



Umweltverträgliches Bauen und gesundes Wohnen

Neubau

6

Umweltverträgliches Bauen und gesundes Wohnen

Neubau

3. Auflage
Stand: Mai 2006

Oberste Baubehörde
im Bayerischen
Staatsministerium
des Innern

Postfach 220036
80535 München

www.wohnen.bayern.de

Vorwort

Es ist jetzt mehr als zehn Jahre her, dass die Oberste Baubehörde das Thema „Umweltschonendes Bauen und gesundes Wohnen“ aufgegriffen hat. Ein Merkblatt mit diesem Titel als Ergänzung zu den Wohnungsbauförderungsbestimmungen fand bei den Wohnungsbaugesellschaften und den Bauherren und Käufern von Eigenheimen und Eigentumswohnungen von Anfang an regen Zuspruch. Stück für Stück fanden und finden zunächst einzelne Teilaspekte der damals aufgezählten Grundsätze,

- mit Rohstoffen und Energie sparsam umzugehen,
- die Umweltbelastung auf ein möglichst geringes Maß zu reduzieren,
- gesunde Wohnverhältnisse zu schaffen und
- günstige Baubetriebskosten zu erreichen,

Eingang in die Planung und den Bau von Wohnhäusern.

Was 1992 eher als Randthema der Wohnungsbaupolitik gesehen wurde – galt es doch damals in erster Linie, in kurzer Zeit möglichst viele und kostengünstige Wohnungen zu bauen –, ist mehr und mehr in den Mittelpunkt des Interesses gerückt. Die großen umweltrelevanten Herausforderungen wie zum Beispiel der Klimaschutz müssen zwar global diskutiert werden, dabei darf aber nicht übersehen werden, dass das lokale Handeln mindestens genauso wichtig ist und sich darüber hinaus schneller umsetzen lässt.

Rund ein Drittel der Energie verbrauchen wir in unserem Land, um unsere Häuser zu wärmen, zu kühlen und zu beleuchten. Energie, von der wir abhängig sind, auf deren Preis wir oft keinen Einfluss nehmen können und deren Verbrauch größtenteils unsere Umwelt beeinträchtigt. Dem Bauen, hier insbesondere dem Wohnungsbau, kommt also eine Schlüsselfunktion zu.

Aber auch in anderen Bereichen tragen die Bauherren von Wohnungen und die Architekten eine große Verantwortung für die Umwelt: von der Wahl des Bauorts, der Gestaltung der Gebäude, der Auswahl der Materialien, der technischen Ausstattung bis hin zur Gestaltung des Wohnumfelds. Ihnen für die tägliche Praxis objektive Kriterien und Beispiele an die Hand zu geben, ist ein Ziel dieses Arbeitsblatts.

Oberste Baubehörde
München, Mai 2006

Inhaltsverzeichnis

Warum umweltverträglich bauen?	
Einleitung	6
Wohnumfeld	
Maßnahmen im Wohnumfeld	10
Ökologische Maßnahmen	11
Architektur	
Ein neues Architekturverständnis für die Ökologie	14
Behaglichkeit und Raumluftqualität	
Komfort-Faktor Wärme	18
Komfort-Faktor Feuchte	19
Hygiene-Faktor Raumluftqualität	20
Lüftungs-Faktoren: Grundlage für gesundes Wohnen	21
Baustoffe	
Ökologische Bewertung von Baustoffen	24
Bewertungsmatrix der wichtigsten Materialien	25
Anmerkung zu Inhalts- und Schadstoffen	28
Informationsquellen und Datenbanken	29
Energie	
Entwicklung der Energieeffizienz	32
Passive Solararchitektur (Ausrichtung und Gebäudegeometrie)	33
Konstruktionen: Boden, Wände, Decken, Dächer	34
Transparente Bauteile	36
Wärmebrücken	38
Wind- und Luftdichtheit	39
Lüftungsanlagen	40
Kontrollierte mechanische Lüftung	41
Mechanische Lüftung mit Abluftwärmerückgewinnung	42
Heizung: Öl, Gas, Biomasse, Wärmepumpe, Kraft-Wärme-Kopplung	44
Warmwasserbereitung	47
Solarthermie	48
Heizanlageneffizienz	49
Strom	50
Strom sparen bei Haushaltsgeräten	51
Strom sparen bei der Haustechnik	52
Dezentrale Stromerzeugung	53

Wasser		
	Einsparpotenziale	56
	Regenwassernutzung – sinnvoller Ersatz für Trinkwasser	57
	Regen- und Grundwasser	58
Ökonomie und Ökologie		
	Effizienz ökologischer Maßnahmen	62
	Wirtschaftlichkeit – Vereinigung von Ökonomie und Ökologie	63
	Muss sich Umweltverträglichkeit rechnen?	64
Beispiele		
	Einfamilienhaus als Passivhaus, Erlangen-Büchenbach	68
	Vier Doppelhäuser als Passivhäuser, Nürnberg-Wetzendorf	69
	Niedrigenergie-Reihenhäuser in Amberg	70
	Sonnenhäuser in Arnstein, 20 Reihenhäuser	71
	Mehrfamilienhäuser in Coburg, Bertelsdorfer Höhe	72
	Mehrfamilienhaus mit Passivhaus-Standard in München-Riem	73
Anhang		
	Schadstoff-Kurzlexikon	74

Das umweltverträgliche Bauen und gesunde Wohnen im Bestand ist im Arbeitsblatt 7 der Reihe „Wohnen in Bayern“ beschrieben.

Einleitung

Bauen ist ein Eingriff in unsere Umwelt. Noch vor wenigen Generationen waren die Auswirkungen eher gering: Die Mittel für den Materialtransport waren begrenzt, sodass regionale Ressourcen genutzt werden mussten. Die Besiedlungsdichte war niedrig und Nahrungsmittel sowie Verbrennungsmaterialien für die Heizung wurden dem sich regenerierenden Naturkreislauf entnommen.

Durch die intensive Bebauung vor allem in den letzten zwei Jahrhunderten und die industriell bedingten Möglichkeiten hinsichtlich Materialgewinnung und -transport wuchs die Bauwirtschaft zu dem Wirtschaftssektor mit dem größten Ressourcenverbrauch. Die Nutzung fossiler Energieträger sorgte darüber hinaus für ständig steigende Ansprüche bezüglich Komfort und Haus-technik.

Es ist ein hoch gestecktes Ziel, bei unserer heutigen Siedlungsdichte die Belange der Umwelt beim Bauen immer zu berücksichtigen und ihre Beeinträchtigung möglichst gering zu halten: die Nutzung und Versiegelung von Fläche ebenso wie den Ressourcenverbrauch für die Erstellung und den Betrieb eines Gebäudes.

Bei den heutigen Baustandards überwiegen die Aufwendungen für den Betrieb die der Erstellung um ein Mehrfaches. Insofern kommt der Konzeption des Gebäudes hinsichtlich des Verbrauchs von Wasser sowie von Energie für Heizen, Trinkwassererwärmung und Stromnutzung eine besondere Bedeutung zu. Am Beispiel des globalen Energieverbrauchs zeigt Abbildung 1 sehr anschaulich, welche exponentielle Entwicklungen weltweit gegeben sind und wie durch Einsparungen und regenerative Energieträger gegengelenkt werden kann. Die Mittel dafür sind gerade beim Bauen mit gutem Kosten-Nutzen-Verhältnis vorhanden, wie in Abbildung 2 ablesbar ist.

Bei all diesen Aspekten darf jedoch der zentrale Punkt des Bauens nicht übersehen werden: Es wird Raum geschaffen, in dem Menschen gesund und mit hohem Komfort leben sollen. In den letzten Jahren sind hier erfreuliche Entwicklungen zu verzeichnen, die hohe Ressourcen- und Energieeffizienz mit Behaglichkeit und guter Raumluftqualität verbinden. Besonders was energieeffizientes Bauen betrifft, ist zudem eine sinnvolle Verbindung von Ökologie und Ökonomie zu verzeichnen, ohne die sich zukunftsfähiges Bauen in der notwendigen Breite nicht sozial verträglich durchführen lässt.

Zahlreiche gelungene Beispiele zeigen, wie in den nächsten Jahren nachhaltiges Bauen mit hohem architektonischem Gestaltungsspielraum erfolgen kann.

Abbildung 1: Exponentielles Wachstum – Szenario zur globalen Energieeinsparung und Wechsel von fossilen auf regenerativen Energieträger bei steigendem Komfort

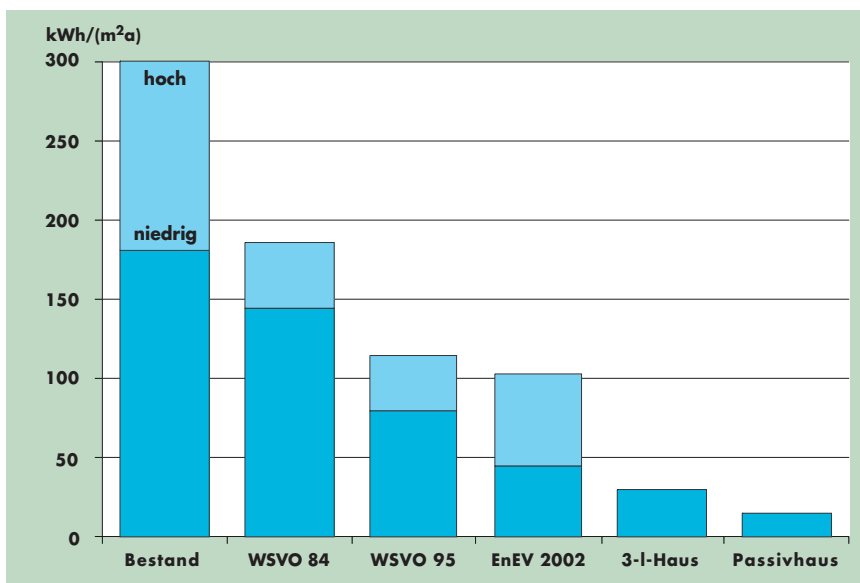
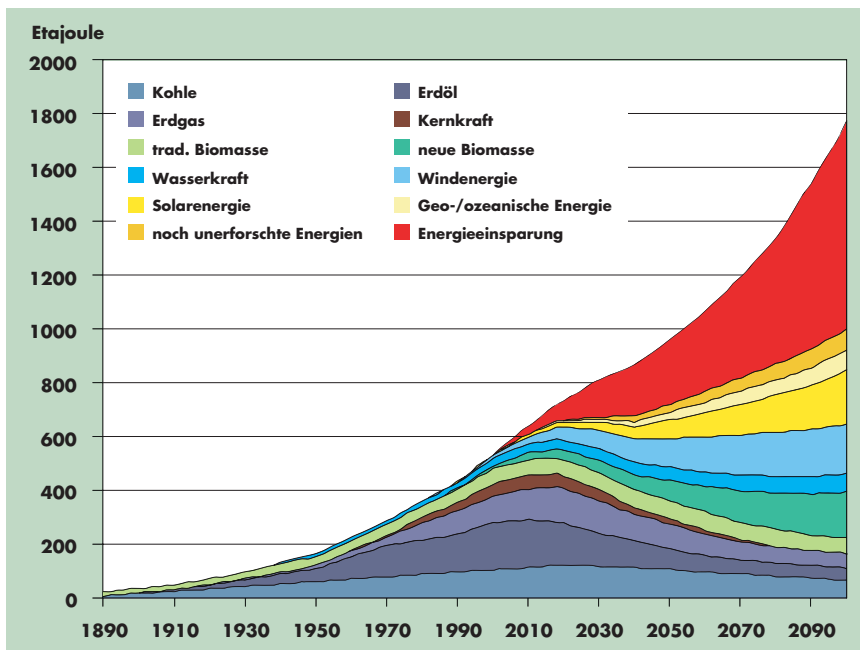
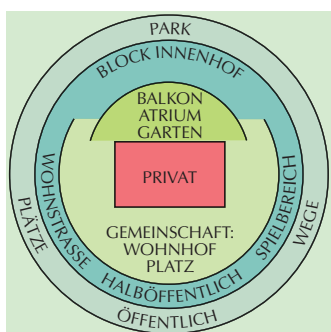


Abbildung 2: Potenzial der Heizenergieeinsparung beim Bauen







Zonierung des Wohnumfelds

Maßnahmen im Wohnumfeld

Die Wohnumgebung trägt wesentlich zum Wohlbefinden und zum Wohnwert bei. Auf Grund der hohen Belastungen durch Verkehr und Lärm muss viel Sorgfalt auf die Gestaltung des Wohnumfelds gelegt werden.

Es soll Gelegenheit und Raum für Ruhe und Entfaltung geschaffen werden, individuelle und gemeinschaftliche Nutzungsformen sollen eine Identifikation der Menschen mit ihrer Umgebung ermöglichen. Abgewogene Zonierung kann zu einem hohen Wert des Wohnumfelds führen. Dabei geht es um die privaten und nachbarschaftlichen Gemeinschaftsflächen ebenso wie um halböffentliche und öffentliche Freiflächen und Grünbereiche.



Freiflächen sollten sich mit einer naturnahen Gestaltung weitgehend an natürlichen Ökosystemen orientieren und diese auch im wohnnahen Bereich für natürliche Abläufe durchlässig erhalten:

- Lebensräume für eine vielfältige Tier- und Pflanzenwelt bewahren und neu schaffen
- vielfältige Funktionen der Freiflächen im Naturhaushalt so weit wie möglich erhalten und stärken
- mit der Gestaltung durch die Verwendung naturraumtypischer Elemente an die örtliche Kulturlandschaft anknüpfen und die Regeln naturnaher Bewirtschaftung beachten
- Bodenversiegelung auf das notwendige Maß beschränken
- Ressourcenverbrauch für Erstellung und Unterhalt gering halten



Ökologische Maßnahmen

Es gibt eine Vielzahl von ökologisch sinnvollen Maßnahmen für die Gestaltung des Wohnumfelds. Hier eine Auswahl in Stichpunkten:

- Flächenverbrauch begrenzen durch
 - Flächenrecycling und Nachverdichtung
 - hohe Grundstücksausnutzung
 - Minimierung der Erschließungsflächen
 - hochwertige halböffentliche und gemeinschaftlich genutzte Flächen
- Schutz von vorhandenen Naturressourcen – weitgehende Erhaltung des Bestands wie Bäume und Sträucher
- Einbindung in das städtebauliche Umfeld
- Begrünung von Fassaden und Dächern
- Begrünung von Freisitzen und Anlegen von Mietergärten
- Blumenwiesen statt Vielschnittrasen in weniger begangenen Bereichen
- Grünverbindung zu den Lebensräumen von Tieren und Pflanzen in der Nachbarschaft und im Außenbereich
- Schutz des Vegetationsbestands auch während der Bauzeit
- Verwendung standortgerechter und möglichst heimischer Pflanzen, Verzicht auf giftige Pflanzen im Spielbereich von Kindern
- Förderung von vielfältigem Pflanzen- und Tierleben durch naturnahe extensive Anlage und Pflege
- überlegte Anordnung großer Laubbäume ohne Verschattung für die langfristige passive Solarnutzung der Gebäude
- Minimierung der befestigten Bodenflächen, Verwendung von wasserdurchlässigen Belägen
- Begrünung des Straßenraums und der Parkplätze









Ein neues Architekturverständnis für die Ökologie



Gestaltungsqualität bleibt eine zeitlose Anforderung an Planen und Bauen: Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit schaffen kein neues Architekturverständnis – sie stellen den Planer aber vor zusätzliche Aufgaben.

Neue Herausforderungen werden sich im Entwurf niederschlagen: Technische Innovationen haben immer auch neue Formen hervorgebracht. Ökologie und Energieeffizienz erfordern neue Gestaltungselemente und bereichern das Gestaltungspotenzial der Architekten.



Es gibt zahlreiche ökologisch bedingte Parameter für den Entwurf:

- Umweltverträglichkeit und Ressourcenschonung hinsichtlich
 - Landschaftsverbrauch
 - Klima und Energie
 - Luft
 - Wasser
 - Boden
 - Rohstoffen und Wiederverwendung von Materialien
- Gesundheitsverträglichkeit in den Bereichen
 - Raumluftqualität
 - Raumklima (Wärme, Feuchte, Luftbewegung)
 - elektrische und elektromagnetische Felder
 - Licht
 - Lärm



Die Liste der Parameter lässt sich vielfältig ergänzen und optimieren – bis hin zu dem Punkt, dass die Umsetzung ökologischen Bauens an überhöhten Anforderungen scheitert. Gefragt sind wirtschaftlich umsetzbare Konzepte, die nicht auf eine kleine Gruppe von privilegierten Bauherren beschränkt sind, sondern sich auch bei Mietwohnungen anwenden lassen. Ökologie in ihrer gesamtheitlichen Sicht umfasst auch ökonomische und soziale Aspekte.

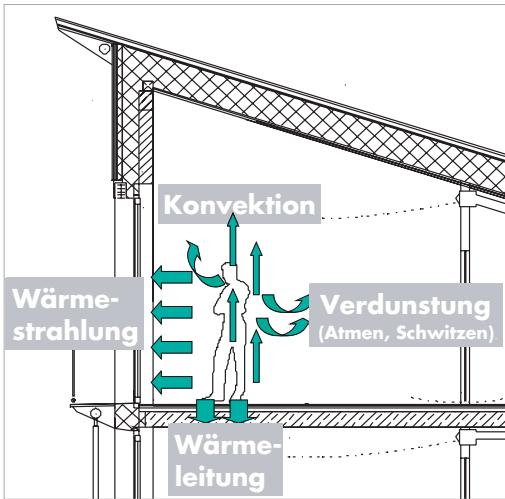
Wie zahlreiche gebaute Beispiele der letzten Jahre zeigen, führen der Umgang mit den Anforderungen und deren individuelle Gewichtung zu einem breiten und kreativen Spektrum von Lösungs- und Gestaltungsmöglichkeiten. Die Ergebnisse sind oftmals sehr hochwertig und bieten eine zusätzliche Bereicherung für die Nutzer.



Behaglichkeit und Raumluftqualität







Möglichkeiten der Wärmeabgabe

Tätigkeit	Wärmeabgabe
Ruhe/im Liegen	75 Watt
leichte Tätigkeit	100 Watt
Schwerstarbeit	500 Watt

Die bauphysikalische Beschreibung von Kleidung erfolgt in clo-Einheiten (**clothing**):
 $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ (m}^2\text{K)/W}$
 (entspricht der Wärmedurchlasszahl
 $\Lambda = 5,45 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.)



Temperaturen bei einem Gebäude mit schlechter Dämmung (bei Außentemperatur -10°C)



Temperaturen bei einem Gebäude mit guter Dämmung (bei Außentemperatur -10°C)

Komfort-Faktor Wärme

Wohnen soll Spaß machen, Geborgenheit und hohen Komfort bieten. Angemessene Wärme ist vor allem in unseren Breiten eine Grundvoraussetzung dafür.

Der Mensch erzeugt Wärme zur Aufrechterhaltung seiner Körperfunktionen, indem Nahrung mit dem aufgenommenen Sauerstoff verbrannt wird. Die erzeugte Wärme gibt der Körper wieder ab in Form von:

- Wärmestrahlung an raumumschließende Oberflächen
- Wärmekonvektion an die Raumluft
- Wasserverdunstung durch Atmen und Schwitzen
- Wärmeleitung

Die Wärmeabgabe in Abhängigkeit von der Tätigkeit wird in der Tabelle links dargestellt.

Unsere Körpertemperatur beträgt ca. 37°C , wobei die Haut etwa 31 bis 32°C aufweist. Die Kleidung hat einen starken Einfluss auf das Behaglichkeitsempfinden. Um sich bei 20°C ohne Bewegung wohl zu fühlen, benötigen die meisten Menschen normale Kleidung plus Pull-over. Die normalerweise in Räumen getragene Kleidung ist eher etwas leichter und erfordert 21 bis 22°C .

Die nächste Hülle stellen die Außenbauteile der Räume dar. Für die wärmetechnische Gestaltung eines Raums ist die empfundene Raumlufttemperatur ausschlaggebend. Sie sollte ca. 19 bis 20°C betragen und errechnet sich näherungsweise als arithmetisches Mittel aus der Raumumschließungsflächentemperatur (Außen- und Innenwände, Decke, Fußboden, Fenster, Möbel) und Raumlufttemperatur.

Größere Abweichungen als 3 bis 4°C zwischen Raumluft- und Raumumschließungsflächentemperatur sowie zwischen den einzelnen Oberflächentemperaturen werden als unangenehm empfunden, wogegen gleichmäßig hohe Temperaturen der Umschließungsflächen möglichst nahe an der Raumlufttemperatur zu hoher Behaglichkeit führen. Sie wirken äußerst günstig auf das Wohlbefinden und die Gesundheit der Bewohner.

Schlecht gedämmte Gebäude (s. oberes Foto) führen zu niedrigen Oberflächentemperaturen an den Innenseiten der Außenbauteile mit der Folge eines unangenehmen Raumklimas. Sinken die inneren Oberflächentemperaturen auf Werte unter etwa 14°C , so entsteht zudem das Problem des Kondenswasserausfalls.

Bei Erhöhung des baulichen Wärmeschutzes ergibt sich zwangsläufig eine angenehme innere Wandoberflächentemperatur der Konstruktionsteile. Hohes Wärmedämmvermögen führt mithin zu einer deutlichen Verbesserung der Behaglichkeit und der gesundheitsrelevanten Faktoren. Dies gilt sowohl für den winterlichen als auch für den sommerlichen Wärmeschutz. Die Raumlufttemperatur, bei der sich Behaglichkeit einstellt, liegt bei gut gedämmten Gebäuden (s. Foto links unten) niedriger als bei Gebäuden mit kalten Innenoberflächen der Außenbauteile.

Komfort-Faktor Feuchte

Durch die Nutzung eines Gebäudes entsteht ständig **Wohnfeuchte** in Form von Wasserdampf und Wasser. Bei einem 4-Personen-Haushalt werden täglich 10 bis 14 Liter Wasser freigesetzt. Durch Lüftung muss die Feuchte abtransportiert werden, um eine angemessene **Raumluftfeuchte** zu erhalten. Diese kann vom Menschen nicht unmittelbar wahrgenommen werden. Sie wird in einem Bereich zwischen 35 und 60% relativer Luftfeuchtigkeit als behaglich empfunden. Es gibt vielfältige Formen der Feuchteeinwirkung bei Gebäuden:

Dampfdiffusion ist die Eigenbewegung des Wasserdampfs durch eine Konstruktion hindurch. Der Diffusionsvorgang wird in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte und Temperatur durch unterschiedliche Wasserdampfdrucke auf beiden Seiten des Bauteils bewirkt (s. Tabelle rechts). Im Winter ist der Druck auf der Innenseite höher. Also wandert der Wasserdampf durch die Wand nach außen. An schwülen Sommertagen verläuft der Vorgang in umgekehrter Richtung.

Wasserdampftransport vom Innenraum zur Außenluft findet nur zu geringsten Teilen durch Diffusion statt. Dabei handelt es sich um Mengen von etwa 0,3 Liter/m² im Jahr bei standardmäßigen Außenbauteilen. Der Abtransport von Wohnfeuchte kann nicht durch Diffusion bewerkstelligt werden, sondern fast ausschließlich durch Lüftung.

Kondenswasserbildung entsteht, wenn wasserdampfhaltige Luft abkühlt und sich die relative Luftfeuchte an Bauteilen auf 75 bis 100% erhöht. Im Wohnbereich stellen Oberflächentemperaturen unterhalb von etwa 14°C ein Problem dar, z. B. Außenbauteile mit einem U-Wert oberhalb von 1,0 W/(m²K). Auch Wärmebrückenbereiche von Konstruktionen mit einem U-Wert über 0,3 W/(m²K) können betroffen sein. In der Folge kann Schimmelpilzbefall auftreten.

Durch **Wasserdampfkonvektion** entstehen die meisten Feuchteschäden in Außenbauteilen: Durch undichte Fugen strömt wasserdampfhaltige Luft nach außen und lässt, je nachdem wie stark sie sich abkühlt, die enthaltene Feuchte auskondensieren. Pro Stunde beträgt der Wasserdampfdurchgang bei einer 1 m langen Fuge von 1 mm zwischen 15 und 40 g, bei einer Fuge von 5 mm zwischen 40 und 110 g.

Kapillare Wasserwanderung erfolgt durch haarfeine, röhrenartige Poren, die auf Grund der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten Wasser transportieren können. Bekannt sind kapillar aufsteigende Feuchte im Mauerwerk und hygroskopische Wasseraufnahme bei Schlagregen.

Ebenso kann im Bauteil ausfallendes Kondenswasser kapillar weitergeleitet werden. Kapillarbewegungen können Diffusions- und Konvektionsvorgänge überlagern.

Sorption ist die Aufnahme von Wasser durch Baustoffe und kann auch als Speicherung von sehr schnell anfallender Feuchte in Form kapillarer Wasserwanderung auf den raumseitigen Bauteiloberflächen verstanden werden. Entscheidend für das Raumklima sind die obersten Millimeter bis Zentimeter der raumumfassenden Fläche. Gutes Sorptionsverhalten der Oberflächenstoffe führt zu einer ausgeglichenen, angenehmen Raumluftfeuchte.



Atmende Wände gibt es nicht, es muss gelüftet werden, um die ständig anhaltende Wohnfeuchte abzutransportieren

Wasserdampfgehalt der Luft in g/m³

Lufttemperatur	relative Luftfeuchte	relative Luftfeuchte
	100 %	50 %
20°C	17,29	8,65
16°C	13,63	6,82
10°C	9,41	4,70
0°C	4,85	2,42
-10°C	2,14	1,07

Hohe Behaglichkeit bei Lüftungsanlagen durch beständige Raumdurchströmung mit frischer Außenluft und ausgeglichener Raumfeuchte (Visualisierung durch Nebel)





Raumluftanalytik



Probennahme-Einrichtung

Wechselwirkung zwischen Nutzer und Raumluft hinsichtlich Wasserdampf, Sauerstoff und Kohlendioxid

Werte für einen Erwachsenen	völlige Ruhe	Büroarbeit	Schwerarbeit
Wasserdampfproduktion g/h	23–32	46–62	130–180
Sauerstoffbedarf l/h	12–16	24–32	65–90
ausgeatmetes Kohlendioxid l/h	10–13	19–26	55–75

Hygiene-Faktor Raumluftqualität

„Reine Luft“ in der Zusammensetzung von 78,09 Vol.-% Stickstoff, 20,95 Vol.-% Sauerstoff, Edelgasen und Wasserstoff ist in der Wohnpraxis nicht zu erzielen. Allerdings ist es Aufgabe des Planers, eine möglichst hohe Raumlufthygiene zu erreichen.

Baustoffe können Raumluft in Form von Gasen, Dampf, Stäuben und Aerosolen belasten. Aussagen zu Inhaltsstoffen und Emissionsverhalten sind nur bedingt über Sicherheitsdatenblätter, zertifizierte und güteüberwachte Messberichte der Hersteller oder über unabhängige Datenbanken zu erhalten. Verantwortungsbewusste Industriepartner und Handwerker betreiben schon aus Eigeninteresse eine diesbezügliche Qualitätssicherung. Dennoch bleibt die Verantwortung für die Materialauswahl beim Bauherrn oder Planer.

