,5 %, 15 Kriterien)</li> <li>■ Technische Qualität (22,5 %, 5 Kriterien)</li> <li>■ Prozessqualität (10 %, 9 Kriterien)</li> <li>■ Standortqualität (separate Bewertung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nachhaltige Grundstücke (26 Punkte, 15 Kriterien)</li> <li>■ Wassereffizienz (10 Punkte, 4 Kriterien)</li> <li>■ Energie und Atmosphäre (35 Punkte, 9 Kriterien)</li> <li>■ Materialien und Ressourcen (14 Punkte, 9 Kriterien)</li> <li>■ Innenraumklima (15 Punkte, 17 Kriterien)</li> <li>■ Innovation und Design (6 Punkte, 2 Bonuspunkte)</li> <li>■ Regionale Vorzüge (4 Punkte, 1 Bonuspunkte)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Management (12 %, 5 Kriterien)</li> <li>■ Gesundheit und Komfort (15 %, 6 Kriterien)</li> <li>■ Energie (19 %, 9 Kriterien)</li> <li>■ Wasser (6 %, 4 Kriterien)</li> <li>■ Materialien (12,5 %, 5 Kriterien)</li> <li>■ Abfall (7,5 %, 4 Kriterien)</li> <li>■ Landverbrauch und Ökologie (10 %, 5 Kriterien)</li> <li>■ Emissionen (10 %, 7 Kriterien)</li> <li>■ Transport (8 %, 5 Kriterien)</li> <li>■ Innovation (10 Bonuspunkte)</li> </ul>
<b>Bewertung (Zertifikat)</b>		
Bronze (≥ 50 % total, ≥ 35 % je Bereich) Silber (≥ 65 % total, ≥ 50 % je Ber.) Gold (≥ 80 % total, ≥ 65 % je Bereich)	Certified (≥ 40 Punkte) Silver (≥ 50 Punkte) Gold (≥ 60 Punkte) Platinum (≥ 80 Punkte)	Pass (≥ 30 %) Good (≥ 45 %) Very Good (≥ 55 %) Excellent (≥ 70 %) Outstanding (≥ 85 %)

Tabelle 32: Vorteile und Nachteile von Energiestandards und Nachhaltigkeitslabels.

Gebäudeeigenschaften	Nutzer	Bauherrschaft respektive Eigentümer
<b>Vorteile</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Hohe Energieeffizienz</li> <li>■ Hohe Wassereffizienz</li> <li>■ Abfallreduzierung</li> <li>■ Geringere Umwelteinflüsse</li> <li>■ Hochwertige Bausubstanz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Geringere Betriebskosten</li> <li>■ Gesundere und komfortablere Wohn- und Arbeitsumgebung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Geringerer Leerstand</li> <li>■ Höherer Rendite</li> <li>■ Besseres Marketing</li> <li>■ Hohe Werthaltigkeit der Immobilie</li> <li>■ Besseres Risikomanagement</li> <li>■ Gewährleistung und Visualisierung hoher Gebäudequalität</li> </ul>
<b>Nachteile</b>		
—	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Hohe Mieten</li> <li>■ Hoher Kaufpreis</li> <li>■ Kaum soziale Durchmischung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Erhöhte Planungs- und Baukosten</li> <li>■ Kosten der Zertifizierung</li> </ul>

dership in Energy and Environmental Design), BREEAM (BRE Environmental Assessment Method) oder DGNB (Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen) ergänzt. Beispiele sind der Prime Tower in Zürich mit drei Gütesiegeln (Minergie-Standard, greenproperty, LEED-Gold) und die Europaallee, Baufeld H, in Zürich mit zwei Gütesiegeln (Minergie-A ist angestrebt, vorzertifiziert DGNB-Gold). Mit dem nationalen Standard werden die Bedürfnisse des Schweizer Marktes abgedeckt und mit dem internationalen Label wird die Vergleichbarkeit weltweit erreicht.

Bei den internationalen Standards ist zu klären, ob und wie weit sie die nationalen Normen und Bedingungen in der Schweiz berücksichtigen. Der deutsche Standard DGNB wurde z. B. an die Schweizer Bedürfnisse durch die Schweizer Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft (SGNI) angepasst. Dagegen besteht z. B. für BREEAM keine Adaption auf Schweizer Verhältnisse.

