



# Nachhaltigkeitsaspekte bei Neu- und Bestandsbauten



**Ein Leitfaden**

# Impressum

## Herausgeber:

Centrum Baustoffe und Materialprüfung (cbm)  
Lehrstuhl für Baustoffkunde und Werkstoffprüfung  
Technische Universität München  
Baumbachstraße 7  
81245 München

für den Bayerischen Forschungsverbund  
Abfallforschung und Reststoffverwertung  
(BayFORREST)

Bayerisches Staatsministerium  
für Umwelt, Gesundheit und  
Verbraucherschutz  
Rosenkavalierplatz 2  
81925 München (StMUGV)

Internet: [www.stmugv.bayern.de](http://www.stmugv.bayern.de)  
E-mail: [poststelle@stmugv.bayern.de](mailto:poststelle@stmugv.bayern.de)

## Projektförderung:

Bayerisches Staatsministerium  
für Umwelt, Gesundheit und  
Verbraucherschutz

Bayerisches Staatsministerium  
für Wissenschaft, Forschung und Kunst

## Projektbearbeitung / -koordination:

Prof. Dr. P. Schießl,  
Dipl.-Ing. A. Robrecht  
Centrum Baustoffe und Materialprüfung (cbm)  
Lehrstuhl für Baustoffkunde  
und Werkstoffprüfung  
Technische Universität München  
Baumbachstraße 7  
81245 München

dr. ernst schönfeld gmbh  
Asenweg 20  
81739 München

## Lenkungsausschuss des Forschungsverbundes:

Vorsitz:  
Prof. Dr. P. Schießl

Mitwirkung:

- Bayerische Hausbau, München
- Bayerisches Institut für Angewandte Umweltforschung und –technik GmbH, Augsburg
- Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz
- dr. ernst schönfeld gmbh, München
- Obermeyer Planen + Beraten, München
- Technische Universität München

© StMUGV, alle Rechte vorbehalten  
1. Auflage 2006

Diese Druckschrift wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbenden oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen.

Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung.

## Gestaltung:

A34 – büro für kommunikation und realisation, ivone delazerer-böhmer

Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars erbeten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt.

Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden.

## Druck:

Stulz-Druck & Medien GmbH,  
München



## BAYERN DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung.

Unter Tel. **(01801) 20 10 10** (4,6 Cent pro Minute aus dem Festnetz der Deutschen Telekom) oder per E-Mail unter **[direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de)** erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.



Gedruckt auf Papier  
aus 100% Altpapier

## STOFFFLÜSSE AM BAU GANZHEITLICH BETRACHTET

In unseren Gebäuden sind enorme Mengen an Baustoffen gebunden. Der überwiegende Teil der Bauwerke und insbesondere der Wohngebäude besteht aus mineralischen Rohstoffen oder aus Baustoffen, die solche enthalten. Die zugrunde liegenden Stoffflüsse sind gewaltig. Allein in Bayern werden jährlich rd. 135 Mio. Tonnen an Sand, Kies, Lehm, Ton, Beton, Ziegel und anderen Baustoffen abgebaut, hergestellt, transportiert und/ oder verbaut. Die jährlich in den Bausektor fließenden und verbauten Stoffströme übersteigen die im gleichen Zeitraum entstehenden mineralischen Reststoffe aus Bau, Sanierung und Abriss erheblich. Der Input ist rd. zehnmal höher als der Output. Damit haben Bauwerke neben ihren verschiedenartigen Nutzungsfunktionen auch den Charakter eines beachtlichen Rohstofflagers.

Dass die Bautätigkeit Natur und Umwelt in erheblichem Maße beeinflusst, ist offensichtlich. Bei der Betrachtung des Phänomens Bauwerk sind aber nicht nur die verbauten Materialien selbst von Bedeutung, sondern auch solche Stoff- und Energieflüsse, die mit deren Erzeugung, Verarbeitung, Nutzung und schließlich der Entsorgung verknüpft sind. So erst entsteht ein umfassendes Bild der durch Bauwerke verursachten Auswirkungen.

Die Frage lautet: Wie können wir Bauwerke herstellen und erhalten, die Baureststoffe vermeiden und Ressourcen schonen, dabei in ihren Nutzungsmöglichkeiten flexibel ausgelegt sind und insgesamt Umweltbelastungen möglichst vermeiden? Auch müssen die Bauwerke bezahlbar bleiben, wirtschaftlich zu betreiben sein und angenehme Lebens- und Arbeitsbedingungen bieten. Um all diese vielfältigen Funktionen zu realisieren, sind neue Instrumente und Methoden gefragt. Dies heißt nun nicht, dass wir im gesamten Bauwesen das Rad neu erfinden sollen. Aber die ganzheitliche Betrachtung von Stoff- und Energieflüssen am Bau öffnet uns einen neuen Blick auf die von uns ganz selbstverständlich genutzten Räume.

Hier setzt der Forschungsverbund „Stoffflussmanagement Bauwerke“ an, in dem sich unter dem Dach des BayFORREST Lehrstühle der TU München und der Universität der Bundeswehr intensiv mit dieser Thematik befassen haben. Das übergeordnete Ziel

bestand darin, Methoden und Entscheidungshilfen für die Planung, die Nutzung und den Um- und Rückbau von Bauwerken im Hinblick auf nachhaltiges Bauen zu entwickeln. Die thematischen Schwerpunkte des Verbundes lagen in den Bereichen Planung und Modellierung, Werkstoffe und Materialien sowie Altbau und Bestand.

Grundlegende Erkenntnis und Ausgangspunkt der Überlegungen war, dass die Eigenschaften von Produkten – also auch die von Gebäuden – und ihre Auswirkungen auf die Umwelt durchweg schon bei der Planung festgelegt werden. Der Planer bestimmt mit seinem Entwurf die zukünftige Umweltrelevanz des Bauwerks. Um diese Aufgabe umfassend zu bearbeiten, benötigt er die richtigen Werkzeuge und muss dazu den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks betrachten, von der Gewinnung der Rohstoffe bis hin zur Entsorgung nach dem Abriss.

Um nur ein Beispiel zu nennen: Das Bauen am Computer ist an sich nichts Neues; schon lange haben die Computer Einzug bei Planern und Architekten gehalten, und die Bauwerke können bereits vor Baubeginn virtuell betreten und besichtigt werden. Neu ist aber, dass nun auch die Umweltauswirkungen des Bauwerks über den gesamten Lebensweg nicht nur sichtbar gemacht, sondern dass dadurch bereits im Vorfeld Planungsvarianten verglichen werden können. Speziell entwickelte Programme verknüpfen die Planung mit zugehörigen Material- und Energiedaten. Der Planer kann damit den Ressourcen- und Energiebedarf für das Bauwerk einschließlich der notwendigen Anlagentechnik simulieren und den Lebenszyklus bereits im Entwurf ganzheitlich analysieren. Schon während der Planung kann er Ökobilanzen aufstellen und das Bauwerk im Hinblick auf seine umweltverträgliche Gestaltung optimieren.

Für die Analyse bestehender Gebäude können die Methoden so erweitert werden, dass der Einsatz solcher Strategien auch in der Sanierungsplanung möglich wird. Grundlage hierfür ist die Nutzung thermographischer und Laser gestützter Verfahren in Verbindung mit neuartigen Techniken der Mustererkennung und Bildverarbeitung. So können Ökobilanzen auch für Altbauten erstellt werden, selbst wenn keine Pläne

mehr existieren. Hier ergeben sich auch Anknüpfungspunkte zu unserem Forschungsprojekt „IPP im Bereich der Bausanierung“, das das Thema der Sanierung unter dem Blickwinkel der integrierten Produktpolitik betrachtet.

Die Ergebnisse des Forschungsverbundes und der Einzelprojekte stehen im Internet auf der Homepage des Forschungsverbundes ([www.sfm-bauwerke.de](http://www.sfm-bauwerke.de)) zur Verfügung.

Der vorliegende Leitfaden stellt wesentliche Ergebnisse des Verbundes in kompakter Form vor und ergänzt sie um übergreifende Aspekte der Nachhaltigkeit, die für das Baugeschehen relevant sind. Orientiert an den Phasen der HOAI gibt der Leitfaden den interessierten Planern, Architekten und Bauherren einen roten Faden zur ganzheitlichen Betrachtung von Bauwerken an die Hand. Hinweise auf nutzbare Werkzeuge und weitergehende Informationsmöglichkeiten runden die Thematik ab.

Allen am Forschungsverbund Beteiligten danken wir für ihren Einsatz und ihr Engagement. Unser besonderer Dank gilt dem Lenkungsausschuss und seinen Mitgliedern aus Hochschule, Verwaltung und Baupraxis, der den Verbund koordiniert und fachlich begleitet hat.



**Dr. Werner Schnappauf**

Bayerischer Staatsminister für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz



**Dr. Otmar Bernhard**

Staatssekretär im Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz

# Vorwort

---



Das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung – auch dauerhaft umweltgerechte Entwicklung – ist eine neue Konzeption der Umweltpolitik, die auf die Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro 1992 zurückgeht.

Leitidee ist eine Entwicklung, die soziale und wirtschaftliche Ansprüche der Menschen mit den ökologischen Funktionen der Umwelt in Einklang bringt. Die drei Säulen – Ökologie, Ökonomie und Soziales – sollen zum Maßstab politischen Handelns werden.

Im Hinblick auf die Umweltpolitik wird ein Handeln aller auf die Umwelt einwirkenden Gruppen wie Produzenten, Konsumenten aber auch öffentlichen Institutionen dahingehend angestrebt, dass Umweltprobleme langfristig nicht entstehen oder zumindest deutlich verringert werden. Dies erfordert einen vorsorgenden Umweltschutz.

Letztlich zielt nachhaltige Entwicklung darauf ab, die Bedürfnisse der heute lebenden Generation zu befriedigen und gleichzeitig die Lebensgrundlagen künftiger Generationen auch weiterhin zu erhalten. Das Leitbild der Nachhaltigkeit besagt also im Kern, dass wir überdenken sollen, inwieweit wir unseren Lebensraum überbeanspruchen. Dabei sind nicht nur kurzfristige Lösungen gefragt, sondern besonders auch im Baubereich langfristige Entwicklungen mit einzubeziehen.

Einige ökologische Maßnahmen sind heute bereits wirtschaftlich, andere rechnen sich voraussichtlich auch in Zukunft nicht, sofern nicht immaterielle und nichtmonetäre Aspekte angemessen berücksichtigt werden.

Der Bereich Bauen und Wohnen verursacht zwangsläufig Umweltauswirkungen. Allein die privaten Haushalte verbrauchen 30% der gesamtdeutschen Endenergie. Durch Infrastruktur und Gebäude wird in Deutschland jährlich eine Fläche neu in Anspruch genommen, die 65% des Bodensees umfassen würde. Auch die Abfallmengen aus dem Baubereich sind – vergleicht man sie mit dem Aufkommen an Hausmüll – um den Faktor 5 größer.

Eine Reduzierung dieser Umweltauswirkungen ist Aufgabe der heutigen Generation, um auch für unsere Nachkommen die Lebensgrundlage zu erhalten. Durch relativ einfache

Maßnahmen ist bereits ein großes Optimierungspotential gegeben. Nach vorliegenden Studien könnten über einen Zeitraum von 25 Jahren, die Flächeninanspruchnahme um 70%, die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 33%, der Nutzwärmebedarf um 27% sowie das Volumen an mineralischen Baustoffen um bis zu 24% reduziert werden.

Um diese ehrgeizigen Ziele zu erreichen, ist es aber notwendig, die Maßnahmen und ihre Auswirkungen transparent zu machen, damit die Bauausführenden sie gemeinsam in der Praxis umsetzen können.

Wesentliche Ansatzpunkte sind die Reduzierung bzw. Optimierung der mit dem Bau und Betrieb der Gebäude verbundenen Energie- und Stoffströme. Im Bereich der Energieeffizienz wurden in den letzten Jahren bereits große Fortschritte erzielt. Dieses Thema wurde schon in einer Vielzahl von Projekten und Veröffentlichungen behandelt. Wertvolle Hinweise für die Baupraxis geben hierzu die im Anhang genannten Publikationen.

Der vorliegende Leitfaden erweitert dieses Thema nun schwerpunktmäßig um die Stoffströme, die mit Bauwerken verknüpft sind. Er wurde im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsverbundes zum Stoffflussmanagement Bauwerke aus 10 Einzelprojekten erarbeitet. Insbesondere werden ökologische und wirtschaftliche Nachhaltigkeitsziele betrachtet, z.B. :

- Maximierung von Langlebigkeit und Flexibilität von Gebäuden
- Minimierung des Einsatzes stofflicher, energetischer und finanzieller Ressourcen
- Förderung und Optimierung des Stoffkreislaufs (Recyclingfähigkeit)
- Verwendung von umwelt- und gesundheitsverträglichen Materialien

Hinzu kommen soziale Gesichtspunkte wie z.B. Lebensqualität, Behaglichkeit und Wohnkomfort.

Der Leitfaden spricht im Besonderen Architekten, Planer und Bauherren an, die bei der Erstellung und der Sanierung von Bauwerken Nachhaltigkeitsaspekte berücksichtigen wollen. Anwendungsgebiet ist der Wohn- und Bürogebäudebau, wobei sich viele Aspekte auch auf den Hochbau allgemein übertragen lassen.

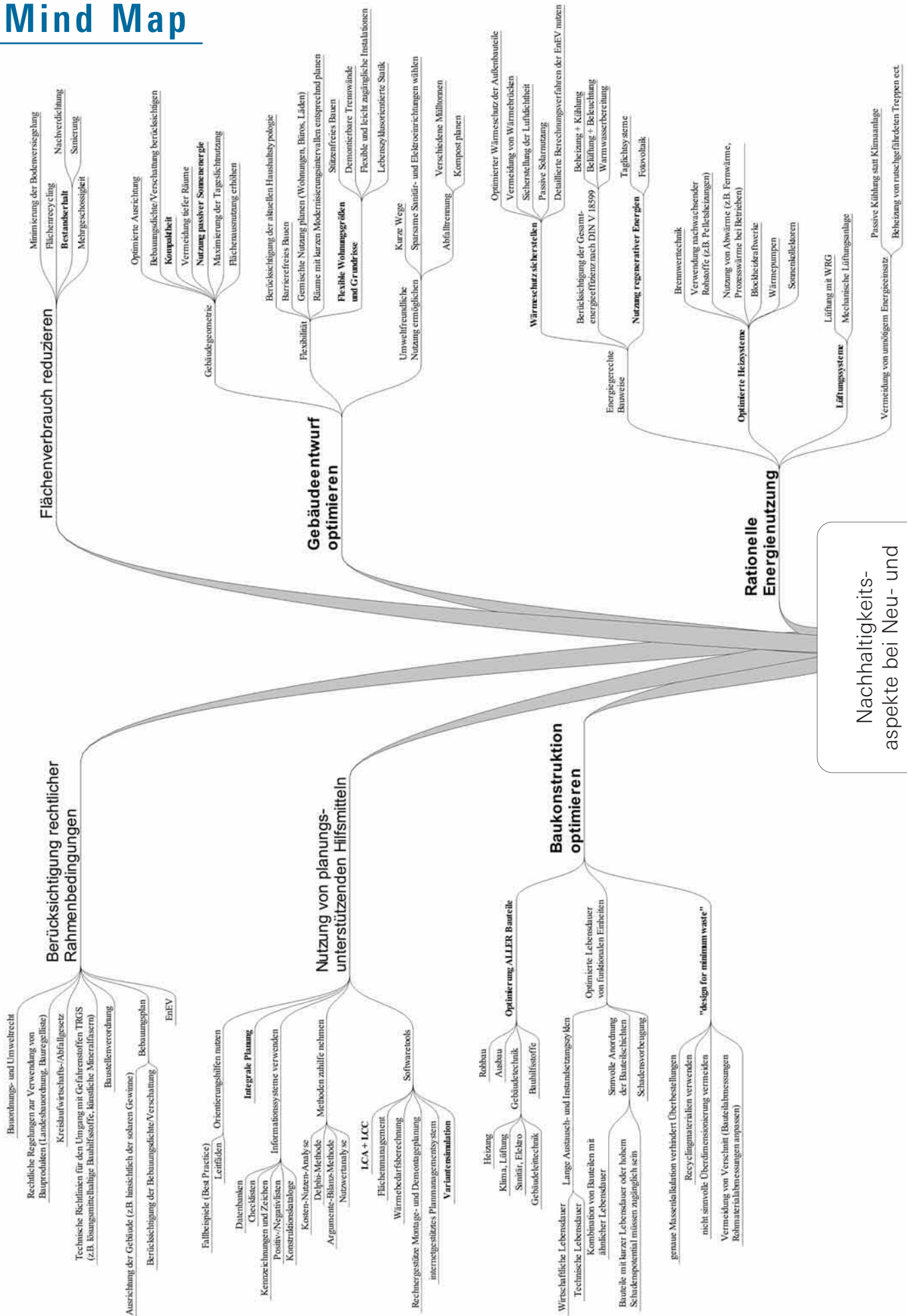
Um die Broschüre in einem handlichen Umfang herausgeben zu können, ist eine dreistufige Gliederung gewählt worden:

1. Eine Mindmap - eine Art Checkliste fasst die wichtigsten Nachhaltigkeitsaspekte thematisch zusammen und gibt einen kompakten Überblick
2. Hinweise und Methoden zum nachhaltigen Handeln sind im Textteil enthalten
3. Verweise auf Werkzeuge und Literaturquellen bei weitergehendem Informationsbedarf bieten der Anhang und konkrete Hinweise im Text

Die inhaltliche Gliederung lehnt sich an die Leistungsphasen der HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) an und enthält die Punkte Vor-, Entwurfs- und Ausführungsplanung sowie Bauen und Sanieren im Bestand. Konkrete Anwendungsbeispiele aus dem Forschungsverbund ergänzen die Thematik.

Den Anspruch der Vollständigkeit kann der Leitfaden nicht erfüllen, aber er bietet eine Reihe von Anknüpfungspunkten für Nachhaltigkeit in der Baupraxis.

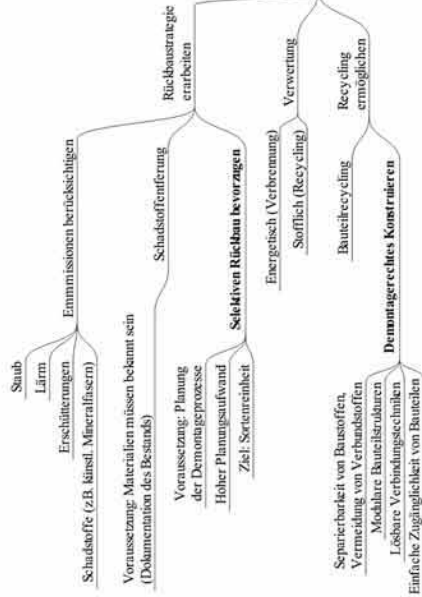
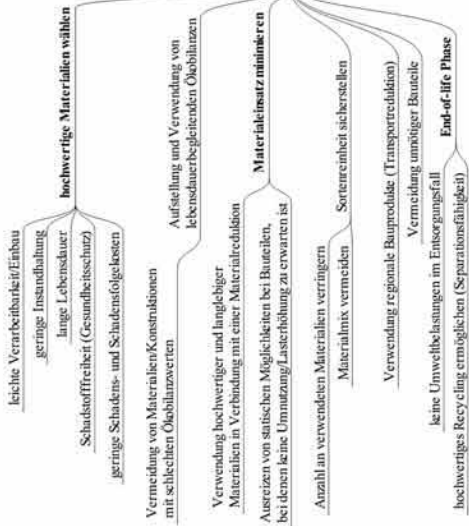
# Mind Map



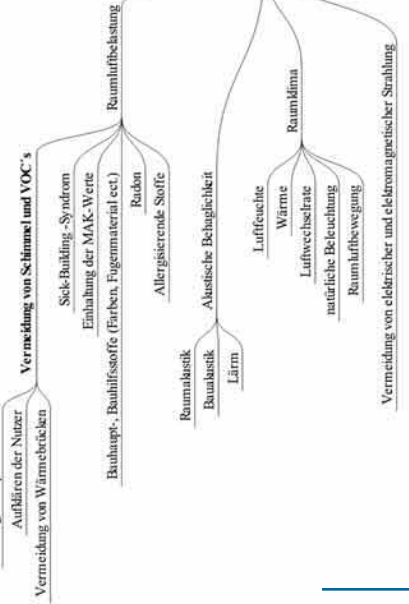
Nachhaltigkeitsaspekte bei Neu- und Bestandsbauten

# Nachhaltigkeitsaspekte bei Neu- und Bestandsbauten

## Verwendung nachhaltiger Materialien/Konstruktionen



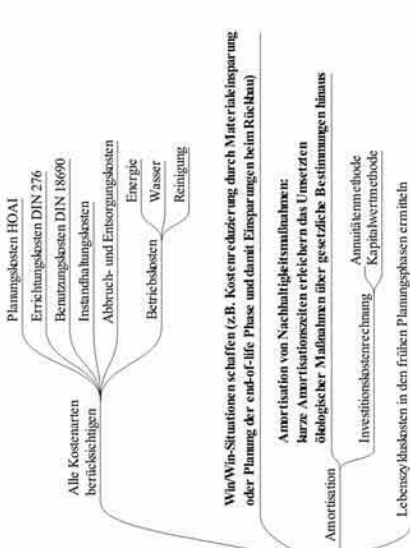
## Entwicklung eines Rückbau- und Recyclingkonzepts



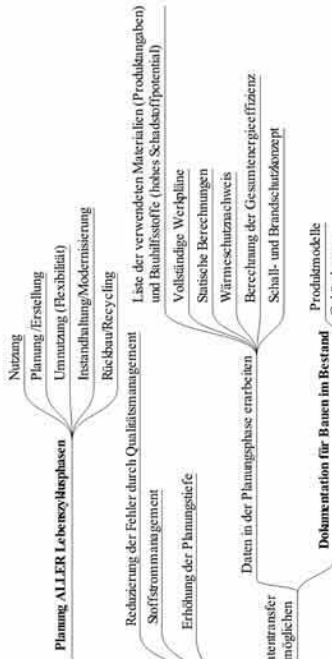
## Behaglichkeit und Gesundheitsschutz sicherstellen

Besonders wichtige Aspekte sind  **fett**  hervorgehoben

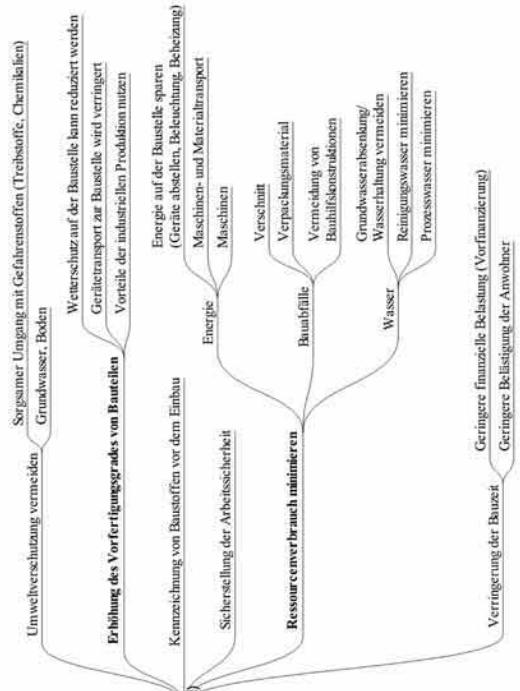
## Kostenoptimierung



## Optimierung des Lebenszyklus



## Optimierte Bautätigkeit (nicht im LF behandelt)



# Inhaltsübersicht

<b>1 Grundlagen</b>	9
<b>1.1 Umweltverträglichkeit von Bauwerken</b>	9
<b>1.2 Ökobilanzen und Nachhaltigkeit</b>	10
<b>1.3 Bauwerksinduzierte Umweltbelastungen</b>	11
<b>2 Vorplanung</b>	13
<b>2.1 Baubestandsabklärung</b>	13
<b>3 Entwurfsplanung</b>	14
<b>3.1 Methodik</b>	14
3.1.1 Integrale Planung	15
3.1.2 Planung mit Produktmodellen	16
3.1.3 Lebenszyklusbetrachtung	17
<b>3.2 Konstruktionsprinzipien</b>	19
3.2.1 Tragsystem	19
3.2.2 Bauweise	20
<b>3.3 Stoffflussmanagement - Grundlage für nachhaltiges Bauen</b>	21
3.3.1 Stoffflüsse am Bau	21
3.3.2 Recyclinggerechtes Konstruieren und Bauen	22
3.3.3 Abfallentsorgung am Bau	24
<b>3.4 Energiekonzept</b>	25
3.4.1 Energieeffizienter Entwurf	25
3.4.2 Energiestandards von Gebäuden	27
3.4.3 Heizungsanlage	29
3.4.4 Gebäudelüftung	32
3.4.5 Erneuerbare Energiequellen	34
3.4.6 Baulicher Wärmeschutz	41
3.4.7 Weitere Aspekte zum Energieverbrauch im Gebäudebereich	42
<b>4 Ausführungsplanung</b>	43
<b>4.1 Nachhaltigkeit von Baustoffen und Konstruktionen</b>	43
4.1.1 Recycling/Verwertung/Wiederverwendung	50
4.1.2 Regionale Bauprodukte/Transport	52
4.1.3 Problemstoffe	53
4.1.4 Trennbarkeit von Bauteilen und Materialien	53
4.1.5 Austauschbarkeit von Bauteilen und Konstruktionen	54
<b>4.2 Luftdichtheit/Wärmebrücken</b>	55
<b>4.3 Nachplanungsphase</b>	58
4.3.1 Qualitätssicherung	58
4.3.2 Dokumentation	60
4.3.3 Inspektionen	61
<b>5 Bauen und Sanieren im Bestand</b>	62
<b>5.1 Bestandsaufnahme</b>	62
5.1.1 Bauwerksmodellierung im Bestand	64
<b>5.2 Bauschäden und Schadensvorbeugung</b>	65
<b>5.3 Instandsetzung</b>	66
5.3.1 Nachhaltigkeitsaspekte	66
5.3.2 Kombination mit anderen Maßnahmen	68
<b>5.4 Energetische Gebäudesanierung</b>	69
5.4.1 Bauliche Maßnahmen	69
5.4.2 Technische Gebäudeausstattung	72
5.4.3 Analyse des Energieverbrauchs und der Wärmebilanz	74
5.4.4 Sanierungsplanung	77
<b>6 Zusammenfassung</b>	83
<b>7 Anhang</b>	84



# 1 Grundlagen

## 1.1 Umweltverträglichkeit von Bauwerken

Mit dem Bau und der Nutzung von Gebäuden sind eine Vielzahl von Auswirkungen auf die Umwelt verbunden. Eine Zusammenstellung kann Abb. 1-1 entnommen werden.

Schutzgut	Umweltauswirkungen (Beispiele)	Verbesserung durch z.B.
Klima/ Luft	Auswirkungen auf das Kleinklima (Temperaturanstieg, Beeinträchtigung von Frischluftschneisen, Gefahr von Kaltluftstau, geringere Luftfeuchtigkeit), Emissionen von Klimagasen und Schadstoffen	Minimierung der Versiegelung, Energiekonzepte, -effizienz
Wasser	Grundwasserabsenkung, -aufstau, Verhinderung der Neubildung, Einflüsse auf Speicherkapazität und Qualität, Veränderungen von Fließ- und stehenden Gewässern sowie Trockenlegung, Eintrag von Schadstoffen	Minimierung der Versiegelung, Auswahl der Baustoffe
Boden	Verbrauch einer nicht erneuerbaren Ressource durch Versiegelung und Überbauung (Flächeninanspruchnahme), Veränderung der Bodenstruktur, Eintrag von Schadstoffen	Reduzierung von Versiegelung und Flächeninanspruchnahme
Flora/ Fauna	Veränderung und Zerstörung von Ökosystemen, Verminderung von Artenreichtum und -vielfalt, Vertreibung von Arten durch Lärm, Licht und Erschütterungen, Zerschneidung ökologisch zusammenhängender Flächen	raumplanerische und gesetzliche Regelungen
Mensch	Lärm- und Gesundheitsbelastungen durch z.B. Schadstoffemissionen, visuelle Störungen, Gerüche, Einschränkung des Naturerlebnisses	Energiekonzepte, Auswahl der Baustoffe, Lärmschutz
Kultur und Sachgüter	Beseitigung oder Veränderung von Baudenkmälern, bedeutenden Bauwerken, Kulturdenkmälern, Veränderung regionaltypischer Siedlungsformen	Denkmalschutz, ressourcenschonendes Bauen
Ressourcen	Verbrauch nicht nachwachsender Rohstoffe z.B. fossile Energieträger, mineralische Baustoffe, Metalle (Kupfer)	Recycling, Energieeffizienz
Landschaft	Visuelle Veränderung landschaftsprägender Elemente, Veränderung regionaltypischer Kulturlandschaften	raumplanerische Regelungen, architektonische Gestaltung

Abb. 1-1 Umweltauswirkungen von Bauwerken

Viele Auswirkungen auf die Umwelt sind bei einzelnen Bauwerken gering, summieren sich aber bei Agglomerationen zu wahrnehmbaren Größen auf. Ein gutes Beispiel ist die Beeinträchtigung des Mikroklimas durch dicht bebaute Flächen. Eine Temperaturdifferenz zwischen dem Stadtkern und

der ländlichen Umgebung von 5 °C ist keine Seltenheit und am Thermometer im Auto für jedermann abzulesen. In den folgenden Kapiteln werden insbesondere die mittelbaren und unmittelbaren Nachhaltigkeitsaspekte bei Planung, Errichtung und Nutzung einzelner Gebäude behandelt. Dabei ist

der Gesichtspunkt der Lebenswegbetrachtung, d.h. der Berücksichtigung der Produktlebensphasen von der Herstellung über die Nutzung bis hin zur Entsorgung (end-of-life) von besonderer Bedeutung.

## 1.2 Ökobilanzen und Nachhaltigkeit

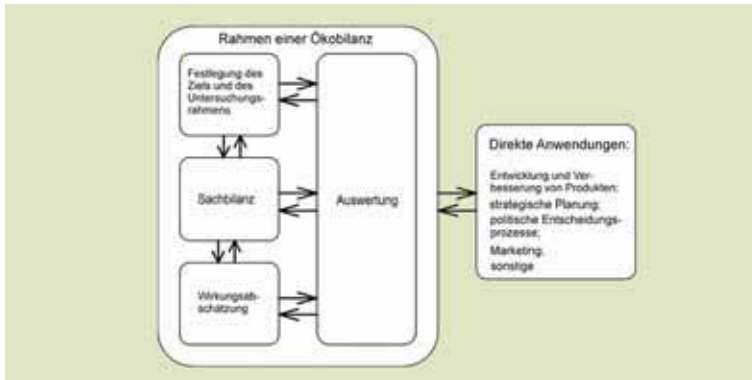


Abb. 1-2 Bestandteile einer Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040

Mit Hilfe von Ökobilanzen können die potentiellen Umweltauswirkungen von Produkten oder Prozessen abgeschätzt werden. Das Vorgehen bei einer Ökobilanz ist in der internationalen Normreihe DIN EN ISO 14040 bis DIN EN ISO 14043 festgelegt. Die für die Durchführung einer Ökobilanz notwendigen Daten basieren i.d.R. auf Informationen von Unternehmen und Verbänden bzw. auf Untersuchungen von Umweltinstituten. Die in diesem Leitfaden vorgestellten Ökobilanzen wurden ausschließlich auf Basis der

Schweizer Prozessdatenbank „ecoinvent“ durchgeführt. Von elementarer Bedeutung ist der erste Schritt „Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens“. Hierbei werden v.a. die sog. funktionelle Einheit<sup>1</sup> und die Systemgrenzen festgelegt. Dadurch werden die Funktion bzw. die Eigenschaften des untersuchten Systems definiert und bestimmt, welche (Teil-) Prozesse mit in die Ökobilanz einbezogen werden. Im Rahmen der „Sachbilanz“ werden alle innerhalb der gewählten Systemgrenzen liegenden

Prozesse aufgelistet und die notwendigen Stoffe sowohl materieller als auch energetischer Art bilanziert. Über sog. Äquivalenzfaktoren werden anschließend in der „Wirkungsabschätzung“ die Umweltauswirkungen dieser Stoffe quantifiziert und zusammengefasst. Für diese Zusammenfassung stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Im Rahmen dieses Leitfadens werden mit Hilfe der CML-Methode folgende Wirkkategorien in den Ergebnistabellen angegeben:

Wirkkategorien	Beschreibung	Stichwort
Versauerungspotential (AP)	Emissionen in Luft, die eine Regenwasserversauerung verursachen	Waldsterben
Treibhauspotential (GWP)	Emissionen in Luft, die Auswirkungen auf den Wärmehaushalt der Erde haben	Erderwärmung
Überdüngungspotential (NP)	Überdüngung von Gewässern und Böden	Algenwachstum
Ozonabbaupotential (ODP)	Emissionen in Luft, die einen Abbau der stratosphärischen Ozonschicht zur Folge haben	Ozonloch
Ozonbildungspotential (POCP)	Emissionen in Luft, die als bodennaher Ozonbildner fungieren	Sommersmog

Abb. 1-3 Wirkparameter der Ökobilanz

1) Funktionelle Einheit: Bezugsgröße für Ökobilanzen, auf die alle In- und Outputströme normiert werden (z.B. 1m<sup>2</sup> Außenwand mit einem U-Wert von 0,5 W/m<sup>2</sup>K und einer Lebensdauer von 80 Jahren). Vergleichende Betrachtungen können nur innerhalb der gleichen funktionalen Einheit vorgenommen werden.

Es gibt die Möglichkeit die Wirkkategorien zusammen zu fassen, um einen Gesamtwert für die Umweltauswirkungen angeben zu können. Dabei werden die einzelnen Belastungen mit Äquivalenz- und Gewichtungsfaktoren versehen, die stark subjektiv geprägt sind. So beurteilen Personen aus der Großstadt, die unter Sommersmog leiden, die Wertigkeit des POCP anders als Bewohner in bewaldeten Regionen mit „Saurem Regen“. Aus diesem Grund wird hier von einer Zusammenfassung abgesehen.

Des Weiteren wird der kumulierte Energieaufwand KEA (getrennt nach erneuerbaren KEAe und nicht erneuerbaren Energieträgern KEAne) berechnet, der angibt, wie viel Energie im Baustoff gespeichert ist bzw. für seine Herstellung aufgewendet wurde.

Empfehlungen für oder gegen ein Produkt sollen in Ökobilanzen nicht enthalten sein. Es gilt aber: Je größer der angegebene Wert, desto größer sind die Auswirkungen auf die Umwelt.

➔ Nachhaltige Kreislaufführung mineralischer Baustoffe, Technische Universität München, 2006  
[www.sfm-bauwerke.de](http://www.sfm-bauwerke.de)

## 1.3 Bauwerksinduzierte Umweltbelastungen

Neben der Herstellung, dem Betrieb und dem Rückbau von Gebäuden verursachen Bauaktivitäten weitere Umweltbelastungen, die etwa aus der Standortwahl resultieren. Exemplarisch werden hier zwei Aspekte vorgestellt.

### MOBILITÄT



Abb. 1-4 Jährliche Energieverbräuche im Vergleich

Eine Gegenüberstellung der Energieverbräuche für Raumwärme und Fahrleistung zeigt, dass die Mobilität in ganz erheblichem Maße zum Gesamtenergieverbrauch beiträgt (Abb. 1-4). Beispielsweise sind bei einem Niedrigenergiehaus mit einer Wohnfläche von 110m<sup>2</sup> und einer einfachen Strecke von 20 km zur Arbeit die jährlichen energiebedingten Verbräuche in etwa gleich groß (Berechnungsgrundlagen:

$$s_{\text{einfach}} = 20\text{km},$$

$$d/a = 210, V=8l/100\text{km},$$

$$Q_H = 60 \text{ kWh/m}^2\text{a}, A=110\text{m}^2).$$

Ziel nachhaltigen Handels muss eine deutliche Reduzierung der Mobilitätsaufwendungen sein. Eine Möglichkeit ist die stadtplanerische Vermeidung von Verkehr (Vernetzung von Wohnen und Arbeit) oder die verstärkte Nutzung des öffentlichen Personennahverkehrs.

## FLÄCHENVERBRAUCH UND -VERSIEGELUNG



Abb. 1-5 Schließung von Baulücken

Die Flächeninanspruchnahme für Siedlungen und Infrastruktur ist ein häufig unterschätztes und zunehmend mehr beachtetes Thema. Fakt ist, dass bundesweit täglich eine Fläche von 93 Hektar in Anspruch genommen wird, im Jahr ist das fast 2/3 der Fläche des Bodensees. Das Nachhaltigkeitsziel der Bundesregierung ist eine Reduzierung des Neuflächenverbrauchs bis 2020 auf täglich 30 ha. Verschiedene Maßnahmen kommen in Betracht:

- Flächenrecycling
- Schließung von Baulücken
- Nachverdichtung
- Neubau auf Brachflächen
- Bestandssanierung statt Neubau
- Mehrgeschossigkeit (kleiner 5 Etagen)
- Reduzierung des Leerstandes
- Revitalisierung der Kernstädte

In Bayern konnte der Flächenverbrauch von 28,4 ha/Tag (2000) auf 15,2 ha/Tag (2004) gesenkt werden. Das entspricht aber immer noch einer Fläche von 20 Fußballfeldern.