Heizungen dürfen keine Emissionen an die Raumluft abgeben (Vorsicht bei Öfen in Aufenthaltsräumen!). Sie sollten zur Vermeidung von Staubaufwirbelung zudem möglichst geringe Luftbewegungen verursachen und keine Heizflächen mit höheren Temperaturen als 55 °C aufweisen, um die Verschmelzung von Staub zu vermeiden.

Ausstattungsgegenstände und Mobiliar beeinflussen wie Baustoffe die Raumluftqualität. Deshalb gelten die gleichen Kriterien wie bei der Baustoffauswahl. Zahlreiche Hersteller von Möbeln lassen ihre Produkte hinsichtlich des Emissionsverhaltens überprüfen und führen regelmäßig Kontrollmessungen durch.

Nutzerbedingte Belastungen erfolgen in vielfacher Form:

- CO₂-Produktion durch die Atmung im Mittel 20 bis 30 l/h
- Stoffwechselprodukte über Atmung, Schwitzen etc.
- Belastungen durch Lebensmittel bei der Zubereitung und vor allem durch Biomüll
- Emissionen von Haushaltspflegemitteln, Heimwerkermaterialien und Körperreinigungsprodukten
- Tabakrauch (er überwiegt deutlich alle sonstigen Belastungen)

Hausstaub ist ein gutes Adsorptions- und Transportmedium für biogenes Material und viele schwerflüchtige Substanzen. Er setzt sich aus Luft- und Bodeneinträgen von außen, Ruß und Asche von Feuerstellen und Flammen, Abrieb von Materialien und Fasern sowie Partikeln zusammen. Besonders gefährlich sind auf Grund ihrer Lungengängigkeit Staubpartikel, die kleiner sind als 1 µm (=0,001 mm).

Tierische und pflanzliche Allergene können gesundheitsbeeinträchtigende Reaktionen beim Menschen auslösen. Besondere Bedeutung haben dabei Hausstaubmilben, deren Exkremente sich an Staub anlagern und hochallergen wirken.

Pilzsporen gelangen durch Lebensmittel oder über die Außenluft in Aufenthaltsräume. Eine hohe Relevanz ergibt sich, wenn dauerhafte Feuchte zu Pilzwachstum führt, etwa auf Grund von Feuchte Kondensation an Bauteilen oder Wärmebrücken. Gesundheitliche Folgen können Allergien, Infektionskrankheiten und Atemwegserkrankungen sein, einige Aspergillusarten wirken hochtoxisch und kanzerogen.

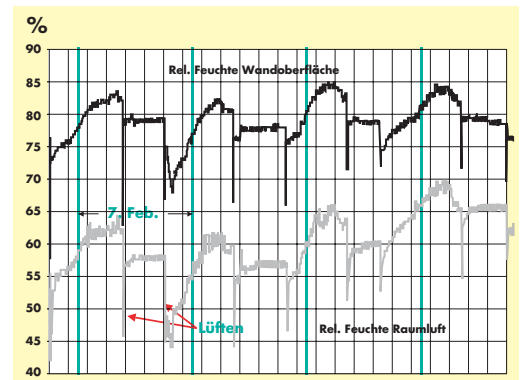
Lüftungs-Faktoren: Grundlage für gesundes Wohnen

Das Lüftungskonzept ist integraler Bestandteil der Gebäudeplanung. Anforderungen der Raumlufthygiene haben Priorität vor der Energieeinsparung. Nur durch eine ausreichende Zufuhr von frischer Außenluft lässt sich eine gute Raumlufthqualität für die Nutzer gewährleisten.

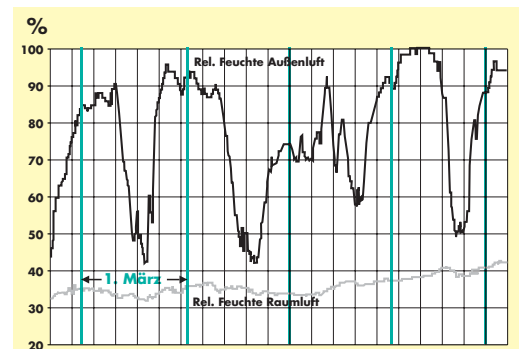
Als Leitwert zur Festlegung der **Luftwechselrate** eignet sich der Kohlendioxidgehalt der Raumlufth, weil er durch die Nutzer verursacht und nicht veränderbar ist. Der hygienische Grenzwert nach DIN 1946 von 0,15 Vol-% kann bei der Zufuhr von 20 m³ frischer Außenluft pro Stunde und Person bei einfacher Betätigung eingehalten werden. Für den strengerer Pettenkofer-Wert von 0,1 Vol-% CO₂, entsprechend 1000 ppm (parts per million = 1 Millionstel), sind bei leichter Arbeit etwas über 30 m³ festgelegt. Mit diesen Zahlen korrespondiert die Mindestanforderung der DIN 1946 Teil 6 von 30 m² Frischluft pro Stunde und Person bei normaler Betätigung.

Manuelle Lüftung (Fensterlüftung) stellt den üblichen Standard im Gebäudebestand dar. Dabei werden etwa folgende Luftwechselraten pro Stunde (h⁻¹) erreicht: Fenster und Türen zu ca. 0,1 h⁻¹ (0,0 bis 0,5 h⁻¹), gekippte Fenster 0,2 h⁻¹ (bei entsprechenden Rahmenbedingungen aber auch bis 5,0 h⁻¹, Fenster ganz offen 5 bis 20 h⁻¹, Querlüftung 20 bis 60 h⁻¹. Diese Werte können durch Witterungssituationen noch weiter gespreizt werden, wobei starker Wind und hohe thermische Kräfte durch tiefe Außentemperaturen die stärksten Antriebskräfte sind. Mit Fensterlüftung kann nicht gezielt gelüftet werden: Zweimal tägliche Querlüftung wird im Allgemeinen als Wert für pfeglichen Umgang mit einer Wohnung angenommen. Dies sorgt jedoch nicht ausreichend für gute Raumlufthqualität. Wie die Abbildung rechts oben zeigt, reicht zudem der daraus resultierende Entfeuchtungseffekt nicht aus. Anzustreben wäre eine Querlüftung alle zwei Stunden, um eine Luftwechselrate von etwa 0,5 h⁻¹ zu erreichen, was in der Realität kaum gegeben ist. Besonders in der Nacht ist das schwierig durchführbar.

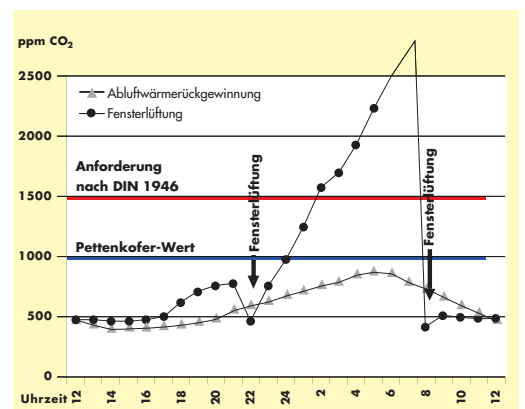
Kontrollierte mechanische Lüftung ermöglicht kontinuierlich frische Außenluftzufuhr und kann durch einen optimierten und gezielten Luftwechsel sowohl den Aspekten der Raumlufthgiene als auch der Energieeinsparung dienen. Bei Verwendung von **Abluftwärmerückgewinnung** werden zusätzlich die Lüftungswärmeverluste auf ein energetisches Optimum reduziert und ermöglichen zudem eine nochmals gezieltere Lüftungsführung. Vergleichende Messungen zwischen Fensterlüftung und mechanischer Lüftung zeigen eindeutige Vorteile zugunsten der mechanischen Lüftung: Feuchteprobleme treten nicht mehr auf und werden selbst bei einer problematischen Gebäudehülle deutlich entschärft; Schadstoffkonzentrationen werden durch die kontinuierliche mechanische Frischluftzufuhr niedrig gehalten und bei Neubauten zeigt sich eine schnelle Abklingkurve der Emissionswerte. Nutzer empfinden die ständig frische Raumlufth als äußerst angenehm und möchten eine Lüftungsanlage nicht mehr missen.



Standardgebäude (Wand mit 6 cm Wärmedämmverbundsystem) bei zweimal täglicher Fensterlüftung: Die Raumlufthfeuchte sinkt nur kurz nach dem Lüften ab, die Wandoberflächenfeuchte liegt gefährlich hoch: Gefahr von Schimmelpilzbildung



Gebäude mit Abluftwärmerückgewinnung: gleichmäßig gute Luftqualität und Raumlufthfeuchte bei gleicher Wittersituation wie in der Abbildung oben



CO₂-Konzentration im Schlafzimmer: „dicke Luft“ bei geschlossenem Fenster (22.00–8.00 Uhr), ausgeglichen gute Raumlufth bei der Lüftungsanlage mit Abluftwärmerückgewinnung







Ökologische Bewertung von Baustoffen

Bauherren und Architekten haben über die Materialauswahl einen großen Einfluss auf die Umweltbelastung durch das Bauen. Die Bauindustrie setzt große Materialmengen um und hat insofern eine hohe Verantwortung für ökologische Belange. Im Sinne einer Produktlinienanalyse sollten alle Lebensphasen eines Materials betrachtet werden. In der Aufstellung werden einige wesentliche Aspekte dazu aufgelistet:

Rohstoffgewinnung	<ul style="list-style-type: none"> • Gewinnungsverfahren, Eingriff in die Umwelt • Transport/Entfernung • nachwachsende/fossile Rohstoffe, Vorräte • Emissionen bei der Rohstoffgewinnung • Zwischenstoffe/Abfallstoffe • Energieverbrauch (in allen Lebensphasen)
Inhaltsstoffe Produktion	<ul style="list-style-type: none"> • Beschreibung des Produktionsverfahrens • Verwendung von Recyclingprodukten • entstehende Zwischen-/Koppelprodukte • Abfallstoffe aus dem Produktionsprozess • Emissionen, Arbeitsplatzbelastung und Störfallrisiken • Wasserverbrauch und -belastung • Transport und Verpackung (Verwendung örtlicher Baustoffe)
Verarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> • Besonderheiten des Arbeitsablaufs • Emissionen • Belastung bei der Verarbeitung • Verpackung und Baustellenabfälle
Nutzung	<ul style="list-style-type: none"> • Angemessenheit von Material und Aufwand • Abgabe von Schadstoffen/Partikeln/Fasern • toxikologische Merkmale (Giftklassen, Kanzerogenität, allergene Eigenschaften, Mutagenität, Folgetoxizität durch chemische Reaktionen, Emissionsverhalten) • Brandverhalten und Emissionen im Brandfall • Reparaturanfälligkeit und Lebenserwartung • Nutzwert, Oberflächenbeschaffenheit und Hygiene
Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> • Rückbaumöglichkeit und deren Kosten • Einstufung nach der Entsorgungsart • Wiederverwertbarkeit: Verwertungsgrad, Restabfälle • Recycling: Verwertungsgrad, Abfallstoffe, Emissionen • Deponierung: Angaben zur Abgabe von Schadstoffen • Verbrennung: Emissionen, Reststoffe, Sonderabfall

Kennzahlen in der Baustoffmatrix

Q : Rohdichte in kg pro m^3

PEI : Primärenergieinhalt für die Erstellung eines Materials (in MJ/m^3 oder kWh/m^3)

λ_R : Wärmeleitfähigkeit, bei üblichen Dämmstoffen $0,04 W/(mK)$,

bei Holz $0,13 W/(mK)$ und Beton $2,1 W/(mK)$

μ : Diffusionswiderstandszahl

Neben der Vielzahl von gestalterischen und technischen Parametern der Planung eine Optimierung hinsichtlich der ökologischen Belange zu erreichen, ist derzeit mit einem hohen Aufwand verbunden, weil es keine hinreichenden Festlegungen für den ökologischen Standard von Produkten gibt.

Die Baustoff-Matrix auf den folgenden vier Seiten gibt Kennwerte zum Primärenergieinhalt und zur Bauphysik an, die bei der Auswahl hilfreich sein können. Darüber hinaus werden Stichpunkte zur Bewertung der umweltrelevanten und gesundheitlichen Aspekte der Materialien gegeben.

Bewertungsmatrix: mineralische Baustoffe

Rohstoffe für mineralische Bauprodukte sind ausreichend vorhanden. Der Abbau bewirkt auf Grund seiner hohen Masse Eingriffe in die Natur, die durch entsprechende Maßnahmen ausgeglichen werden müssen. Belastungen durch die Produktion sind vom jeweiligen Material abhängig. Transportaufwendungen können bei dezentraler Produktauswahl durch den Planer niedrig gehalten werden. Rein mineralische Materialien bewirken nahezu keine Immissionen in die Raumluft und sind daher für die Nutzungsphase gesundheitlich hervorragend zu bewerten. Recycling ist weitestgehend möglich. Durch hohe Festigkeit, Gewicht und Volumen sind die Aufwendungen sehr hoch.

	Rohdichte	Primärenergieinhalt		Wärmeleitföh.	Diffus.-widerst.	Stichpunkte zur ökologischen Bewertung
	ρ	PEI	PEI	λ_R	μ	
	kg/m ³	MJ/m ³	kWh/m ³	W/(mK)		
Beton	2300	1600	444	2,1	70–150	Inhaltsstoffe: Zement (energieintensive Produktion), Wasser, Zuschläge, Zusätze (oft nicht erforderlich, minimieren); Verarbeitung: Chromatgehalt unter 2 ppm (zur Vermeidung von Mauerkrätze); Nutzung: geringes Sorptionsvermögen erzeugt mäßigen Feuchteausgleich (Raumklima-Faktor), guter Schallschutz, hohe Gestaltungsfreiheit
Stahlbeton 2% Bewehrung	2500	3125	868	2,1	70–150	
Kalksandstein	1000	680	189	0,5	5–10	Inhaltsstoffe: Brandkalk, Quarzsand, Wasser (geringer Primärenergieinhalt, kein Schadstoffpotenzial); Nutzung: guter Schallschutz kostengünstig zu erzielen, guter Wärmeschutz und Wärmespeicherung mit schlanken, zweischaligen Außenwänden erzielbar durch Dämmdicke von 14 bis über 30 cm
	1400	960	267	0,7	5–10	
	2000	1570	436	1,1	15–25	
Leichtziegel 0,7	700	2140	594	0,25*	5–10	Inhaltsstoffe: Ton, Lehm, Sand, Wasser, Porosierung mit Polystyrol oder Sägemehl bzw. Holzspänen; hoher Primärenergieinhalt durch Brenntemperatur von 800–1200 °C (besonders relevant bei Material mit hoher Rohdichte); Nutzung: gutes Sorptions- und Austrocknungsverhalten; Wärmeschutz: einschalige Wandkonstruktionen mit Wärmeleitfähigkeit* bis zu $\lambda_R = 0,11$ W/(mK) sind möglich, jedoch hoher Aufwand: $U = 0,24$ W/(m ² K) entspricht ca. 46 cm Wanddicke, $U = 0,16$ W/(m ² K) (Passivhaus) erfordert ca. 70 cm Wanddicke
Leichtziegel 1,0	1000	1700–3700	472–1028	0,45	5–10	
Hochlochziegel 1,6	1600	4890	1358	0,68	5–10	
Klinker	2000	5540–6300	1539–1750	0,81	50–100	
Porenbeton	500	1460	406	0,22*	5–10	
	600	1950	542	0,24	5–10	
	800	2600	722	0,29	5–10	
Leichtlehm	800	0–110	0–31	0,25	2	Inhaltsstoffe: Sand, Ton, Eisenhydroxid oder Kalk, Stroh o. ä.; Verarbeitung: sehr lohnkostenintensiv und schadensanfällig (Risse, Bildung von Mikroorganismen durch organische Einschlüsse, Feuchteanfälligkeit); Nutzung: ökologisch sehr hochwertiges Material, guter Feuchteausgleich
Kalkzementmörtel	1800	620	172	0,87	15–35	Inhaltsstoffe: Kalk, Zement, Sand, Zusatzstoffe; Nutzung: Schadstoffpotenzial ggf. durch Zusatzstoffe, hohe Feuchteresistenz
Kalkputz	1800	1100	306	0,87	15–35	Inhaltsstoffe: Kalk, Sand, Zusatzstoffe; Nutzung: Schadstoffpotenzial allenfalls durch Zusatzstoffe, gutes Feuchteausgleichsvermögen, desinfizierende Wirkung
Gips	1200	1700	472	0,7	10	Inhaltsstoffe: Calciumsulfat, Stellmittel, Füllstoffe, Zusatzstoffe; Nutzung: Schadstoffpotenzial allenfalls durch Zusatzstoffe, auch bei REA-Gips (aus der Rauchgasentschwefelung) keine radioaktive Belastung bekannt, guter Feuchteausgleich und Brandschutz
Gipsfaserplatten	1200	3000	833	0,36	11	Inhaltsstoffe: Gips, Zellulosefasern; Nutzung: gutes Feuchteausgleichsvermögen und Feuchteverhalten, gutes Brandschutzverhalten
Gipskartonplatten	900	2700	750	0,21	8	Inhaltsstoffe: Gips, Kartonummantelung; Nutzung: gutes Feuchteausgleichsvermögen, gutes Brandschutzverhalten, ggf. Bindemittel (zum Karton) und Imprägnierung beachten
Glas	2500	5200–54.000	14.444–1500	0,8	∞	Inhaltsstoffe: Quarzsand, Kalk, Soda/Pottasche etc.; energieaufwändige Produktion (Schmelze bei 1600 °C); Nutzung: keine Schadstoffbelastung

Bewertungsmatrix: Holz und Holzwerkstoffe

Bauen mit Holz bietet aus ökologischer Sicht den großen Vorteil, dass durch die Kohlenstoff-Zwischenlagerung, die sich durch den Einbau von Hölzern ergibt, eine günstige Auswirkung auf die Klimabilanz zu verzeichnen ist. Zudem liegt der Primärenergieinhalt von consequenten Holzbauten ca. 30 % niedriger als beim Massivbau.

Nachteile ergeben sich durch die baukonstruktiv hohen Anforderungen an Schallschutz, Brandschutz und Holzschutz, die oft mit höheren Kosten einhergehen, ganz sicher aber mit hohem Planungsaufwand. Wichtig ist die Beachtung des Emissionsverhaltens von Holz und vor allem Holzwerkstoffen. Deshalb ist es grundsätzlich sinnvoll, Holzbauten an möglichst vielen Innenflächen mineralisch zu bekleiden, um Emissionsflächen zu reduzieren.

	Rohdichte	Primärenergieinhalt		Wärmeleitföh.	Diffus.-widerst.	Stichpunkte zur ökologischen Bewertung
	ρ	PEI	PEI	λ_R	μ	
	kg/m ³	MJ/m ³	kWh/m ³	W/(mK)		
Fichte, Kiefer, Tanne	700	720	200	0,13	40	Inhaltsstoffe: Zellulose, Lignin, Hemizellulose, Harze, Fette, Gerb- und Farbstoffe, Wasser; Verarbeitung: konstruktiven Holzschutz bevorzugen, bei chemischem Schutz borsalz-basierte Produkte vorteilhaft; Verkleidungen möglichst nicht behandeln; Holzstaub vermeiden; Nutzung: Auch unbehandelte Hölzer emittieren Formaldehyd und flüchtige organische Verbindungen (VOCs; unbedenklich bei üblichen Flächenbelastungen, beim Holzhausbau Addition der Emissionen beachten)
Laubholz	800	2700	750	0,2	80	
Brettschicht-holz	600–800	1800–4100	500–1140	0,2	50	Inhaltsstoffe wie oben; zusätzliche: Bindemittel/Kleber
Holzspan-platten / OSB-Platten	700	2900	806	0,13	50–100	Inhaltsstoffe wie oben; zusätzlich Bindemittel/Kleber (< 5 Masse-%: Phenol-, Melamin- oder Harnstoff-Formaldehydharz; alternativ: Polyurethan); Holzschutzmitteleinsatz bei Plattenbezeichnung 100 G, z. T. Brandschutzmittel; Anforderung E-1: unter 0,1 ppm Formaldehyd-Emission, optimale Produkte 0,02–0,03 ppm
Tischler-platten	600–800	2880–4300	800–1194	ca. 0,17	50–400	Inhaltsstoffe wie oben, jedoch Bindemittelanteil bei Sperrholz bis 15 Masse-%
Holzweich-faserplatten	200–350	790–1500	219–416	0,045–0,05	5–10	Inhaltsstoffe: Restnadelhölzer der Sägeindustrie, Durchforstungshölzer, Aluminiumsulfat (3 %) zur Aktivierung des holzeigenen Lignins als Bindemittel, Wachseulsion zur Hydrophobierung; hochwertige Dämmplatten, hoher PE-Inhalt
Harzfaser-platten	1000	2300	639	0,17	70	Wie oben, z. T. Einsatz von sonstigen Bindemitteln



Bewertungsmatrix: Dämmstoffe

Es gibt keinen Dämmstoff, der für alle Anwendungen gleichermaßen geeignet und zugleich ökologisch optimal ist. Für jede individuelle Anwendung sollte ein nach technischen und hygienischen Anforderungen geeignetes Material gewählt werden. Dämmstoffe wirken vor allem durch den kleinteiligen Einschluss von Luft, was z. B. durch poriges oder faseriges Material erreicht wird. Damit verbunden sind oftmals Staub- oder Faserbelastungen. Eine Exposition sollte für die Verarbeitung und für die Nutzung verhindert werden. Es ist davon auszugehen, dass lungengängige Feinstanteile enthalten sind, die grundsätzlich belastend sind, auch wenn kein kanzerogenes Potenzial gegeben ist.

	Rohdichte	Primärenergieinhalt		Wärmeleitföh.	Diffus. widerst.	Stichpunkte zur ökologischen Bewertung
	ρ	PEI	PEI	λ_R	μ	
	kg/m ³	MJ/m ³	kWh/m ³	W/(mK)		
Blähton	300–800	1530	425	0,16	1,1	Inhaltsstoffe: Ton, Aufblähen mit organischen Stoffen (1200 °C); Nutzung: gute Brandschutzeigenschaften, keine Emissionen, ungünstige Wärmeleitfähigkeit; Wiederverwertung: möglich
Blähperlite	80	680	189	0,055	3–4	Inhaltsstoffe: Perlit-Gestein zzgl. diverser Hilfsstoffe, Aufblähung bei 1000 °C; Verarbeitung: Staubbelastung; Nutzung: guter Brandschutz, keine Emissionen; Wiederverwertung: möglich
Dämmplatten aus expandiertem Kork	90–110	540–1600	180–444	0,04–0,05	1,5–3	Inhaltsstoffe: Korkrinde, z. T. Bindemittelzusatz (Formaldehydharze), teils Verunreinigung durch polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs; vor allem Benzo-a-pyren); begrenzte Ressourcen
Holzwoolleleichtbaupl.	200–350	900	250	0,093	2–5	Inhaltsstoffe: Holzfasern aus Resthölzern, Bindemittel: Portlandzement oder Magnesiumcarbonat; Nutzung: mäßiger Dämmwert
Kokosfaserplatten	125	340	94	0,04–0,045	1	Inhaltsstoffe: Kokosfasern, Brandschutz mit Ammoniumsulfat oder -phosphat, Borax oder Wasserglas, z. T. Bindemittelzusatz; Rohstoffe: Überprüfung auf Pestizide geboten
Künstliche Mineralfasern (KMF): Glasfasern und Steinfasern	20	360	100	0,035–0,045	1–2	Inhaltsstoffe: Glas oder Basalt/Diabas/Kalkstein, Phenol- oder Melamin-Formaldehydharz als Bindemittel, aliphatische Mineralöle (Staubbindung), Polysiloxane (Hydrophobierung); Verarbeitung: Kleinstfasern (\varnothing 0,5–3 μ m/Länge \leq 200 μ m) sind lungengängig und nur bei guter Biolöslichkeit nicht kanzerogen (z. B. bei Nachweis $K_f > 40$), (Haut-)Reizung durch größere Fasern; Nutzung: s. o.; kein Eintrag von Fasern in Räume durch dichte Konstruktionen; gute Brandschutzeigenschaften von KMF
	30	540	150	0,035–0,045	1–2	
Expandierter PS-Hartschaum (EPS)	15	540–2200	151–611	0,035–0,04	20–100	Inhaltsstoffe: Polystyrol, Pentan, als Flammenschutzmittel vor allem Hexabromcyclododecan, sonstige Additive; Nutzung: abgelagerte Ware verbauen, damit keine erhöhten Styrol-Werte zu Beginn der Nutzung auftreten, bisweilen werden hohe Pentan-Werte gemessen (toxikologisch unbedenklich, aber sommersmogwirksam)
	20	680–2200	189–806	0,035–0,04	20–100	
Extrud. PS-Hartschaum (XPS)	25	1700–3800	472–1056	0,035–0,04	80–250	Inhaltsstoffe: Polystyrol, Steinsalz, Flussspat, als Flammschutzmittel vor allem Hexabromcyclododecan, sonstige Additive; Produktionsverfahren aufwändiger als EPS; Nutzung: abgelagerte Ware verbauen, damit keine erhöhten Styrol-Werte zu Beginn der Nutzung auftreten
	40	4300	1194	0,035–0,04	80–250	
PUR-Hartschaum	30	2800–5700	777–1580	0,03–0,035	30–100	Inhaltsstoffe: Polyurethan, Steinsalz, Phosphorsäureester, als Flammschutzmittel vor allem Hexabromcyclododecan, sonstige Additive; Ausgasung von Monomeren nicht möglich; Produktion sehr energieintensiv
Schaumglas	130	1150–2700	319–750	0,045–0,06	1000	Inhaltsstoffe: Glas, Calcium- und Natriumcarbonat, Kali-Feldspat u. a. (700–1000 °C); Nutzung: druckfest, feuerfest, unverrottbar, fast dampfdicht
Zellulosedämmstoff	35–70	50–230	14–64	0,04–0,045	1–2	Inhaltsstoffe: Altpapier (Tageszeitungen), Borax, Borsäure; Recyclingprodukt mit geringem PEI; Verarbeitung: Vorteil durch schnelles Einblasen (Staubschutz beachten), danach Baustelle staubfrei

Bewertungsmatrix: Metalle

Metalle ermöglichen konstruktiv und statisch hochwertiges Bauen. Eine Gestaltung mit Metallkonstruktionen schafft häufig architektonische Highlights. Durch die Umwelt-Brille wirkt die Bilanz von metallischen Materialien im ersten Moment nicht besonders günstig, weil hohe Belastungen durch Rohstoffgewinnung und Produktion gegeben sind. Gelingt es jedoch, die hochwertigen Metallbaustoffe durch Recycling umweltentlastend wiederzuverwenden, sieht die Bilanz deutlich besser aus.