Auf nationaler Ebene bieten bestehende und bewährte Instrumente wie z. B. Minergie, SIA-Normen und Merkblättern, 2000-Watt-Gesellschaft, KBOB-Empfehlungen und der Verein eco-bau gute Voraussetzungen, nachhaltig zu bauen. Basierend auf diesen Instrumenten wurde 2009 das Nachhaltigkeitslabel Greenproperty (Credit Suisse) lanciert und 2013 der «Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz SNBS» (Verein Netzwerk Nachhaltiges Bauen Schweiz) mit einer Pilotphase gestartet. SNBS vergibt keine Zertifikate, macht jedoch Aussagen zur nachhaltigen Qualität eines Gebäudes. Die Alternative Bank Schweiz hat ein Ratingsystem zur Bewertung von nachhaltigen Wohnneu- und Bestandsbauten sowie zur Festlegung von Zinsvergünstigungen entwickelt.

### Gebäudekategorie

Alle Standards und Labels bieten Zertifikate für verschiedene Gebäudekategorien von Neu- und Bestandsbauten. Von LEED wird zusätzlich das Zertifikat LEED Rohbau (core and shell) angeboten. Prinzipiell basieren die Standards respektive Labels auf Planungswerten und umfassen die Pla-

nungsphase, die Erstellung und Bauabnahme eines Gebäudes. Manche Labels bieten für die Betriebsphase zusätzliche Zertifikate an: z. B. LEED EB O&M (Existing Building operation & maintenance) und BREEAM In-Use.

### Bilanzgrenze

Grundsätzlich sind die Zertifikate sowie alle Energiestandards und Nachhaltigkeitslabels gebäudebezogen, d. h. jedes Gebäude muss die entsprechenden Kriterien erfüllen. Für kleinere und grössere Gebäudecluster gibt es jedoch auch spezielle Zertifikate:

- Minergie-A (z. B. ein Baufeld)
- DGNB für Stadtquartiere
- LEED for Neighborhood
- BREEAM for Communities
- Energiestadt (Gemeinde, Region, 2000-Watt-Areale)

### Energieausweis

Der Energieausweis dokumentiert den Ist-Zustand eines Gebäudes bezüglich der energetischen Qualität der Gebäudehülle und der notwendigen Betriebsenergie (Tabelle 30). Der Energiebedarf bzw. Energieverbrauch eines Gebäudes wird bestimmt und in einer Energieetikette abgebildet. Damit ist der Energieausweis von Gebäuden ein wichtiger Bestandteil von Energiestandards und Nachhaltigkeitslabels.

### Ausblick

Energiestandards und Nachhaltigkeitslabels werden als Strategie- und Qualitätswerkzeug für Neu- und Bestandsbauten verwendet. Die Nachfrage nach zertifizierten Gebäuden wird in Zukunft steigen und durch die Internationalisierung bzw. die unterschiedliche Ausrichtung der verschiedenen Standards respektive Labels werden Doppel- und Mehrfachzertifizierungen zunehmen. Eine Vereinheitlichung der Nachhaltigkeitslabels ist wünschenswert.

## Quellen

- Wallbaum, H., Hardziewski, R.: Minergie und die anderen – Vergleich von vier Labels. TEC 47 (2011)
- Kron B.: Nachhaltig und national. Haustech Nr. 6 (2013)
- Merkblatt SIA 2031: Energieausweis von Gebäuden, 2009
- Merkblatt SIA 2040: SIA-Effizienzpfad Energie, 2011
- Empfehlung SIA 112/1: Nachhaltiges Bauen – Hochbau
- [www.minergie.ch](http://www.minergie.ch), [www.breeam.org](http://www.breeam.org), [www.usgbc.org](http://www.usgbc.org), [www.dgnb.de](http://www.dgnb.de), [www.nnbs.ch](http://www.nnbs.ch), [www.sgni.ch](http://www.sgni.ch)
- [www.geak.ch](http://www.geak.ch), [www.energiestadt.ch](http://www.energiestadt.ch), [www.novartlantis.ch](http://www.novartlantis.ch), <http://www.bbl.admin.ch/kbob>
- [www.credit-suisse.com/ch/real\\_estate/doc/GreenProperty/greenproperty\\_imagebroschuere\\_d.pdf](http://www.credit-suisse.com/ch/real_estate/doc/GreenProperty/greenproperty_imagebroschuere_d.pdf) (12.06.2013)
- [www.abs.ch/de/produkte-dienstleistungen/finanzieren/eigenheim/immobilienrating/](http://www.abs.ch/de/produkte-dienstleistungen/finanzieren/eigenheim/immobilienrating/)(12.06.2013)
- [www.greenbuilding.ch](http://www.greenbuilding.ch)

