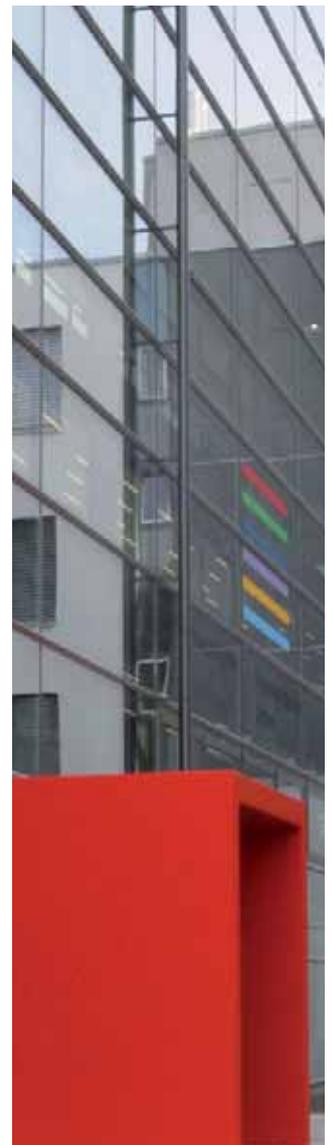


# Leitfaden

## Nachhaltige Gebäudesysteme



Herausgeber  
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
Welfengarten 1  
30167 Hannover  
Tel. +49 511 762 0  
Fax +49 511 762 34 56  
[www.uni-hannover.de](http://www.uni-hannover.de)

Fachliche Bearbeitung  
Dipl.-Ing. Judith Schurr  
Prof. Dr.-Ing. Dirk Bohne  
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
Fakultät für Architektur und Landschaft  
Institut für Entwerfen und Konstruieren  
Gebäudetechnik

Trotz sorgfältiger Prüfung sämtlicher Beiträge in diesem Werk sind Fehler nicht auszuschließen. Die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität des Inhalts ist daher ohne Gewähr. Eine Haftung der Herausgeber und Autoren auch für die mit dem Inhalt verbundenen potentiellen Folgen ist ausgeschlossen.

Der Inhalt dieser Broschüre gibt ausschließlich die Meinung der Herausgeber wieder. Die Leibniz Universität Hannover ist nicht verantwortlich für jegliche enthaltenen Informationen sowie deren Verwendung und die damit verbundenen potentiellen Folgen.

Das Copyright für Inhalte, Grafiken und Texte liegt, sofern nicht anders gekennzeichnet, bei der Leibniz Universität Hannover Institut für Entwerfen und Konstruieren, Abteilung Gebäudetechnik.

Stand: November 2008

## Grußwort

Die Leibniz Universität Hannover bewirtschaftet eine Vielzahl von Liegenschaften. 169 Gebäude mit einer gesamten Nutzfläche von 329.000 m<sup>2</sup> müssen gewartet und instand gehalten werden. Die Kosten dafür stellen einen großen Anteil am Haushalt dar. Insbesondere die Ausgaben für Energie belasten das Budget erheblich. Die Kosten für Gebäudebeheizung, -kühlung, Beleuchtung, Belüftung und Elektroenergie betragen zurzeit jährlich bis zu 8,3 Mio. €.

Aus ökonomischen und vor allem auch aus ökologischen Gründen ist es sinnvoll, bei der Instandhaltung der Gebäude oder bei der Erstellung von Neubauten auf eine besonders nachhaltige Konzeption Wert zu legen. Die zahlreichen neuen Gebäudesysteme auf dem Markt, der heute deutlich bessere Energiestandard gegenüber den vergangenen Jahrzehnten und nicht zuletzt das Ziel, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß durch Gebäudebetrieb wesentlich zu senken, haben das Präsidium zur Beauftragung des hier vorliegenden Leitfadens „Nachhaltige Gebäudesysteme“ veranlasst.

Der Leitfaden geht aus der Vielzahl von Ansätzen für nachhaltige Systeme besonders auf die für die Universitätsgebäude relevanten Methoden ein. Die für die zukünftigen Projekte geforderten Ziele können individuell durch die im Leitfaden entwickelte Checkliste formuliert und in der Umsetzung geprüft werden.

Die Leibniz Universität Hannover will mit diesem Vorgehen ein Zeichen setzen und konsequent einen energetisch hohen Standard erreichen.



Prof. Dr.-Ing. Erich Barke  
Präsident der

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover



## Inhalt

|   |       |
|---|-------|
| Einführung .....  | 05    |
| 01   Grundstück .....   | 06-07 |
| 02   Gebäudekonzept .....   | 07-19 |
| Gebäudegeometrie .....  | 08    |
| Raumprogramm/Grundrissgestaltung .....                                      | 08    |
| Wärmeschutz .....   | 09    |
| Wärmebrücken .....  | 11    |
| Luftdichtigkeit der Gebäudehülle .....                                      | 12    |
| Nutzung solarer Erträge (passiv) .....                                      | 12    |
| Sonnenschutz .....  | 14    |
| Blendschutz .....   | 15    |
| Beleuchtung .....   | 16    |
| Tageslichtlenkung .....   | 18    |
| Wärme- und Kältspeicherung im Gebäude .....                                 | 19    |
| 03   Energieversorgung .....  | 20-34 |
| Wärmeversorgung .....   | 20    |
| Wärmeerzeugung durch Verbernung von Biomasse und Biodiesel .....            | 21    |
| Wärmeerzeugung durch Kraft- Wärme- Koppelung/ BHKW .....                    | 21    |
| Wärmeerzeugung durch Wärmepumpeheizsysteme .....                            | 22    |
| Wärmeerzeugung durch Gas und Ölsysteme .....                                | 25    |
| Wärmespeicherung .....  | 25    |
| Wärmeverteilung .....   | 26    |
| Wärmeeabgabe .....  | 26    |
| Regelung .....  | 26    |
| Trnkwassererwärmung .....   | 26    |
| Kälteversorgung .....   | 29    |
| Kältverteilung und -Abgabe .....  | 29    |
| Absorbionskälteanlagen .....  | 30    |
| Kühlung durch Oberflächennahe Geometire, Grund- und Oberflächenwasser ..... | 31    |
| Solare Kühlung .....  | 31    |
| Adiabate Verdunstungskühlung .....  | 32    |
| Nutzung der Abwärme von Kompressions- Kältemaschinen .....                  | 32    |
| Elektroenergie/Stromnutzung .....   | 32    |
| Stromerzeugung mit Photovoltaik .....                                       | 34    |
| Gebäudeautomation .....   | 34    |

|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| 04  Lüftung.....                      | 35-39 |
| Natürliche Lüftung .....              | 36    |
| Mechanische Lüftung .....             | 36    |
| Zentrale Zu- und Abluftanlagen .....  | 36    |
| Abluftanlagen .....                   | 37    |
| Dezentrale Lüftungsanlagen .....      | 38    |
| Bemessung der Luftvolumenströme ..... | 38    |
| Lufttransport .....                   | 38    |
| Luftführung im Raum .....             | 39    |
| Regelung .....                        | 39    |
| 05  Wasser und Abwasser .....         | 40-42 |
| Wassersparende Sanitärtechnik .....   | 40    |
| Regenwasser .....                     | 40    |
| Versickerung .....                    | 40    |
| Retention .....                       | 41    |
| Nutzung .....                         | 41    |
| Grauwasser .....                      | 42    |
| 06  Bauprodukte .....                 | 43-44 |
| 07  Abfall .....                      | 45-46 |
| Literaturverzeichnis .....            | 47-48 |
| Abbildungen Tabellen .....            | 49-51 |
| Beteiligte der Arbeitsgruppe .....    | 53    |
| Checkliste .....                      | 55-61 |



## Einführung

Der Inhalt des vorliegenden Leitfadens soll als Arbeitshilfe bei Neu-, Um-, und Erweiterungsbaumaßnahmen sowie bei der Sanierung und Instandhaltung von Liegenschaften bzw. Gebäuden der Leibniz Universität Hannover dienen.

Unabhängig davon gelten die üblichen Verordnungen/Bestimmungen. Aufgrund der zunehmenden umweltpolitischen Diskussionen (Klimaschutz, Ressourcenverbrauch) kommen öffentlichen Gebäuden, besonders Ausbildungsstätten, eine besondere Verantwortung und Vorbildfunktion hinsichtlich Umweltschutz und Nachhaltigkeit zu. Deshalb sollten bei der Planung, Nutzung und Modernisierung der Gebäude der Leibniz Universität auch Maßnahmen ergriffen werden, die über die gesetzlichen Anforderungen hinausgehen. Durch den Einsatz innovativer Bauverfahren und Technologien kann die Universität Maßstäbe für nachhaltiges Bauen mit Symbolkraft für eine zukunftsorientierte Lehre und Forschung setzen.

Der Begriff der Nachhaltigkeit, dessen Ursprung in der Forstwirtschaft liegt, wurde von der UNO-Kommission definiert als eine Entwicklung bei der „... die gegenwärtige Generation ihre Bedürfnisse befriedigt, ohne die Fähigkeit der zukünftigen Generation zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse befriedigen zu können.“<sup>1</sup>

Das Leitbild der Nachhaltigkeit bezieht sich in diesem Leitfaden überwiegend auf die Minimierung des Gesamtenergiebedarfs von Gebäuden, den rationellen Umgang mit den Ressourcen Land/Boden, Wasser und Energie, sowie die Reduktion des CO<sup>2</sup>-Ausstoßes.

Darüber hinaus sind Faktoren wie Nutzerfreundlichkeit, Gestaltung und Wirtschaftlichkeit von größter Bedeutung. Bauvorhaben lassen sich uneingeschränkt energieeffizient und nachhaltig umsetzen, sofern klare Zielvorgaben hinsichtlich der Anforderungen an das Gebäude definiert werden und eine frühzeitige Zusammenarbeit zwischen Nutzern, Planern und Entscheidungsträgern stattfindet.

Die energetische Optimierung der Gebäude sollte in erster Linie durch eine geeignete Gebäudegeometrie und einen sehr hohen Dämmstandard erfolgen und der Einsatz von Anlagentechnik auf das notwendige Minimum beschränkt werden.

Dieser Leitfaden soll verschiedene Möglichkeiten für die Planung und Gestaltung nachhaltiger Neubau- und Sanierungsmaßnahmen aufzeigen.

<sup>1</sup> Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung, 1987

## 01 | Grundstück

Bei neu zu errichtenden Gebäuden bilden die Wahl des Baugrundstücks und die Anordnung der Baukörper die Grundlage für nahezu alle passiven Maßnahmen zur Reduktion des Primärenergiebedarfs beim Betrieb der Gebäude. Darüber hinaus werden die Voraussetzungen für die Nutzung regenerativer Energien wie Solarthermie, Photovoltaik und Erdwärme sowie für die Konzeption von Nahwärmeversorgungssystemen geschaffen.

Der Standort von Gebäuden ist geprägt durch den städtebaulichen Kontext und das Kleinklima der direkten Umgebung. Er hat Einfluss auf das Innenraumklima und damit auf den Energieverbrauch in Gebäuden. Die städtebauliche Einbindung und die Gebäudekonzeption eines neu zu errichtenden Gebäudes müssen dementsprechend auf die lokalen Gegebenheiten abgestimmt werden.

Lasten sollte ein Gebäude so positioniert werden, dass solare Wärmeeinträge entweder über den größten Teil des Jahres ermöglicht oder vermieden werden. Dabei ist zu beachten, dass die Wärmebelastung an Südfassaden in den Sommermonaten geringer ist als an Ost- und Westfassaden.

Durch eine städtebauliche Analyse der Art und Dichte der Bebauung soll bei der Planung möglichst eine ganzjährige verschattungsfreie Tageslichtversorgung der Hauptnutzflächen und Besonnung der dazugehörigen Freiflächen sichergestellt werden.

Bei neu zu errichtenden Gebäuden, aber auch bei Modernisierungsmaßnahmen empfiehlt es sich, die Möglichkeit zur Realisierung von Nahwärmekonzepten und Nutzung regenerativer Energiequellen zu überprüfen.

| Parameter   | Mittelwert Juni | Mittelwert Januar | Jahr    |
|---|-----------------|-------------------|---------|
| Sonnenscheindauer in [h]                                | 221,8           | 42,2              | -       |
| Windgeschwindigkeit in [m/s]                            | 4,6             | 3,5               | -       |
| Globalstrahlung in [Wh/m <sup>2</sup> je Tag]           | 3.524-6.369     | 363-669           | 931.590 |
| diffuse Sonnenbestrahlung in [Wh/m <sup>2</sup> je Tag] | 2.337-3.100     | 319-467           | 541.178 |
| Lufttemperatur $t$ in [°C]                              | 15,2            | 0,3               | -       |
| Wasserdampfgehalt $x$ in [g WD/kg tr. Luft]             | 7,8             | 3,6               | -       |

Tabelle 01: Klimadaten für den Standort Hannover (Klimazone Nr.3) Messdaten Hamburg- Fuhlsbüttel

Durch die Ausrichtung der Gebäudelängsseiten auf einem Grundstück werden die thermischen Bedingungen und der Tageslichteintrag im Innenraum festgelegt. Die Orientierung ist in solarenergetischer Hinsicht zu optimieren. Abhängig von den zu erwartenden inneren

Das Ziel der Nachhaltigkeit beinhaltet auch den sparsamen Umgang mit Flächen bei Bau- und Verkehrsvorhaben. So sind etwa für eine nachhaltige Regenwasserbewirtschaftung offene Böden als Versickerungsflächen erforderlich. Der bauplanungsrechtlich zulässige Rahmen für die Grundflächenzahl (GRZ) sollte daher im Sinne der Ressourcenschonung unterschritten und bei Sanierungsmaßnahmen die Möglichkeit der Flächenentsiegelung geprüft werden. Der Erdaushub ist als Massenausgleich auf dem Grundstück unterzubringen.

Da bei einer Neubebauung zwangsläufig Flächen in Anspruch genommen werden, können Dach- und Fassadenbegrünung einen gewissen Ausgleich schaffen, was sich wiederum auf das Mikroklima auswirkt. Auch Laubbäume in Gebäudenähe haben einen positiven Einfluss

## 02 | Gebäudekonzept

auf das Mikroklima und dienen als saisonaler Sonnenschutz. Wasserflächen reduzieren die Umgebungstemperatur durch Wärmeaufnahme und Verdunstungskühlung. Gebäude, Topografie und bis zu einem gewissen Grad auch die Vegetation können an lärmbelasteten Standorten zum Schallschutz genutzt werden.

Der Gesamtenergiebedarf von Gebäuden ist durch architektonische, bauliche sowie anlagentechnische Mittel zu senken. In erster Linie sind energierelevante Maßnahmen an Gebäude und Gebäudehülle zu ergreifen, um Transmissionswärmeverluste und Lüftungswärmeverluste zu minimieren. Dazu zählen Ausrichtung und

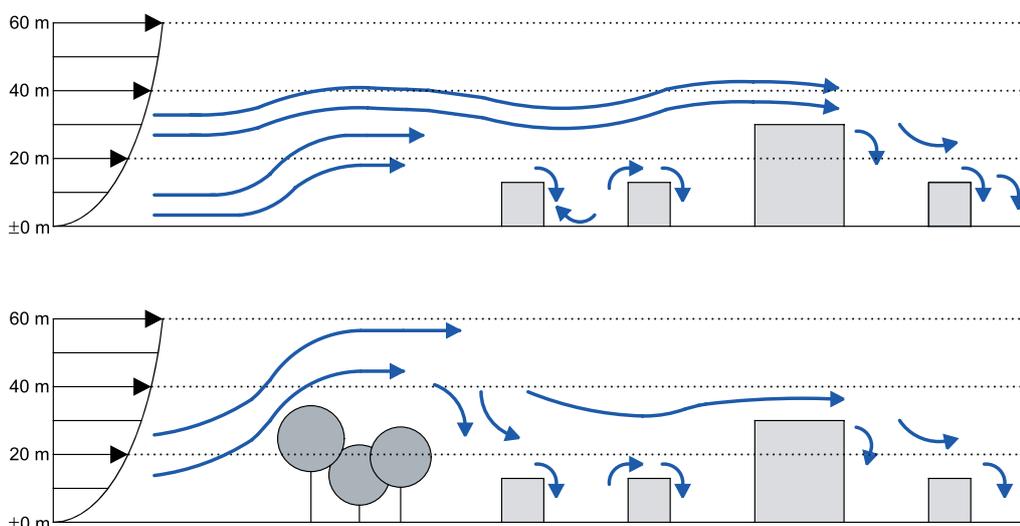


Abbildung 01: Einfluss von Topografie und Vegetation auf die Gebäudeströmung, die auftretende Windgeschwindigkeit und Druckverteilung am Gebäude

Bei verdichteter Bebauung oder höheren Gebäuden sind die Windverhältnisse zu beachten, da neben dem Einfluss der Topografie und der Vegetation die Höhe der Nachbarbebauung entscheidend für die auftretenden Windgeschwindigkeiten sind. Die Gebäudeumströmung bzw. die Druckverteilung an Gebäuden bei Wind und Thermik haben Einfluss auf freie Lüftung und Thermik im Inneren des Gebäudes (siehe Grafik). Nachhaltige Gebäude zeichnen sich durch einen stark verminderten Energiebedarf sowie durch die Bereitstellung der erforderlichen Energie mittels besonders effizienter anlagentechnischer Systeme aus.

Kompaktheit des Baukörpers, Fensterflächenanteil, Tageslichtnutzung, Sonnenschutz, Speichermasse und Dämmstandard.

In enger Zusammenarbeit mit allen Planungsbeteiligten (Bauherren, Architekten und Fachingenieuren) ist ein Energiekonzept für das Gebäude und die erforderliche Anlagentechnik zu entwickeln, das verschiedene Varianten eines Gebäudeentwurfs mit Prognosen über den späteren Energieverbrauch und die Betriebskosten sowie über die Herstellungskosten berücksichtigt. Dafür sind dynamische Simulationsprogramme (Trnsys, energyplus etc.) zu verwenden sowie eine Bilanzierung nach DIN V 18599

durchzuführen. Auf diese Weise können Funktionalität, Wirtschaftlichkeit und ökologische Aspekte der Varianten verglichen werden.

Bei der Bewertung der Varianten und Energiekonzepte sind finanzielle Mehraufwendungen für energiesparende Maßnahmen dann vertretbar, wenn sie innerhalb der voraussichtlichen Nutzungsdauer der Gebäudeteile und Anlagen durch die zu erwartende Energieeinsparung erwirtschaftet werden können. Bei Kostengleichheit ist die Lösung mit dem geringer prognostizierten Energiebedarf zu bevorzugen. Zur Entscheidungsvorlage sind ggf. Wirtschaftlichkeitsstudien (siehe VDI 2067, Jahreskostenberechnung) und Lebenszyklusbetrachtungen durchzuführen.

#### Gebäudegeometrie

Die Gebäudeform hat starken Einfluss auf den Heizwärmebedarf eines Gebäudes, da die Transmissionswärmeverluste proportional zur Größe der wärmeübertragenden Hüllfläche (Außenwände, Fenster, Dach) steigen.

A/V-Verhältnis bei Körpern mit gleichem Volumen (Halbkugel  $r=4.5\text{ m}$ )



A/V-Verhältnis bei Körpern mit unterschiedlichem Volumen (1 Baustein=10 m x 20 m x 5 m)

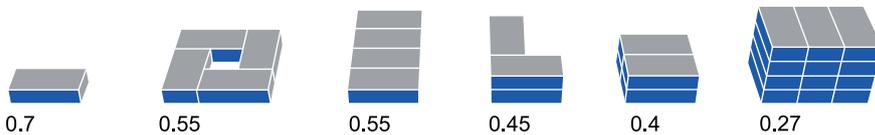


Abbildung 02: A/V-Verhältnis unterschiedlicher Gebäudegeometrien

Lange schmale oder verwinkelte Bauformen sowie Vor- und Rücksprünge in Dach und Fassade (Gauben, Erker, Loggien etc.) wirken sich durch die vergrößerte wärmeabgebende Oberfläche

ungünstig auf die Energiebilanz eines Gebäudes aus und müssen durch einen höheren Dämmstandard ausgeglichen werden.

Anzustreben sind daher kompakte Bauformen mit einem großen Nutzvolumen im Vergleich zur wärmeübertragenden Oberfläche. Diese Kompaktheit wird durch das Verhältnis von wärmeübertragender Umfassungsfläche  $A$  in  $[\text{m}^2]$  zum beheizten Gebäudevolumen  $V$  in  $[\text{m}^3]$  gekennzeichnet.

Empfohlen wird ein Wert von  $A/V \leq 0,5\text{ [m}^{-1}\text{]}$ .

Abweichungen haben einen erhöhten Aufwand hinsichtlich der Luftdichtigkeit und Wärmebrückenminimierung zur Folge. Die kompakte Bauform kann bei großen Raumtiefen allerdings Einschränkungen der Tageslichtversorgung und der natürlichen Belüftung mit sich bringen.

#### Raumprogramm/Grundrissgestaltung

Da die thermische Zonierung eines Gebäudes zur Reduzierung der Wärmeverluste bzw. der unerwünschten Energieeinträge und damit zur Verringerung des Energieverbrauchs beiträgt, sollte die Anordnung der Räume im Gebäude in Abhängigkeit von der Nutzung auf die zu erwartenden solaren Einträge abgestimmt werden.

Die Orientierung unbeheizter Räume nach Norden, niedrig beheizter Räume nach Osten und beheizter Räume nach Westen und Süden begünstigt die Ausnutzung der passiven solaren Energieerträge.

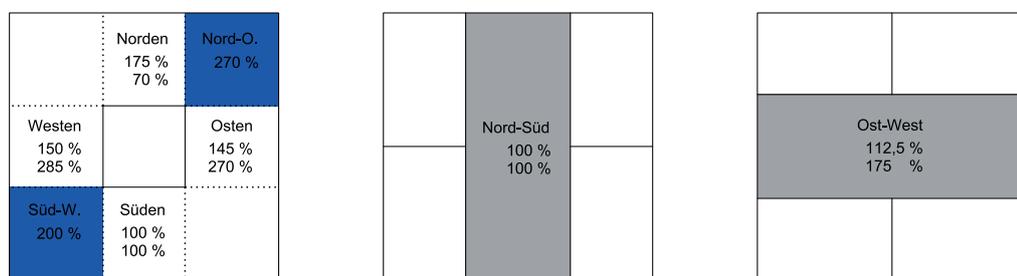
Der Aufbau des Grundrisses sollte einen hohen Grad an Tageslichtnutzung ermöglichen. Deshalb sind große Raumtiefen und innenliegende

Räume möglichst zu vermeiden. Räume mit gleichen technischen und/oder klimatischen Anforderungen sollten wenn möglich nebeneinander bzw. übereinander angeordnet werden.

Hinsichtlich der unbekanntnen Folgenutzungen der Gebäude empfiehlt es sich die Grundrisse flexibel zu gestalten. Dafür bietet sich i. d. R. ein modularer Aufbau an.

Kompaktheit des Gebäudes die wichtigsten Einflussgrößen bei der Planung.