	Rohdichte	Primärenergieinhalt		Wärmeleitföh.	Stichpunkte zur ökologischen Bewertung
	ρ	PEI	PEI	λ_R	
	kg/m ³	MJ/m ³	kWh/m ³	W/(mK)	
Aluminium	2702	288.200	80.056	200	Inhaltsstoffe: Aluminium aus Bauxit-Erz (hoher Landschaftsverbrauch), Mangan, Magnesium, Silicium, Kupfer, Zink; sehr hoher Primärenergieinhalt
Stahl	7850	78.000	21.667	60	Inhaltsstoffe: Eisenerz, Mangan, Chrom, Nickel u. a. Legierungselemente; Belastungen durch Abbau und Produktion wie bei allen Metallen
Kupfer	8900	480.600	13.3500	380	Inhaltsstoffe: Kupfer mit Legierungselementen wie Zink, Zinn, Nickel, Aluminium, Blei u. a.; Belastungen durch Rohstoffgewinnung, Verhüttung und sehr hohen Energieaufwand, Abwasserbelastung durch Auslösung von Kupfer
Zink	7200	k.A.	k.A.	109	Inhaltsstoffe: Zink, Legierungselemente: Titan, Kupfer, Aluminium etc. Rohstoffgewinnung aus Zinkerzen; Nutzung: gutes Korrosionsverhalten, langlebig; aber Auslösung von Zink mit der Folge von (geringer) Abwasserbelastung



Anmerkungen zu Inhalts- und Schadstoffen

Einige wichtige Schadstoffe beim Bauen, die z. T. schon in der obigen Matrix erwähnt wurden, werden im Anhang kurz beschrieben. Dabei ist prinzipiell zu beachten, dass Aussagen über akute und chronische Giftwirkungen von Materialien von zahlreichen Faktoren abhängen, deren Erforschung sich nur zu relativ geringen Teilen als abgeschlossen betrachten lässt. Im Jahr 1954 waren nach den Eintragungen des „Chemical Abstract Service“ 600.000 Verbindungen synthetisiert und dokumentiert, heute sind es über 18 Millionen. In Deutschland werden 30.000 Substanzen produziert, davon annähernd 5000 in Mengen über 10 Tonnen pro Jahr. Durch die Gefahrstoffverordnung des Chemikaliengesetzes sind ca. 1400 Stoffe als gefährlich eingestuft. Die Zahlenangaben sollen verdeutlichen, welche Diskrepanz zwischen der riesigen Zahl von existierenden Stoffen und der Kenntnis über deren Wirkung besteht.

Potenziert wird das Unwissen, wenn man die Wechselwirkungen verschiedener Substanzen betrachtet.

Insofern ist es immer richtig, schadstoffträchtige Produkte beim Bauen nur in unbedingt erforderlichen, minimalen Umfängen einzubauen. Keiner sollte sich allerdings vor seinem Bauherrn brüsten, „schadstofffrei“ zu bauen: Er wird diesem Anspruch niemals gerecht werden können.

Informationsquellen und Datenbanken

Es gibt bisher keine umfassenden Regelungen zu Kriterien der Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit von Baustoffen. Baustoffzulassungen helfen bei Fragen nach Rezepturen nicht immer weiter. Sicherheitsdatenblätter wiederum zielen vor allem auf die Verarbeitung und geben nur bedingt Aufschluss über sämtliche Inhaltsstoffe eines Produkts.

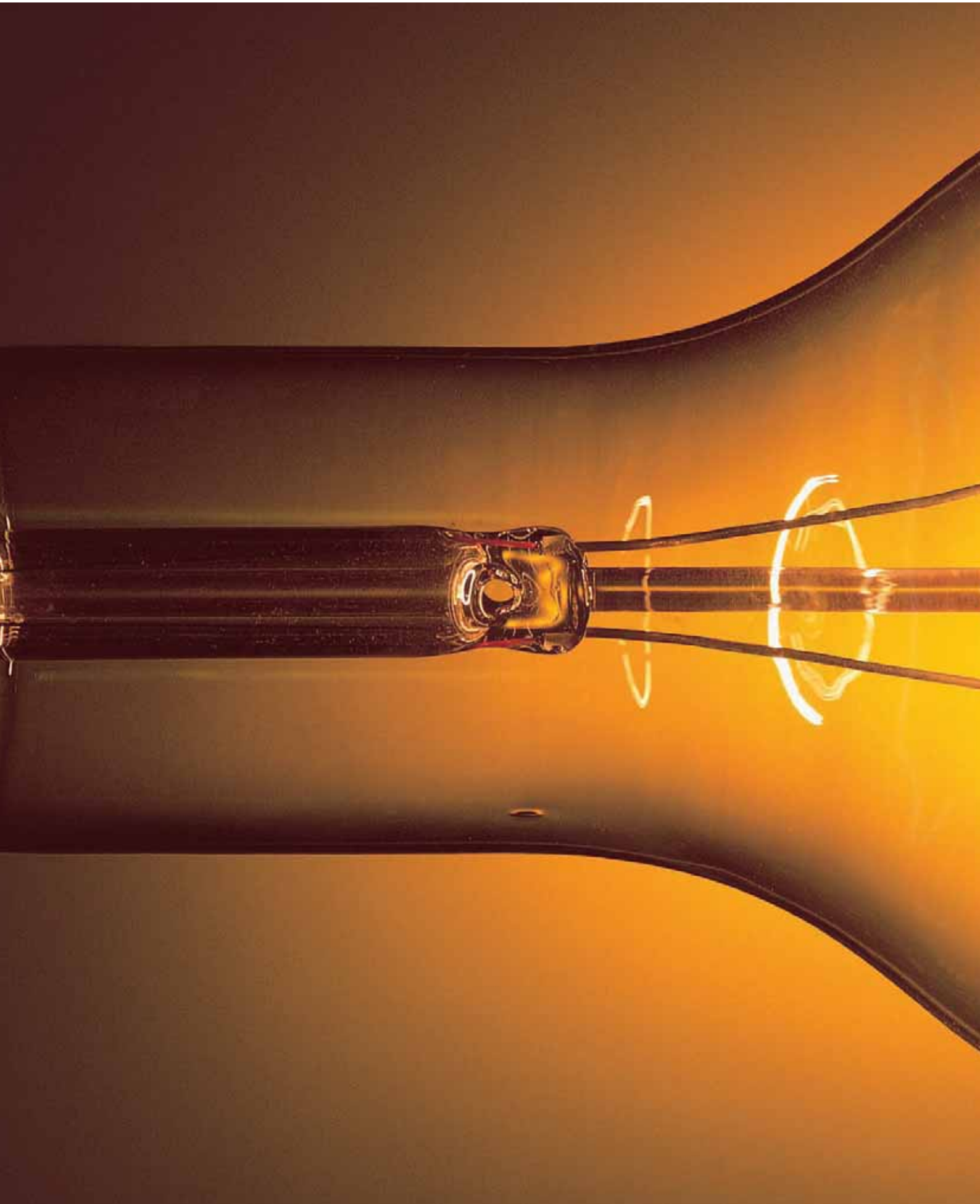
Grundlageninformationen lassen sich klassischen Baustoffkundebüchern entnehmen oder in systematischen Zusammenstellungen nachschlagen, die ökologische Belange hervorheben. Zunehmend entstehen auch Informationssysteme und Datenbanken, die Hilfestellung leisten. Darüber hinaus sind Ansätze zur Qualitätssicherung mittels Gebäudebrief oder -pass gegeben, die inzwischen von zahlreichen Institutionen angeboten werden.

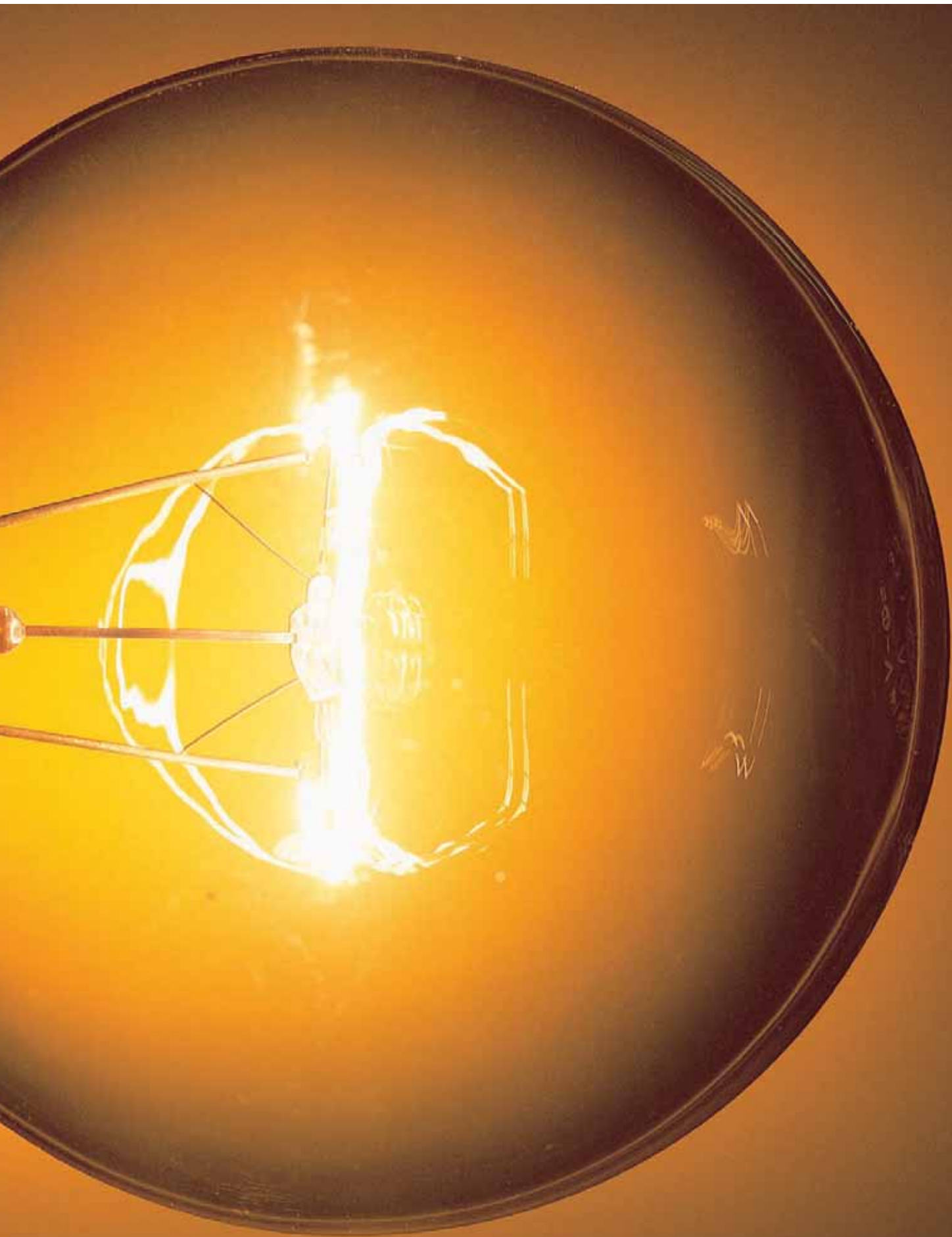
Fragen zu Produktspezifika können all diese allgemein gehaltenen Informationsmedien nicht beantworten. Dazu sind Datenbanken auf Produktebene erforderlich, die obendrein eine beständige Qualitätssicherung der geprüften Materialien zusichern. Es besteht zwar die Möglichkeit, die Hersteller um die entsprechenden Informationen zu bitten. Aber selbst wenn konkrete Inhaltsangaben mit Messergebnissen oder Zertifikaten geliefert werden, sollten diese kritisch betrachtet werden. Im Ernstfall hilft nur die Analyse der einzubauenden Produktcharge.



Literatur

- o Bayerische Architektenkammer, München (Hrsg.): ECOBIS 2000 – Das Ökologische Baustoffinformationssystem. 2000
- o Projekt LEGOE – Lebenszyklus von Gebäuden unter ökologischen Gesichtspunkten. Internet: <http://www.legoe.de>
- o Landesgewerbeanstalt Bayern, Nürnberg (Hrsg.): Datenbank ökologisch geprüfter Bauprodukte; Internet: <http://www.lga.de>







Mötzing bei Regensburg



3-Liter-Haus, Erlangen-Büchenbach

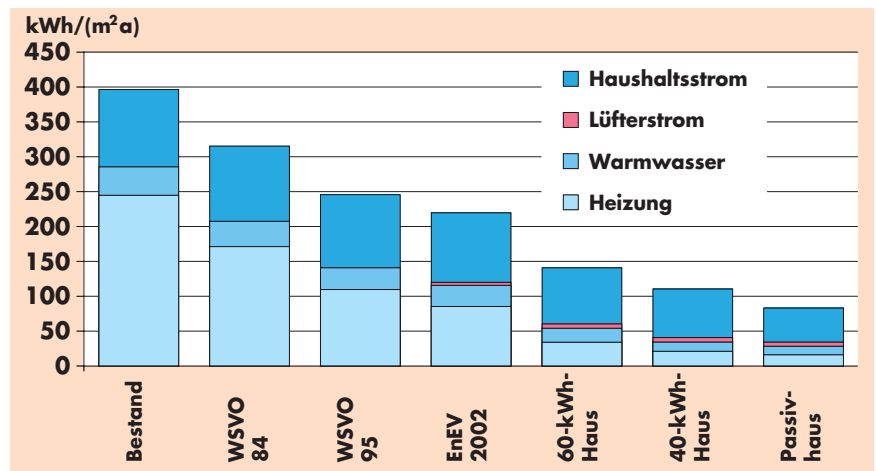


Mehrfamilienhaus Ganghoferstraße, München

Entwicklung der Energieeffizienz

Bestandsgebäude, die bis in die 60er-Jahre errichtet wurden, weisen einen Heizwärmebedarf von 200 bis 300 kWh/(m²a) auf. Das entspricht 20 bis 30 Liter Heizöl bzw. Kubikmeter Gas. Kompakte Gebäude liegen hier besser, bei ungünstiger Gebäudegeometrie können über 400 kWh/(m²a) erreicht werden.

In der Folge der Ölpreiskrise 1973 wurde die erste Wärmeschutzverordnung (WSVO) verabschiedet. Durch die zweite WSVO 1984 wurde ein Heizwärmebedarf von etwa 140 bis 170 kWh/(m²a) festgeschrieben und durch die dritte WSVO 1995 wurde ein weiteres Drittel eingespart. Niedrigenergiehäuser (NEH) entstanden seit Mitte der 80er-Jahre. 1991 wurde das erste Passivhaus in Darmstadt-Kranichstein mit einem Heizenergiekennwert von 15 kWh/(m²a) gebaut, diese Technik wird zunehmend zum Standard.



Primärenergiekennwerte verschiedener Baustandards

Die Energieeinsparverordnung (EnEV 2002) verschärft die Anforderungen der WSVO um etwa 25 bis 30% und erreicht in etwa den Niedrigenergiestandard. Anforderungsgröße ist der Primärenergiekennwert für Heizwärme und Warmwasserbereitung. Die Anlagenverluste werden durch eine primärenergetisch bezogene Aufwandszahl in die Berechnung einbezogen.

Die Tabelle stellt Größenordnungen für die Auswahl der Bauteile dar. Dabei werden Gebäude mit 40 und 60 kWh/(m²a) nach EnEV zusätzlich zu den o.g. Richtwerten aufgeführt. Sie liefern Standards nach dem CO₂-Minderungsprogramm der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW):

	WSVO 1995	EnEV 2002	60-kWh-Haus	40-kWh-Haus	Passivhaus
	U kWh/(m ² K)	U kWh/(m ² K)	U kWh/(m ² K)	U kWh/(m ² K)	U kWh/(m ² K)
Wände	0,4–0,6	0,25–0,5	0,15–0,25	0,10–0,20	< 0,16
Dach	0,3–0,5	0,20–0,4	0,12–0,20	0,10–0,20	< 0,15
Grund	0,4–0,5	0,25–0,4	0,20–0,30	0,15–0,25	< 0,16
Fenster	1,3–1,8	1,2–1,4	1,0–1,4	0,8–1,2	< 0,80
Lüftung	1	1/2/3	2/3	3	3

Lüftung: freie Lüftung (1), kontrollierte Lüftung (2), Abluftwärmerückgewinnung (3)

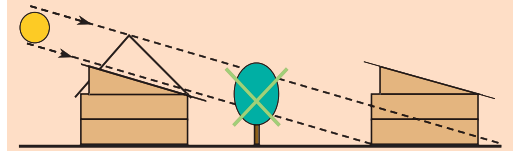
Passive Solararchitektur

Die Behaglichkeit in einem Gebäude ist besonders groß, wenn die Hülle thermisch hochwertig ausgeführt wird und die Beheizung weitestgehend durch kostenlose „passive“ solare und interne Energiebeiträge erfolgt.

Einige Entwurfsgrundsätze dazu:

- günstige Gebäudegeometrie
 - hohe Kompaktheit mit einem niedrigen A/V-Verhältnis
 - möglichst hohe Gebäudetiefe bei guter Belichtung
 - Verzicht auf Vor- und Rücksprünge
- sinnvolle Flächennutzung
 - gute Grundriss- und Grundstücksausnutzung
 - sparsamer Umgang mit Flächen
 - Flächen nur in sinnvollem Umfang heizen
- Ausrichtung
 - weitgehende Südausrichtung der Fensterflächen
 - Optimierung solarer Gewinne für Aufenthaltsräume
 - Abweichungen bis zu 30° zur genauen Südorientierung ohne gravierende Verschlechterungen des solaren Eintrags möglich
- Verschattung
 - Beachtung von Topografie, Gebäuden und Pflanzen
 - Vermeiden von Vorsprüngen und auskragenden Bauteilen in der thermischen Hülle
 - Geländer mit möglichst geringem Verschattungseffekt
 - Außen-Fensterleibungen mit eher geringer Tiefe
 - Verschmutzungseffekt von Fensterflächen reduzieren
- Wärmespeicherung
 - für den winterlichen Wärmeschutz nachrangig
 - wichtig für Kühlung im Sommer
- Zonierung und Raumzuordnung
 - bei hochwärmegedämmten Gebäuden kein großer Einfluss auf den Energieverbrauch
 - Wichtig ist die klare Trennung zwischen kaltem und warmem Bereich (Nebenräume, Kellerräume, Kellerabgang, Treppenhaus)

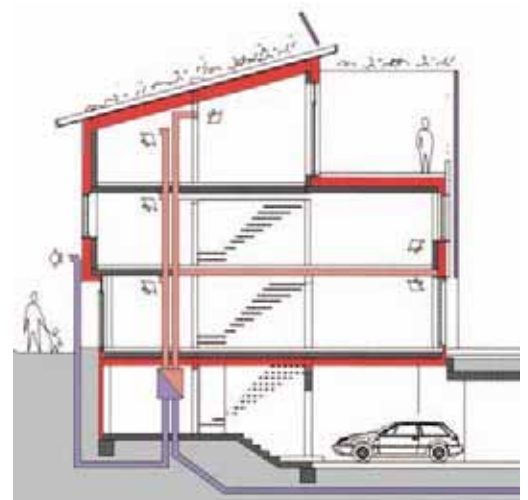
- Südausrichtung
- Verschattungsfreiheit
- optimierte Gebäudegeometrie



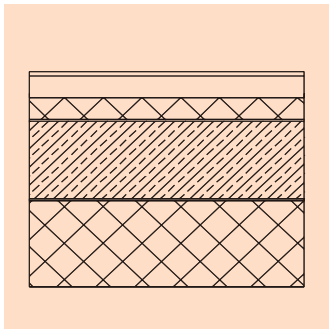
Wesentliche Aspekte der passiven Solarnutzung

Kriterien für Passivhäuser:

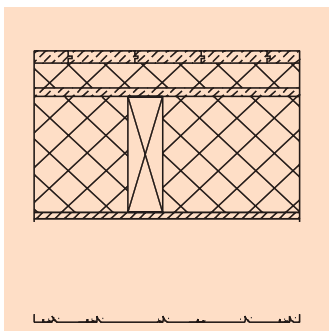
- Jahresheizwärmebedarf $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- maximale Heizwärmelast $\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
- Gebäudehülle $U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Fenster $U_w \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,
Energiedurchlassgrad $g \leq 50\%$
- weitgehende Wärmebrückenfreiheit
- Luft- und Winddichtheit: $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$
- Lüftungsanlage mit Abluftwärmehückgewinnung; Jahresrückwärmegrad $\eta_{\text{WBG},\text{t,eff}} \geq 75\%$,
Elektroeffizienz $p_{\text{el}} \leq 0,40 \text{ Wh}/\text{m}^3$
- Jahresprimärenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung und Haushaltsstrom $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$



Passivhaussiedlung „Im Sonnenfeld“
Ulm-Eselsberg; Schnitt



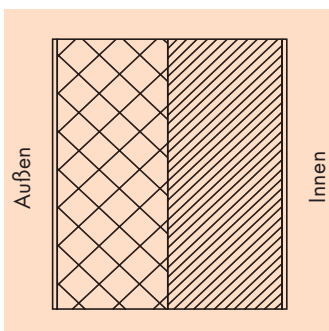
Bodenplatte, vorrangig unterhalb gedämmt



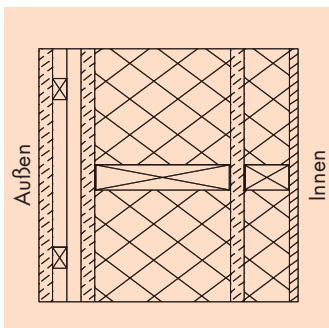
Hinterlüfteter Boden im Holzbau



Mauerwerk mit porosierter unterster Lage zur Wärmebrückenreduktion



Zweischalige massive Wand mit Funktionstrennung zwischen Tragschicht und Dämmschicht



Holzbauwand mit Installationsebene und hinterlüfteter Außenseite

Konstruktionen

Bodenplatte

Das Gebäude muss nach unten zum Erdreich thermisch und feuchtetechnisch abgeschirmt sein. Feuchtigkeitsabdichtungen können mit hohem Materialaufwand und ökologisch unvorteilhaften Materialien verbunden sein. Deshalb sollten schon beim Vorentwurf mit dem Bauherrn die daraus erwachsenden Konsequenzen bedacht werden, um frühzeitig Alternativlösungen zu finden.

Die Wärmedämmung kann grundsätzlich außerhalb und/oder innerhalb ausgeführt werden. Dämmen unterhalb der Bodenplatte ist mit kostenintensiveren Produkten wie Schaumglas, Polyurethan- oder extrudiertem Polystyrol-Schaum verbunden. Die Dämmung vollflächig unter der schwimmenden Bodenplatte ermöglicht wärmebrückenfrei Verbindungen mit den aufgehenden Wänden.

Bei Ausführung der Wärmedämmung oberhalb der Bodenplatte steht ein breites Angebot an Dämmstoffen zur Verfügung, die sich unterhalb des Estrichs durchaus mit Dicken um 25 cm ausführen lassen.

Unterlüftete Holzkonstruktionen stellen eine Alternative dar, die dämmtechnisch nochmals einfachere Lösungen erlauben.

Kellerdecke

Auch für die Kellerdecke gelten die o.g. Aussagen. Eine Dämmung unterhalb der Decke macht wegen der zusätzlich benötigten Befestigung durch Dübel oder Kleber und einer Verspachtelung oder Verkleidung allerdings einen erhöhten Aufwand erforderlich.

Außenwand in Massivbauweise

Mineralische Materialien weisen günstige Brandschutzeigenschaften auf und bei hoher Rohdichte Vorteile hinsichtlich des Schallschutzes. Weiterhin sind bei rein mineralischen Baustoffen kaum Emissionen zu erwarten.

Einschaliges Mauerwerk erreicht nicht die niedrigen U-Werte von Außenwandkonstruktionen mit zusätzlicher, außenliegender Dämmschicht. Wärmedämmverbundsysteme mit Dämmdicken bis über 30 cm werden als zugelassene Systeme angeboten. Damit sind U-Werte bis unter $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ zu erzielen.

Außenwand in Holzbauweise

Die ökologischen Aspekte von Holz werden auf Seite 26 ausführlich behandelt.

Holzkonstruktionen lassen sich in äußerst vielfältigen Formen erstellen. Die einfachste und kostengünstigste besteht dabei aus Außenschale, Ständerwerk mit Dämmung und einfacher Innenschale. Außen wird üblicherweise eine hinterlüftete Beplankung gewählt. Innen ist häufig eine zusätzliche Installationsebene sinnvoll, um die Luftdichtung sauber ausführen zu können.

Decke

Innerhalb der thermischen Hülle müssen Decken neben statischen Belangen vor allem Schallschutzanforderungen erfüllen. Grenzen sie an einen unbeheizten Bereich, kommt der Wärmeschutz hinzu. An diesen sind die gleichen Anforderungen zu stellen wie bei Außenkonstruktionen (s. Dach).

Dach in Holzbauweise

An der Dachkonstruktion lässt sich sehr schön zeigen, wie mit möglichst geringen Kosten eine hohe Dämmdicke zu erreichen ist. Wenn es gelingt, den konstruktiven Aufwand zu minimieren, sodass Mehrkosten nur aus dem erhöhten Volumen des Dämmstoffs resultieren, ist nahezu jede Dämmmaßnahme hochrentabel. Geht man von der üblichen Konstruktion mit Sparren von etwa 8/18 cm aus, so sind bei Pfettendachstühlen und üblichen Gebäudetiefen im Allgemeinen vier Auflager mit der jeweiligen statischen Abtragung erforderlich. Bei höheren Sparrenquerschnitten reichen drei Auflager (z. B. mittels Firstpfette), bei Pultdächern mit Holzprofilträgern sind zwei ausreichend. Die Mehrkosten der Sparren werden durch diese Einsparungen gedeckt. Als zusätzliche Kosten verbleiben nur die Aufwendungen für die erhöhte Dämmdicke.

Profilträger weisen zudem in der Fläche durch ihren geringeren Querschnitt einen niedrigeren Wärmebrückeneffekt auf, sodass die Gesamtkonstruktion bei gleichem U-Wert schlanker und mithin kostengünstiger ausgeführt werden kann. Auf diese Weise liegt der Kostenmehraufwand vom EnEV- zum Passivhausstandard nur noch bei ca. 5 bis 10 € pro m² Konstruktionsfläche.

Bei allen Holzkonstruktionen ist zu empfehlen, chemischen Holzschutz so weit wie möglich zu vermeiden.

Dach in Massivbauweise

Der Vorteil eines massiv ausgeführten Dachs liegt im Schallschutz und bedingt beim sommerlichen Wärmeschutz. Letzteres gilt bei sehr hohen Dämmdicken allerdings kaum noch. Vorteilhaft ist auch die Detailausbildung für luftdichte Konstruktionen. Der Nachteil besteht darin, dass zusätzlich zur Massivkonstruktion ein Aufbau für die Dämmung erforderlich ist. Dieser besteht meist aus einer Tragkonstruktion aus Holz, die von den Querschnitten und Kosten nicht bedeutend günstiger liegt als bei einem tragend ausgeführten Dach. Bei der Dämmung lassen sich nur unwesentlich Kosten sparen.

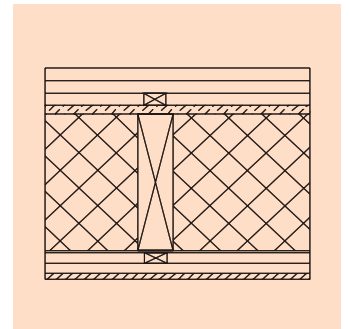
Kniestockausführung im Holzbau



Dachkonstruktion für ein Passivhaus aus vorgefertigten Holzelementen mit I-Profilen



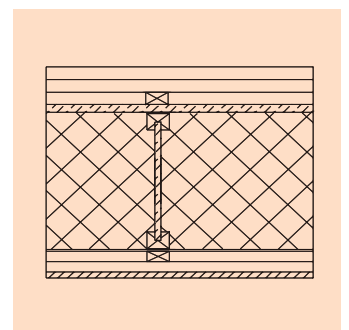
Dachkonstruktion mit Sparren aus Vollholz



Blick in eine Dachkonstruktion aus I-Profilen mit 40 cm Dämmdicke



Detailschema zum Bild oben





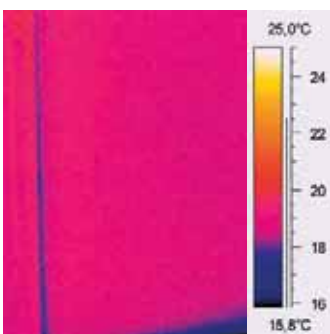
Einscheibenverglasung bei innerer Oberflächentemperatur unter dem Gefrierpunkt



Schnitt durch ein Passivhausfenster aus Holz mit Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung



Wärmebrückenarme Einbausituation eines passivhaustauglichen Kunststofffensters



Infrarot-Thermografie eines Fensters mit $U_w = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ von innen

Transparente Bauteile

Die Zeiten von Eisblumen an der Innenseite von Fenstern mit Einfachverglasungen sind vorbei.