# Anhang

## Autoren

**Armin Binz**, Prof. dipl. Arch. ETH/SIA; bis Ende 2012 Leiter des Instituts Energie am Bau der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW). Leiter der Minergie Agentur Bau und Mitglied der Geschäftsleitung von Minergie von 2006 bis Ende 2012. Seither selbständig als Berater tätig (Binz Energie am Bau GmbH).

**Jürg Bichsel**, Prof., Dr. sc. techn. ETHZ, dipl. El. Ing. ETHZ. Leiter Institut Energie am Bau an der FHNW. Vorher langjähriger Entwicklungsleiter Sauter AG (Gebäudeautomation).

**Achim Geissler**, Prof. Dr., dipl. Chemie-Ingenieur, Leiter Gruppe Bau am Institut Energie am Bau der Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik an der FHNW. Dozent für Nachhaltiges Bauen und Energieeffizienz, Bauphysik und Gebäudesimulation an der FHNW.

**Monika Hall**, Dr. Bauphysik, dipl. Chemieingenieur TH. Wissenschaftliche Mitarbeiterin und Dozentin an der FHNW, Institut Energie am Bau.

**Heinrich Huber**, Prof., dipl. Maschineningenieur und HLK-Ingenieur FH, MAS FHNW Nachhaltiges Bauen. Dozent für Gebäudetechnik an der FHNW, Leiter Minergie Agentur Bau.

**Gregor Steinke**, Dipl.-Ing. Architekt TH, Nachdiplomstudium Energie FH, Dozent und Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der FHNW im Bereich nachhaltiges Bauen.

**Beate Weickgenannt**, dipl. Gebäudetechnikingenieurin TU; Wissenschaftliche Mitarbeiterin Institut Energie am Bau der FHNW.

## Stichwortverzeichnis

2000-Watt-Gesellschaft 115

### A

Ablufteinrichtung 58  
Ablufthaube 67  
Ablufttrockner 81  
Abluft-WP 53  
Absorbertechnik 53, 58  
Absorption 36, 41  
Abwärme 106  
Aerogelen 24  
Aerogelgranulat 29  
Aerogelplatte 31  
AktivkohlfILTER 67  
akustische Behaglichkeit 12  
Anbau 19  
Areal 18  
Armierungsgewebe 26  
Aufbauleuchte 89  
Aufstockung 19  
Aussenluft-Durchlass 65  
Aussenluftrate 62  
Aussenraumleuchte 89  
automatische Fensterlüftung 71

### B

Backofen 77  
Balkon 19  
Bedarfssteuerung 72  
Befeuchtung 62  
Beleuchtung 9  
Beleuchtungsstärke 45  
Beschichtung 35  
Bilanzgrenze 115  
Bilanzperimeter 97  
Biozid 26  
Blähglasgranulat 29  
Blendwahrscheinlichkeit 46  
Blitzschutz 92  
Bodenheizung 51  
Bodenleuchte 89  
BREEAM 119  
Büro 6  
Bypass 73

### C

Calciumsilikatplatte 31  
Cheminees 58  
CO<sub>2</sub>-Konzentration 68  
Computer 82

### D

Dachflächenfenster 35  
Dämmmaterialien 99  
Dämmstoff 99  
Dampfbremse 24  
Deckenheizung 51  
Deckenleuchte 89  
DGNB 119  
DGNB-Gold 119  
diffus 36  
Diffusoren 89  
direkt 36  
Direktblendungsgrad (UGR) 46  
Distanzschraube 27  
Downlight 89  
Drallauslässe 68  
Druckverlust 74  
Dünnschichttechnologie 93  
Durchdringung 24  
DVD-Player 82