Der Dämmstandard eines Gebäudes wird durch den angestrebten Heizwärmebedarf bestimmt. Transmissionswärmeverluste verringern sich mit zunehmender Dämmstärke. Im Bereich von 10 bis 20 cm Dämmstärke ist der Wärmeschutz



Heizwärmebedarf  
Übertemperaturstunden (> 28 °C)

Abbildung 03 : Heizwärmebedarf und Übertemperaturhäufigkeit bei verschiedenen Grundrissorientierungen (qualitativ)

### Wärmeschutz

Um den Energiebedarf von Gebäuden zu senken ist vor dem Einsatz hocheffizienter Anlagentechnik die Optimierung der Gebäudehülle unerlässlich. Ein erhöhter Wärmeschutz führt einerseits zur Verringerung der Wärmeverluste durch die opaken Außenbauteile, andererseits kann durch die raumseitig erhöhten Oberflächentemperaturen der Außenwände die Raumlufttemperatur ohne Behaglichkeitseinbußen gesenkt werden. Damit sind die Voraussetzungen für den Einsatz von Niedertemperatur-Heizsystemen geschaffen.

Der Dämmstandard, die Wahl der Verglasung und Rahmenprofile, eine wärmebrückenminimierte Konstruktion und eine luftdichte Gebäudehülle sind neben der Ausrichtung und

am effektivsten, die Dämmwirkung verläuft also nicht linear zur Dämmstärke.

Die Dämmschicht soll das Gebäude rundum ohne Unterbrechung umschließen. Bei thermisch unterschiedlichen Raumnutzungen ist eine zusätzliche Dämmung (Innendämmung) anzuordnen.

Empfohlen wird ein mittlerer U-Wert für nicht-transparente Außenbauteile von:

$$\leq 0,2 \text{ [W/m}^2\text{K]} \quad \text{bei } A/V > 0,5 \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

$$\leq 0,4 \text{ [W/m}^2\text{K]} \quad \text{bei } A/V < 0,5 \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

Grundsätzlich sind wärmetechnische Verbesserungen an Außenwänden als Außen- oder

Kerndämmung auszuführen. Bei temporär genutzten Gebäuden kann aufgrund der schnelleren Erwärmung der Raumluft eine innen liegende Dämmung vorteilhaft sein.

Bei einem Flachdachaufbau ist darauf zu achten, dass die Attika rundum gedämmt wird. Alternativ zu einer Betonaufkantung ist der Einsatz von Konstruktionen aus Holz und Porenbeton/Bims zu prüfen. Die Schichtdicke einer Gefälledämmung sollte an der dünnsten Stelle 20 cm nicht unterschreiten.

Bei einem Steildachaufbau müssen die Wärmedämmschicht des Daches und der Außenwände lückenlos aneinander angeschlossen werden.

Bei neu zu errichtenden Gebäuden empfiehlt es sich – sofern statisch möglich – die Dämmung unterhalb der Bodenplatte zu führen. Zu unbeheizten Kellerräumen ist eine Dämmschicht unterhalb der Kellerdecke anzuordnen.

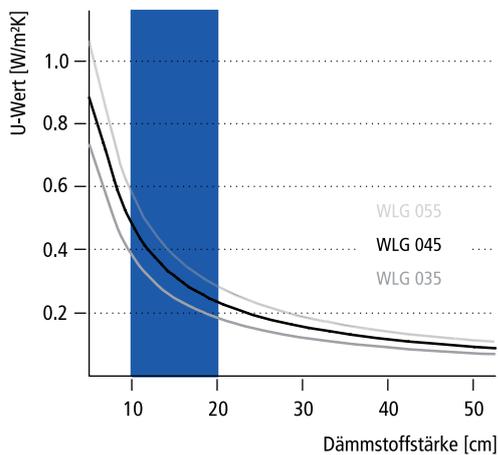


Abbildung 04: Dämmwirkung in Abhängigkeit von Dämmstoffstärke und Qualität des Dämmmaterials

Neben den marktüblichen Materialien (Mineralfasern, geschäumte anorganische und

organische Dämmstoffe) sollte die Verwendbarkeit von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen überprüft werden. Für viele der Naturdämmstoffe gibt es Fördermöglichkeiten, die eventuelle Mehrkosten reduzieren.

| Dämmmaterial         | $\lambda$ [W/(m K)] |
|----------------------|---------------------|
| Baumwolle            | 0.040               |
| Flachs               | 0.040-0.045         |
| Getreidegranulat     | 0.050               |
| Hanf                 | 0.040-0.080         |
| Holzfaserdämmplatten | 0.040-0.070         |
| Kokos                | 0.045-0.050         |
| Kork                 | 0.045-0.050         |
| Schafwolle           | 0.040               |
| Torf                 | 0.055               |
| Zellulose            | 0.040-0.045         |

Tabelle 02: Wärmeleitfähigkeit verschiedener Dämmmaterialien

Bei der Verglasung besteht die Wahl zwischen 2- und 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung. Die erforderliche Verglasungsqualität wird durch die Anforderungen an die thermische Behaglichkeit und die Größe der Verglasung bestimmt.

Beim Einsatz einer Drei-Scheiben-Verglasung ist nutzungsspezifisch abzuwägen zwischen der erhöhten Dämmwirkung einerseits, und dem verringerten Gesamtdurchlassgrad [g] und dem reduzierten Tageslichttransmissionsgrad [τ] andererseits. Bei größeren Bauvorhaben empfiehlt es sich die Scheibenqualität der jeweiligen Himmelsrichtung anzupassen.

Wärmeverluste über den Scheibenrandverbund sind durch die Auswahl geeigneter Abstandhal-

ter und einen erhöhten Glaseinstand (25-30 mm) im Rahmen zu minimieren.

Großflächige Verglasungen mit einem geringen Rahmen- und Sprossenanteil sowie Festverglasungen erhöhen die solaren Energieerträge und verringern die Wärmeverluste.

Der Rahmenanteil einer Verglasung sollte maximal 30% betragen.

Die Rahmenprofile sind hochwärmedämmend auszuführen und die Öffnungsflügel sollten mit drei Dichtungsebenen versehen sein. Wärmebrücken, die beim Einbau der Fenster entstehen, sind wenn möglich durch Überdämmen der Rahmen zu verringern.

|                            | 2-Scheiben-Verglasung | 2-Scheiben-Verglasung |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| $U_g$ [W/m <sup>2</sup> K] | bis 1,1               | bis 0,5               |
| $g$ [-]                    | 0,55 - 0,65           | 0,5                   |
| $\tau$ [-]                 | 0,8                   | 0,7                   |

Abbildung 03: Glaskennwerte

Empfohlen wird ein Wert für  $U_w$  von  $\leq 1,4$  W/(m<sup>2</sup>K). Für den Passivhaus-Standard ist eine entsprechend höhere Qualität zu wählen. Außerdem empfiehlt es sich die Entwicklungen im Bereich der Vakuumverglasungstechnik zu verfolgen.

### Wärmebrücken

Mit zunehmender Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes von Außenbauteilen gewinnt auch die Vermeidung von Wärmebrücken an Bedeutung. Bei neu zu errichtenden Gebäuden ist eine wärmebrückenfreie\* Bauweise anzu-

streben. Bei Modernisierungsmaßnahmen im Baubestand sollten vorhandene Wärmebrücken soweit möglich beseitigt oder zumindest in ihrer Wirkung verringert werden.

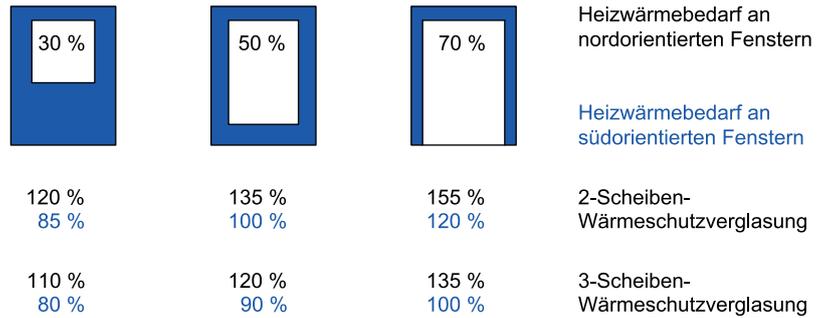


Abbildung 05: Der Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der Verglasungsqualität, der Orientierung und dem Fensterflächenanteil (qualitativ)

Wärmebrückenverluste lassen sich verringern, indem:

- die Dämmschicht ohne Unterbrechungen das gesamte Gebäude umschließt,
- Gebäudekanten in möglichst stumpfem Winkel ausgebildet werden,
- im Bereich von Bauteilanschlüssen die jeweilige Dämmung an die andere anschließt.

Ist eine Durchbrechung der Dämmebene nicht zu vermeiden, sollte dies mit Materialien mit einer geringen Wärmeleitfähigkeit geschehen (Edelstahl, Holz, Porenbeton etc.).

Über die Wirkung konstruktiver Wärmebrücken empfiehlt es sich einen rechnerischen Nachweis zu erbringen. Geometrische Wärmebrücken werden dadurch berücksichtigt, dass der Wärmeverlust mit der Außenoberfläche des jeweiligen Bauteils angerechnet wird.

\* Definition für „wärmebrückenfreies Konstruieren“ gemäß Passivhaus Institut, Darmstadt: Die durch die „Wärmebrückenterme“ gegebenen Beiträge sind auf das Außenmaß eines Gebäudes bezogen kleiner oder gleich Null ( $\psi \leq 0,01$  [W/(mK)])

Anforderungen an den  $\Psi$ -Wert für Neubauten:  
 $\Psi \leq 0,01 \text{ W/(mK)}$

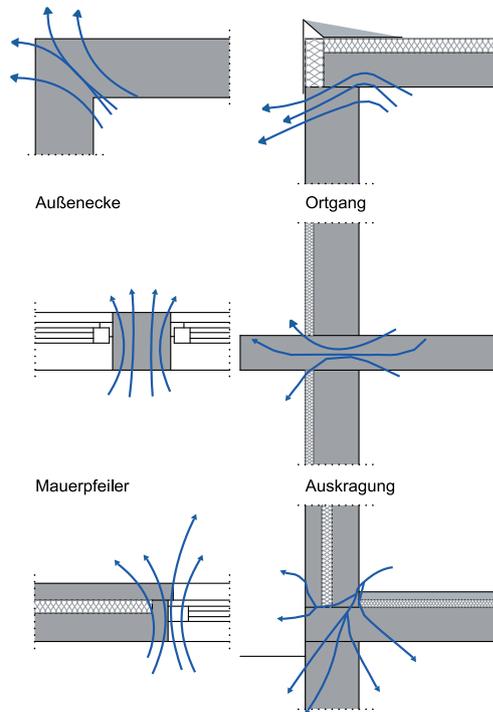


Abbildung 06: Typische Wärmebrücken bei Gebäuden

#### Luftdichtheit der Gebäudehülle

Bei Gebäuden mit gut gedämmten Außenbauteilen wirkt sich die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle entscheidend auf die Heizlast aus, da die anteilige Lüftungsheizlast prägnant wird. Deshalb sind das Dämm- und Dichtigkeitskonzept bei der Planung aufeinander abzustimmen.

Die luftdichte Hülle muss das gesamte beheizte Volumen vollflächig umschließen. Die Anzahl der Durchdringungen, Fugen und Anschlüsse ist auf das notwendige Maß zu begrenzen, da Fehlstellen in der luftdichten Gebäudehülle zu feuchtebedingten Bauschäden durch Tauwasseranfall sowie zu störenden Zugerscheinungen führen können.

Es soll ein Luftdichtheitskonzept erstellt werden, bei dem für die notwendigen Durchdringungen und Bauteilanschlüsse geeignete Anschlussmöglichkeiten nachgewiesen werden. Die Luftdichtheit der Gebäudehülle sollte schon frühzeitig vor Fertigstellung des Innenausbau durch einen Blower-Door-Test sichergestellt werden, so dass Nachbesserungen gegebenenfalls noch realisiert werden können.

Anzustreben sind n50-Werte (bei Neubau und Modernisierung) von:

$\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$  (Mech. Lüftung)

$\leq 1,0 \text{ h}^{-1}$  (Fensterlüftung)

Für einen hygienischen Mindestluftwechsel der Räume muss auf geeignete Weise gesorgt werden (siehe Freie Lüftung/Raumlufttechnik).

#### Nutzung solarer Erträge (passiv)

Bei der passiven Sonnenenergienutzung werden die solaren Erträge durch transparente Bauteile direkt zur Gebäudeheizung genutzt. Allerdings muss im Vorfeld die Nutzbarkeit dieser Wärmegewinne sichergestellt werden. Bei hohen inneren Lasten führen zusätzliche Wärmeeinträge von außen zu einem erhöhten Bedarf an Kühlenergie. Zur Beurteilung der passiven Solarenergienutzung ist eine Bilanzierung der zu erwartenden Wärmegewinne und -Verluste erforderlich.

Voraussetzung für die Nutzung solarer Erträge ist die Optimierung des Fensterflächenanteils und der Verglasungsqualität in Abhängigkeit von Klima, Orientierung und Speichervermögen der Innenbauteile (siehe Wärme- und Kältespeicherung im Gebäude) sowie ein sehr hoher Dämmstandard der Außenbauteile.

Die Wärmeerträge durch Solarstrahlung müssen die Energieverluste der transparenten Bauteilflächen bei bedeckten Wetterperioden und in der Nacht überschreiten.

Da die solaren Erträge je nach Tages- und Jahreszeit auf den unterschiedlichen Fassadenseiten in Intensität und Dauer variieren, ist für die passive Solarenergienutzung eine Einstrahlung von Südost über Süd nach Südwest anzustreben.

Empfohlen wird eine Nord-/Südorientierung ( $\pm 30^\circ$ ) der Gebäudelängsseiten. Bei durchschnittlichen inneren Lasten sollte die Verglasung einen g-Wert von  $\geq 0,5$  aufweisen.

Zur Vermeidung von Übertemperaturen ist (besonders auf der Ost- und Westseite des Gebäudes) ein ausreichender Sonnenschutz vorzusehen und ein schnell reagierendes Heizsystem zu installieren.

Durch den Einsatz Transparenter Wärmedämmung (TWD) lässt sich die Sonnenenergie zeitlich verzögert nutzen. Durch die hohen Investitionskosten in Relation zur möglichen Heizenergieeinsparung und die schlechte Regelbarkeit des Wärmeeintrages ist von diesem System zur Solarenergienutzung i. d. R. abzuraten. Eine Ausnahme stellt die Sheddachverglasung mit TWD-Elementen bei Hallenbauten mit geringen Wärmelasten dar.

Eine weitere Möglichkeit der passiven Solarenergienutzung ist der Einsatz von unbeheizten Atrien, Hallen sowie vollständigen Glaseinhausungen als Pufferzonen. Der Wärmebedarf der dahinter liegenden Räume kann durch oben genannte Maßnahmen gesenkt werden.

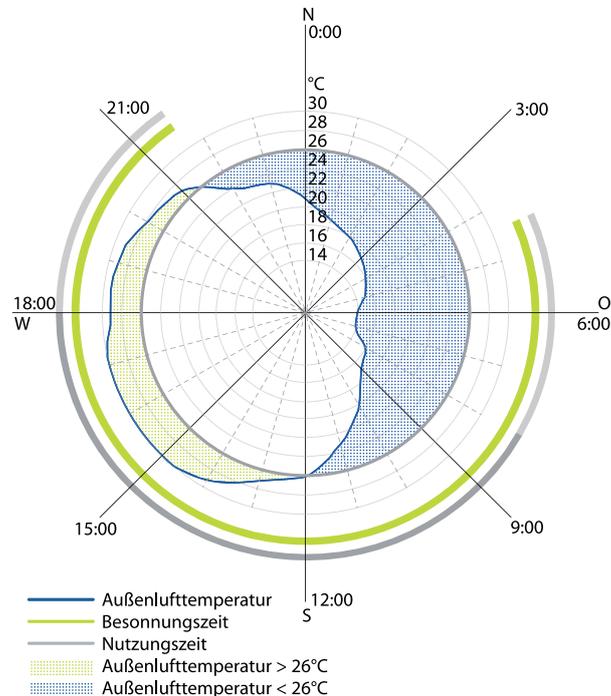
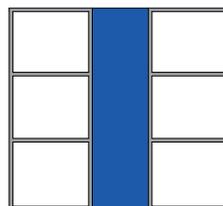
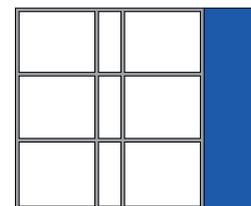


Abbildung 07: Funktionale und thermische Wechselbeziehung je nach Fassadenorientierung für einen typischen Sommertag (Würzburg 01. August)

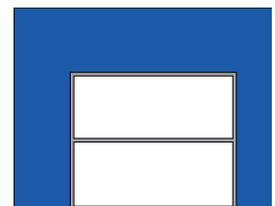
Allerdings ist bei diesen Systemen die Gefahr der sommerlichen Überhitzung groß und die natürliche Belüftung der Räume ist wegen der Druckreduktion durch die zweite Gebäudehülle eventuell nur noch eingeschränkt möglich. Eine thermische Analyse wird empfohlen.



Atrium



Pufferzone



Glaseinhausung

Abbildung 08: Möglichkeiten zur passiven Solarenergienutzung

### Sonnenschutz

Da solare Erträge nicht uneingeschränkt nutzbar sind, können diese Wärmegewinne unter Umständen zu Raumtemperaturen oberhalb der Behaglichkeitsgrenze führen, sofern keine Kühlung der Räume erfolgt. Abhängig vom Verglasungsanteil einer Fassade, Wandaufbau (schwer/leicht), Art der Verglasung (g-Wert) und Höhe der internen Wärmelasten sind Maßnahmen zum Sonnenschutz unverzichtbar.

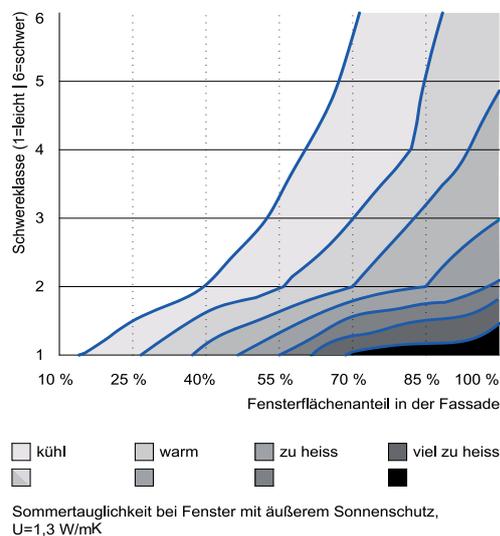


Abbildung 09: Qualitative Darstellung des sommerlichen Innenraumklimas je nach Fensterflächenanteil und Schwereklasse der raumschließenden Bauteile

Sonnenschutzgläser sind 2-/3-Scheiben-Isoliergläser mit einer geringen Strahlungsdurchlässigkeit. Durch eine selektiv wirkende Metallbeschichtung auf der Innenseite der äußeren Scheibe wird ein großer Teil des sichtbaren Lichts durchgelassen, aber nur ein geringer Teil der Wärmeenergie.

Das Verhältnis von Lichtdurchlässigkeit ( $\tau$ ) und Gesamtenergiedurchlassgrad ( $g$ ) wird durch die Selektivitätskennzahl  $S$  [-] beschrieben.

Hinsichtlich einer optimalen Tageslichtnutzung sollte eine Sonnenschutzverglasung einen S-Wert von  $\geq 1,8$  aufweisen.

Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung des g-Werts stellt die Bedruckung der Glasscheiben dar. Bedruckungsgrad, -farbe und -struktur bestimmen den Gesamtenergiedurchlassgrad und den Tageslichteinfall durch die Verglasung. Ein guter Hitzeschutz ist bei diesem System i.d.R. nur zu Lasten der Tageslichtnutzung zu realisieren.

Ein außen liegender Sonnenschutz ist einem innen angeordneten System auf Grund der höheren Effizienz vorzuziehen. Dies erfordert einen ausreichenden Abstand zum Fenster, damit sich die erwärmte Luft nicht zwischen der Sonnenschutzvorrichtung und der Verglasung staut.

Ein innen liegender Sonnenschutz kann lediglich als ergänzende Maßnahme zum Schutz vor Blendung oder bei einem sehr geringen Fensterflächenanteil ( $< 20\%$ ) vorgesehen werden.

Durch den variierenden Sonnenstand, abhängig von Himmelsrichtung und Jahreszeit, sollte die Wahl des Verschattungssystems in Abhängigkeit von der Orientierung der zu verschattenden Fensterflächen erfolgen:

Bei einer nach Süden ausgerichteten Fassade bietet sich, bedingt durch den hohen Sonnenstand, eine Verschattung durch horizontale Lamellen oder feststehende Elemente wie Auskragungen, Sonnenschutzvorbauten, Dachüberstände und Balkone an. Damit wird die direkte Einstrahlung des Sonnenlichtes verhindert, ohne die Aussicht zu beeinträchtigen. Auch im

Winter, bei niedrigerem Sonnenstand, gelangt nach wie vor Tageslicht ins Rauminnere. Der flache Einfallwinkel auf Ost- und Westseiten einer Fassade führt zu einer beinahe senkrechten Einstrahlung des Sonnenlichtes. Bei einer horizontalen Anordnung von Lamellen ist eine fast geschlossene Lamellenstellung erforderlich, um den Direktanteil des Sonnenlichtes abzuhalten. Dadurch wird der Ausblick vermindert und der Tageslichteintrag stark reduziert. Besser geeignet sind vertikale Lamellen mit einstellbarem Lamellenwinkel.

Unabhängig von der Ausrichtung der zu verschattenden Glasflächen ist eine Abminderung der Sonneneinstrahlung ( $F_c$ -Wert) von  $\leq 0,5$  [-] anzustreben.

Der Sonnenschutz sollte bedarfsgerecht einsetzbar sein um einerseits zu verhindern, dass er über den gesamten Tag geschlossen bleibt und durchgehend eine künstliche Belichtung erforderlich macht. Andererseits muss die Verschattung der Räume auch in Abwesenheit der Nutzer erfolgen können. Es wird empfohlen, den Sonnenschutz auf die Gebäudeleittechnik aufzuschalten (sofern vorhanden). Bei einer automatisierten Regelung der Sonnenschutzvorrichtung kann die Steuerung entweder temperaturabhängig oder strahlungsabhängig erfolgen. Eine raumtemperaturabhängige Verschattung hat den Vorteil, dass auch Wärmeeinträge aus diffuser Strahlung abgehalten werden, auch wenn keine Direktstrahlung auf die Fensterfläche trifft. Außerdem verkürzt sich bei dieser Regelstrategie der Zeitraum, in dem der Sonnenschutz geschlossen ist. Geeignet sind vor allem Sonnenschutzsysteme, die automatisch mehrfach täglich (abhängig von der solaren Einstrahlung) schließen und manuell

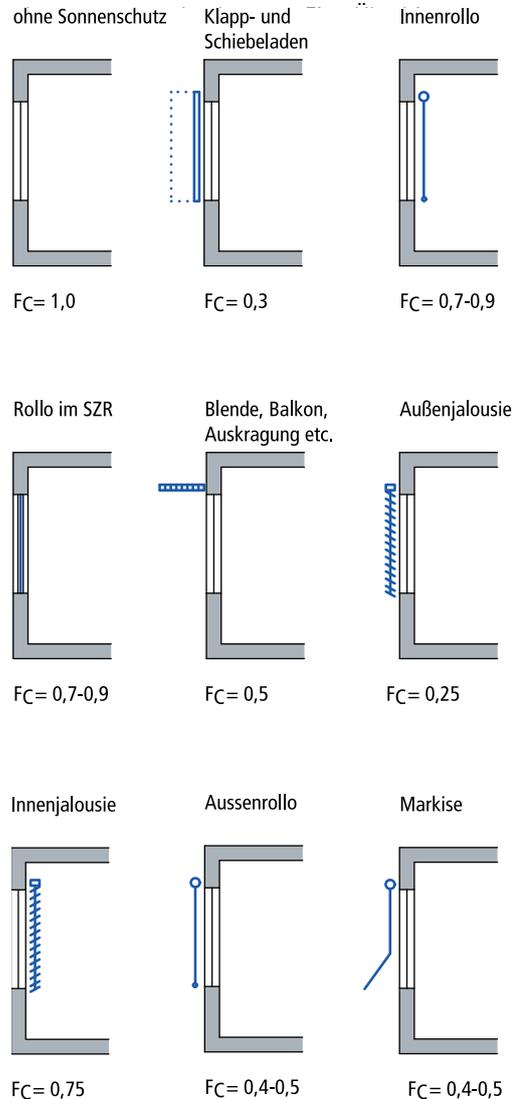


Abbildung 10: Möglichkeiten zur Anordnung des Sonnenschutzes und dazugehörige Abminderungsfaktoren ( $F_c$ )

oder unnötige Kühlung von nicht genutzten Räumen lässt sich dadurch vermeiden.