Seit den 60er-Jahren werden Isolierverglasungen eingesetzt und Mitte der 80er begann der Einsatz von Wärmeschutzverglasung (WSV). Dabei halbiert sich der Wärmedurchgang gegenüber Isolierverglasung, indem der Scheibenzwischenraum mit einem Edelgas wie z. B. Argon gefüllt wird. Eine zusätzliche Metalloxidbeschichtung sorgt darüber hinaus dafür, dass die Wärmestrahlung im Raum weitestgehend gefangen bleibt.

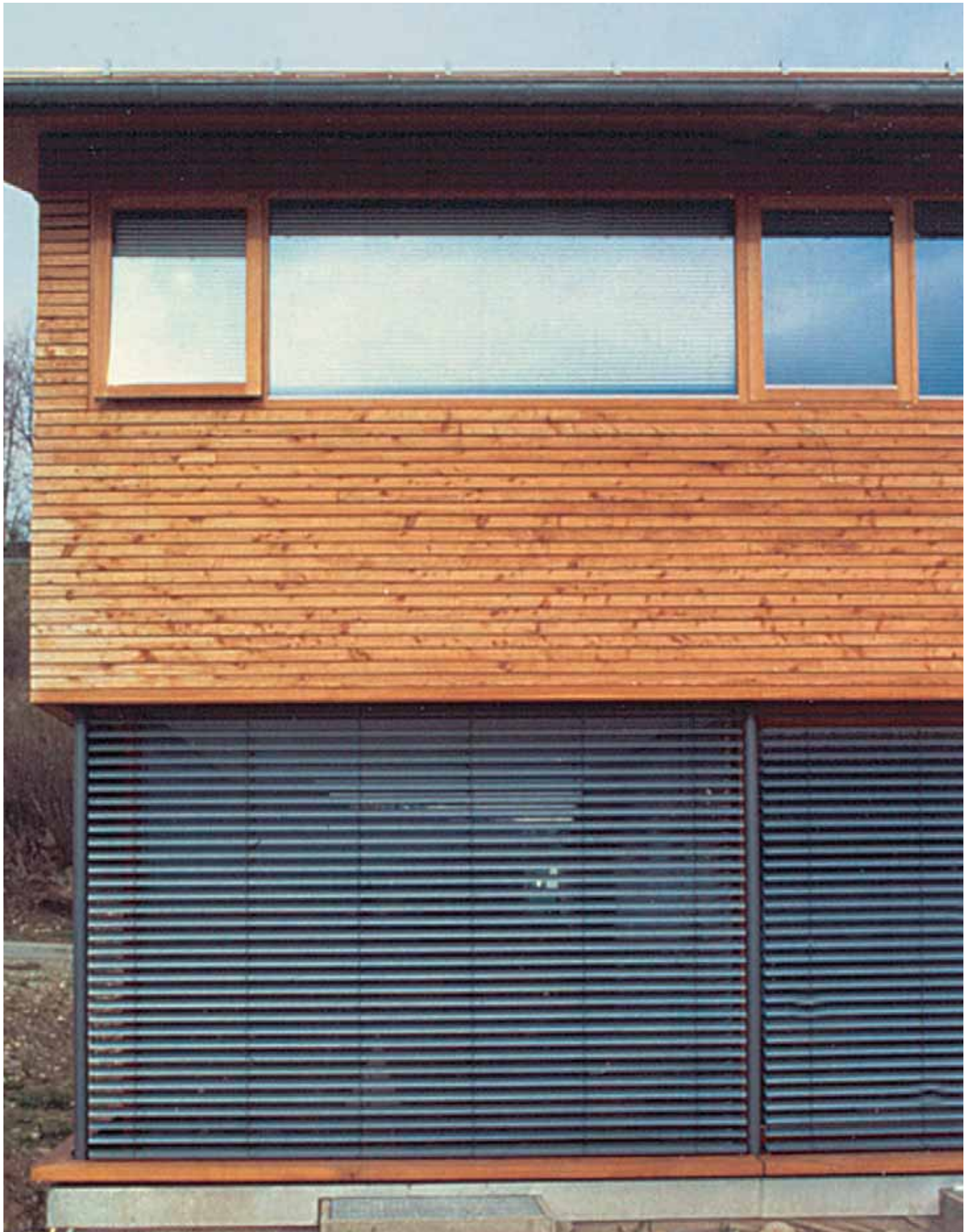
Fenster mit Zweifach-Wärmeschutzverglasung ermöglichten den Bau von Niedrigenergiehäusern. Mit Einführung der Wärmeschutzverordnung 1995 wurden sie zum Mainstream-Produkt und nahezu kostenneutral zur Isolierverglasung geliefert.

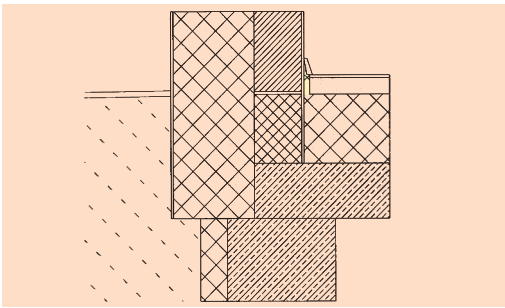
Dreifach-Wärmeschutzverglasung bringt nochmals eine Halbierung des U-Werts. Gegenüber Argon lässt sich durch eine Kryptonfüllung eine weitere Verbesserung erreichen. Der Solareintrag durch das Glas (Gesamtenergiedurchlassgrad/g-Wert) wird allerdings mit jeder Schicht geringer. Der große Vorteil liegt neben dem Wärmeschutz in den hohen Oberflächentemperaturen auf der Innenseite des Glases selbst bei niedrigsten Außentemperaturen. Die inneren Oberflächentemperaturen des Glases betragen $17,5^\circ\text{C}$ bei -10°C Außentemperatur. Dadurch wird ein hoher Komfortgewinn erzielt und eine Heizwärmezuführung im Bereich von Fenstern ist nicht mehr erforderlich. Bei Einscheibenverglasung beträgt die Vergleichstemperatur innen $-2,6^\circ\text{C}$, bei Isolierglas $8,3^\circ\text{C}$ und bei Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung $14,9^\circ\text{C}$.

Sinnvoll ist der Einsatz von solch hochwertiger Verglasung vor allem dann, wenn ein angepasster Rahmen verwendet wird. Die Tabelle zeigt den U-Wert für das gesamte Fenster (U_w) nach EnEV-Berechnung in Abhängigkeit von Verglasung und Rahmen. Ideal ist die Verwendung von gedämmten Rahmen, die einen U-Wert von U_f unter $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreichen. Als Passivhaus-Kriterium gilt ein U_w -Wert von maximal $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

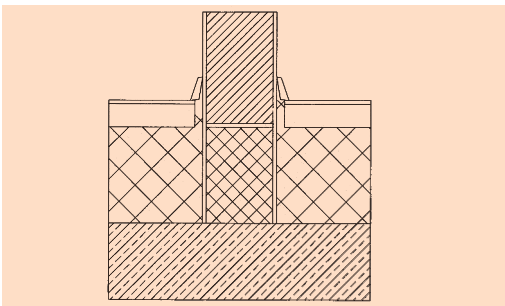
Wichtig ist der luftdichte und wärmebrückenreduzierte Einbau der Fenster. Günstig ist es, wenn die Wärmedämmung den Rahmen ringsum möglichst weit einfasst. Wie die Infrarot-Thermografie zeigt, bleibt dennoch der Verlust des Glasrandverbunds: Der dunkelblaue Streifen rings um die Verglasung erreicht nicht den nominellen U_g -Wert. Energetisch optimal sind deshalb große Verglasungen.

Verglasungs-U-Wert (U_g)			Fenster-U-Wert (U_w) in Abhängigkeit von Verglasungen und Rahmen		
Verglasung	U_g -Wert $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	g-Wert	Verglasung U_g $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	Rahmen U_f $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	Fenster U_w $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
Einfachglas	5,8	0,9–0,85			
2fach-Isolierglas	2,8	0,8–0,76			
2fach-WSV Argon	1,2	0,7–0,64			
3fach-WSV Argon	0,7	0,53–0,45			
3fach-WSV Krypton	0,6	0,60–0,45			
			1,2	1,7–1,8	1,5–1,6
			1,2	1,2	1,4
			0,7	1,4	1,1
			0,7	0,7	0,80
			0,6	0,6	0,70

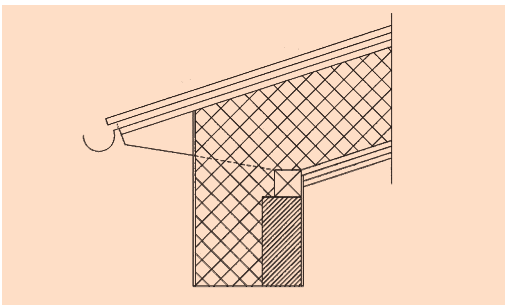




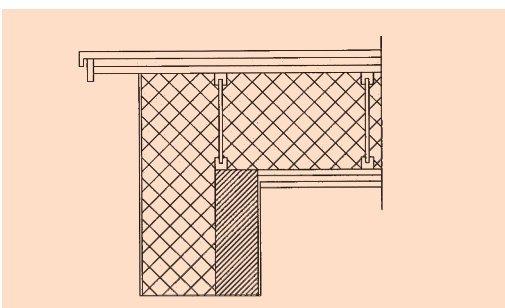
Anschluss des Mauerwerks zur Bodenplatte



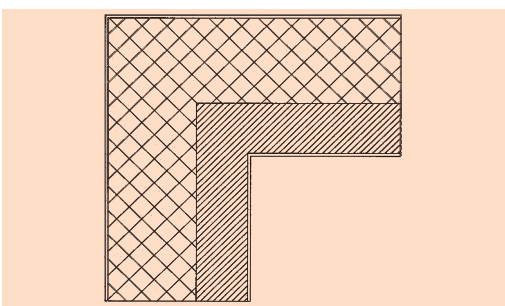
Innenwandanschluss zur Bodenplatte



Taufdetail



Ortgang



Geometrische (negative) Wärmebrücke: Außenecke

Wärmebrücken

Wärmebrücken sind Bereiche der Gebäudehülle, an denen gegenüber der Fläche erhöhte Transmissionswärmeverluste auftreten. Ihr Verlustanteil liegt bei 10 bis 20% – in ungünstigen Fällen auch darüber. Nach EnEV werden sie pauschal mit einem Aufschlag zum U-Wert von $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ gerechnet, bei Einhaltung von vorgegebenen Standarddetails mit $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Es ist aber sinnvoll, die Details in möglichst optimierter Form auszuführen und die Wärmebrücken in der Berechnung exakt zu bilanzieren.

Da die Flächen mit Außenmaßbezug gerechnet werden, können bei guten Detailausbildungen die Wärmebrückenverlustkoeffizienten (Ψ) negativ werden. An einigen Beispielen sollen die Effekte beschrieben werden:

Außenwand-Bodenplatte

Die ideale Lösung ist die vollflächige Dämmung unterhalb der Bodenplatte. Wenn jedoch ein Standarddetail wie in der Abbildung links oben gewählt wird, muss die unterste Lage der Außenwand mit möglichst geringer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda_R = 0,11\text{--}0,32 \text{ W}/(\text{mK})$ ausgeführt werden. Die dargestellte Lösung mit Passivhaus-Dämmstärken weist einen Ψ -Wert von ca. $-0,02 \text{ W}/(\text{mK})$ auf, d. h. für die Berechnung ergibt sich ein Bonus.

Für Holzkonstruktionen (Holz: $\lambda_R = 0,13 \text{ W}/(\text{mK})$) gilt sinngemäß das Gleiche: Schwellhölzer, Ständer und Beplankung wirken als Wärmebrücke und müssen vom Querschnitt im Wärmebrückenbereich minimiert werden.

Innenwand-Bodenplatte

Innenwandanschlüsse erzeugen immer Wärmeverluste, wenn sich die Dämmung nicht vollflächig unterhalb durchführen lässt. Es geht bei der Planung darum, die wärmebrückenwirksame Fläche der Wände zu minimieren und Materialien mit möglichst geringer Wärmeleitfähigkeit zu verwenden (dargestellte Lösung in der Abbildung links: Ψ ca. $0,01\text{--}0,02 \text{ W}/(\text{mK})$).

Traufe und Ortgang

Die Dämmung sollte in voller Dicke von der Senkrechten in die Dachfläche hinüberleiten. Wände dürfen nicht bis zur Oberkante der Dämmung geführt werden. Optimale Lösungen können ein ψ von ca. $-0,05 \text{ W}/(\text{mK})$ aufweisen. Gleiches gilt für Gebäudeaußenecken. Innenecken weisen immer Verluste im Vergleich zur Fläche auf.

Punktförmige Wärmebrücken

Bei Befestigungen von Geländern, Treppen, Markisen, Briefkästen, Lampen etc. sollten hochfeste wärmedämmende Materialien verwendet werden oder die wirksamen wärmeübertragenden Flächen möglichst klein sein. Am günstigsten liegen dabei Edelstahlbefestigungen: Bei einer Durchdringung von 1 cm Durchmesser entspricht $\Psi = 0,006 \text{ W}/(\text{mK})$ bei 4 cm $\Psi = 0,1 \text{ W}/(\text{mK})$.

Wind- und Luftdichtheit

„Zu errichtende Gebäude sind so auszuführen, dass die wärmeübertragende Umfassungsfläche einschließlich der Fugen dauerhaft luftundurchlässig entsprechend dem Stand der Technik abgedichtet ist.“ (EnEV § 5 Abs.1) Eine luft- und winddichte Ausführung ist zur Vermeidung von Feuchteschäden durch Kondensfeuchte, für den Luftschallschutz, zur Umgehung von Lüftungswärmeverlusten durch Leckage und dadurch möglicherweise verursachte Komfortminderungen notwendig.

Bei der Planung eines Gebäudes muss frühzeitig das Dichtheitskonzept erarbeitet werden. Stichpunktartig einige wichtige Aspekte dazu:

- möglichst einfache Form der wärmeübertragenden Gebäudehülle mit idealerweise wenig Materialwechsell
- Lage der wind- und luftdichten Ebene festlegen, klare Abtrennung zu unbeheizten Bereichen (z. B. Keller)
- Länge der Anschlüsse minimieren, homogene Flächen ausführen
- einfache Konstruktionen wählen, Durchdringungen vermeiden (z. B. Zangen im Dachstuhl)
- Haustechnik-Durchführungen reduzieren; ggf. Installationsebene einplanen
- flächen- und fugendichtende Materialien und Montagetechnik festlegen
- Durchdringungen und Anschlüsse bei der Detailplanung und Abstimmung mit den Handwerkern abklären

Die luftdichtende Schicht bildet beim Massivbau der Innenputz, alle Unterbrechungen müssen vermieden werden, so z. B. im Estrichbereich. Hinter Betontreppen, Kaminen oder Vorwandinstallationen muss luftdicht verspachtelt werden. Bei Leichtbaukonstruktionen dichtet man meist mit der Dampfbremsebene, gleich ob sie als Folie oder mit Platten ausgeführt wird. Bei Anschlüssen in der Fläche und zu angrenzenden Konstruktionen ist auf dauerhafte Abdichtung Wert zu legen. Die gleiche Sorgfalt muss auf die Winddichtung außen verwendet werden.

Zahlreiche Durchdringungen wie die Elektroinstallation, Leitungsstränge und Befestigungen sind besonders zu beachten.



Blower-Door-Test



Überprüfung einer Außenwand auf Luftdichtheit an einer Anschlussstelle



Luftdichtes Verspachteln hinter der Vorwandinstallation

Beim **Blower-Door-Test** (s. Foto oben) wird mittels eines Ventilators ein Über- bzw. Unterdruck von 50 Pascal im Gebäude erzeugt. Der dadurch entstehende Volumenstrom (bezogen auf das beheizte Luftvolumen) darf $n_{50} = 3 \text{ h}^{-1}$ nicht überschreiten. Bei Gebäuden mit raumlufttechnischen Anlagen gilt ein Wert von $1,5 \text{ h}^{-1}$, für Passivhäuser $0,6 \text{ h}^{-1}$.



Steckdosentornado beim Blower-Door-Test



Fensterlüftung

Luftwechsel (LWR)	Fensterlüftung alle 1–4 Stunden:		
	1 h	2 h	4 h
100 %	1,0 h ⁻¹	0,50 h ⁻¹	0,25 h ⁻¹
75 %	0,75 h ⁻¹	0,38 h ⁻¹	0,19 h ⁻¹
50 %	0,50 h ⁻¹	0,25 h ⁻¹	0,13 h ⁻¹



Gerät zur kontrollierten Lüftung



Abluftwärmerückgewinnung: Blick in ein Gerät



Abluftwärmerückgewinnung: Außenansicht

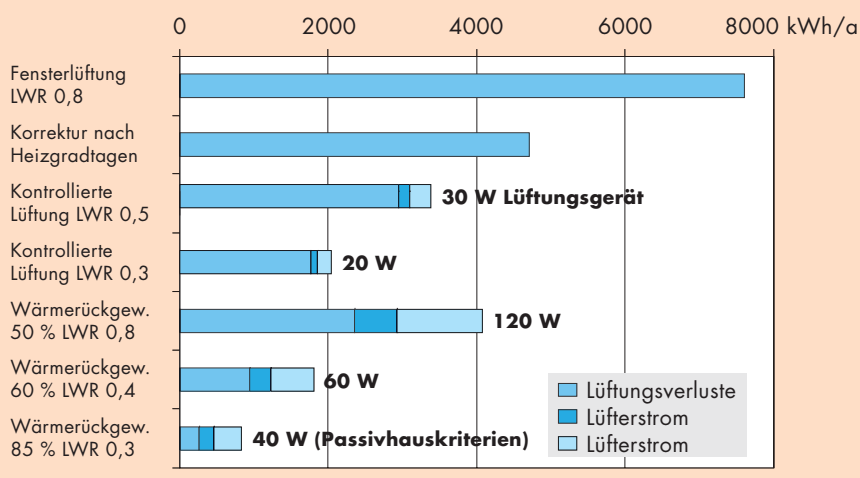
Lüftungsanlagen

Durch den Einbau von Zentralheizungen erhielten viele Gebäude in den 60er-Jahren eine größere wärmetechnische Behaglichkeit, es entfiel allerdings der ständige Luftaustausch, der durch die Verbrennungsluft von Einzelöfen gegeben war. Die Abdichtungsbemühungen mittels Gummilippendichtungen für Fenster und Türen taten nach der Ölpreiskrise in den 70er-Jahren ihr Übriges und führten auf Grund unzureichenden Lüftungsverhaltens zu weitgehend dichten Räumen und „dicker Luft“. Die Folgen in Form von Gesundheitsbelastungen, Allergien und „Sick Building Syndrome“ wurden in den 80er-Jahren heftig diskutiert.

Auf Seite 21 werden Grenzen der manuellen Lüftung dargestellt. Die Tabelle links zeigt, dass bei Fensterlüftung etwa alle 90 Minuten eine Querlüftung mit fast vollständigem Luftaustausch erfolgen müsste, um eine Raumluftqualität wie bei einer gut eingestellten mechanischen Lüftungsanlage zu erhalten, die für Aufenthaltsräume eine Luftwechselrate zwischen 0,4 und 0,8 h⁻¹ aufweist.

Die Qualität von mechanischen Lüftungsanlagen hat sich in den vergangenen Jahren gravierend verbessert, sodass auch aus Gründen der Energieeinsparung alles für diese Geräte spricht. Die Energieeinsparverordnung (EnEV) macht den Einsatz von Lüftungsanlagen durch einen Berechnungsbonus zusätzlich attraktiv.

Primärenergiebilanz für die Lüftungswärmeverlustrate verschiedener Lüftungssysteme



Die Abbildung oben zeigt für eine Wohneinheit mit 130 m² Wohnfläche die Entwicklung der Lüftungswärmeverlustrate in Abhängigkeit von der Lüftungsart: Durch eine kontrollierte mechanische Lüftung lässt sich mit optimierten Luftwechselraten (LWR) Energie einsparen. Abluftwärmerückgewinnungsanlagen haben sich in den letzten zehn Jahren von uneffizienten Geräten mit 50 % Jahresrückwärmegrad und einer elektrischen Aufnahmeleistung von deutlich über 100 W zu mittlerweile hocheffizienten Geräten entwickelt. Durch die Nachfrage nach passivhausgerechten Anlagen hat inzwischen fast jeder Hersteller ein Gerät mit einem Jahresrückwärmegrad über 75 % und mit einer hohen Elektroeffizienz von $p_{el} \leq 0,45 \text{ Wh/m}^3$ für Ventilatoren und Regelung im Angebot.

Kontrollierte mechanische Lüftung

Mit einer kontrollierten mechanischen Lüftungsanlage lässt sich eine festgelegte Luftmenge über Zuströmöffnungen in die Aufenthaltsräume führen, was eine gute Raumluftqualität gewährleistet.

Durch Überströmquerschnitte im Bereich der Türen und über die Flurflächen wird die Luft in Ablufträume wie Küche, WC und Bad geleitet und mittels eines kleinen Ventilators abgesaugt. Da sich die Luftmenge optimal einstellen lässt, können Lüftungswärmeverluste minimiert werden.



Ventilatorbox und Schalldämpfer einer kontrollierten Lüftungsanlage

Schema der kontrollierten Lüftung

Überströmöffnungen

z. B. Überströmgitter oder Türschlitze, ca. 150 cm² für 30–40 m³/h

Außenluftdurchlässe

Optional mit Allergiefilter, Sturmsicherung und Schalldämmung

Zuluftführung

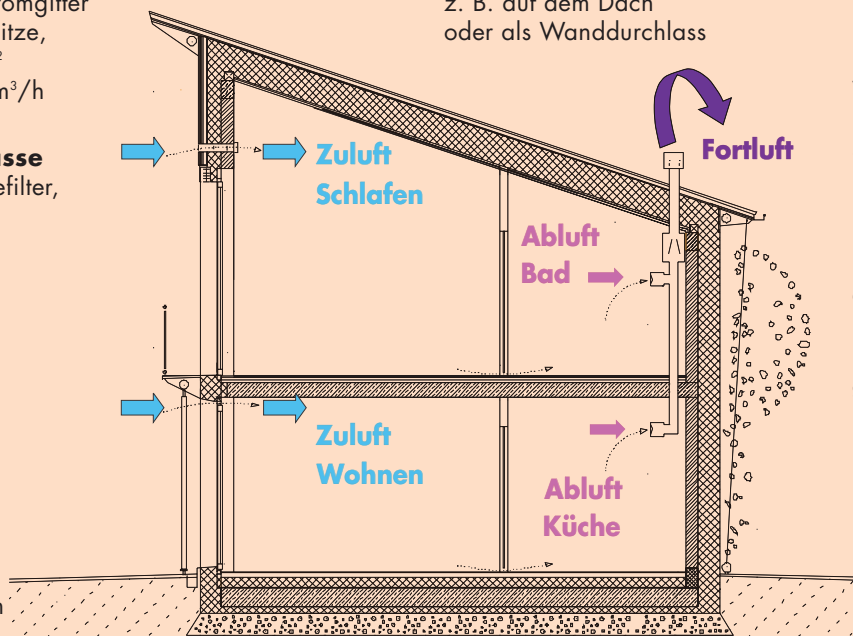
Aus Komfortgründen sinnvoll im Bereich eines Heizkörpers

Außenluftdurchlass

Alternativ integriert in die Fensterrahmen

Fortlufthaube

z. B. auf dem Dach oder als Wanddurchlass



Ventilatorbox

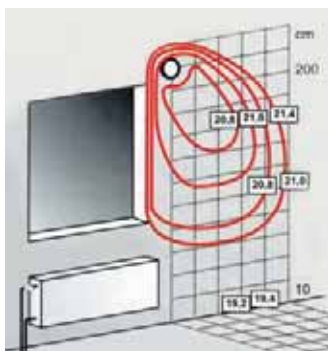
Elektroeffizienz $p_{el} \leq 0,15 \text{ Wh/m}^3$ (Leistungsaufnahme für Ventilator und Regelung pro m³ geförderte Luft); Schalldämpfer

Regelung

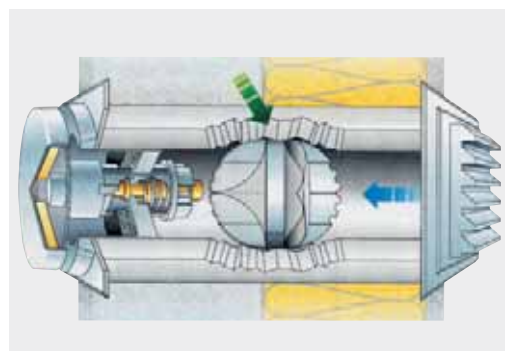
Grundstellung 30 m³/Person, mindestens 3-stufig, ggf. Feuchtesteuerung

Abluftdüse

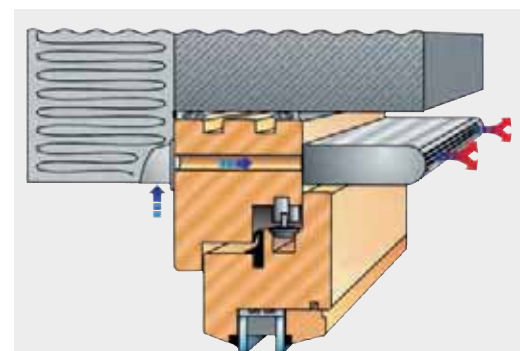
In Küche, Bad, WC, ggf. mit Filtermatte



Temperaturprofil bei -10°C Außentemperatur



Außenluftdurchlass als Wanddurchführung



Außenluftdurchlass als Fensterdurchführung



Abluftwärmerückgewinnungsgerät

Zu- / Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung

Bei einer Zu- / Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung wird die frische Außenluft gezielt über einen Filter angesaugt, gegebenenfalls über einen Erdreichwärmetauscher vorerwärmt und dann über den Wärmetauscher des Lüftungsgeräts geleitet. Dort wird die Wärme der Abluft, die aus Bad, Küche und Nebenräumen abgesaugt wird, auf die zuströmende Außenluft übertragen. Sie wärmt sich so z. B. von 0°C auf 17°C auf und wird dann über ein Rohrsystem in die Aufenthaltsräume geführt.

Durch die kontinuierliche Frischluftzufuhr ist ein hoher Raumluftkomfort gewährleistet. Außerdem wird auf äußerst effiziente Weise Energie eingespart.