➡ Arbeitshilfe „Kommunales Flächenressourcenmanagement“,  
Bay. Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz [www.stmugv.de](http://www.stmugv.de)

➡ Bündnis zum Flächensparen – Aktionsprogramm 2005,  
Bay. Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz [www.stmugv.de](http://www.stmugv.de)



Abb. 1-6 Versiegelung eines Parkplatzes

Eng verbunden mit dem Flächenverbrauch ist die Versiegelung des Bodens, welche neben einer z.B. verstärkten Belastung der Kanalisation auch Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung hat. Folgende Gegenmaßnahmen bieten sich an:

- Ausweitung von Grünflächen (Erhöhung von Luft- und Bodenfeuchte)
- Verwendung von versickerungsfähigen Materialien (z.B. Rasengittersteine)
- Regenwasserversickerung
- Dachbegrünung
- Entsiegelung im Bestand
- Regenwassernutzung
- Reduzierung des Flächenverbrauchs

# 2 Vorplanung

## 2.1 Baubestandsabklärung



Abb. 2-1 Flussdiagramm Baubestandsabklärung

Grund für den Bau neuer Gebäude sind z.B. zu kleine, unflexible, unwirtschaftliche und nicht mehr dem Stand der Technik angepasste Bestandsgebäude. Neubauten werden oftmals einer weiteren Bestandsnutzung vorgezogen. Die Weiternutzung des Bestands bietet aber nicht nur aus Sicht der Nachhaltigkeit Vorteile (siehe Abb.

2-2). Allerdings sind dafür umfangreiche Baumaßnahmen in Form von Nachverdichtung oder Sanierung notwendig (siehe Abb. 2-1) Unter dem Begriff Nachverdichtung wird hauptsächlich Anbau und Aufstockung zusammengefasst. Sie verändern auch das äußere Erscheinungsbild des Bauwerks. Bei der Sanierung bleibt

das architektonische Bild weitgehend erhalten. Maßnahmen sind hier Effektivitätssteigerung durch Grundrissoptimierung, Wohnwertverbesserung durch Modernisierung sowie der Umbau von Gebäuden mit ehemals z.B. industrieller oder militärischer Nutzung.

Bestandserhalt	Neubau
<p><b>Vorteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- kein zusätzlicher Flächenverbrauch</li> <li>- Ressourcenschonung (Baustoffe, Energie)</li> <li>- Werterhalt von Immobilie und städtischen Strukturen</li> <li>- Weiternutzung von technischer und sozialer Infrastruktur</li> </ul>	<p><b>Vorteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- lange Nutzdauer</li> <li>- hohe Bauqualität</li> <li>- Ressourcenschonung in der Nutzungsphase</li> <li>- hoher Stand der Technik</li> </ul>
<p><b>Nachteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- schlechte Bausubstanz</li> <li>- erhöhte Betriebskosten</li> <li>- umfangreicher und damit teurer Planungsprozess</li> <li>- beeinträchtigte Nutzbarkeit während der Sanierung</li> </ul>	<p><b>Nachteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Flächenverbrauch für Bauwerk und Infrastruktur</li> <li>- Ressourcenverbrauch beim Bau</li> <li>- Investitionskosten für Neubau und Rückbau</li> <li>- Abfallmengen bei der Demontage</li> </ul>

Abb. 2-2 Nachhaltigkeitsmatrix von Neubau und Bestandsnutzung

Bei der Bewertung der Varianten sind in ganz erheblichem Maße die Qualität der vorhandenen Bausubstanz, der stoffliche, energetische und finanzielle Aufwand der Modernisierung sowie die noch zu erwartende Restlebensdauer des Bauwerks zu berücksichtigen.

Untersuchungen haben gezeigt, dass die Umweltbelastungen durch Neubauaktivitäten etwa um das 4-fache höher liegen als vergleichbare Erneuerungsaktivitäten im Bestand, welche die energetische Qualität von Bestandsbauten auf Neubaustandard

heben. Hauptgrund ist die im Bauwerk gespeicherte „Graue Energie“. Aus Sicht der Nachhaltigkeit ist demnach die Nutzung des Bestandes zu favorisieren.

# 3 Entwurfsplanung

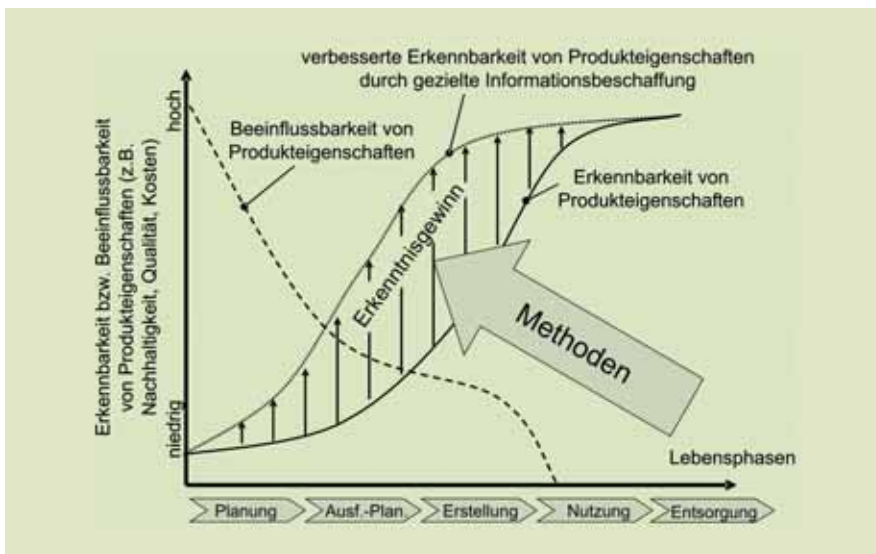


Abb. 3-1 Beeinflussbarkeit von Produkteigenschaften

In der Entwurfsplanung werden für das Gebäude die wichtigsten Weichenstellungen in Bezug auf Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit vorgenommen. Dies schließt vor allen Dingen die Baukonstruktion, das Energiekonzept sowie den Einsatz regenerativer Energieträger ein.

## 3.1 Methodik

Die frühen Planungsphasen sind für den Erfolg des Bauwerks – sowohl in ökonomischer als auch in ökologischer Hinsicht – die wichtigsten (Abb. 3-1). Hier werden sowohl die maßgeblichen Entscheidungen hinsichtlich des Gebäudes selbst getroffen (Standort, Umbau/Modernisierung oder Neubau, Gebäudegröße, Geometrie usw.) als auch die Anforderungen für das spätere Gebäude festgelegt, insbesondere die zu erreichenden Nachhaltigkeitsziele. Aufgabe sollte sein, bereits in den frühen Planungsphasen den Wissensstand über die Projektziele und die Gebäudeeigenschaften im Vergleich zu einer konventionellen Planung (z.B. nach der HOAI) deutlich zu erhöhen. Änderungen an der Pla-

nung sind in den späteren Phasen stets mit hohem Aufwand verbunden. Insbesondere nach Erteilung der Baugenehmigung sind Änderungen auch mit großen zeitlichen Verzögerungen verbunden. Werden erst danach Fehler in der Planung deutlich, wird in der Regel nur der bestehende Entwurf nachgebessert, grundlegende Änderungen können kaum mehr verwirklicht werden. Dies führt zu suboptimalen Ergebnissen.

Insbesondere in den frühen Phasen sollte daher strukturiert vorgegangen werden. Die zu erreichenden Ziele sollten klar definiert werden. Dieser Vorgang kann sehr gut durch eine methodische Anforderungsklä-

und -dokumentation (z.B. mittels Anforderungslisten) unterstützt werden. Einen Überblick, welche Methoden für welche Planungsphase sinnvoll und hilfreich sind, liefert die Planungsprozessstabelle aus einem Vorhaben des Forschungsverbundes (s.u.).

Wichtig bei der anschließenden Konzeptentwicklung und Entwurfsplanung ist das Erarbeiten von mehreren Lösungsalternativen. Durch Vergleich der jeweiligen Eigenschaften mittels entsprechender Bewertungsmethoden (z.B. paarweiser Vergleich) werden die Vor- und Nachteile der Alternativen deutlich, die Auswahl eines optimalen Konzeptes wird so unterstützt.

➔ Transfer von Methoden zur nachhaltigen Entwicklung aus dem Maschinenwesen in das Bauwesen, Technische Universität München, 2005 [www.sfm-bauwerke.de](http://www.sfm-bauwerke.de)

### 3.1.1 Integrale Planung

Bauen wird immer komplexer. Die technischen Anforderungen steigen (z.B. durch entsprechende Normung und rechtliche Regelungen), der ökonomische Erfolg wird immer wichtiger. Zusätzlich treten ökologische Ziele in den Vordergrund. Diese Komplexität lässt sich heute nur noch innerhalb eines Planungsteams bearbeiten. Aus diesem Grund sollte bereits von den frühen Planungsphasen an die Projektgruppe entsprechend aufgestellt sein. Die Fachplaner sollten daher bereits

in den ersten Planungsphasen hinzugezogen werden, um bereits bei den grundsätzlichen Systementscheidungen beratend eingreifen zu können (siehe Abb. 3-2). Auch eine frühzeitige Beteiligung der späteren Nutzer, bei technisch aufwendigen Gebäuden insbesondere der Facility Manager, kann die Bewirtschaftung der Immobilie wesentlich vereinfachen. Neben einer guten „Handhabbarkeit“ (Wartung, Reinigung, Instandhaltung usw.) der Immobilie kann so sichergestellt

werden, dass die in der Nutzungsphase benötigten Unterlagen und Daten schon bei der Gebäudeplanung erarbeitet werden. Letztlich ist auch eine Planungsbeteiligung der ausführenden Unternehmen sinnvoll, um spätere Ausführungsprobleme zu vermeiden oder kostensparende Realisierungsvarianten zu erhalten. Die Teamarbeit der einzelnen Planungsbeteiligten lässt sich dabei durch die Anwendung moderner Entwicklungsmethoden optimieren.

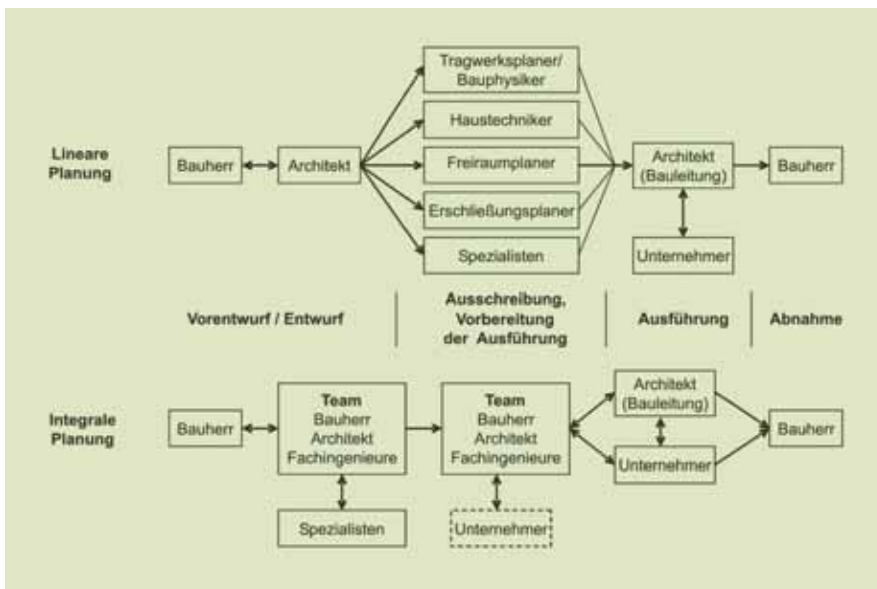


Abb. 3-2 Lineare und Integrale Planung im Vergleich

Unterstützt werden kann die Zusammenarbeit der verschiedenen Planungsbeteiligten auch durch ein effektives Projekt- bzw. Prozessmanagement. Vor Beginn der eigentlichen Bauplanung werden in einem ersten Schritt die erforderlichen Planungsbeteiligten (Bauherr, Architekt, Fachplaner,

Handwerker, Facility Manager, Finanzberater, Jurist usw.) identifiziert. Anschließend wird die Reihenfolge der einzelnen Inputs festgelegt sowie für ein auf jeder Seite kompatibles Dokumenten- und Planmanagementsystem (z.B. internetbasiert) gesorgt. Wesentlich ist hierbei die Integration

der einzelnen Planerleistungen in das Gesamtsystem Gebäude. Erfolg versprechend erscheint hier mittelfristig der Ansatz der Produktmodellbasierten Planung, bei der Bauteilkollisionen und andere Schnittstellenprobleme gut und frühzeitig erkannt werden können.

➡ Transfer von Methoden zur nachhaltigen Entwicklung aus dem Maschinenwesen in das Bauwesen, Technische Universität München, 2005 [www.sfm-bauwerke.de](http://www.sfm-bauwerke.de)

### 3.1.2 Planung mit Produktmodellen

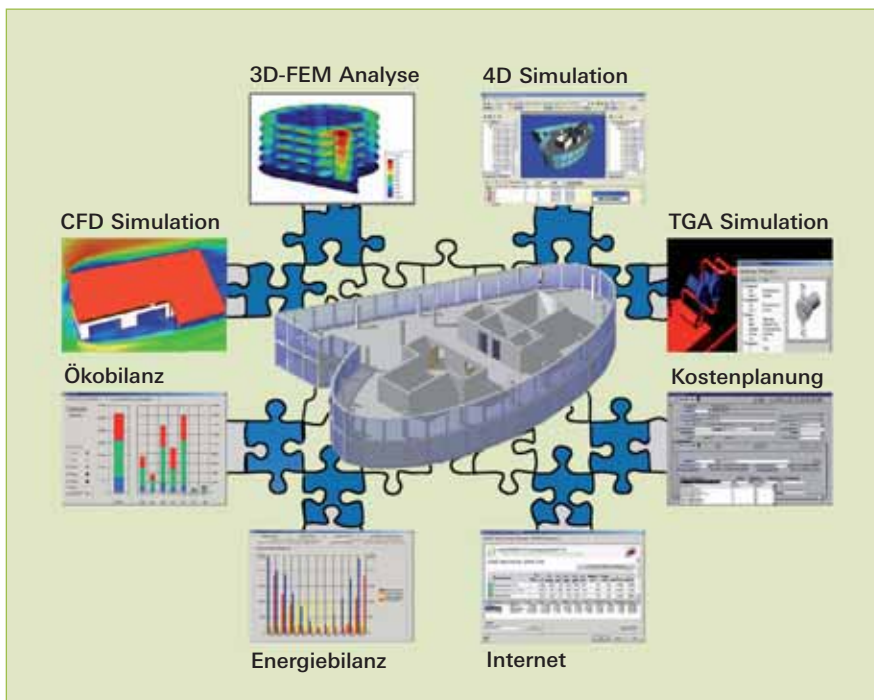


Abb. 3-3 Produktmodell basierte Planung

In vielen Gebieten des Bauwesens wird heutzutage von den einzelnen Planern fachspezifische Software eingesetzt, die einen Übertrag der geometrischen und physikalischen Daten aus den ihnen zur Verfügung gestellten Zeichnungen in ein EDV-System ermöglicht. Die von den verschiedenen am Bau beteiligten Personen eingesetzten Programmsysteme sind jedoch zumeist nicht miteinander kompatibel, so dass es zu einer redundanten Datenhaltung kommt, die – im Falle von Planungsänderungen – möglicherweise zu Inkonsistenzen innerhalb des Bauprozesses führt. Im Bereich der Bauinformatik gibt es zur Lösung dieser Problematik den Ansatz der Produktmodellierung (Gebäudemodellierung). Ein Produktmodell geht

dabei über die reine CAD Zeichnung hinaus und beinhaltet neben der Gebäudegeometrie zusätzlich inhaltliche Informationen zum Bauwerk, die in digitaler Form in einer entsprechenden Datei vorhanden sind. Mögliche Inhalte sind z.B. Kosten, Energiekennwerte oder problematische Stoffe bei einem Rückbau. Einen weiteren Schritt im Rahmen der integrierten Planung stellt der mögliche Einsatz eines Produktmodell-Servers dar. Auf diesem ist ein zentral verwaltetes Gebäudemodell hinterlegt, auf das die unterschiedlichen Planer, entsprechende Lese- und Schreibrechte vorausgesetzt, zugreifen können, sodass divergierende Planungszustände vermieden werden. Ein erster Schritt zu einem internationalen Ansatz zur Standardisierung

eines Austauschformats für Produktmodelldaten, das von allen Softwarefirmen unterstützt werden soll, wurde von der International Alliance for Interoperability (IAI) mit dem Austauschformat IFC gemacht.

Die Vorteile einer Produktmodellbasierten Planung ergeben sich u.a. durch Kostenersparnis bei der Planung, die Vermeidung von Fehlern in der Bauphase, der Beschleunigung des Planungsablaufs bei einer kompatiblen Datenhaltung sowie als Instrument zur Unterstützung des Facility Managements. Neben ökonomischen Vorteilen ergeben sich hieraus ökologische Perspektiven. Ein Beispiel wird in Kap. 3.1.3 gegeben.

➡ Simulation des Ressourcenbedarfs von Bauwerken – Integration eines Produktmodells der technischen Gebäudeausstattung, Technische Universität München, 2005 [www.sfm-bauwerke.de](http://www.sfm-bauwerke.de)

➡ Internetbasierte Simulation des Ressourcenbedarf von Bauwerken, Technische Universität München, 2004 [www.inf.bv.tum.de](http://www.inf.bv.tum.de)



### 3.1.3 Lebenszyklusbetrachtung



Abb. 3-4 Gebäudemodell des Referenzgebäudes

Um eine fundierte Aussage über die quantitativen und qualitativen ökologischen Belastungen von Gebäuden zu bekommen, muss eine Lebenszyklusbetrachtung erstellt werden. Dort finden von der Erstellung bis hin zum Rückbau und Recycling alle Lebensphasen des Bauwerks Berücksichtigung. Dabei führt die lange Lebensdauer eines konventionell erbauten Hauses dazu, dass die Umweltbelastungen aus der Nutzung im Vergleich zur Herstellung überwiegen. Ziel im Sinne der Nachhaltigkeit muss die Minimierung der gesamten Belastungen über die Lebensdauer des Gebäudes sein.

An dieser Stelle wird beispielhaft die Produktmodellbasierte Lebenszyklusbetrachtung anhand eines Referenzgebäudes erläutert. Der Heizwärmebedarf für ein Wohnhaus mit unbeheiztem Keller und zwei Wohngeschossen beträgt  $69,3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  (Abb. 3-4). Die Versorgungstechnik besteht aus einem mit Gas beheizten Brennwertkessel mit solarer Trinkwarmwasser-Unterstützung.

Grundlage für die Simulation ist die genaue Modellierung der Gebäudeaußenhülle sowie der Anlagentechnik. Nachdem allen Bauteilen über Internet-Datenbanken Materialien und damit ökologische Werte zugewiesen wurden, kann eine automatisierte Ökobilanzierung über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks durchgeführt werden.



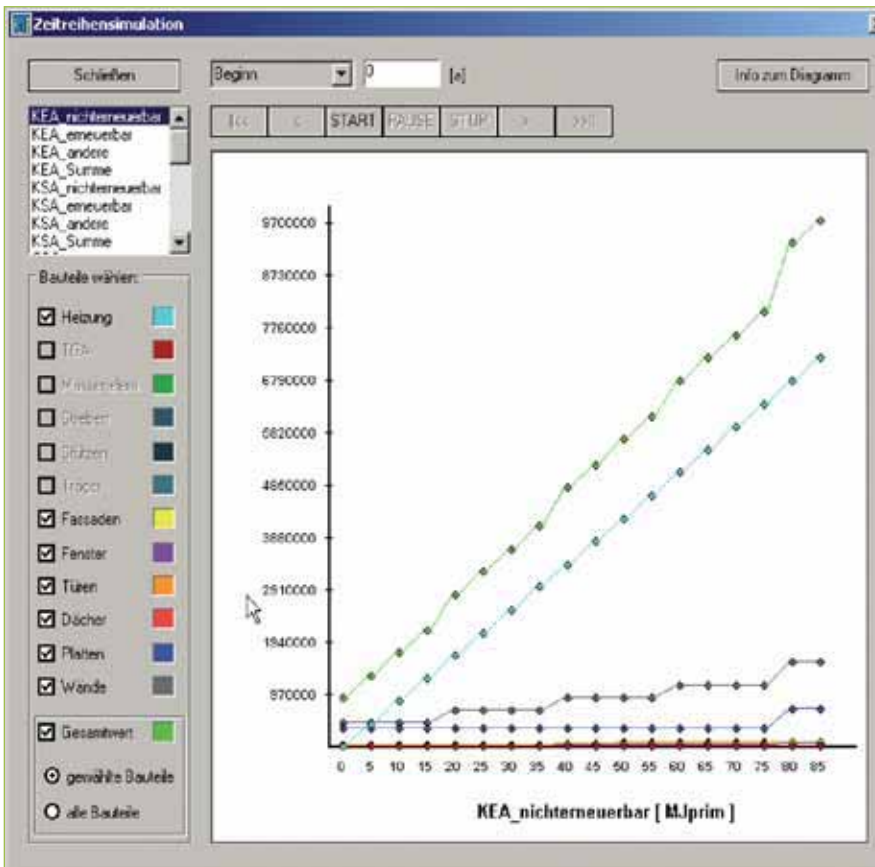


Abb. 3-5 Kumulierter Energieaufwand über 50 Jahre

Unter Annahme entsprechender Lebenserwartungen der einzelnen Bauteile ist in Abb. 3-5 der zeitliche Verlauf des zu erwartenden kumulierten Energieaufwandes (KEA) über einen Zeitraum von 50 Jahren zu sehen. Deutlich zu erkennen ist der dominierende Einfluss der benötigten Wärmeenergie während der Nutzungsphase des Gebäudes (türkis) im Vergleich zum KEA, der aus Bauvorleistungen sowie Sanierungsmaßnahmen entsteht.

Bereits nach ca. 5 Jahren entspricht bei diesem Beispiel der Anteil der Heizung am kumulierten Energieaufwand dem Aufwand, der zur Erstellung des gesamten Gebäudes notwendig ist. Über einen Zeitraum von 50 Jahren beträgt der durch den Wärmebedarf der Nutzer verursachte KEA ca. das Dreifache des Erstellungsaufwands (gelbe, violette, orange, rote, blaue und graue Linien addiert) und macht 75% des gesamten Energieaufwands aus.

Das Programm entstand im Rahmen des Forschungsverbundes und ist derzeit noch nicht auf einen kommerziellen Vertrieb ausgelegt. Es bietet dem ökologisch interessierten Planer jedoch die Möglichkeit, ein Bauwerk auf Basis eines Produktmodells nach ökologischen Kriterien zu analysieren. Weitere Informationen zu dem vom Lehrstuhl für Bauinformatik der TU München entwickelten Modell erhalten Sie in:

➔ Simulation des Ressourcenbedarfs von Bauwerken – Integration eines Produktmodells der technischen Gebäudeausstattung, Technische Universität München, 2005 [www.sfm-bauwerke.de](http://www.sfm-bauwerke.de)

## 3.2 Konstruktionsprinzipien

### 3.2.1 Tragsystem

Beim Entwurf des Tragsystems lassen sich ebenfalls Nachhaltigkeitsaspekte berücksichtigen. Ein Tragwerk, das flexibel auf Umnutzung oder Umbaumaßnahmen reagieren kann, führt dazu, dass das Gebäude länger genutzt werden kann. Wenn ein Tragsystem von Beginn an darauf ausgelegt ist, durch geringen Aufwand angepasst werden zu können, kann dadurch ein Umbau rentabler sein als ein Abriss mit anschließendem Neubau. So führt eine flexible Verwendbarkeit des Bauwerks zu einer nachhaltigeren Planung. Eine solche eingeplante Flexibilität in der Nutzung bzw. „Robustheit“ gegen veränderliche Einwirkungen ist im Allgemeinen nicht ohne zusätzliche Kosten zu erreichen. Diese Mehrkosten während des Entwurfs und der Erstellung des Gebäudes können allerdings trotzdem wirtschaftlich sein, wenn so die Unterhalts- bzw. Renovierungskosten geringer ausfallen oder die Lebensdauer des Gebäudes signifikant verlängert werden kann. Hierzu muss der Entwurf des Tragwerks darauf ausgelegt werden, eine ganze Bandbreite an

Belastungen abtragen zu können und z.B. unterschiedliche statische Systeme in einer Konstruktion zu vereinen. Eine entsprechende Erweiterung kommerzieller Statiksoftware zur Analyse von Tragsystemen mit variablen oder unsicheren Modellparametern wäre wünschenswert. Die Grundlagen für solche Berechnungen wurden im Forschungsverbund gelegt.

Als Beispiel für ein derart flexibles Bauwerk wird im Folgenden eine Fertigungshalle aus der Automobilindustrie vorgestellt. Hier wurde das Dachtragwerk (Abb. 3-7) für eine vorgegebene Positionierung der Stützen ausgelegt. Die Position der Stützen auf dem Grundriss wird hier durch die notwendigen Fertigungsstraßen vorgegeben. Da sich im Laufe der Lebensdauer einer Industriehalle allerdings die Baureihen eines Automobils mehrfach ändern, muss die Halle darauf flexibel reagieren können. Bei Investitionssummen für die Fertigungsstraßen von etwa dem 10-fachen der Baukosten der Halle würde im Zweifel später wieder eine neue Halle gebaut.

In diesem Beispiel wurde die Dachkonstruktion so ausgelegt, dass die Stützen beliebig auf einem Raster von 4x4m (Knotenpunkte des räumlichen Fachwerks im Dach) versetzt werden konnten (Abb. 3-6). Als einzige Restriktion war ein maximaler Freiraum von 24m zwischen zwei Stützen einzuhalten. So sind für spätere Umstrukturierungen der Fertigung keine Stützen im Weg. Für diese Flexibilität mussten die Fachwerkstäbe des Dachtragwerks von HEA 140 auf HEA 160 vergrößert werden.

Die Robustheitsanalyse ist auch in der Sanierungsplanung einsetzbar, wenn z.B. aufgrund lückenhafter Bestandsaufnahme die Auswirkungen unsicherer Parameter (Bauteilverbindungen) auf das gesamte Tragwerk untersucht werden sollen. Nähere Informationen zum „Robust Design“, das die Berechnung flexibler Konstruktionen ermöglicht, finden sich im folgendem Vorhaben aus dem Forschungsverbund:

➔ Numerische Methoden für eine lebenszyklusorientierte Statik, Technische Universität München, 2005 [www.sfm-bauwerke.de](http://www.sfm-bauwerke.de)

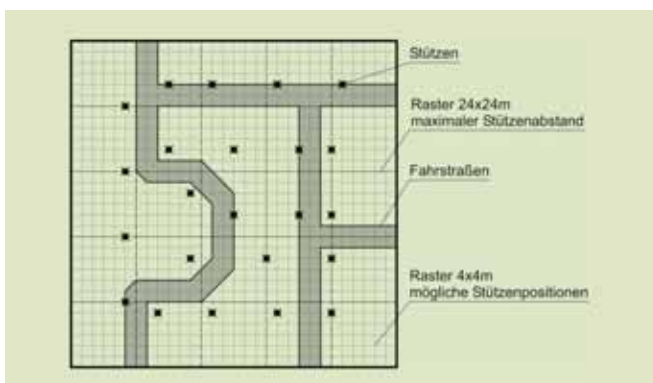


Abb. 3-6 Grundriss der Fertigungshalle mit einer möglichen Stützenkonfiguration



Abb. 3-7 Dachkonstruktion der Fertigungshalle während der Montage (Raster der Knotenpunkte 4 x 4m)

### 3.2.2 Bauweise

90 % des Gebäudebestandes in Deutschland sind in Massivbauweise ausgeführt. Kennzeichen dieser „schweren“ Konstruktionen sind vollflächig tragende Wände. Von „leichtem Bauen“ spricht man hingegen, wenn die Lasten vorwiegend durch stabförmige Bauteile – meist aus Holz oder Metall – abgetragen werden.

Aus Sicht der Nachhaltigkeit lässt sich grundsätzlich keine Bauweise der Anderen vorziehen. Viele Nachteile, insbesondere bei den leichten Konstruktionen, können durch additive Maßnahmen ausgeglichen werden. Grundvoraussetzung ist eine gute Detailplanung und eine sorgfältige Ausführung. Speichermassen lassen

sich in Decken und Böden durch Latentwärmespeicher herstellen, konstruktive Maßnahmen verhindern ein Durchfeuchten der Holzbauteile. Ideal ist eine Mischbauweise, welche die Vorteile der beiden Bauweisen kombiniert.

Massivbau	Leichtbau
<p><b>Vorteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- geringes Schadenspotential</li> <li>- lange Haltbarkeit</li> <li>- wenig Emissionen aus Baustoffen</li> <li>- bei Vermeidung von Verbundmaterialien ist der Rückbau und das Recycling problemlos möglich</li> <li>- Speicherwirkung schwerer Bauteile</li> <li>- einfache Konstruktion</li> </ul>	<p><b>Vorteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- gute Separier- und Rückbaufähigkeit</li> <li>- schnelle und kostengünstige Montage</li> <li>- leicht bessere Werte bei Ökobilanzen ab Werk durch höheren Anteil an nachwachsenden Baustoffen</li> <li>- geringe Wandstärken bei gleicher Dämmwirkung (mehr Raumgewinn)</li> <li>- gute Flexibilität</li> </ul>
<p><b>Nachteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- hoher Transportaufwand (Gewicht)</li> <li>- lange Bauzeit</li> <li>- geringerer Vorfertigungsanteil</li> <li>- größere Baufeuchte</li> <li>- Graue Energie um ca. 20 % höher</li> <li>- Gefahr von Wärmebrücken</li> <li>- schwieriger Um- und Anbau</li> </ul>	<p><b>Nachteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maßnahmen gegen Feuchteschäden an Holzbauteilen notwendig</li> <li>- großer Aufwand für sommerlichen Wärmeschutz</li> <li>- Längere und kompliziertere Planung der Details</li> <li>- Schall-, Wärme- und Brandschutz sind aufwändig</li> <li>- thermische Speicherkapazität reduziert sich auf Decken und Böden</li> <li>- Herstellung der Winddichtheit aufwändig (Transmission, Gesundheitsschutz)</li> <li>- Gefahr von Ausführungsfehlern durch komplizierte Schichtenfolgen und Details</li> <li>- Fehlende Abschirmung gegen Elektromog</li> </ul>
	

Abb. 3-8 Nachhaltigkeitsmatrix für Leicht- und Massivbauten

### 3.3 Stoffflussmanagement - Grundlage für nachhaltiges Bauen

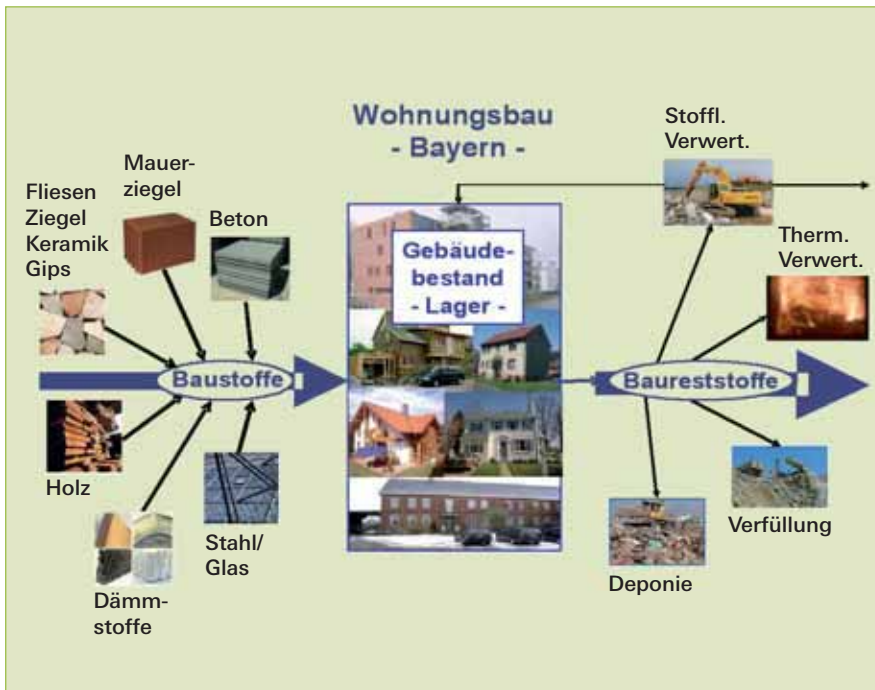


Abb. 3-9 Baustoffströme des Wohnungsbaus in Bayern

#### 3.3.1 Stoffflüsse am Bau

Ziele des nachhaltigen Bauens sind u.a. Ressourcenschonung, Verringerung bzw. Vermeidung von Schadstoffbelastungen während der Nutzung sowie umwelt- und gesundheitsverträgliche Entsorgung der Baureststoffe. Um diesen Zielen näher zu kommen, werden Stoffströme beim Neubau erfasst und bewertet. Dazu werden die Ressourcennutzung (Stoffinput), das gebaute Gebäude (Stofflager) und die Baureststoffe (Stoffoutput) betrachtet. Langfristig sollen

Steuerungsmöglichkeiten aufgezeigt werden, die in ein Konzept des Niedrigstoffhauses (parallel zum Konzept des Niedrigenergiehauses) münden können. Zusätzlich zu den Kriterien Material- und Energieeffizienz sind die Komponenten Stoffeffizienz, zukünftige Nutzung des verbauten Rohstoffpotentials, Standortbewertung und umweltverträgliche Gebäudehülle mitzubewerten. Unabdingbare Voraussetzung ist dabei eine so genannte Stoffbuchhaltung, die den Ort und die

Menge an verbauten Stoffen enthält (siehe Kap. 4.3.2 Dokumentation).

Leitlinien sind, wie auch im Folgenden näher erläutert,

- Reduktion diffuser Schadstoffe durch Wahl geeigneter Baustoffe
- Verzicht auf Stoffe mit Gefahrenpotential
- Verwendung von rückbaufähigen Konstruktionen
- Anpassung der Stoffflüsse an die regionale Tragfähigkeit der Umwelt

➔ Bewertung und Management von Roh- und Baustoffströmen in Bayern, Technische Universität München, 2005 [www.sfm-bauwerke.de](http://www.sfm-bauwerke.de)

➔ Das Niedrigstoffhaus, R. Obernosterer, Hrsg.: Zentrum für Bauen und Umwelt, 2000 [www.hausderzukunft.at](http://www.hausderzukunft.at)

### 3.3.2 Recyclinggerechtes Konstruieren und Bauen

Beim selektiven Rückbau ermöglicht ein demontagegerechter Entwurf Materialien sortenrein zu separieren und ganze Bauteile einem Produktrecycling zuzuführen. Damit ist ein wesentliches Kriterium für eine hochwertige Wiederverwendung erfüllt. Rückbauprozesse fallen aber nicht erst am Ende der Bauwerkslebensdauer (80-100 Jahre) an, sondern schon viel früher. Der Ausbau von ganzen Bauteilen kann aufgrund funktionaler oder gestalterischer Veränderung, Abnutzung oder technischer Weiterentwicklung erfolgen.