#### Blendschutz

Unabhängig von der Orientierung, der Art und der Regelung des Sonnenschutzes sollte ein Blendschutz vorgesehen werden, wenn direktes

Sonnenlicht auf Personen oder Arbeitsgeräte fällt (Direktblendung) oder sich ein heller Hintergrund in Bildschirmen spiegelt (Reflexblendung). Um eine weitestgehend natürliche Tageslichtbeleuchtung von Räumen zu ermöglichen, empfiehlt es sich, den Blendschutz nur in dem Bereich der Fenster einzusetzen, in dem tatsächlich die Gefahr der Blendung besteht. Bei hoch stehender Sonne (Südausrichtung) ist der Blendschutz vor allem im Oberlichtbereich des Fensters vorzusehen, bei niedrigem Sonnenstand (Ost-/Westausrichtung) ist er in Augenhöhe am wirkungsvollsten.

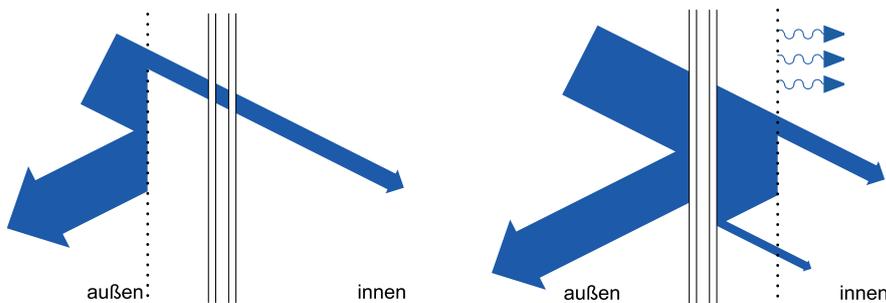


Abbildung 11: Wärmeeinträge durch Fenster je nach Position des Sonnenschutzes (qualitativ)

Ist bei einem Gebäude eine außenliegende Verschattung geplant, lässt sich diese gleichzeitig auch als Blendschutz nutzen. Ist jedoch eine passive Solarenergienutzung erwünscht, sollte der Blendschutz in Form von Rollos, Jalousien und Faltschürzen auf der Rauminnenseite positioniert werden.

Idealerweise sollte bei einer Büronutzung der Blendschutz an jedem Arbeitsplatz variabel einstellbar sein. Dadurch erhält der Nutzer die Möglichkeit der individuellen und bedarfsgerechten Bedienung. Bei gleichzeitiger Funktion als Lichtlenksystem wird der verringerte Lichteinfall in Fensternähe durch die Lenkung des Lichtes in die Tiefe des Raumes ausgeglichen.

### Beleuchtung

Die Beleuchtung ist ein wichtiger Faktor für die physische und psychische Behaglichkeit in Innenräumen. Sie soll gute Sehbedingungen schaffen und dadurch die Arbeitsqualität steigern, die Arbeitsbedingungen verbessern und die Unfallgefahr verringern.

| Zone  | Nennbeleuchtungsstärke [lx] | $P_{\max \text{ spez.}}$ [W/m <sup>2</sup> ] |
|---|-----------------------------|--|
| Büroräume   | 300                         | 10   |
| am Arbeitsplatz                                     | 500                         |  |
| Sitzungszimmer<br>Besprechungsraum<br>Konferenzsaal | 300                         | 15   |
| Verkehrsfläche Flur                                 | 50                          | 3  |
| Verkehrsfläche Treppe                               | 100                         | 5  |

Tabelle 04: maximale spezifische Leistungswerte für den Beleuchtungsaufwand

In Räumen für kulturelle und repräsentative Zwecke können durch die Beleuchtung bestimmte Gegenstände oder Gebäudeteile akzentuiert werden.

Die Nutzung von Tageslicht ist der künstlichen Beleuchtung vorzuziehen, da sie keinen zusätzlichen Aufwand an Energie erfordert und von den Nutzern i. d. R. als angenehmer empfunden wird.

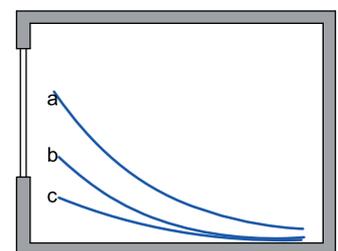
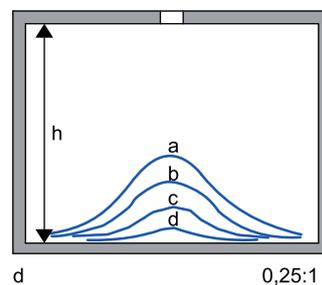
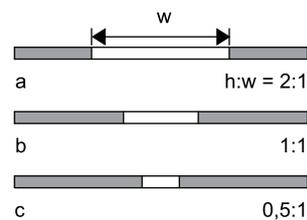
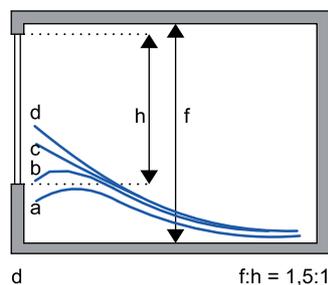
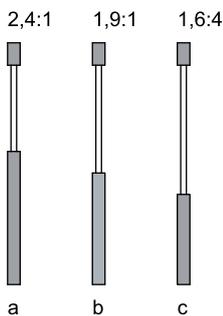
Die Art der Beleuchtung ist relevant für die Betriebskosten und die Energiebilanz eines Gebäudes. Die Fassadengestaltung sollte deshalb eine optimale Tageslichtversorgung ermöglichen, bei gleichzeitiger Begrenzung des Strahlungseintrages.

Durch die Nutzung von Tageslicht sinkt einerseits der elektrische Energiebedarf für eine künstliche Beleuchtung. Andererseits verringern sich, vor allem im Sommer, die thermischen Lasten und damit der Kühlbedarf, der durch den Einsatz von Beleuchtungskörpern auftritt.

Darüber hinaus wird die natürliche Belichtung i. d. R. als angenehmer empfunden und hat Einfluss auf die Konzentrations- und die Leistungsfähigkeit der Gebäudenutzer.

Für ein angenehmes Helligkeitsniveau in einem durch Tageslicht beleuchteten Innenraum sind bestimmte Mindestgrößen für Fenster erforderlich. Zur Untersuchung der Lichtverteilung in den Räumen wird eine Tageslichtsimulation empfohlen.

Unter Berücksichtigung der zusätzlichen Einflussgrößen Transmissionswärmeverluste (Winter) und Strahlungseinträge (Sommer) sollte der Fensterflächenanteil eines Gebäudes 40 – 50 % nicht überschreiten.



a Sonne, klarer Himmel  
b bedeckter Himmel  
c keine Sonne, klarer Himmel

Abbildung 12: Tageslichtangebot in Räumen bei verschiedenen Himmelszuständen, Beleuchtungssituationen und Fenstergrößen (qualitativ)

Eine optimale Tageslichtversorgung wird vor allem durch die Position der Fensterflächen erreicht. Ein Dachflächenfenster/Sheddach ist um den Faktor 3 wirksamer als ein Seitenlicht (Fenster). Allerdings ist in den Sommermonaten der Energieeintrag auch wesentlich höher als bei seitlich angeordneten Fenstern.

Bei der seitlichen Belichtung ist die Tiefe des Tageslichteintrages abhängig von der Fenster-

höhe oberhalb der Arbeitsfläche. Die Oberlichtzone ist besonders effektiv für eine Ausleuchtung in die Raumtiefe. Auf Deckenstürze sollte deshalb wenn möglich verzichtet werden. Der Brüstungsbereich hingegen liegt außerhalb der Arbeitsebene und ist aus tageslichttechnischer Sicht weniger relevant.

Außerdem sollten möglichst helle Decken-, Fußboden- und Wandflächen hergestellt werden, da hohe Reflektionsgrade das Licht im Raum optimal verteilen.

Der Tageslichtquotient sollte in der Hälfte der Raumtiefe mindestens 0,9 % betragen.

Zur künstlichen Beleuchtung von Räumen sollten ausschließlich energiesparende Leuchtmittel verwendet werden, die eine hohe Lichtausbeute ermöglichen. Der Reflexionsgrad der umgebenden Raumflächen sollte möglichst hoch sein. Helle Decken- und Wandoberflächen tragen maßgebend dazu bei.

Werden die Leuchten möglichst tief platziert, kann dadurch die erforderliche Anzahl an Leuchten gesenkt werden. So lässt sich durch eine Verringerung der Leuchtenhöhe von 2,5 m auf 2,0 m bis zu 20 % Strom einsparen.

gezielte Lichtlenkung durch die Leuchte erhöht den Beleuchtungskomfort und vermindert die Blendwirkung. Lichtlenkende Reflektoren können auch im Gebäudebestand nachgerüstet werden.

| Leuchtmittel                   | Lichtausbeute [lm/W] | Anlaufdauer [min.] | Wiederzündung [min.] |
|--------------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| Glühlampe                      | 12                   | keine              | sofort               |
| Halogenglühlampe               | 21                   | keine              | sofort               |
| Kompaktleuchtstofflampe        | 66                   | keine              | sofort               |
| Leuchtstofflampe               | 64-84                | keine              | sofort               |
| Quecksilberdampf Lampe         | 50                   | ca. 5              | 5-15                 |
| Halogen-Metaldampf Lampe       | 84                   | ca. 2-3            | 5-10                 |
| Natrium-Hochdruckdampf Lampe   | 99                   | ca. 5              | sofort bis 5         |
| Natrium-Niederdruckdampf Lampe | 147                  | ca. 10-20          | sofort bis 5         |

Neben der Wahl der Leuchtmittel ist der Einsatz einer tageslicht- oder präsenzabhängigen Beleuchtungssteuerung zu empfehlen.

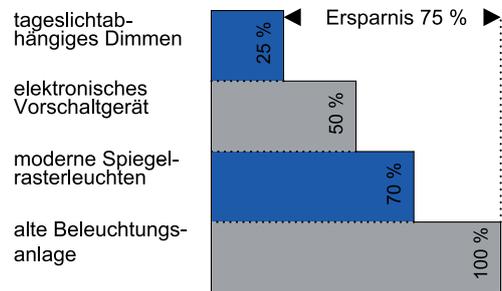


Abbildung 13: Einsparpotential von modernen Beleuchtungsanlagen (Durchschnittswerte)

Tabelle 05: Eigenschaften verschiedener Leuchtmittel im Vergleich

Bei der Neubeschaffung von Leuchtmitteln sind vorzugsweise Lampen mit geringer Leistungsaufnahme, z. B. Kompaktleuchtstofflampen (Energiesparlampen) oder Dreiband-Leuchtstoffröhren mit elektronischen Vorschaltgeräten, zu beschaffen. Defekte Lampen sollten durch energieoptimierte Lampen ersetzt werden.

Die Lebensdauer des Leuchtmittels sollte möglichst hoch sein. Hinweise zu Effizienz und Qualität geben die Labels EU-Label, EU-Umweltzeichen, Blauer Engel, Energy Star etc. Es ist ein hoher Leuchtenwirkungsgrad und eine optimierte Lichtverteilung durch die Leuchten (z. B. Spiegelrasterleuchten) anzustreben. Eine

### Tageslichttechnik

Systeme zur Tageslichtlenkung werden eingesetzt um einen gleichmäßigen Verlauf des Tageslichtquotienten zu erzielen und damit die natürliche Beleuchtung auch in der Tiefe eines Raumes zu ermöglichen.

Da in Mitteleuropa die indirekte Strahlung überwiegt, sollte die Tageslichtlenkung auf den bedeckten Himmelszustand optimiert sein. Das diffuse Licht ist energieärmer. Das bedeutet einerseits, dass sich die Gefahr von Überhitzung und Blendung im Innenraum verringert, andererseits, dass das Tageslichtangebot oftmals unzureichend ist. Himmelslicht fällt, im Gegensatz zur nahezu parallel verlaufenden Direktstrahlung, aus verschiedenen Richtungen ein und ist schwer zu lenken. Deshalb sind die meisten Systeme darauf beschränkt, das Licht

aus dem helleren Zenitbereich des Himmels zu nutzen. Dafür geeignet sind Lichtlenkjalousien, Lichtschwerter oder holographisch optische Elemente (HOE).

zugewandt sein (keine Deckenabhängung, keine aufgeständerten Fußböden, keine Wandverkleidung). Außerdem ist auf raumseitig angeordnete Dämmschichten (Innendämmung) zu verzichten.

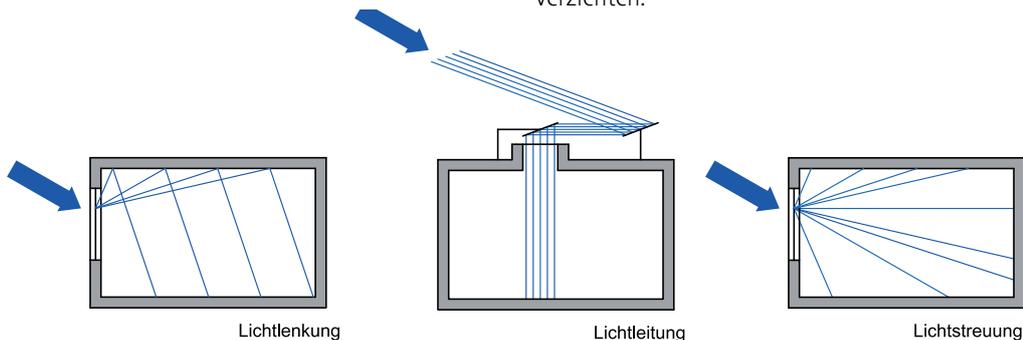


Abbildung 14: Funktionsprinzip von verschiedenen Tageslichtsystemen

Das System für die Tageslichtlenkung sollte gleichzeitig auch als Sonnen- und Blendschutz nutzbar sein.

#### Wärme- und Kältespeicherung im Gebäude

Durch die Wahl geeigneter Materialien lassen sich die Auswirkungen von (äußeren) Lastwechseln und inneren Lasten dämpfen.

Speicherfähige Bauteile und Materialien (PCM) können tageszeitlich, witterungs- oder nutzungsbedingte Temperaturschwankungen der Raumluft durch Aufnahme und zeitverzögerte Abgabe von Wärme in einem gewissen Maß ausgleichen. Dadurch wird bei erhöhter Behaglichkeit die Heiz- und Kühllast von Gebäuden verringert.

Als speicherfähig gelten Materialien mit einer hohen spezifischen Wärmekapazität und Wärmeeindringgeschwindigkeit/Wärmeeindringkoeffizient.

Um diese Speicherfähigkeit nutzen zu können müssen die Bauteile/Materialien dem Raum

Die wesentliche speicherwirksame Bauteiltiefe beträgt je nach Baustoff 8 bis 10 cm. Im Verhältnis zur Fensterfläche sollte eine genügend große speichernde Oberfläche vorhanden sein.

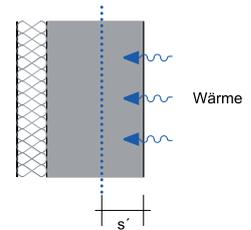
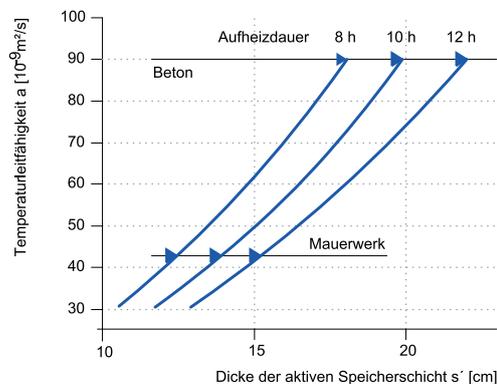


Abbildung 15: Aufheizzeit freiliegender Speicherschichten

### 03 | Energieversorgung

Der Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in der Atmosphäre ist überwiegend auf die Verbrennung fossiler Energieträger zurückzuführen. Dabei ist dem Energieverbrauch in Gebäuden ein großer Teil der Umweltbelastung und deren Folgeschäden zuzuweisen.

Darüber hinaus entfällt ein wesentlicher Teil der Betriebskosten eines Gebäudes auf den Energieverbrauch (Gebäudeheizung und -kühlung, Trinkwarmwasserbereitung und Elektroenergie für Hilfsstrom, Beleuchtung und Arbeitsmittel). Auf die Nutzungsdauer hochgerechnet können sie ein Mehrfaches der Investitionskosten betragen.

#### Wärmeversorgung

Neben der Bautechnik bietet das Wärmeversorgungssystem eines Gebäudes erhebliches Potential zur Energieeinsparung und damit zur Reduktion des Emissionsausstoßes.

lichen Wärmeerzeugern können die Energieverluste durch Brennwert- oder Niedertemperaturtechnik reduziert werden. Standardkessel sollten möglichst nicht mehr eingesetzt werden.

Die Art der Wärmeerzeugung, -Verteilung und Regelung sowie die eigentlichen Raumheizflächen müssen auf den energetischen Standard des Gebäudes abgestimmt sein.

Vorraussetzung für die Mehrzahl der oben genannten Systeme ist eine Niedertemperaturwärmeabnahme und geringe Heizmitteltemperaturen. Bei Wärmepumpenbetrieb sind niedrige Systemtemperaturen für hohe Leistungsziffern erforderlich. Je niedriger das Temperaturniveau, desto größer ist die mögliche Energieeinsparung. Dies lässt sich jedoch nur bei einem hervorragenden Dämmstandard (opake Bauteile  $U \leq 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , transparente Bauteile ( $U \leq 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) der Außenbauteile und dem Einsatz von Flächenheizsystemen realisieren.

Innerhalb einer Liegenschaft und ggf. angrenzender Liegenschaften sollte die Wärmeversorgung zentral erfolgen. Außerdem ist die Wärme in der Form (Temperaturniveau und Druckstufe des Wärmeerzeugers) zu erzeugen, in der sie benötigt wird.

Bei Kältebedarf in Gebäuden ist die Möglichkeit der Kopplung von Wärme und Kälteerzeugung zu überprüfen. Die Verteilung und Abgabe der Kälte sollte ebenfalls als Kombination von Heiz- und Kühlsystem (stille Kühlung) erfolgen.

Die Wärmeerzeugungsanlagen, Warmwasserspeicher und Wärmeverteilungen sollten möglichst innerhalb der gedämmten Gebäudehülle untergebracht werden, um die

| Heizsystem                | Primärenergienutzungsgrad [kWh/kWh] | CO <sub>2</sub> -Emissionen [kg/kWh] |
|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Elektroheizung (Strommix) | 0,3                                 | 0,8-0,9                              |
| Öl/Gasheizung (Brennwert) | 0,8-0,85                            | 0,2-0,3                              |
| Elektrowärmepumpe         | 1,1-1,4                             | 0,25-0,3                             |
| Gasmotorwärmepumpe        | 1,5-1,8                             | 0,15-0,2                             |
| Holzpellettheizung        | 0,6-0,7                             | 0,05-0,1                             |
| BHKW                      | 1,5                                 | 0,05-(-0,3)                          |

Tabelle 06: Energetischer Vergleich verschiedener Heizsysteme

Nachhaltige Wärmeerzeugungsanlagen nutzen regenerative Energien (Wärmepumpe), Abwärme, Fernwärmeeinspeisung oder Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung. Bei den herkömm-

Wärmeverluste der Anlagenkomponenten zur Erwärmung des beheizten Gebäudevolumens nutzen zu können und damit den Energiebedarf zu reduzieren.

Im Falle von Fernwärmenutzung und Kälteerzeugung sind Sorptionsverfahren zur Kälteerzeugung mittels Fernwärme zu prüfen.

| System             | Heizmittel-temperaturen VL/RL [°C] |
|--------------------|------------------------------------|
| statische Heizung  | 50/40                              |
| dynamische Heizung | 50/40                              |
| Deckenheizung      | 29/25                              |
| Fußbodenheizung    | 29/25                              |

Tabelle 07: Anzustrebende Temperaturen für Vor- und Rücklauf in °C

#### Wärmeerzeugung durch Verbrennung von Biomasse und Biodiesel

Für die Wärmeerzeugung ist die Möglichkeit zur Nutzung von Biomasse und Biodiesel als „CO<sub>2</sub>-neutrale“ Energieträger zu prüfen. Holz in Form von Stückgut, Hackschnitzel oder Pellets ist dann zu verwenden, wenn es in entsprechender Qualität konstant lieferbar ist und genügend Lagerfläche für den Brennstoff zur Verfügung steht.

Ein dezentrales Versorgungskonzept bestehend aus Holzhackschnitzelheizkesseln, Pelletsheizkesseln oder auch Kombinationen mit solaren Langzeitspeichern (thermische Solarkollektoren und unterirdische Kies-Wasser-Speichern) ist zu überprüfen.

Ein sehr gut gedämmtes Gebäude mit minimalem Restwärmebedarf (Passivhaus) und dezentral erzeugter Restwärme erscheint gegenüber dem hohen Aufwand der Nahwärmeversorgung eine eher anzustrebende Variante für nachhaltige Gebäudesysteme.

Die Auslegung der Kesselanlagen sollte anhand von Jahresdauerlinien erfolgen. Es ist lediglich die Deckung der Grundlast durch die Holzkeselanlage anzustreben. Lastspitzen sind durch Wärmeerzeuger mit geringeren Investitionskosten zu decken. Es sind grundsätzlich Pufferspeicher zur Verlängerung der Abbrandzeit im Kessel einzusetzen.

Biodiesel kann zur Substitution von Erdöl als Kraftstoff für Dieselmotoren beim Betrieb von BHKW zur direkten Verbrennung in Kesselanlagen und beim Antrieb von Verbrennungsmotormärmepumpen verwendet werden.

#### Wärmeerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung/BHKW

Der Anschluss an ein Fernwärmeversorgungsnetz ist i. d. R. der eigenen Wärmeerzeugung vorzuziehen. Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sollte dabei den Vorzug haben.

BHKW sind nur in Liegenschaften mit einer hohen und gleichzeitigen Nutzungsdauer von Strom und Wärme sowie deren Eigennutzung einzusetzen. Es empfiehlt sich Lastverlaufdiagramme aufzustellen, aus denen der tägliche und jährliche Bedarf an Wärme und Strom abgelesen werden kann. Erst bei weitgehender zeitlicher Übereinstimmung der Bedarfswerte ist der Einsatz von BHKW wirtschaftlich.