### E

EC-Motor 74  
Eco-Zusatz 117  
Effizienzpfad Energie 106  
Eigenbedarfsdeckung 15  
Eigenerzeugung 7  
Einbauleuchte 89  
Einblasdämmstoff 29  
Einfallswinkel 38  
Einsteinmauerwerk 29  
Einzelbauteilnachweis 21  
Einzelraumgerät 73  
Einzelraumlüftungsgerät 71  
elektrisch-solar 55  
Elektrolumineszenz 88  
Endenergie 10  
energetische Amortisation 100  
Energiebezugsfläche 6  
Energieplanung 17  
Energiesparlampe 84  
Energistandards 49  
EPS 23  
Erdwärmesonden-Wärmepumpe 56  
Exergie 103

### F

Farbtemperatur 84  
Farbwiedergabeindex 84  
Fassadengerät 71

Fensterantrieb 58  
 Fensterbänder-Optik 47  
 Fensterlüftung 64  
 Fernseher 82  
 Feuchterisiko 32  
 Feuerstätten 58  
 Fortlufthaube 67  
 Freecooling 11  
 Fussbodenheizung 21

**G**

Gasentladungslampe 84, 86  
 Gasfüllung 35  
 Gebäudeautomation 111  
 Gebäudehülle 19  
 Gebäudekategorie 119  
 Gebäudepark 5  
 Gefriergerät 78  
 Gemeinde 17  
 Gerät 7, 9  
 Gerüche 61  
 Geschosswohnung 73  
 Gewichtungsfaktor 115  
 Gipskarton 27  
 Glas-Abstandhalter 35  
 Glasanteil 40  
 Glasanteil der Fassade 43  
 Gläser 35  
 Glaskeramik-Herd 75  
 Glaswolle 23  
 Globalstrahlung 36  
 Glühlampe 85  
 graue Energie 5, 7, 9, 97  
 g-Wert 38

**H**

Halbleiterelement 88  
 Halogenglühlampe 85  
 Halogenstrahler 75  
 Handel 6  
 Haushaltsgeräte 75  
 Heissluft 77  
 Heizkörper 51  
 Heizleistungsbedarf 51  
 Heizwendel 75  
 Heizzentrale 16  
 Hi-Fi-Anlage 82  
 Hilfsenergie 57  
 Hinterlüftete Fassade 28  
 HLWD 24  
 Hochdruckentladungslampe 84  
 Hochleistungswärmedämmstoffe 24

Holzbau 25  
 Holzfasern 23  
 Holzfeuerstätte 59  
 Holzheizung 50  
 Holzöfen 58  
 hydraulische Einbindung 53  
 Hygiene 61  
 Hygienerisiko 61

**I**

Induktionsherd 76  
 Industrie 6  
 Infiltration 66  
 Innenwärmedämmung 30  
 Integration 19

**J**

Jahresarbeitszahlen 64

**K**

Kaffeemaschine 82  
 Kälteerzeuger 63  
 KBOB-Empfehlungen 119  
 Kellerraum 21  
 Klimaanlage 63  
 Kochfeld 76  
 Kochmulde 75  
 Kochplatte 75  
 Kochstellenabluft 66, 67  
 Kohlenstoffdioxid 61  
 Kompaktfassade 28  
 Kompaktheit 19  
 Kompaktleuchtstofflampe 84  
 Kondensationstrockner 81  
 Kondensator 81  
 Konvektion 35  
 Korkplatte 23  
 kristalline Zellen 92  
 Kühlgerät 78  
 Kühlschranks 78

**L**

Landwirtschaft 6  
 Langfeldleuchte 89  
 Lebensdauer 85  
 Lebenszyklus 100  
 LED 84, 88  
 LED-Licht 88  
 LEED 117  
 LEED EB O&M 119  
 Leichtbauweise 42  
 Leistungsregelung 56

Leistungsspitze 49  
Leuchtstofflampe 84  
Licht 7  
Lichtausbeute 85  
Lichtmenge 83  
Lichtstrom 83  
Lichttransmissionsgrad 37  
Life Cycle Energy 100  
Lineare Wärmebrücke 32  
Loggien 19  
Luftdichtigkeitsmessung 34  
Lüftung 40  
Luft-Wasser-Wärmepumpe 50  
Lumineszenz 84

## **M**

Massivbau 24  
Massivholzkonstruktion 42  
Materialien 99  
Metallhalogendampflampe 84  
Minergie 115  
Minergie-A 115, 119  
Minergie-A-Gebäude 100  
Minergie-Modul 59, 74  
Minergie-P 115  
Minergie-Standard 106  
Mischlüftung 68  
Mobilität 7, 10