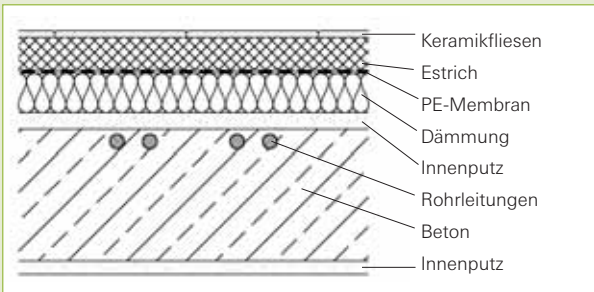
Es lassen sich folgende Ziele für den demontagegerechten Entwurf zusammenfassen:

- Optimierung der Instandhaltung (Trennen von langlebigen und kurzlebigen Strukturen)
- Optimierung der Entsorgung durch Trennung von Stofffraktionen
- Wiederverwendung kompletter Bauteile
- Optimierung der Rückbauprozesse durch gut lösbare Verbindungen

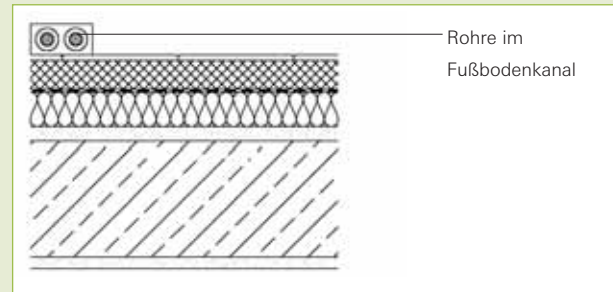
Konkrete Lösungsvorschläge hierfür sind:

- Einsatz zerstörungsfrei lösbarer Verbindungen
- Trennung der Tragstruktur von raumbildenden und ausbautechnischen Strukturen (vgl. Abb. 3 10)
- Lokale Konzentration verschleißender Bauteile und unvermeidlicher Schadstoffe
- Verstärkter Einsatz von mechanischen anstatt von chemischen Verbindungsmitteln
- Qualitativ hochwertige Produkte mit langer Lebensdauer
- Verzicht auf zusätzliche Oberflächenbehandlung sowie Verbundwerkstoffe
- Reduktion der stofflichen Vielfalt und Einsatz von gut recyclebaren Materialien (vgl. Abb. 3-10)

#### Konventionelle Bauweise

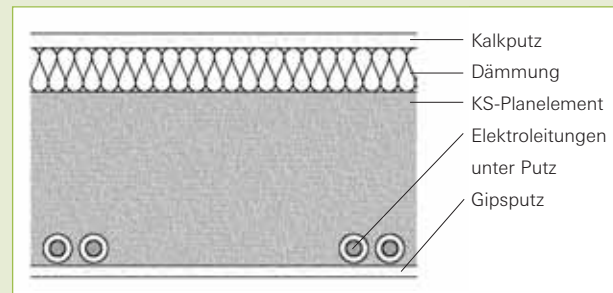
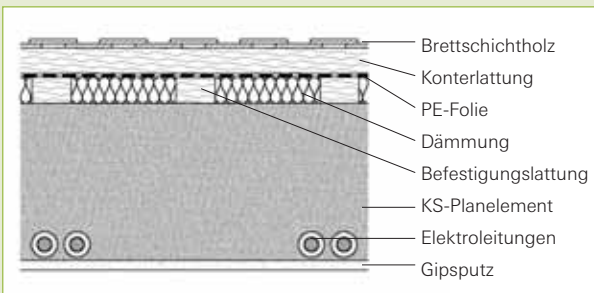


#### Demontagegerechter Entwurf



#### Optimierungskriterium Decke:

**Trennung der Tragstruktur von raumbildenden und ausbautechnischen Strukturen**



#### Optimierungskriterium Wand:

**Reduktion der stofflichen Vielfalt**

Abb. 3-10 Recyclinggerechte und konventionelle Baukonstruktionen im Vergleich

## ÖKOLOGIE

Bei lebenszyklusorientierter Betrachtung hat der demontagegerechte Entwurf bei komplexen Bauteilschichten (z.B. Decken) ein deutliches Einsparpotential bei den Umweltbelastungen gegenüber konventionellen Konstruktionen. Einfacheren Schichtaufbauten (annähernd gleiche Lebensdauer von wenigen Bauteilschichten) kann hingegen kein klarer Vorteil zugerechnet werden.

Deutlichstes Einsparpotential bieten die eingesetzten Stoffströme, die sich um bis zu 35% reduzieren lassen. Erwartungsgemäß sinken dadurch auch die Umweltbelastungen anderer Wirkkategorien wie Versauerungs- und Treibhauspotential. Die Erhöhung der Wiederverwendungs- und Recyclingquoten tragen ebenso zu einer positiven Bewertung bei wie die Kosten- und Zeitersparnis in der Nutzungs- und

Rückbauphase. Das System reagiert z.T. sehr sensibel auf die Änderung einzelner Parameter. So kann bei der Verwendung eines neuen Werkstoffs, der aus Gründen der besseren Lösbarkeit von der Nachbarschicht gewählt wurde, wegen seiner Umweltbelastung in der Gesamtbeurteilung ein Nachteil entstehen. Eine detaillierte Prüfung des gesamten Lebenszyklus mittels geeigneter Software ist empfehlenswert.

## WIRTSCHAFTLICHKEIT

Recyclinggerechtes Konstruieren verursacht, bedingt durch einen umfangreichen Planungs- und Simulationsprozess, Mehrkosten bei der Erstellung. Dem gegenüber stehen Einsparungen in der Nutzungsphase (ressourcenarmer und zeitsparender Instandsetzungseingriff) sowie am Lebensende des Bauwerks (Entsorgungs- und Demontagekosten).

Inwieweit demontagegerechte Konstruktionen rentabel sind, hängt entscheidend vom Betrachtungszeitraum ab. Kurzfristiges Denken behindert vielfach recyclingorientiertes Bauen.



### 3.3.3 Abfallentsorgung am Bau



Abb. 3-11 Unsortierter und sortierter Bauabfall

Für eine zukünftig hochwertige Entsorgung von Bauabfällen müssen bereits in der Planungsphase Entscheidungskriterien berücksichtigt werden – einerseits für die Bauabfälle, die beim Neubau entstehen, andererseits für Bauabfälle, die bei einer späteren Sanierung oder einem zukünftigen Abbruch anfallen. Die Wiederverwertung muss oberstes Ziel sein.

Der Bauprozess bei der Errichtung von Gebäuden sollte bereits mit Beginn der Entwurfsphase unter abfallwirtschaftlichen Gesichtspunkten gesteuert werden. Der Ausstattungsstandard und die Bauweise beeinflussen maßgeblich das qualitative und quantitative Abfallpotential. Die Auswahl von Baukonstruktionen und Bauverfahren ist somit von zentraler Bedeutung für die Höhe des Baustellenabfallpotentials und dessen Vermeidung und Verwertung.

Die Getrennterfassung auf der Baustelle ist eine wichtige Vorleistung für die stoffliche Verwertung der Bauabfälle. Eingeschränkt wird diese Vorleistung allerdings durch die zeitliche und bauliche Enge bei der Bauausführung. Durch eine getrennte Sammlung im Vergleich zu einer kollektiven Erfassung kann ein Einsparpotential von bis zu 0,45% bezogen auf die Baukosten der Kostengruppe 300 (Bauwerk – Baukonstruktion) und 400 (Bauwerk – Technische Anlagen) nach DIN 276 erreicht werden. Bei einem Einfamilienhaus mit Kosten von beispielsweise 300.000 Euro für das Bauwerk bedeutet das eine Einsparung von immerhin rund 1.350 Euro. Entscheidungshilfen sind durch Untersuchungen über Abfall- und Kostenkennzahlen gegeben.

Bei einem Abbruch von Gebäuden muss ein kontrollierter, selektiver Rückbau im Vordergrund stehen, der eine weitgehende Trennung der Abfälle erlaubt. Insgesamt sollte der Gebäudebestand als Rohstofflager nutzbar sein. Das bedeutet um- und rückbaugerechte Konstruktionen sowie schadstofffreie, wieder verwertbare Baustoffe. Voraussetzung hierfür ist eine detaillierte Dokumentation und gegebenenfalls eine ausreichende Beprobung der vorhandenen Bausubstanz. Für eine hochwertige Entsorgung der Bauabfälle sind die vorhandenen Entsorgungs- und Recyclingbetriebe sowie Bodenbehandlungsanlagen etc. im Einzugsgebiet der Abfallerzeugung zu recherchieren.

➡ Verwerterdatenbank Bayern [www.bayern.de/lfu](http://www.bayern.de/lfu)

➡ Abfallkennzahlen für Neubauleistungen im Hochbau,  
K. Lipsmeier, Technische Universität Dresden, 2004



### 3.4 Energiekonzept

Bei der Planung eines Energiekonzeptes nach den Grundsätzen der Nachhaltigkeit wird eine Minimierung des Energieverbrauchs für Raumwärme, Warmwasser, Kühlung und Beleuchtung angestrebt. Damit werden Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>) reduziert und ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet. Zudem sollen Ressourcen an fossilen Energieträgern für künftige Generationen geschont werden. Dabei beeinflussen sowohl die Qualität der Baukonstruktion als auch die technische Gebäudeausstattung den Energieverbrauch sowie die daraus resultierenden Umweltbelastungen.

Allein für Raumwärme wird fast die Hälfte der im privaten Sektor genutzten Energie aufgewendet (vgl. Abb. 3-12). Hier muss das Hauptaugenmerk liegen.

Als Synergieeffekte treten Kosteneinsparungen durch verminderten Brennstoffverbrauch heute immer mehr in den Vordergrund. Planungsfelder sind vor allem das Lüftungs- und Heizsystem, die Qualität der Gebäudehülle (U-Werte, Wärmebrücken, Luftdichtheit) sowie der sommerliche Wärmeschutz.

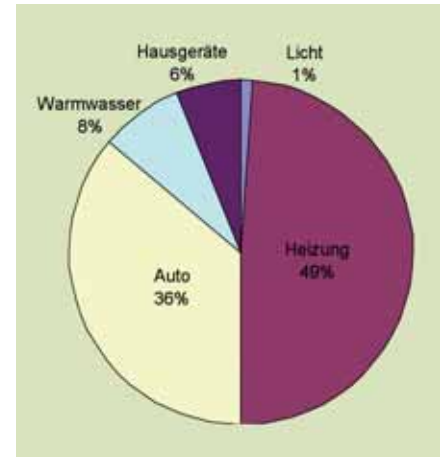


Abb. 3-12 Energieverbrauch im privaten Bereich

Detaillierte Hintergrundinformationen zum Thema energiesparendes Bauen finden Sie in:

➔ **Energiegerechtes Bauen und Modernisieren,**  
Hrsg.: Bundesarchitektenkammer, Birkhäuser Verlag, 1996

➔ **Handbuch der Gebäudetechnik - Band 2,**  
W. Pistohl, Werner Verlag, 2000

#### 3.4.1 Energieeffizienter Entwurf

Aufgrund der langen Lebensdauer von Gebäuden kommt der Nutzphase eine hohe Bedeutung für die Nachhaltigkeit zu. Um den jährlichen Energieverbrauch zu minimieren, können verschiedenste bauliche Stellschrauben genutzt werden. Abb. 3-13 gibt die energetische Wirksamkeit einzelner Maßnahmen an. Die Bandbreite ergibt sich aus einer teilweise stark projektspezifischen Streuung. Demnach sind die Wärmedämmung der Hülle, die Luftdichtheit sowie die Qualität der Fenster entscheidend für einen niedrigen Heizenergieverbrauch. Die für den Entwurf wichtigen Aspekte werden im Folgenden aufgegriffen.

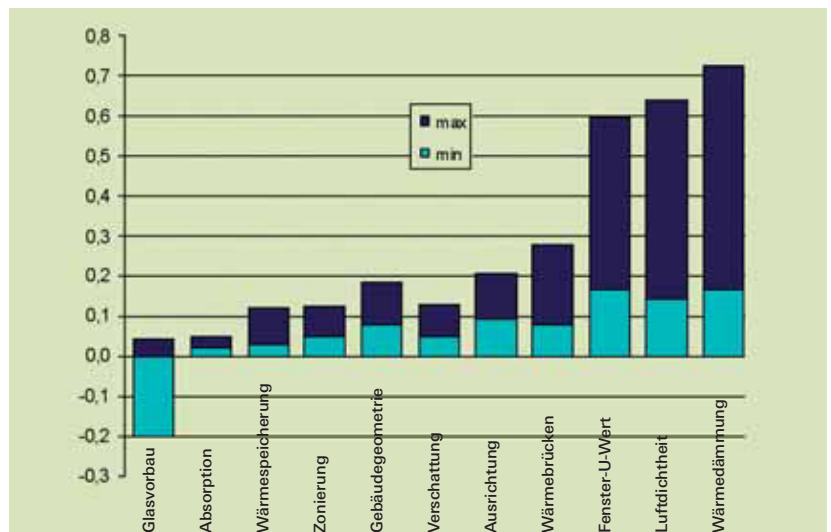


Abb. 3-13 Energetische Wirksamkeit verschiedener Entwurfsaspekte

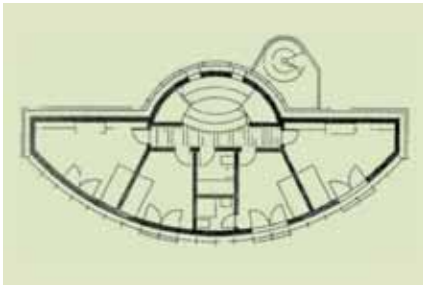


Abb. 3-14 Energieautarkes Solarhaus in Freiburg

### Ausrichtung des Baukörpers

Um den Heizenergiebedarf zu senken, kann die Ausrichtung des Baukörpers dazu genutzt werden, solare Gewinne zu maximieren und gleichzeitig Transmissionswärmeverluste zu minimieren. Dies führt im Extremfall zu segmentförmigen Gebäudegrundrissen, die nach Süden ausgerichtet sind (vgl. Abb. 3-14).

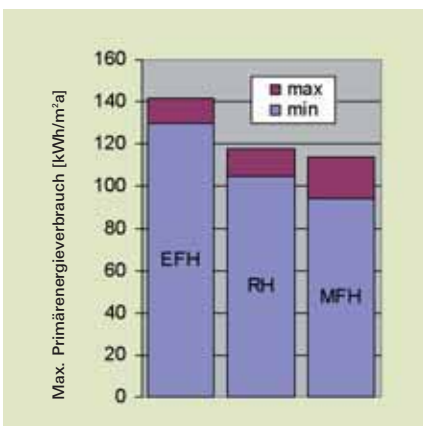


Abb. 3-15 Max. Primärenergieverbrauch unterschiedlicher Gebäudetypen nach ENEC

### A/V-Verhältnis

Die Transmissionswärmeverluste sind proportional zur Hüllfläche des Gebäudes und tragen in erheblichem Maße zu Energieverlusten bei. Aus diesem Grund sind möglichst kompakte Baukörper mit einem niedrigen A/V-Verhältnis anzustreben. Vor- und Rücksprünge sowie Erker sind zu vermeiden. In den EnEV ist dieser Umstand in den unterschiedlichen Anforderungen an den maximalen Primärenergieverbrauch berücksichtigt. Abb. 3-15 zeigt den energetischen Vorteil von kompakten Mehrfamilienhäusern

Für eine mögliche Überhitzung des Gebäudes im Sommer, sind schon in der Entwurfsplanung geeignete bauliche Maßnahmen zu treffen. Eine Möglichkeit ist den Dachüberstand so zu konzipieren, dass nur im Winter eine direkte Bestrahlung der Fensterflächen möglich ist.

( $0,5 \text{ m}^{-1} < A/V < 0,8 \text{ m}^{-1}$ ) gegenüber frei stehenden Einfamilienhäusern ( $0,8 \text{ m}^{-1} < A/V < 1,0 \text{ m}^{-1}$ ). Der Energieverbrauch ist im Mittel 24% niedriger. Deutliche Vorteile ergeben sich auch bei der Umsetzung des Dichtkonzepts sowie den Baukosten.

Zu beachten ist, dass nur die thermische Hülle im A/V-Verhältnis beschrieben ist. Unbeheizte An- und Vorbauten wie Wintergärten sind davon nicht betroffen und gewährleisten weiterhin ein hohes Maß an architektonischer Freiheit.

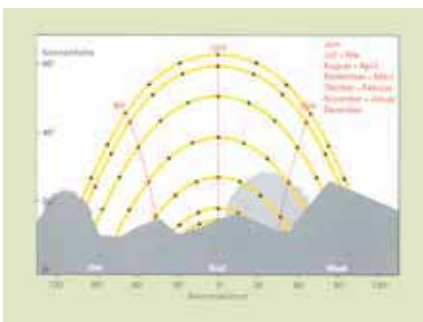


Abb. 3-16 Sonnenbahndiagramm

### Verschattung

Solare Wärmegewinne entlasten den jährlichen Heizwärmebedarf je nach Gebäudeform und Dämmstandard um 30 bis 70%. Eine Verschattung der transparenten Bauteile hat somit einen starken Einfluss auf den Energieverbrauch. Hauptfaktoren sind die Topographie, Nachbargebäude, Pflanzen aber auch auskragende Bauteile,

Geländer, Fensterlaibungen sowie die Verschmutzung von Scheiben. Eine Abminderung des theoretischen Energieeintrags durch die Fenster ist z.B. für die gängige städtische Situation mit 63% anzusetzen. Durch eine detaillierte Planung z.B. mittels Sonnenbahndiagramm für die flach stehende Wintersonne können Verschattungseffekte minimiert werden.

### Thermische Zonierung

Unter Zonierung versteht man die Gliederung eines Gebäudes in unterschiedliche Temperaturbereiche. Dabei sind in Wohn- und Kinderzimmern die höchsten Raumtemperaturen anzutreffen, das Treppenhaus sowie Abstellräume bilden das untere Ende der

Wärmeskala. Durch diese Abgrenzung sind Energieeinsparungen möglich, die ca. 6 bis 10% pro 1°C niedrigere Raumtemperatur betragen. Dieses Potential ist allerdings stark vom Nutzer abhängig und verringert sich bei hoch gedämmten Häusern, sodass dort nur positive Auswirkungen auf

den Wohnkomfort zu verzeichnen sind. Eine bauliche Berücksichtigung bei der Planung von Gebäuden ist nicht sinnvoll (Flexibilität, Probleme im Bauablauf, zu geringes Einsparpotential). Viel wichtiger ist eine klare Abgrenzung zwischen beheizten und unbeheizten Bereichen.

### 3.4.2 Energiestandards von Gebäuden

Grundsätzlich gibt es heute drei verschiedene energetische Qualitätsstandards von Gebäuden:

- ENEV-Haus, welches die gesetzlichen Anforderungen der aktuellen ENEV erfüllt
- Niedrigenergiehaus (NEH), welches spezielle Anforderungen erfüllt, die zur Teilnahme an aktuellen Förderprogrammen der KfW-Bank berechtigen

- Passivhaus (PH), welches verschärfte Anforderungen der KfW-Bank erfüllt

Die Einteilung erfolgt meist über den Verbrauch an Heiz- bzw. Primärenergie. Die Anforderungen der ENEV sind gesetzlich vorgeschrieben, alle anderen basieren auf freiwilligen Verpflichtungen, die allerdings zur Teilnahme an Förderprogrammen von Bund, Ländern und Gemeinden berechtigen.

Um einen gewissen Gesamtqualitätsstandard zu erreichen, müssen alle Einzelkomponenten den entsprechenden Ansprüchen angepasst werden. Abb. 3-17 verdeutlicht die erfahrungsgemäß notwendigen Anforderungen an die Einzelkomponenten für eine bestimmte energetische Qualitätsklasse des Gebäudes.

		Bestand	Neubau/Sanierung		
		1900-2000	ENEV	NEH	PH
Primärenergiebedarf	$Q_p$ [kWh/m <sup>2</sup> a]		97*	60	40
Jahresheizwärmebedarf	$Q_h$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	220			15
U-Wert Außenwände	[W/m <sup>2</sup> K]	ca. 1,46	0,25-0,50	0,15-0,25	< 0,16
U-Wert Fenster	[W/m <sup>2</sup> K]	ca. 2,50	1,20-1,40	1,00-1,40	< 0,80
U-Wert Dach	[W/m <sup>2</sup> K]	ca. 1,05	0,20-0,40	0,12-0,20	< 0,15
Wärmebrücken Optimierung		nein	nein	ja	ja
Luftdichtheit $n_{50}$	[h <sup>-1</sup> ]	nein	< 3,0	< 0,6	< 0,6
Nutzung reg. Energieträger		nein	nein	sinnvoll	sinnvoll
Lüftungsart		a	a/b	b/c	c

\*)  $A/V = 200/400 = 0,5$       $Q_p = (Q_h + Q_{ww}) \times e_p$   
a: freie Lüftung     b: mechanische Lüftung     c: Lüftung mit Wärmerückgewinnung

Abb. 3-17 Komponenten für energetische Baustandards



## ÖKOBILANZ

Bei der in Abb. 3-18 dargestellten Ökobilanz sind geometrisch identische Häuser mit unterschiedlichen Qualitätsstandards ausgeführt worden. Hauptunterschied sind die variablen Dämmstärken der Außenhaut, die Qualität der Fenster sowie eine veränderte Lüftungsanlage. Der Betrachtungszeit-

raum erstreckt sich über 80 Jahre und beinhaltet neben der Nutzphase auch die Aufwendungen für die Errichtung und Instandhaltung des Gebäudes.

Aufgrund der langen Lebensdauer von Bauwerken und dem somit dominierenden Einfluss der Nutzphase schnei-

det das Passivhaus aufgrund des ressourcenarmen Betriebs am besten ab. Dabei lässt sich besonders die Wirkkategorie des GWP deutlich senken. Die Aufwendungen für den Bau sind unwesentlich höher als bei einem Gebäude mit ENEV-Standard.

	KEA ne [GJ]	KEA e [GJ]	GWP [t CO <sub>2</sub> ]	ODP [kg CFC11]	AP [kg SO <sub>2</sub> ]
ENEV	6700	500	425	0,48	1100
NEH	4050	500	255	0,3	700
PH	1050	530	40	0,05	280

Abb. 3-18 Lebenszyklusbetrachtung mittels Ökobilanz (t=80a) für unterschiedliche Qualitätsstandards

## WIRTSCHAFTLICHKEIT

Energieeffiziente Systeme und Komponenten kosten Geld, das durch geringere Heizkosten im Laufe der Lebensdauer wieder eingespart werden kann. Ab einem bestimmten Punkt ist der technische und finanzielle Aufwand allerdings nicht mehr wirtschaftlich. Abb. 3-19 beschreibt schematisch die Summe der finanziellen Belastungen

in einer Lebenszyklusbetrachtung für NEH und PH. Das wirtschaftliche Optimum des Wärmeschutzes liegt bei einem Jahresheizwärmebedarf zwischen 40 und 50 kWh/m<sup>2</sup>a. Eine weitere Reduzierung führt zu Mehrkosten, die unter 30 kWh/m<sup>2</sup>a deutlich ansteigen. Erst bei Wegfall des Heizsystems bei Passivhäusern mit

einem Energiekennwert ab 15 kWh/m<sup>2</sup>a wird wieder ein Minimum erreicht. In der Praxis kann aber fast nie gänzlich auf ein Heizsystem verzichtet werden. Weitere Einsparungen hin zum Nullenergiehaus sind mit deutlichen Mehrkosten verbunden.

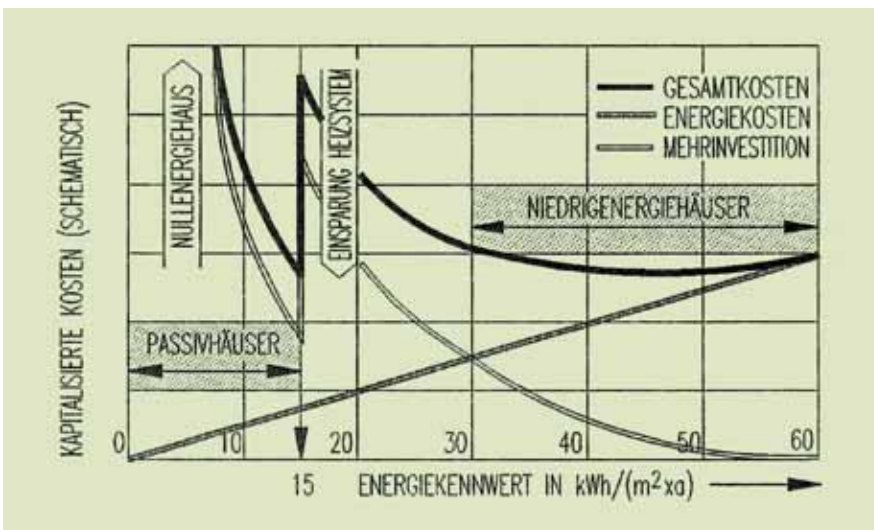


Abb. 3-19 Kostenentwicklung in Abhängigkeit der energetischen Qualität des Gebäudes

### 3.4.3 Heizungsanlage

Die Heizungsanlage hat einen großen Einfluss auf die Umweltverträglichkeit der Gebäude in der Nutzungsphase, dies ergibt sich v.a. aus der langen Lebensdauer von Bauwerken (vgl. Kap. 3.1.3). Besonders wichtig ist dabei die Wahl des Brennstoffes und der Kesseltechnik.

#### • Brennstoff

Die Nutzung verschiedener Primärenergieträger im Gebäudebestand ist in den Alten und Neuen Bundesländern historisch bedingt teils sehr unterschiedlich. So ist in Westdeutschland die Ölheizung noch weit verbreitet, während im Osten die Fernwärme deutlich stärker vertreten ist. Die aktuelle Verteilung für Deutschland ist Abb. 3-20 zu entnehmen. Bei Neubauten wird zu 75% Gas als Rohstoff verwendet. Wärmepumpen werden bei ca. 5% aller Neubauten eingebaut.

#### • Kesseltechnik

Niedertemperaturheizkessel variieren, meist in Abhängigkeit der Außentemperatur, die Vorlauftemperatur zwischen 40 und 75 °C oder halten konstant ein Temperaturniveau von unter 55 °C. Folglich ergeben sich Energieeinsparungen durch niedrigere Bereitschaftsverluste im Kessel sowie geringere Verteilungsverluste. Der Wirkungsgrad liegt bei 92 bis 95%. Noch effizienter sind Brennwertkessel, die sich heute als Standard durchgesetzt haben. Sie nutzen mit Hilfe eines Wärmetauschers die latent im Abgas vorhandene Wärme und kommen so auf Wirkungsgrade von 105-109%.

Bei Ein- und Mehrfamilienhäusern ist eine zentrale Heizungsanlage energetisch vorteilhaft. Falls aufgrund der Rahmenbedingungen doch ein dezentrales System gewählt wird, ist auf Flexibilität für spätere Änderungen zu achten.

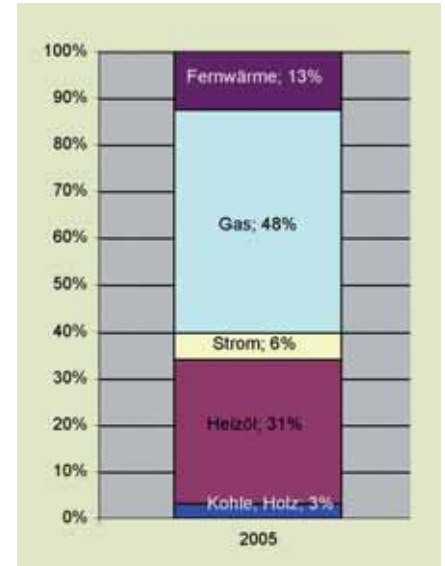


Abb. 3-20 Energieträgerverteilung 2005

### ÖKOBILANZ

Die schweizer Datenbank ecoinvent weist für unterschiedliche Wärmeerzeugungssysteme folgende tabellierte Werte aus:

	KEA ne [MJ]	KEA e [MJ]	GWP [g CO <sub>2</sub> ]	ODP [10 <sup>-9</sup> kg CFC11]	AP [mg SO <sub>2</sub> ]
Gas-Brennwert	1,27	0	71	9	61
Gas-Niedertemperatur	1,35	0	75	10	68
Öl-Niedertemperatur	1,38	0	93	13	206
Wärmepumpe (Sonde)	0,93	0,86	47	48	248
Pelletsheizung	0,32	1,34	16	1	136
Gas-BHKW/Fernwärme (Allokation Exergie)	0,53	0	30	4	28

Abb. 3-21 Umweltauswirkungen bei der Produktion einer kWh Nutzwärme

Gassysteme haben Vorteile gegenüber ölbeheizten Anlagen. Beim Verbrennungsprozess entstehen geringere Umweltbelastungen und es lässt sich ein höherer Wirkungsgrad erzielen. Wärmepumpen und Pelletsanlagen nutzen vorwiegend regenerative Ener-

gieträger und erreichen so gute Werte bei der ökologischen Bilanzierung (Abb. 3-21).

Blockheizkraftwerke (BHKW) mit Kraft-Wärme-Kopplung erzeugen Energie mit einer Primärenergieeinsparung von

37% gegenüber getrennter Strom- und Wärmeerzeugung im Kraftwerk bzw. in Heizkesseln. Der wirtschaftliche Einsatz ist allerdings erst ab größeren Wohnanlagen möglich. Die Spitzenlasten müssen mit einem separaten Energieerzeuger abgedeckt werden.

## WIRTSCHAFTLICHKEIT

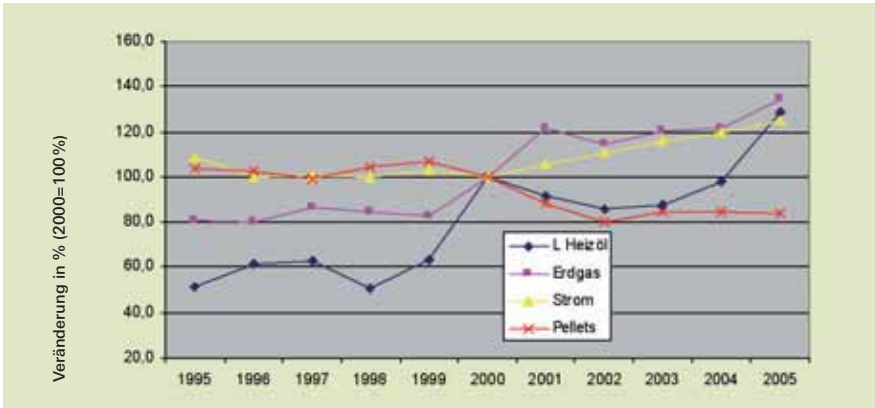


Abb. 3-22 Energiepreisentwicklung für Energieträger 1995-2005

Nur ein Vollkostenvergleich ist dazu geeignet, die Wirtschaftlichkeit von verschiedenen Systemen gegenüberzustellen. Darin sind die kapitalgebundenen Kosten der Investition, die betriebsgebundenen Kosten für Wartung und Reinigung sowie die verbrauchsgebundenen Kosten für die Energiebereitstellung enthalten.

Für die Wahl des Heizsystems stellt die zukünftige Entwicklung der Heizkosten eine entscheidende Größe dar. Die Rohstoffpreise unterliegen in letzter Zeit einer starken Dynamik, die u.a. auf schwer kalkulierbaren politischen und wirtschaftlichen Einflüssen basieren (vgl. Abb. 3-22). In einer Variantenuntersuchung wird der Einfluss der Energierohstoffpreise auf

die gesamte Kalkulation des Vollkostenvergleichs untersucht. Variante A berücksichtigt die Preisentwicklung der Rohstoffe aus einer Studie, die das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit 2005 veröffentlicht hat. Die zweite Variante geht davon aus, dass sich die Preisentwicklung nach dem Mittel der letzten 6 Jahre fortsetzt (vgl. Abb. 3-24).

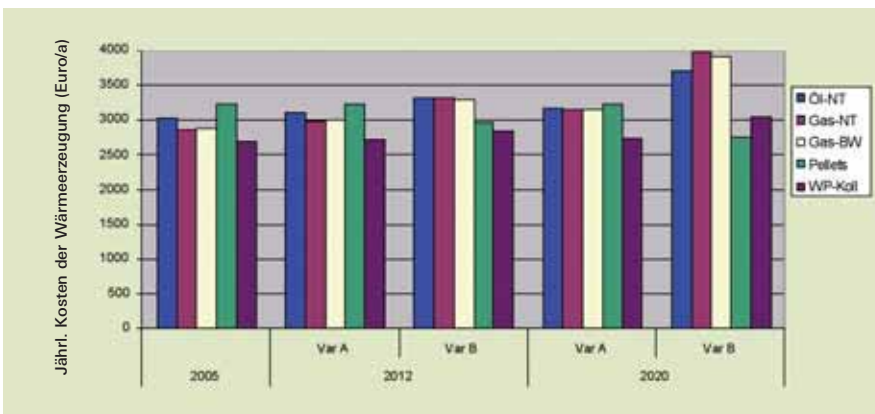


Abb. 3-23 Vollkostenvergleich verschiedener Heizsysteme für zwei Energiepreisprognosen an einem Beispielobjekt über 15 Jahre

	Var. A*	Var. B**
Erdgas	1,3 %	4,1 %
L. Heizöl	0,8 %	3,1 %
Pellets	0,0 %	-4,3 %
Strom	0,3 %	2,5 %

\*Prognose des BM für Wirtschaft und Arbeit (2005)

\*\*Steigerung nach Mittel über die letzten 6 Jahre

Abb. 3-24 Prognosen der realen (oberhalb der allgemeinen Inflationsrate) Verteuerung der Rohstoffe

Für das Jahr 2005 lassen sich folgende Aussagen machen (siehe u.a. Abb. 3-23):

- Zwischen Öl- und Gasanlagen sind kaum signifikante Unterschiede zu erkennen
- Blockheizkraftwerke sind im Mittel leicht teurer als Gasanlagen
- Holzpelletsheizungen bewegen sich derzeit am oberen Rand der Preisskala (Förderung berücksichtigt)
- Die Nutzung von Fernwärme ist aufgrund der geringen Investitions- und Wartungskosten relativ billig

Um einen realistischen Vergleich der Kosten über die gesamte Lebensdauer der Heizungsanlage zu bekommen, können die Ergebnisse für das Jahr 2012 (halbe Lebensdauer) herangezogen werden. Man kann erkennen, dass, je nach zugrunde gelegter Variante, jeweils eine andere Heizung im Preis günstig oder ungünstig abschneidet. Ausnahme sind die Wärmepumpen, die sich im Preis kaum ändern. Hier ist aber zu beachten, dass sie ganz besonders stark vom gewählten Objekt abhängig sind. Öl- und

Gasanlagen werden durch die derzeit gültige Preisbindung im langjährigen Mittel nicht weit auseinander driften. Die Verfügbarkeit von Holzpellets bei einem derzeitig stark zunehmenden Marktanteil wird hier den zukünftigen Preis bestimmen.

Es wird in jedem Fall empfohlen, eine projektspezifische Berechnung vorzunehmen. Ein Berechnungsformblatt wird im u.g. Ratgeber zur Verfügung gestellt. Eine Kalkulation mittels geeigneter Software ist ebenfalls möglich.

➔ Ratgeber: Wärmeversorgung im Neubau, Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V., 2003 [www.asue.de](http://www.asue.de)

➔ Handbuch der Gebäudetechnik - Band 2, W. Pistohl, Werner Verlag, 2000

➔ Heizung im Niedrigenergiehaus – ein Systemvergleich, W. Feist, Hrsg.: Passiv Haus Institut, 2004



### 3.4.4 Gebäudelüftung

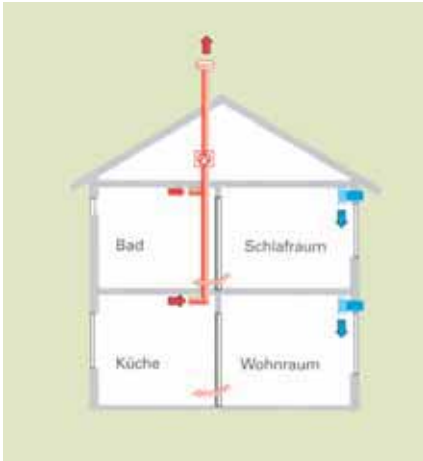


Abb. 3-25 Schema einer ML

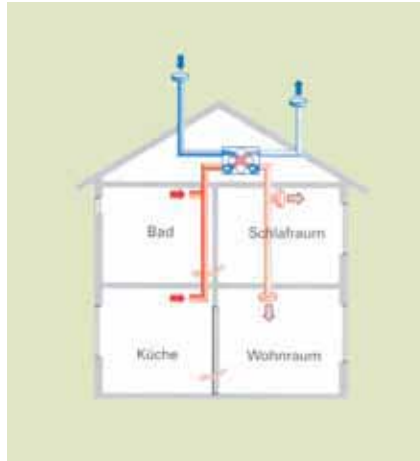


Abb. 3-26 Schema einer Lüftung mit WRG

Aus Gründen der Raumhygiene (Luftfeuchtigkeit, CO<sub>2</sub>, Geruch) und der Schadensvermeidung (v.a. Schimmelpilzbildung) ist eine bestimmte Luftwechselrate in Räumen notwendig. Sie variiert je nach Nutzung zwischen 0,5 h<sup>-1</sup> (Wohn- und Schlafräumen) bis zu 25 h<sup>-1</sup> (Küche/ Bad). Zwangsläufig ist jeder Lüftungsvorgang mit ungewollten Wärmeverlusten verbunden. Bei undichten Häusern ( $n_{50} > 5 \text{ h}^{-1}$ ) wird eine ausreichende Wechselrate schon ohne Fensterlüftung erreicht. Aus energetischer Sicht sind diese Werte allerdings inakzeptabel, denn es geht dauerhaft Heizwärme verloren. Aus Sicht der Nachhaltigkeit sind die Lüftungsverluste zu minimieren ohne

die hygienischen und bauphysikalischen Notwendigkeiten zu vernachlässigen. Grundsätzlich gibt es drei unterschiedliche Lüftungsmöglichkeiten:

- **Fensterlüftung (FL)**

Bei Fensterlüftung wird die notwendige Wechselrate nur durch ein inakzeptables dauerhaftes Kippen der Fenster oder eine Querlüftung mindestens alle drei Stunden erreicht, was meistens an der Praktikabilität scheitert.