Überschüsse aus der Stromerzeugung können in das öffentliche Netz eingespeist werden. Überschüsse bei der Wärmeerzeugung sollten vermieden werden, es sei denn, eine Abnahme durch Dritte ist langfristig gewährleistet. Für die Auslegung sind die jeweiligen Jahresdauerlinien sowie eine Mindestvolllaststundenzahl zu-

grunde zu legen. Bei einer Volllaststundenzahl <4000 h/a ist die Wirtschaftlichkeit i. d. R. nicht gegeben.

Saisonale Schwankungen im Lastverlauf von Strom und Wärme können bei entsprechendem Kältebedarf ggf. durch eine Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (Total-Energie-Verbund) ausgeglichen werden. Ein modularer Anlagenaufbau ist vorteilhaft, da er die Möglichkeit zur Leistungsanpassung der BHKW bei sinkender Heizlast und eine höhere Versorgungssicherheit bietet.

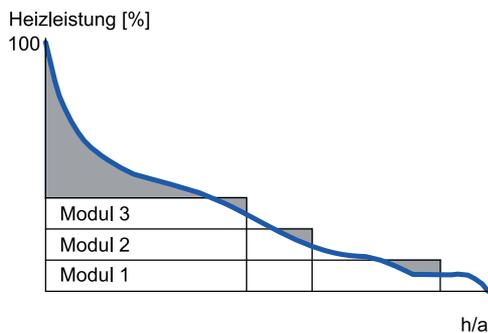


Abbildung 16: Typische Jahresdauerlinie bei mehreren Modulen

#### Wärmeerzeugung durch Wärmepumpenheizsysteme

Der Einsatz von Wärmepumpentechnik gehört zu den effektivsten Arten eingespeicherte Energien aus der Umgebung als Heizwärme zu nutzen. Zur Gebäudeheizung kommen elektrisch- oder brennstoffbetriebene Kompressionswärmepumpen oder Sorptionswärmepumpen (Absorption und Adsorption) in Frage.

Nutzungsvoraussetzung für o. g. Systeme ist ein niedriges Temperaturniveau des Raumheizsystems. Die erforderlichen Vorlauftemperaturen sollten 60 °C nicht überschreiten. Lediglich Verbrennungsmotorwärmepumpen können höhere Heizmitteltemperaturen erzeugen.

Der Betrieb von Wärmepumpen mit Nennwärmeleistungen > 50 kW wird in bivalenter Betriebsweise empfohlen, da es im monovalenten Betrieb durch die erhöhte Ein- und Ausschaltfrequenz zu einem stärkeren Verschleiß des Verdichters kommt.

Anhand von Jahresdauerlinien sollte die relativ investitionskostenintensive Wärmeversorgung über Wärmepumpen lediglich zur Deckung der Grundlast ausgelegt werden. Der darüber hinausgehende Leistungsbedarf kann von kostengünstigeren Wärmeerzeugern gedeckt werden. Der Umschaltzeitpunkt ist so auszuliegen, dass die Wärmepumpe bis zu 50 % des maximalen Wärmebedarfs deckt. Damit liefert sie etwa 60% der Jahresheizarbeit.

Sofern eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dies rechtfertigt, empfiehlt sich anstelle eines zweiten Wärmeerzeugers eine Aufteilung der Wärmepumpenanlage auf 2 oder mehr Module.

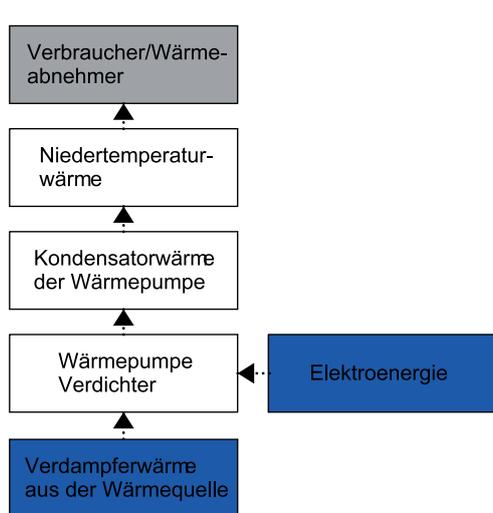
Als Bivalenztemperatur wird eine Außentemperatur von etwa + 3° C empfohlen. Diese Temperatur wird im langjährigen Mittel z.B. an

- 82 Tagen in Bremen
- 58 Tagen in Köln
- 73 Tagen in Stuttgart
- 107 Tagen in München erreicht.

Liegenschaftsspezifisch ist bei der Auslegung festzulegen, ob die Anlage im Alternativ-, Parallel- oder Mischbetrieb laufen soll.

Bei Wärmepumpen mit elektrischem Antrieb muss die Tarifgestaltung mit dem örtlichen Energieversorger vereinbart werden. In erster

Linie sollten günstige Nachtstromtarife genutzt werden. Die Wärme ist in Pufferspeichern vorzuhalten. Die mittlere Leistungsziffer einer Elektrowärmepumpe sollte 5 nicht unterschreiten. Die Jahresarbeitszahl sollte 4 betragen.



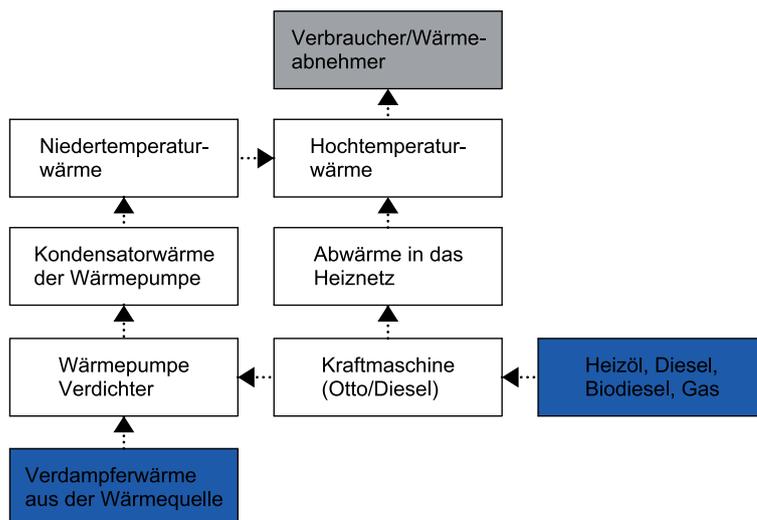
Elektrowärmepumpe

Abbildung 17: Funktionsprinzip der Elektrowärmepumpe (schematisch)

Aufgrund des geringeren Primärenergieaufwands sind jedoch Absorptionswärmepumpen (Antrieb mit Fernwärme aus KWK) bzw. Wärmepumpen mit Verbrennungsmotor vorzuziehen. Als Kraftstoffe für Verbrennungsmotorwärmepumpen kommen Gas, Dieselöl oder idealerweise Pflanzenöl und Biodiesel in Frage.

Da die Leistungsziffer  $\epsilon$  als Quotient aus Wärmeleistung und Leistungsaufnahme der Wärmepumpe den energiewirtschaftlichen Nutzen nur ungenügend darstellt, sollte bei der Verbrennungsmotorwärmepumpe vor allem die Heizzahl betrachtet werden. Sie beschreibt das Verhältnis der genutzten Wärme zum Energiegehalt eines Brennstoffs. Je nach Nutzungsart und eingesetzter Brennstoffmenge sind Heizzahlen im Bereich von 1,4 bis 1,7 anzustreben.

Als Wärmequellen kommen Luft, Erdwärme, Wasser (Oberflächenwasser, Grundwasser) und Abwärme (RLT-Anlagen, Prozesswärme) in Frage. Bei der Auswahl der Wärmequelle ist auf



Verbrennungsmotorwärmepumpe

Abbildung 18: Funktionsprinzip der Verbrennungsmotorwärmepumpe (schematisch)

ein möglichst konstantes Temperaturniveau, die ganzjährige Verfügbarkeit des Wärmestroms und eine kostengünstige Erschließung zu achten. Die Eignung als Wärmequelle sollte durch eine Analyse der Energiebedarfsstruktur des Gebäudes ermittelt werden. Die zeitliche Übereinstimmung zwischen Energieangebot und -bedarf muss möglichst hoch sein, um eine Wärmepumpenanlage ökologisch und wirtschaftlich effizient zu betreiben. Bei Heiz- und Kühlbedarf ist der reversible Betrieb der Wärmepumpenanlage vorzuziehen.

Die Erdwärme kann durch Erdkollektoren, Energiepfähle und Erdsonden gefördert werden. Erdwärmekollektoren werden in einer Tiefe von 1,2-1,5 m in mehreren Kreisen waagrecht verlegt. Sie haben abhängig von der Kälteleis-

zung der Wärmepumpe und der spezifischen Entzugsleistung des Erdreichs einen relativ hohen Freiflächenbedarf. Für den energetisch und wirtschaftlich optimalen Betrieb der Umwälzpumpen sollten die einzelnen Rohrkreise eine Länge von 100-150 m aufweisen. Die Verlegeabstände der üblicherweise verwendeten Anlagen sind abhängig von der Bodenbeschaffenheit mit 0,3-0,8 m anzunehmen.

Aufgrund des geringeren Flächenbedarfs und der günstigeren spezifischen Wärmeleistungen sind vertikal eingebaute Erdwärmesonden in der Regel den waagerechten Kollektoren (Wärmeentzug im Bereich von 10 bis 35 W/m) vorzuziehen. Die erreichbaren Entzugsleistungen liegen je nach Betriebsweise der Anlage (nur Heizung oder Heizen und Kühlen) und nach Qualität des Untergrundes bei 20 bis 70 W/m. Die Sonden sind in Abständen von mind. 5 m zueinander einzubauen.

Alternativ kann die Gebäudegründung in Form von Energiepfählen eine kostengünstige Lösung bieten. Anstelle von Erdkollektoren und -Sonden werden durch bauteilintegrierte Rohrsysteme erdreichberührende Bauteile als Absorber verwendet. Bei der Aktivierung von Pfahlgründungen (Ortbetonpfähle, Fertigpfähle aus Stahlbeton oder Stahl) sind Pfahllängen von min. 6 m vorzusehen.

Wasser als Energiequelle kann in Form von Grundwasser und Oberflächenwasser eingesetzt werden. Die Nutzung von Oberflächenwasser (Bach-, Fluß- oder Seewasser) ist aufgrund saisonaler Temperaturschwankungen und wechselnder Wasserstände nur eingeschränkt zu empfehlen und im Detail zu prüfen.

Grundwasser bietet die Möglichkeit der ganzjährigen Energieentnahme. Das annähernd gleich bleibende Temperaturniveau der Wärmequelle, im Bereich von +8° bis +12°C (thermische Anomalien können höhere Temperaturen mit sich bringen), erlaubt einen Wärmepumpenbetrieb mit annähernd konstanter Leistungszahl. Besonders vorteilhaft ist die kombinierte Nutzung mit Direktkühlung vor allem bei Gebäuden mit hohen inneren Lasten. Eine Probebohrung mit einem mindestens 35-stündigen Pumpversuch gibt Aufschluss über die stündlich anfallende Wassermenge. Der erforderliche Volumenstrom ist den technischen Daten der Wärmepumpe zu entnehmen. Bei monovalenter Betriebsweise werden je nach Einleitungsbedingung für 10 kW Heizleistung etwa 1,0 m<sup>3</sup>/h Wasser benötigt. Der Förderaufwand muss in einem angemessenen Verhältnis zum Energiegewinn stehen. Je nach Bodenbeschaffenheit und Bohrungstiefe fallen die Erstellungskosten für eine Brunnenanlage sehr unterschiedlich aus. Um einer Verockerung der Brunnen- oder Wärmepumpenanlage vorzubeugen, ist vorab die chemische Zusammensetzung des Grundwassers zu prüfen. Der Eisen- und Mangangehalt sollte in einer Größenordnung von < 0,2-0,5 mg/l liegen. Die Wasserentnahme und -Wiedereinleitung ist behördlicherseits zu genehmigen.

|                          | $\dot{Q}_B$ [kWh/a] | $W_{el}$ [kWh/a] | $\eta_P$ |
|--------------------------|---------------------|------------------|----------|
| Luft/Wasser-Wärmepumpe   | 0                   | 5.051            | 0,99     |
| Sole/Wasser-Wärmepumpe   | 0                   | 4.311            | 1,16     |
| Wasser/Wasser-Wärmepumpe | 0                   | 3.989            | 1,25     |
| Gasbrennwertkessel       | 15.923              | 361              | 0,81     |
| Gas NT-Kessel            | 18.293              | 234              | 0,72     |

$$\eta_P = \frac{\dot{Q}_H \text{ Anlage}}{\dot{Q}_B + 1,1 + W_{el}}$$

Tabelle 08: Primärenergetischer Nutzen verschiedener Wärmeerzeuger  
( $\eta_P$ = Primärenergetischer Wirkungsgrad, Q= Wärmestrom,  $W_{el}$ = elektr. Arbeit, B= Brennstoff, H= Heizwärme)

Kombiniertes Heizen und Kühlen ist bei Erd-

sonden, Erdkollektoren und aktivierten Pfahlgründungen möglich. Grundwasserführende Schichten verbessern den Wärmeentzug bzw. die Wärmeinbringung.

Aufgrund des antizyklischen Temperaturverlaufs der Wärmequelle Luft zur erforderlichen Heizmittel-Temperatur der Heizungsanlage (Außenluft weist dann niedrige Temperaturen auf, wenn der Wärmebedarf groß ist) ist der Einsatz einer Luft/Wasser-Wärmepumpe i. d. R. nur zur Trinkwassererwärmung oder als Abluft-Wärmepumpe zu empfehlen.

*Wärmeerzeugung durch Gas- und Ölsysteme*  
Bei der Nutzung konventioneller Energieträger ist Erdgas als Brennstoff wegen seines im Vergleich zu Erdöl niedrigeren Anteils an Kohlenstoff zu bevorzugen.

Als Kesselanlagen zur Verbrennung fossiler Energieerzeuger kommen Niedertemperatur-Heizkessel mit einer Eintrittstemperatur des Heizmediums von max. 40 °C in Frage oder Brennwertkessel, die die latente Wärme von Wasserdampf in Rauchgasen durch Kondensation zurück gewinnen.

Brennwertkessel sind immer dort einzusetzen, wo aufgrund des Rücklauf temperaturniveaus eine ausreichende Brennwertnutzung sichergestellt ist. Beim Einsatz von zwei Kesselanlagen kann ggf. ein Niedertemperaturkessel für die Deckung der Grundlast eingesetzt und durch einen Brennwertkessel ergänzt werden. Zu beachten ist, dass Niedertemperatur- und Brennwertkessel im Teillastbereich einen besseren Wirkungsgrad aufweisen als im Volllastbetrieb. Anhand einer Jahresdauerlinie kann die Aufteilung der Gesamt-Wärmeerzeugerleistung

auf mehrere Wärmeerzeuger optimiert werden.

In der Regel gilt:

- $\leq 0,4$  MW      1 Wärmeerzeuger
- $> 0,4$  MW      2 Wärmeerzeuger

Folgende Kennwerte sollten eingehalten werden:

- Abstrahlungs- und Stillstandsverluste    1%
- Kesselwirkungsgrad (bezogen auf HT)  $\geq 93$  %

Die Kesseltemperatur ist durch einen gleitend absenkbaren (modulierenden) Heizbetrieb zu regulieren, da durch eine Verringerung der Kesseltemperaturen auch die Strahlungsverluste gesenkt werden. Die Regelimpulse können witterungs- oder wärmebedarfsgeführt gegeben werden.

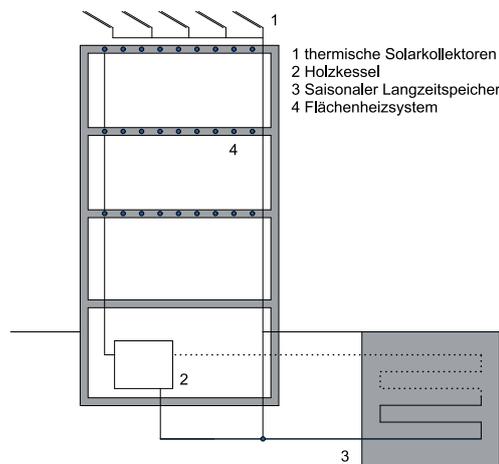


Abbildung 19: Thermische Solaranlage mit saisonalem Langzeitspeicher

#### Wärmespeicherung

Die Möglichkeit zur Speicherung von Überschusswärme aus Holzesseln, BHKW und thermischen Solaranlagen durch sukzessiv erweiterbare Erdsonden, unterirdische Kieswasser-Speicher (saisonale Langzeitspeicher) oder Heißwasserspeicher sollte geprüft werden.

Es ist zu unterscheiden zwischen:

- Pufferspeicher zur Verringerung der Taktzeiten der Wärmepumpen und BHKW-Motoren
- thermische Kurzzeitspeicher für Solaranlagen
- thermische Langzeitspeicher für Solaranlagen
- Aquiferspeicher zur saisonalen Speicherung im Untergrund
- Erdsonden zur saisonalen Zwischenspeicherung

#### *Wärmeverteilung*

Als Trägermedium für den Wärmetransport ist grundsätzlich Wasser zu bevorzugen. Luft als Wärmeträger kann bei Erreichen des Passivhausstandards zur Restwärmebereitstellung eingesetzt werden.

Möglichst niedrige Heizmitteltemperaturen im Verteilsystem reduzieren die Verluste der Wärmeversorgungsanlage und sind Voraussetzung für hohe Leistungsziffern bei Wärmepumpenanlagen bzw. für Brennwertnutzung bei Kesselanlagen.

Die Pumpen der Heizanlagen sollten exakt dimensioniert werden, um eine geringe Leistungsaufnahme zu erreichen. Rohrnetze müssen berechnet und optimiert werden, bei Inbetriebnahme ist ein hydraulischer Abgleich durchzuführen.

Die Wärmeverteilungen sind ausreichend zu dämmen bzw. innerhalb der gedämmten Gebäudehülle zu verlegen.

#### *Wärmeabgabe*

Als Raumheizsystem kommen Heizkörper oder Flächensysteme wie Fußboden- Wand- und

Deckenheizungen (Deckensegel, Kapillarrohrmatten) in Frage. Eine Betonkernaktivierung sollte nur bei Nutzung von Umweltenergien (oberflächennahe Geothermie oder Nutzung von Anwärme in Kombination mit Nachtauskühlung) vorgesehen werden.

Durch die geringe Differenz zwischen Vorlauf- und Rücklauf-temperatur bei nachhaltigen Wärmeversorgungssystemen müssen die Wärme übertragenden Flächen entsprechend groß dimensioniert werden.

#### *Regelung*

Für die bedarfsgerechte Wärmebereitstellung ist die Regelungstechnik entscheidend. Einerseits müssen die Komfortansprüche der Nutzer erfüllt werden, andererseits soll der Energieverbrauch auf ein Minimum gesenkt werden.

Die Regelung der Heizanlagen sollte in Abhängigkeit von der Fassadenorientierung und der zu erwartenden Sonneneinstrahlung erfolgen. Gebäudezonen mit unterschiedlichen Temperaturanforderungen sind mit separaten Regelkreisen auszustatten.

Ist ein Gebäudeleittechniksystem vorhanden oder geplant, sind neben der zentralen Regelung die Möglichkeit der raumweisen Sollwert-einstellung und die Vorgabe eines Zeitprogramms zu prüfen.

#### *Trinkwassererwärmung*

Dezentrale direkt beheizte, i. d. R. elektrisch betriebene Trinkwassererhitzer sind für die dezentrale Trinkwassererwärmung in Gebäuden mit einzelnen Entnahmestellen ohne Küchen-, Dusch- und Waschräume zu empfehlen.

Indirekt beheizte Wassererwärmer beziehen ihre Wärme aus der Wärmeversorgungsanlage. Sie müssen hydraulisch und leistungsmäßig sowohl auf das Heizungs- als auch auf das Trinkwassersystem abgestimmt werden, wobei die Bedarfswerte durch das Trinkwassersystem vorgegeben werden. Sie sind in der Regel für eine Warmwassertemperatur von 60°C auszuliegen. In besonderen Fällen kann es zusätzlich notwendig sein, die Temperatur im Speicher und im Warmwassernetz zeitweise auf > 70°C anzuheben (thermische Desinfektion). Die Regelung ist daher so zu konzipieren, dass sich durch einfaches Umschalten die Trinkwassererwärmung sowohl mit 60°C als auch mit ca. 75°C betreiben lässt (Legionellen-Schaltung). Die Dimensionierung des Speichers und der Heizleistung soll nicht nach dem Spitzenbedarf, sondern anhand der Tagganglinie des voraussichtlichen Wasserbedarfs in einem Gebäude erfolgen.

Bei einem ganzjährig hohen Warmwasserbedarf in Gebäuden (Duschanlage, Labor etc.) sind thermische Solaranlagen einzusetzen. Neben der Trinkwassererwärmung können die Anlagen zusätzlich zur Raumheizung hinzugezogen werden. Die Dimensionierung der Anlage ist jedoch nach dem maximalen Wasserbedarf im Sommer durchzuführen. Eventuelle Überschüsse können dann in der Übergangszeit an das Heizsystem abgegeben werden. Kurzfristige Schwankungen werden durch einen Speicher ausgeglichen. Das Speichervolumen ist anhand einer Verbrauchscharakteristik zu dimensionieren. Zur Begrenzung der Legionellengefahr empfiehlt es sich hohe Austauschraten im Wasserspeicher anzustreben. Das Trinkwasserspeichervolumen ist deshalb für den Warmwasserbedarf für einen Tag auszulegen. Bei den Kollektoren sollte eine

optimale Energieausbeute erreicht werden. Für eine ganzjährige Nutzung wird die Südausrichtung mit einer Abweichung von maximal 45° und einem Kollektoranstellwinkel von 30 bis 45° empfohlen. Als System werden Flachkollektoren mit Flüssigkeitsumlauf oder mit Lufterwärmung sowie Absorberflächen empfohlen. Vakuumröhren-Kollektoren sollten nur dann eingesetzt werden, wenn hohe (bis zu 150 °C) Heizmittelttemperaturen erforderlich sind.