Schema einer Zu- / Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)

Rohrnetz

idealerweise kurze und direkte Leitungsführung; Wartungsmöglichkeit insbesondere für die Zuluftleitungen

Überströmöffnungen

z. B. Überströmgitter oder Türschlitze, ca. 150 cm² für 30–40 m³/h

Zulufttemperatur

≥ 16,5°C als Behaglichkeitskriterium für den Aufenthaltsraum

Balance der

Zu- und Abluft-Massenströme, Disbalance ≤ 10%

Regelbarkeit

- Normallüftung 100%: 30 m³ pro Person
- Grundlüftung 50–75%
- Stoßlüftung 150–200%

Ansaugung

Höhe ≥ 1,50 m (≥ 2,50 m nach DIN)

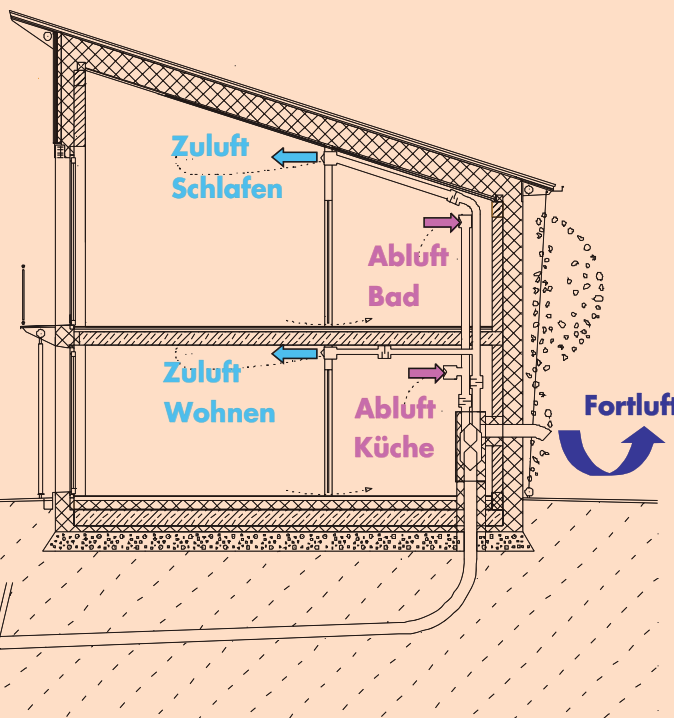
Außenluftfilter F7 (DIN EN 779: G3)



Revisionschacht mit Kondensatablauf

Erdreichwärmetauscher

(ERW), Rohr DN 150–200 mm (z. B. Kabelschutzrohr HD-PE), 15–40 m Rohrlänge, Verlegetiefe ≥ 1,50–2,00 m, umhüllendes Erdmaterial gut leitend (z. B. lehmig), einziges Leitungsteil mit evtl. Kondensatanfall, 2% Gefälle zum Kondensatablauf, ERW und Ansaugfilter regelmäßig auf Hygiene überprüfen/reinigen



Schalldämpfer

Schallpegel in Aufenthaltsräumen < 25 dB(A), Nebenräume < 30 dB(A)

Abluftfilter G4 (DIN EN 779: G2)

Lüftungsgerät mit WRG

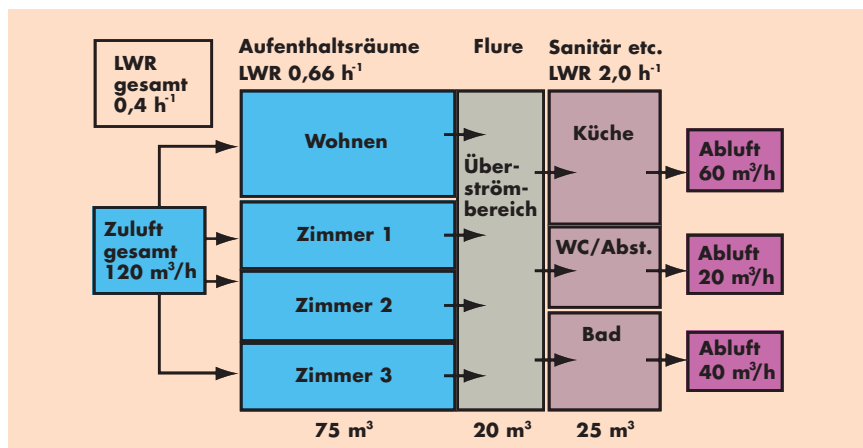
- Wärmebereitstellungsgrad des Geräts $\eta_{WBG,t,eff} \geq 75\%$;
- Elektroeffizienz $p_{el} \leq 0,45$ Wh/m³ (Leistungsaufnahme für Ventilator und Regelung pro m³ geförderte Luft)
- Dichtheit: Leckluftstrom ≤ 3% des Nenn-Abluftstroms
- Gerätedämmung: Gesamt-Transmissionsleitwert ≤ 5 W/K
- einfache und kostengünstige Inspektion und Wartung

Frostschutz des AWR-Wärmetauschers durch den ERW, **Alternative** zum ERW: Vorheizregister

Die hohe energetische Effizienz von Wärmerückgewinnungsgeräten lässt sich in der Tabelle rechts ablesen: Fensterlüftung mit einer Luftwechselrate von 0,7 h⁻¹ führt zu Lüftungswärmeverlusten von 48,5 kWh/(m²a), eine optimierte AWR kann die Werte um den Faktor 10 reduzieren.

Die Auslegung wird am Beispiel einer Wohneinheit mit 120 m² Wohnfläche dargestellt (siehe Diagramm unten). Die frische Außenluft von 120 m³/h (4 Personen à 30 m³/h) wird in die Aufenthaltsräume mit einer Fläche von etwa 75 m² geführt, entsprechend einer Luftwechselrate (LWR) von 0,6 bis 0,7 h⁻¹. Durch die Überströmbereiche wird die Luft in die Ablufträume geleitet und von dort mit den erforderlichen Abluftmengen abgesaugt.

Die Luftwechselrate über die gesamte Fläche beträgt im vorliegenden Fall etwa 0,4 h⁻¹. Bei Abwesenheit der Bewohner und im Nachtbetrieb lässt sich die Luftmenge z. B. auf 90 m³/h reduzieren. Eine Luftwechselrate von weniger als 0,3 h⁻¹ ist nicht empfehlenswert. Bei hoher Personenbelegung oder häufiger Stoßlüftung ergibt sich eine erhöhte Rate.



Schema der Luftwechselraten bei einer Abluftwärmerückgewinnung für eine Wohneinheit mit ca. 120 m² Wohnfläche bei einer Gesamt-Luftwechselrate von 0,4 h⁻¹

Es entstehen keine Zugscheinungen durch Abluftwärmerückgewinnungsanlagen. Die Bilder unten zeigen, wie die Zuluft die Räume vollständig durchströmt. Durch eine Weitwurfdüse wird die Luft (hier als Nebel visualisiert) ausgeblasen und verteilt sich entlang der Decke in den Raum. Dabei bewegt sie sich bereits ein bis zwei Meter hinter der Düse nur noch mit einer minimalen Luftgeschwindigkeit von weniger als 0,15 m/s und verteilt sich sehr langsam vollflächig auf den Raum, bevor sie durch die Überströmöffnungen abgesaugt wird.



Nebelversuch zum Nachweis der gleichmäßigen Luftverteilung in den Räumen

Lüftungswärmeverlust: Vergleich Fensterlüftung u. Abluftwärmerückgewinnung

Luftwechselrate	Fensterlüftung/ kontrollierte Lüftung	Jahresrückwärmegrad der AWR*	
		75%	90%
h ⁻¹	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
0,7	48,5	15,0	6,6
0,6	41,6	13,3	5,9
0,5	34,0	11,6	5,2
0,4	27,7	9,8	4,5
0,3	20,8	8,1	3,8

* Abluftwärmerückgewinnung

Außenluftansaugung mit Filter



Wärmetauscher des Lüftungsgeräts



Schalldämpfer



Weitwurfdüse



Überströmöffnung (alt. 20 mm Fuge unter der Tür)



Abluftelement mit Filter in der Küche





Heizung mit Gasbrennwerttherme



Holz-Pellet-Ofen



Wärmepumpen-Kompaktaggregate

Heizung

Transmissions- und Lüftungswärmeverluste, die durch interne Quellen und solare Gewinne nicht ausgeglichen werden, müssen Gebäuden durch Heizsysteme zugeführt werden. Die Auswahl der Heiztechnik beeinflusst intensiv den dadurch bedingten Primärenergieverbrauch. Die EnEV bildet die Qualität einer Heizanlage durch primärenergiebezogene Aufwandszahlen ab.

Öl- und Gasheizungen haben sich in den letzten vierzig Jahren durchgesetzt. Dabei wurde eine ständige Verbesserung der Wirkungsgrade und des Emissionsverhaltens erreicht. In den vergangenen Jahren wurde Brennwerttechnik zum Standard. Dabei wird das Abgas durch eine niedrige Rücklauftemperatur des Heizsystems auf etwa 50°C abgekühlt, wodurch sich die im Wasserdampf des Abgases enthaltene Kondensationswärme nutzen lässt. Optimierte Gasgeräte weisen Kesselwirkungsgrade von 105–109% auf.

Die primärenergiebezogenen Anlagenaufwandszahlen nach dem Tabellenverfahren der EnEV werden in der Tabelle links unten auszugsweise dargestellt. Sinnvoll ist der Einsatz von Brennwertsystemen in Verbindung mit Solarthermie.

Biomasse als Brennstoff verhält sich weitestgehend CO₂-neutral: Es wird beim Verbrennen nur das Volumen an Kohlendioxid freigesetzt, das der Umwelt zuvor beim Wachstum entnommen wurde. Viele herkömmlichen Festbrennstofföfen und -kessel haben den Nachteil hoher Schadstoffemissionen, insbesondere in der Anheizphase. Hackschnitzelheizung für Großanlagen und Pelletöfen bis Minimum 4 kW Leistung weisen hohe Wirkungsgrade und ein optimiertes Emissionsverhalten auf und sind deshalb sehr zu empfehlen.

Elektrisch betriebene Wärmepumpen sind dann sinnvoll einsetzbar, wenn ihre Leistungszahl (η) im Jahresmittel deutlich über 3 liegt. Dazu gilt grundsätzlich: Je geringer der Temperaturabstand zwischen der Wärmequelle und der Vorlauftemperatur der Heizungsanlage, desto höher ist η . Die Wärmequelle kann in Umgebungswärme begründet liegen wie Erdreich, Grundwasser, Umgebungsluft oder Restwärme aus anderen Systemen.

Wärmepumpenkomplettaggregate nutzen die Wärme aus der Abluft der integrierten Abluftwärmerückgewinnung und heizen über eine Kleinstwärmepumpe mit etwa 400 W Ausgangsleistung ein komplettes Einfamilienhaus – allerdings nur bei Passivhaus-Standard.

Direktelektrische Heizung ist auf keinen Fall empfehlenswert, weil für eine Kilowattstunde Strom die dreifache Menge an Energie im Kraftwerk benötigt wird.

Anlagenaufwandszahlen für Öl- und Gaskessel sowie für Wärmepumpen

A_N in m ²	100	150	200
Heizwärmebedarf kWh/(m ² a)	Anlagenaufwandszahl e_p (primärenergiebezogen) nach EnEV		
Niedertemperatur-Kessel, außerhalb therm. Hülle, zentrale Warmwasserbereitung			
40	2,29	2,01	1,87
60	2,01	1,80	1,70
80	1,85	1,69	1,60
Brennwert-Kessel, innerhalb therm. Hülle, solare Warmwasserbereitung			
40	1,21	1,16	1,14
60	1,18	1,15	1,13
80	1,17	1,14	1,13
Wärmepumpenanlage, zentrale Warmwasserbereitung			
40	1,32	1,26	1,20
60	1,15	1,10	1,06
80	1,05	1,01	0,98

Bei der **Kraft-Wärme-Kopplung** (Blockheizkraftwerk = BHKW) werden mittels eines Motors Strom und Wärme bereitgestellt. Gegenüber der üblichen Trennung von zentraler Strom- und dezentraler Wärmeerzeugung wird in der Gesamtbilanz eine Primärenergieeinsparung von 30 bis 45 % erreicht. Die Anlagen werden nach den Erfordernissen der Wärmeerzeugung geregelt. Ein Blockheizkraftwerk mit Kraft-Wärme-Kopplung leistet etwa 60 bis 80 % der Arbeit bei einer möglichst hohen Jahreslaufzeit von mehr als 4000 bis 6000 Stunden, wenn seine Leistung auf etwa 20 bis 30 % der maximalen Heizleistung ausgelegt wird. Ein Spitzenkessel wird nur für die kältesten Tage vorgehalten. Betriebswirtschaftlich sinnvoll ist der Einsatz von BHKWs bei größeren Wohnanlagen, wenn sich die Rahmenbedingungen in Absprache mit den Energieversorgern gut gestalten lassen.

Weitere Entwicklungen

Im Haustechnikbereich wird es in den nächsten Jahren zahlreiche Entwicklungen geben: Zunächst werden sich die Komponenten dem geringeren Energiebedarf der Gebäude anpassen müssen. Darüber hinaus gibt es technische Innovationen: Pelletgefeuerte Stirling-Motor-Konzepte (Gewinnung von mechanischer Energie aus Wärme) könnten einen interessanten Prozess auf dem Kraft-Wärme-Kopplungs-Markt einleiten. Sicher wird die Brennstoffzellentechnik (Wandlung von Wasserstoff in mechanische Energie und Wärme) den Haustechnikbereich revolutionieren. Sie wird in etwa 10 Jahren in den Markt drängen.

Latenzwärmespeicher als saisonale Kleinstsolarspeicher könnten eine große Zukunft haben, wenn sie in die Nähe der Wirtschaftlichkeit kommen.

Darüber hinaus gibt es Techniken wie die Geothermie (Erdwärme) und zahlreiche weitere Entwicklungen.



Kraft-Wärme-Kopplung



Pellet-Stirling



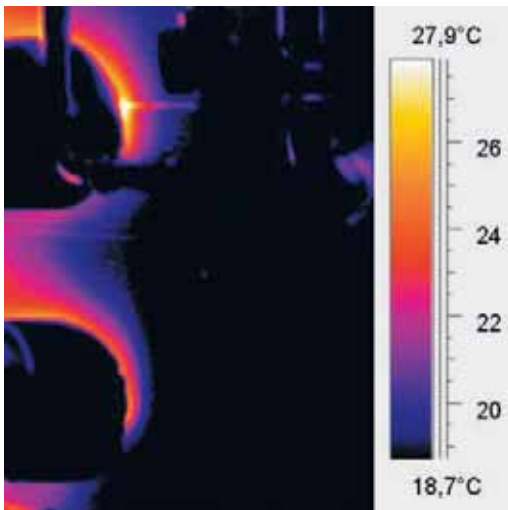
Brennstoffzelle



Latenzspeicher



Geothermie-Schema



Infrarotaufnahme von Wärmebrücken beim Speicheranschluss



Regelung



Wandflächenheizung

Es kommt nicht nur darauf an, eine möglichst optimale Heiztechnik zu wählen, sondern auch darauf, bei der Speicherung, Verteilung und Übertragung der Wärme auf die Räume sinnvolle Lösungen zu finden, um den gesamten Anlagenaufwand und Verluste gering zu halten.

Zentrale, Speicherung und Verteilung werden idealerweise innerhalb der thermischen Hülle untergebracht. Dachheizzentralen sind mit geringem Platzaufwand installierbar und reduzieren den Aufwand für die Abgasführung sowie damit verbundene Energieverluste, z. B. durch einen hinterlüfteten Kamin, deutlich.

Zudem sind hochwertige, aufeinander abgestimmte Komponenten zu verwenden. Die Elemente in der Zentrale, der Speicher und vor allem die Verteilungen müssen mit effizienter Dämmung versehen sein. Einsparungen bei Installation und Betrieb ergeben sich aus möglichst kurzen Leitungsführungen.

Optimierte Regelungen und minimierter Hilfsstrom-einsatz sind wesentlich, weil der Stromverbrauch nach EnEV mit dem Faktor 3 in die primärenergetisch gewichtete Anlagenaufwandszahl eingeht. Dazu gehört bereits in der Planungsphase die Recherche hinsichtlich des Stromverbrauchs von Regelung und Pumpen. Wichtig ist zudem eine gute Ausführung der Anlagenhydraulik mit minimierten Pumpenleistungen, verbunden mit einem präzisen Abgleich bei der Inbetriebnahme.

Die **Wärmeübertragung** auf das Gebäude hat einen großen Einfluss auf das Komfortempfinden und die Energieeffizienz. Je geringer die Wärmeleistung, d. h. je besser das Gebäude gedämmt ist, desto kostengünstiger und komfortabler kann die Wärmeübertragung auf die Räume erfolgen. Dabei sind niedrige Vorlauftemperaturen wählbar. Bei schlecht gedämmten Hüllflächen sind dagegen hohe Aufwendungen erforderlich.

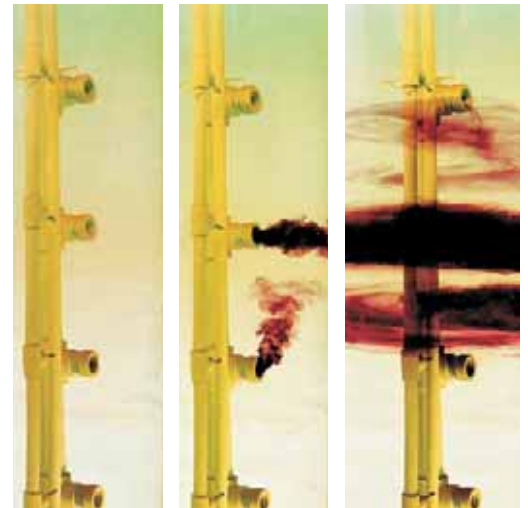
Flächenheizungen sind hinsichtlich des Übertragungskomforts grundsätzlich als vorteilhaft anzusehen. Bei Niedrigstenergie- oder Passivhäusern ist wegen der minimalen Heizleistung die Art der Wärmeübertragung bezüglich des Komfortempfindens sekundär. Übertragung über die Luft (Lüftungsanlage) ist allerdings nur bei Heizleistungen unter 10 W zu empfehlen, und eine solch niedrige Heizleistung ist nur bei Passivhäusern gegeben.

Warmwasserbereitung

Im Wohnungsbestand werden 10 bis 20 % des Energieverbrauchs im Haushalt für die Warmwasserbereitung benötigt. Je niedriger der Heizenergiestandard, desto höher liegt dieser Anteil. Bei Passivhäusern beträgt das Verhältnis ca. 50 %.

Nach EnEV wird der Bedarf für die Warmwasserbereitung pauschal mit 12,5 kWh/(m²a) angesetzt und dann mit der Anlagenaufwandszahl multipliziert. Aus zahlreichen gemessenen Beispielen wird in der Tabelle modellhaft der Vergleich verschiedener Versorgungssysteme hinsichtlich der Kosten und CO₂-Emissionen aufgezeigt.

Es ist zu berücksichtigen, dass der tatsächliche Verbrauch beim Warmwasser deutlich stärker von den Nutzern abhängt als bei der Heizung.



Wärmeeintrag in einen Schichtenspeicher

Vergleich verschiedener Systeme der Warmwasserbereitung

Anlage mit Warmwasserspeicher, 4 Personen à 40 Liter, $\Delta t = 40 \text{ K}$	Ölnieder-temp.kessel	Gasbrennwertgerät	Direkt-elektrisch
Warmwasser-Nutzwärme pro Jahr	2710 kWh	2710 kWh	2710 kWh
Erzeugerverluste (Faktor)	1,2	1,05	1,05
Speicherverluste (Faktor)	1,2	1,2	1,2
Zirkulationsverluste (Faktor)	1,15	1,15	1,15
Energieverbrauch pro Jahr	4490 kWh	3930 kWh	3930 kWh
Kosten je kWh (Endenergie)	0,05 €	0,05 €	0,18 €
Kosten pro Jahr	224,50 €	196,50 €	707,40 €
CO ₂ -Emissionen im Jahr	1316 kg	900 kg	2708 kg



Warmwasserleitungen, ummantelt von der Estrich-Dämmung

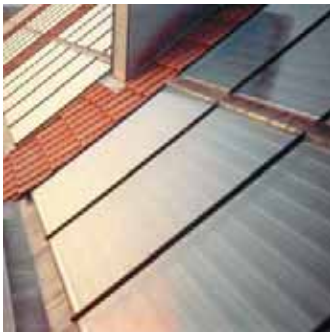
Empfehlungen für energiesparende Installation

- zentrale Sanitärerschließung mit nur einem Steigstrang
- Minimierung der Verteilleitungen
- hohe Wärmedämmung der warmen Leitungen
- kurze Wege zwischen Speicher und Verbrauchsstellen
- eigene Küchenzuleitung mit minimiertem Rohrquerschnitt
- warme Leitungen innerhalb der beheizten Gebäudehülle
- Verzicht auf Zirkulation beim Einfamilienhaus (falls doch: keine Zeitschaltuhr, sondern Anforderungstaster in Bad und Küche)
- Reduzierung der Durchflussmengen bei den Zapfstellen
- Einhebel-Spararmaturen, die in der Standard-Mittelstellung kein Warmwasser ziehen
- Warmwasseranschlüsse für Spül- und Waschmaschine

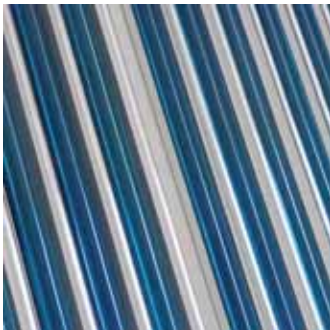
Duschen statt Baden ist ein Standard-Tipp – dennoch:
Auch Komfort gehört zum Leben!



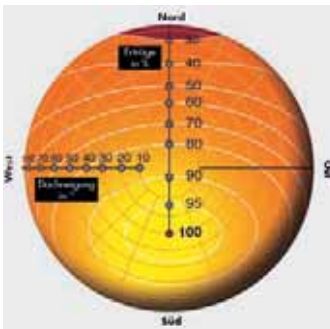
Wassersparende Waschtischarmatur



Flachkollektor



Röhrenkollektor: effizienter, aber teurer



Solare Erträge in Abhängigkeit von Ausrichtung und Dachneigung pro m²

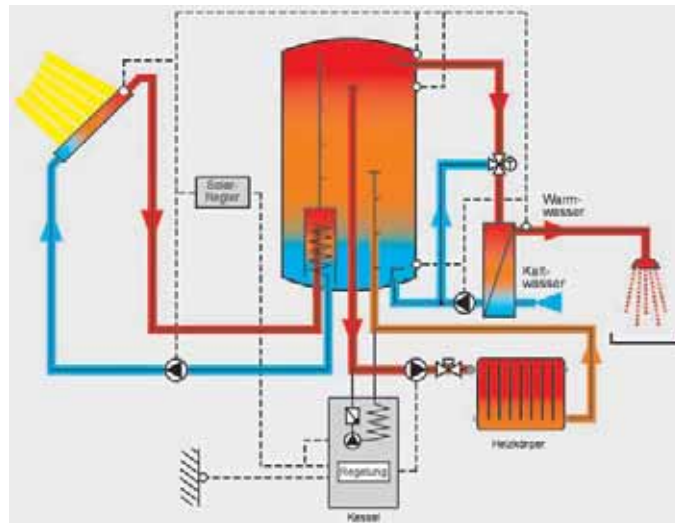


Schnitt durch einen Schichtenspeicher



Kollektoranordnung in der Fassade erhöht die winterliche Solarausbeute

Solarthermie



Solaranlagen-system mit Schichtenspeicher und Low-Flow-Technik sowie Einbindung der Heizung

Die aktive Umwandlung von elektromagnetischer Sonnenstrahlung (Wellenlängen von 0,29 bis 2,5 μm) in Wärme mittels Sonnenkollektoren wird als Solarthermie bezeichnet. Sonnenstrahlung trifft mit etwa 1000 W/m^2 auf die Erde. An einem trübem Wintertag kann sich die Leistung auf 50 W/m^2 verringern. Die jährliche Einstrahlung auf horizontale bzw. 45° nach Süden geneigte Flächen beträgt 900 bis 1200 kWh/m^2 . Die Ausrichtung der Solarkollektoren ist wesentlich für den Ertrag.

Bei der klassischen Solaranlage zur Trinkwassererwärmung wird die Solarwärme aus den Kollektoren mittels eines internen Wärmetauschers auf das Trinkwasser im Solarspeicher übertragen. Reicht das Solarangebot nicht aus, wird im oberen Bereich des Speichers mit dem Kessel nachgeheizt.

Größenordnung für die Dimensionierung von Brauchwasser-Solaranlagen

Anzahl Personen	Absorberfläche ca. m ²	Speichervolumen ca. Liter	Wärmegewinne kWh/a
2	3	250	1200
4	6	350	2400
6	7,5	550	3000
10	12	800	5000
40	38	2700	16.000

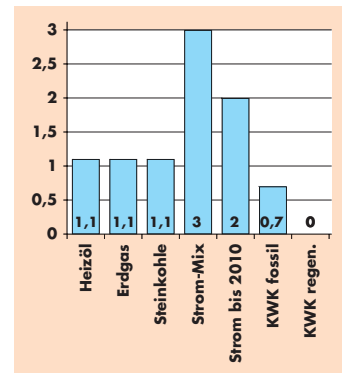
Eine höhere Ausbeute und die zusätzliche Möglichkeit zur Unterstützung des Heizsystems wird durch Zweispeichersysteme oder Anlagen mit Thermosyphon- bzw. Schichtenspeicher erzielt (s. Abb. oben). Bei Heizungseinbindung sollten sehr niedrige Vorlauftemperaturen für das Heizsystem gewählt werden, idealerweise im Bereich von 26°C , wie es bei Flächenheizungen oder Betonkerntemperierung möglich ist. Sinnvoll sind in einem solchen Fall senkrechte Solarflächen mit etwas erhöhter Fläche, um die solare Ausbeute im Winter zu steigern.

Heizanlageeffizienz

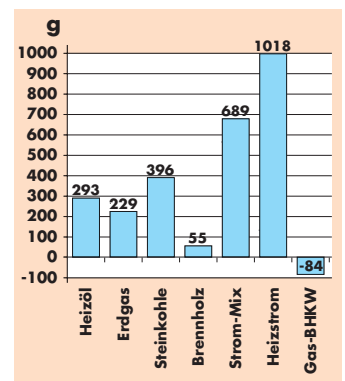
Wie auf den vorangegangenen Seiten beschrieben wird durch die Energieeinsparverordnung (EnEV) die Effizienz von Haustechnikanlagen transparenter. Über die Aufwandszahlen für die verschiedenen Komponenten der Heizanlage wird der Endenergiebedarf ermittelt. Dieser entspricht der ins Gebäude gelieferten Energiemenge, die z. B. am Gaszähler ablesbar ist. Darüber hinaus wird der Energieträger primärenergetisch bewertet (s. Abbildung rechts oben), sodass der Bauherr die Ressourcenbelastung beurteilen kann. Einzige Ausnahme bildet derzeit die Strom-Speicherheizung, für die seitens der Stromwirtschaft bis 2010 ein begünstigter Wert von 2,0 ausgehandelt wurde. Zum Vergleich ist die Kohlendioxidbelastung dargestellt.