- **Mechanische Lüftung (ML)**

Mechanische Anlagen steuern den Luftwechsel und stellen ein dauerhaftes raumhygienisches Klima her. Sie saugen die Luft zentral in Küche oder Bad ab. Überstromöffnungen

ermöglichen ein Nachströmen aus Aufenthaltsräumen, die wiederum über Außenluftdurchlässe mit Frischluft versorgt werden (Abb. 3-25)

- **Mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung (WRG)**

Bei Wärmerückgewinnungsanlagen strömt keine kalte Außenluft nach, sondern die Abwärme der Fortluft wird dazu genutzt die Zuluft vorzuwärmen. Diese Systeme können mit unterschiedlichen Wirkungsgraden ausgestattet werden (Abb. 3-26).

Mechanische Anlagen haben eine Lebensdauer von ca. 20 Jahren und benötigen für einen sinnvollen Betrieb eine dichte Gebäudehülle.

### ÖKOBILANZ

In Abb. 3-27 sind die Umweltbelastungen für unterschiedliche Lüftungssysteme zusammengefasst. Sie beinhalten auch die Aufwendungen für Hilfsenergie, die mechanische Anlagen benötigen.

	Lüftungswärmeverluste [kWh/m <sup>2</sup> a]	Primärenergie [kWh/m <sup>2</sup> a]	GWP [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a]
Fensterlüftung	44	110	24
Mechanische Abluftanlage	35	108	23
Mech. Lüftung mit WRG (65%)	17	96	21
Mech. Lüftung mit WRG (80%)	13	88	19

Abb. 3-27 Betriebsbedingte Umweltbelastungen für ein 4-Personen Haus mit einer Gas-Brennwertheizung mit unterschiedlichen Lüftungsvarianten



Erwartungsgemäß steigt die Primärenergieeinsparung mit der Qualität der Wärmerückgewinnung. Voraussetzungen für eine gute Wärmerückgewinnung sind:

- Jahresrückwärmegrad  $\eta > 80\%$
- Elektroeffizienz<sup>2</sup>  $p_{el} < 0,4 \text{ W/m}^3 \text{ Luft}$
- einfache Reinigung der Filter, kostengünstige Inspektion und Wartung
- $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$ , keine Fensterlüftung

Bei optimaler Planung sind keine Beeinträchtigungen des Wohnkomforts (Zuglufterscheinungen) zu erwarten. Das Funktionieren des Systems wird nur durch Akzeptanz sowie Anlagenkenntnis des Nutzers sichergestellt. Allerdings sollten die Fenster weiterhin zu öffnen sein, um Belastungsspitzen schnell und individuell abbauen zu können.

## WIRTSCHAFTLICHKEIT

Mechanische Lüftungsanlagen mit und ohne WRG senken die Heizkosten. Unter Einbeziehung der Investitionskosten rechnet sich eine solche Maßnahme über die Lebensdauer allerdings nicht. Die Investitionskosten liegen bei Abluftanlagen zwischen

15 und 20 Euro/m<sup>2</sup> Wohnfläche. Anlagen mit Wärmerückgewinnung kosten 40-60 Euro/m<sup>2</sup>. Umgerechnet erhöhen sich die jährlichen Heizkosten um 8 - 25% (unter Berücksichtigung der Investitionskosten sowie der Energieeinsparung).

➡ Handbuch der Gebäudetechnik - Band 2,  
W. Pistohl, Werner Verlag, 2000

➡ Kontrollierte Wohnungslüftung + Lüftung in Wohngebäuden  
(Energiesparinformation Nr. 8+9) [www.impulsprogramm.de](http://www.impulsprogramm.de)

2) Elektroeffizienz: (Elektrische) Energie die aufgewendet werden muss, um 1 m<sup>3</sup> Luft im System zu transportieren. Je weniger Hilfsenergie benötigt wird, desto effektiver arbeitet die Wärmerückgewinnung.

### 3.4.5 Erneuerbare Energiequellen

#### WARMWASSERBEREITSTELLUNG



Abb. 3-28 Kollektoren

Bei zentralen Systemen ist die Warmwasserbereitstellung an die Heizung gekoppelt. Eine solartechnische Unterstützung kann zu geringerem Energieverbrauch führen. Kollektoren wandeln Energie der direkten und diffusen Sonnenstrahlung fast vollständig in Wärme um. Dabei gibt ein Absorber die thermische Energie an ein Trägermedium ab, welches den Kollektor durchströmt. Im Kessel wird die Energie dann an das Wasser abgegeben.

Eine Zusatzheizung für schlechte Ertragszeiten ist aber auf jeden Fall notwendig. Möglich ist auch eine solare Unterstützung bei der Beheizung der Räume.

Abb. 3-29 gibt Anhaltswerte für die Dimensionierung und Ausrichtung von Kollektoranlagen zur Warmwasserbereitung und zur Substitution von konventioneller Heizungsleistung.

Erzeugung von		Kollektorfläche	Azimut	Neigung zur Horizontalen	
			gegen Süden	optimal	möglich
Warmwasser mit Flachkollektoren	Sommerbetrieb	1,5-2,0 m <sup>2</sup> /Pers.	± 60°	30-40°	20-50°
	ganzjährig 60%	1,5-2,0 m <sup>2</sup> /Pers.	± 40°	40-50°	30-60°
Warmwasser und Unterstützung der Heizung	25% Deckung (Vakuum-Kollektor)	1/8 - 1/4 der Wohnfläche	± 35°	55-65°	40-80°

Abb. 3-29 Dimensionierung und Ausrichtung von Kollektoranlagen - Anhaltswerte

#### ÖKOBILANZ

Die Ökobilanz vergleicht die Umweltauswirkungen, die bei der Erzeugung eines MJ's Warmwasser verursacht werden. Betrachtet wird ein konventioneller Gas-Brennwertkessel und die Kombination dieses Erzeugers mit

einer Solaranlage mit einem Deckungsanteil von 58%. Die Bilanzierung berücksichtigt die Herstellung, den Betrieb und den Unterhalt über die Lebensdauer der Bauteile (Kollektoren 20 Jahre).

Mit solarer Warmwassererzeugung können die ökologischen Auswirkungen bei fast allen Wirkungskategorien um ca. die Hälfte verringert werden.

	KEA ne [MJ]	KEA e [MJ]	GWP [g CO <sub>2</sub> ]	ODP [10 <sup>-6</sup> kg CFC11]	AP [g SO <sub>2</sub> ]
Gas-Brennwert (100%)	1,28	0	71	9,4	0,062
Gas-Brennwert (42%) +solar (58%)	0,73	1,22	38	4,9	0,063

Abb. 3-30 Ökobilanz für die Erzeugung eines MJ's Warmwasser in einem Einfamilienhaus

## WIRTSCHAFTLICHKEIT

Die Erwärmung von Wasser mit Hilfe verschiedener Erzeuger führt zu stark unterschiedlichen Gestehungskosten. Im Diagramm ist die mittlere Preisentwicklung über die Lebensdauer von Kollektoren dargestellt. Dabei unterliegt die fossile Wärmeerzeugung bedingt durch sich verteuernde Rohstoffe einer Dynamik, wohingegen die jährliche Abschreibung des Kollektors konstant bleibt. In der Berechnung sind Preissteigerungen von 3 bzw. 8% angenommen worden. Die Werte berücksichtigen keine Fördermaßnahmen, da die Höhe zeitlichen und regionalen Schwankungen unterworfen ist.

Kollektoranlagen sind heute und auch bei Berücksichtigung von Energiepreissteigerungen in naher Zukunft

nicht wirtschaftlich zu betreiben. Das Ziel für die nächsten Jahre muss eine deutliche Senkung der Investitionskosten sein. Bei einer Kombination der Solarthermieanlage mit der Heizung ist die Wirtschaftlichkeit noch deutlicher zugunsten konventioneller Gasanlagen verschoben.

Zu einer nachhaltigen Gebäudeausstattung gehört in jedem Fall eine Solarthermieanlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitstellung von ca. 60% im Jahresmittel. Bei NEH und PH steigt die Bedeutung einer solar-gestützten Aufbereitung, weil die Anforderungen an den Energiekennwert des Gesamtgebäudes anders kaum zu erreichen sind. Wirtschaftlich ist eine solche Anlage allerdings

selten. Kollektoren lassen sich gut sichtbar als Gestaltungselement einsetzen und vermitteln so publikumswirksam ökologisches Denken und Handeln.

Eine Nutzung von Solarthermie zur Raumbeheizung ist aufgrund der Phasenverschiebung von Angebot und Nachfrage problematisch, aber technisch durchaus möglich. In diesem Fall müssen u.a. sehr niedrige Vorlauftemperaturen, Flächenheizungen und eine Maximierung der solaren Gewinne im Winter vorgenommen werden. Der Gesamtausnutzungsgrad der Kollektoren sinkt dabei allerdings.

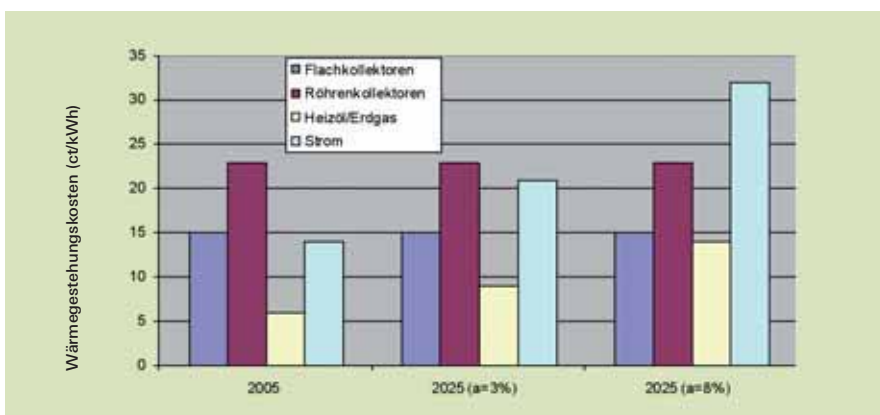


Abb. 3-31 Wärme-gestehungskosten verschiedener Erzeuger heute und in 20 Jahren (ohne Förderung)

➔ Handbuch der Gebäudetechnik - Band 2,  
W. Pistohl, Werner Verlag, 2000

➔ Brauchwasserbereitung mit Sonnenenergie - Energiesparinformation Nr. 14,  
Hrsg.: Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, 2002  
[www.impulsprogramm.de](http://www.impulsprogramm.de)

## WÄRMEPUMPEN

Wärmepumpen transportieren mittels Hilfsenergie ein Medium auf ein höheres Wärmeniveau. Als Wärmequelle dienen das Erdreich, Grundwasser sowie die Umgebungsluft. Dabei wird

ein Mehrfaches an Nutzenergie abgegeben als in Form von Antriebsenergie aufgewendet wird. In der Praxis haben sich elektrische Kompressionswärmepumpen durchgesetzt.

Eckdaten zur Dimensionierung unterschiedlicher Wärmepumpen sind Abb. 3-33 zu entnehmen.

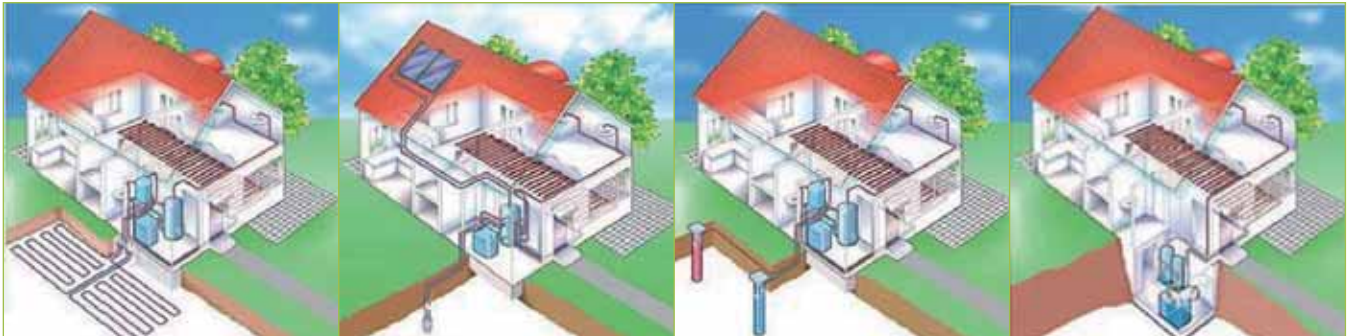


Abb. 3-32 Wärmepumpen mit verschiedenen Wärmequellen (Kollektor, Sonde, Grundwasser, Luft)

	Erdwärmekollektor	Erdwärmesonde	Grundwasser	Luft
Verfügbarkeit	überall	überall	beschränkt	überall
Platzbedarf	hoch	gering	gering	gering
Dimensionierung 10 KW-Anlage	150 bis 400 m <sup>2</sup>	2 Tiefenbohrungen 50 - 70 m	2 Brunnen, 1500 bis 1800 l/h	—
Genehmigung	nein	ja	ja	nein
Jahresarbeitszahl*	bis 4	bis 4,5	bis 5	bis 3,3
Investitionskosten	niedrig	hoch	sehr hoch	niedrig
Lebensdauer**	65/20/65	90/20/65	55/20/65	10/20/65
Betriebsweise	monovalent	monovalent	monovalent	bivalent

\*) Mittlere Jahresarbeitszahl = Verhältnis von erzeugter Wärmeenergie / Antriebsenergie der WP

\*\*) Lebensdauer der Bauteile für Kollektor, Sonde, Brunnen bzw. Ventilator / Wärmepumpe / Leitungen

Abb. 3-33 Kennwerte für unterschiedliche Wärmepumpenarten

Wärmepumpen nutzen regenerative Energieträger und verursachen so geringere Umweltbelastung als konventionelle Öl- und Gasanlagen (vgl. Abb. 3-21).

Untersuchungen haben gezeigt, dass die Grundwasser-Wärmepumpe die geringsten Umweltbelastungen verursacht, am wirtschaftlichsten ist hingegen die Kollektor-Wärmepumpe.

Umfangreiche Informationen dazu finden Sie in:

➔ Oberflächennahe Geothermie, Hrsg.: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, 2005 [www.umweltministerium.bayern.de](http://www.umweltministerium.bayern.de)

➔ Ökologische und Ökonomische Bewertung der elektrischen Wärmepumpe im Vergleich zu anderen Heizsystemen, B. Leven, J. Neubarth, C. Weber, Hrsg.: Universität Stuttgart, Inst. für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, 2001 [www.uni-stuttgart.de](http://www.uni-stuttgart.de)

## SOLARE GEWINNE



Die Maximierung der solaren Wärmegewinne bei gleichzeitig ausreichendem Schutz gegen Überhitzung (vgl. Kap. 3.4.6) reduziert den Heizwärmebedarf und damit den Verbrauch von

Energie. Dabei beruht die Nutzung des Sonnenlichts auf der Umwandlung von kurzwelliger sichtbarer Strahlung (380 bis 780 nm) in langwellige Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) an Oberflächen wie Wänden oder Fußböden. Die sinnvolle Nutzung der Wärmegewinne hängt auch maßgeblich von einer ausreichenden Speicherfähigkeit der Bauteile ab (Dämpfung der Temperaturspitzen). Solare Wärmegewinne lassen sich maximieren durch:

- hohe Gesamtenergiedurchlässigkeit der Scheiben
- optimierte Fensterflächen und Orientierung

- geringe Verschattung durch Laibung, Fensterkreuze, Nachbarbebauung oder Vegetation
- ausreichende Speicherfähigkeit von Bauteilen

Hohe Energiedurchlassgrade [g] führen allerdings meist auch zu größeren U-Werten der Scheiben (Abb. 3-34), wodurch ein Spannungsfeld zwischen solaren Gewinnen und Transmissionsverlusten entsteht. Für die Auswahl der Verglasung ist aber ausschließlich der Wärmedurchgangskoeffizient maßgebend (siehe Kap. 3.4.2 Energiestandards von Gebäuden).

	g [-]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Zweischeiben-isolierverglasung	0,75	3,5
Wärmeschutz-verglasung	0,60	1,5-0,7
Sonnenschutz-verglasung	0,3-0,4	1,5-0,7

Abb. 3-34 Kennzahlen unterschiedlicher Verglasungsarten

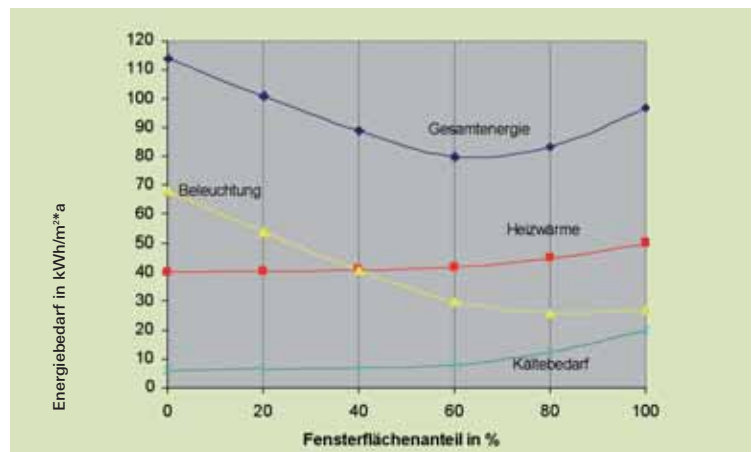


Abb. 3-35 Energiebedarf in Abhängigkeit des Verglasungsanteils am UBA Dessau

Abb. 3-35 zeigt die Abhängigkeit von Energiebedarf und Verglasungsanteil anhand einer Simulation am Neubau des Umweltbundesamtes in Dessau. Für dieses Bürogebäude gibt es ein Minimum des Gesamtenergiebedarfs

bei einem Fensterflächenanteil von 60%. Bei Wohngebäuden ist aufgrund des geringeren Einflusses der Beleuchtung sowie der fehlenden Klimatisierung ein breiterer Gestaltungsbereich von 30 bis 60% optimal. Die Überlegungen

bei Wohngebäuden setzen ein Einhalten der Grenzwerte für den sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2 voraus. Bei optimaler Planung kann der Gesamtenergieverbrauch um bis zu 25% reduziert werden.

➔ Glasbau Atlas, C. Schittich, G. Staib, D. Balkow, M. Schuler, W. Sobek, Birkhäuser Verlag, 1998

➔ Vom Altbau zum Niedrigenergiehaus  
I. Gabriel, H. Ladener, Ökobuch Verlag, 1997

## PHOTOVOLTAIK



Abb. 3-36 Photovoltaik auf der Dachschräge

Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) wandeln Sonnenenergie in elektrischen Strom um. Siliziumbasierte Solarzellen erzeugen zunächst Gleichstrom, der durch einen Wechselrichter in netzkompatiblen Wechselstrom umgewandelt werden muss. Die Effizienz richtet sich nach der Art der Solarzellen. In der Praxis kommen drei unterschiedliche Konstruktionen zum Einsatz.

### • Monokristalline Zellen

sind zu erkennen an der homogenen grauen oder blauen Oberfläche, haben einen Wirkungsgrad von 14-18% und sind durch eine aufwändige Herstellung recht teuer.

### • Polykristalline Zellen

haben einen leicht geringeren Wirkungsgrad von 13-15%, der sich auch in einem geringeren Preis niederschlägt. Zu erkennen sind sie an der typischen marmorierten blauen Oberfläche.

### • Amorphe Zellen

benötigen keine hochwertige Verarbeitung des Siliziums und sind deshalb auch deutlich billiger als kristalline Zellen, haben allerdings auch nur einen Wirkungsgrad von 6-8%. Ihre rotbraunen Zellen finden auch in Konsumgütern wie Uhren und Taschenrechnern Anwendung.

Für die Einspeisung der Elektrizität in das öffentliche Netz wird eine garantierte Vergütung von den Energieversorgern gezahlt. Photovoltaik lässt sich problemlos in die Gebäudehülle integrieren (Dach, Fassade) und kann neben der Energiegewinnung noch Funktionen des Sonnen-, Witterungs- und Lärmschutzes übernehmen. Gut sichtbare Solarzellen vermitteln öffentlichkeitswirksam ein hohes Umweltengagement.

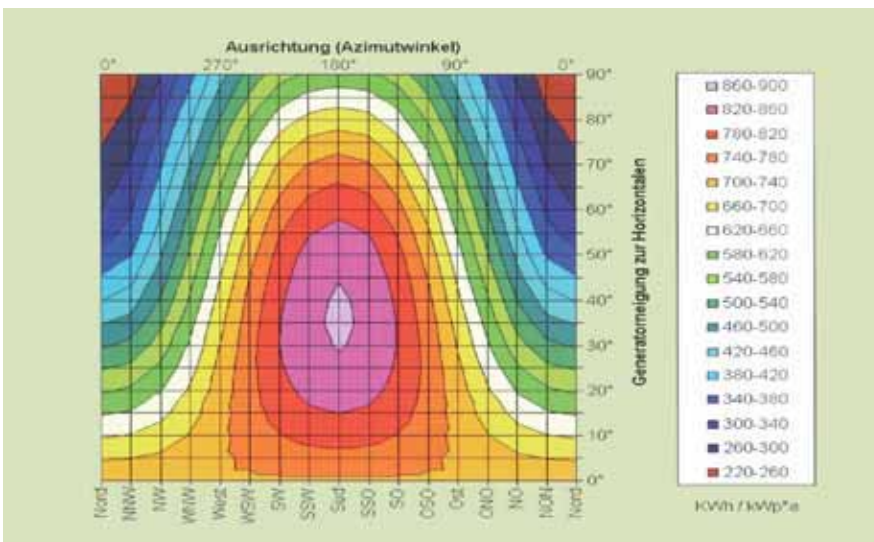


Abb. 3-37 Jahresenergieertrag einer 1kWp-Anlage in Köln in Abhängigkeit der Anlagenausrichtung in kWh

In Süddeutschland lassen sich 800-950 kWh Strom pro installierte kWp erzielen. 1 kWp-Anlagen benötigen ungefähr eine Dachfläche von 7-8 m<sup>2</sup>. Die Werte beziehen sich auf eine nahezu optimale Positionierung der Module. Um theoretisch den jährlichen Strombedarf eines 4-Personen-Haushalts decken zu können, wäre demnach eine Fläche von ca. 35 m<sup>2</sup> notwendig.

## ÖKOBILANZ

Die Stromerzeugung mittels PV-Anlagen erzeugt erwartungsgemäß deutlich niedrigere Umweltbelastungen als eine Produktion durch konventionelle Kraftwerke (Abb. 3-38). Moderne Gaskraftwerke haben besonders bei

dem für die Klimaerwärmung verantwortlichen Wirkparameter GWP etwa 70% niedrigere Werte als Kohlekraftwerke. Für Kernkraftwerke sind das Gefährdungspotential sowie die immer noch ungeklärte Entsorgungsfrage des

Atom Mülls nicht berücksichtigt. An den tabellierten Zahlen ist aber auch zu erkennen, dass die ökologischste Methode Strom zu erzeugen, die Nutzung der Windkraft ist.

	KEA ne [MJ]	KEA e [MJ]	AP [g SO <sub>2</sub> ]	GWP [kg CO <sub>2</sub> ]
VersorgungsmixD	11	0,6	0,9	0,6
Photovoltaik	1	23	0	0,1
Windkraft	0	14	0	0
Gas (Gas- u. Dampfturbine)	8	0	0,3	0,4
Kernkraft	12	0	0	0
Braunkohle	13	0	1,2	1,2
Steinkohle	13	0	1,6	1,1

Abb. 3-38 Ökobilanz für die Erstellung einer kWh Strom

## WIRTSCHAFTLICHKEIT

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) schreibt einen festen Vergütungsbetrag für netzgekoppelten PV-Strom vor. Er ist abhängig vom Jahr der Inbetriebnahme sowie von der Anla-

gengröße. Dieser Förderbetrag sinkt jährlich um 5%. Die Gesteuerungskosten des Stroms sind hauptsächlich vom Preis der Module abhängig (60%). Seit Markteinführung ist der Preis stetig

gefallen, was auch nach Prognosen bis ins Jahr 2030 weiter zu erwarten ist (vgl. Abb. 3-39). Einem Vergleich mit Preisen von konventionellen Kraftwerken (ca. 18 ct./kWh, Stand Ende 2005) hält PV-Strom nicht stand.

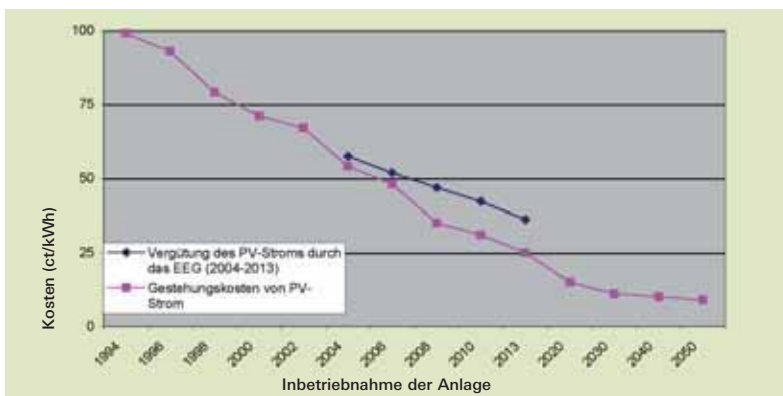


Abb. 3-39 Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen (<10kWp)

## RECYCLING/ENTSORGUNG

Aufgrund der langen Lebensdauer (Module 25-30a, Wechselrichter 10a) und der erst relativ neuen Technologie gibt es praktisch noch keinen Recyclingbedarf. Es liegen aber zahlreiche Erkenntnisse aus Forschungsvorhaben

vor. Demnach ist eine Wiederverwertung aufgrund der Vielzahl der verwendeten Materialien und des komplexen Verbundes extrem aufwändig, energieintensiv und kostspielig. In Zukunft werden Solarzellen allerdings

so konzipiert werden, dass ein vollständiges stoffliches Recycling technisch möglich ist und wirtschaftlichen Ansprüchen genügt. Eine Entsorgung der Einzelbestandteile ist unproblematisch.

## TAGESLICHTNUTZUNG



Abb. 3-40 Lichtlenkspiegel in der Berliner Reichstagskuppel

## ÖKOLOGIE

Der Gesamtwirkungsgrad von konventionellen Glühbirnen ist extrem schlecht. Es werden nur etwa 7% der ursprünglich im fossilen Primärträger enthaltenen Energiemenge in Licht

umgesetzt, der Rest in Wärme. Taglichtsysteme können somit erheblich zur Energieeinsparung beitragen und erhöhen zusätzlich noch die physiologische Behaglichkeit von Räumen.

## WIRTSCHAFTLICHKEIT

Im Durchschnitt werden in Büros und öffentlichen Gebäuden 34 kWh/m<sup>2</sup>a Strom für die Beleuchtung verwendet (in privaten Wohnhäusern liegt der Wert bei etwa 4 kWh/m<sup>2</sup>a). In Referenzobjekten (Gyssel Gebäude, Köln) ist es

gelingen etwa 50% der Beleuchtungsenergie einzusparen. Bei den aktuellen Strompreisen kann allerdings keine Wirtschaftlichkeit erreicht werden. Die Nutzung von Energiesparleuchten stellt hier eine gute Alternative dar.

Bei der Tageslichtnutzung handelt es sich um die energetisch effektivste Nutzung regenerativer Energien. Das Strahlungsangebot aus der Sonne kann zu 100% für den Menschen nutzbar gemacht werden. Grundsätzlich gibt es zwei unterschiedliche Möglichkeiten:

### • Passive Lichtlenkung (PL)

Lamellen, lichtstreuende Oberlichter, Lichtlenkprofile oberhalb der Sichtfenster oder fest installierte Spiegel gehören zu der Gruppe der passiven Systeme. Die Wirkweise ist relativ einfach und deshalb vergleichsweise billig. Sonnenlicht wird umgelenkt und in die Tiefe des Raumes geleitet.

### • Aktive Lichtlenkung (AL)

Diese Systeme folgen dem Lauf der Sonne und haben deshalb einen deutlich größeren Wirkungsgrad als PL-Systeme. Allerdings steigen damit sowohl die Investitionskosten als auch die Aufwendungen für Wartung stark an. Beispiele sind Lamellen, Rohre und Spiegel, die computergesteuert dem Höhen- und Azimutwinkel der Sonne angepasst werden.

➡ Tageslichtnutzung in Gebäuden, Hrsg.: Bine Informationsdienst [www.bine.info](http://www.bine.info)

➡ Thermische Solarenergienutzung an Gebäuden, A. Marko, P. Braun, Springer Verlag, 1997



### 3.4.6 Baulicher Wärmeschutz

Aus Sicht der Nachhaltigkeit ist der sommerliche Wärmeschutz ausschließlich durch planerische und bauliche Maßnahmen sicherzustellen. Mechanische Anlagen können vor dem Hintergrund des Ressourcenschutzes keine Alternative sein. Besonders bei modernen Bürogebäuden, die aus architektonischen Gründen transparente Fassaden erhalten, stellt ein übermäßiger Wärmeeingang im Sommer ein enormes Problem für das Innenraumklima dar.

Der thermische Energieeintrag ist abhängig von folgenden Faktoren (in der Reihenfolge ihrer Bedeutung):

- Gesamtenergiedurchlassgrad, Fläche, Neigung und Orientierung der transparenten Bauteile
- Sonnenschutz
- Luftwechselrate im Gebäude
- Speichereigenschaft und Farbe von innen liegenden Bauteilen
- Wärmeleiteigenschaften der nichttransparenten Außenbauteile

Grundsätzlich gibt es zwei bauliche Möglichkeiten sommerlicher Überhitzung vorzubeugen

1. die Reduzierung des Strahlungseingangs (Sonnenschutz) und/oder
2. die Dämpfung der Raumtemperaturamplitude (Passive Kühlung, Aktivierung von Speichermassen)

Durchgesetzt hat sich in der Praxis der Sonnenschutz.

### SONNENSCHUTZ

Wirksame Sonnenschutzmaßnahmen stehen aufgrund physikalischer Abhängigkeiten im Konflikt mit Schutz- und Versorgungsfunktionen wie Blend- und Sichtschutz, Wärmeschutz oder Lichteintrag sowie solaren Gewinnen.

Eine Auswahl sollte durch sorgfältige Prüfung der projektspezifischen Gegebenheiten erfolgen. Folgende Tabelle bietet einen Überblick über die gängigsten Systeme sowie ihre Abhängigkeiten.



Abb. 3-41 Beweglicher Sonnenschutz

System	Sonnenschutz	Kosten (+: niedrig)	Wirksamkeit nutzerabhängig	Aufwand f. Wartung etc. (+: niedrig)	Lichtdurchlässigkeit	Kommentare
Jalousie (innen)	-	+	Ja	+	o	Nur als Ergänzung sinnvoll
Jalousie (außen)	+	o	Ja	o	o	Hinterlüftung beachten
Jalousie (zwischen d. Scheiben)	o	o	Ja	+	o	Wartung praktisch unmöglich
Laubbäume	o	o	Nein	+	+	Alleine selten ausreichend
Sonnenschutzgläser	o	-	Nein	+	+	Alleine selten ausreichend, Reduzieren solarer Gewinne
Auskragende Bauteile/ Dachüberstand	-	o	Nein	+	o	Nicht an Verhältnisse anpassbar
Rollläden	+	+	Ja	o	-	Probleme beim Wärmeschutz
Starre Blenden	o	+	Nein	+	o	Nicht an Verhältnisse anpassbar
Gebäudekonzeption (z.B. Begrenzung der Fensterfläche)	+	+	Nein	+	o	Einfachste Möglichkeit, aber Nachteile bei Architektur und Wohnkomfort
+: gut                      o: bedingt geeignet                      - : schlecht						

Abb. 3-42 Bewertungsmatrix ausgewählter Sonnenschutzsysteme

Die Kombination von verschiedenen Systemen minimiert die negativen Begleiterscheinungen, sodass damit gute Ergebnisse in der Praxis erzielt wurden. Die dargestellte Komplexität

der Abhängigkeiten erfordert in besonderem Maße ein Vorgehen nach dem Prinzip der Integralen Planung. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass außen liegende, variable Systeme

mit einer umfangreichen Lüftung des Innenraums im Sinne des Sonnenschutzes die effektivsten Maßnahmen sind.

➔ DIN 4108-2, Wärmeschutz und Energie – Einsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele

➔ Planungshilfe Energiesparendes Bauen, R. Fox-Kämper u.a., Hrsg.: Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW, 2003

### 3.4.7 Weitere Aspekte zum Energieverbrauch im Gebäudebereich

#### SOFTWAREWERKZEUGE

Zur Unterstützung von Variantenvergleichen der Energieplanung kann im Sinne der Wirtschaftlichkeit nicht auf den Einsatz von entsprechender Software verzichtet werden. Gegenwärtig sind Programme basierend auf dem Monats- bzw. Jahresbilanzverfahren nach DIN 4108-6/ENEV lieferbar.

Auch mit Programmen zur detaillierten thermischen Gebäudesimulation, die Simulationsmethoden (Finite Elemente, Finite Differenzen, etc.) z.B. zur detaillierten Modellierung von thermischen Flüssen oder Strömungssimulationen anbieten, kann man als Planer bei Bedarf eine präzise Detailanalyse von

Wärmebrücken oder anderweitigen Schwachstellen vornehmen. Ebenfalls möglich ist die Anwendung von Gebäudesimulationsprogrammen, mit denen eine detaillierte thermische Untersuchung in Abhängigkeit verschiedener Wärmezonen durchgeführt werden kann.

➔ Onlineinformation der Energieeinsparverordnung  
[www.enev-online.de](http://www.enev-online.de)

➔ U.S. Department of Energy  
[www.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory](http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory)

#### WÄRMESPEICHERUNG

Die Bauteilmasse kann zur Speicherung von Energiemengen genutzt werden. Zwei Prinzipien sind zu unterscheiden:

- Dem Raum wird bei Hitzeperioden Wärme entzogen, in Decken und Wänden gespeichert und in kälteren Perioden wieder abgegeben. (Sommerlicher Wärmeschutz)

- Solare Gewinne durch transparente Bauteile werden kurzfristig gespeichert und am Abend und in der Nacht wieder als Heizungsunterstützung abgegeben. Diese Wirkungsweise ist besonders im Frühling und Herbst effektiv und kann ca. 5% Heizenergie einsparen (gewollter Wärmeeingang). Aufgrund immer besserer Dämmung der Außenbauteile wird sich das Potential in Zukunft aber vermindern.

Die Wärmespeicherung zur Heizenergieeinsparung spielt eine untergeordnete Rolle. Für den sommerlichen Wärmeschutz ist die Speicherfähigkeit von Massebauteilen hingegen wichtig. Temperaturspitzen werden gedämpft und der Raum wird gegen Überhitzung geschützt. Im Vergleich dazu sind mit Sonnenschutzmaßnahmen aber größere Effekte in Bezug auf den sommerlichen Wärmeschutz zu erreichen.

➔ Handbuch der Gebäudetechnik - Band 2, W. Pistohl, Werner Verlag, 2000

➔ Bauökologie  
B. Schulze Darup, Bauverlag, 1996

# 4 Ausführungsplanung

In der Ausführungsphase werden die Konzepte aus der Entwurfsplanung präzisiert. Dazu gehören v.a. die Bauteiloptimierung, die konkrete Wahl der Baustoffe und Konstruktionen sowie deren Trenn- und Austauschbarkeit. Fragen zur Luftdichtheit sowie zu Wärmebrücken werden beantwortet. Abschließend werden hier Aspekte der Qualitätssicherung behandelt.

## 4.1 Nachhaltigkeit von Baustoffen und Konstruktionen

Die Präferenz für bestimmte Baustoffe und Konstruktionen ergibt sich insbesondere aus technischen Anforderungen, baurechtlichen Rahmenbedingungen, architektonischen Vorlieben und nicht zuletzt aus einem vorgegebenen Budget. In Zukunft werden immer mehr ökologische Aspekte in den Vordergrund rücken. Die im Folgenden dargestellte Übersicht soll dabei helfen, die ökologische Dimension im Planungsalltag berücksichtigen zu können. Dabei ist es wichtig, den gesamten Lebensweg der Konstruktion bzw. des Baustoffs zu betrachten. Die Intention des nachhaltigen Bauens ist nicht auf kurzfristige Betrachtungsweise angelegt. In der Baupraxis stehen aus nachvollziehbaren Gründen in erster Linie die Investitionskosten im Vordergrund. Entsorgungs- und Demontagekosten spielen bisher eine untergeordnete Rolle.