## **N**

Nachhaltigkeitslabel 117  
Nachströmeinrichtung 58  
Nachtauskühlung 43  
Nanoschäumen 24  
Niederdruckentladungslampe 84, 86  
Nullenergiegebäude 100, 115  
Nutzenergie 10

## **O**

ökologische Bilanz 114  
OLED 84  
olfaktorische Behaglichkeit 12

## **P**

Pelletsofen 52  
Pendelleuchte 89  
Perliteplatte 31  
Phenolharzschaum 23  
Photovoltaik 15, 20, 92  
Plusenergiegebäude 115  
Plusenergiekonzept 20  
Primärenergie 105

Primärenergieträger 10  
PUR 23  
PV-Anlage 49  
PV-Module 92

## **Q**

Quartier 17  
Quecksilberdampflampe 84  
Quecksilberdampf-Niederdrucklampe 86  
Quelllüftung 68  
Querlüftung 64

## **R**

Rahmenanteil Fenster 48  
Raumheizung 7, 49  
Raumkomfortregelung 111  
Raumkühlung 63  
Raumluftfeuchte 62  
Raumluftqualität 61  
raumluftunabhängig 58  
Raumwinkel 83  
Reed-Kontakt 58  
Reflektoren 89  
Reflexion 36  
Reflexionsschicht 94  
Rückkühlung 63

## **S**

Satellit 58  
Schall 71  
Schaumglas 23  
Scheibenzwischenraum 35  
Schleuderleistung 80  
Schulen 6  
selbstlernende Systeme 113  
Selbstregeleffekt 54  
Selektivität 37  
SGNI 119  
SIA-Effizienzpfad Energie 101  
Siedlung 18  
SNBS 119  
Solaranlage 50  
solarer Gewinnfaktor 48  
Solarspektrum 37  
Solarstrahlung 36  
Sole-Wasser-Wärmepumpe 50  
sommerlicher Wärmeschutz 39, 41  
Sonnenkollektoren 53  
Sonnenschutzvorrichtung 39  
Spaltklinker 26  
Spital/Heim 6  
Splitgeräte 64

Spot 89  
 Stadt 17, 18  
 Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz  
 119  
 Staubsauger 82  
 Steckerleiste 82  
 Steigzonen 34  
 Steinwolle 23  
 Steradian 83  
 Strahlung 36  
 Suffizienz 103

### **T**

Tageslichtautonomie 45  
 Tageslichtplanung 44  
 Tageslichtquotient 42  
 Tageslichtversorgung 42  
 tageslichtweiss 87  
 Temperaturstrahler 84  
 thermische Behaglichkeit 11  
 thermische Gebäudehülle 20  
 thermisch-solar 55  
 Transmission 36  
 Transmissionswärmeverlust 22  
 Treibhausgasemissionen 5  
 Trittschallschutz 21  
 Tumbler 81

### **U**

Überbauung 17  
 $U_{cw}$ -Wert 48  
 Umwandlungsstufe 10  
 Unterdrucküberwachung 58  
 Unterkonstruktion 27

### **V**

Vakuumdämmpaneel 24  
 Variabel-Volumenstrom-Regler (VAV) 72  
 Verbrennungsluft 58  
 Verbundlüftung 69  
 Verglasungsfläche 19  
 Verkehr 6  
 Verschattung 19  
 visuelle Behaglichkeit 11  
 Vorhangfassade 47  
 Vorlauftemperatur 51

### **W**

Wallwasher 89  
 Wandleuchte 89  
 Warmdachkonstruktion 24  
 Wärmeabgabe 51

Wärmebrücke 32, 47  
 Wärmedämmstoff 22  
 Wärmedurchlasswiderstand 42  
 Wärmeleitfähigkeit 22  
 Wärmepumpe 50  
 Wärmeschutz 21  
 Wärmespeicherfähigkeit 39  
 Wärmetransport 35  
 Wärmeverbundsystem 16  
 Wärmeverteilung 51  
 Warmwasser 7  
 Warmwasser-Wärmepumpe 53  
 warmweiss 87  
 Wäschetrockner 81  
 Waschmaschine 80  
 Wasserdampf 61  
 Wassererwärmung 49  
 Weitwurfdüse 68  
 Wellenlängenbereich 37  
 Wohngebäude 6  
 WP-Boiler 53