Die EnEV schlägt zur Ermittlung der Primärenergie-Aufwandszahl drei Verfahren vor:

- Diagrammverfahren: grafische Ermittlung aus Diagrammen verschiedener Anlagenkonfigurationen
- Tabellenverfahren: Ermitteln der Werte für den jeweiligen Anlagenaspekt aus Tabellen (Kennwerte mit eher niedrigem Anlagenstandard)
- detailliertes Verfahren: exakte Ermittlung und Optimierung der jeweiligen Anlagenteile (zu empfehlen)



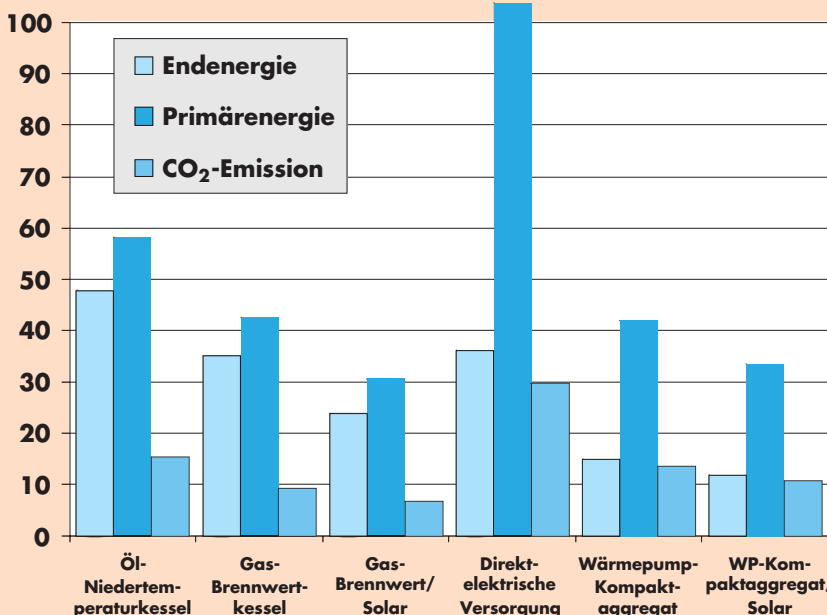
Vergleich des Primärenergiefaktors nach EnEV



Kohlendioxidemission in Gramm pro Kilowattstunde Endenergie

Effizienz- und Emissionsvergleich: Heizsysteme bei einem EFH in Passivbauweise (Heiz- und Warmwasserbereitung)

kWh/m²a



Quelle: PNI Darmstadt



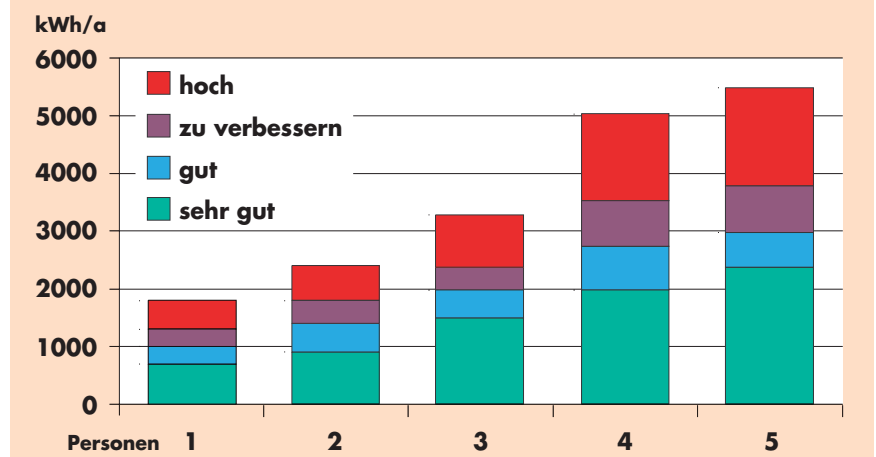
Ziel muss es sein, möglichst wenig Energie zu verlieren – Zustand vor dem Anbringen der Wärmedämmung



Strom

Elektrizität ist eine hochwertige Energieform, die sich für intelligente Anwendungen nutzen lässt – zum Verheizen ist Strom zu wertvoll! Aus Umweltsicht kommt hinzu, dass für jede Kilowattstunde aus der Steckdose knapp 3 Kilowattstunden für die Stromgewinnung verbraucht werden. Jede eingesparte Kilowattstunde entspricht im Bundesdurchschnitt einer Emission von fast 700 Gramm Kohlendioxid. Die ökonomische Betrachtung bestätigt die Einschätzung: Strom ist zu teuer für direkte Heizanwendungen.

Einstufung von Ein- bis Fünf-Personen-Haushalten nach Stromverbrauch pro Jahr



Je geringer der Energieverbrauch für die Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasserbereitung, desto offensichtlicher gilt es auch den Verbrauch von Haushaltsstrom zu senken. Während der Stromverbrauch bei bisher üblichen Gebäuden nur einen kleinen Teil des Gesamtverbrauchs ausmacht, kehrt sich die Bilanz bei Energiespargebäuden um. Besonders relevant wird dies bei der primärenergetischen Betrachtung.

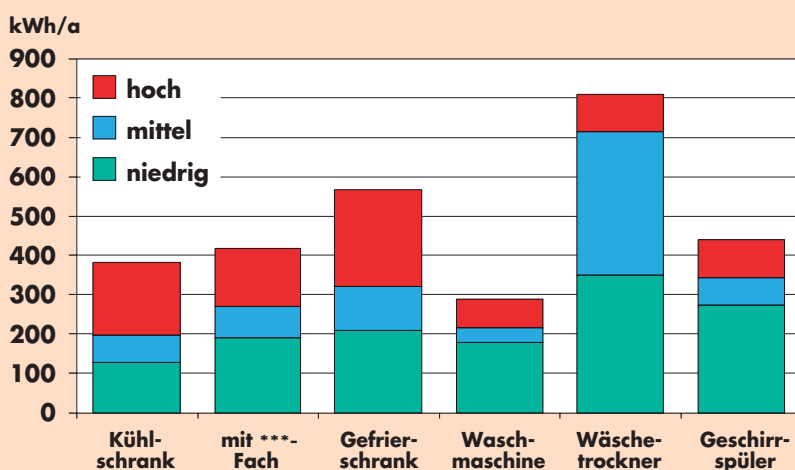
Strom sparen ist eine äußerst effiziente Form des Umweltschutzes. Wer Strom sinnvoll nutzt und die entsprechende Technik einsetzt, spart pro Kilowattstunde (kWh) 0,10 bis 0,20 € – das ist in vielen Bereichen äußerst rentabel.

Strom sparen bei Haushaltsgeräten

Der Stromverbrauch im Haushalt lässt sich mit geringem Aufwand bei hohem Komfort auf einen niedrigen Stand bringen. Die größten Stromfresser sind Elektrogeräte wie Herd, Kühlschrank und Waschmaschine. Die Energieeffizienz der Geräte variiert sehr stark und hat einen großen Einfluss auf den Haushaltsstromverbrauch. Elektrogeräte sind in Energieklassen von A bis F eingeteilt. Energieklasse A steht für einen niedrigen, Energieklasse F für einen hohen Stromverbrauch.



Einstufung von Energieverbrauch bei Haushaltsgeräten



Tipps zum sparsamen Betrieb von Haushaltsgeräten

Kühl- und Gefriergeräte Je kühler der Aufstellort, desto geringer der Energieverbrauch; ungünstig demnach: neben Herd, Spülmaschine oder Heizung; der Wärmetauscher hinter dem Gerät muss frei sein; Gefrierfach regelmäßig abtauen

Waschmaschine Warmwasseranschluss (wenn Warmwasserbereitung durch Heizkessel oder solar); Kochwäsche mit 60°C zu waschen, ist meist ausreichend, Buntes bei 30°C, Waschen ohne Vorwaschgang spart 15 Prozent

Wäschetrockner Wäsche vor dem Trocknen gut schleudern, mindestens 1000 U/min; Wäsche mit gleichen Trockenzeiten sammeln; Fassungsvermögen ausnutzen; Flusensieb reinigen

Geschirrspülen Geschirrspüler an Warmwasser anschließen (s.o.); nur volle Geschirrspüler anstellen

Kochen Gasherde sind primärenergetisch günstiger als Elektroherde; Kochen bei geschlossenem Deckel, mit wenig Wasser, Restwärme beim E-Herd nutzen; Wasser im Wasserkocher erhitzen

Beleuchtung Leuchtstoff- und Energiesparlampen verwenden, keine Halogenleuchten mit Trafo als Dauerverbraucher; Tageslicht nutzen!

Stand-by-Modus (Computer, Fernsehgeräte, SAT-Receiver und Stereoanlagen, Telefonanlagen, Anrufbeantworter, Faxgeräte etc.): Geräte ohne Stand-by-Modus kaufen: Moderne Geräte verfügen über automatische Abschaltungen



Optimierte Regelung wählen



Leitungssystem hydraulisch optimieren



Anlagensystem möglichst einfach wählen

Strom sparen bei der Haustechnik

Haustechnik benötigt Hilfsstrom für ihre Funktion und Regelung. Die Hausinstallation von Einfamilienhäusern weist in zahlreichen Fällen zwei Pumpen à 80 Watt und Regelungselemente mit 40 Watt auf. Bei einer mittleren jährlichen Laufzeit von 3000 Stunden ergibt das einen Stromverbrauch von 600 kWh, multipliziert mit dem Primärenergiefaktor, ergeben sich daraus knapp 1800 kWh – mit dieser Energiemenge lässt sich ein kleines Passivhaus komplett heizen. Bei komplexeren Anlagen von Mehrfamilienhäusern verschärfen sich die Probleme hinsichtlich der Anlagenoptimierung und des hydraulischen Abgleichs oftmals, sodass durchaus noch schlechtere Bilanzen zu verzeichnen sind. Der Stromverbrauch für die Gemeinschaft wird selten genauer unter die Lupe genommen.

Grundsätzlich sollten Haustechniksysteme so einfach wie möglich ausgeführt und bei der Planung die Hilfsenergien minimiert werden.

Tipps zur Reduzierung von Haustechnik-Hilfsenergie

System mit einfacher Regelung und geringer Anzahl von Pumpen und Hilfsaggregaten

Regelungen so einfach wie möglich und mit minimalem Stand-by-Verbrauch wählen; komplette Abschaltung der geregelten Anlage für nicht erforderliche Zeitbereiche (in der Nacht und bei fehlender Leistungsanforderung)

Kessel und Aggregate mit optimierter Elektrik, Pumpen und Ventilatoren (Leistungsaufnahme von den Herstellern abfragen)

Pumpen mit möglichst geringer Leistung auswählen und genau auf ein optimiertes Rohrnetz abstimmen, bei variierenden Durchflüssen geregelte Pumpen einsetzen

Hydraulischen Abgleich von Anlagen- und Leitungssystemen ausführen und bei Inbetriebnahme überprüfen

Zirkulation (z. B. von Warmwasser) vermeiden durch eine zentrale Anordnung der Haustechnik mit kurzen Leitungswegen und möglichst klein dimensionierten Querschnitten.

Lüftungstechnik mit optimierten Gleichstromventilatoren einsetzen (vgl. Passivhaus-Anforderung: Stromeffizienz $p_{el} \leq 0,40 \text{ W/m}^3$).



Pumpen mit geringer Leistung



Gleichstrommotoren bei der Lüftung



Energieeffiziente Kesselgebläse

Dezentrale Stromerzeugung

Seit der Liberalisierung des Strommarkts vermeldet die Stromerzeugung mittels regenerativer Energiequellen starke Zuwachsraten. Neben der Wasser- und Windkraftnutzung sind Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen mit Biomasse und vor allem die Solarenergie wichtige Faktoren für eine langfristig orientierte Energieversorgung. Durch den Einbau dieser Techniken oder das Beziehen von „grünem Strom“ können auch beim Wohnungsbau Impulse für eine nachhaltige Energieversorgung gegeben werden.

Fotovoltaik Solarzellen sind Siliziumscheiben mit zwei Schichten oder Beschichtungen mit unterschiedlichem elektrischem Verhalten. Eine Schicht nimmt negative Ladungsträger auf, die andere hat bei Bestrahlung einen Überschuss an positiven Ladungsträgern, wodurch der Stromfluss zu Stande kommt.

Die Entwicklung geht mittelfristig von den bisher vorherrschenden kristallinen Solarzellen zu amorphem Silizium, für das auf Grund der dünnen Beschichtungen relativ wenig Halbleitermaterial benötigt wird. Die energetische Amortisationszeit wird für kristalline Zellen mit 2 bis 6 Jahren angegeben und für amorphe Zellen mit 1 bis 3,5 Jahren. Die Investitionskosten für eine Fotovoltaikanlage liegen bei 5000 bis 8000 € pro kW_{peak}.

Durch die Einspeisevergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und Förderprogramme sind Fotovoltaikanlagen wirtschaftlich durchaus interessant.

Windenergieanlagen wandeln nach dem aerodynamischen Auftriebsprinzip mechanische Windkraft in elektrische Energie. Da sich die Leistung der Anlagen proportional zur dritten Potenz der Windgeschwindigkeit verhält, sind Anlagen nur in Gegenden mit einem sehr guten Windangebot sinnvoll zu betreiben. Die spezifischen Anlagenpreise liegen bei etwa 750 €/kW zzgl. etwa 35% für Fundamentierung und Netzanschluss, woraus sich Stromgestehungskosten zwischen 0,035 und 0,085 € ergeben. Bei der Errichtung müssen neben den energetischen Aspekten Naturschutzbelange berücksichtigt werden.

Wasserkraftnutzung kann sinnvoll in dezentralen Anlagen mit kleinen Turbinen erfolgen. Durch meist künstlich erzeugte Staustufen wird die Fallhöhe für die Turbinen geschaffen. Die spezifischen Kosten liegen zwischen 3000 und 5000 €/kW für den Neubau. Da die Anlagen jedoch eine Laufzeit von 5000 bis 8760 Jahresstunden haben, tendieren die Stromgestehungskosten in günstigen Fällen zu ähnlichen Werten wie bei der Windkraft.



Wirkungsgrad verschiedener Solarzellen

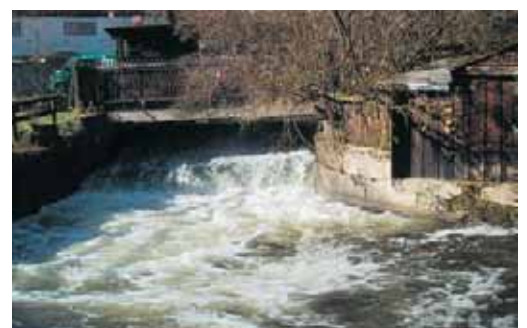
Solarzellentyp	Wirkungsgrad
Monokristallines Silizium	15–17,5 %
Polykristallines Silizium	14–15 %
Amorphes Silizium (Dünnschicht)	5–7 %
Kupfer-Indium-Selenid CIS (Dünnschicht)	10–13 %



PV-Module



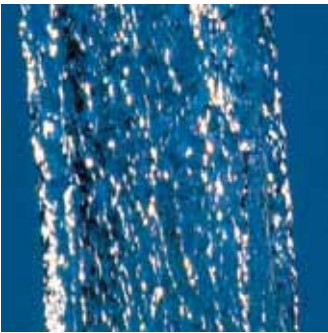
Windkraft



Wasserkraft

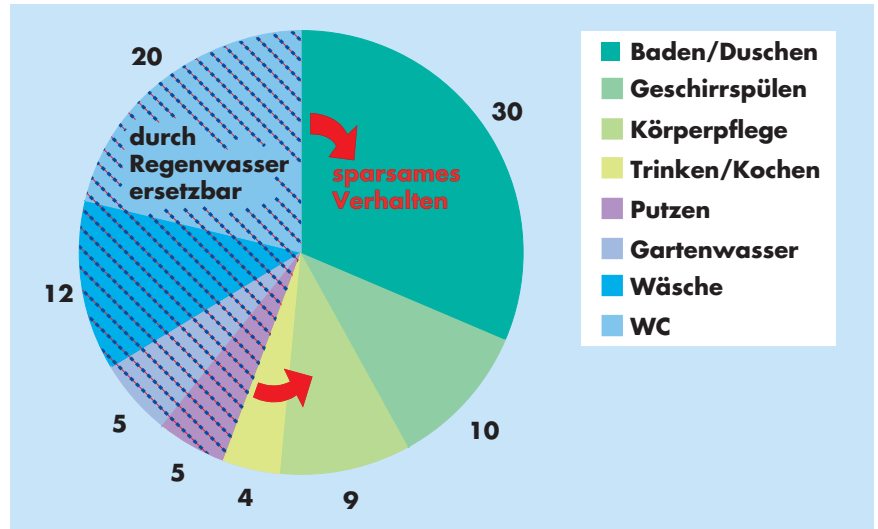






Einsparpotenziale

Der Trinkwasserverbrauch beträgt in Deutschland pro Person etwa 120 bis 140 Liter Pro Tag. Mindestens die Hälfte davon lässt sich durch verbrauchsminderndes Verhalten und die Nutzung von Regenwasser einsparen. Es kann für Gartenbewässerung, WC-Spülung, Wäsche waschen und Putzen verwendet werden.

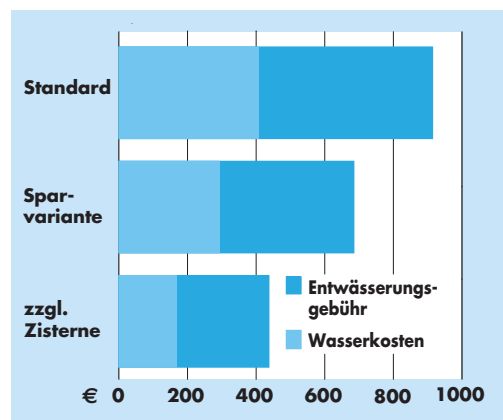


Täglicher Wasserverbrauch für eine Person in einem sparsamen Haushalt (Angaben in Liter)

Trinkwasser wird mit einem hohen Aufwand in Lebensmittelqualität bereitgestellt. Es werden jedoch nur drei bis vier Liter täglich für Kochen und Trinken benötigt. Bei den restlichen Anwendungen liegt ein hohes Einsparpotenzial allein im bewussten Umgang mit Wasser – ohne Komfortreduktion. Wesentliche Prinzipien dabei sind:

- Wasser fließt nur dann, wenn es wirklich benötigt wird
- Die Durchflussmenge entspricht der Nutzungsanforderung
- Wasserqualität der Nutzung anpassen
- Reduktion von unnötigen Wasserverlusten

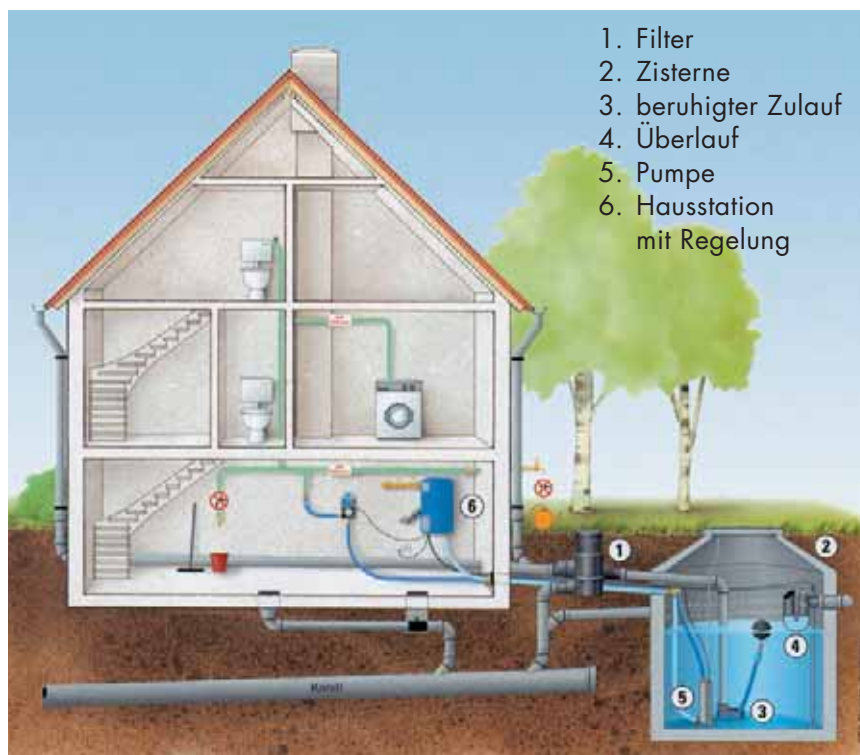
Diese Aspekte lassen sich durch frühzeitige Planung und Einspar-konzepte, durch Technik (automatische Regelung, Armaturen etc.) und durch Nutzerverhalten umsetzen.



Kosten für einen Vier-Personen-Haushalt (Kosten pro m³ Wasser 2€, Abwasser 2€)

Regenwassernutzung – sinnvoller Ersatz für Trinkwasser

Regenwassernutzung lässt sich mit sehr einfachen Anlagenkonzepten relativieren: Vom Dach oder sonstigen Auffangflächen wird das Wasser in eine Zisterne geleitet. Bei höheren Anforderungen an die Wasserqualität ist vorher ein Filter einzubauen. Die Zisterne enthält einen Überlauf, über den das Wasser versickert oder in die Kanalisation geleitet wird. Die Nutzung des Regenwassers erfolgt über eine Pumpe, die es über eine Regelung der Hauswasserstation bereitstellt. Die Nachspeisung erfolgt kaum mehr über die Zisterne, sondern bei den meisten Anlagenkonzepten direkt über die Hauswasserstation. Dabei ist darauf zu achten, dass es keine direkte Verbindung zwischen Trinkwasser- und Regenwassernetz gibt.



Schema der Regenwassernutzung mittels Zisterne und Hauswasserstation

Die Auslegung einer Zisternenanlage hängt von zahlreichen Planungsparametern wie Regenertag, Auffangfläche mit Abflussbeiwert, Zisternenvolumen und Wasserbedarf ab. Anlagen für Mehrfamilienhäuser sollten präzise berechnet und ausgelegt werden. Für einen Vier-Personen-Haushalt ergibt sich ein nutzbarer Zisterneninhalt von 4 bis 6 Kubikmetern bei etwa 4 Wochen Versorgungssicherheit (= Zeit ohne Niederschläge). Eine solche Anlage kostet für den Zisternenbehälter inklusive Erdarbeiten und Leitungen 1500 bis 3000 €, dazu kommt nochmals die gleiche Summe für die Installationen im Haus und die Hauswasserstation samt Regelung. Eine Amortisation erfolgt im günstigsten Fall nach 10 Jahren, wobei Mehrfamilienhäuser bei optimierter Planung besser dastehen.



Zisterne mit Vorfilter



Hauswasserstation



WC-Spülung mit Regenwasser

Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit ist oftmals die kommunale Handhabung der Entwässerungsgebühren: Wird für Zisternenwasser eine Einleitungsgebühr verlangt, wird der umweltfreundliche Bauherr unter Umständen bestraft: Er muss einen weiteren Wasserzähler einbauen und warten lassen und zudem für Regenwasser, das er sinnvoll genutzt hat, statt es direkt in den Kanal zu leiten, noch Entwässerungsgebühren zahlen.



Überschwemmung 1999 in Oberbayern



Regenwasserkonzept Wohn- und Gewerbegebiet



Retentionsmulde



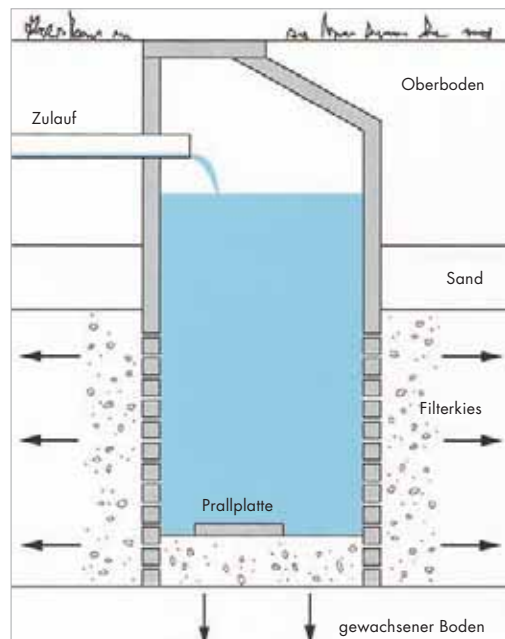
Individuelle Nutzung von Wasser

Regen- und Grundwasser

Regen bzw. Wasser ist ein elementarer Bestandteil unserer Umwelt. Auf der einen Seite lebensnotwendig – auf der anderen Seite eventuell auch eine Bedrohung. Regen und Feuchtigkeit müssen von Gebäuden abgeleitet werden, damit keine Bauschäden entstehen. Dennoch ist es sinnvoll, Regenwasser nicht auf dem schnellsten Weg abzuleiten, sondern in einem zeitversetzten Rhythmus, um die Überschwemmungsgefahr in Flussgebieten zu reduzieren.