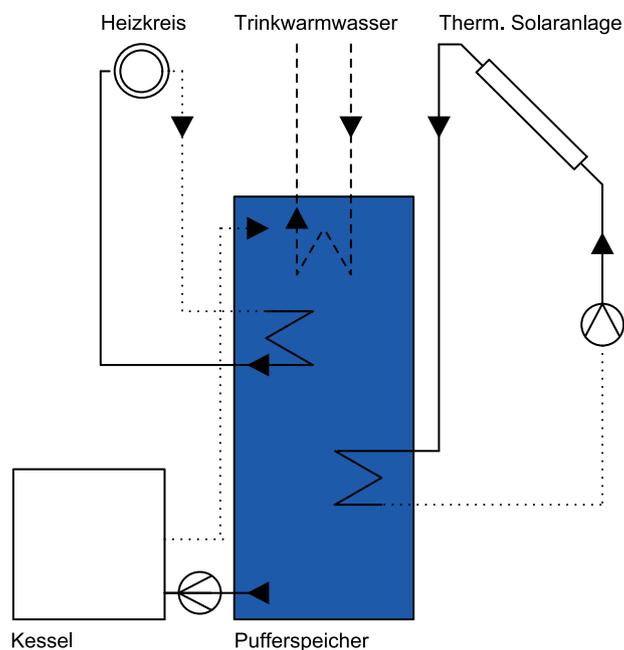


Abbildung 20: Hydraulisches Schema einer Wärmebereitstellung mit thermischer Solaranlage, (Holz-)Kessel und gemeinsamem Pufferspeicher

| Energiequellen                       | Beispiele   | Art           | Erzeugung  | Vorkommen                      | direkte Kosten         | Umweltbelastung   | Lagerung/Speicherung                          | Problem                               | Vorteil             |
|--------------------------------------|---|---------------|--|--------------------------------|------------------------|---|---|---------------------------------------|---------------------|
| fossil                               | Kohle, Erdöl, Erdgas  | Wärme         | Verbrennen   | beschränkt bis sehr beschränkt | niedrig<br>zz. niedrig | CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> ,<br>Staub, K W | Bedarfsentnahme                               | endliche Ressourcen, Schadstoffe      | hohe Energiedichte  |
| biologisch                           | Holz, Samen (Öl), Fette, pflanzliche Reststoffe             | Wärme (Strom) | Verbrennen, Ausfaulen (Methan), Vergären (Alkohol) | beschränkt (Produktion)        | mittel                 | CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Pestizide, Monokultur           | Bedarfsentnahme, jahreszeitliche Schwankungen | Organisation<br><br>Preis             | regenerativ         |
| statische und dynamische Massenkraft | gestautes Wasser, Gezeiten, fließendes Wasser, Wellen, Wind | Strom         | Generatorenantrieb                                 | beschränkt                     | niedrig bis mittel     | Ökosystem (z. B. Flusstäler)  | Bedarfsentnahme, Speicherbecken nicht möglich | zeitlicher Anfall                     | regenerativ         |
| Temperaturdifferenzen                | Erdwärme, Geysire, Gewässertemperaturen                     | Wärme (Strom) | Wärmetauscher                                      | beschränkt nur örtlich         | niedrig bis mittel     | meist unwesentlich  | Bedarfsentnahme                               | ungenutzt, Preis, Technik             | regenerativ         |
| Sonnenstrahlung                      | passive Nutzung Kollektor                                   | Wärme, Strom  | thermischer Kollektor, Photovoltaik                | unbeschränkt                   | mittel bis hoch        | keine   | keine Bedarfsentnahme                         | zeitlicher Anfall, Preis, Flächen     | regenerativ         |
| Atomkernveränderung                  | Atomreaktor   | Wärme (Strom) | Kernspaltung                                       | beschränkt                     | niedrig                | Strahlungsrisiko, Atom Müll   | keine Bedarfsentnahme                         | gleichmäßiger Anfall, Strahlenproblem | hohe Energiedichte  |
| organische Abfälle                   | Deponien, Müll  | Wärme (Strom) | Verbrennen, Ausfaulen (Methan)                     | beschränkt                     | niedrig                | CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , Staub, CKW                      | z. T. Bedarfsentnahme                         | Rohstoff Müllverbrennung              | Recycling           |
| Abwärme, Umweltwärme                 | Kraftwärmekopplung, Wärmerückgewinnung, Wärmepumpe          | Wärme (Strom) | Wärmetauscher                                      | beschränkt nur örtlich         | niedrig bis mittel     | meist unwesentlich  | Bedarfsentnahme                               | ungenutzt, Preis, Technik             | regenerativ         |
| Einsparung                           | "Negawatt"  | Wärme, Strom  |  | beschränkt                     | niedrig bis mittel     | keine   | Bedarfsentnahme                               | z. T. Mensch                          | umwelt - freundlich |

Tabelle 09: Übersicht über verschiedene Energiequellen

### Kälteversorgung

Der Einsatz von Systemen zur Gebäudekühlung ist kritisch zu überprüfen, da er mit einem erheblichen Aufwand an Primärenergie verbunden ist.

Nachhaltige Gebäude sind in erster Linie so zu planen, dass eine maschinelle Kühlung nicht erforderlich ist. Dazu sind folgende bauliche Maßnahmen zu berücksichtigen:

- die Optimierung des Glasanteils der Gebäudehülle
- ein wirksamer Sonnenschutz
- die ausreichende Belüftung der Räume
- die ausreichende freiliegende speicherwirksame Masse

Die Raumtemperatur von Arbeits- und Aufenthaltsräumen sollte unter Beachtung des thermischen Komforts  $\leq 26\text{ °C}$  betragen. Dabei können nutzungsbedingte hohe innere Lasten (Labor, Küche ...) ggf. ein aktives Kühlsystem erforderlich machen, dessen Notwendigkeit durch eine Kühllastberechnung (nach VDI 2078) bzw. durch thermische Simulation (TRNSYS, energyplus) belegt werden muss. Bei größeren Baumaßnahmen wird grundsätzlich eine Optimierung der baulichen und anlagentechnischen Maßnahmen mit Hilfe einer dynamischen Gebäudesimulation empfohlen.

Durch eine bedarfsgemäße Dimensionierung von Kühlanlagen und ihre Anpassung an die erforderlichen Innenraumbedingungen können Energieverluste vermieden oder zumindest verringert werden.

Der Energiebedarf und die Effizienz der Kälteerzeugung, -Verteilung und -Abgabe werden von

folgenden Faktoren beeinflusst:

- Aufteilung der Kühlkreise
- Netzstruktur
- Kältemittel
- Temperaturniveau von Kälte-träger und Kühlmedium
- Temperaturspreizung von Kälte-träger und Kühlmedium
- Anlagen- und Verdichtertyp
- Antriebsenergie

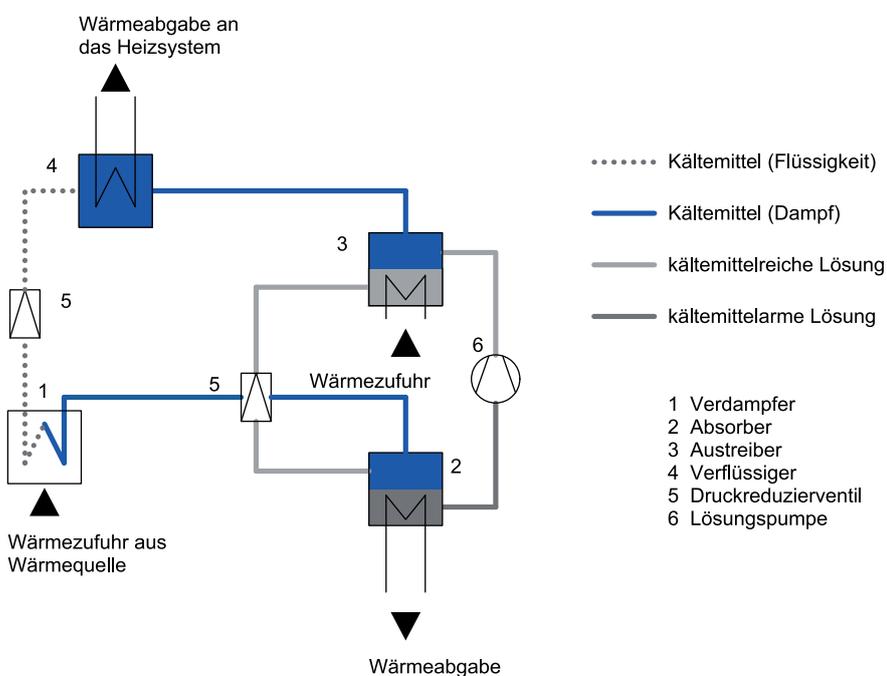


Abbildung 21: Schematischer Aufbau einer Absorptions-kälteanlage

### Kälteverteilung und -Abgabe

Energieeinsparungen können durch eine optimale Auslegung von Verdampfungs- und Kondensationstemperatur erreicht werden. Die Vorlauftemperatur sollte möglichst genau an den Bedarf der Nutzung angepasst werden, da eine Verringerung der Verdampfungstemperatur eine erhöhte Leistungsaufnahme der Kältemaschine erfordert. Je geringer die

Temperaturdifferenz zwischen Verdampfer und Kondensator ausfällt, desto kleiner ist die Druckdifferenz, die vom Verdichter überwunden werden muss.

Die Rohrnetze sollten berechnet und optimiert werden. Es empfiehlt sich die Zonierung der Kühlanlage und die Aufteilung der Regelkreise sowohl fassaden- als auch nutzungsabhängig vorzunehmen. Vor Inbetriebnahme sollte ein hydraulischer Abgleich vorgenommen werden. Die Auslegung der Pumpen der Kühlanlage ist nachzuweisen.

Für die Kälteverteilung ist der Einsatz von Wasser als Kühlmedium gegenüber Luft vorzuziehen, da wassergeführte Systeme mit Rückkühlwerken oder Brunnenwasserkühlung geringere Verdichterleistungen benötigen. Durch den Einsatz von Axialventilatoren kann der elektrische Energiebedarf für den Antrieb der Ventilatoren in Rückkühlwerken deutlich gesenkt werden. Es bietet sich eine kombinierte Nutzung der Verteilleitungen und wärme-/kälteabgebende Flächen von Heiz- und Kühlsystem an.

#### Absorptionskälteanlagen

Absorptionskälteanlagen bieten die Möglichkeit, durch Zufuhr von Wärmeenergie Kälte zu erzeugen. Die erforderliche Wärme mit einem Temperaturniveau von mindestens 75° C kann von einem Fernwärmeanschluss bezogen werden. Wenn Absorptionskälteanlagen mit Abwärme aus Produktionsprozessen, Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung oder dem Ertrag aus solarthermischen Anlagen betrieben werden, lassen sich bis zu 70 % der Betriebskosten eines herkömmlichen Systems einsparen. Außerdem erhöht sich die Primärenergieausnutzung um ca. 12-13%.

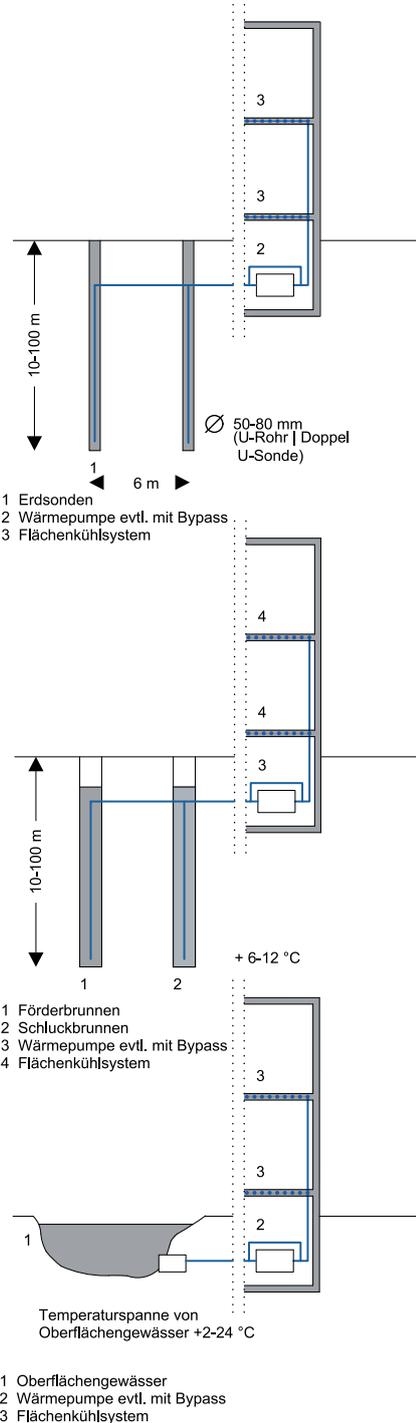


Abbildung 22: Kühlung durch oberflächennahe Geothermie, Grund- und Oberflächenwasser

### Kühlung durch oberflächennahe Geothermie, Grund- und Oberflächenwasser

Alternativ zur Kälteerzeugung durch Kältemaschinen ist die Nutzung von oberflächennaher Geothermie mit Erdsonden, Grund- oder Oberflächenwasser in Verbindung mit Wärmepumpentechnik oder als Direktkühlsystem zu untersuchen.

### Solare Kühlung

Durch das gleichzeitige Auftreten von solaren Erträgen und äußeren Kühllasten können auch Konzepte zur solaren Kühlung durch thermische Solarkollektoren oder Photovoltaikmodule in Betracht gezogen werden.

Weise erzeugte kalte Wasser wird der Raumtemperierung zugeführt oder in einem raumlufttechnischen Gerät verwendet.

Bei Gebäuden mit einem notwendigen Luftaustausch über raumlufttechnische Anlagen und entsprechend hohe zusätzliche Lasten, die über die Außenluft transportiert werden, sind die thermischen Umwandlungsverfahren sinnvoll, z. B. das sog. Desiccant Cooling System (DCS).

Der solare Deckungsanteil für die Kühlung bestimmt die Effizienz eines solchen Systems und sollte zwischen 10 und 55 % liegen, um

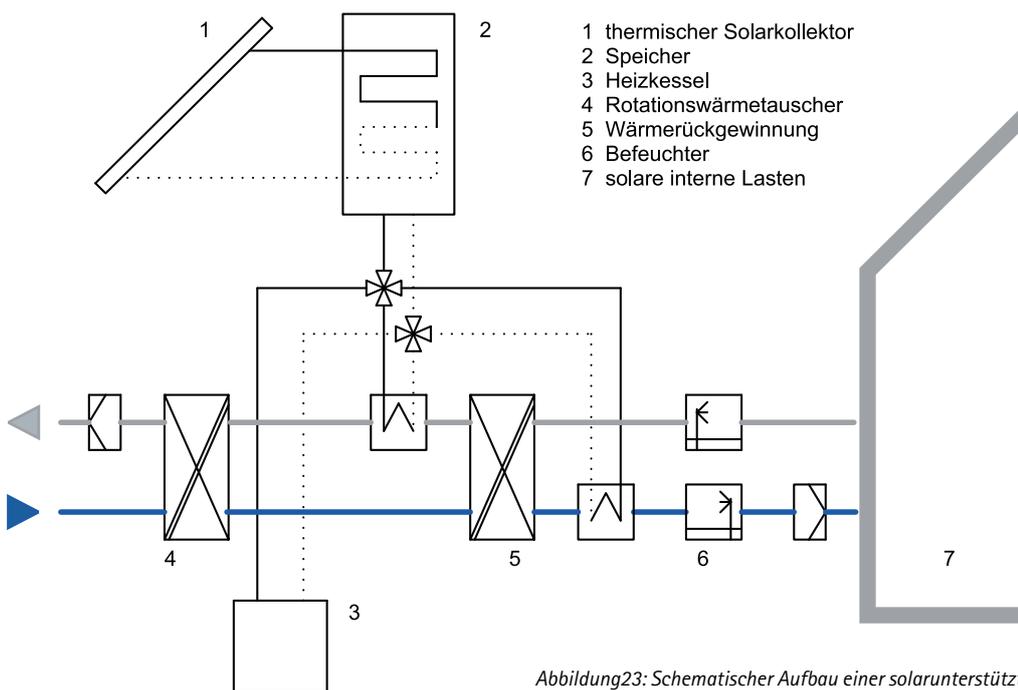


Abbildung23: Schematischer Aufbau einer solarunterstützten Kühlung

Über Photovoltaik wird elektrische Energie bereitgestellt, die dem Direktantrieb bzw. über eine Batteriestation dem Antrieb einer Kompressionskältemaschine dient. Das auf diese

keinen höheren Gesamtprimärenergieaufwand gegenüber Kompressionskältemaschinen mit einer üblichen Leistungsziffer zwischen 3,5 bis 4,5 aufzuweisen.

### Adiabate Verdunstungskühlung

Durch Wasserflächen in der Nähe der Fassade oder durch direktes Versprühen von Wasser an oder in direkter Umgebung der Fassade kann die Oberflächentemperatur bzw. Umgebungstemperatur an der Fassade gesenkt werden. Die Temperaturreduktion ist abhängig von den vorherrschenden Strömungsverhältnissen i. d. R. eher gering.

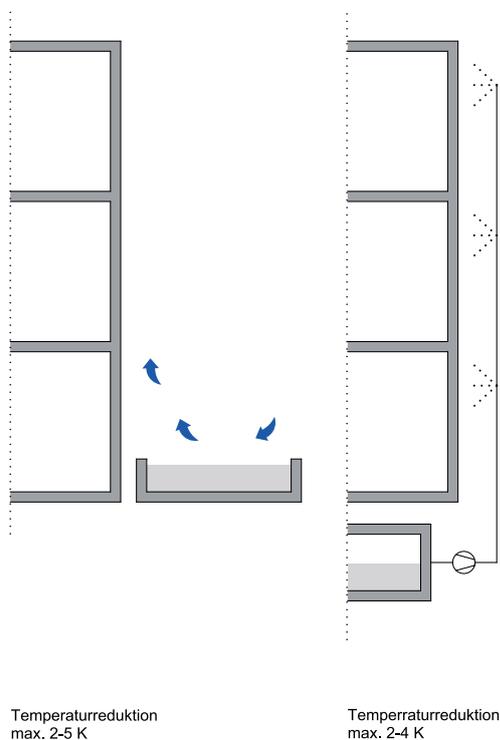


Abbildung 24: Verdunstungskühlung durch Wasserflächen in Fassadennähe/durch besprühen der Fassade mit Wasser

### Nutzung der Abwärme von Kompressions-Kältemaschinen

Kann auf den Einsatz von herkömmlichen Kompressions-Kältemaschinen nicht verzichtet werden, ist die Möglichkeit der Abwärmenutzung der Aggregate zur Trink- und Brauchwassererwärmung zu untersuchen.

### Elektroenergie/Stromnutzung

Elektroenergie sollte aufgrund des hohen Primärenergiefaktors sparsam eingesetzt werden. Besondere Bedeutung haben die Bereiche Beleuchtung, Arbeitsmittel und Hilfsenergie für Heizung, Warmwasserbereitung, Kälteerzeugung und RLT-Anlagen.

Der Energieaufwand für Beleuchtung lässt sich durch folgende Maßnahmen zu minimieren:

- Tageslichtnutzung
- Einsatz von Leuchtmitteln mit hoher Lichtausbeute
- Einsatz von elektronischen Vorschaltgeräten
- Beleuchtungssteuerung
- Einsatz von Leuchten mit hohem Wirkungsgrad
- geringe Leuchtenhöhe
- hohe Reflexionsgrad der umgebenden Raumflächen

Bei Neuerwerb von Arbeitsmitteln wie Rechner, Kopierer, Drucker, Fax etc., sollten Geräte gewählt werden, die sowohl in Normalbetrieb als auch im Leerlauf möglichst wenig Strom benötigen. Als Orientierungshilfe dienen die Umweltzeichen „Blauer Engel“ und EU-Umweltzeichen sowie die Energiesparzeichen GED, Energy Star, GEEA-Label und TCO.

Hilfsstrom für Wärme, Kälte und RLT-Anlagen  
Der Elektroenergiebedarf für die Gebäudeheizung und die Warmwasserbereitung (bei Speichervolumina > 200 Liter) sollte durch gesonderte Stromzähler erfasst werden können. Die erforderliche Jahreshilfs-Energie für Heizung und Warmwasser ist auf 1 % des Jahres-Wärmebedarfs zu begrenzen.

|                          |               |              |            |       |
|--------------------------|---------------|--------------|------------|-------|
| Computer                 | Normalbetrieb | Bereitschaft | Schein-Aus | Summe |
| Leistungsaufnahme [W]    | 50            | 25           | 4          | --    |
| Nutzungszeit [h/a]       | 1.870         | 330          | 5.248      | --    |
| Energieverbrauch [kWh/a] | 93,5          | 8,3          | 21         | 122,8 |
| LCD-Monitore             | Normalbetrieb | Bereitschaft | Schein-Aus | Summe |
| Leistungsaufnahme [W]    | 22            | 5            | 2,5        | --    |
| Nutzungszeit [h/a]       | 1.870         | 550          | 5.072      | --    |
| Energieverbrauch [kWh/a] | 41,1          | 2,8          | 12,7       | 173,1 |
| CRT-Monitore             | Normalbetrieb | Bereitschaft | Schein-Aus | Summe |
| Leistungsaufnahme [W]    | 80            | 15           | 3          | --    |
| Nutzungszeit [h/a]       | 1.870         | 550          | 5.072      | --    |
| Energieverbrauch [kWh/a] | 149,6         | 8,3          | 15,2       | 173,1 |
| Fax                      | Normalbetrieb | Bereitschaft | Schein-Aus | Summe |
| Leistungsaufnahme [W]    | 55            | 12           | --         | --    |
| Nutzungszeit [h/a]       | 330           | 8.430        | --         | --    |
| Energieverbrauch [kWh/a] | 18,2          | 101,2        | --         | 119,4 |
| Tintenstrahldrucker      | Normalbetrieb | Bereitschaft | Schein-Aus | Summe |
| Leistungsaufnahme [W]    | 30            | 6            | 4          | --    |
| Nutzungszeit [h/a]       | 110           | 2.200        | 5.160      | --    |
| Energieverbrauch [kWh/a] | 3,3           | 13,2         | 20,6       | 37,8  |
| Laserdrucker             | Normalbetrieb | Bereitschaft | Schein-Aus | Summe |
| Leistungsaufnahme [W]    | 350           | 50           | 2          | --    |
| Nutzungszeit [h/a]       | 220           | 2.090        | 5.160      | --    |
| Energieverbrauch [kWh/a] | 77            | 104,5        | 10,3       | 191,8 |
| Kopierer                 | Normalbetrieb | Bereitschaft | Schein-Aus | Summe |
| Leistungsaufnahme [W]    | 800           | 100          | 2          | --    |
| Nutzungszeit [h/a]       | 330           | 1.980        | 5.160      | --    |
| Energieverbrauch [kWh/a] | 264           | 198          | 10,3       | 472,3 |
| Notebooks                | Normalbetrieb | Bereitschaft | Schein-Aus | Summe |
| Leistungsaufnahme [W]    | 18            | 6            | 4          | --    |
| Nutzungszeit [h/a]       | 1.430         | 770          | 3.280      | --    |
| Energieverbrauch [kWh/a] | 25,7          | 4,6          | 13,1       | 43,4  |
| Scanner                  | Normalbetrieb | Bereitschaft | Schein-Aus | Summe |
| Leistungsaufnahme [W]    | 18            | 8            | 4          | --    |
| Nutzungszeit [h/a]       | 110           | 5.750        | 1.312      | --    |
| Energieverbrauch [kWh/a] | 2,0           | 46           | 5,2        | 53,2  |

Tabelle 10: Durchschnittswerte für Leistungsaufnahme und Nutzungszeiten verschiedener Arbeitsgeräte

Der Elektroenergiebedarf für RLT-Anlagen lässt sich durch den Einsatz von Ventilatoren und Motoren mit hohem Wirkungsgrad, dem Bedarf angepasste Luftvolumenströme sowie durch ein druckverlustarmes Leitungsnetz begrenzen. Teillast- und Abschaltzeiten reduzieren den Energiebedarf zusätzlich.