Vergleichende Betrachtungen von Konstruktionen oder Baustoffen machen nur Sinn, wenn sie auf eine gleiche, vorher definierte funktionale Einheit bezogen werden. Diese ist meist von Bauteil zu Bauteil unterschiedlich und gewöhnlich abhängig von der Funktion der Konstruktion.

Bei Baustoffen für Tragfunktionen sind etwa Träger mit gleicher Steifigkeit (EI, GI) zu vergleichen. Hingegen können Dämmungen aus unterschiedlichen Materialien nur sinnvoll verglichen werden, wenn ein einheitlicher Wärmedurchgangskoeffizient sowie eine gleiche Lebensdauer zugrunde gelegt werden. Die Wahl zugunsten des einen oder anderen Baustoffs darf die wesentlichen Eigenschaften der Konstruktion nicht nachteilig beeinflussen. Für eine Lebensdauerbetrachtung sind 3 Phasen zu berücksichtigen:

### • Herstellung

Alle Umweltbelastungen, die vom Abbau der Rohstoffe bis zum endgültigen Produkt entstehen, werden hier aufsummiert. Enthalten sind z.B. Transport- und Veredelungsprozesse, Emissionen der Rohstoffgewinnung, Abfallaufkommen und Energieverbrauch bei der Produktion. Die Betrachtung endet mit dem fertigen Baustoff am Werkstor. Transportprozesse vom Werk zur Baustelle sind nicht berücksichtigt worden (siehe Kap. 4.1.2). Für Konstruktionen, bei denen Einzelbestandteile im Laufe der Gesamtlebensdauer ausgetauscht werden müssen, sind diese entsprechend mehrfach einbezogen worden.

### • Nutzung

Die Umweltbelastungen in der Nutzungsphase sind maßgeblich durch die Aufwendungen für die Instandhaltung beeinflusst. Hauptparameter ist dabei die Lebensdauer von Baustoffen, welche die Wartungs-, Inspektions- und Instandsetzungsintervalle bestimmt. Bei Konstruktionen muss auch der Aspekt der Schadensanfälligkeit und die Möglichkeit, Reparaturen einfach durchzuführen, in die Betrachtung mit einfließen.

### • End-of-life

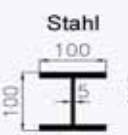
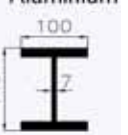
Am Ende der Lebensdauer sind zwei Aspekte im Hinblick auf die Nachhaltigkeit von Bedeutung. Zum einen die Recyclingfähigkeit und zum anderen die Entsorgungseigenschaften der Baustoffe. Optimalerweise sollten die Stoffe recycelt werden können. Grundvoraussetzung dafür ist eine gute Separierbarkeit von anderen Bauteilschichten sowie eine Eingliederung in Stoffkreisläufe. Nicht mehr recyclingfähige Stoffe können entweder energetisch verwertet oder deponiert werden.

Dämmstoffe	Basisdaten		Ökobilanz Herstellung						
	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	Funktionale Einheit: 1m <sup>2</sup> Dämmstoff, R-Wert (d/λ) von 2,5 m <sup>2</sup> K/W, Lebensdauer 45 Jahre						
			KEA ne [MJ]	KEA e [MJ]	AP [g SO <sub>2</sub> ]	GWP [kg CO <sub>2</sub> ]	NP [g PO <sub>2</sub> ]	POCP [g eth]	ODP [10 <sup>-6</sup> kg CFC11]
Polystrol-Hartschaum (EPS)	30	0,035	393	2,5	124,2	17,9	7,65	44,74	1,20
Glaswolle	40	0,040	175	21,5	27,1	5,8	4,78	2,20	0,81
Steinwolle	50	0,035	92	5,8	36,8	6,1	4,19	1,96	0,25
Zellulose	50	0,040	36	13,3	16,1	1,2	1,43	0,64	0,18

Literatur, Daten: [1], [2]

Holzwerkstoffe	Basisdaten		Ökobilanz Herstellung						
	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Funktionale Einheit: 1m <sup>2</sup> Holzwerkstoff, Anwendung im Innenraum						
			KEA ne [MJ]	KEA e [MJ]	AP [g SO <sub>2</sub> ]	GWP [kg CO <sub>2</sub> ]	NP [g PO <sub>2</sub> ]	POCP [g eth]	ODP [10 <sup>-6</sup> kg CFC11]
Nadelholz, sägerau, kammergetrocknet	400-600	11500 (MS13)	1266	10143	456	-748	81	40	6,5
Brettschichtholz	400-500	12000 (MS13)	4005	13125	1241	-614	195	93	17,6
Flachpressplatte (OSB) d=19mm	500-750	2800 (E <sub>BZ</sub> )	8187	14354	1537	-590	227	197	14,0
Dreischichtplatte d=19mm	400-500	8000 (E <sub>BZ</sub> )	5482	11820	1691	-546	245	133	22,6

Literatur, Daten: DIN 1052, EC 5

Metalle	Querschnitt		Ökobilanz Herstellung <sup>4</sup>						
			Träger l=1,0m, m <sub>Alu</sub> =10,4 kg/m; m <sub>Stahl</sub> =18,8 kg/m, Ei=konst, Einsatz in der Gebäudehülle, Lebensdauer 80a						
			KEA ne [MJ]	KEA e [MJ]	AP [g SO <sub>2</sub> ]	GWP [kg CO <sub>2</sub> ]	NP [g PO <sub>2</sub> ]	POCP [g eth]	ODP [10 <sup>-6</sup> kg CFC11]
Träger Ei=konst									
Aluprofil, eloxiert R=0,945			321	45	92	20	7	6	1,6
Aluprofil, pulverb. R=0,90			397	63	118	25	10	8	1,9
Stahlprofil, verzinkt R=0,92			422	28	121	20	14	7	1,4
Stahlprofil, pulverb. R=0,90			419	27	121	20	14	7	1,4
Träger Gi=konst									
Aluprofil, eloxiert R=0,945			269	37	77	17	6	5	1,4
Aluprofil, pulverb. R=0,90			331	52	97	21	8	7	1,6
Stahlprofil, verzinkt R=0,92			407	27	116	19	14	7	1,4
Stahlprofil, pulverb. R=0,90			406	26	118	19	14	7	1,4
1kg Primäraluminium			161	39	56	11,6	5	5	0,67
1kg Sekundäraluminium	$\rho=2700 \text{ kg/m}^3$	$\lambda=200 \text{ W/mK}$	22	2	6	1,3	0	0	0,12
1kg Aluprofil, blank, Primäralu.			180	41	60	12,5	5	5	0,73
1kg Primärstahl			11	0,36	5	0,725	2	1	0,029
1kg Sekundärstahl	$\rho=7850 \text{ kg/m}^3$	$\lambda=60 \text{ W/mK}$	23	1,58	6	1,1	1	0	0,076
1kg Walzprofil, blank, Primärst.			17	0,63	7	1,1	2	1	0,07

4) Die Träger sind unter der Berücksichtigung der Recyclingeigenschaften (R) von Alu und Stahl bewertet worden (R=0,9 bedeutet: 90% Sekundär- und 10% Primäraluminium). Bei den Grundprozessen ist kein Recycling berücksichtigt. Bei der Generierung von eigenen Werten muß die Recyclingquote eingerechnet werden. Für Beschichtungen wird auf [5] verwiesen. Literatur, Daten: [5]

Glas	Ökobilanz Herstellung							
	Funktionale Einheit: 1 m <sup>2</sup> Verglasung, U-Wert= 0,7 W/m <sup>2</sup> K (normiert nach DIN EN 673), LD 30 a							
	KEA ne [MJ]	KEA e [MJ]	AP [g SO <sub>2</sub> ]	GWP [kg CO <sub>2</sub> ]	NP [g PO <sub>2</sub> ]	POCP [g eth]	ODP [10 <sup>-6</sup> kg CFC11]	
Zweifachverglasung (Typ 1) 2 x 3 mm SPG, unbeschichtet, ohne Gasfüllung, 15 kg/m <sup>2</sup>	U=0,7 W/m <sup>2</sup> K (normiert)	2052	101,52	1404	83	108	43	13
Zweifachverglasung (Typ 2) beschichtet mit Argon Gasfüllung, 15kg/m <sup>2</sup>	U=0,7 W/m <sup>2</sup> K (normiert)	349	18	238	15	19	9	2
Dreifachverglasung beschichtet, mit Argon Gasfüllung, 20kg/m <sup>2</sup>	U=0,7 W/m <sup>2</sup> K	283	15	190	12	15	6	2
Verglasung Typ 1	U=3,5 W/m <sup>2</sup> K	190	9,4	130	7,65	10	4	1,2
Verglasung Typ 2	U=1,1 W/m <sup>2</sup> K	205	10,8	140	8,74	11	5	1,27

Literatur, Daten: [5]

Abb. 4-1 Nachhaltigkeitsmatrix Baustoffe/Konstruktionen

Nutzung		End-of-life		Kosten <sup>1</sup>	Bewertung
LD <sup>2</sup> [a]	Instandhaltung	Recycling	Entsorgung	[€/m <sup>2</sup> ]	Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen verursachen bei der Produktion die geringsten Umweltbelastungen, sind aber auch um 1/3 teurer. Mineralwolle ist relativ billig und auch bei der ökologischen Betrachtung Hartschäumen vorzuziehen. Die Verwendung von EPS ist im Sinne der Nachhaltigkeit nur bei mangelnden Alternativen (Perimeterdämmung) anzuraten. Recycling ist meist schwierig und an viele Voraussetzungen geknüpft.
45	abh. vom Einsatz	möglich	Verbrennung, unverrottbar	12,0	
45		kaum möglich	Deponie, unverrottbar	10,0	
45		kaum möglich	Deponie, unverrottbar	10,0	
45		gut möglich	Verbrennung	15,0	

Nutzung		End-of-life		Kosten <sup>1</sup>	Bewertung
LD <sup>2</sup> [a]	Instandhaltung	Recycling	Entsorgung	[€/m <sup>2</sup> ]	Die Materialien lassen sich nur bedingt direkt miteinander vergleichen. Die Werte dienen eher als Grundlage für eigene Betrachtungen. Zu erkennen ist aber, dass das sägeraue NH die deutlich geringsten Umweltbelastungen verursacht. Demnach ist womöglich Holz zu verwenden, welches wenig industriell veredelt wurde. Instandhaltungsmaßnahmen im Innenraum sind weitestgehend unnötig, eine Separation bei Verwendung von Schraubverbindungen für Recycling problemlos.
80	gering;	Vielfältige Recyclingmöglichkeiten in Abhängigkeit der Altholzkategorie	Thermische Verwertung möglich (Altholzkate- gorien AI - AIV)	500,0	
80	Maßnahmen abh. von Feuchteverhältnissen, Witterungsschutz, Holzschutz, Bauteil ect.			600,0	
40				210,0	
40	Sichtprüfung alle 2 - 10a			789,0	

Nutzung		End-of-life		Kosten <sup>1</sup>	Bewertung
LD <sup>2</sup> [a]	Instandhaltung	Recycling	Entsorgung	[€/m]	In einer Lebenszyklusbetrachtung hat die Verwendung von Aluminium keine ökologischen und ökonomischen Nachteile gegenüber Stahl. Aluminium kann daher als konstruktives Bauteil für folgende Anwendungsbereiche besonders empfohlen werden: Belastungen in Form von Eigengewicht und geringer Zusatzlast, multifunktionale Anforderungen, lange Lebensdauer mit minimalem Wartungsaufwand (z.B. Dachbleche), aggressive Umgebungsbedingungen (z.B. Meerklima), hohe Anforderung an Energieadsorption und Wärmeleitfähigkeit (z.B. Solarkollektoren, Photovoltaiksysteme), schwer zugängliche Bauteile sowie bewegliche Elemente (z.B. Sonnenschutz). Bei hohen Lasten und gleichzeitig großen Spannweiten, Gewichtsverhältnissen von Aluminium- zu Stahlkonstruktion größer als ca. 50% und Recyclingrate kleiner als ca. 80% sollte der Einsatz von Aluminium hinterfragt werden.
80	praktisch wartungsfrei	Alle Träger können rezykliert werden	(Deponierung)	52,0	
80	neuer Anstrich nach 35a			52,0	
80	neuer Anstrich nach 38a			38,0	
80	neuer Anstrich nach 25a			38,0	
80	praktisch wartungsfrei	Alle Träger können rezykliert werden	(Deponierung)	43,5	
80	neuer Anstrich nach 35a			43,5	
80	neuer Anstrich nach 38a			35,4	
80	neuer Anstrich nach 25a			35,4	
-	abh. vom Einsatz	problemlos	(Deponierung)	-	

Nutzung		End-of-life		Kosten <sup>1</sup>	Bewertung
LD <sup>2</sup> [a]	Instandhaltung	Recycling	Entsorgung	[€/m <sup>2</sup> ]	Um die Umweltauswirkungen aus der Produktion von verschiedenen Verglasungsarten im Verhältnis zum erstellten U-Wert zu beurteilen, müssen die Scheiben auf einen identischen Wärmedurchgangskoeffizienten bezogen werden (Funktionale Einheit). Anschaulich läßt sich die Normierung durch eine Dopplung von schlechten Scheiben zu einer hochwertigen Verglasung darstellen. In der Ökobilanz scheidet die Dreifachverglasung am besten ab, beim Preis die Verglasung Typ 2. Aus dem Vergleich ist nicht zu entnehmen, welche U-Werte für ein Gebäude zu empfehlen sind (siehe hierzu Kap. "Energiekonzept").
30	Die Verglasung ist bis auf die Reinigung praktisch Wartungs- und Instandsetzungsfrei	idealer Recyclingbaustoff, gut separierbar, praktisch ohne Qualitätsverlust wiederverwertbar	nicht brennbar, Deponierung umweltneutral möglich	421,0	
30				78,0	
30				120,0	
30				39,0	
30				46,0	

Beton			Ökobilanz Herstellung						
			Σ bez. auf funktionale Einheit: 1 m <sup>3</sup> Beton C30/37, Lebensdauer 80 a, Konsistenzklasse F3						
Menge	Rezeptur	KEA ne	KEA e	AP	GWP	NP	POCP	ODP	
[kg/m <sup>3</sup> ]		[MJ]	[MJ]	[g SO <sub>2</sub> ]	[kg CO <sub>2</sub> ]	[g PO <sub>4</sub> ]	[g eth]	[10 <sup>-6</sup> kg CFC11]	
Beton 1	Zement	1170	92	404	282	63	14,3	7,6	
CEM I 32,5 R, natürliche	Wasser	1	0	0	0	0	0,0	0,0	
Gesteinskörnung	Zuschlag	96	12	65	4	15	2,0	0,5	
w/z=0,50	Verflüssiger	29	1	6	1	0	12,2	0,0	
w/b=0,50	Summe Beton	1296	105	475	288	78	28,5	8,1	
Beton 2	Zement	1047	90	348	243	54	12,4	6,6	
CEM I 42,5 R, ABM, natürliche	Altbetonmehl	31	2	3	2	0	0,1	0,1	
Gesteinskörnung	Wasser	1	0	0	0	0	0,0	0,0	
w/z=0,59	Zuschlag	96	12	65	4	15	1,6	0,5	
w/b=0,50	Verflüssiger	38	2	8	1	0	16,2	0,0	
	Summe Beton	1214	105	424	251	69	30,3	7,2	
Beton 3	Zement	994	78	343	240	54	12,2	6,5	
CEM I 32,5 R, ABM, natürliche	Altbetonmehl	31	2	3	2	0	0,1	0,1	
Gesteinskörnung	Wasser	1	0	0	0	0	0,0	0,0	
w/z=0,50	Zuschlag	100	12	67	5	16	2,0	0,5	
w/b=0,43	Verflüssiger	114	5	24	4	2	48,6	0,1	
	Summe Beton	1240	97	437	250	72	62,9	7,2	

Literatur, Daten: [6], [7]

Steildächer (ohne Dachhaut)		Ökobilanz Herstellung							
		Einzelpos. mit var. LD: D=Dämmung (40a); R=Rest (40a); H=Holz (80a); B=Beton (80a) Σ bez. auf Funktionale Einheit <sup>3</sup> : 1m <sup>2</sup> Dachfläche, U-Wert von 0,23 W/m <sup>2</sup> K, Lebensdauer 80 Jahren							
Querschnitt		KEA ne	KEA e	AP	GWP	NP	POCP	ODP	
		[MJ]	[MJ]	[g SO <sub>2</sub> ]	[kg CO <sub>2</sub> ]	[g PO <sub>4</sub> ]	[g eth]	[10 <sup>-6</sup> kg CFC11]	
Zwischensparrendämmung Gipskarton 1,25cm, Sparren 8/18, Glaswolle 18 cm, PE-Folie		D: 284	35	44	9,5	8	3,5	1,31	
		R: 86	5	19	4,6	3	0,7	0,44	
		H: 19	165	12	-14	3	0,7	0,11	
		Σ	759	245	138	14,2	25	9,1	3,61
Aufsparrendämmung Sparren 8/16, Bohlen 3,5 cm, PE- Folie, Glaswolle 16 cm, KH 4/8		D: 267	33	41	8,9	7	3,3	1,23	
		R: 19	0	5	0,6	0	0,2	0,00	
		H: 61	540	40	-44	9	2,4	0,35	
		Σ	633	606	132	-25	23	9,4	2,81
Massivdach Innenputz 1,5 cm, Stahlbeton 16 cm, Sparren 8/18, Glaswolle 18cm, PE-Folie		D: 284	35	44	9,5	8,00	3,50	1,31	
		R: 61	18	16	5,6	2	0,7	0,27	
		H: 19	165	12	-13,6	3	0,7	0,11	
		B: 212	17	82	42,4	15	2,7	1,36	
		Σ	921	288	214	59	38	11,8	4,63

Literatur, Daten: [3], [4]





Transparente Aussenwände		Ökobilanz Herstellung							
		Einzelpos. mit var. Lebensdauer: G=Glas (30a); D=Dämmung (45a); A=AluKonstruktion (90a) Σ bez. auf funktionale Einheit <sup>3</sup> : 1m <sup>2</sup> Fassade, U-Wert von 1,2 W/m <sup>2</sup> K, Lebensdauer 80 a							
Querschnitt		KEA ne	KEA e	AP	GWP	NP	POCP	ODP	
		[MJ]	[MJ]	[g SO <sub>2</sub> ]	[kg CO <sub>2</sub> ]	[g PO <sub>4</sub> ]	[g eth]	[10 <sup>-6</sup> kg CFC11]	
Fassadenkonstruktion A Durchlaufträger, Wärmeschutzglas U~1,1 W/mK, Pfostenabstand 1m, Riegelabstand 4,7m, Aluprofile eloxiert, Dichtung EPDM, Silikon Gesamtmasse: 43,2 kg/m <sup>2</sup>		G: 576	27	350	25	30	10	0,4	
		D: 113	7,5	21	4	2	6	1,86	
		A: 282	38,5	79	17	6	5	1,4	
		Σ	2121	131	1070	94	91	48	7
Fassadenkonstruktion B Durchlaufträger, Wärmeschutzglas U~1,1 W/mK, Pfostenabstand 1m, Riegelabstand 4,7m, Aluprofile eloxiert, Dichtung EPDM, Silikon Gesamtmasse: 38,8 kg/m <sup>2</sup>		G: 576	27,4	350	25	30	10	0,4	
		D: 236	3,1	65	10	4	24	0,4	
		A: 138	19,3	40	9	3	2	0,7	
		Σ	2306	101	1148	102	94	93	3
Fassadenkonstruktion C Gerberträger, Wärmeschutzglas U~1,1 W/mK, Pfostenabstand 2m, Riegelabstand 4,3m, Aluprofile eloxiert, Dichtung EPDM, EPS Gesamtmasse: 42,5 kg/m <sup>2</sup>		G: 665	31,6	400	29	30	10	0,4	
		D: 139	2,6	34	6	2	13	0,4	
		A: 92	12,7	26	6	2	2	0,5	
		Σ	2239	104	1185	99	87	63	3

Literatur, Daten: [5]


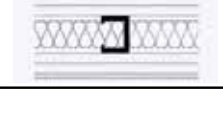
Nutzung		End-of-life		Kosten <sup>1</sup>	Bewertung
LD [a]	Wartung/ Instandhaltung	Recycling	Entsorgung	[€/m <sup>2</sup> ]	Dargestellt sind die Auswirkungen einer 15 %igen Substitution des Zements durch Altbetonmehl (ABM) gegenüber der Referenzmischung 1. Die Festigkeitsverluste, die durch die Verwendung von ABM auftreten, werden im Beton 2 durch einen feiner aufgemahlten Zement und bei Beton 3 durch einen niedrigeren w/b-Wert ausgeglichen, sodass die Festigkeitsklasse weiterhin identisch ist. Durch den Einsatz von ABM können die Umweltbelastungen für die Produktion um einen einstelligen Prozentbereich reduziert werden. Hingegen bringt die Substitution von natürlicher Körnung durch recycelten Zuschlag keine einheitliche Verbesserung der Ökobilanz [6]. Es zeigt sich, dass der Betonverflüssiger einen dominierenden Einfluss auf das bodennahe Ozonbildungspotential hat. Bei einem Massenanteil von unter 1% an der gesamten Rezeptur sorgt er für fast 80 % der Umweltbelastungen (Beton 1).
80	abhängig vom Bauteil	Recycling nach Brech-, Sieb- und Reinigungsprozessen gut möglich	verunreinigt: Inertstoffdeponie	47,4	
80				noch keine Erfahrung	
80			48,1		
80					
80					
80					
80					
80					
80					
80					
80					
80					
80					

Nutzung		End-of-life		Kosten <sup>1</sup>	Bewertung
LD <sup>2</sup> [a]	Instandhaltung	Recycling	Entsorgung	[€/m <sup>2</sup> ]	Die Aufsparrendämmung ist im Vergleich zur Zwischensparrendämmung etwas besser zu bewerten, obwohl mehr Ressourcen verbraucht werden. Dies ergibt sich aus dem niedrigeren Preis und den Vorteilen bei Instandhaltung und Recycling. Der negative Wert bei GWP ist auf den vermehrten Einsatz von Holz zurückzuführen. Die Datenbank ecoinvent weist Holz einen negativen GWP-Wert zu (d.h. nachwachsende Rohstoffe entziehen der Umwelt Treibhausgas), was heftig diskutiert wird. Beim Massivdach müssen sicherlich die guten Eigenschaften in Bezug auf Wohnkomfort, Schallschutz und sommerlicher Wärmeschutz mit in eine gesamtheitliche Betrachtung einfließen.
40	Reparaturen einfach, hohes Schadenspotential (Luftdichtheit, Anschlüsse)	Gute Separierbarkeit; Down-/bzw. Recycling möglich; Problem: Gipskartonplatten (GKP)	Eine Trennung von deponier- und verbrennungsfähigen Stoffen ist vorzunehmen, Einzelbestandteile sind problemlos zu entsorgen	154,0	
40					
80					
80					
40	Klare Trennung von Trag- und Dämmfunktion → Reparaturen einfach, geringes Schadenspotential	Sehr gute Separierbarkeit; Down-/bzw. Recycling möglich; Problem: GKP	Eine Trennung von deponier- und verbrennungsfähigen Stoffen ist vorzunehmen, Einzelbestandteile sind problemlos zu entsorgen	127,0	
40					
80					
80					
40	Reparaturen einfach, geringes Schadenspotential, hohes Wärmespeichervermögen (Som. Wärmeschutz), guter Schallschutz	Bis auf den Putz und den Beton alles mechanisch verbunden und gut separierbar; Down-/bzw. Recycling möglich; Problem: GKP	Eine Trennung von deponier- und verbrennungsfähigen Stoffen ist vorzunehmen, Einzelbestandteile sind problemlos zu entsorgen	251,0	
40					
80					
80					

Nutzung		End-of-life		Kosten <sup>1</sup>	Bewertung
LD <sup>2</sup> [a]	Instandhaltung	Recycling	Entsorgung	[€/m <sup>2</sup> ]	Fassade A ist eine "Struktural Sealant Glazing" Konstruktion, die aufgrund fehlender Klemmleisten und Abdeckprofile eine hohe Transparenz aufweist. Fassade B gewährleistet die Aufnahme von großen Trägheitsmomenten senkrecht zur Fassadenebene. Die Verglasung ist durch Andruckprofile mit dem Pfosten verschraubt. Fassadenkonstruktion C ist im Aufbau mit Variante B zu vergleichen, allerdings erfolgt hier die Bemessung an dem statischen System eines Gerberträgers. Basierend auf einer Recyclingrate von eloxiertem Aluminium von 94,5% ergibt die ökologische Bilanzierung keine signifikanten Unterschiede bei den drei untersuchten Konstruktionen. Große Abweichungen sind konstruktionsbedingt beim Preis festzustellen. Dabei ist Fassade A aufgrund der überdurchschnittlichen Transparenz deutlich teurer. Alle Konstruktionen sind gut separier- und recyclebar.
30	Wartung ist nur in Form von Reinigung nötig  Austausch von Verglasung, Dicht- und Dämmmaterial nach 30 und 60 Jahren	Sehr gute Separierbarkeit  Alu und Glas können recycelt werden, Dichtungsmaterial wird gesondert entsorgt	Einzelbestandteile sind problemlos zu entsorgen	700,0	
45				450,0	
90					
80				350,0	
30					
45					
90					
80					

Massive Aussenwände	Querschnitt	Ökobilanz Herstellung						
		Einzelpos. mit var. Lebensdauer: I=Innenputz; B=Beton; Z=Ziegel; SW=Steinwolle-Dämmung; ZPM=Ziegel/Außenputz/Mauermörtel; KL=Klinker inkl. Verankerungen; F-H=Faserzementplatten+Halteungen; A/M=Außenputz/Mörtel Σ bez. auf funktionale Einheit <sup>3</sup> : 1m <sup>2</sup> Fassade, U-Wert von 0,33 W/m <sup>2</sup> K, Lebensdauer 80 Jahre						
		KEA ne	KEA e	AP	GWP	NP	POCP	ODP
		[MJ]	[MJ]	[g SO <sub>2</sub> ]	[kg CO <sub>2</sub> ]	[g PO <sub>4</sub> ]	[g eth]	[10 <sup>-6</sup> kg CFC11]
<b>Außenwandkonstruktion 1</b> 15 cm Beton C20/25 mit 11 cm SW-Dämmung 040 Flächenbez. Masse: 398 kg/m <sup>2</sup>		I: 14 B: 201 SW: 46 A/M: 25 Σ 418	0,6 16,5 2,9 12,1 57,8	2 79 18 7 150	0,7 40,6 3,0 2,8 57,6	0,3 13,9 2,1 1,1 23,1	0,0 2,6 1,0 0,3 6,0	0,1 1,3 0,1 0,2 2,2
<b>Außenwandkonstruktion 2</b> 36,5 cm Ziegel mit 8 cm SW-Dämmung 040 Flächenbez. Masse: 395 kg/m <sup>2</sup>		I: 14 Z: 957 SW: 33 A/M: 49 Σ 1203	1 102 2 24 171	2 243 13 14 319	0,7 77,3 2,2 5,5 99,3	0,3 34,4 1,5 2,2 44,9	0,0 15,9 0,7 0,6 19,4	0,1 5,7 0,1 0,3 7,0
<b>Außenwandkonstruktion 3</b> Zweischalige Ziegel-/Klinkerwand (24,0cm/11,5cm) mit 9 cm SW-Zwischendämmung 040 Flächenbez. Masse: 481 kg/m <sup>2</sup>		I: 14 SW: 35 ZPM: 685 KL: 613 Σ 1361	1 2 94 65 162	2 14 175 156 350	0,7 2,3 57,1 49,3 110	0,3 1,6 25,1 22,3 49,6	0,0 0,8 11,1 10,4 22,3	0,1 0,1 4,1 3,7 8,1
<b>Außenwandkonstruktion 4</b> 15 cm Ziegel mit SW-Dämmung 040 (10 cm) und Faserzementplatten Flächenbez. Masse: 167 kg/m <sup>2</sup>		I: 14 SW: 124 ZPM: 409 F-H: 299 Σ 1566	1 8 65 129 431	2 50 105 77 447	0,7 8,2 34,9 16,1 101	0,3 5,7 15,3 9,3 55,8	0,0 2,7 6,6 7,1 32,7	0,1 0,3 2,5 1,2 6,9

Literatur, Daten: [6]

Innenwände	Querschnitt	Ökobilanz Herstellung						
		Einzelpos. mit var. Lebensdauer: I=Innenputz; K=KS-Stein; M=Mauermörtel; SW=Steinwolle; GKP=Gipskartonplatten; MS=Trockenbauprofile (Metall) Σ bez. auf funktionale Einheit <sup>3</sup> : 1m <sup>2</sup> Wand, Lebensdauer 80 Jahre						
		KEA ne	KEA e	AP	GWP	NP	POCP	ODP
		[MJ]	[MJ]	[g SO <sub>2</sub> ]	[kg CO <sub>2</sub> ]	[g PO <sub>4</sub> ]	[g eth]	[10 <sup>-6</sup> kg CFC11]
<b>Massivkonstruktion</b> Kalksandsteinmauerwerk (11,5 cm) beidseitig verputzt		I: 28 K 293 M: 28 Σ 376	1,2 86,3 13,5 102,2	4,4 55,7 7,7 72,2	1,4 9,1 3,2 15,1	0,5 7,8 1,3 10,1	0,2 4,9 0,3 5,6	0,2 2,6 0,2 3,1
<b>Leichtkonstruktion</b> Gipskarton-Metall-Ständer-Wand mit doppelter Beplankung und SW-Dämmung 040 (d <sub>ges</sub> =15 cm)		GKP: 264 MS 60 SW: 41 Σ 733	17,1 5,2 2,6 49,9	52,4 22,4 16,7 183,0	16,2 3,4 2,7 44,6	8,2 4,1 1,9 28,5	2,2 2,2 0,9 10,5	1,8 1,8 0,1 7,4

Literatur, Daten: [6]

- 1) Die Kosten sind Herstellungskosten (ohne Wartung) incl. x-maliger Erneuerung von Einzelbestandteilen bezogen auf die funktionale Einheit (bei Konstruktionen incl. Montage). Eine Allgemeingültigkeit ist aufgrund vieler variabler Parameter nicht gegeben.
- 2) Mittlere Lebensdauer (LD) der Einzelwerkstoffe bzw. Einzelschichten. Falls die LD der funktionalen Einheit größer ist, sind Instandsetzungszyklen der Einzelschichten in der Ökobilanz berücksichtigt.
- 3) Bei Konstruktionen ergibt sich die Σ der Umweltbelastungen aus den Einzelschichten unter Berücksichtigung der Lebensdauer.



Nutzung		End-of-life		Kosten <sup>1</sup>	Bewertung
LD <sup>2</sup> [a]	Instandhaltung	Recycling	Entsorgung	[€/m <sup>2</sup> ]	Von den vier untersuchten Außenwandkonstruktionen schneidet bei der Ökobilanz der Wandaufbau mit der Betontragschicht am besten ab. Die Umweltindikatoren sind hier um den Faktor 2-3 geringer. Bei der Konstruktion 2 schlägt besonders das Brennen der Ziegel negativ zu Buche. Der zweischalige Aufbau hat eine um 20% größere Masse, was dementsprechend höhere Umweltauswirkungen nach sich zieht. Bei Wandaufbau 4 resultieren die relativ schlechten Werte u. a. aus der niedrigen Lebensdauer der Wetterschicht, wodurch eine 2-malige Erneuerung bezogen auf die Gesamtlebensdauer von 80 Jahren nötig ist. Durch die Verwendung von dauerhaften Materialien wie Kupfer, Aluminium oder Schieferplatten kann dort eine deutliche Reduktion erreicht werden. Die schlechte Separierbarkeit des WDVS's (Wand 1+2) macht Recycling extrem aufwändig und ist deshalb negativ zu bewerten. Der zweischalige Aufbau ist im Preis min. 30 % billiger als die anderen Varianten. Insgesamt betrachtet sind bei einer Systemscheidung noch weitere Parameter wie architektonische Aspekte, bauphysikalische und statische Kenngrößen maßgebend, sodass eine vollständige Vergleichbarkeit der Konstruktionen nicht gewährleistet ist.
40	Reinigung und Anstrich nach jeweils 20 Jahren	Schlechte Separierbarkeit der Dämmschicht, Recycling der Einzelbestandteile möglich	verunreinigt: Inertstoffdeponie	399,0	
80					
30					
30					
80	Reinigung nach 20 Jahren, großes Schadenspotential bei unsorgfältiger Planung und Ausführung	Mit einigem Aufwand sind alle Bestandteile gut zu separieren, Recycling möglich	verunreinigt: Inertstoffdeponie	230,0	
40					
80					
80					
40	Reinigung nach 20 Jahren, kleines Schadenspotential bei unsorgfältiger Planung und Ausführung, Reparaturen einfach			418,0	
30					
80					
30					
80					

Nutzung		End-of-life		Kosten <sup>1</sup>	Bewertung
LD <sup>2</sup> [a]	Instandhaltung	Recycling	Entsorgung	[€/m <sup>2</sup> ]	Deutlich zu erkennen ist, dass die Konstruktion aus KS-Steinen in allen Wirkungskategorien besser abschneidet als die Konstruktion aus GK-Platten. Dies liegt u. a. an der angenommenen Lebensdauer von 80 Jahren für das KS-Mauerwerk gegenüber 40 Jahren für die gesamte GK-Wand. Die Umweltauswirkungen der Massivkonstruktion sind daher um einen Faktor von etwa 2-3 geringer als die der GK-Wand. Diese Differenzen bei den Auswirkungen egalalisieren sich jedoch selbst bei der Annahme einer Lebensdauer von 50 oder 60 Jahren nur zum Teil.
40	gering	Putz und Mauerwerk können nur schwer getrennt werden, Recycling möglich	verunreinigt: Inertstoffdeponie	82,1	
80					
80					
80					
40	ggf. Anstrich, kleines Schadenspotential, Reparaturen einfach	Trennung der einzelnen Bestandteile mit hohem Aufwand möglich		131,6	
40					
40					
80					

➡ [1] Dämmstoffe im Hochbau, Hrsg.: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 2000  
[www.agsn.de](http://www.agsn.de)

➡ [2] Ökologie der Dämmstoffe, Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie, Springer-Verlag, 2000

➡ [3] Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten, Hrsg.: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (SIA), 1995

➡ [4] Ökologischer Bauteilkatalog, Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie, Springer-Verlag, 1999

➡ [5] Nachhaltiges Bauen mit Aluminium und/oder Glas, Technische Universität München, 2005  
[www.sfm-bauwerke.de](http://www.sfm-bauwerke.de)

➡ [6] Nachhaltige Kreislaufführung mineralischer Baustoffe, Technische Universität München, 2006  
[www.sfm-bauwerke.de](http://www.sfm-bauwerke.de)

➡ [7] Nachhaltige Verwertung von Betonbrechsand als Betonzusatzstoff, Technische Universität München, 2006  
[www.sfm-bauwerke.de](http://www.sfm-bauwerke.de)

## 4.1.1 Recycling/Verwertung/Wiederverwendung

Nach der Abfallvermeidung ist das Recycling von Produkten und Materialien der zweitwichtigste Grundsatz der Kreislaufwirtschaft. Abb. 4-2 gibt einen Überblick der verschiedenen Recyclingarten und eine Priorität im Sinne der Nachhaltigkeit.

Das Ziel des Recyclings ist eine hochwertige Wiederverwendung von Ressourcen und ein geschlossener Stoffkreislauf. Im Baubereich sind die Möglichkeiten für die Wieder- bzw. Weiterverwendung von Produkten auf wenige Ausnahmen beschränkt

(Betonbauteile aus Plattenbauten). Breite Anwendung findet hingegen das Materialrecycling, insbesondere bei metallischen und mineralischen Baustoffen. Abb. 4-3 zeigt beispielhaft Möglichkeiten für die verschiedenen Baustoffe.

	Recyclingart	Recyclingform	Beispiele		Priorität im Sinne der Nachhaltigkeit
Recycling	Produktrecycling	Wiederverwendung	Pflastersteine als Pflastersteine	1	
		Weiterverwendung	Deckenbalken als Bohlen	2	
	Materialrecycling	Wiederverwertung	Betonbruch als Altbetonmehl	3	
		Weiterverwertung	Zellulose als Dämmstoff	4	

Abb. 4-2 Recyclingarten nach VDI 2243

Weitere Informationen zur Wiederverwendung und Verwertung sowie dem Einsatz von Rezyklaten können folgenden Verweisen entnommen werden.