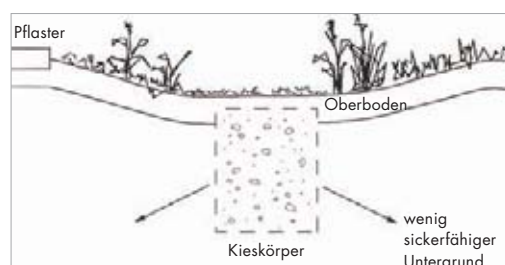
Das Planungsziel muss darin bestehen, die negativen Folgen der Versiegelung für Natur und Wasserhaushalt gering zu halten:

- Minimierung von versiegelten Flächen
- sickertfähig ausgeführte befestigte Wege und Flächen
- Zwischenspeicherung von Regenwasser und Verdunstungsmöglichkeiten in Retentionsflächen, Gartenanlagen und begrünten Dachflächen
- Regenwassernutzung
- Versickerung von verbleibendem Regenwasser
- keine Einleitung von Regenwasser oder gar Dränagewasser in den Schmutzwasserkanal
- falls auf Grundstücken keine Versickerung möglich ist, Ausführen eines Trennsystems bei der Erschließung
- bei erhöhtem Grundwasserstand oder Schichtenwasser Abdichtung von Kellern/Ausführung einer Wanne

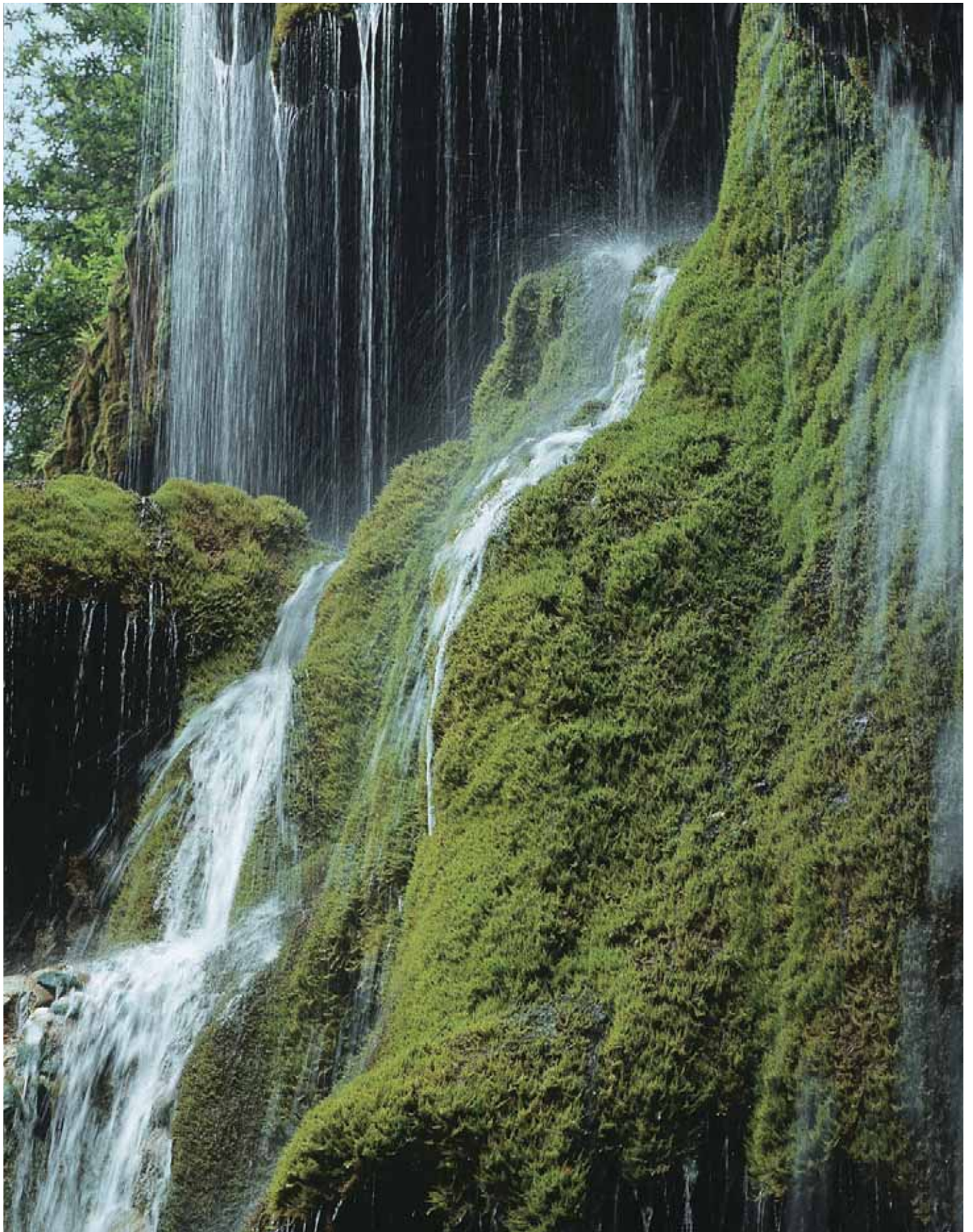


Durch Entwässerungs- und Sickerstechniken sowie durch die Planung von Rinnen, Brunnen, Wasserläufen, Teichen und Mulden ist Regenwasser auch in dicht bebauten Gebieten als sehr ursprüngliches Element zu erleben.

Schachtversickerung, auch möglich in Verbindung mit einer Zisterne oder bei hohem Grundwasserstand als Sickerbrunnen



Rigolenversickerung







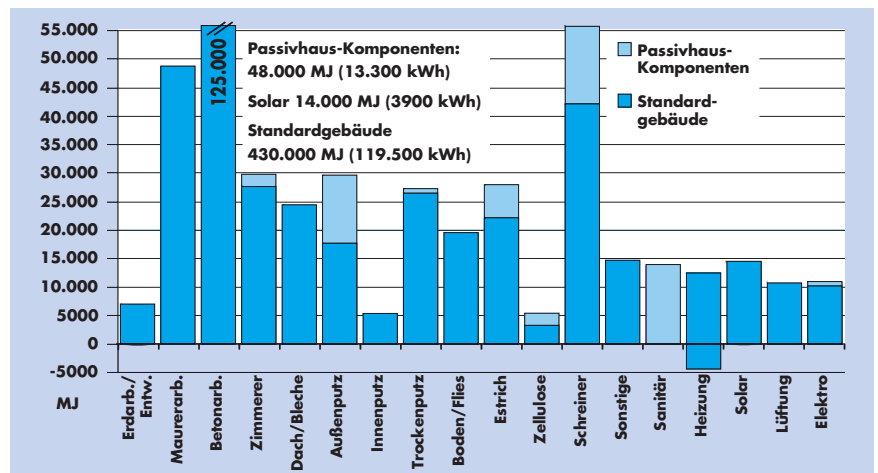
Effizienz ökologischer Maßnahmen

Die Effizienz ökologischer Maßnahmen lässt sich nur unter umfassenden volkswirtschaftlichen Aspekten bewerten, wobei in einer Gesamtkostenrechnung unmittelbarer Nutzen sowie mittel- und langfristige gesamtgesellschaftlich-ökologische Schäden gegeneinander gerechnet werden.

Bei der Energieeffizienz lassen sich projektbezogene Aussagen zu Teilaspekten auf Projektebene treffen, wie im unten angeführten Beispiel die Primärenergieaufwendungen für Gebäude.

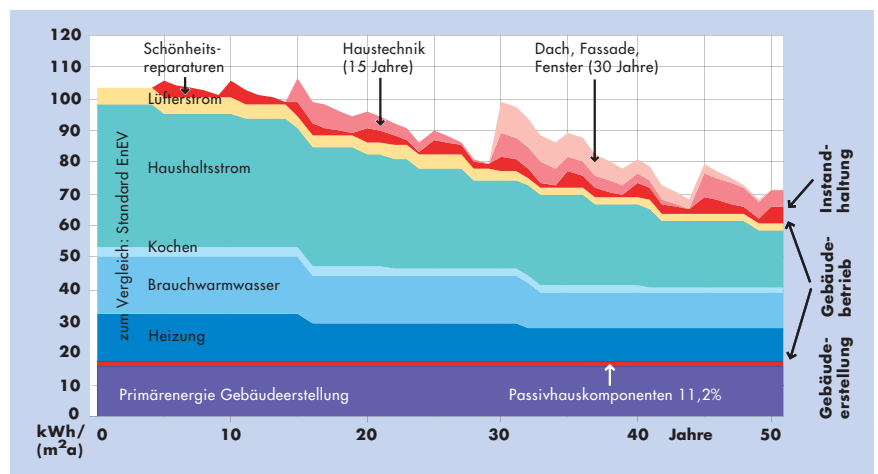
Am Beispiel einer Doppelhaushälfte in Passivhausweise (126 m² WF/20 m² NF) wird der primärenergetische Mehraufwand gegenüber einem Standardgebäude gewerkeweise dargestellt.

Der Mehraufwand beträgt bei dieser und ähnlichen Berechnungen zwischen 8 und 13 %.

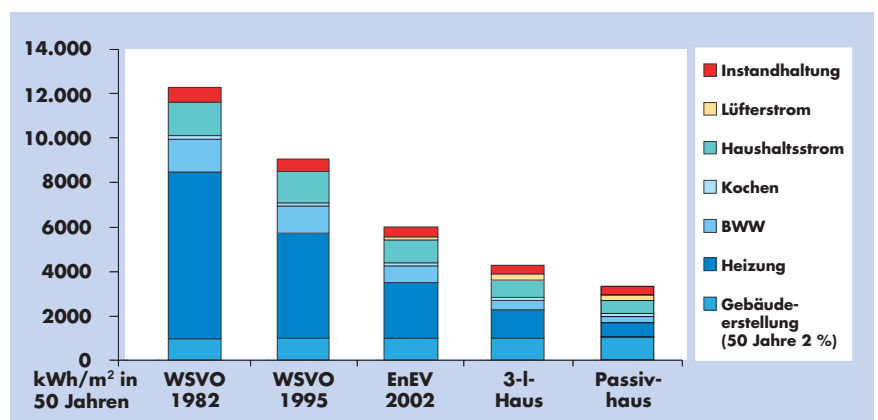


Der ermittelte Primärenergieaufwand für die Gebäudeerstellung wird auf 50 Jahre aufgeteilt. Der Mehraufwand für die Passivhauskomponenten amortisiert sich energetisch innerhalb von eineinhalb bis zwei Jahren im Vergleich zum EnEV-Standard.

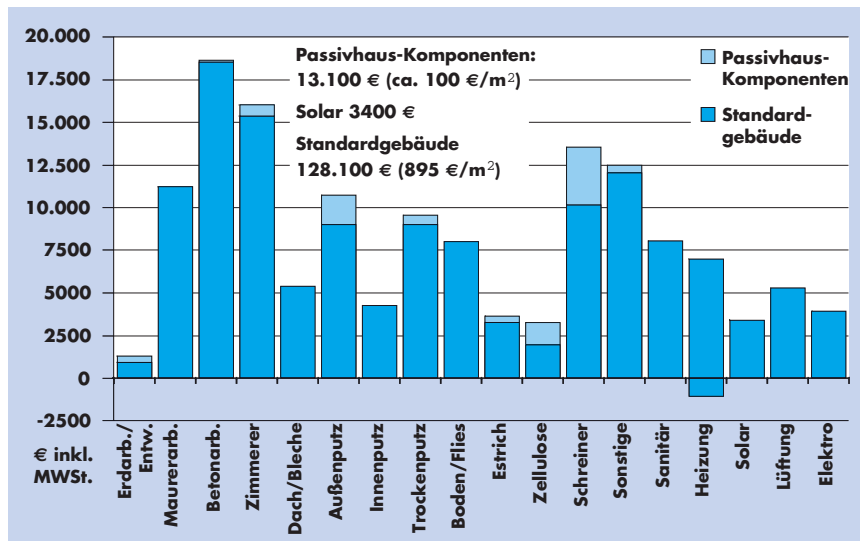
Wichtig ist auch der Aspekt der Langlebigkeit, um Aufwendungen für Instandhaltung zu minimieren.



Die Gegenüberstellung des kumulierten Primärenergieaufwands für verschiedene Gebäudestandards zeigt, dass Energieeffizienz sich aus ökologischer Sicht lohnt. Natürlich sollte bei der Planung darüber nachgedacht werden, wie auch der Energieeinsatz für die Gebäudeerstellung reduziert werden kann.



Wirtschaftlichkeit – Vereinigung von Ökonomie und Ökologie

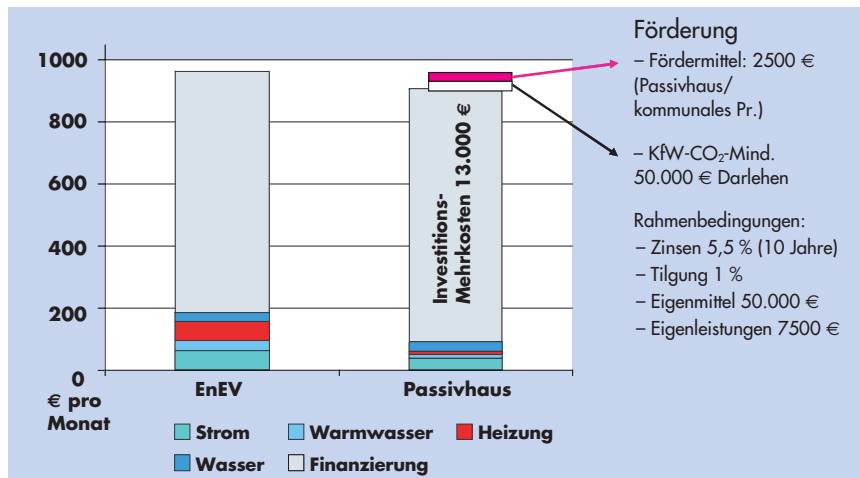


Mehrkosten für Passivhaus-Komponenten nach Gewerken (BV Nürnberg-Wetzendorf)

Für die Einführung der Energieeinsparverordnung war nach Energieeinspargesetz der Nachweis der Wirtschaftlichkeit zu führen. Die EnEV bildet in etwa die Niedrigenergiebauweise ab, die mithin innerhalb von 15 Jahren zu einer ökonomisch sinnvollen Bauweise avanciert ist. Die gleiche Entwicklung zeichnet sich bei weitergehenden Maßnahmen ab. Die ersten Passivhäuser wiesen Mehrkosten von 50.000 € auf, inzwischen sind die Werte auf 15.000 bis 7000 € gesunken (vgl. Abb. oben: Nachweis für eine Doppelhaushälfte). Es ist absehbar, dass sich die Komponenten auch verbilligen. Das gilt insbesondere für Fenster, Dämmsysteme, Restheizung und Lüftung. Es lässt sich also davon ausgehen, dass in spätestens 10 Jahren das 1,5-Liter-Haus zum üblichen Standard wird.

Schon heute ist es betriebswirtschaftlich vorteilhaft, ein Passivhaus zu bauen. Die Abbildung unten zeigt, dass die monatliche Belastung gegenüber dem üblichen Baustandard niedriger liegt, wenn KfW-Förderung in Anspruch genommen wird. Hilfreich sind derzeit noch kommunale Förderungen, um Bauherrn zur Energieeffizienz zu motivieren.

Vergleich der monatlichen Belastung



Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)

KfW-Programm „Ökologisch Bauen“. In diesem Programm werden die Errichtung von besonders energiesparenden Gebäuden (Energiesparhäuser mit einem Primärenergiebedarf von 40 oder 60 kWh/m² und Jahr sowie Passivhäuser) sowie der Einbau von Heizungstechnik zur Nutzung erneuerbarer Energien gefördert. (aktuell s. unter www.kfw.de).



Staatliche Förderprogramme

Energie und Wasser sparende Maßnahmen werden als Teil der Baukosten bei Neu-, Aus- und Umbaumaßnahmen von Miet- und Genossenschaftswohnungen, aber auch von Eigenheimen im Rahmen des Bayerischen Wohnungsbauprogramms gefördert. Die Förderung sieht in der Regel ein zinsloses Darlehen als Festbetrag vor. Dessen Höhe hängt von der Größe der Wohnung, der Einstufung der Gemeinde in eine bestimmte Gebietskategorie und dem Einkommen des Mieters oder Bauherrn des Eigenheims ab. Näheres ist im Arbeitsblatt Nr. 4 – „Wohnen in Bayern – Wohnungsbauförderung auf einen Blick“ dargestellt, das die Oberste Baubehörde herausgibt.

Kommunale Förderungen

Zahlreiche Kommunen fördern energieeffizientes Bauen und insbesondere Passivhäuser: Fördersummen von 3000 bis 7000 € machen jedes vernünftig geplante Gebäude zu einer betriebswirtschaftlich sinnvollen Investition.



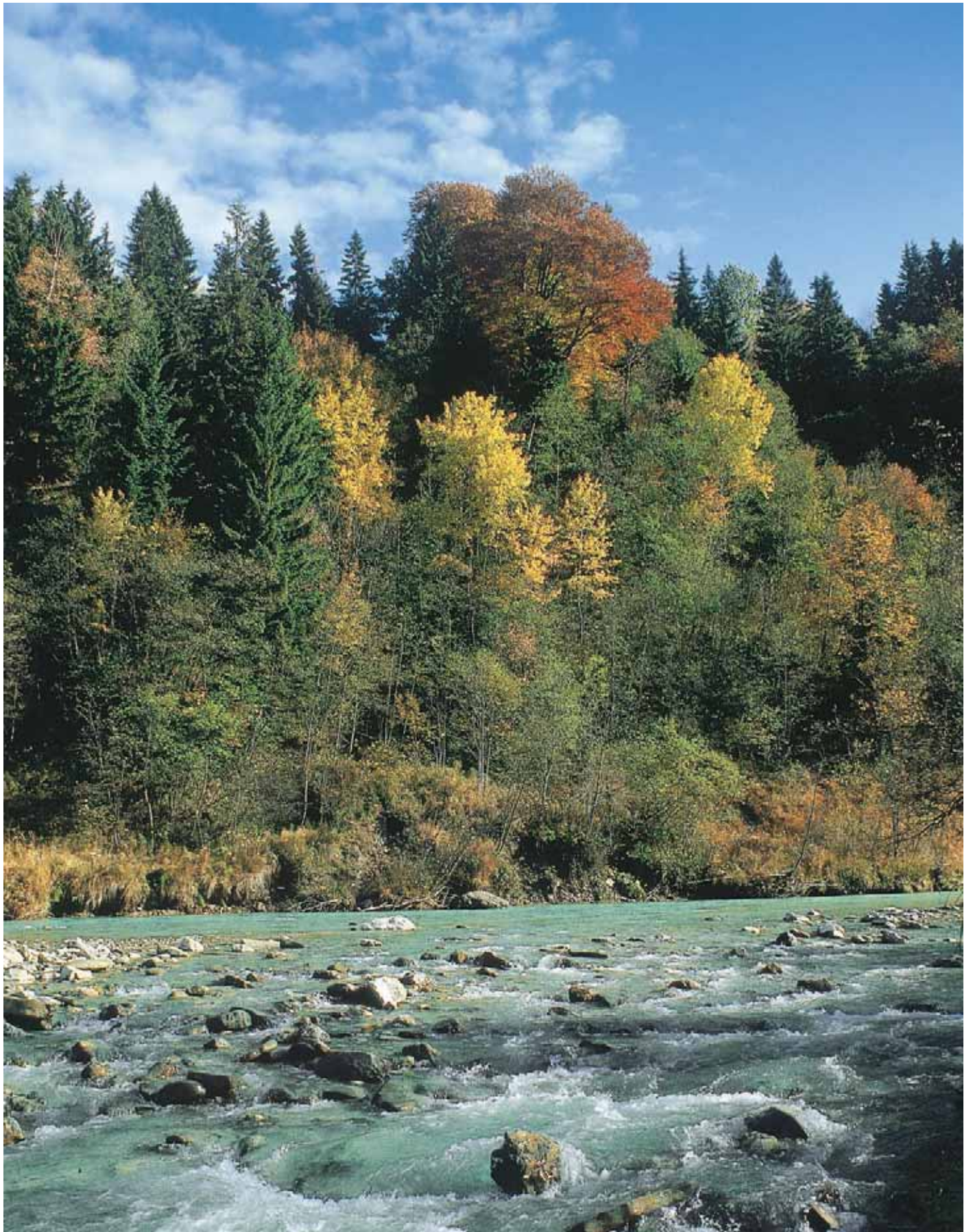
Muss sich Umweltverträglichkeit rechnen?

„Lohnt sich diese Maßnahme?“ ist eine klassische Bauherrenfrage. Ingenieurbüros sind darauf spezialisiert, Investitionskosten auf ein Minimum herunterzurechnen, um Anforderungen gerade noch so zu erfüllen. Betriebs- und Folgekosten werden dabei kaum berücksichtigt – die Berechnung wird jedoch gegebenenfalls durch Zinskosten zusätzlich belastet.

Das Stichwort „Energiekostensteigerung“ wird überraschend wenig einbezogen, weil uns die letzten 30 Jahre gezeigt haben, dass der Ölpreis letztendlich doch nicht so erheblich gestiegen ist. Es ist müßig, über dessen exakte Entwicklung in den nächsten 10 Jahren zu diskutieren. Sicher ist allerdings, dass die Preise in 15 bis 20 Jahren deutlich höher liegen werden. Langfristig werden sich die Energiekosten auf dem Wert einpendeln, zu dem regenerative Energieträger ausreichend verfügbar sind.

Kosten sind nicht alles: Die vorangegangenen Kapitel haben die Stichworte Behaglichkeit, Materialwahl, Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit sowie Raumluftqualität behandelt. Planung muss für hochwertige Raumklimabedingungen und Raumluftqualität in Verbindung mit hohem Komfort und Umweltverträglichkeit der eingesetzten Materialien sorgen.

Darüber hinaus haben wir eine Verpflichtung gegenüber der Schöpfung, in und von der wir leben. Nachhaltiges Denken und zukunftsfähiges Handeln verschaffen uns bei unserer Arbeit und unseren Entscheidungen ein gutes Gefühl, wenn wir an unsere nachfolgende Generationen denken!







Einfamilienhaus als Passivhaus, Erlangen-Büchenbach



Im Baugebiet 407 in Erlangen-Büchenbach wurden ab 1998 Einfamilienhäuser in Passivhausweise errichtet. Kurz nach dem Bau des ersten Gebäudes gewährte die Stadt Erlangen zudem einen Bonus beim Grundstückskauf für Passivhaus-Bauherren in Höhe von etwa 5000 €, was zu zahlreichen Folgeprojekten in diesem Gebiet führte.

Das vorgestellte Gebäude wurde in Massivbauweise mit einer Holzhülle im DG erstellt. Neben der Passivhaustechnik erhielt es eine hochwertige Ausstattung. Die Fertigstellung erfolgte im Herbst 2001.

Hausdaten

- Ort: Erlangen, Kössweg 10
- Wohnfläche: 154 m², Nutzfläche 32 m²
- Baukosten: 1010 €/m² Wohnfläche
zzgl. Passivhaus-Komponenten 108 €/m²,
Solaranlage 4500 €,
Sonderausstattung 149 €/m²;
zzgl. 650 €/m² Nutzfläche
- Planung: B. Schulze Darup, Nürnberg

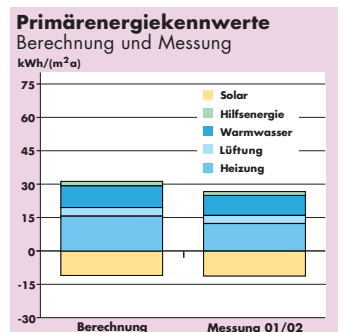


Konstruktion

- Wand: KS 17,5 cm, Dämmung (WDVS) 30 cm,
 $U = 0,125 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Dach: Holzkonstruktion mit Zellulosedämmung 42 cm,
 $U = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Bodenplatte aus Beton mit 25 cm Estrichdämmung,
 $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Fenster: gedämmte Rahmen und 3fach-Wärmeschutzverglasung, $U_w = 0,77 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $g = 53 \%$

Haustechnik

- Abluftwärmerückgewinnung mit Erdreichwärmetauscher 20 m lang, 150 mm Durchmesser
- Heizung und Warmwasserbereitung: Gasbrennwertheizung in Verbindung mit Solarthermie:
9 m² Flachkollektoren mit 350-l-Schichtenspeicher



Vier Doppelhäuser als Passivhäuser, Nürnberg-Wetzendorf



Im Rahmen der „Lokalen Agenda 21“ wurde in Nürnberg das erste Passivhaus-Projekt durchgeführt. Geplant war zunächst eine Reihenhauszeile mit Pultdach. Im Zuge der Grundstückssuche und Bebauungsplanung änderten sich die Rahmenbedingungen jedoch mehrmals. Schließlich wurden vier Doppelhaushälften mit Satteldach ausgeführt – ein Beweis dafür, dass Passivbauweise ein hohes Maß an Gestaltungsfreiheit ermöglicht.

Hausdaten

- Ort: Nürnberg, Prälat-Nicol-Str. 3–7/Wachtelstraße 12
- Wohnfläche: Doppelhaushälften mit 126–138 m² Wohnfläche und 28 m² Nutzfläche
- Baukosten: 895 €/m² Wohnfläche zzgl. Passivhaus-Komponenten 100 €/m², Solaranlage 3300 € pro Haus
- Planung: B. Schulze Darup + T. Meyer, Nürnberg/Cadolzburg

Konstruktion

- Wand: KS 17,5 cm, Dämmung (WDVS) 30 cm, $U = 0,125 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Dach: Holzkonstruktion mit Zellulosedämmung 42 cm, $U = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Bodenplatte aus Beton mit 25 cm Estrichdämmung, $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Fenster: gedämmte Rahmen und 3fach-Wärmeschutzverglasung, $U_w = 0,77 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $g = 53\%$



Wärmebrückenoptimierte Massivbauweise



Vorgefertigte Holzkonstruktion mit Holz-I-Profilen

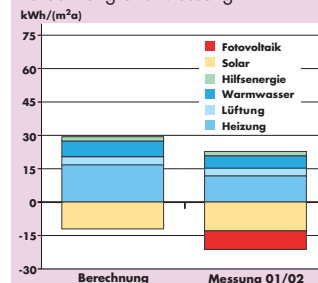
Haustechnik

- Abluftwärmerückgewinnung mit Erdreichwärmetauscher 16 m lang, 150 mm Durchmesser
- Heizung und Warmwasserbereitung: zentrale Gasbrennwertheizung in Verbindung mit Solarthermie: 19 m² Flachkollektoren mit 750-l-Schichtenspeicher
- Fotovoltaikanlage mit 2 kW_{peak} (2001)



Primärenergiekennwerte

Berechnung und Messung



Niedrigenergie-Reihenhäuser in Amberg

Konstruktion

- Wand: KS 17,5 cm, Dämmung (WDVS) 16 cm
- Dach: vorgefertigte Nagelplattenbinder, NEH-Dämmung
- Fenster: 2fach-Wärmeschutzverglasung, $U_w = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $g = 58 \%$
- qualitätvolle Materialwahl mit hoher Nachhaltigkeit



Haustechnik

- Nahwärmeanschluss an bestehendes Blockheizkraftwerk
- vier Wohneinheiten zusätzlich mit kontrollierter Wohnraumlüftung



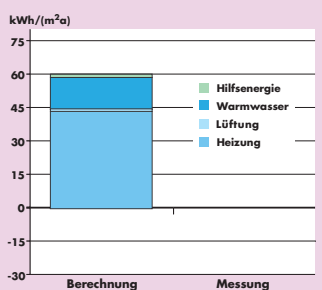
Im Zuge der Konversion der Ritter-von-Moehl-Kaserne in Amberg wurden in zwei Bauabschnitten (1998 und 1999) südorientierte Reihenhauser in Niedrigenergiebauweise erstellt. In der Quartiersmitte befindet sich ein kleiner Platz mit Bäumen und Spielmöglichkeit. Förderung wurde im Rahmen des Programms „Das bezahlbare eigene Haus“ gewährt.

Hausdaten

- Bauherr: Stadtbau Amberg GmbH, Amberg
- Ort: Amberg, Dekan-Hirtreiter-Straße und Sophie-Scholl-Straße
- Wohnfläche: 48 Wohneinheiten mit etwa 4800 m²
- Baukosten: ca. 970 €/m² Wohnfläche
- Planung: P. Gasteiger, München



Primärenergiekennwerte



Sonnenhäuser in Arnstein, 20 Reihenhäuser



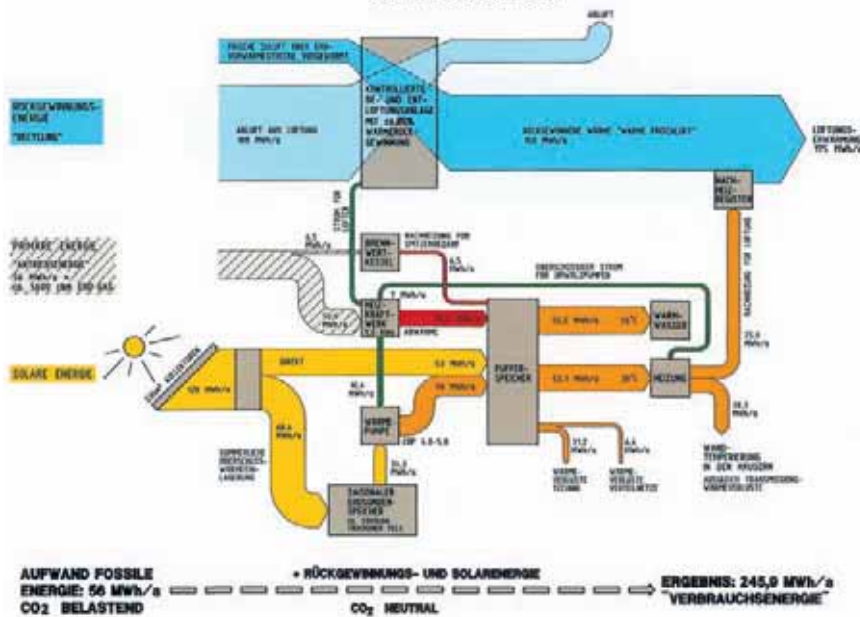
Konstruktion

- Wand: Massivwände mit 20 cm Wärmedämmung
- Dach und Grund: Niedrigenergiestandard
- Fenster: Holzfenster mit Wärmeschutzverglasung
- weitgehender Verzicht auf Kunststoffe



Energieflussdiagramm

Sonnenhäuser Arnstein



Die Bebauung für ein Gebiet mit Einfamilienhäusern war schon in Planung, als es dem Architekt gelang, Mittel für ein Demonstrationsprojekt zu mobilisieren. Trotz der ortsunüblichen verdichteten Reihenhausbauweise fand sich eine Bauherrngemeinschaft von 20 Parteien, die sich für die Idee der CO₂-minimierten Bauweise begeisterte. Ein sehr guter Niedrigenergiestandard mit 35 bis 40 kWh/(m²a) wurde mit einem Haustechnikkonzept verbunden, das zu einer CO₂-Emission von nur 4,9 kg/(m²a) führt. Weitere Projekte des Architekten wurden mit nochmals verbesserter Gebäudehülle Richtung Passivhaus-Standard realisiert.