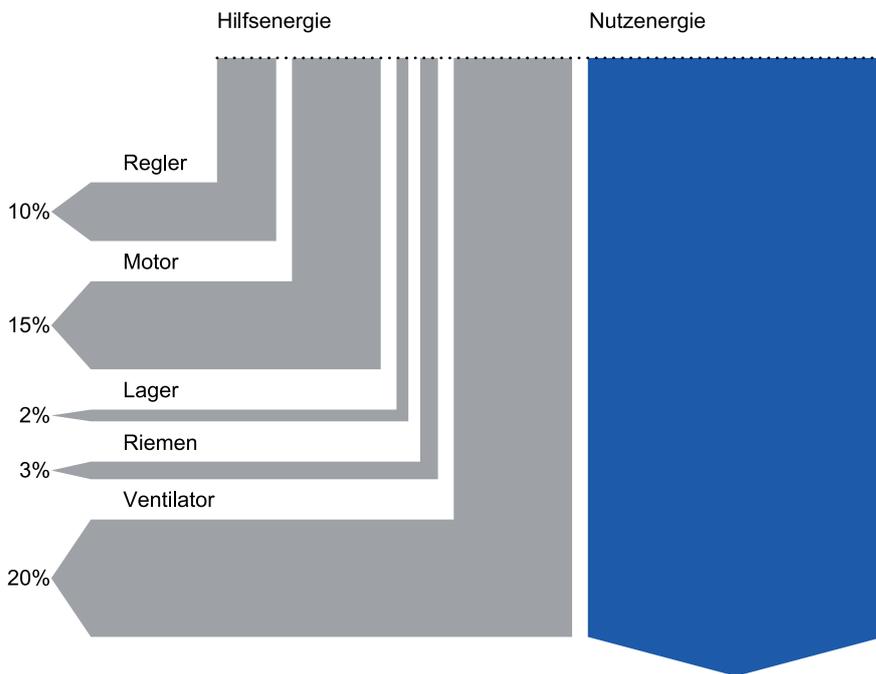


Abbildung 25: Elektroenergiebedarf für den Lufttransport in Raumlufttechnischen Anlagen

Die Leistungsaufnahme sollte auf

- 0,4 W/m<sup>3</sup> bei Einzelgeräten
- 0,6 W/m<sup>3</sup> bei zentralen Anlagen

begrenzt werden.

Kann trotz der Einhaltung der Empfehlungen zum sommerlichen Wärmeschutz nicht auf eine Kühlung verzichtet werden, ist die Abfuhr der Kühllasten über ein wassergeführtes System (Temperierung) zu bevorzugen. Lediglich der hygienisch erforderliche Luftwechsel sollte über

RLT-Anlagen geliefert werden.

Bei Kühlanlagen mit einer Kälteleistung von > 8/10 kW lässt sich die Abwärme zur Warmwasseraufbereitung nutzen.

#### Stromerzeugung mit Photovoltaik

Die Stromerzeugung mit Photovoltaik ist derzeit i. d. R. noch nicht konkurrenzfähig mit den Preisen der Stromversorger. Aufgrund der Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) sollte die Möglichkeit dennoch geprüft werden.

#### Gebäudeautomation

Aufgrund der vielfältigen technischen Gebäudeausrüstung in Gebäuden ist der Einsatz eines ganzheitlichen Automations- und Bedienkonzepts grundsätzlich zu empfehlen. Es empfiehlt sich, die Ausstattung von Liegenschaften mit einem GLT-System unter den Aspekten der geplanten Gebäudenutzung, den funktionalen Anforderungen, der flexiblen Anpassung an Nutzungsänderungen, der laufenden Optimierung der technischen Anlagen und der Höhe der zu erwartenden Einsparpotenziale an Energie und Betriebskosten zu betrachten. Durch MSR bzw. thermisches Monitoring können Einsparungen von bis zu 1/3 der Betriebskosten erzielt werden.

Da die Kosten und Einsparpotenziale von GLT-Systemen in erster Linie von der Anzahl und der Verknüpfung der Datenpunkte abhängig sind, ergibt sich die Notwendigkeit, insbesondere die Art und Anzahl der aufzuschaltenden Datenpunkte unter Kosten-Nutzen-Gesichtspunkten abzuwägen.

## 04 | Lüftung

Die Aufschaltung auf Gebäudesystemtechnik ist für folgende Bereiche zu untersuchen:

- Versorgungstechnik (z. B. Heizungs-, Klima- und Lüftungs- und Sanitäreanlagen)
- Fördertechnik (z. B. Aufzüge, Fahrtreppen, Warentransportanlagen, Fassadenreinigungsanlagen),
- Starkstromtechnik (z. B. Mittelspannungsschalt- und -installationsanlagen, Niederspannungsschalt- und -installationsanlagen, Beleuchtungs-, Eigenstromversorgungs- und USV-Anlagen)
- Nutzungsspezifische Anlagen (z. B. Küchentechnik, Labortechnik, Druckluft, Prozesskältetechnik, Entsorgungsanlagen)
- Sicherheitstechnik (Zutrittskontrolle, Toranlagen, Fluchtwegüberwachung, Einbruch- und Überfallmeldeanlagen, Brandmeldeanlagen einschließlich zugehöriger Löschanlagen sowie Bewegungsmelder, Anwesenheitsmelder, Wächterkontrollanlagen, Panikbeleuchtung)
- Informations- und Kommunikationstechnik (Übertragungsnetze, Telefon, LAN, Betriebsfunk, Computerräume)
- Rauminstallationen (Einzelraumregelungen, Raumthermostate, Heizkörperventile, Raumluftsensoren, Beleuchtungsanlagen, Melder, Schalter, Zeitsteuerungen, Fernbedienungen, Sonnenschutz und Beschattungsanlagen)
- Systematische Erfassung und Speicherung von Daten (Temperatur, Stromverbrauch, Volumenströme etc.) zur Analyse des Anlagen- und Gebäudebetriebs. Eine Messkampagne ermöglicht die Erfassung der Energieströme und -Verbräuche

Die Luftqualität in Räumen bzw. Gebäuden ist eines der wesentlichen Komfortmerkmale für Nutzer und wesentliches Kriterium für die Behaglichkeit.

Eine ausreichend gute Luftqualität in Innenräumen wird durch den Luftaustausch mittels freier oder mechanischer Lüftung sichergestellt. Als Indikator für die Luftqualität dient der Kohlendioxidgehalt der Raumluft. Der tolerable Grenzwert von 80 zufriedenen Nutzern liegt bei einem CO<sub>2</sub>-Gehalt von < 0,1 Vol.-%.

Die Verbesserung der Luftqualität sollte in erster Linie durch die Vermeidung oder Verminderung von Schadstoffquellen erreicht werden. Nicht vermeidbare Luftbelastungen sind, wenn sie lokalisierbar auftreten, gezielt abzuführen. Nicht lokalisierbare Emissionen lassen sich durch ausreichendes Lüften verdünnen.

Durch die hohe anzustrebende Luftdichtigkeit von Gebäuden ist den Lüftungswärmeverlusten eine hohe Bedeutung beizumessen.

Während der Heizperiode sichert die Lüftung von Räumen einen hygienischen Luftzustand. In den Sommermonaten und in der Übergangszeit dient sie zusätzlich der Abfuhr überschüssiger Wärme, die ansonsten zu Übertemperaturen im Innenraum führen würde.

Im Winter gewährleistet die Reduzierung des Luftvolumenstroms eine ausreichend gute Raumluftqualität; trockene Raumluft kann dadurch vermieden werden. In den Sommermonaten wird die notwendige Luftmenge durch die Höhe der abzuführenden Überschusswärme bestimmt. Bei Quellluftsystemen ist die Luftmenge begrenzt.

Bei gegebener Feuchtelast verringert ausreichende Lüftung die Gefahr von Schimmelpilzbildung sowie feuchte- und tauwasserbedingte Bauschäden.

#### *Natürliche Lüftung*

Der natürlichen Belüftung von Gebäuden sind Grenzen gesetzt. Diese sind bestimmt durch:

- den Standort des Gebäudes im städtebaulichen Kontext
- auftretende Windgeschwindigkeiten am Standort des Gebäudes
- Schallemissionen am Standort des Gebäudes
- die Gebäudestruktur, Raumtiefen, innenliegende Räume, Druckwiderstände im Gebäude
- die Thermik im Gebäude bzw. in den Räumen

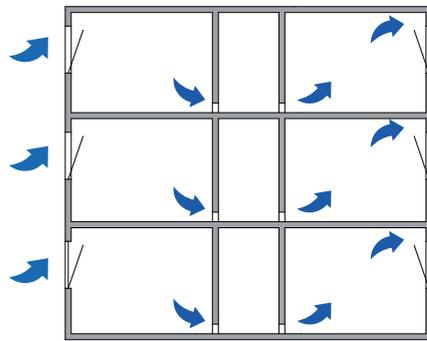


Abbildung 26: Fensterlüftung (Querlüftung)

Die Luftwechselrate bei Fensterlüftung schwankt in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit, Gebäudehöhe, Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft etc. Bei einseitigen Lüftungsöffnungen kann eine ausreichende Querlüftung nur bei Raumtiefen bis 5 m sichergestellt werden.

Ein ausreichender Luftwechsel lässt sich nicht über Fugen in der Gebäudehülle oder Fensterfugen erreichen.

Durch den gezielten Einbau von Schächten kann der thermische Auftrieb zur Lüftungunterstützung genutzt werden. Dabei ist allerdings der Mehraufwand zur Erwärmung der nachströmenden, kühlen Außenluft im Winterfall zu beachten.

#### *Mechanische Lüftung*

Der Einbau von Lüftungsanlagen empfiehlt sich aufgrund der geforderten Luftdichtigkeit von Gebäuden, aus energetischen Gründen sowie aus hygienischen Aspekten. Eine effiziente Wärmerückgewinnung (nach VDI 2071 Temperatur-austauschgrad ca. 80%, Enthalpieaustauschgrad > 80 %) ist dabei unabdingbar.

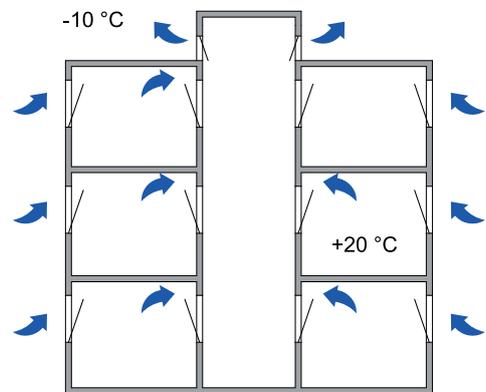


Abbildung 27: Schachtlüftung

In Aufenthaltsbereichen von Menschen soll ein Raumluftzustand herrschen der dem Behaglichkeitsempfinden entspricht.

Folgende behaglichkeitsrelevanten Komponenten sind durch RLT-Anlagen zu beeinflussen:

- Reinheit der Luft/Geruchpegel
- Raumlufttemperatur
- Luftbewegung
- Luftfeuchtigkeit

Die wesentlichen Faktoren für die thermische Behaglichkeit in Räumen müssen bauseitig gelöst werden, durch genügend Speichermasse, einem ausreichenden Sonnenschutz sowie einem optimierten Fensterflächenanteil etc. (siehe auch Kapitel 02| Gebäudekonzept).

Es empfiehlt sich durch die RLT-Anlagen in erster Linie die Grund- und Bedarfslüftung sicherzustellen.

Anlagen, die neben der Frischluftzufuhr zusätzlich Wärme und/oder Kälte transportieren, sollten aufgrund des hohen Energieverbrauchs sowie hoher Investitions-, Wartungs- und Betriebskosten möglichst vermieden werden.

Bei der Wahl des Anlagensystems ist darauf zu achten, dass dieses für den jeweiligen Anwendungsfall bedarfs- und funktionsgerecht sowie energiesparend zu betreiben ist.

#### Zentrale Zu- und Abluftanlagen

Zu empfehlen sind i. d. R. zentrale Zu- und Abluftanlagen mit einem Wärmeaustauschgrad von  $> 80\%$ . Diese Anlagen können bei Betriebszeiten von  $> 1.000 \text{ h/a}$  wirtschaftlich eingesetzt werden.

Bestmögliche Wärmerückgewinnungszahlen lassen sich durch Kreuzstromplattenwärmetauscher, Gegenstrom-Schichtwärmetauscher und

Rotationswärmetauscher erreichen.

Um hohe Wärmeeinträge im Sommer zu vermeiden sollte die Außenluft möglichst auf der Nord- oder Ostseite des Gebäudes angesaugt werden. Der Einsatz von Erdwärmetauschern (EWT) ist zu prüfen. Bei neu zu errichtenden Gebäuden können direkte EWT in die Konstruktion integriert werden. Indirekte EWT (z.B. Erdsonden) sind ggf. aus energetischer Sicht zu bevorzugen.

Kann die Zuluftvorerwärmung während der Heizperiode nicht vollständig durch die Wärmerückgewinnung gedeckt werden, erfordert dies eine Nacherwärmung. Diese sollte über Wärmetauscher in der Lüftungsanlage erfolgen, die mit dem Rücklaufwasser des Heizsystems betrieben werden. Alternativ ist die Möglichkeit der Zuluftvorerwärmung durch Erdkollektoren und Erdsonden zu erwägen.

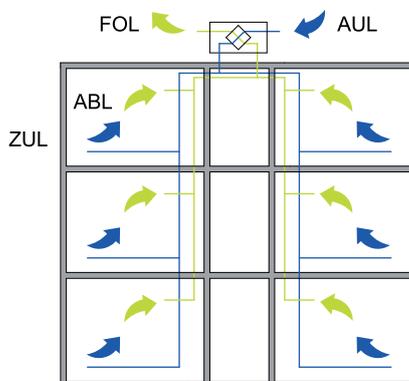


Abbildung 28: Zentrale Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung

#### Abluftanlagen

Reine Abluftanlagen sind nur zu empfehlen, wenn die Wärme aus der Abluft, mit Hilfe einer Luft-Wasser-Wärmepumpe zur Warmwasserbereitung oder zur Unterstützung des Heizsystems eingesetzt werden kann.

### Dezentrale Lüftungsanlagen

Ein Lüftungskonzept mit dezentralen Geräten ist dann sinnvoll, wenn nur einzelne Räume mechanisch belüftet werden sollen, der Zu-  
luftvolumenstrom raumweise regelbar sein soll oder ein hoher Grad an Nutzungsflexibilität der Räume erforderlich ist. Sinnvoll sind Geräte mit integrierter Wärmerückgewinnung mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von  $> 80\%$ .

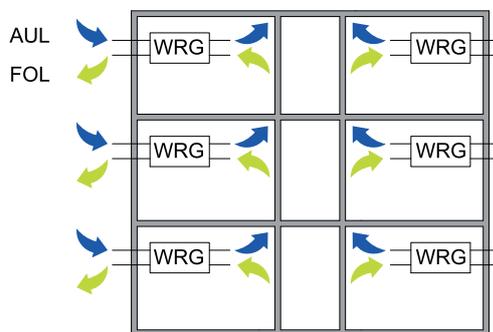


Abbildung 29: Dezentrale Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung

### Bemessung der Luftvolumenströme

Bei der Auslegung der Anlagen spielen die Kriterien der Luftqualität eine zentrale Rolle. Die Größe des Außenluftvolumenstroms kann bestimmt werden

- durch Festlegung des Außenluftstroms (der Außenlufttrate), insbesondere für Räume, in denen die Luft ausschließlich durch die Anwesenheit von Menschen „verbraucht“ wird
- oder durch Festlegung der Luftwechselzahl
- unter Berücksichtigung der Emission von Schadstoffen aus Bauteilen
- unter Wahrung eines Mindestlufttraumes pro Person

Die anzustrebende Raumluftqualität (bei normal genutzten Räumen) sollte aus energetischen Gründen der Kategorie RAL 3 bis 4 entsprechen. Das bedeutet einen personenbezogenen Außenluftvolumenstrom von max.  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Eine gesundheitlich unbedenkliche Raumluftqualität kann bei derart geringen Außenluftvolumenströmen jedoch nur in Kombination mit so genannten „Low-Olf-Maßnahmen“ erreicht werden.

Für Labore, Werkstätten, Küchen usw. sind die einschlägigen Regeln der Technik zu beachten.

Bei vielen unterschiedlich genutzten Räumen empfiehlt sich der Einsatz einer variablen Volumenstromregelung. Dies ermöglicht eine Luftmengenreduzierung bzw. Abschaltung von Räumen bei Nichtnutzung, die Anpassung an örtlich und zeitlich wechselnden Lasten und individuelle Temperaturanforderungen.

Die Nennluftmenge kann bei einer variablen Volumenstromregelung auf das 0,75 - 0,8-fache reduziert werden.

### Lufttransport

Der Lufttransport sollte im Niedergeschwindigkeitsbereich erfolgen. Die Luftgeschwindigkeit in den Lüftungsleitungen ist bei einer Nutzungsdauer von  $3.000 \text{ h/a}$  auf  $5\text{--}7 \text{ m/s}$  zu begrenzen. Bei einer längeren Betriebsdauer empfiehlt es sich die Luftgeschwindigkeit auf  $5 \text{ m/s}$  abzusenken. Im Unterdruckbereich müssen die Luftleitungen einer hohen Dichtigkeitsklasse entsprechen.

Da der größte Teil der Energie für den Betrieb von RLT-Anlagen für den Antrieb der Ventilatoren benötigt wird, ist die spezifische

Ventilatorleistung (SFP) für Zu- und Abluft auf 1500–2500 W/(m<sup>3</sup>/s) zu begrenzen (Kategorie 3). Der höhere Wert ist als Grenzwert und der niedrigere als Zielwert anzusehen. Bei mehr als 3.000 Betriebsstunden sollte die jeweils kleinere Kennzahl/Kategorie angestrebt werden. Für Ventilator und Motor sind Wirkungsgrade von mindestens 66 % anzustreben.

#### *Luftführung im Raum*

Sowohl unter energetischen Gesichtspunkten als auch aus Gründen der Behaglichkeit empfiehlt es sich die Zuluft mit niedrigen Geschwindigkeiten und impulsarm in Räume einzubringen. Außerdem sollte eine Durchmischung von Zu- und Raumluft vermieden werden.

Diese Anforderungen werden durch Systeme mit Schichtströmung (Quellluft) erfüllt. Fälle, in denen Mischluft unvermeidlich ist, sind Zugescheinungen zu vermeiden.

#### *Regelung*

Durch die Automation von RLT-Anlagen kann durch eine Optimierung der Betriebsweise der Energieverbrauch verringert werden.

Möglichkeiten des Energiemanagements sind:

- Steuerung mit einem Jahresprogramm
- Selbstoptimierung innerhalb der Regelkreise
- Lastabhängige Sollwertführung
- Enthalpieabhängige Mischluft- und WRG-Steuerung

#### *Thermodynamische Behandlungsstufen*

Sollte durch nutzungsbedingte hohe innere Lasten eine Kühlung notwendig sein, kann dies durch ein kombiniertes System mit einer was-

sergeführten Kühlung (stille Kühlung) erreicht werden. In Frage kommen Kühldecken, thermoaktive Bauteile, Kapillarrohrmatten sowie Deckensegel.

Der Luftaustausch bleibt auf die hygienebedingte Luftwechselrate beschränkt.

Ist der Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung vorgesehen, kann der im Sommerbetrieb anfallende Wärmeüberschuss mit einer Absorptionskältemaschine für den Absorptionskälteprozess zur Verfügung gestellt werden.

Aufgrund der hohen Luftmengen die zur Raumheizung eines Gebäudes transportiert werden müssen, sollte eine Luftheizung nur dann in Betracht gezogen werden, wenn der Dämmstandard des Gebäudes dem Passivhausstandard (Heizwärmebedarf  $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ) entspricht. Anderenfalls empfiehlt sich auch hier ein zusätzliches wassergeführtes System.

Die Notwendigkeit einer Luftbe- und Entfeuchtung ist kritisch zu überprüfen. Thermisch hochbelastete Räume mit einer langen Aufenthaltsdauer von Personen müssen ggf. auch mittels RLT-Anlagen gekühlt werden.

## 05 | Wasser und Abwasser

Für ein nachhaltiges Gebäudekonzept steht der rationelle Umgang mit Trinkwasser und damit auch die Abwasservermeidung im Vordergrund. Eine Reduktion des Wasserverbrauchs kann durch den Einsatz wassersparender Sanitärsysteme und ein entsprechendes Nutzerverhalten erreicht werden.

In Bereichen, in denen Trinkwasserqualität nicht unbedingt erforderlich ist (Toilettenspülung, Putzen, Bewässerung der Grünanlagen, Sprinklertank etc.), sollte das Trinkwasser durch Regenwasser oder Grauwasser ersetzt werden.

### Wassersparende Sanitärtechnik

Sanitärarmaturen mit Durchflussbegrenzern und Toilettenspülungen mit Spartasten tragen erheblich zur Einsparung von Trinkwasser bei, ebenso Thermostat- und Einhebelmischbatterien, wenn ein völliger Verzicht auf die Warmwasserbereitung nicht möglich ist.

Alternativ kann eine elektronische Steuerung der Wasserabgabe mit begrenzter Durchflussmenge und -temperatur bei Waschtischen, Urinalen und WCs vorgesehen werden. Die Einsatzmöglichkeit von Druckspülern und Vakuumsanitärtechnik ist zu prüfen.

### Regenwasser

Alternativ zur herkömmlichen Regenwasserab-  
leitung über die Kanalisation sind dezentrale  
Konzepte vorzuziehen. Eine ortsnahe Besei-  
tigung des Niederschlagwassers kann durch  
folgende Maßnahmen oder auch in Kombinati-  
on erfolgen:

- Regenwasserversickerung
- Regenwasserrückhaltung (Retention)
- Regenwassernutzung

### Versickerung

Grundsätzlich ist die Versickerung von Nieder-  
schlägen der direkten Einleitung in die Kana-  
lisation vorzuziehen. Aufgrund der höheren  
Reinigungswirkung hat die oberirdische  
Versickerung (Flächen-, Mulden- und Reten-  
tionsraumversickerung) Vorrang vor unterir-  
dischen Versickerungsmethoden (Rigolen- und  
Schachtversickerung).

Bei Baumaßnahmen der Leibniz Universität  
Hannover haben Versickerungsrigolen aus  
Hohlraumblöcken erfolgreich Anwendung ge-  
funden. Sie weisen eine etwa 3-4fach größere  
Speicherfähigkeit auf als Kiespackungen. Die  
Versickerungskörper bestehen aus Blöcken aus

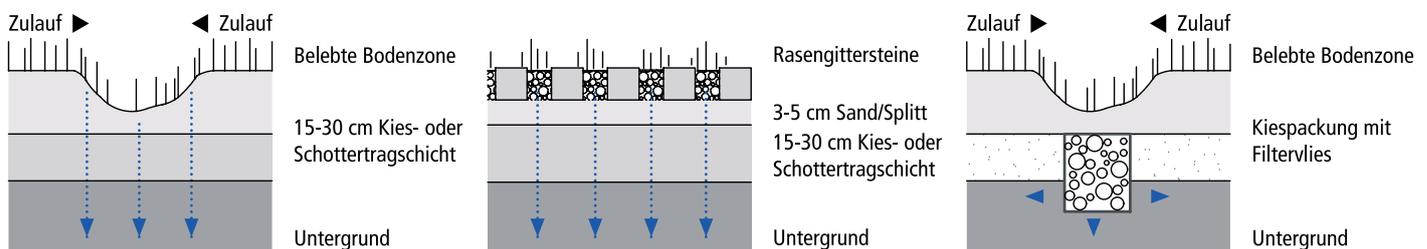


Abbildung 30: Beispiele für Versickerung (Muldenversickerung/Flächenversickerung mit Rasengittersteinen/Versickerung mit Füllkörper-Rigolen)

wabenförmig strukturiertem und hochbelastbarem Polypropylen.