➔ Wiederverwendung und Recycling im Hochbau, W. Willkomm, T. Schütze, Hrsg.: Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW, 2000

➔ Recyclingpraxis Baustoffe, G. Kohler, Verlag TÜV Rheinland, 1997

Bodenaushub stellt mengenmäßig den größten Posten der Baureststoffe dar. Derzeit wird dieser oft noch auf Depo-nien oder in Gruben oder Brüchen entsorgt, dort entweder beseitigt oder verfüllt. Eine möglichst hochwertige Verwendung schont nicht nur die endlichen Lagerstätten von Steinen und Erden sondern minimiert umweltschädliche Transportwege mit hohen Massen. Behandeln vor Ablagern ist der zentrale Grundsatz. In geeigneten Bodenbehandlungsanlagen werden Böden soweit aufbereitet, dass sie nach Möglichkeit vor Ort auf der Bau-

stelle wieder eingebaut oder in ande-ren Baumaßnahmen z.B. im Wegebau verwendet werden können. Die Menge an schadstoffbelastetem und teuer zu entsorgendem Bodenaushub kann teilweise durch planerische Maßnah-men bereits im Vorfeld der Baumaß-nahme reduziert werden. Auskünfte über die Bodenverhältnisse erteilen die zuständigen Kreisverwaltungsbe-hörden bzw. Landratsämter, sowie das Landesamt für Umwelt (LfU). Zur Reduktion der Mengen an kontami-niertem Aushub besteht die Möglich-keit, die Gebäudemaße bzw. -geome-

trie und den Grundriss entsprechend zu gestalten bzw. Zwischenschichten (Fundationsschichten) einzubauen. Zur ortsnahen Wiederverwendung erweist sich ein Entsorgungskonzept als sinnvoll, in dem die vorherrschende Entsorgungssituation recherchiert und mögliche Entsorger definiert werden. Örtliche Recycling- bzw. Erdaushub-börsen können hierbei nützliche Informationen über nachgefragtes Material liefern.

➔ Bodenaushub ist mehr als Abfall, Hrsg.: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1999 [www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de](http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de)

➔ Atlas der stationären Bodenbehandlungsanlagen in Bayern [www.bayern.de/lfu](http://www.bayern.de/lfu)

	Baustoff	Voraussetzung	Sammlung	Aufbereitung	Verwendung
Dämmstoffe	Polystrol-Hartschaum (EPS)	unverschmutzt	Sammelstellen für Styropor Verpackungen und EPS-Dämmstoffe	zerkleinern, granulieren	Sekundärrohstoff für Polystyrolprodukte aller Art Zuschlag zu Styroporbeton, Dämmputz u.ä.
		unverschmutzt		zerkleinern	
	Mineralwolle	unverschmutzt, ab 2000 produziert	Hersteller, Baustoffhändler	zerkleinern, granulieren	Sekundärrohstoff für Herstellprozess
	Zellulose	Schadensfrei, gering verschmutzt	Hersteller	zerkleinern	Sekundärrohstoff für Zellulosedämmstoffe
Aluminium	Reines Aluminium z.B. blank oder eloxiert	sauber, sortenrein	Schrottsammlung durch (Altmetall-) Handel und Verwertungsgesellschaften. Dann Transport zu Refinern bzw. Remelttern.	zerkleinern, umschmelzen	Neue Aluminiumprodukte aus Gußlegierungen (Refiner) und Knetlegierungen (Remelter)
	Aluminium incl. org. Bestandteilen z.B. pulverbeschichtet			zerkleinern, mechanische Trennung, Pyrolyse, umschmelzen	
	Aluminium in Verbindung mit anderen Metallen, z.B. verzinkt			zerkleinern, mechanische Trennung, umschmelzen	
Glas	Monolitische und Mehrscheibengläser	sauber, farblich sortiert, praktisch sortenrein	Sammlung durch lokale Verwerterbetriebe oder direkt durch die Flachglasrecycling-anlage	zerkleinern, Fremdstoffe separieren, einschmelzen	Volle Wiederverwertung; Sekundärrohstoff für Floatglas, Gussglas, Behälterglas, Dämmwolle etc.
Min. Baustoffe	Beton (bew./unbew.)	sortenrein mit Ziegel/ KS verunreinigt	Bauschuttverwerter	zerkleinern, Fremdstoffe separieren, klassieren	rezyklierte Gesteinskörnung in Beton
	Mörtel/Putz (Gips)	sortenrein	Gipskartonplattenhersteller	aufmahlen, brennen	Schüttmaterial im Wegebau Sekundärrohstoff für Gipsprodukte, Landwirtschaft
	Mörtel/Putz (Kalk)	sortenrein	Bauschuttverwerter	zerkleinern, klassieren	Schüttmaterial im Wegebau
	KS Stein	sortenrein	KS-Herstellwerk	zerkleinern, aufmahlen	Ausgangsstoff f. KS-Herstellung
	Ziegel/Klinker	sortenrein	Ziegelei	zerkleinern, aufmahlen	Ausgangsstoff f. Ziegel-Herstellung Bodensubstrat, Sportplatzbau
	Bauschutt mineralisch	verunreinigt	Bauschuttverwerter	zerkleinern, klassieren	Schüttmaterial im Wegebau
	Mauerwerk gemischt	verunreinigt	Bauschuttverwerter	zerkleinern, klassieren	Schüttmaterial im Wegebau
Holz	Holz, unbehandelt (A I)	praktisch sortenrein	Sammlung durch lokale Verwerterbetriebe	schreddern, separieren von metallischen Fremdstoffen	Stoffliche Verwertung als Zuschlag zu neuen Holzwerkstoffplatten, thermische Verwertung als Pellets o. Hackschnitzel
	Holz, behandelt, ohne Holzschutzmittel (A II+III)	praktisch sortenrein	Sammlung durch lokale Verwerterbetriebe	vorbrechen, separieren von Lackierungen/Beschichtungen, schreddern	Stoffliche Verwertung als Zuschlag zu neuen Holzwerkstoffplatten, thermische Verwertung als Hackschnitzel in zugelassenen Anlagen
	Holz mit Holzschutzmittel (A IV)	keine	Entsorgungsfirmen	zerkleinern	thermische Verwertung in genehmigungspflichtigen Anlagen, stoffliche Verwertung als Aktivkohle/Synthesegas
Sonstiges	Gipskarton	sortenrein	Hersteller, fast keine praktische Umsetzung	zerkleinern, trennen	Sekundärrohstoff für Gipsprodukte, Landwirtschaft
	Stahl	sortenrein, relativ sauber	Recyclingbetriebe, Verwerterbetriebe	evt. zerkleinern, einschmelzen im Lichtbogenofen	Rohstoff für Stahlerzeugung (Qualität nach Reinheit der Ausgangsstoffe)
	PE-Folie	relativ sauber	lokale Verwerterbetriebe	zerkleinern, reinigen, einschmelzen	Sekundärrohstoff für PE-Granulat, Weiterverwendung vielseitig z.B. PE-Rohre

Abb. 4-3 Recyclingmöglichkeiten von Baustoffen

## 4.1.2 Regionale Bauprodukte/Transport



Abb. 4-5 Betontransport per LKW

Die Verwendung von regionalen Baustoffen wird in den seltensten Fällen explizit vorgenommen. Vielmehr sind ökonomische und terminliche Zwänge für die Beteiligten maßgebend. Die Nutzung von regionalen Produkten entspricht in mehreren Punkten den Grundsätzen der Nachhaltigkeit:

- Reduktion von Transportwegen
- Stärkung der regionalen Wirtschaft und damit Erhalt von hiesigen Arbeitsplätzen
- Unterstützung der ökologischen und sozialen Standards der Region
- Stärkung von traditionellen Bauweisen in Sinne des Denkmalschutzes

Bei Massenbaustoffen (v.a. mineralischen Baustoffen) sorgen die ökonomischen Rahmenbedingungen dafür, dass weitestgehend regionale Rohstoffe genutzt werden. Das führt in Gebieten mit hohen mineralischen Rohstoffvorkommen zur Nutzung von Ressourcen und in geologisch benachteiligten Gebieten zu einem höheren Anteil von Recyclingbaustoffen. Besonders bei Holz können nachhaltige Grundsätze berücksichtigt werden, indem man womöglich auf heimische Produkte zurückgreift. Auch durch die Wahl von regionalen Brennstoffen (Biomasse, -gas, Pellets, Geothermie) kann auf global abgebaute fossile Rohstoffe verzichtet werden.

In der Praxis spielt die Herkunft der Materialien und damit auch die Transportentfernung zur Baustelle kaum eine Rolle. Kosten und Verfügbarkeit sind die wesentlichen Aspekte, die Berücksichtigung finden. Dafür werden auch größere, vergleichsweise kostenarme, Transportdistanzen in Kauf genommen, ohne die erheblich höheren Umweltbelastungen durch CO<sub>2</sub>- und Schadstoffemissionen sowie den Treibstoffverbrauch zu berücksichtigen. Auch bei der Bewertung von Materialien in einer Ökobilanz (vgl. Kap. 4.1) ist der Transport vom Werk bis zur Baustelle nicht enthalten.

Für den Transport von Waren können unterschiedliche Systeme zum Einsatz kommen. Abb. 4-6 zeigt den ökologischen Vorteil von Bahn und Schiff besonders bei der Beförderung von Massenbaustoffen über große Distanzen. So ist der Energieverbrauch beim LKW-Transport 4 x höher als bei der Bahn.

Umweltauswirkungen, die durch den Transport der Baustoffe vom Werk zur Baustelle verursacht werden, tragen mit durchschnittlich 7 bis 8% zu den Gesamtbelastungen der Gebäudeerstellung bei. Somit ist die baustellennahe Orderung der Materialien eine einfache Möglichkeit, nachhaltig zu wirtschaften. Dies gilt insbesondere für Baustoffe, die in großer Masse eingebaut bzw. von weiter Entfernung angeliefert werden (Beton, Ziegel, Stahl).

	KEA ne [MJ]	GWP [kg CO <sub>2</sub> -Äq]	AP [g SO <sub>2</sub> -Äq]	Kosten [ct]
LKW 32t	2,77	0,17	1	14,5
Van < 3,5t	18,1	1,12	5,35	72
Bahn	0,7	0,04	0,22	5,8
Binnenschiff	0,64	0,05	0,34	2,3

Abb. 4-6 Nachhaltigkeitsaspekte unterschiedlicher Transportsysteme pro t x km

### 4.1.3 Problemstoffe



Abb. 4-7 Gefahrenzeichen

Schadstoffhaltige Baustoffe sollten weitgehend vermeiden werden, damit negative Einflüsse auf den Nutzer (Gesundheitsschutz), Verarbeiter (Arbeitsschutz) sowie die Umwelt (Umweltschutz) verringert werden. Insbesondere Asbest, PCB<sup>3</sup>, PCP<sup>4</sup>, PAK<sup>5</sup>, Schwermetalle und Schimmelpilze etc. treten als Schadstoffe bzw. Schadorganismen in Baustoffen auf und müssen bei zukünftigen Sanierungs- und Entsorgungsmaßnahmen berücksichtigt werden. Während

Asbest und PCB inzwischen verboten sind und demnach in aktuellen Baumaßnahmen keine Rolle mehr spielen, sind Formaldehyd, Schwermetalle und Holzschutzmittel für zukünftige Bau- und Sanierungsmaßnahmen nach wie vor von großer Bedeutung. Ein besonderes Augenmerk muss auf die folgenden Materialien gelegt werden: Zusatz- und Hilfsstoffe in der Beton- und Zementherstellung, Dämm- und Kunststoffe sowie Schutz- und sonstige Hilfsmittel im Innenausbau.

➔ Kontaminierte Bausubstanz - Erkundung, Bewertung, Entsorgung, Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2003 [www.bayern.de/lfu](http://www.bayern.de/lfu)

➔ Schadstoffe in Gebäuden, Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2005 [www.bayern.de/lfu](http://www.bayern.de/lfu)

### 4.1.4 Trennbarkeit von Bauteilen und Materialien

Hochwertiges Recycling ist nur möglich, wenn Bauteile und Materialien in nahezu sortenreiner Form vorliegen. Um wieder verwertbare Produkte aus der Bausubstanz separieren zu können, sind Verbindungstechniken zu wählen, die eine Trennung mit akzeptablem Arbeitsaufwand ermöglichen. Abb. 4-8 listet lösbare und unlösbare Verbindungen, getrennt nach Flächen- und Einzelverbindungen, auf. Es ist objektorientiert zu prüfen, ob lösbare anstelle von herkömmlichen unlösbaren Techniken angewendet werden können. Oftmals stehen aber wirt-

schaftliche und bauphysikalische Gründe dieser Intention entgegen. Ein Beispiel für die Unlösbarkeit der Einzelschichten ist das Wärmedämmverbundsystem (WDVS). Dies liegt v.a. darin begründet, dass die Dämmstoffe (EPS-Dämmplatten oder Steinwolle-Dämmplatten) i.d.R. mit dem tragenden Baustoff vollflächig verklebt werden. Außerdem wird der Außenputz zusammen mit der notwendigen Armierungsschicht (z.B. Glasfaservlies) direkt auf die Dämmung aufgebracht. Eine sortenreine Trennung der Dämmung vom massiven Wandbaustoff bzw.

vom armierten Außenputz ist, wenn überhaupt, nur mit großem zeitlichen Aufwand und mit hohem Kosteneinsatz möglich, da ein Großteil der Rückbaumaßnahme per Hand durchgeführt werden muss. So müssen Wärmedämmverbundsysteme als schlecht rezyklierbar eingestuft werden, obwohl die Einzelschichten für ein Recycling durchaus in Frage kommen. In Zukunft sollte deshalb auch über eine Renaissance der einschaligen Bauweise mit hoch wärmedämmenden Materialien nachgedacht werden.

	Lösbare Verbindungen	Unlösbare Verbindungen
Einzelverbindung	Schraubverbindungen, Spannverbindungen, Vorspannverbindungen, Schnappverbindungen, Muffenverbindungen, Verzahnungsverbindungen, Pressverbindungen	Keilverbindungen, Stiftverbindungen, Schweißverbindungen
Flächenverbindungen	Legen / Zusammensetzen, Spannverbindungen, Pressverbindungen, Beton/Mörtel-Verbindung	Kleben (chemisch, mineralisch) Nagelverbindungen, Stiftverbindungen, Löten, Schweißverbindungen

Abb. 4-8 Klassifizierung von Verbindungen

3) Polychlorierte Biphenyle (PCB): z.B. in Fugenmassen, Kabelummantelungen, Lacken, Ölen oder Klebstoffen  
 4) Pentachlorphenol (PCP): z.B. in Holzschutzmitteln und Fugendichtungsmassen  
 5) Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK): z.B. in teer- und pechhaltigen Klebstoffen, bituminierten Dichtungsbahnen oder Asphalt-Fussbodenbeläge

## 4.1.5 Austauschbarkeit von Bauteilen und Konstruktionen

Um bei Instandsetzungsarbeiten nicht massiv in den Bestand eingreifen zu müssen, ist die geringere Lebensdauer von Konstruktionen gegenüber der Tragstruktur des Gebäudes in der Planung zu berücksichtigen. Bauteile austauschfähig zu planen und auszuführen wirkt sich sowohl positiv auf

den Materialeinsatz als auch auf eine deutlich einfachere und schnellere Instandsetzung aus. Dadurch wird bei Modernisierungen des Gebäudes der Betrieb so wenig und so kurz wie möglich beeinträchtigt. Die Lösungsansätze für austauschfähige Konstruktionen und insbesondere

deren Verbindungen sind identisch mit den Hinweisen zum recyclinggerechten Konstruieren (Kap. 3.3.2 und 4.1.4). Für die folgenden Produktgruppen ist eine Berücksichtigung besonders zu empfehlen.

	Produktgruppe	Systeme	Lebensdauer
<b>Technische Anlagen</b>	Heizungsanlagen	Wärmeabgabesystem, Mess-, Steuer- und Regelungsanlagen, Leitungen, Wärmeerzeuger	10-50a
	Raumlufttechnische Anlagen	Filter, Leitungen, Gebläse, Wärmerückgewinnungs- und Kälteanlagen	10-40a
	Wasseranlagen	Ab-, Kalt- und Warmwasserleitungen, Sanitärobjekte	15-40a
	Elektrische Anlagen	Leitungen, Schalter, Blitzschutz, Mess- und Regelungstechnik, Beleuchtung	10-30a
<b>Bauteile</b>	Fassaden	Außenputz, WDVS, Glas, Zinkblech, Kunststoff	20-70a
	Dächer	Dachentwässerung, Eindeckung aus Ziegel, Zink oder Faserzementplatten	15-60a
	Fenster und Türen	Rahmen, Flügel	30-60a

Abb. 4-9 Austauschzyklen von baulichen und technischen Gebäudekonstruktionen basierend auf ihrer Lebensdauer

## 4.2 Luftdichtheit/Wärmebrücken

### LUFTDICHTHEIT

Die Wärmeverluste, die auf eine undichte Gebäudehülle zurückzuführen sind, sind nicht zu unterschätzen. Sie können zwischen 3,5 und 5,0 kWh/m<sup>2</sup>a bei einer n<sub>50</sub>-Wechselrate von 1 h<sup>-1</sup> liegen. Aus Sicht der Nachhaltigkeit sind luftdichte Gebäude notwendig. Dabei sind neben der Reduzierung ungewollter Lüftungswärmeverluste die Vermeidung von Zuglufterscheinungen und Bauschäden (Feuchteschäden durch Kondensfeuchte) sowie die Steigerung der Behaglichkeit und ein erhöhter Schallschutz die Vorteile der Winddichtigkeit. Eine Entfeuchtung der Innenraumluft muss durch

Lüftungsanlagen oder geregeltes Lüftungsverhalten gewährleistet werden. Luftundurchlässige Schichten in der Fläche sind weitgehend problemlos zu planen und zu erstellen. Im Allgemeinen werden sie in Abhängigkeit des Bauteils erstellt (vgl. Abb. 4-10). Problematisch hingegen sind Detailausbildungen beim Schnitt der einzelnen Ebenen sowie Störstellen innerhalb der Fläche wie etwa Durchdringungen. Musterlösungen können der DIN 4108-7 entnommen werden. Eine anschließende Qualitätssicherung ist empfehlenswert.

#### Handlungshinweise für das Dichtkonzept

- eine umlaufende geschlossene Dichtigkeitsebene festlegen
- einfache wenig schadensanfällige Konstruktionen wählen
- Haustechnik-Durchführungen reduzieren, ggf. Installationsebene einplanen (siehe auch demontagegerechter Entwurf) und deren Ausführung sorgfältig planen
- Detailplanung von den Schnittpunkten der einzelnen Ebenen (vgl. Abb. 4-11)
- geeignete Materialien der homogenen Schichten festlegen und Stöße planen
- sorgfältige Ausführung sowie anschließende Eigen- und Fremdüberwachung

Bauteil	Dichtheitsschicht
Dach	Dampfsperre
Außenwand, massiv	Innenputz
Außenwand, leicht	Hartfaserplatte oder Folie
Fenster	Innenputz, Blendrahmen/Fensterbank
Fußboden	Betondecke

Abb. 4-10 Luftundurchlässige Bauteilschichten

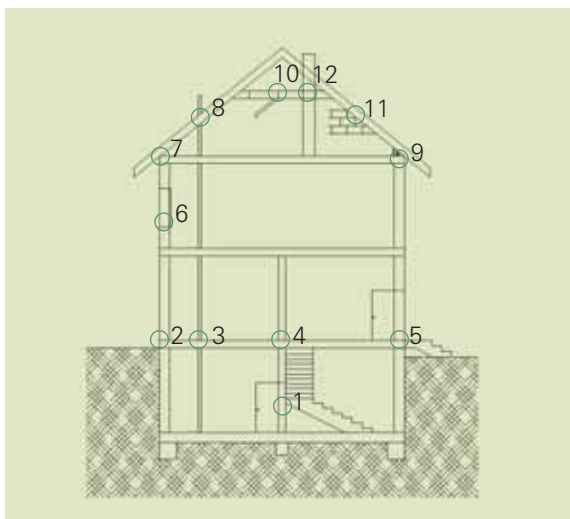


Abb. 4 11 Kritische Stellen für undichte Fugen

1. Tür zwischen beheiztem Kellerflur und Kellerraum
2. Anschluss Kellerdecke an die Außenwand
3. Durchführung der Sanitärleitungen durch die Decke über kaltem Keller
4. Durchführung der Kellerdecke durch die Innenwand
5. Anschlüsse Außentür
6. Fenster- und Fensterbankanschlüsse sowie Rollladenkästen
7. Übergang der Außenwand zur Luftdichtigkeitsebene des Schrägdaches
8. Durchführung durch die Dachhaut
9. Anschlüsse der Luftdichtigkeitsebene an die Drempelemauerung
10. Anschluss der Dachbodenluka
11. Anschluss der Luftdichtigkeitsebene an die Giebelmauer
12. Schornsteindurchführung

➡ Luftdichtheit von Gebäuden- Schnittstellen zur Qualitätssicherung,  
Hrsg.: Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, 2003 [www.wm.baden-wuerttemberg.de](http://www.wm.baden-wuerttemberg.de)

➡ Luftdichtheit von Wohngebäuden,  
J. Zeller, K. Biasin, VWEV Energieverlag, 2002

## WÄRMEBRÜCKEN

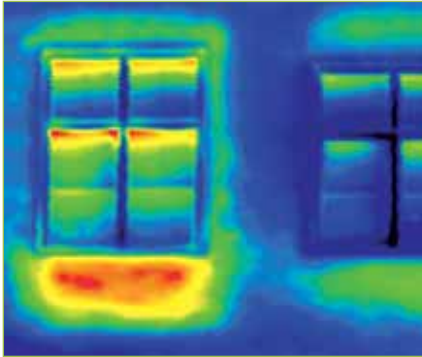


Abb. 4-12 Wärmebrücken im Fensterbereich

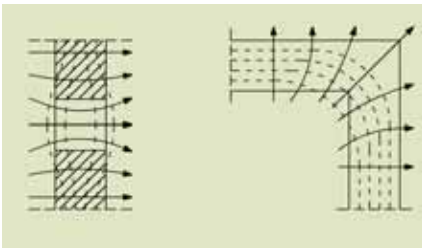


Abb. 4-13 Material und geometrisch bedingte Wärmebrücken incl. Isothermenverlauf

Eine Wärmebrücke (WB), auch Kältebrücke genannt, ist ein örtlich begrenzter Bereich in Bauteilen eines Gebäudes mit höherer Wärmestromdichte als in den benachbarten Bauteilbereichen. Dies kann zu folgenden Auswirkungen führen:

- Im Neubaubereich treten zusätzliche Transmissionswärmeverluste zwischen 15 und 40% auf
- Beeinträchtigung der Behaglichkeit aufgrund von kalten Bauteiloberflächen und starken Temperaturdifferenzen innerhalb eines Raumes
- Tauwasseranfall an Wärmebrücken und damit die Gefahr von Schimmelpilzbildung
- Gefahr von Bauschäden durch dauerhafte Durchfeuchtung

Aus Sicht der Nachhaltigkeit ist eine Minimierung der Wärmebrücken notwendig. Je höher der energetische Standard des Gebäudes, desto wichtiger ist ihre Reduktion.

Die Ursachen für Wärmebrücken sind hauptsächlich auf drei Gründe zurückzuführen:

1. Bauteilgeometrie (Innenecke)
2. Materialwechsel mit unterschiedlichen Leitfähigkeiten (Stahlbetonstütze im Mauerwerk)
3. Fehlerhafte Ausführung (Leckagen in der Dämmung)

Für die Detektion von Wärmebrücken eignen sich Infrarot-Wärmebildmessungen und Baupläne. Für die Qualität einer Detailausbildung kann als erster Indikator der Wärmebrückenverlustkoeffizient  $\Psi$  herangezogen werden, der in gedruckten oder digitalen Wärmebrückenkatalogen zu finden ist. Es gilt: Je größer der Wert ist, desto mehr Wärmeverluste sind zu verzeichnen.



Beim Wärmeschutznachweis nach EnEV können Wärmebrücken auf drei Arten berücksichtigt werden:

1. Pauschale Erhöhung der Wärmedurchgangskoeffizienten um  $\Delta U_{WB} = 0,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
2. Erhöhung der Wärmedurchgangskoeffizienten um  $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ , bei Berücksichtigung der Musterlösungen aus DIN 4108 Bbl. 2
3. Detaillierte Berechnung nach Teil 6 der DIN 4108 in Verbindung mit weiteren anerkannten Regeln der Technik, beispielsweise DIN EN ISO 10211-2. Bei sorgfältiger Planung lassen sich so umgerechnete  $\Delta U_{WB}$ -Werte von  $0,02 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  und kleiner erreichen.

Direkte Grenzwerte in Bezug auf den Wärmeschutz sind in der EnEV nicht einzuhalten. Um trotzdem eine Bewertung der Qualität von Konstruktionen zu bekommen, kann auf die Schweizer Norm SIA 380/1 zurückgegriffen werden. Darin sind bauteilabhängige Grenzwerte für  $\Psi$  gegeben. So ist etwa bei einer auskragenden Betonplatte ein Wert von  $\Psi \leq 0,30 \text{ W/(mK)}$  einzuhalten.

In Bezug auf Schimmelpilzfreiheit nennt DIN 4108-2 einen minimalen Temperaturfaktor der Wärmebrücke von  $f \geq 0,7$ .

Allgemeine Konstruktionshinweise zur Reduzierung von Wärmebrücken sind:

- Verwendung einer durchgehenden Dämmstoffebene
- wärmetechnische Trennung auskragender Bauteile
- Vermeidung stark gegliederter Baukörper
- Verwendung einer Dämmschicht am Anschluss von Fundament/unbeh. Keller zur aufgehenden Wand
- Dämmung von Fenster- und Türenlaibungen

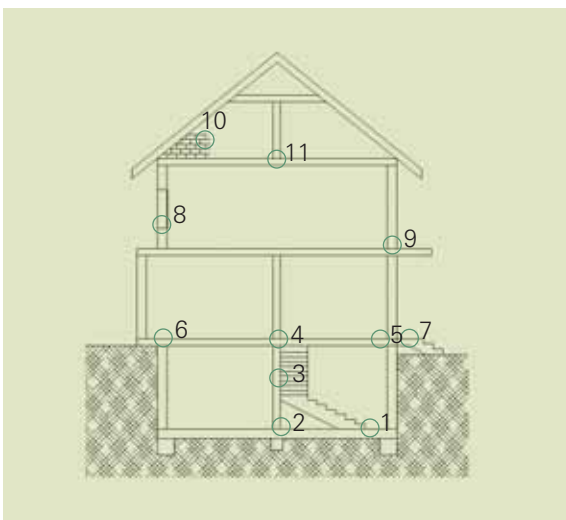


Abb. 4-14 Kritische Stellen für Wärmebrücken

1. Auflager Kellertreppe/Bodenplatte
2. Fußpunkt Treppenhauswand/Fußboden
3. Seitlicher Anschluss Kellertreppe/Kellerwand
4. Anschluss Kellerwand/Kellerdecke/EG-Trennwand
5. Anschluss Kellerwand/Kellerdecke/EG-Außenwand
6. Auskragende Erkerbodenplatte
7. Auskragendes Eingangspodest
8. Fensteranslag und Fensterbänke incl. Rollladenkasten
9. Auskragende Balkone
10. Giebelmauerkrone
11. Innenwände im Spitzboden

Ausführliche Beispiele sind in u.g. Quellen zu finden.

➔ DIN 4108 – Bleiblatt 2, Wärmeschutz und Energie – Einsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele (u.a. mit Verweisen auf Wärmebrückenkataloge)

➔ Wärmebrückenfreies Konstruieren, Protokollband Nr. 16, Hrsg.: Passivhaus Institut, 1999

## 4.3 Nachplanungsphase

### 4.3.1 Qualitätssicherung

Ziel nachhaltigen Bauens ist die Erstellung von hochwertigen Gebäuden. Diese Bauwerke erfordern eine umfangreiche Planung sowie eine sorgfältige Ausführung. Die Vielzahl und Komplexität der Planungs- und Ausführungsdetails erhöht bei der

Fertigstellung die Gefahr von Baufehlern. So kann etwa eine fehlerhaft ausgeführte Wärmedämmung dazu führen, dass die Kapazität der Heizung nicht mehr ausreicht. Die Folgen sind teure und aufwändige Instandsetzungsarbeiten, die durch eine bau-

begleitende Qualitätssicherung hätten vermieden werden können. Im Folgenden werden drei wichtige Instrumente der Qualitätssicherung vorgestellt, deren Durchführung im Bauauftrag fixiert werden sollte.

### BAUSTELLENTERMINE

Regelmäßige Kontrollen des Baufortschritts durch Architekten, Fachplaner und Handwerker sind ein wichtiger Bestandteil der Qualitätssicherung. Ziel ist zum einen die ordnungsgemäße Ausführung der Planung vor Ort zu überprüfen und

zum anderen Schwachstellen bei der Planung zu ermitteln. Ein Protokoll fasst die Erkenntnisse der Begehung zusammen und regelt die Maßnahmen und Zeitabläufe der Nachbesserung. Folgende Aspekte sind bei der Prüfung von besonderem Interesse:

- Abdichtungen gegen Wasser
- Durchdringungen und Anlagentechnik
- Wärmedämmung- und Luftdichtheitsschicht
- Hinterlüftung (falls vorhanden)
- Abdichtungen von Türen und Fenstern
- Qualität der gelieferten Baustoffe

### THERMOGRAFIE

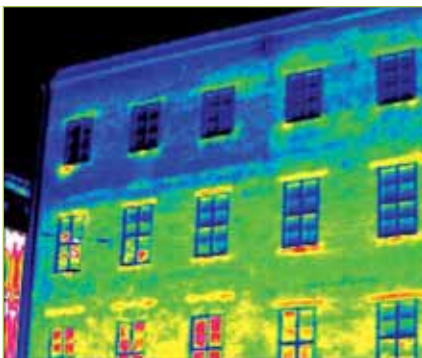


Abb. 4-15 Fassadenaufnahme

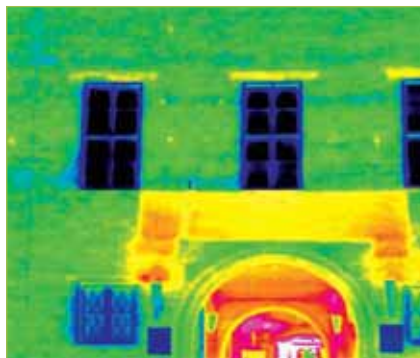


Abb. 4-16 Optisch nicht sichtbarer Betonträger

Ein unverzichtbares Instrument zur Qualitätssicherung ist die Thermografie, durch die man in der Lage ist, die Temperatur eines Körpers berührungslos zu ermitteln. Das Prinzip beruht auf der Grundlage, dass alle Körper entsprechend ihrer Temperatur elektromagnetische Strahlen aussenden. Deren Intensität ist ein Maß für die Oberflächenwärme, die sich farblich in Thermogrammen darstellen lässt.

Für eine sichere und qualitativ hochwertige Messung der Infrarotstrahlung eines Gebäudes ist der Temperaturunterschied zwischen innen und außen entscheidend. Vor allem die direkte Sonneneinstrahlung führt zur Verfälschung. Aus diesen Gründen sollten thermografische Außenuntersuchungen in den frühen Morgenstunden während der kalten Jahreszeiten durchgeführt werden, wenn sich das zu messende Objekt abgekühlt hat. Die Innenraumthermografie ist von der Tages- und Jahreszeit unabhängig.

Anwendungsgebiete der Thermografie-Messungen sind:

- Ortung und Dokumentation von Wärmebrücken und Durchfeuchtungen
- Visualisierung von Schwachstellen in der Wärmedämmung
- Sichtbarmachen von Undichtigkeiten von Heizungsanlagen
- Erkennen von Baumängeln wie Rissbildungen und Wärmelecks
- Ortung von Innenraumleckage (in Verbindung mit Luftdichtigkeitsmessungen)
- Überprüfung von energetischen Sanierungen

Ansprechpartner für Thermografie-messungen und deren Auswertung und Interpretation sind Sachverständige, Gutachter und Bauphysiker in einer Vielzahl von Ingenieurbüros. Die Kosten, beispielsweise für ein Einfamilienhaus mit bis zu 15 Thermogrammen, beginnen bei 650 bis 800 Euro netto. Zu beachten ist, dass Thermografie ein gerichtlich anerkanntes Prüf- und Messverfahren darstellt.

➔ Zur Nutzung thermografisch erhobener Altbaubefunde bei der Planung von Sanierungskonzepten, Universität der Bundeswehr München, 2006 [www.sfm-bauwerke.de](http://www.sfm-bauwerke.de)

## BLOWER-DOOR MESSUNG

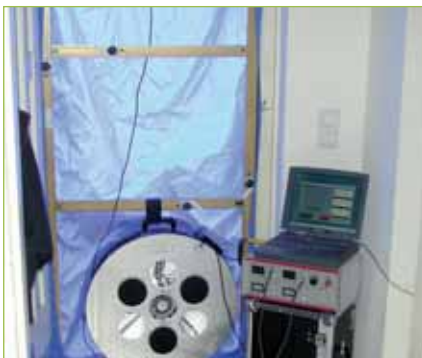


Abb. 4-17 Blower-Door Test

Die Luftdichtheit eines Gebäudes kann mittels der Blower-Door Methode nach DIN EN 13829 überprüft werden. Dabei wird ein Ventilator luftdicht in die Eingangstür gebaut und eine Druckdifferenz zwischen innen und außen von 50 Pa erzeugt. Der vom Ventilator notwendige Volumenstrom lässt Rückschlüsse auf die Dichtheit der Gebäudehülle zu.



Abb. 4-18 Nebelprüfung

Dieser Test sollte durchgeführt werden, wenn die Luftdichtheit hergestellt ist, die Konstruktionen aber noch zugänglich und überprüfbar sind. Folgende Werte sind nach DIN 4108-7 einzuhalten:  
Gebäude mit Fensterlüftung:  
 $n_{50} < 3,0 \text{ h}^{-1}$   
Gebäude mit Lüftungsanlage:  
 $n_{50} < 1,5 \text{ h}^{-1}$

Die unterschiedlichen Anforderungen ergeben sich aus der Notwendigkeit, dass bei raumlufttechnischen Anlagen das Ein- und Ausströmen der Luft nur an den vorgesehenen Stellen erfolgen soll, um die Effektivität der Anlagen zu gewährleisten.

Die Ortung der Leckagen kann mit Luftgeschwindigkeitsmessgeräten (Thermoanemometer), Thermografieaufnahmen oder Rauch/Nebel erfolgen.

Die Kosten für eine Luftdichtheitsprüfung incl. Fehlerbericht durch einen Ingenieur beginnen bei 600 Euro netto für ein EFH und können je nach Detaillierungsgrad und Aufwand auf bis zu 2.000 Euro steigen.

## 4.3.2 Dokumentation



Abb. 4-19 Hausakte des BMVBW

Die strukturierte Auflistung der wesentlichen Gebäudemerkmale hat viele Vorteile:

- Rechts- und Preissicherheit zwischen Mieter und Vermieter
- Strukturierte und objektive Immobilienbewertung der Wohnungswirtschaft
- Dokumentation der Gebäudequalität als Wettbewerbsvorteil
- Planungsgrundlage für zukünftige Maßnahmen am Objekt
- Umweltfreundliches und schadstoffreies Bauen wird zu einem Qualitätsmerkmal
- Stärkt die Durchsetzung hoher Qualitätsstandards bei internationalen Normungsbemühungen

Im Wesentlichen sollte die Archivierung Informationen enthalten über:

- am Bau beteiligte Personen,
- das Grundstück,
- bestehende Verträge,
- die Bautechnik sowie die technische Gebäudeausstattung,
- durchgeführte Kontrollen und
- Wartungs- und Unterhaltspläne

Eine Lebensdauer begleitende Pflege des Dokuments ist zwingend notwendig. Die Dokumentation enthält keine Bewertung des vorliegenden Gebäudes. Dass aber eine Zusammenstellung der Gebäudequalität verstärkt Anreize zur Modernisierung in Bezug auf ökonomische und ökologische Aspekte mit sich bringt, zeigt das Beispiel des Energiepasses in Dänemark. Dort hat sich der Primärenergieverbrauch nach dessen Einführung spürbar reduziert.

Es gibt verschiedene Mustergebäudepässe im Internet. Eine Dokumentation in elektronischer Form, z.B. mit dem in Kap. 3.1.2 vorgestellten Produktmodell, ist ebenfalls möglich. So lässt sich ein digitales Gebäudemodell, das während der Betriebsphase die Aufgabe von Bestandsplänen übernehmen kann, auch mit ökologisch relevanten Daten anreichern, die über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks von Bedeutung sind.