Hausdaten

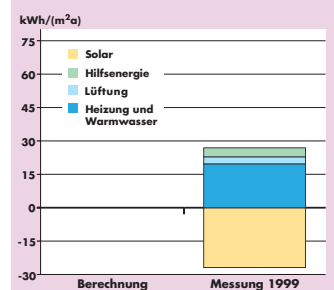
- Ort: Arnstein, Am Sonnenhügel
- Baukosten: 920 €/m²
- Bauzeit: Ende 1997 bis Ende 1998
- Planung: Haase & Partner, 97753 Karlstadt

Haustechnik

- Heizung: Wärmepumpenanlage (Jahresarbeitszahl 5,5) im Tandembetrieb mit einem Kleinst-BHKW (5,5 kW_{elektrisch}/14,5 kW_{thermisch})
- thermische Solaranlage mit 201 m² Absorberfläche, 45° geneigt auf dem Dachreiter (60-prozentige Deckung des Gesamtsystems)
- Speicher: Edelstahlpufferspeicher (50 m³) als Schichtenspeicher und saisonaler Erdsondenspeicher (6 Felssonden à 50 m tief; Jahresertrag 18.000 kWh)
- Abluftwärmerückgewinnung



Primärenergiekennwerte



Mehrfamilienhäuser in Coburg, Bertelsdorfer Höhe

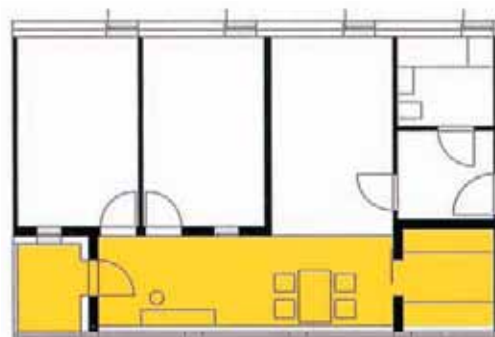
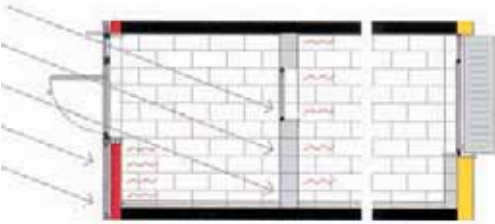
Konstruktion

- Wände: KS 17,5/24 cm mit Wärmedämmverbundsystem, $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Südwest-Brüstungen: transparente Wärmedämmung
- Fenster: 2fach-Wärmeschutzverglasung; vor dem Sonnenraum Senkkippfenster (nach außen aufschwingend)
- Berücksichtigung der Ressourceneffizienz bei der Planung (MIPS)



Auf Grundlage einer solarorientierten städtebaulichen Planung wurde das Gebäude 1997 bis 1999 errichtet. Der Bebauungsplan enthielt Festsetzungen hinsichtlich

- Südwestausrichtung
- Berücksichtigung der Besonnung von Gebäuden und Freiflächen
- eines sparsamen Erschließungskonzepts durch eine doppelseitige Erschließung im Wechsel von öffentlichen und privaten Zwischenräumen
- eines Mulden-Rigolen-Systems zum sorgsamem Umgang mit Niederschlagswasser



Alle 24 Wohnungen sind barrierefrei gebaut. Die Besonderheit der Gebäude stellt der Sonnenraum in jeder Wohnung dar, der als Erschließung und Kinderspielplatz und bei starker Sonneneinstrahlung durch Kippstellung der Verglasung als Loggia dienen kann.

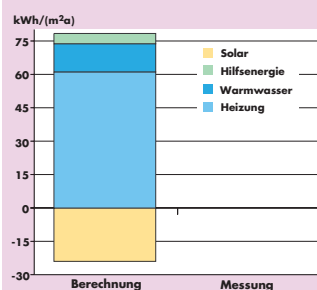
Hausdaten

- Ort: Coburg, Max-Böhme-Ring 25
- Bauherr: Wohnungsbaugesellschaft der Stadt Coburg
- Wohnfläche: 1868 m² bei 24 Wohneinheiten
- Baukosten: 1075 €/m² (Kostengruppe 300/400)
- Planung: Fink und Jocher, München

Haustechnik

- Heizung: Nahwärmeanschluss (Gasbrennwerttechnik)
- Trinkwassererwärmung z. T. über Wärmetauscher in den Stahlbetonfertigteilbrüstungen hinter der transparenten Wärmedämmung der Südwest-Brüstungen: Kollektorfläche 188 m², Speicher: 2-mal 3000 Liter, Ertrag 235 kWh pro m² Kollektorfläche im Jahr

Primärenergiekennwerte



Mehrfamilienhaus mit Passivhaus-Standard in München-Riem

Neubau eines dreigeschossigen Mehrfamilienhauses in Vollholz im Bereich des Passivhausstandards im Rahmen des „München Modell“ (sozial gebundenes Eigentum).

Ausführung in modular vorgefertigter Holzskelett-Tafelbauweise, Montage auf Massivkeller.

Neun Familien-Wohneinheiten, davon drei im EG, darüber sechs Maisonetten mit Laubengangerschließung. Teil- und veränderbare Grundrisse, eigener Gartenanteil für alle Wohnungen.



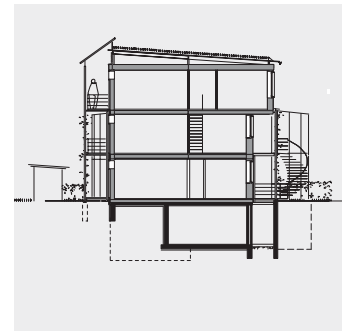
Konstruktion

- Wände: Gipsfaserplatte 1,3 cm, Installationsebene 4 cm, Spanplatte, Zellulosedämmung 26 cm, Spanplatte 1,6 cm, Außenschalung Lärche, $U=0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Südfassade wie oben, jedoch mit Massivholzlamelle 6 cm hinter Festverglasung und stehender Luftschicht, Dämmung 20 cm, effektiver U-Wert: $0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Dach mit Zellulosedämmung 40 cm, $U=0,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; unterlüftetes begrüntes Kaldach
- Kellerdecke: $U=0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Holzfenster mit Dreifach-Wärmeschutzverglasung, $U=0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $g=53\%$



Passive Nutzung solarer Wärmegevinne an der Südfassade über polygonale Sonnenfenster und farbige, verglaste Massivholzlamellen. Neutrale CO_2 -Bilanz durch minimierten Heizwärmebedarf und hohen Holzanteil in Konstruktion und Zellulosedämmung. Optimale Stoffbilanz durch geringes Konstruktionsgewicht, nachwachsende Rohstoffe, vollständige Trennbarkeit.

Das über den Südbalkonen geplante Kollektordach zur Brauchwassererwärmung und Heizunterstützung kann wirtschaftlich nachgerüstet werden und den Primärenergiebedarf weiter drastisch senken – die Anschlüsse sind vorbereitet.



Hausdaten

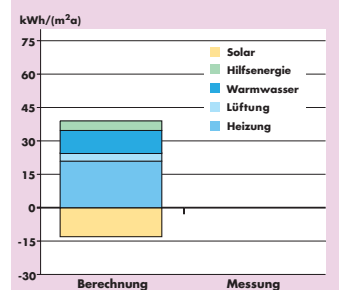
- Ort: München, Messestadt Neu-Riem, Georg-Kerschensteiner-Straße 12
- Bauherr: Gewofag München AG
- Wohnfläche: 9 Familienwohnungen, gesamt 940 m^2
- Baukosten: ca. 1.300.000 € (Kostengruppen 300/400)
- Fertigstellung: Bezug Mai 2002, nach 8,5 Monaten Bauzeit
- Planung: F. + W. Lichtblau, MA: B. Häusler, Ch. Rein



Haustechnik

- Lüftung: je Wohneinheit zentrale KWL-Anlage mit WRG $250 \text{ m}^3/\text{h}$ und, mit natürlicher Zuluft-Vorwärmung
- Heizung: indirekter Fernwärmeanschluss, pro Wohnung ein Zulufterwärmer + Bad-Heizkörper
- Warmwasserbereitung: zentral mit Speicher 750 l
- optional vorgeschalteter Solarpufferspeicher 4000 l für die Solar-Kombi-anlage 60 m^2 .

Primärenergiekennwerte



Schadstoff-Kurzlexikon

Aliphatische Lösungsmittel: kettenförmige gerade oder verzweigte Kohlenwasserstoffe, Gewinnung aus Erdöl, Lösungsmittel vor allem für Farben, z. T. auch von Pflanzchemieherstellern eingesetzt statt Balsamterpentin- oder Citruschalenöl; Staubminderer bei Mineralwolle (aliphatische Mineralöle); vgl. **Isoaliphate**

Alkydharze: ölmodifizierte gesättigte Polyester; Verwendung vor allem für Lacke; Entstehung durch Veresterung von organischen Dicarbonsäuren (Phthalsäure, Phthalsäureanhydrit, Iso-, Terephthalsäure) und natürlichen Fettsäuren (z. B. Rizinusöl oder Leinöl); hoher Anteil nachwachsender Rohstoffe; auf Grund des Herstellungsprozesses jedoch synthetisches Produkt

Aromaten (aromatische Kohlenwasserstoffe): Sammelbezeichnung für eine große Gruppe organischer Verbindungen mit konjugierten Doppelbindungen in Ringsystemen und dem Grundkörper des Benzols; natürliches Vorkommen in Blütenfarbstoffen, Alkaloiden, ätherischen Ölen, aromatischen Aminosäuren etc.; im Steinkohlenteerpech, Erdöl und in dessen synthetischen Folgeprodukten; Aromaten sind neben Benzol z. B. Toluol, Xylol, Ethylbenzol, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe; Aromaten sind generell mehr oder minder toxisch; krebserregend nach TRGS 905 sind aromatenreiche Kohlenwasserstoffe

Asbest: natürliches faseriges Erdgestein wie Chrysotil (Weißasbest), Amosit, Antophyllit etc.; Abbau im Tagebau mit starker Staubbekämpfung für die Umgebung; seit 1991 Verbot der Herstellung asbesthaltiger Hochbauprodukte, ab 1995 Verbot aller Baustoffe aus Asbest; Asbest hat zwei biologische Wirkungen durch Festsetzung von Asbestfasern (5–100 mm lang, bis 3 mm dick; sehr feine Fasern durch Längsaufspaltung) in den Lungenbläschen: 1. Erzeugung von Narbengewebe (fibrogener Effekt/Asbestose), 2. Krebsentstehung (karzinogener Effekt); Krebsentstehung oftmals erst 50 Jahre nach Einwirkung der Fasern, vor allem an den Atmungsorganen, im Brust- und Bauchraum (Mesotheliom), Verstärkung der Wirkung durch Rauchen und Einwirkung von Radon; siehe Asbestrichtlinie: www.bauen.bayern.de

Brandschutzmittel: Substanzen, die nach DIN 4102 Holz, Holzwerkstoffe, Kunststoffe und Textilien flammfest bzw. flammhemmend machen:

- verkohlungsfördernde/feuererstickende Brandschutzm.: Ammoniumphosphate
- sperrschichtbildende Brandschutzmittel: Wasserglas, Borverbindungen, Ammoniumpolyphosphate
- Dämmschichtbildner: Mischungen von Harnstoff, Dicyandiamid, Melamin, Dipentaerythrit, Ammoniumpolyphosphaten, Titandioxid, Chlorparaffinen
- Zusätze zu Kunststoffen: anorganische Verbindungen: Aluminium- und Magnesiumhydroxid, Zinkborate, Antimontrioxid
- halogenorganische Verbindungen: Bromverbindungen wie z. B. Tetrabrombisphenyl A (in Epoxidharzen), Tetrabromphthalsäureanhydrid (in Polyesterharzen), Dibromneopentylglykol oder Hexabromcyclododecan (in PU-Schäumen)
- Chlorparaffine, PCB
- organische Phosphorverbindungen: Phosphorsäureester; halogenierte organische Phosphorverbindungen

Gegeneffekt zur Brandschutzverbesserung dieser Mittel: z. T. erhebliche Zunahme der Toxizität der Schwelgase, Veränderung des Pyrolyseverlaufs; vermehrt auftretende Brandgase: Kohlenmonoxid und Blausäure

Chlorkohlenwasserstoffe (chlorierte Kohlenwasserstoffe, CKW):

zur Gruppe der Halogenkohlenwasserstoffe gehörig, als einzigen Vertreter der Halogene Chlor enthaltend; einfachere Verbindungen werden z. B. als Lösungsmittel eingesetzt, komplexere (oft cyclische) Verbindungen als Insektizide oder Fungizide; Symptome akuter Vergiftungen von cyclischen Chlorkohlenwasserstoffen sind neurologische Erscheinungen wie Schwindel, Verwirrtheit, Zittern, Krämpfe; chronische Wirkungen: allgemeine Schwäche, Leberschäden, Knochenmarksschäden

Dioxine: Gruppe organischer Verbindungen, charakterisiert durch ein zweifach ungesättigtes sechsgliedriges Ringsystem mit zwei Sauerstoffatomen im mittleren Ring; bei Ersatz der Wasserstoffatome der Benzolringe durch Halogene wie Chlor oder Brom entstehen Chlordibenzopdioxine und Bromdibenzopdioxine, stark toxische Substanzen; Grenzwerte für polychlorierte Dioxine: Vorsorgewert: 0,5 pg/m³, Eingreifwert: 5 pg/m³

Formaldehyd (Methanal, Oxomethan): unter Normalbedingungen gasförmig, aber auch als 35-prozentige Lösung (Formalin); Verwendung zur Herstellung

und Kondensation von Harzen, für Spanplatten und sonstige Holzwerkstoffe, Ortschäume, Bauprodukte mit formaldehydhaltigen Klebern und Lacken (Kunststoffbeläge, Parkettversiegelungen), Teppiche, Desinfektionsmittel, Topfkonservierer für Farben etc.; Entstehung durch den Rauch von Zigaretten, Verbrennungsvorgänge, Gasherde; Wirkungen nach kurzfristiger Exposition: 0,05–1,0 ppm: Geruchsschwelle; 0,01–1,6 ppm: Schwelle für Reizung der Augen; 0,5 ppm: Schwelle für Reizung der Kehle; 2–3 ppm: Stechen in Nase und Augen; 10–20 ppm: nach wenigen Minuten starker Tränenfluss; 30 ppm: Lebensgefahr, toxisches Lungenödem, Pneumonie; erbgutverändernd, allergisierende Wirkung ist möglich; Grenzwerte nach TRGS 900: 0,5 ml/m³; Verdacht auf Kanzerogenität; Grenzwert 0,12 µg/m³ bzw. 0,1 ppm (BGA)

Flüchtige organische Verbindungen (VOC, Volatile Organic Compounds):

organische Substanzen mit einem Siedebereich, je nach Definition beginnend bei 50–100 und endend bei 240–260 °C, die durch Probenahme an einem festen Adsorptionsmittel gesammelt werden; Zielwert lt. Bundesgesundheitsamt (Seifert) für Innenräume liegt für die Summe der VOC (TVOC) bei 300 µg/m³ (Summe Alkane, aromatische Kohlenwasserstoffe, Terpene, Halogenkohlenwasserstoffe, Ester, Aldehyde, Ketone); Vorkommen als Lösungsmittel, Duftstoffe in Haushalts-, Büro-, Bau- und Heimwerkerchemikalien sowie Tabakrauch

Fluorchlorkohlenwasserstoffe

(FCKW): zur Gruppe der Halogenkohlenwasserstoffe gehörig; Verwendung für Treibmittel, Aufschäumen von Kunststoffen, durch Ersatzstoffe abgelöst; hohe thermische und chemische Beständigkeit, nicht brennbar; ungiftig für den Menschen; am Abbau der Ozonschicht der Erdatmosphäre beteiligt; Verbot seit 1.1.1995

Fungizide: Stoffe für die Bekämpfung unerwünschter Pilze; Einsatz in Holzschutzmitteln, als Topfkonservierer bei Produkten auf Dispersionsbasis oder als Zusatzausrüstung für Produkte (z. B. bei Dichtmassen)

Furane: Gruppe organischer Verbindungen, vergleichbar den Dioxinen; besonders relevant sind aus Umweltaspekten polychlorierte Furane, Vorsorgewert: 0,5 pg/m³, Eingreifwert: 5 pg/m³

Halogenkohlenwasserstoffe: (halogenierte Kohlenwasserstoffe, Halogenverbindungen); Gruppe organischer Verbindungen, bei denen mindestens ein Wasserstoffatom durch ein Halogen (Fluor, Chlor,

Brom, Jod, Astat) ersetzt ist; Verwendung für Reinigungs- und Lösungsmittel, Ausgangsstoffe oder Grundlage vieler Kunststoffe, Insektizide, Fungizide, Brandschutzmittel, Kühlflüssigkeiten, Treibgase; Halogenkohlenwasserstoffe bewirken Störungen am Zentralnervensystem und im zentralen Stoffwechsel; viele gelten als krebserregend; vgl. Chlorkohlenwasserstoffe

Holzschutzmittel: biozide Wirkstoffe, gelöst in Wasser oder Lösungsmittel, zum Schutz von Holz gegen Pilzbefall und Insekten; vier Wirkstoffgruppen:

1. anorganische, salzartige Holzschutzmittel: auf Basis von Fluorid, Chromat, Kupfersalz etc.; Anwendung vor allem bei zimmermannsmäßigen Konstruktionen, zu empfehlen sind Borpräparate (Borsäure und Borax, geringe Giftwirkung auf Menschen)

2. Teerölpräparate: wie Carbolium, Steinkohleteerpräparate (enthalten krebserregende PAKs), seit 1991 verboten

3. organische Fungizide: seit ca. 1920 Produktion von chlorierten Naphthalinen (z. B. „Xylamon“); Organo-Zinn-Verbindungen; Sulfamide, Triazol-derivate, Carbendazim etc.

Pentachlorphenol (PCP): seit den 50er-Jahren mit Hauptanwendung in den 70ern, leicht verdampfbare, giftig, krebserregend, Verbot 1989; siehe PCP-Richtlinie: www.bauen.bayern.de

4. organische Insektizide: chlorierte Kohlenwasserstoffe wie z. B. **DDT** (seit ca. 1940) und **Lindan** (flüchtig, giftig, vielfältige schädliche Wirkungen); organische Phosphorsäureester, Pyrethroide (dem natürlichen Chrysanthemengift Pyrethrum nachgebaut, bei Aufnahme über die Haut und durch Einatmen stark toxisch; starkes Nervengift)

Isoaliphate (Isoalkane, Isoparafine): organische Verbindungen mit gesättigten Kohlenstoffketten oder -ringen, einfach verzweigte Ketten = Isoalkane; im ökologisch relevanten Temperaturbereich relativ stabil und kaum Eingehen von Reaktionen; Methan und Ethan: geringe Toxizität; Propan, Butan, Pentan etc.: darüber hinaus schwach narkotische Wirkung; vgl. aliphatische Lösungsmittel

Isocyanate: Ausgangsstoff für Kunststoffe, besonders für Polyurethan, Härterkomponente für 2-komponentige PU-Klebstoffe/Dichtmassen, Bindemittel/Span- und Holzfaserplatten; hochtoxisch, sensibilisie-

rend, allergieauslösend; im Allgemeinen nicht nachweisbar bei abgedundeten Produkten

Polyacrylate: synthetisch hergestellter Polymer-Kunststoff, Betonverflüssiger, Fließmittel; Haut- und Schleimhautreizungen bei intensivem Kontakt möglich

Polychlorierte Biphenyle (PCB): Gruppe von 209 organischen Verbindungen ähnlicher Struktur mit 1–10 Chloratomen (Chlorierungsgrad 21–68%), unter Normalbedingungen Feststoffe (z. T. ölig); unbrennbar, hoher Siedepunkt, hohe Viskosität, hohe chemische und thermische Stabilität; Verwendung als Weichmacher in Kunststoffen, Dichtungs-, Fugenmassen (Richtrezeptur 35% PCB), Verguss-, Spachtelmassen, Klebstoffen, Farben und Kittungen; Anwendung in besonders großem Umfang als Fugenmasse bei Gebäudetrennfugen und Fugen von Betonfertigteilen, von 1955–1975 (teils noch später, Hauptverwendung 1964–1972, Marktanteil der betroffenen Thiokoldichtmassen 80–90%) bei Sanitärfugen, Anschlussfugen bei Türen und Fenstern; Flammschutzmittel für Lacke, Farben und Fußbodenbeläge, Trennhilfen im Betonbau (Schalöl), Flammschutzanstrich bei Holzfaserdeckenplatten (bis 1972); akute Toxizität vergleichsweise gering; chronische Gesundheitsschäden durch Langzeitaufnahme, Anreicherung vor allem in fettreichen Körperteilen; Konzentrationen beim Menschen im Fett 1–2 µg/kg, im Blut 0,1–0,3 µg/l; biologische Halbwertszeit bei Menschen 90 Tage und mehr; Schädigungen bei chronischen Belastungen am Nerven- und Immunsystem sowie Unfruchtbarkeit; Verdacht auf krebserregendes Potenzial; Anreicherung in der Nahrungskette; nicht mehr hergestellt seit 1983 (Deutschland); Richtwerte der PCB-Richtlinie: www.bauen.bayern.de Sanierung nur durch vollständiges Entfernen der PCB-belasteten Materialien möglich, z. T. Sekundärbelastung durch Materialien, die der Raumluftbelastung über längere Zeit ausgesetzt waren

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK, PAH): natürliche Bildung bei Kohle oder Erdöl; Relevanz vor allem durch technische Freisetzung, insbesondere durch Erhitzung von organischem Material unter Sauerstoffmangel (Verbrennung, Hausbrand, Behandlung von Baustoffen, Brandfall etc.), Steinkohleteerpech, Bitumen (Asphalt), Zigarettenrauch; ein Großteil der PAKs ist stark krebserregend; Leitstoff Benzo-a-pyren, außerdem: Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenantren etc., siehe TKA-Hinweise: www.bauen.bayern.de

Styrol (Vinylbenzol): Vertreter der aromatischen Kohlenwasserstoffe; geruchliche Wahrnehmungsschwelle unter 1 µg/l; Aufnahme vor allem durch Einatmen; starkes Nervengift, Verdacht auf krebserregende und erbgutschädigende Wirkung; Grenzwerte nach TRGS 900: 20 ml/m³

Terpentinöl: Lösungsmittel bei Naturharzprodukten; Gewinnung aus Kiefern Balsam; Toxizität und ekzemauslösende bzw. allergene Eigenschaft unterschiedlich stark ausgeprägt, wahrscheinlich abhängig vom Gehalt an α -Pinen und 3-Karen

Toluol (Methylbenzol): Vertreter der aromatischen Kohlenwasserstoffe; Bestandteil im Erdöl; Ausgangsprodukt für viele Syntheseprodukte (z. B. Benzol), Lösungsmittel, Farben, Lacke, Klebstoffe, Aerosole, Zusatz bei Flugbenzin, Freisetzung bei Bränden; leicht haut- und schleimhautreizend, fruchtschädigendes Potenzial; Richtwerte: RW I 300 µg/m³, RW II 3000 µg/m³ (IRK/AGLMB)

Weichmacher: Zusatzstoffe in Kunststoffen, Farben, Fugen-, Kleb- und Dichtstoffen zur Erzielung/Verbesserung von Biegsamkeit, Dehnbarkeit, Verarbeitbarkeit und Weichheit; am meisten eingesetzt werden Phthalsäureester, im Allgemeinen Kombination verschiedener Weichmacher, um die gewünschten Eigenschaften zu erhalten. Beispiele:

- Phthalsäureester wie DOP Dioctylphthalat (DEHP), Diisodecylphthalat (DIDP), Diisononylphthalat (DINP)
- Chlorparaffine (Polychlor-n-Alkane), Trimellitsäureester, Phosphorsäureester, Fettsäureester, Epoxidweichmacher, Texanolisobutyrat (TXIB)
- Polymerweichmacher (Weichharze), Polyester aus Adipin-, Sebacin-, Azelain- und Phthalsäure, Butadien-Acrylnitril-Copolymere, aliphatische Dicarbonsäureester
- nicht mehr eingesetzt: polychlorierte Biphenyle (PCB)
- Pflanzenchemiehersteller: Lärchenharz oder fette Öle wie Rizinusöl

Die Gesundheits- und Umweltbelastung der einzelnen Stoffe ist höchst unterschiedlich; Weichmacher werden im Allgemeinen während ihrer gesamten Wirkungs-dauer freigesetzt

Impressum

Herausgeber:
Oberste Baubehörde im
Bayerischen Staatsministerium des Innern,
Abteilung Wohnungswesen und Städtebauförderung
Franz-Josef-Strauß-Ring 4
80539 München

Autor:
Dr. Burkhard Schulze Darup, Architekt
Nürnberg

Grafik-Design:
Marion und Rudolf Schwarzbeck
Gauting

Titelblatt:
Ökologischer Wohnungsbau
Coburg, Max-Böhme-Ring
Architekten: Fink und Jocher, München
Foto: Dittmann + Dittmann, Ebenhausen

Fotos:
Dr. Burkhard Schulze Darup, Architekt, Nürnberg
Eric Liebermann, Steingaden
Archiv Oberste Baubehörde, München

Verwendung von Abbildungen und Inhalten aus:
Dr. Schulze Darup, B.: Energieeffiziente Wohngebäude.
– BINE Informationsdienst, TÜV-Verlag Köln 2002

Druck:
Aumüller Druck KG
Regensburg

Die Broschüre ist im Internet verfügbar unter:
www.wohnen.bayern.de

oder kann in Einzelexemplaren kostenfrei bestellt
werden bei:
Vögel-Versand,
Kalvarienbergstraße 22,
93491 Stamsried
Tel.: 0 94 66 / 9 40 00
Fax: 0 94 66 / 12 76
E-Mail: voegel@voegel.com

Weitere Informationen zu diesem Thema auch unter:
www.bauen.bayern.de
www.stmwivt.bayern.de
www.umweltministerium.bayern.de

Gedruckt auf Recyclingpapier