Da damit gerechnet werden muss, dass das Aufnahmevermögen der Sickeranlage im Laufe der Zeit nachlässt, sollten die Sickeranlagen großzügig dimensioniert werden, was entsprechend große Flächenreserven voraussetzt.

Voraussetzung für die Versickerung von Niederschlagwasser ist eine ausreichende Flächenverfügbarkeit sowie eine ausreichende Durchlässigkeit des Bodens. Der Durchlässigkeitsbeiwert (kf-Wert) des Untergrunds sollte mindestens  $5 \times 10^{-6}$  m/s betragen. Bei geringerer Durchlässigkeit muss die eingeschränkte Versickerungsrate durch eine vergrößerte Sickerfläche oder einer Möglichkeit zur Zwischenspeicherung ausgeglichen werden. Für die Auslegung von Versickerungsanlagen wird eine Niederschlagsmenge zugrunde gelegt, die einer Regenspende von 15 Minuten Dauer entspricht, die einmal in 5 Jahren erreicht oder überschritten wird.

Zwischen dem Grundwasserhöchststand und der Unterkante der Versickerungsanlage ist i. d. R. ein Abstand von mind. 1 m erforderlich, um eine ausreichende Sickerstrecke und Filterwirkung sicherzustellen. Der Abstand der Versickerungsanlage zum Gebäude sollte bei einer Unterkellerung 1,50 m x Tiefe der Baugrube betragen.

Besondere Vorkehrungen sind bei durch Schadstoffe verunreinigtem Niederschlagwasser vorzusehen. Dies kann beispielsweise Wasser sein, das von KFZ-Stellplätzen oder befahrenen Verkehrsflächen abfließt. Vor der Einleitung ins Grundwasser ist eine geeignete Vorreinigung vorzusehen.

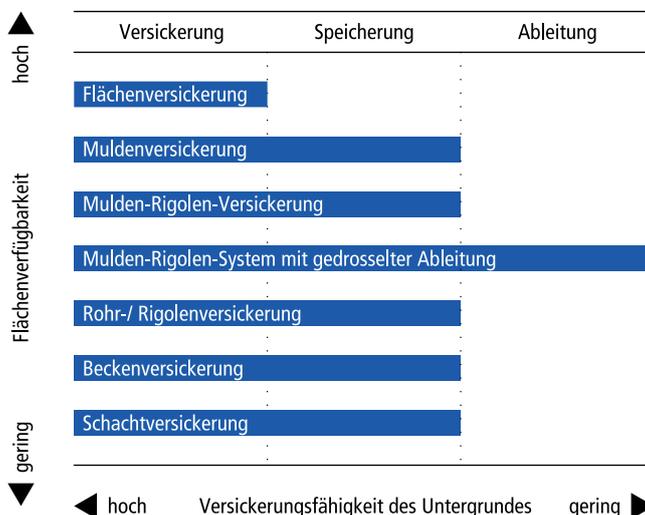


Abbildung 31: Einsatzmöglichkeiten von Versickerungsanlagen abhängig von der Flächenverfügbarkeit und der Versickerungsfähigkeit des Untergrundes

**Retention**

Ist aufgrund der Bodenbeschaffenheit, Grundwasserstand oder Flächenmangel eine Versickerung des Niederschlagwassers nicht möglich, sind zentrale Konzepte wie zum Beispiel die oberirdische Ableitung in Rinnen und Gräben oder die vorübergehende Speicherung in offenen Wasserflächen zu prüfen.

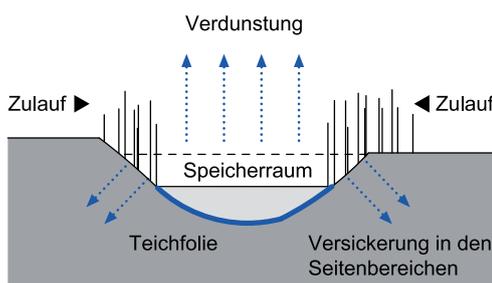


Abbildung 32: Retentionsteich

**Nutzung**

Der Einsatz von Regenwassernutzungsanlagen ist besonders bei Gebäuden mit einem hohen

Brauchwasserbedarf von  $\geq 1500 \text{ m}^3$ , wie dies z. B. bei Sportstätten der Fall ist, sinnvoll. Für die Regenwassernutzung sollte ausschließlich Dachablaufwasser verwendet werden, wobei sich das Material der Dacheindeckung und die Dachneigung stark auf die Qualität und die nutzbare Menge des Niederschlagwassers auswirken.

Das erforderliche Speichervolumen einer Regenwassernutzungsanlage wird durch eine Regressionsgleichung ermittelt. Es ist eine Speichermenge für 2 – 4 Wochen anzustreben. Bei Überdimensionierung sinkt die Qualität des gespeicherten Wassers (Trübung, Algenbildung). Ein periodisches Überlaufen des Speichers ist erwünscht, um die auf der Wasseroberfläche schwimmenden Stoffe auszuschwemmen. Der Überlauf des Regenwasserspeichers sollte möglichst versickert werden, wobei Flächen und Muldensysteme zu bevorzugen sind.

Das Regenwasser wird in einem zweiten Leitungsnetz separat vom Trinkwassernetz geführt. Zwischen den beiden Leistungsnetzen darf es zu keiner Verbindung kommen. Die Rohre der zwei Leitungsnetze müssen farblich gekennzeichnet und Hinweisschilder mit der Aufschrift „Achtung! In diesem Haus ist eine Regenwasseranlage installiert. Querverbindungen ausschließen!“ angebracht werden. Außerdem sind die Zapfstellen des Regenwassernetzes mit Hinweisschildern „kein Trinkwasser“ zu versehen.

#### *Grauwasser*

Bei einem konstant hohen Brauchwasserbedarf und einem gleichzeitig hohen Grauwasseraufkommen (Sportanlagen) ist aufgrund der witterungsunabhängigen Verfügbarkeit der Einsatz

einer Grauwasser-Recyclinganlage zu empfehlen. Neben der Nutzung zur Betriebswassergewinnung sollte bei Gebäuden mit einem hohen Trinkwarmwasserverbrauch die Möglichkeit der Wärmerückgewinnung aus Grauwasser geprüft werden.

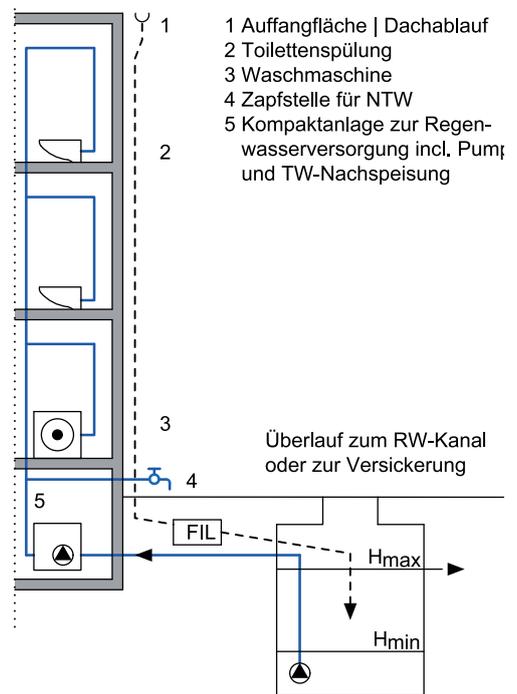


Abbildung 33: Schematischer Aufbau einer Regenwassernutzungsanlage (FIL= Filter,  $H_{\min}$ = Mindestfüllstand,  $H_{\max}$ = maximaler Füllstand)

## 06 | Bauprodukte

Bei der Auswahl von Bauprodukten, Bauhilfsstoffen und Ausstattungsgegenständen ist zu beachten, dass diese in allen Phasen des Lebenszyklusses möglichst frei von umweltschädlichen Einflüssen und Gesundheitsbelastungen sind. Diese Kriterien sollten bei der Auswahl beachtet werden:

- Verwendung von Bauprodukten aus erneuerbaren Rohstoffen und Recyclingmaterialien
- Vorrangig sollten Materialien aus der Region verarbeitet werden
- Minimierung des Transportaufwands für Bauprodukte
- Bevorzugung von Produkten mit geringem Herstellungsaufwand/Primärenergieinhalt (PEI) sind zu bevorzugen
- Vermeidung von Produkten mit gesundheits- oder umweltgefährdenden Inhaltsstoffen
- Verwendung von langlebigen Produkten mit geringem Pflege- und Wartungsaufwand sowie
- Vermeidung von schwer trennbaren Verbundbaustoffen und -bauteilen.
- Bauprodukte, die als gefährliche Abfälle entsorgt werden müssen, sind zu vermeiden eine gefahrlose Rückführung in den natürlichen Stoffkreislauf ist zu gewährleisten

Es empfiehlt sich, die ökologischen Anforderungen an die zu verwendenden Baumaterialien in der Ausschreibung deutlich zu formulieren und ihre tatsächliche Verwendung bei der Bauüberwachung zu kontrollieren.

Bei der Auswahl von geeigneten Baustoffen, Bauhilfsstoffen und Gegenständen für die Innenausstattung helfen die Umweltzeichen „Der blaue Engel“, „Euro-Blume“, „FSC“, „natureplus“, „EMICODE“, das eco-Zertifikat „Produkt emissi-

onsarm“, „Goldenes M“, „GuT-Teppich-Siegel“, „IBR, Naturland“, „ÖkoControl“ etc.

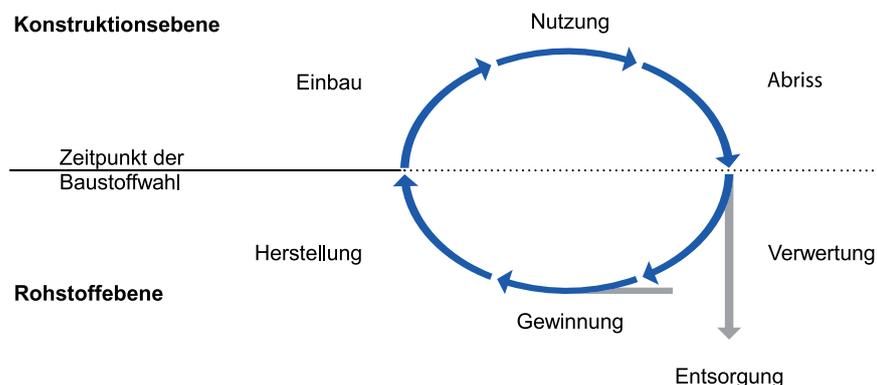


Abbildung 34: Lebenszyklusphasen von Bauprodukten

| <b>Umweltzeichen</b>                  | <b>Lizenzgeber</b>   | <b>Produktgruppen</b>   |
|---------------------------------------|--|---|
| Blauer Engel                          | Umweltbundesamt/RAL Deutsches Institut für Gütesicherung e.V.                        | Dämmstoffe<br>Lacke/Lasuren<br>Wandfarben<br>Tapeten<br>Bodenverlegewerkstoffe<br>Bodenbeläge<br>Holz/Holzwerkstoffe<br>Zemente/Putze/Mörtel<br>Mauer-/Dachsteine |
| eco-Zertifikat „Produkt emissionsarm“ | eco-Umweltinstitut GmbH  | Dämmstoffe<br>Lacke/Lasuren<br>Bodenverlegewerkstoffe<br>Bodenbeläge<br>Textile Bodenbeläge<br>Holzwerkstoffe<br>Möbel  |
| EMICODE                               | Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe e.V.                           | Bodenverlegewerkstoffe  |
| Euro-Blume                            | Kommission der Europäischen Gemeinschaften   | Lacke/Lasuren<br>Wandfarben<br>Fliesen  |
| FSC                                   | Forest Stewardship Council A.C.  | Holz/Holzwerkstoffe   |
| Goldenes M                            | Deutsche Gütegemeinschaft Möbel e.V.   | Möbel aus Holz/<br>Holzwerkstoffe   |
| GuT-Teppich-Siegel                    | Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V.                                    | Textile Bodenbeläge   |
| natureplus                            | natureplus e.V.  | Dämmstoffe<br>Lacke/Lasuren<br>Wandfarben<br>Holz/Holzwerkstoffe<br>Bodenbeläge<br>Zemente/Putze/Mörtel<br>Mauer-/Dachsteine)                                     |
| Naturland                             | Naturland – Verband für naturgemäßen Landbau e.V.                                    | Holz/Holzwerkstoffe   |
| ÖkoControl                            | ÖkoControl – Gesellschaft für Qualitätsstandards ökologischer Einrichtungshäuser mGH | Möbel aus Holz/<br>Holzwerkstoffe   |
| PEFC                                  | Deutscher Forst-Zertifizierungsrat (DFZR)  | Bodenbeläge aus Holz<br>Holz/Holzwerkstoffe   |
| ToxProof                              | TÜV Produkt und Umwelt GmbH – Unternehmensgruppe TÜV Rheinland/Berlin/Brandenburg    | Dämmstoffe<br>Lacke/Lasuren<br>Wandfarben<br>Bodenverlegewerkstoffe<br>Bodenbeläge<br>Holzwerkstoffe<br>Dichtstoffe/Folien<br>Zemente/Putze/Mörtel                |

*Tabelle 11: Auswahl von Umweltzeichen für Bauprodukte*

## 07 | Abfall

Das Abfallaufkommen bei Baumaßnahmen ist in erster Linie durch Abfallvermeidung zu verringern. Nicht vermeidbare Abfälle sind der Wiederverwendung und –Verwertung zuzuführen (Recycling). Bei nicht verwertbaren Abfällen/Reststoffen muss für eine gefahrlose Rückführung in den Stoffkreislauf gesorgt werden. Es ist ratsam, die Lagerung und Entsorgung der Baustellenabfälle in der Ausschreibung differenziert festzulegen und während der Bauphase zu überwachen. Stoffe, die die Gesundheit oder die Umwelt in der Bau- und/oder Nutzungsphase schädigen können, müssen gemäß geltender Arbeits- und Gesundheitsvorschriften fachgerecht gelagert und entsorgt werden.

Außerdem ist für eine umweltverträgliche Verwertung und Entsorgung von Abfällen während der Nutzungsdauer der Gebäude durch die Schaffung baulicher Einrichtungen zur Trennung von Abfällen und Erfassung von Wertstoffen zu sorgen.

Auch bei neu zu errichtenden Gebäuden gilt in erster Linie das Gebot der Abfallvermeidung. Dazu tragen die exakte Kalkulation des Materialbedarfs und der Einsatz von Mehrwegverpackungen (Silos, Mehrwegpaletten, Mehrwegbehälter) während des Baubetriebs bei. Nicht vermeidbare Baustellenabfälle sind getrennt zu erfassen und einer hochwertigen Verwertung (Recycling) oder ggf. der fachgerechten Entsorgung zuzuführen. Schadstofffreier Bodenaushub sollte zum Massenausgleich möglichst auf der Liegenschaft untergebracht werden.

Dauerhafte und langlebige Baustoffe und Bauteile verlängern die Lebensdauer von Gebäuden und minimieren den Unterhaltungs- und Erneuerungsaufwand. Dabei sollte die Wiederver-

wendung von Baumaterialien und der Einsatz von Recyclingprodukten neuen Materialien vorgezogen werden.

I. d. R. setzen sich Umbaumaßnahmen aus Rückbau und Neubau zusammen. Abbruchmaßnahmen sollten als kontrollierter Rückbau durchgeführt werden, wobei alle Baustoffe- und Konstruktionsteile nach Stofffraktionen oder Funktion zu demontieren und einer möglichst hochwertigen Weiter- bzw. Wiederverwertung zuzuführen sind.

Eine getrennte Erfassung der Abfälle zur Beseitigung von verwertbaren Abfällen ist erforderlich, ebenso die Trennung schadstoffbelasteter Abfälle von unbelasteten Abfällen. Nicht recyclebare Bauabfälle müssen ordnungsgemäß gelagert und schadlos entsorgt werden.

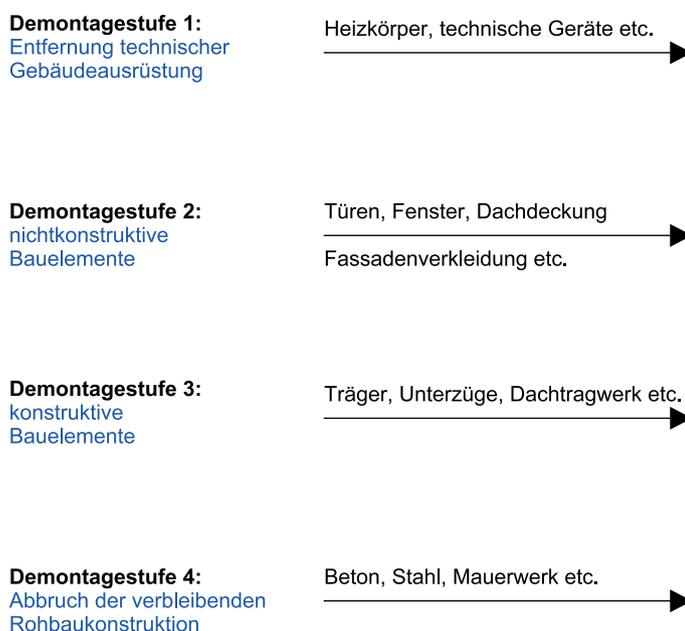


Abbildung 35: Verschiedene Demontagestufen des kontrollierten Rückbaus

| <b>Einsatzbereich</b>        | <b>Recyclingbaustoff</b>   |
|------------------------------|--|
| Außenwände                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• mit Reststoffen porosierte Mauerziegel</li> <li>• Kalksandsteine aus Hüttenessand</li> <li>• Schalungselemente aus ALT-Polystorol (EPS)</li> <li>• Trägerplatten aus Altglas für Putzfassaden</li> <li>• Dekoprofile aus Altglas für Fassaden</li> <li>• Holzformbalken aus Altglas für Fassaden</li> </ul>   |
| Dacheindeckung               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Betondachsteine aus Betonrecyclat</li> <li>• „Kunstschiefer“ aus Schieferresten</li> <li>• Dachschutzbahnen aus Altreifengranulat</li> <li>• Dachsystemteile aus Altkunststoffen</li> </ul>   |
| Dämmstoffe                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Glaswoll-Dämmstoff mit Altglasrecyclat</li> <li>• Schaumglasgranulat aus Altglasrecyclat</li> <li>• Zellulose-Dämmstoff aus Altpapier</li> <li>• Zellulose-Dämmplatten aus Altpapier</li> <li>• Schafwoll-Dämmstoff mit Recyclatanteil</li> <li>• Recycling-Korkschrot</li> <li>• Holzweichfaserplatten aus Holzresten</li> </ul>                             |
| Fenster und Türen            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• PVC-Profile mit Recyclinganteil</li> <li>• Türblätter aus Holzresten (Preßspanplatten)</li> </ul>   |
|                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Holzformbalken aus Holzresten</li> <li>• Fließestrich aus REA-Gips</li> <li>• Trittschalldämmbahnen aus Altreifengranulat</li> </ul>  |
| Putze                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• REA-Gipsputz</li> <li>• Wärmedämmputz mit Altglasgranulat</li> <li>• Wärmedämmputz mit Alt-EPS</li> </ul>   |
| Innenausbau, Bauplatten etc. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Preßspanplatten aus Holzresten</li> <li>• Gipsspanplatten aus Holzresten</li> <li>• Gipsfaserplatten mit REA-Gips und Altpapier</li> <li>• Gipskartonplatten mit REA-Gips und Altpapier</li> <li>• Holzweichfaserplatten aus Holzresten</li> <li>• Rauhfaser- und Untertapeten aus Altpapier</li> <li>• Zellulose-Spritzbeschichtung aus Altpapier</li> </ul> |
| Bodenbeläge                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• PVC-Bodenbeläge mit Recyclinganteil</li> <li>• Bodenpaneele aus Getränkekartons</li> <li>• Fallschutzplatten aus Altreifengranulat</li> <li>• Bodenbeläge aus Altkunststoffen</li> </ul>  |

Tabelle 12: Verwertungsmöglichkeiten von Bauabfällen

## Literaturverzeichnis

### 01| Grundstück

Bohne, Dirk: Ökologische Gebäudetechnik, Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 2004

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung: Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Stand Januar 2001

### 02| Gebäudekonzept

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung: Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Stand Januar 2001

Hegger, Manfred/ Fuchs, Matthias/Rosenkranz Thorsten: Baustoff Atlas, Birkhäuser Verlag, 2005

RWE: RWE Bau-Handbuch, VWEW Energieverlag GmbH, Frankfurt a.M., 2004

Bremer Energie-Konsens: Innovative Dämmstoffe im Bauwesen-Forschungsstand und Marktübersicht, Stand 2005

Bremer Energie-Konsens: Sommertauglich entwerfen und bauen – Leitfaden für Architekten, Planer und Bauherren, Bremen, 2006

EnergieAgentur.NRW: Schutz vor Kälte und Hitze, Dämmstoffe im Vergleich – Einsatzbereiche und Eigenschaften

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR): Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, Stand 2006

Feist, Wolfgang: Gestaltungsgrundlagen Passivhäuser, Verlag Das Beispiel, 2001

Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V.: Produkte und Systeme – Eine Übersicht, Stand 2006

Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V.: Energiebilanz verbessern, Produktivität erhöhen  
Staatliches Baumanagement Niedersachsen:

Planungshilfe Tageslichtnutzung und Sonnenschutz für Bürogebäude, Ausgabe 2004

Haas-Arndt, Doris/Ranft, Fred: Tageslichttechnik in Gebäuden, C.F. Müller Verlag, Heidelberg, 2007

BINE Informationsdienst: Tageslichtnutzung in Gebäuden, Stand 2005

EnergieAgentur.NRW: Viel Licht mit wenig Geld. Energiespar- und Leuchtstofflampen, Stand 2006

EnergieAgentur.NRW: Leitfaden Beleuchtungstechnik, Stand 2006

Deutsche Energie-Agentur: Effiziente Beleuchtung: Konsequenz Kosten senken, Stand 2007

Bohne, Dirk: Ökologische Gebäudetechnik, Kohlhammer Verlag, 2004

### 03| Energieversorgung

Wellpott, Edwin/Bohne, Dirk: Technischer Ausbau von Gebäuden, 9. Auflage, Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 2006

Recknagel, Hermann/Sprenger, Eberhard/Schramek, Ernst-Rudolf: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, Oldenbourg Verlag, München, 2007

Bohne, Dirk: Ökologische Gebäudetechnik, Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 2004

RWE: RWE Bau-Handbuch, VWEW Energieverlag GmbH, Frankfurt a.M., 2004

AMEV: Hinweise zum Planen und Bauen von Wärmeversorgungsanlagen für öffentliche Gebäude (Heizanlagenbau 2005), Berlin, 2005

AMEV: Hinweise für Planung, Ausführung und Betrieb der Gebäudeautomation in öffentlichen Gebäuden, Berlin, 2005

Niedersächsisches Umweltministerium: Leitfaden Erdwärmennutzung in Niedersachsen, Hannover, Stand 2006

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung: Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Stand Januar 2001

#### 04| Lüftung

Wellpott, Edwin/Bohne, Dirk: Technischer Ausbau von Gebäuden, 9. Auflage, Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 2006

Recknagel, Hermann/Sprenger, Eberhard/Schramek, Ernst-Rudolf: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, Oldenbourg Verlag, München, 2007

AMEV: Hinweise zur Planung und Ausführung von Raumlufthechnischen Anlagen für öffentliche Gebäude (RLT-Anlagenbau 2004), Berlin, 2004