➔ Hausakte, Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, 2001  
[www.kompetenzzentrum-iemb.de](http://www.kompetenzzentrum-iemb.de)

➔ Bauwerkspass, Hrsg.: Bundesingenieurkammer  
[www.bingk.de](http://www.bingk.de)

### 4.3.3 Inspektionen

Inspektionen dienen der Feststellung des ordnungsgemäßen Gebäudezustandes und sind nach DIN 31051-2 ein Bestandteil der Instandhaltung. Ziel ist es, Schäden frühzeitig zu erkennen und anschließend zu beseitigen, um zukünftig ressourcenaufwändige und kostenintensive Maßnahmen auf ein Minimum zu beschränken. Im Vergleich zum Automobilbau hat der Baubereich auf dem Weg zu einer konsequenten Bestandspflege noch einen erheblichen Nachholbe-

darf. Festgelegte Wartungs- und Inspektionszyklen können dabei helfen, die Lebensdauer der Bausubstanz sowie der technischen Anlagen zu erhöhen. Viele Inspektionen können vom Nutzer selbst durchgeführt werden (Sichtprüfung), teilweise ist aber auch das Wissen des Fachmanns gefragt.

Die häufigsten Schäden treten auf an:

- Außenflächen durch Witterungseinflüsse

- Außenbauteilen (Schimmelpilzbefall auf der Innenseite), bedingt durch den Einbau von undichten Fenstern sowie mangelnde nachträgliche Wärmedämmung
- Erdberührenden Bauteilen durch aufsteigendes Wasser

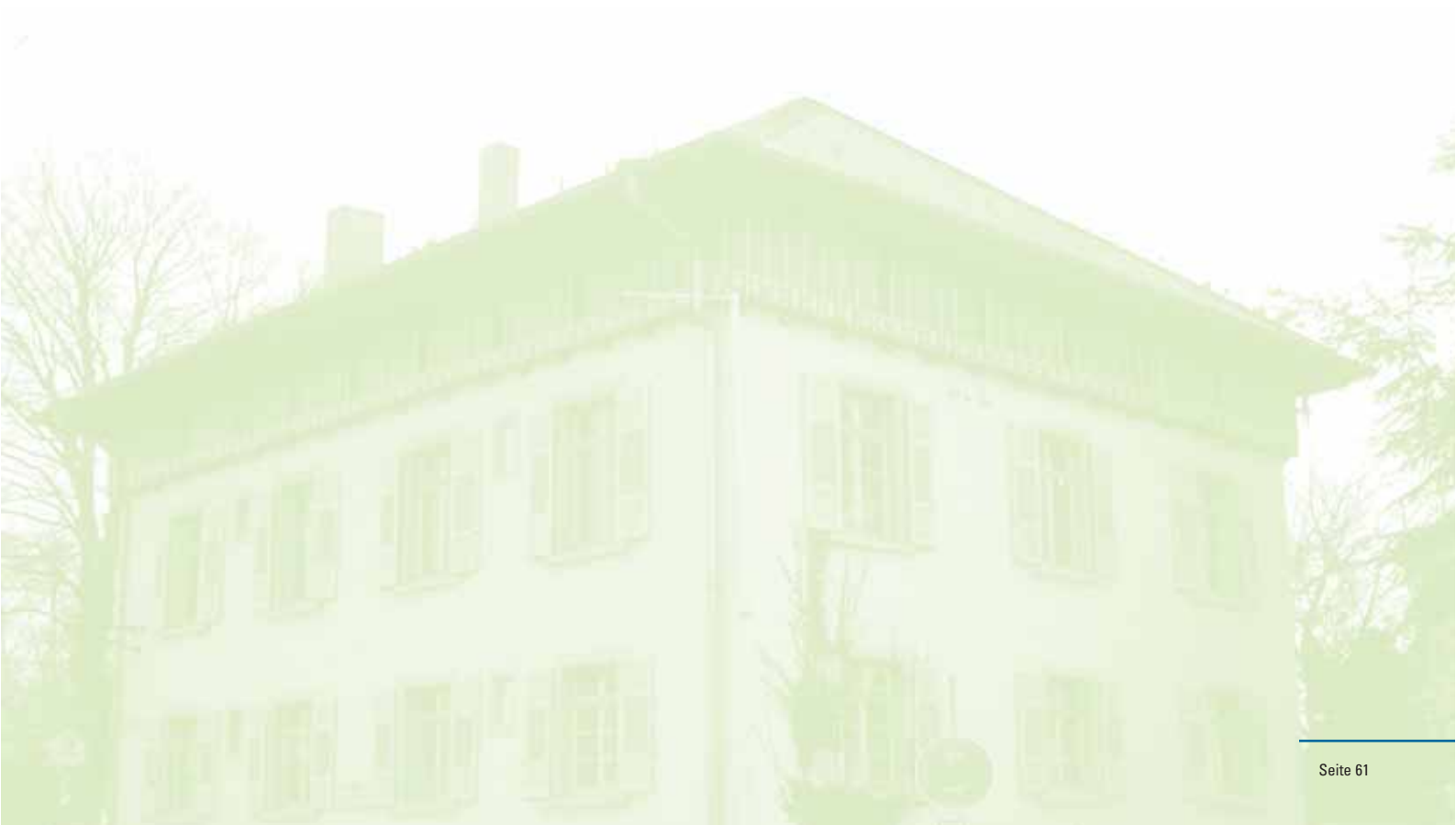
Diese Bauteile sollte man mit erhöhter Wachsamkeit beobachten und mögliche Befunde in eine Hausakte einpflegen.

Das Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. (IEMB) empfiehlt eine jährliche Sichtprüfung aller Bauteile. Im Informationsblatt 15.3 wird eine Checkliste zur Verfügung gestellt.

➔ Informationsblatt 15.3: Instandhaltung von Gebäuden und der technischen Gebäudeausstattung, Hrsg.: IEMB [www.kompetenzzentrum-iemb.de](http://www.kompetenzzentrum-iemb.de)

Im folgenden Verweis werden die Intervalle je nach Bauteil und Konstruktion zwischen 1- und 10-jähriger Sichtprüfung gestaffelt.

➔ Leitfaden zur ökologischen Altbausanierung, J. Veit u.a., Hrsg.: Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW, 2001



# 5 Bauen und Sanieren im Bestand

## 5.1 Bestandsaufnahme

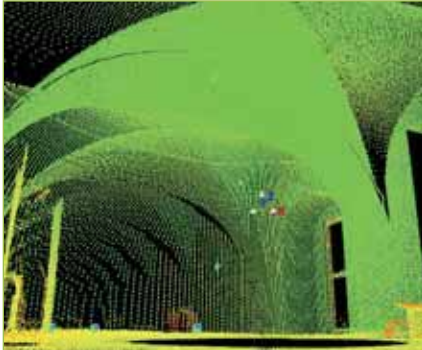


Abb. 5-1 Bestandsaufnahme mit Hilfe eines 3D- Laserscanners

Das Planen und Bauen im Altbau- bestand erfordert, im Gegensatz zum Neubau, wegen der großen Vielfalt der vorzufindenden Konstruktionen ein hohes Maß an Fachwissen und Erfahrung bei allen am Bau Beteiligten. Hinzu kommen die teilweise nicht mehr bekannten Baumaterialien und Konstruktionsdetails sowie die jeweils im Einzelfall zu analysierenden Ursachen für Bauschäden. Dadurch besteht die Gefahr, dass wegen un- klarer Entscheidungsgrundlagen eine unverhältnismäßig ressourcenauf- wändige Sanierung durchgeführt wird.

Im Extremfall kann es dazu führen, dass ein Altbau zugunsten eines Neu- baus beseitigt wird. Deshalb muss die Ausgangslage jeglicher Bautätigkeit im Bestand eine umfassende Beschrei- bung der Gebäudesituation sein. Dabei müssen sowohl die Geometrie des Bauwerks, die verwendeten Konstruk- tionen und Materialien sowie die stati- schen Grundstrukturen bekannt sein.

Der Detaillierungsgrad der Erfassung richtet sich nach der Komplexität der anschließenden Bauaufgabe sowie dem Zustand des Gebäudes. Eine zeit- gemäße Planung der Maßnahmen erfolgt meist mittels computergestütz- ter Programme.

Eine Aufnahme und Dokumentation in elektronischer Form wird deshalb in Zukunft Stand der Technik werden. Zum Einsatz kommen technische Aufnahmeverfahren (vgl. Abb. 5-2), Nutzerbefragungen (vor allem im Zusammenhang mit Defiziten beim Wohnkomfort) sowie Checklisten. Endprodukt ist ein Dokument mit allen wesentlichen Daten zum Gebäude in Form einer Hausakte, eines Gebäude- modells o.Ä. (vgl. Kap. 4.3.2 Doku- mentation).

Eine detaillierte und umfangreiche Bestandsaufnahme ist Voraussetzung für eine nachhaltige, effektive und res- sourcenschonende Baumaßnahme mit kalkulierbaren Kosten. Dazu zählen vor allem Um- und Ausbauten, Instand- setzungsarbeiten, die Beseitigung von Bauschäden sowie die energetische Sanierung.

Eine Checkliste zur Bestandsaufnahme finden Sie in:

➔ Sanierungsberatung nach EnEV (Gebäudetypologie 2004), Hrsg.: WEKA, 2004

## SCHWERPUNKTE DER BESTANDSAUFNAHME

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über eine Auswahl gängiger Untersuchungs- bzw. Aufnahmeverfahren bei der Bestandserfassung. Die anzuwendenden Methoden richten sich nach der anstehenden Baumaßnahme bzw. den Schäden des Gebäudes. Auf weiterführende Literatur wird verwiesen.

Handlungsschwerpunkte	Geplante Maßnahme	Untersuchungs- und Aufnahmeverfahren
<b>Architektonisch-konstruktive Aspekte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebäudeinformationen zusammenstellen</li> <li>• Planerstellung</li> <li>• Gebäudemodell generieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebäudetypologie</li> <li>• Objektaufmaß</li> <li>• Photogrammetrie</li> <li>• Bauwerksbegehung</li> <li>• Laseraufmaß</li> </ul>
<p>➡ Vom Laseraufmaß zum Stoffflussmanagement für Altbauten <a href="http://www.sfm-bauwerke.de">www.sfm-bauwerke.de</a></p>		
<b>Statisch-konstruktive Aspekte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Festigkeitswerte von Baustoffen</li> <li>• Umbaumaßnahmen</li> <li>• Schadensfeststellung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bohrkernuntersuchung</li> <li>• Endoskopie</li> <li>• Bohrwiderstandsmessung</li> <li>• Holzfeuchtegehalt</li> </ul>
<p>➡ Bauschäden im Bild, K. Zimmermann, WEKA Baufachverlag, 2005                  ➡ Baustoffprüfungen, W. Hiese, H. Knoblauch, Werner-Verlag, 2004</p>		
<b>Feuchte- und abdichtungs-technische Aspekte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schimmelsanierung</li> <li>• Trockenlegung von Kellerräumen</li> <li>• Salzsanierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isothermenauswertung</li> <li>• Thermografieaufnahmen</li> <li>• Zerstörungsfreie und -arme Verfahren (elek. Widerstand, Dielektrizitätskonstante, Gravimetrische Feuchteanalyse)</li> <li>• Salzuntersuchung</li> </ul>
<p>➡ Bauwerksdiagnostik und Qualitätsbewertung, Fraunhofer IRB Verlag, 1997                  ➡ Bauschäden im Bild, K. Zimmermann, WEKA Baufachverlag, 2005</p>		
<b>Energetische Aspekte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energetische Sanierung (Anlagentechnik, Gebäudehülle)</li> <li>• Analyse des Energieverbrauchs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermografieaufnahmen</li> <li>• Blower-Door Test</li> </ul>
<p>➡ Zur Nutzung thermografisch erhobener Altbaubefunde bei der Planung von Sanierungskonzepten <a href="http://www.sfm-bauwerke.de">www.sfm-bauwerke.de</a></p>		
<b>Schalltechnische Belange</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sanierung der Luft- und Trittschalldämmung von Bauteilen (Eingangstür, Fenster, Decken, Treppen)</li> <li>• Beseitigung von Geräuschen haustechnischer Anlagen (Aufzug, WC-Spülung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luftschallmessung</li> <li>• Trittschallmessung</li> </ul>
<p>➡ DIN 4109, Schallschutz im Hochbau</p>		
<b>Gefahrenstoffsanierung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fasern: Asbest, künstliche Mineralfasern</li> <li>• Baugrund: Radongas</li> <li>• Biologisch: Legionellen, Schimmelpilz</li> <li>• Metalle: Blei, Quecksilber</li> <li>• Holzschutzmittel: PCP, DDT, Lindan</li> <li>• PAK, PCB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trocken- und nasschemische Analyse</li> <li>• Abklatschschalen</li> <li>• Raumluftmessung</li> <li>• Gaschromatographie</li> <li>• Auflichtmikroskopie</li> </ul>
<p>➡ Kontaminierte Bausubstanz - Erkundung, Bewertung, Entsorgung <a href="http://www.bayern.de/lfu">www.bayern.de/lfu</a></p>		

Abb. 5-2 Schwerpunkte der Bestandsaufnahme

## 5.1.1 Bauwerksmodellierung im Bestand



Abb. 5-3 Punktwolke einer Fassade

Ein Aufmaß der Geometrie ist notwendig, wenn keine oder nur unzureichende Planunterlagen vorliegen. Für die geometrische Erfassung von Raumstrukturen kommen derzeit (neben photogrammetrischen Verfahren) drei unterschiedliche, auf Lasertechnologie basierende Verfahren zum Einsatz. Für die Bestimmung von Länge, Breite und Höhe eines Raumes genügen handliche Laser-Distanzmeter – ein elektronischer Zollstock.

Für komplexere Geometrien können moderne, reflektorlos messende Tachymeter verwendet werden, wobei die Distanzmessung in Kombination mit gemessenen Raumwinkeln eine dreidimensionale Erfassung ermö-

glicht. Für sehr komplizierte und unregelmäßige Geometrien (z.B. in einem Kellergewölbe oder Dachstuhl) sind seit kurzem 3D-Laserscanner von großem Vorteil. Hierbei wird die Technik der Tachymetrie automatisiert: der Laserscanner misst in einem definierbaren Raster Objektpunkte mit einer Aufzeichnungsgeschwindigkeit von 1000 Punkten pro Sekunde. Dabei entstehen so genannte Punktwolken, die mehrere Millionen Punktkoordinaten umfassen können. Da eine Punktwolke die Realität zwar nachbildet, aber kein für CAD-Systeme (Computer Aided Design) geeignetes Objekt erfasst, ist eine zeitintensive Umwandlung dieser großen Datenmenge erforderlich. Kern der aktuellen Forschung ist demzufolge die Teilautomatisierung des Modellierungsprozesses. Dabei kommen u.a. auch Methoden der digitalen Bildverarbeitung zum Einsatz.

Insbesondere die Verknüpfung der drei Aufmaßverfahren ermöglicht ein ökonomisch interessantes Vorgehen zur Bestandserfassung. Vergleichende Untersuchungen ergaben einen zeitlichen Mehraufwand im Außendienst für scannende gegenüber tachymetrischen Methoden um den Faktor 1,5 (Panorama-Scanner) bzw. 2,3 (Camera-View-Scanner). Ausschlaggebend ist jedoch die Umwandlung der Punkt-

wolke in ein CAD-Modell im Innendienst. Hierauf entfallen etwa 70-90% des gesamten Arbeitsaufwandes.

Um das aus dem Aufmaß erzeugte Volumenmodell oder bestehende 3D-Pläne in ein Produktmodell zu überführen, werden die einzelnen geometrischen Objekte in der CAD-Umgebung Architectural Desktop analysiert.

Identifizierte Bauteile werden als so genannte AEC-Objekte, also als Wände, Türen, usw. vom Computerprogramm erkannt und stehen somit als Grundlage für die Produktmodellierung zur Verfügung. Durch die Ergänzung von Attributen (v.a. die Kennwerte der im Bauteil eingesetzten Materialien) sind umfangreiche Betrachtungen wie beispielsweise Simulationen über die Lebensdauer (Stichwort Ökobilanz) oder statische 3-D Berechnungen möglich. Für die weitere Nutzung im Altbau ist es sinnvoll, zusätzliche Informationen zum Sanierungsbedarf in Form von Bild-, Ton- und Schriftdateien (Schadens-, Zustands- oder Thermografiebilder, Konstruktionsbeschreibungen etc.) einzufügen, sodass ein Modell entsteht, in dem Dokumente örtlich eindeutig zugeordnet sind und allen Planern zentral für die Sanierungsplanung zur Verfügung stehen.

Detaillierte Informationen zum Laseraufmaß und dem Gebäudemodell erhalten Sie in:

➔ Vom Laseraufmaß zum Stoffflussmanagement für Altbauten, Technische Universität München, 2005 [www.sfm-bauwerke.de](http://www.sfm-bauwerke.de)

➔ Ressourcenschonende Instandsetzung alter Bauten – Integration von objektorientierter Modellierung in den Planungsprozess, Technische Universität München, 2006 [www.sfm-bauwerke.de](http://www.sfm-bauwerke.de)



## 5.2 Bauschäden und Schadensvorbeugung

Bauschäden reduzieren die Lebensdauer von Gebäuden, mindern die Wohnqualität und sorgen für einen Wertverfall der Immobilie. Eine schnelle Sanierung – oder besser noch – eine Vorbeugung, ist in hohem Maße Ziel nachhaltigen Bauens.

Fast alle Bauschäden resultieren aus ungeeigneter und falscher Nutzung sowie bautechnischen Fehlern in Planung und Ausführung. Letztere lassen sich weiter aufgliedern in:

1. Planungsfehler in Konzeption und Detailplanung von Architekt, Ingenieur oder Fachplaner
2. Ausführungsfehler verursacht durch Unternehmer und Bauleitung
3. Materialfehler
4. Unachtsamkeit am Bau, d.h. Beschädigung bereits erstellter Bauteile

Schadensschwerpunkt ist die bewitterte Außenhaut (siehe Abb. 5-4).

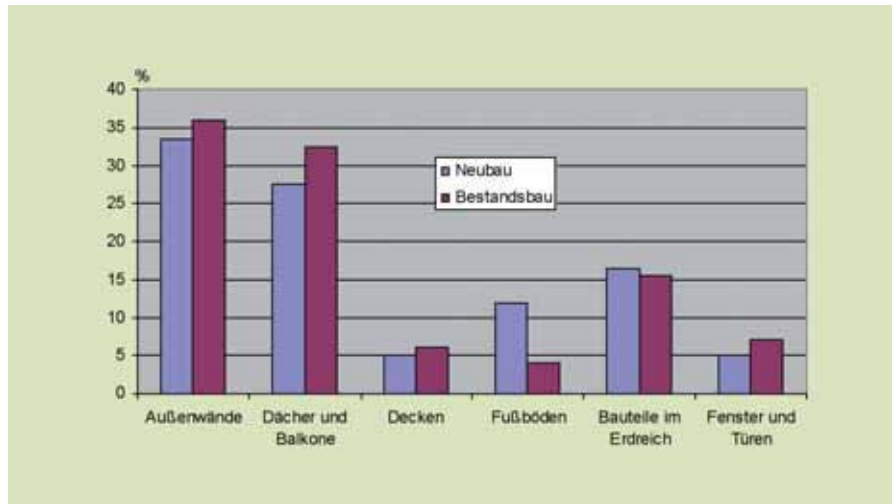


Abb. 5-4 Prozentualer Anteil der Bauteilgruppen an der Gesamtheit aller Schäden

Weitere Informationen sind zu finden unter:

➔ SCHADIS - Das elektronische Standardwerk zu Bauschäden, Fraunhofer-Informationszentrum [www.irbdirekt.de/schadis](http://www.irbdirekt.de/schadis)

➔ Typische Baufehler, D. Scholz, Verlagsges. Müller, 2005

Viele Planungsfehler, die aus unzureichender Kenntnis und Erfahrung sowie Zeit- und Kostendruck entstehen, können durch strukturelle Maßnahmen im Vorfeld eliminiert werden. Folgende Kontrollmechanismen zur Lösung dieser Problematik haben sich in der Praxis bewährt:

- Planfreigabe durch mindestens zwei mit dem Projekt vertraute Personen
- Eindeutige Kompetenzverteilung mit einem Vollverantwortlichen
- Einsatz des gleichen Mitarbeiters für die gleichen Aufgaben.

Bei der Umsetzung dieser Aspekte kann ein Qualitätsmanagementsystem, wie es in der DIN EN ISO 9001 beschrieben ist (vgl. Abb. 5-5) oder die konsequente Einführung und Anwendung von Planungsmethoden ins Bauwesen, helfen (siehe Kap. 3.1 Methodik).

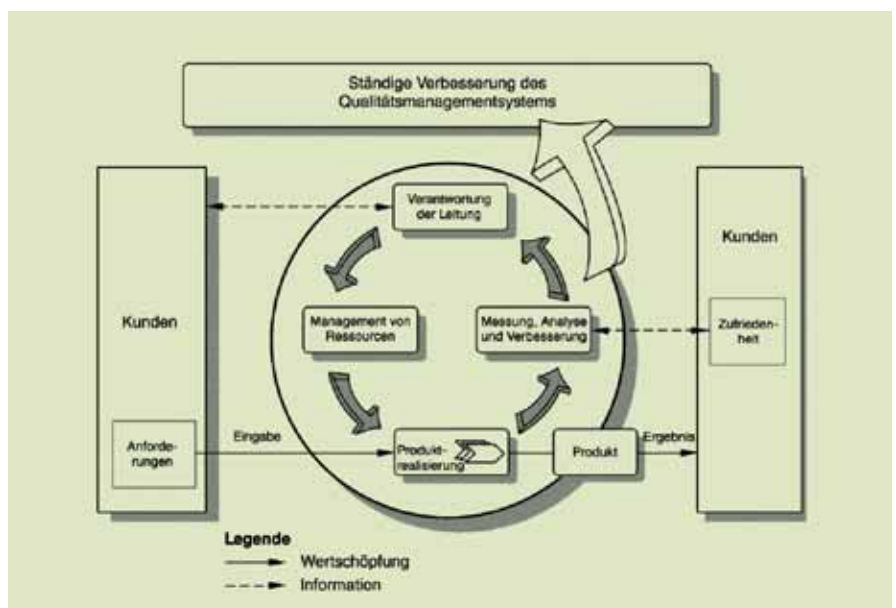


Abb. 5-5 Modell eines prozessorientierten Managementsystems nach DIN EN ISO 9001

## 5.3 Instandsetzung

Instandsetzungsmaßnahmen an Gebäuden werden notwendig, wenn die Gebrauchstauglichkeit durch Alterungs- oder Verschleißeffekte beeinträchtigt wird. Nach DIN 31051-2 ist die Instandsetzung ein Bestandteil der Instandhaltung. Durch die Behebung von Mängeln erhöht sich die Lebensdauer des Bauwerks, eine Weiternutzung wird ermöglicht und die Schadenshäufigkeit nimmt ab.

Damit sind vielfältige Anknüpfungspunkte zur Nachhaltigkeit gegeben. Die wichtigsten Aspekte einer Bauinstandsetzung sind:

- Wartung/Inspektion/Instandsetzung
- Optimierung des Facility Managements (Energieeinsparung, Kostenreduzierung)
- Modernisierung der technischen Systeme

Grundlage jeglicher Maßnahme ist eine umfassende Bestandsaufnahme, die zu einer detaillierten Kenntnis der vorhandenen Bau- und Anlagensubstanz (inkl. Schäden) führt. Auf ihrer Basis können kostensichere und technisch ausgereifte Konzepte und Lösungen erarbeitet werden.

### 5.3.1 Nachhaltigkeitsaspekte

Instandsetzungsmaßnahmen nachhaltig auszuführen erfordert eine ganzheitliche Vorgehensweise unter Berücksichtigung ökologischer, ökonomischer und sozialer Belange. Dabei können viele Aspekte des nachhaltigen Bauens aus dem Neubau-

bereich übernommen werden, das sind insbesondere:

- Verwendung nachhaltiger Baustoffe (vgl. Kap. 4.1)
- Verzicht auf gesundheits- und umweltschädliche Problemstoffe (vgl. Kap. 4.1.3)
- Berücksichtigung demontagerechter Konstruktionen (vgl. Kap. 3.3.2 und 4.1.4)
- Luftdichte und wärmebrückenfreie Konstruktionen (vgl. Kap. 4.2 )
- Anschließende Qualitätssicherung und Wartung (vgl. Kap. 4.3.1)

Speziell für das Sanieren im Bestand lassen sich folgende Aspekte zusammenfassen:

#### REDUZIERUNG VON BAURESTMASSEN

In der Bausubstanz von Gebäuden sind stofflich gebundene Energien enthalten, die man als „Graue Energie“ bezeichnet. Sie umfasst Energie, die im Baustoff selber gespeichert ist sowie Aufwendungen für Transport-, Fertigungs- und Veredelungsprozesse. Ziel nachhaltigen Handelns muss ein

weitestgehender Erhalt des Bestandes sein. Grundlage ist eine substanzielle Bestandsaufnahme, aus der man genaue Kenntnisse der geschädigten Bereiche erhält. So ist es möglich, nur die Teile austauschen zu müssen, die wirklich beschädigt sind.

## RECYCLING BZW. ENTSORGUNG DER ABFALLMENGEN

Je nach Objekt und Sanierungsumfang fallen in der Instandsetzung Abfallmengen (Bauschutt, Holz, Metall) zwischen 0,08 - 0,18 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> umbauter Raum an. Sie wieder in den Stoffkreislauf einzugliedern, ist vorrangiges Ziel einer nachhaltigen Instandsetzung. Grundvoraussetzung ist eine Vorsortierung der Abfälle auf der Baustelle,

weil nur so Einfluss auf Menge und Sortenreinheit genommen werden kann. Es gilt die Maxime: Je höher der Grad der Vorsortierung, desto geringer sind die Entsorgungskosten und desto größer ist die Möglichkeit des Recyclings (vgl. Kap. 3.3.3 „Abfallentsorgung am Bau“).

## BAUSTOFFWAHL UNTER DEM ASPEKT DER MATERIALVIELFALT

Eine geringe Materialvielfalt reduziert den Sortieraufwand bei der Demontage und erhöht damit die Möglichkeiten und Chancen von Recycling. Deshalb sind bereits im Gebäude vorliegende Baustoffe bei der Sanierung zu favorisieren.

Aus denkmalpflegerischer Sicht ist häufig die Verwendung von historischen Baumaterialien vorgeschrieben. Positive Folge davon ist das Produktrecycling, bei welchem Bauteile fast ohne Aufbereitungsprozesse wieder verwendet werden können.

## KOPPELUNG MIT ENERGETISCHER SANIERUNG

Besonders bei Instandsetzungsarbeiten an Außenbauteilen ist eine gleichzeitige energetische Modernisierung zu prüfen und aus nachhaltiger Sicht auch zu empfehlen.

Mit relativ geringem finanziellen Mehraufwand lässt sich der Heizenergieverbrauch senken, was zu einer Reduktion von Betriebskosten, Energieverbrauch und Emissionen führt.

Da ausbautechnische Konstruktionen eine kürzere Lebensdauer als die Tragstruktur des Gebäudes haben (vgl. Abb. 4-9), ist vor großen Instandsetzungsmaßnahmen zu prüfen, inwieweit eine Sanierung zweckmäßig ist. Für den Fall, dass die Tragkonstruktion an der Grenze der Lebenserwartung liegt, sollte genau über den Umfang der Instandsetzung nachgedacht werden.

Die Lebensdauer von Konstruktionen und Baustoffen kann u.g. Quelle entnommen werden. Dort ist keine feste Lebensdauer dargestellt, sondern eine Bandbreite, die auf Einflüsse zurückzuführen ist, die sich lebensdauerverlängernd oder -verkürzend auswirken. Regelmäßige Inspektionen, umfangreiche Wartung sowie eine sofortige Instandsetzung haben einen

positiven Einfluss auf die Dauerhaftigkeit. Starke Beanspruchungen, seien sie mechanischer (Benutzung), bauphysikalischer (Tauwasserbildung), chemischer (Säure) oder biologischer (Bakterien) Art, sowie Witterungseinflüsse (UV-Strahlung, Regen) verkürzen die Lebensdauer.

### 5.3.2 Kombination mit anderen Maßnahmen

Es ist aus mehreren Gründen sinnvoll, notwendige Instandsetzungsmaßnahmen mit weiteren Bauaktivitäten zu koppeln. Zum einen werden die Kosten der Sekundärmaßnahme im Vergleich zu einer ungekoppelten Ausführung deutlich gesenkt, da viele Maßnahmen im Zuge der Instandsetzung ohnehin notwendig sind (z.B. Gerüst stellen). Des Weiteren ergeben sich Vorteile in bauphysikalischer und architektonischer Hinsicht.

Für die Wirtschaftlichkeit von energiesparenden Maßnahmen ist die Koppelung mit Instandsetzungsmaßnahmen ein entscheidender Parameter (siehe 5.4.1). Es geht also darum, den günstigen Zeitpunkt zu nutzen, da sich die nächste Gelegenheit, je nach Instandsetzung zu setzendem Bauteil, erst wieder in 15-50 Jahren ergibt.

Folgende Instandsetzungsarbeiten eignen sich besonders für die Koppelung mit energetischer Sanierung:

- Fassadenrenovierung (Anstrich, Putz)
- Wohnungs- und Betonsanierung
- Feuchteprobleme
- Dachausbau
- Dach- und Fenstererneuerung
- Heizungsrenovierung
- Erneuerung des Fußbodens, Verlegung von Parkett

Neben wirtschaftlichen Gründen sprechen auch bauphysikalische und technische Vorteile für eine Kopplung. So sollten Fenster und Außenwand immer gleichzeitig saniert werden. Feuchte- und Schimmelschäden werden vorgebeugt und es ergibt sich ein zusätzlicher Kostenvorteil im Bereich der Bauteilanschlüsse. Oftmals erweist sich auch ein Vorziehen von Instandsetzungsmaßnahmen als sinnvoll.

Des Weiteren lassen sich im Zuge von Instandsetzungsarbeiten architektonische Maßnahmen wie eine Fassadengestaltung in Form und Farbe umsetzen. Sie werten das Wohnumfeld auf, verstärken die Identifikation mit dem Gebäude und sorgen somit für eine gestiegene Wohnqualität.

Auch Maßnahmen zur Wohnwertverbesserung (Grundrissverbesserung und Anpassung der technischen Anlagen an den aktuellen Standard) führen zu einem behaglicheren und effektiv genutzten Wohnraum und tragen damit ganz wesentlich zu einer längeren Nutzungsdauer des Bauwerks bei.

## 5.4 Energetische Gebäudesanierung

Energetische Sanierung hat das Ziel, den Primärenergieverbrauch und die Betriebskosten eines Gebäudes zu senken sowie den Wohnkomfort zu erhöhen. Dabei konzentrieren sich die Maßnahmen hauptsächlich auf zwei Felder: eine Modernisierung der wärmeumschließenden Hüllfläche (Wand, Dach, Fenster, Keller- und oberste Geschossdecke) sowie eine Effizienzsteigerung der Heizanlage.

Allein durch Dämmmaßnahmen an der Außenhülle sind Energieeinsparvolumina von bis zu 43% erreichbar. Die Sanierung der energetischen Qualität spielt eine zentrale Rolle für die Nachhaltigkeit von Gebäuden.

Aspekte sind hier insbesondere der Beitrag zum Ressourcenschutz und zur Treibhausminderung (CO<sub>2</sub>-Emissionen). Trotz anhaltender Modernisierung und effizienterer Energienutzung werden immer noch ca. 30% der Gesamtenergie in Deutschland auf die Beheizung von Räumen verwendet. Eine Reduktion dieses Anteils ist im Hinblick auf Nachhaltigkeit unabdingbar. Dabei ist eine Verbesserung dieser Bilanz hauptsächlich durch eine Bestandssanierung zu erreichen, da der Neubau, bei einer jährlichen Rate von 1% des Gesamtwohnungsbauvolumens, eine untergeordnete Rolle spielt.

Im Hinblick auf die Einhaltung des Kyoto-Protokolls, in dem sich Deutschland zur Einsparung von 21% der CO<sub>2</sub>-Emissionen über einen Zeitraum von 22 Jahren verpflichtet hat, kann die Reduktion des Heizwärmebedarfs in erheblichem Maße beitragen.







So sind bei einer Reduzierung des Heizwärmebedarfs vom Durchschnittswert für Altbauten (Baujahr vor 1979, 250 kWh/m<sup>2</sup>a) auf das Niveau von Neubauten nach EnEV-Standard (70 kWh/m<sup>2</sup>a), pro Jahr 90 Mio. t CO<sub>2</sub> einzusparen, das sind etwa 10% der Gesamtemissionen der BRD.

### 5.4.1 Bauliche Maßnahmen

Um das bauliche Einsparpotential bei einer energetischen Sanierung im Bestand abschätzen zu können, sind neben konkreten Rahmenbedingungen (Konstruktion, Gestaltung) auch Restriktionen durch Denkmalschutz oder Architektur zu berücksichtigen. Das Institut Wohnen und Umwelt

(IWU) hat eine hilfreiche Haustypenmatrix veröffentlicht, die verschiedene Gebäudetypen in Deutschland nach Baujahr unterteilt. Die Reduktionspotentiale des Endenergieverbrauchs für Gebäude in den Alten Bundesländern sind in Abb. 5-6 in Auszügen dargestellt.

Mit Gültigkeit der 1. WSchVO'77 verbessert sich die Qualität der Gebäude, sodass deutlich geringere Einsparpotentiale zu verzeichnen sind. Maßnahmen am Dach bzw. der obersten Geschossdecke sowie der Außenwand haben das größte Energieeinsparpotential.

Baualterklasse	bis 1919 Fachwerk	bis 1919 Massiv	1919 - 1957	1958 - 1978	1979 - 1983 I WSV0	1984 - 1987 II WSV0
Kleine Mehrfamilienhäuser						
Bauliche Maßnahmen	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	Alt Neu *	Alt Neu *	Alt Neu *	Alt Neu *	Alt Neu *
	- Außenwand	1,9 0,49 25%	1,58 0,46 11%	1,5 0,35 19%	1,01 0,25 16%	0,8 0,24 13%
	- Kellerdecke	1,04 0,41 2%	1,37 0,48 4%	1,44 0,45 7%	0,97 0,4 3%	0,67 0,33 3%
	- Dach / o. Decke	2,6 0,2 14%	2,6 0,2 17%	0,78 0,16 11%	1,11 0,17 16%	0,44 0,14 4%
	- Fenster	2,57 1,6 2%	2,57 1,6 3%	3,37 1,6 5%	2,66 1,6 3%	2,57 1,6 4%
	Endenergie [kWh/m <sup>2</sup> a]	344 196	291 189	293 170	230 142	180 137
Einsparpotential**	- 43 %	- 35 %	- 42 %	- 38 %	- 24 %	

\* Einsparpotential des Endenergieverbrauchs der Einzelmaßnahme  
 \*\* mittleres Einsparpotential des Endenergieverbrauchs für die Summe der o.g. Maßnahmen

Abb. 5-6 Einsparpotential des Endenergieverbrauchs für Gebäude verschiedener Altersklassen

Detaillierte Informationen zur Haustypenmatrix:

➔ Gebäudetypologie 2004, Hrsg.: Institut für Wohnen und Umwelt, 2004

## WIRTSCHAFTLICHKEIT

Die Wirtschaftlichkeit von energetischen Maßnahmen hängt in starkem Maße vom bisherigen Energieverbrauch und den Investitionskosten der Sanierung ab, wofür wiederum die vorhandene Konstruktion sowie das Alter des Gebäudes verantwortlich sind. Des Weiteren sind zwei Betrachtungsweisen zu unterscheiden, die entscheidend für die Wirtschaftlichkeit sind:

- Bei ohnehin notwendigen Instandsetzungsmaßnahmen müssen nur die Mehrkosten für die energetische Sanierung angesetzt werden (gekoppelte Ausführung). So werden z.B. bei einer Dämmung der Wand mit einem WDVS keine Kosten für Gerüst, Architekt oder Eckschienen in Rechnung gestellt, weil sie bei Instandsetzungsarbeiten ohnehin angefallen wären.
- Ohne Kopplung sind hingegen die gesamten Kosten (Vollkosten) für die Kalkulation anzusetzen.

Für den Fall einer energetischen Sanierung einer Fassade mit WDVS sind in der Literatur folgende Preise zu finden:

Energetische Mehrkosten:  
22 Euro/m<sup>2</sup> Bauteilfläche

Vollkosten:  
79 Euro/m<sup>2</sup> Bauteilfläche

Die große Differenz der Ausgangswerte beeinflusst das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung maßgeblich.

Da die Preise für die Maßnahme sowie die damit einhergehende Energieeinsparung stark projektspezifisch sind, empfiehlt sich eine eigene objektbezogene Kalkulation auf der Basis von Leistungsangeboten. Die Berechnung kann erfolgen nach:

➔ Leitfaden zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Energiesparinvestitionen im Gebäudebestand, Hrsg.: Institut für Wohnen und Umwelt (IWU), 2003 [www.iwu.de](http://www.iwu.de)



Anhaltswerte für die Wirtschaftlichkeit von energetischer Sanierung sind in Abb. 5-7 enthalten. Kernparameter für die wirtschaftliche Beurteilung von energetischen Maßnahmen ist dort der „Preis pro eingesparter Kilowattstunde“. Dabei werden die Investitionskosten mittels der dynamischen Annuitätenmethode auf jährliche Kosten umgelegt und mit der erzielten Energieeinsparung ins Verhältnis gesetzt. Wenn diese Kosten den aktuellen Energiepreis unterschreiten, ist die Maßnahme wirtschaftlich.