### **Z**

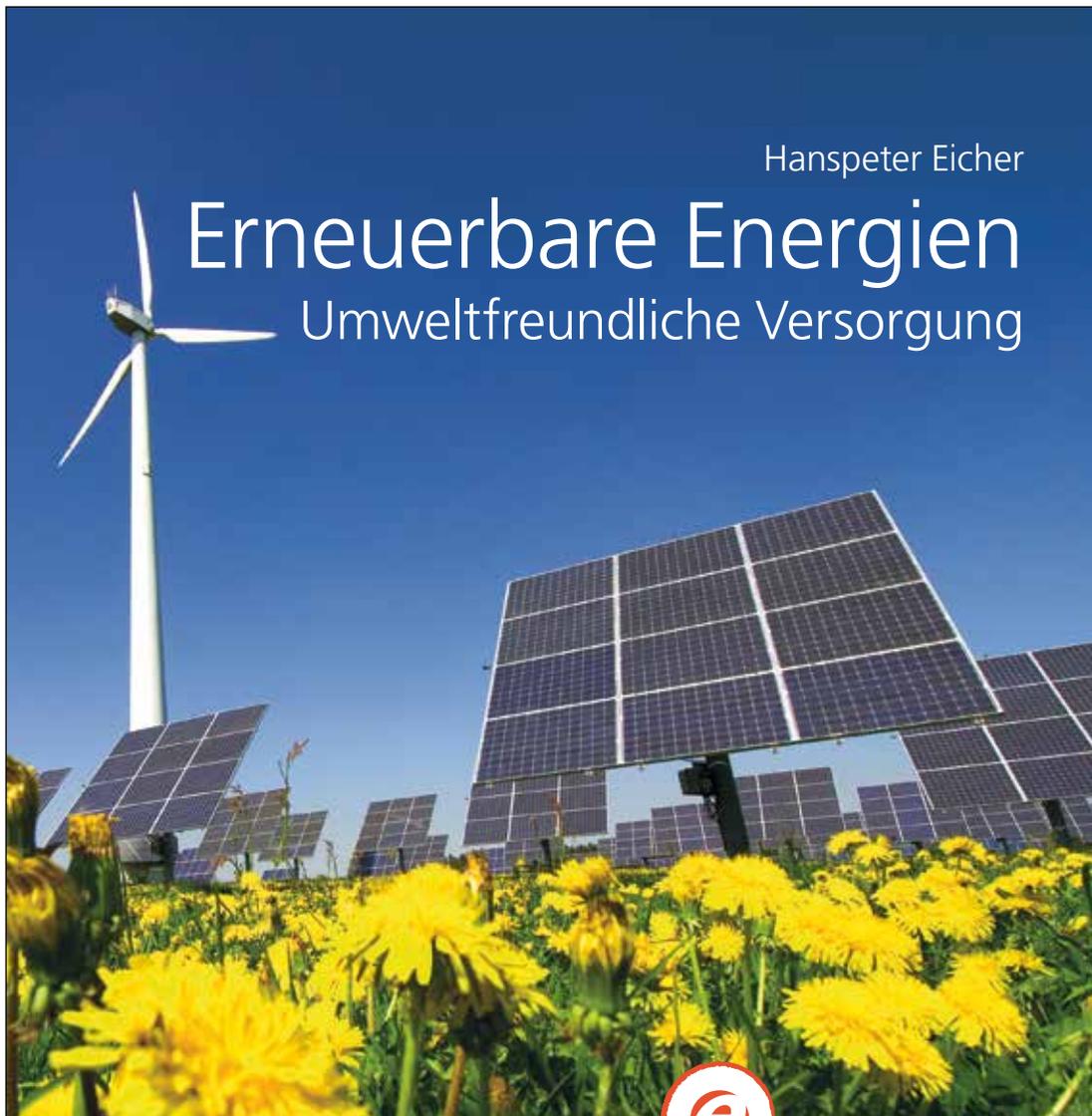
Zellulosefasern 23  
 Zementestrich 42  
 Zweischalenmauerwerk 27

# Die Fachbibliothek



Als Print erhältlich unter: [www.faktor.ch](http://www.faktor.ch)

# mit aktuellen Themen



Hanspeter Eicher

## Erneuerbare Energien

Umweltfreundliche Versorgung

 energieschweiz.ch

 **EnDK**  
Konferenz Kantonalen  
Energiedirektoren

 **faktor**  
Architektur Technik Energie