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung: Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Stand Januar 2001

#### 05| Wasser und Abwasser

Wellpott, Edwin/Bohne, Dirk: Technischer Ausbau von Gebäuden, 9. Auflage, Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 2006

DWA: Arbeitsblatt DWA-A 138 – Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagwasser, Hennef, 2005

Dreiseitl, Herbert/Geiger, Wolfgang F.: Neue Wege für das Regenwasser, Oldenbourg Verlag, München, 2001

#### 06| Bauprodukte

Umweltbundesamt: Bauprodukte – Schadstoffe und Gerüche bestimmen und vermeiden, Dessau, 2006

#### 07| Abfall

Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau: Arbeitshilfe Recycling – Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Bauabfällen bei Planung und Ausführung von baulichen Anlagen, Bonn, 1998

## Abbildungen|Tabellen

### Abbildungen:

#### Abbildung 01

Einfluss von Topografie und Vegetation auf die Gebäudeströmung, die auftretende Windgeschwindigkeit und Druckverteilung am Gebäude  
nach: Bohne, Dirk: Ökologische Gebäudetechnik, Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 2004

#### Abbildung 02

A/V-Verhältnis unterschiedlicher Gebäudegeometrien  
nach: Glücklich, Detlef: Ökologisches Bauen, Deutsche Verlagsanstalt, München, 2005

#### Abbildung 03

Heizwärmebedarf und Übertemperaturhäufigkeit bei verschiedenen Grundrisorientierungen  
nach: Hausladen, Gerhard/de Saldanha, Michael/Liedel Petra: ClimaSkin, Callwey Verlag, München, 2006

#### Abbildung 04

Dämmwirkung in Abhängigkeit von Dämmstoffstärke und Qualität des Dämmmaterials

#### Abbildung 05

Der Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der Verglasungsqualität, der Orientierung und dem Fensterflächenanteil  
nach: Hausladen, Gerhard/de Saldanha, Michael/Liedel Petra: ClimaSkin, Callwey Verlag, München, 2006

#### Abbildung 06

Typische Wärmebrücken bei Gebäuden  
nach: Glücklich, Detlef: Ökologisches Bauen, Deutsche Verlagsanstalt, München, 2005

#### Abbildung 07

Funktionale und thermische Wechselbeziehung je nach Fassadenorientierung  
nach: Hausladen, Gerhard/de Saldanha, Michael/Liedel Petra: ClimaSkin, Callwey Verlag, München, 2006

#### Abbildung 08

Möglichkeiten zur passiven Solarenergienutzung  
nach: Bohne, Dirk: Ökologische Gebäudetechnik, Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 2004

#### Abbildung 09

Qualitative Darstellung des sommerlichen Innenraumklimas je nach Fensterflächenanteil und Schwereklasse der raum-umschließenden Bauteile  
nach: Hammer, Renate/Jung, Patrik: Beton in der Solararchitektur, Informationszentrum Beton, 2000

#### Abbildung 10

Möglichkeiten zur Anordnung des Sonnenschutzes und dazugehörige Abminderungsfaktoren  
nach: Hausladen, Gerhard/de Saldanha, Michael/Liedel Petra/Sager, Christina: ClimaDesign, Callwey Verlag, München, 2005

#### Abbildung 11

Wärmeeinträge durch Fenster je nach Position des Sonnenschutzes  
RWE: RWE Bau-Handbuch, VWEW Energieverlag GmbH, Frankfurt a.M., 2004

#### Abbildung 12

Tageslichtangebot bei verschiedenen Himmelszuständen, Beleuchtungssituationen und Fenstergrößen  
nach: Schittich, Christian/Staib, Gerald/Balkow, Dieter/Schuler, Matthias/Sobek, Werner: Glasbau Atlas, Birkhäuser Verlag, 1998

#### Abbildung 13

Einsparpotential von modernen Beleuchtungsanlagen  
nach: Deutsche Energie-Agentur: Effiziente Beleuchtung: Konsequenz Kosten senken, Stand 2007

#### Abbildung 14

Funktionsprinzip von verschiedenen Tageslichtsystemen

Abbildung 15

Aufheizzeit freiliegender Speicherschichten  
nach: Glücklich, Detlef: Ökologisches Bauen,  
Deutsche Verlagsanstalt, München, 2005

Abbildung 16

Typische Jahresdauerlinie bei mehreren Mo-  
dulen  
nach: Bohne, Dirk: Ökologische Gebäudetechnik,  
Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 2004

Abbildung 17

Funktionsprinzip der Elektrowärmepumpe

Abbildung 18

Funktionsprinzip der Verbrennungsmotorwär-  
mepumpe

Abbildung 19

Thermische Solaranlage mit saisonalem Lang-  
zeitspeicher

Abbildung 20

Hydraulisches Schema einer Wärmeerzeu-  
gungsanlage mit thermischer  
Solaranlage, (Holz-)Kessel und gemeinsamem  
Pufferspeicher  
nach: Bohne, Dirk: Ökologische Gebäudetechnik,  
Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 2004

Abbildung 21

Schematischer Aufbau einer Absorptions-käl-  
teanlage  
nach: Bohne, Dirk: Ökologische Gebäudetechnik,  
Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 2004

Abbildung 22

Kühlung durch oberflächennahe Geothermie,  
Grund- und Oberflächenwasser

Abbildung 23

Schematischer Aufbau einer solarunterstützten  
Kühlung

Abbildung 24

Verdunstungskühlung durch Wasserflächen in  
Fassadennähe/durch besprühen der Fassade mit  
Wasser  
nach: Bohne, Dirk: Ökologische Gebäudetechnik,  
Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 2004

Abbildung 25

Elektroenergiebedarf für den Lufttransport in  
Raumluftechnischen Anlagen  
nach: EnergieAgentur.NRW: Auf dem Weg zum  
energieeffizienten Bürogebäude

Abbildung 26

Fensterlüftung

Abbildung 27

Schachtlüftung

Abbildung 28

Zentrale Zu- und Abluftanlage mit Wärmerück-  
gewinnung

Abbildung 29

Dezentrale Lüftungsgeräte mit Wärmerückge-  
winnung

Abbildung 30

Beispiele für Versickerung  
nach: Dreiseitl, Herbert/Geiger, Wolfgang F.:  
Neue Wege für das Regenwasser, Oldenbourg  
Verlag, München, 2001

Abbildung 31

Einsatzmöglichkeiten von Versickerungsanlagen  
abhängig von der Flächenverfügbarkeit und der  
Versickerungsfähigkeit des Untergrundes  
nach: DWA: Arbeitsblatt DWA-A 138 – Planung,  
Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung  
von Niederschlagwasser, Hennef, 2005

Abbildung 32

Retentionsteich  
nach: Dreiseitl, Herbert/Geiger, Wolfgang F.:  
Neue Wege für das Regenwasser, Oldenbourg  
Verlag, München, 2001

Abbildung 33

Schematischer Aufbau einer Regenwassernutzungsanlage

Abbildung 34

Lebenszyklusphasen von Bauprodukten  
nach: Glücklich, Detlef: Ökologisches Bauen,  
Deutsche Verlagsanstalt, München, 2005

Abbildung 35

Verschiedene Demontagestufen des kontrollierten Rückbaus  
nach: Bundesministerium für Raumordnung,  
Bauwesen und Städtebau: Arbeitshilfe Recycling – Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Bauabfällen bei Planung und Ausführung von baulichen Anlagen, Bonn, 1998

#### Tabellen:

Tabelle 01

Klimadaten für den Standort Hannover  
DIN 4710 – Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von Heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland, Stand 2003

Tabelle 02

Wärmeleitfähigkeit verschiedener Dämmmaterialien

Tabelle 03

Glaskennwerte  
Quelle: Herstellerbroschüren

Tabelle 04

maximale spezifische Leistungswerte für den Beleuchtungsaufwand  
aus: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA 380/4 Elektrische Energie im Hochbau, Verlag SIA, 2006

Tabelle 05

Eigenschaften verschiedener Leuchtmittel im Vergleich  
aus: EnergieAgentur.NRW: Leitfaden Beleuchtungstechnik, Stand 2006

Tabelle 06

Energetischer Vergleich verschiedener Heizsysteme  
BMW/GEMIS: Erneuerbare Energien, 4. Auflage 2002

Tabelle 07

Anzustrebende Temperaturen für Vor- und Rücklauf in °C

Tabelle 08

Primärenergetischer Nutzen verschiedener Wärmeerzeuger  
aus: cci – Fachzeitung für Haus- und Gebäudetechnik, Ausgabe 12/2007, S.16

Tabelle 09

Übersicht über verschiedene Energiequellen  
aus: Glücklich, Detlef: Ökologisches Bauen,  
Deutsche Verlagsanstalt, München, 2005

Tabelle 10

Durchschnittswerte für Leistungsaufnahme und Nutzungszeiten verschiedener Arbeitsgeräte  
aus: Berliner Energieagentur GmbH (Hrsg.): Beschaffung und Klimaschutz – Leitfaden zur Beschaffung von Geräten, Beleuchtung und Strom nach den Kriterien Energieeffizienz und Klimaschutz

Tabelle 11

Auswahl von Umweltzeichen für Bauprodukte  
aus: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: Aktionsprogramm Umwelt und Gesundheit Nordrhein-Westfalen. Umweltzeichen für Bauprodukte, Düsseldorf, 2004

Tabelle 12

Verwertungsmöglichkeiten von Bauabfällen  
aus: Bundesministerium für Raumordnung,  
Bauwesen und Städtebau: Arbeitshilfe Recycling – Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Bauabfällen bei Planung und Ausführung von baulichen Anlagen, Bonn, 1998



## Beteiligte der Arbeitsgruppe

Der Leitfaden ‚Nachhaltige Gebäudesysteme‘ wurde in Zusammenarbeit mit dem Dezernat 3 - Gebäudemanagement - der Leibniz Universität Hannover, dem Staatlichen Baumanagement Hannover und der Landesbauabteilung der Oberfinanzdirektion Hannover an der Fakultät für Architektur und Landschaft, Institut für Entwerfen und Konstruieren – Abteilung Gebäudetechnik erstellt. Beteiligte der Arbeitsgruppe sind:

### *Leibniz Universität Hannover - Dezernat 3*

Horst Bauer  
Leitung – Gebäudemanagement  
Vertretung des Vizepräsidenten für Verwaltung  
und Finanzen

Dipl.-Ing. Christina Müller  
Sachgebietsleitung - Versorgungstechnik und  
Gebäudeleittechnik

Dr.-Ing. Ralph Haas  
Sachgebietsleitung - Bauplanung und  
Bauunterhaltung

### *Leibniz Universität Hannover - Fakultät für Architektur und Landschaft - Institut für Entwerfen und Konstruieren*

Prof. Dr.-Ing. Dirk Bohne  
Geschäftsführende Leitung des Instituts für  
Entwerfen und Konstruieren  
Professor – Abteilung Gebäudetechnik

Dipl.-Ing. Judith Schurr  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin - Abteilung  
Gebäudetechnik (Leiterin der Arbeitsgruppe)

Prof. Michael Schumacher  
Vorstand im Institut für Entwerfen und  
Konstruieren - Abteilung Baukonstruktion und  
Entwerfen

### *Staatliches Baumanagement Hannover*

Dipl.-Ing. Matthias Reinhard  
Bauamtsleiter  
Staatliches Baumanagement Hannover

Dipl.-Ing. Architektin Sibylle Kennepohl-Koch  
Leiterin der Baugruppe 3  
Staatliches Baumanagement Hannover

*Dipl.-Ing. Heinrich Niemeyer*  
*Leiter des Fachbereichs Ingenieurbau*  
*Staatliches Baumanagement Hannover*

### *Landesbauabteilung der Oberfinanzdirektion Hannover*

Dipl.-Ing. Wolfgang Schröder  
Leiter der Gruppe Bau 3 - Ingenieurbau,  
Bautechnik, Freiraumplanung  
Oberfinanzdirektion Hannover

Dipl.-Ing. Thomas Jäger  
Leiter des Referates Bau 23 - Wärme-,  
Raumluft-, Sanitär- u. Maschinentechnik  
Oberfinanzdirektion Hannover



## Checkliste Leitfaden ‚Nachhaltige Gebäudesysteme‘

| Kriterien                            | Kapitel | Zielwert  | Projektwert                | ja                         | nein                     |
|--------------------------------------|---------|---|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Grundstück                           | 01      | geringer Flächenverbrauch, sparsamer Umgang mit Bauland   | GRZ.....%                  | GRZ.....%                  | <input type="checkbox"/> |
| Gebäudegeometrie                     | 02      | naturnahe Umgebungsgestaltung   |                            |                            | <input type="checkbox"/> |
|                                      | 02      | einfache/ kompakte Bauform  | A/V.....[-]                | A/V.....[-]                | <input type="checkbox"/> |
| Raumprogramm/<br>Grundrissgestaltung | 02      | Optimierung des Raumbedarfs   | BGF/HNF...%                | BGF/HNF...%                | <input type="checkbox"/> |
|                                      |         | Räume mit gleichen technischen/ klimatischen Anforderungen nebeneinander bzw. übereinander angeordnet | BRI/HNF...%                | BRI/HNF...%                | <input type="checkbox"/> |
|                                      |         | anpassungsfähiger Grundriss für evtl. Nutzungsänderung  |                            |                            | <input type="checkbox"/> |
| winterlicher Wärmeschutz             | 02      | hoher Dämmstandard für opake Bauteile:  |                            |                            |                          |
|                                      |         | Außenwand   | U.....W/(m <sup>2</sup> K) | U.....W/(m <sup>2</sup> K) | <input type="checkbox"/> |
|                                      |         | Dach  | U.....W/(m <sup>2</sup> K) | U.....W/(m <sup>2</sup> K) | <input type="checkbox"/> |
|                                      |         | Sohlplatte  | U.....W/(m <sup>2</sup> K) | U.....W/(m <sup>2</sup> K) | <input type="checkbox"/> |
|                                      |         | Wand/ Decke gegen unbeheizt   | U.....W/(m <sup>2</sup> K) | U.....W/(m <sup>2</sup> K) | <input type="checkbox"/> |
|                                      |         | Umlaufende Dämmschicht, keine Unterbrechungen   |                            |                            | <input type="checkbox"/> |
|                                      |         | wärmebrückenminimierte Konstruktion   |                            |                            | <input type="checkbox"/> |
|                                      |         | Nutzung solarer Energieeinträge durch einen optimierten Fensterflächenanteil                          | Westen.....%               | Westen.....%               | <input type="checkbox"/> |
|                                      |         |   | Osten.....%                | Osten.....%                | <input type="checkbox"/> |
|                                      |         |   | Süden.....%                | Süden.....%                | <input type="checkbox"/> |
| sommerlicher Wärmeschutz             | 02      | Begrenzung der solaren Energieeinträge durch einen optimierten Fensterflächenanteil                   | Westen.....%               | Westen.....%               | <input type="checkbox"/> |
|                                      |         |   | Osten.....%                | Osten.....%                | <input type="checkbox"/> |
|                                      |         |   | Süden.....%                | Süden.....%                | <input type="checkbox"/> |

| Kriterien                              | Kapitel  | Zielwert  | Projektwert                             | ja                                      | nein                     |                          |
|--|--|---|---|---|--------------------------|--------------------------|
| sommerlicher Wärmeschutz               | Sonnenschutz durch:<br>Sonnenschutzverglasung<br>baulicher Sonnenschutz<br>außenliegender Sonnenschutz |   |   | <input type="checkbox"/>                | <input type="checkbox"/> |                          |
|  |  | Wirksamkeit des Sonnenschutzes                          | $F_c \dots \dots \dots [-]$             | $F_c \dots \dots \dots [-]$             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  |  | Hohes Speichervermögen der Innenbauteile                |   |   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  |  | Verhältnis von speichernder zu verglaster Fläche        | $\dots \dots \dots : \dots \dots \dots$ | $\dots \dots \dots : \dots \dots \dots$ |                          |                          |
|  |  | Konzept für die konvektive Entladung der Speichermassen |   |   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Luftdichtigkeit                        | 02   | Luftdichtheit des temperierten Gebäudevolumens          | $n_{50} \dots \dots \dots h^{-1}$       | $n_{50} \dots \dots \dots h^{-1}$       |                          |                          |
|  | 02   | Tageslichtkonzept für Nutz- und Verkehrsflächen         |   |   | <input type="checkbox"/> |                          |
| Beleuchtung mit Tageslicht/ Kunstlicht | Hoher Tageslichttransmissionsgrad für Verglasungen   | Einsatz von Lichtlenksystemen                           | $\tau \dots \dots \dots [-]$            | $\tau \dots \dots \dots [-]$            | <input type="checkbox"/> |                          |
|  |  | Hoher Reflexionsgrad der umgebenden Raumflächen         |   |   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  |  | Verwendung von Leuchtmitteln mit hoher Lichtausbeute    |   |   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  |  | Verwendung von Leuchten mit hohem Wirkungsgrad          |   |   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

| Kriterien                | Kapitel | Zielwert  | Projektwert                         | ja                       | nein                     |
|--------------------------|---------|---|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Wärmeversorgung          | 03      | Wärmeversorgung durch Fern- /Nahwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung  |                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|                          |         | Eigenerzeugung von Wärme durch<br>Verbrennung von Biomasse<br>Blockheizkraftwerk<br>Oberflächennahe Geothermie/ Wärmepumpentechnik<br>Brennwerttechnik                    |                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|                          |         | Niedertemperaturwärmeabnahme, geringe<br>Heizmitteltemperaturen<br>Speicherung von Überschusswärme durch<br>Pufferspeicher<br>Erdsonden<br>Unterirdische Langzeitspeicher | VL/RL.../..... °C VL/RL.../..... °C | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|                          |         | Unterbringung von Wärmeerzeugungsanlagen,<br>Warmwasserspeicher und Wärmeverteilungen innerhalb der<br>gedämmten Hülle  |                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|                          |         | Aufschaltung des Heizsystems auf die Gebäudeleittechnik   |                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Trinkwarmwasserbereitung | 03      | Art der Trinkwarmwasserbereitung<br>dezentral<br>zentral<br>solar   |                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|                          |         |   |                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|                          |         |   |                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

| Kriterien                | Kapitel | Zielwert  | Projektwert                            | ja                       | nein                     |
|--------------------------|---------|---|--|--------------------------|--------------------------|
| Trinkwarmwasserbereitung |         | Speicherung von Trinkwarmwasser durch<br>Pufferspeicher<br>Erdsonden<br>Unterirdische Langzeitspeicher  |  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Kälteversorgung          | 03      | Nutzungsbedingte Notwendigkeit für Kälteversorgung<br>innere Lasten<br>äußere Lasten  | .....kW<br>.....kW                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|                          |         | Kälteerzeugung durch<br>Sorptionskältetechnik<br>Direktverdampfung über die Lüftungsanlage<br>Oberflächennahe Geothermie/ Wärmepumpentechnik<br>Verdunstung |  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|                          |         | Verwendung von Kältemitteln mit geringen Treibhauspotenzial   | GWP..... GWP.....<br>ODP..... ODP..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|                          |         | Kältespeicherung für Lastenspitzen durch<br>Pufferspeicher<br>Erdsonden<br>unterirdische Langzeitspeicher   |  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|                          |         |   | GRZ.....                               |                          |                          |

| Kriterien       | Kapitel   | Zielwert                   | Projektwert                | ja                       | nein                     |
|-----------------|---|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Lüftung         | 04  | .....%                     | .....%                     |                          |                          |
|                 | Einsatz mechanischer Lüftung mit Wärmerückgewinnung                           |                            |                            |                          |                          |
|                 | An die Nutzung angepasste Luftvolumenströme                                   |                            |                            |                          |                          |
|                 | Art der Nutzung:  |                            |                            |                          |                          |
|                 | .....   | .....m <sup>3</sup> /h     | .....m <sup>3</sup> /h     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|                 | .....   | .....m <sup>3</sup> /h     | .....m <sup>3</sup> /h     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|                 | .....   | .....m <sup>3</sup> /h     | .....m <sup>3</sup> /h     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|                 | Variable Regelung der Luftvolumenströme                                       |                            |                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|                 | Minimierte Luftgeschwindigkeit in den Lüftungsleitungen                       | .....m/s                   | .....m/s                   |                          |                          |
|                 | Begrenzung der spezifischen Ventilatorleistungen                              | .....W/(m <sup>3</sup> /s) | .....W/(m <sup>3</sup> /s) |                          |                          |
| Wasser/Abwasser | 05  |                            |                            |                          |                          |
|                 | Einsatz wassersparender Armaturen und Sanitärinstallationen                   |                            |                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|                 | Dezentrale Ableitung des Regenwasseraufkommens am Standort durch Versickerung |                            |                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|                 | Substitution von Trinkwasser durch die Nutzung von Regenwasser                |                            |                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|                 | Maßnahmen zur Rückhaltung von Regenwasser                                     |                            |                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|                 | Maßnahmen zur Aufbereitung und Nutzung von Grauwasser als Nichttrinkwasser    |                            |                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

| Kriterien   | Kapitel | Zielwert   | Projektwert              | ja                       | nein                     |
|-------------|---------|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Bauprodukte | 06      | Auswahl emissionsarmer Bauprodukte, Bauhilfsstoffe und Ausstattungsgegenstände         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|             |         | Verwendung von Produkten aus erneuerbaren Rohstoffen und Recyclingmaterial             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|             |         | Verwendung von regionalen Materialien  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|             |         | Verwendung von Materialien mit geringem Herstellungsaufwand/ Primärenergiegehalt (PEI) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|             |         | Vermeidung von schwer trennbarem Verbundmaterial                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Abfall      | 07      | Abfallvermeidung durch genaue Kalkulation des Materialbedarfes                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|             |         | Anlieferung des Baumaterials in Mehrwegverpackungen                                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|             |         | Getrennte- Erfassung/ Behandlung der Baustellenabfälle                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|             |         | Bodenaushub für den Massenausgleich auf der Liegenschaft                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

| Kriterien                     | Zielwert                |                         |  |  |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|--|--|
|                               | Wärme                   | Kälte                   | Elektroenergie                           |  |
| Endenergie                    | .....kWh/m <sup>2</sup> | .....kWh/m <sup>2</sup> | Lufttransport<br>.....kWh/m <sup>2</sup> | Beleuchtung<br>.....kWh/m <sup>2</sup> |
| Primärenergie                 | .....kWh/m <sup>2</sup> | .....kWh/m <sup>2</sup> | .....kWh/m <sup>2</sup>                  | .....kWh/m <sup>2</sup>                |
| Anteil regenerativer Energien | .....%                  | .....%                  | .....%                                   | .....%                                 |

| Kriterien                     | Projektwert             |                         |  |  |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|--|--|
|                               | Wärme                   | Kälte                   | Elektroenergie                           |  |
| Endenergie                    | .....kWh/m <sup>2</sup> | .....kWh/m <sup>2</sup> | Lufttransport<br>.....kWh/m <sup>2</sup> | Beleuchtung<br>.....kWh/m <sup>2</sup> |
| Primärenergie                 | .....kWh/m <sup>2</sup> | .....kWh/m <sup>2</sup> | .....kWh/m <sup>2</sup>                  | .....kWh/m <sup>2</sup>                |
| Anteil regenerativer Energien | .....%                  | .....%                  | .....%                                   | .....%                                 |



**Leibniz Universität Hannover**  
Welfengarten 1  
30167 Hannover  
Tel. +49 511 762 0  
Fax + 49 511 762 3456

[www.uni-hannover.de](http://www.uni-hannover.de)