Anfang 2006 betragen die mittleren Gestehungskosten für die Heizwärmebereitstellung aus Öl und Gas zwischen 5,5 und 6,0 ct./kWh.

Diese Darstellung bezieht sich auf die gekoppelte Ausführung und ist dementsprechend nur für den Fall anzuwenden, dass Ohnehin-Maßnahmen anstehen. Falls die Vollkosten in Ansatz gebracht werden, ist eine Wirtschaftlichkeit erst bei einem höheren Energiepreis erreicht.

Zusammenfassend können für die Wirtschaftlichkeit folgende Aussagen gemacht werden:

#### Gekoppelte Sanierung

- Für Gebäude, die vor der ersten WSchVO errichtet wurden (Bj. vor 1979), sind alle gängigen Nachrüstmaßnahmen (Dämmung Wand, Keller, Dach) bei den heutigen Energiepreisen wirtschaftlich

- Je älter das Gebäude, desto wirtschaftlicher ist die Maßnahme

#### Ungekoppelte Sanierung

- Das Aufbringen von zusätzlicher Dämmung an Kellerdecke und oberster Geschossdecke ist meist wirtschaftlich
- Je schlechter der alte U-Wert des Gebäudes, desto wirtschaftlicher ist die Maßnahme
- Ein Austausch von Fenstern bei Vollkosten ist nicht wirtschaftlich

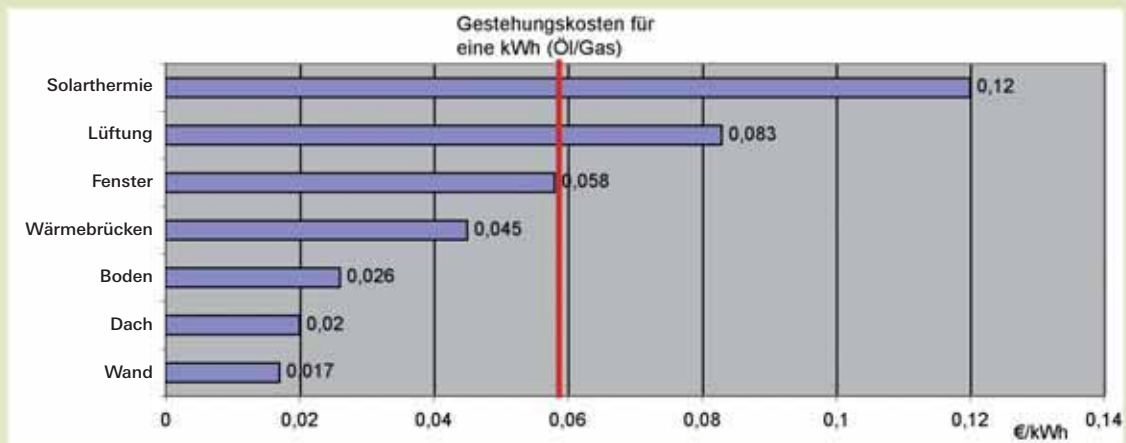


Abb. 5-7 Durchschnittlicher Preis pro eingesparter Kilowattstunde für verschiedene Maßnahmen

➔ Energetische Gebäudesanierung mit Faktor 10, Hrsg.: Dr. B. Schulze Darup, 2004  
[www.dbu.de](http://www.dbu.de)

➔ Energie sparen – Heizkosten senken – CO<sub>2</sub>-Ausstoß mindern, Hrsg.: Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, 2002  
[www.impulsprogramm.de](http://www.impulsprogramm.de)

➔ Vom Altbau zum Niedrigenergiehaus, I. Gabriel, H. Ladener, Ökobuch Verlag, 1997

## 5.4.2 Technische Gebäudeausstattung

Aufgrund schlechter Isolierung, hoher Abgas- und Bereitstellungsverluste sowie geringen Kesselwirkungsgraden tragen Heizanlagen mit mehr als 20% zu den Gesamtenergieverlusten eines Durchschnittshauses bei (vgl. Abb. 5-8).

Eine pauschale energetische Beschreibung der Anlagentechnik nach Bau- altersklassen ist allerdings schwer möglich, da das Alter der Heizanlagen und des Gebäudes nur bei jüngeren Baujahren identisch ist. Vielmehr ist

eine von der Gebäudehülle isolierte Betrachtung der Anlagentechnik notwendig. Dem Alter des Kessels kann eine typische Endenergieaufwandszahl  $e_{E,H}$  (entspricht dem Reziprok des Jahresnutzungsgrads  $\eta$ ) zugeordnet werden, die ein Gradmesser für die im System auftretenden Energieverluste darstellt. Sie fasst u.a. den Wirkungsgrad des Kessels und der Verteilung zusammen, stellt allerdings keine primärenergetische Betrachtung dar.

Abb. 5-9 zeigt das potentielle Einsparvolumen beim Endenergieverbrauch, welches durch Substitution mit einem modernen Niedertemperatur- oder Brennwertsystem erreicht werden kann.

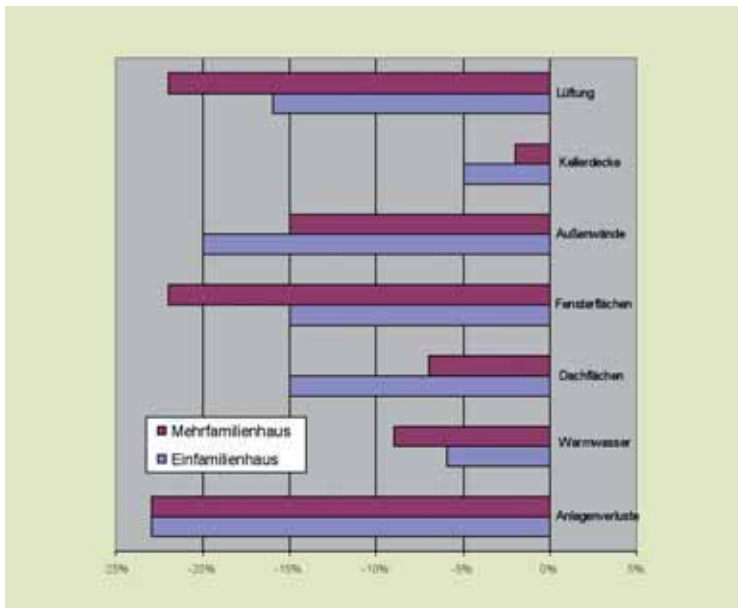


Abb. 5-8 Endenergieverluste von Altbauten

**Kleines Mehrfamilienhaus Bj. 1919 - 1957  
mit einem Heizenergieverbrauch von  
180 kWh/m<sup>2</sup>a**



Einsparung beim Endenergieverbrauch		Modernisierung mit	
		NT-Kessel $e_{E,H} = 1,16$	Brennwertkessel $e_{E,H} = 1,05$
Altanlage mit Festbrennstoff	$e_{E,H} = 1,85$	- 37%	- 43%
Standardkessel vor 1978	$e_{E,H} = 1,58$	- 27%	- 34%
Standardkessel 1978 - 1986	$e_{E,H} = 1,41$	- 15%	- 25%
Standardkessel 1987 - 1994	$e_{E,H} = 1,37$	- 15%	- 23%
Standardkessel ab 1995	$e_{E,H} = 1,33$	- 13%	- 21%
Niedertemperaturk. bis 1986	$e_{E,H} = 1,36$	- 15%	- 23%
Niedertemperaturk. 1987 - 1994	$e_{E,H} = 1,30$	- 10%	- 19%
Niedertemperaturk. ab 1995	$e_{E,H} = 1,25$	- 7%	- 16%
Brennwertkessel bis 1994	$e_{E,H} = 1,21$	- 3%	- 13%
Brennwertkessel ab 1995	$e_{E,H} = 1,20$	- 3%	- 13%

Abb. 5-9 Endenergieeinsparung bei Kesselmodernisierung



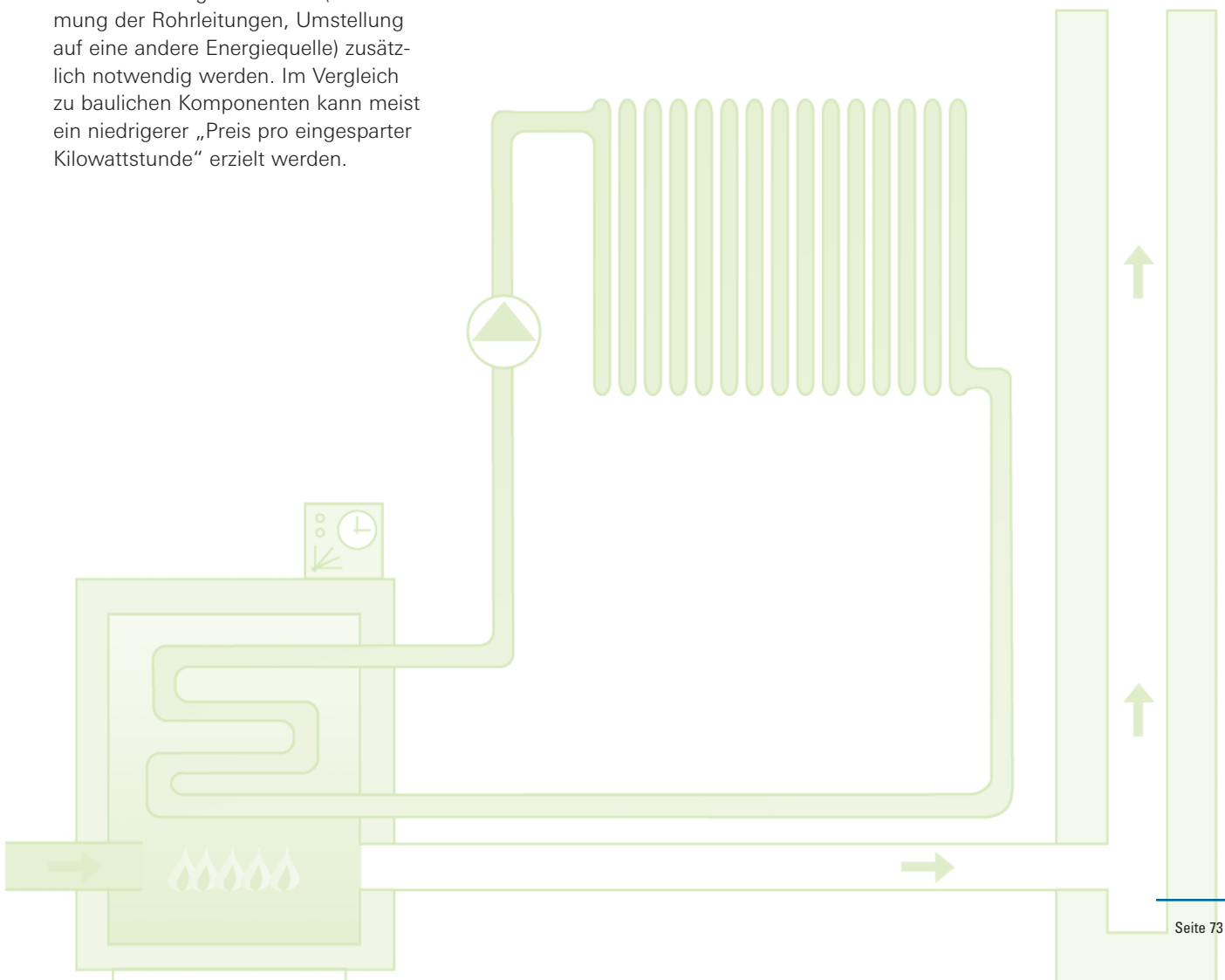
Bei Nutzung modernster Heizungs-technik kann ein Reduktionspotential von min. 13% erreicht werden, was somit im Bereich der effektivsten baulichen Einzelmaßnahmen liegt. Es wäre aber falsch, bauliche und anlagentechnische Maßnahmen gegenüber zu stellen. Vielmehr sind beide gleichberechtigt zu verfolgen. Eine einseitige Beschränkung auf die baulichen Maßnahmen würde zu einer Überdimensionierung des Kessels und somit, besonders bei alten Kesseln, zu

einem geringeren Jahresnutzungsgrad führen. Geringere Wirkungsgrade erhöhen die Verluste, sodass ein Teil der baulichen Spareffekte wieder aufgezehrt wird. Eine Beschränkung auf anlagentechnische Aspekte führt hingegen nicht zu einer Verbesserung des Wohnkomforts oder zu einer Vorbeugung gegen Bauschäden, welches ebenfalls Ziele der energetischen Gebäudesanierung sind. Eine Modernisierung der Kesseltechnik wird in der EnEV verbindlich für Altanlagen

vorgeschrieben, die vor 1978 eingebaut wurden. Sie müssen bis Ende 2006 bzw. 2008 ersetzt werden. Ein separater Austausch des Brenners kann ein mangelhaftes System nur unzureichend aufwerten. Die Abgasverluste können zwar um einige Prozent verringert werden, die Abstrahlverluste des Kessels bleiben aber weiterhin bestehen. In Bezug auf Energieeinsparung und CO<sub>2</sub>-Minderung ist diese Maßnahme alleine nicht zielführend.

## WIRTSCHAFTLICHKEIT

Im Allgemeinen sind anlagentechnische Maßnahmen zur energetischen Sanierung immer wirtschaftlich, wenn keine aufwändigen Arbeiten (Dämmung der Rohrleitungen, Umstellung auf eine andere Energiequelle) zusätzlich notwendig werden. Im Vergleich zu baulichen Komponenten kann meist ein niedrigerer „Preis pro eingesparter Kilowattstunde“ erzielt werden.



### 5.4.3 Analyse des Energieverbrauchs und der Wärmebilanz

Bevor man die energetischen Kenn-  
daten des Gebäudes analysieren kann,  
muss eine umfangreiche Bestands-  
aufnahme vorgenommen werden. Sie  
sollte Grundlage jeglicher Bauaktivi-  
täten im Bestand sein. Ergänzend zu  
den in Kapitel 5.1 „Bestandsaufnah-  
me“ erläuterten Aspekten sind für die  
energetische Bewertung eines Objekts  
folgende Parameter von besonderer  
Wichtigkeit:

#### Daten der Gebäudehülle:

- Schichtaufbau der Außenbauteile zur U-Wert- und Dämmstärkenbestimmung
- Anschlussdetails für wärmebrückegefährdete Stellen (siehe Abb. 4-14)
- Anschlussdetails für kritische Stellen in Bezug auf Luftdichtigkeit (siehe Abb. 4-11)
- Thermografieaufnahmen der Fassaden

#### Energetische Kennwerte:

- |   |                          |
|---|--------------------------|
| • Jahresheizwärmebedarf $Q_H$             | [kWh/(m <sup>2</sup> a)] |
| • Primärenergiebedarf $Q_P$               | [kWh/(m <sup>2</sup> a)] |
| • Luftdichtheit der Gebäudehülle $n_{50}$ | [h <sup>-1</sup> ]       |
| • Anlagenaufwandszahl $e_p$               | [-]                      |

Bauteilabhängige Checklisten zur energetischen Anamnese finden Sie unter:

➔ Energie sparen – Heizkosten senken – CO<sub>2</sub>-Ausstoß mindern,  
Hrsg.: Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, 2002  
[www.impulsprogramm.de](http://www.impulsprogramm.de)

Um festzustellen, woran das Gebäude „krankt“, ist es oftmals schon ausreichend, ein umfangreiches Planstudium durchzuführen. Fehlende Dämmung der Außenhülle oder zu geringe Wandstärken im Heizkörpernischenbereich können meistens relativ einfach erkannt werden. Eine weitere Hilfe kann der Energiepass für Bestandsgebäude sein, der im Laufe des Jahres 2006 eingeführt werden soll. Die Erstellung ist verbindlich vorgeschrieben, wenn ein Nutzerwechsel im Gebäude vollzogen wird. Ähnlich wie beim Durchschnittsverbrauch von Autos können damit der Energieverbrauch sowie die Umweltbelastungen während der Nutzphase kalkuliert und beurteilt werden. Zentraler Kennwert ist dabei der Primärenergiebedarf in kWh/m<sup>2</sup>a,

durch den das Gebäude in eine bestimmte Qualitätsklasse eingeordnet wird. Im Pass sind ebenfalls Modernisierungsmaßnahmen dargestellt, durch die eine verbesserte Energieklasse erreicht werden kann. Der Energiepass sollte – falls vorhanden – bei jeder anstehenden energetischen Modernisierung neben den eigenen Anamnesedaten genutzt werden. Die Qualität von Gebäuden lässt sich nach der Bestandsaufnahme in drei Kategorien einordnen:

#### Klasse 1

Das Gebäude besitzt eine gute bis sehr gute Qualität in Bezug auf den untersuchten Parameter. Im Hinblick auf Nachhaltigkeit sind keine Maßnahmen notwendig.

#### Klasse 2

Das Objekt besitzt kleinere Schwachpunkte, die in Zusammenarbeit mit einem Fachplaner genauer geprüft und beseitigt werden sollten.

#### Klasse 3

Aus Sicht der Nachhaltigkeit besitzt das Bauwerk eine mangelhafte Qualität. Umfangreiche Optimierungsmaßnahmen sind ratsam.

Diese Klassifizierung ist nur als grobe Leitlinie zu verstehen, die es dem Anwender erleichtern soll, die Immobilie zu beurteilen. Sie gilt für durchschnittliche, kleine Mehrfamilienhäuser, ist aber auch auf andere Gebäudetypen zu übertragen. Als Basis dienen teilweise gesetzliche Vorgaben wie die EnEV.

## PRIMÄRENERGIEBEDARF $Q_p$

Der Primärenergiebedarf ist ein Kennwert, der die Qualität der Gebäudehülle sowie die Effektivität der Anlagentechnik zusammenfasst und ist mit diesem ganzheitlichen Ansatz ein guter Parameter zur Beurteilung von Nachhaltigkeitsaspekten. Er wird deshalb oft für eine energetische Schnellqualifizierung herangezogen. Für die Ausarbeitung konkreter Optimierungsmöglichkeiten reicht dieser Einzelwert allein wegen seiner Aggregation allerdings nicht aus.

$Q_p$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	Qualität	Beschreibung
$Q_p < 150$ $150 < Q_p < 350$	Sehr gut bis gut Mittel	Eine Sanierung ist nicht notwendig. Weitere Untersuchungen sind ratsam. Einzelmaßnahmen sind zu empfehlen (z.B. neuer Kessel).
$Q_p > 350$	Schlecht	Es besteht dringender Handlungsbedarf.

Abb. 5-10 Diagnosedaten Primärenergiebedarf

Bei Baumaßnahmen im Bestand (Änderungen über 20% der Bauteilfläche) sind die Vorgaben aus der EnEV einzuhalten.

## HEIZWÄRMEBEDARF $Q_H$

Der Heizwärmebedarf beschreibt die Qualität der Gebäudehülle. Die Berechnung erfolgt nach den Verfahren der EnEV.

$Q_H$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	Qualität	Beschreibung
$Q_H < 60$ $60 < Q_H < 150$	Sehr gut bis gut Mittel	Eine Sanierung ist nicht notwendig. Der Standard ist mit einem Neubau vergleichbar. Weitere Untersuchungen sind ratsam. Einzelmaßnahmen wie Dämmung der Kellerdecke sollten umgesetzt werden.
$Q_H > 150$	Schlecht	Die Gebäudehülle ist grundlegend zu sanieren.

Abb. 5-11 Diagnosedaten Heizwärmebedarf

## ANLAGENTECHNIK $e_p$

Die Aufwandszahl fasst alle Parameter der technischen Gebäudeausstattung zusammen. Sie kann als Kennwert für die Effektivität der Anlagentechnik bezeichnet werden.

$e_p$ [-]	Qualität	Beschreibung
$e_p < 1,2$ $1,2 < e_p < 2,0$	Sehr gut bis gut Mittel	Eine Sanierung ist nicht notwendig. Der Standard ist mit einem Neubau vergleichbar. Weitere Untersuchungen sind ratsam. Es besteht Optimierungspotential (Brennwertkessel, solare Brauchwassererwärmung).
$e_p > 2,0$	Schlecht	Die Anlagenverluste sind zu groß und müssen reduziert werden.

Abb. 5-12 Diagnosedaten Anlagenaufwandszahl

Eine Erneuerung der Heizungsanlage ist auch zu empfehlen, wenn:

- der Kessel mit einer konstanten Temperatur über 70°C betrieben wird,
- die Anlage älter als 15 Jahre ist,
- keine außentemperaturabhängige Regelung erfolgt,
- Heizraumtemperaturen über 20 °C herrschen oder
- Feuchteschäden im Schornstein entstehen.

## LUFTDICHTHEIT $n_{50}$

Im Altbau (Gebäude älter als 30 Jahre) sind Luftdichtheitswerte zwischen  $n_{50}=2 \text{ h}^{-1}$  und  $n_{50}=20 \text{ h}^{-1}$  durchaus anzutreffen, der Durchschnitt liegt etwa bei 5 bis  $6 \text{ h}^{-1}$ . Dabei nimmt der Wert nicht automatisch mit dem Alter der Objekte zu, sondern ist vielmehr von der Planung und Ausführung der Dichtheitsschicht abhängig, die sich wiederum stark nach der ausgeführten Konstruktion richtet.

$n_{50} [\text{h}^{-1}]$	Qualität	Beschreibung
$n_{50} < 1,5 \text{ h}^{-1}$	Sehr gut bis gut	Die Werte entsprechen den Empfehlungen der DIN 4108-7 für Gebäude mit RLT-Anlagen. Passivhausstandard ist für Werte $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$ gegeben.
$1,5 \text{ h}^{-1} < n_{50} < 4,5 \text{ h}^{-1}$	Mittel	Gebäude mit Fensterlüftung dürfen nach DIN 4108-7 den Wert von $n_{50} = 3,0 \text{ h}^{-1}$ nicht überschreiten. Größere Leckagen sollten abgedichtet werden.
$n_{50} > 4,5 \text{ h}^{-1}$	Schlecht	Eine Nachabdichtung des Gebäudes ist dringend zu empfehlen.

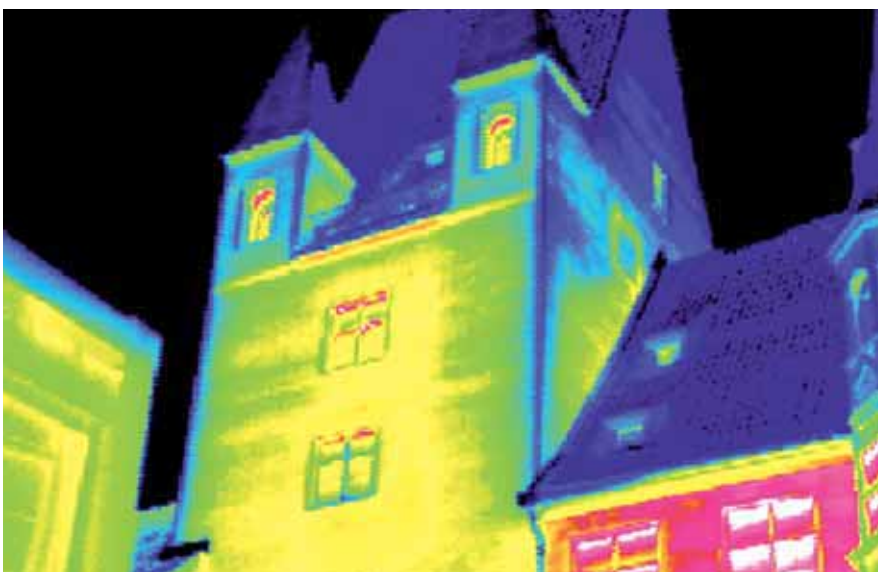
Abb. 5-13 Diagnosedaten Luftdichtheit

## WÄRMEBRÜCKEN

Gerade im Altbau sind aufgrund geringer oder ganz fehlender Dämmstoffdicken die Auswirkungen von Wärmebrücken auf den Heizenergieverbrauch enorm. Die Transmissionswärmeverluste können bei ungünstigen Konstruktionen (durchlaufende Balkonplatte) um den Faktor 2 ansteigen. Schon eine standardisierte Innenecke

kann zu Schimmelpilz führen. Eine Sanierung ist zwingend notwendig. Auf Basis der Daten der Bestandsaufnahme – dies sind vor allen Dingen Thermografieaufnahmen, Anschlussdetails und optisch sichtbare Schimmelpilzstellen – sind Wärmebrücken relativ einfach zu detektieren. Mittels Wärmebrückenkatalogen, die in

gedruckter und elektronischer Form erhältlich sind, sowie bauphysikalischer Software lassen sich die Wärmeverluste sowie die Neigung zur Schimmelpilzbildung genau bestimmen. Aufgrund dieser Untersuchungen klären Fachleute inwieweit Handlungsbedarf besteht (vgl. Kap. 4.2 „Luftdichtheit/Wärmebrücken“).



## 5.4.4 Sanierungsplanung

Die energetische Therapie umfasst die Planung und Ausführung der Sanierungsmaßnahme. An der Gebäudehülle sind das meist die „Standardmaßnahmen“: Dämmung von Außenwand, Dach, Keller- und oberster Geschossdecke sowie die Erneuerung der Fenster. Kombiniert werden diese Maßnahmen mit erhöhten Anforderungen an die Luftdichtheit und an die Wärmebrückenfreiheit der Gebäude. Im Bereich der Versorgungstechnik ist die Modernisierung des Wärmeerzeugers die unproblematischste und effektivste Maßnahme. Die Umsetzung von Maßnahmen ist natürlich stark projektbezogen und ergibt sich aus den Ergebnissen der

Analyse von Energieverbrauch und Wärmebilanz. Es gibt eine Vielzahl von konkreten Maßnahmen, die im Rahmen einer energetischen Sanierung durchgeführt werden können. Im Folgenden werden einige Beispiele gegeben.

Hierzu wird verwiesen auf:

➔ Vom Altbau zum Niedrigenergiehaus, I. Gabriel, H. Ladener, Ökobuch Verlag, 1997

➔ Energie sparen – Heizkosten senken – CO<sub>2</sub>-Ausstoß mindern, Hrsg.: Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, 2002 [www.impulsprogramm.de](http://www.impulsprogramm.de)

Vielfach gibt es speziell für die Altbau modernisierung entwickelte Produkte, wie etwa die Vakuum-Paneele (eine um den Faktor 10 dünnere Ausführung eines Dämmstoffs bei gleichen Eigenschaften wie ein Standardprodukt).

So kann der Nutzraumverlust bei Innendämmung auf ein Minimum gesenkt werden. Konkrete Maßnahmen im Rahmen der Sanierung sind im Folgenden beispielhaft genannt.

## SIMULATION DER SANIERUNGSPLANUNG

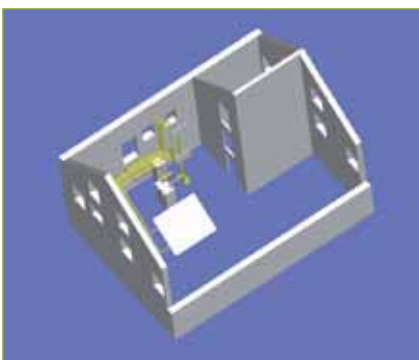


Abb. 5-14 Versorgungstechnik und Hülle

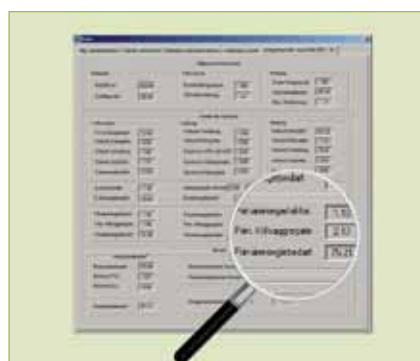


Abb. 5-15 Tabellarische Auswertung

Eine Simulation der Maßnahme ist im Hinblick auf das anvisierte Ziel „Nachhaltige Gebäudenutzung“ sinnvoll und notwendig. Das prinzipielle Vorgehen wird hier anhand einer Simulation auf Basis des in Kap. 3.1.2 „Planung mit Produktmodellen“ beschriebenen

Gebäudemodells gezeigt. Grundlage für die Simulation ist ein bestehendes Gebäudemodell der thermischen Hülle und der installierten Anlagentechnik (siehe Abb. 5-14). Ziel der Optimierung soll es sein, den Primärenergiebedarf zu reduzieren. Die lokalisierte Schwach-

stelle wird auf der Seite der Anlagentechnik gefunden, was sich zum einen aus der Gebäudeanamnese und zum anderen aus der tabellarischen Auswertung der Anlageneffizienz (Energieverluste von Leitungen, Wirkungsgrade von Erzeugern, etc.) ergibt (siehe Abb. 5-15).

Über die grafische Benutzeroberfläche kann dann die Modifikation von charakteristischen Eigenschaften der jeweiligen Bauteile durchgeführt werden. Beispielsweise wäre eine Änderung des Kesselwirkungsgrads möglich. Nach Beendigung der

Korrekturen wird erneut eine detaillierte Berechnung der Anlagenaufwandszahl und des Wärmebedarfs mit zugehörigen Zwischenwerten durchgeführt. Der erneute Vergleich mit der Zielvorgabe zeigt, ob weitere Iterationsschritte nötig sind.

Mit Hilfe weiterer Softwaretools kann eine LCA-Analyse (Life Cycle Assessment = Ökobilanz) erstellt werden, um so die Auswirkungen auf die Umwelt zu quantifizieren. Noch vor Beginn der Sanierungsmaßnahme können verschiedene Varianten unter Umweltaspekten beurteilt werden.

Weiterführende Literatur zum Produktmodell:

➔ Simulation des Ressourcenbedarfs von Bauwerken – Integration eines Produktmodells der technischen Gebäudeausstattung, Technische Universität München, 2005  
[www.sfm-bauwerke.de](http://www.sfm-bauwerke.de)

Kommerzielle Anbieter vertreiben eine Reihe von Simulations- und Rechenprogrammen, die nicht auf einem Gebäudemodell basieren. Mit ihnen können ebenfalls vergleichbare Simu-

lationen und Optimierungen durchgeführt werden. Eine Auswahl ist unter [www.gebaeudeenergiepass.de](http://www.gebaeudeenergiepass.de) gegeben.

## FASSADE

Um nicht oder schlecht gedämmte Außenwände energetisch zu sanieren, stehen je nach Wandkonstruktion und projektbezogenen Anforderungen (Unversehrtheit der Außenhaut) drei Grundvarianten zur Verfügung: die Innen-, Außen- oder Kerndämmung.

Am häufigsten kommt die Außenwanddämmung zum Einsatz. Mögliche Konstruktionen sind eine Vorhang-

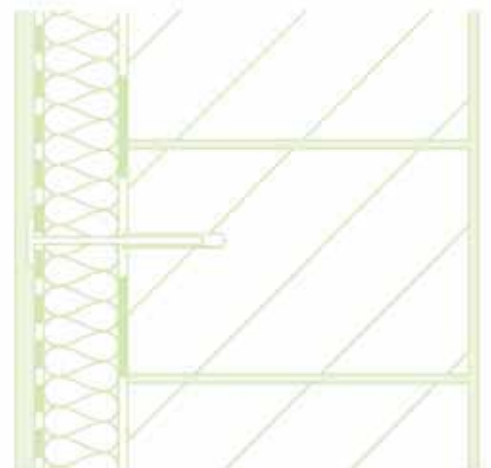
fassade oder ein Wärmedämmverbundsystem (WDVS). In Kapitel 4.1 werden die beiden Varianten unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit bewertet (siehe Abb. 4 1: Massive Außenwände: Fassadenkonstruktion 2 und 4).

Es ergibt sich, dass die Vorhangfassade bei sachgemäßer Planung und Ausführung gegenüber dem Wärmedämmverbundsystem aus Sicht der

Ökologie leichte Vorteile hat. Dies ergibt sich vor allen Dingen aus der guten Dauerhaftigkeit und der besseren Demontierbarkeit. Nachteil ist ein deutlich höherer Preis.

Weitere Informationen zur energetischen Sanierung der Außenwand finden Sie in:

➔ Konstruktionshandbuch - Verbesserung des Wärmeschutzes im Wohngebäudebestand, Hrsg.: Institut Wohnen und Umwelt, 1997



## FENSTER



Abb. 5-16 Fensteraustausch

Der durch alte Fenster verursachte Energieverlust kann bei Bestandsgebäuden sehr hoch sein. Verstärkt werden diese Transmissionsverluste noch durch die Undichtigkeiten der Fensterrahmen. Weitere negative Einflüsse sind beim Schallschutz und dem Wohnkomfort festzustellen, denn die Luftundichtigkeit der Fenster kann für unangenehme Zuglufterscheinungen sorgen. Die starke Temperaturdifferenz innerhalb des Raumes führt zu einer geringeren Behaglichkeit und zudem meist zu einer erhöhten Raummitteltemperatur im Vergleich zu einer gleichmäßigen Temperaturverteilung.

Erst bei Wärmeschutzverglasungen ab einem U-Wert von  $1,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  kommt es zu einer deutlichen Verbesserung der Behaglichkeit in Fensterhöhe. Es ist deshalb anzuraten, alte Fenster zu erneuern. Es gibt zwei Varianten:

1. den vollständigen Austausch der alten Fenster sowie
2. eine Modernisierung unter teilweisem Erhalt der bestehenden Fenster

## AUSTAUSCH VON FENSTERN

Grundsätzlich gelten für den Einbau neuer Fenster im Sanierungsfall dieselben Empfehlungen wie im Neubaubereich:

- niedriger U-Wert
- hohe Lichtdurchlässigkeit
- hoher Gesamtenergiedurchlassgrad
- geringer Rahmenflächenanteil

Bei einem Fensterflächenanteil von mehr als 20% an der Fassadenfläche sind die Mindestanforderungen der ENEC an den Wärmedurchgangskoeffizienten von  $UW < 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  einzuhalten. Diese geforderten Werte sind nur mit Wärmeschutzverglasungen zu erreichen. Sie schwanken je

nach Produkt zwischen  $1,1$  und  $1,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  für Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung und zwischen  $0,4$  und  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  für Dreischeiben-Wärmeschutzverglasungen, ihr Einsatz ist jedoch nur bei großen Flächen mit geringen Rahmenanteilen oder mit wärmetechnisch optimierten Rahmen sinnvoll.

## SANIERUNG VORHANDENER FENSTER

Fenster, deren Restlebensdauer noch 10 bis 15 Jahre beträgt, und deren unbeschädigter Rahmen die nötige Dicke für eine neue Verglasung aufweist, sind mit Wärmeschutzverglasungen nachrüstbar. Allerdings muss die Eignung für die neue Verglasung

geprüft werden (z.B. Tragfähigkeit der Beschläge, möglicher Tauwasseranfall). Diese Maßnahme ist ökologisch fast mit einem Kompletttausch zu vergleichen und die wirtschaftlichste Lösung bei der energetischen Altbausanierung.

Im Folgenden sind die Ergebnisse einer Berechnung an einem Beispielgebäude dargestellt, die den Austausch von Fenstern simuliert. Es wurden die U-Werte der Verglasung des Gebäudes variiert, ausgehend von 2,9 W/m<sup>2</sup>K auf 0,5 W/m<sup>2</sup>K.

Abb. 5-17 Heizwärmebedarf mit variablem U-Wert der Verglasung Abb. 5-18 Jährliche CO<sub>2</sub>-Einsparung bei Fenstermodernisierung in Abhängigkeit des Heizungssystems

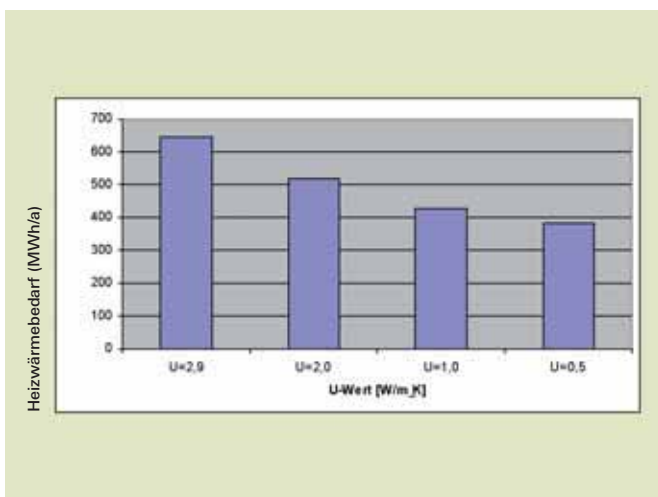


Abb. 5-17 Heizwärmebedarf mit variablem U-Wert der Verglasung

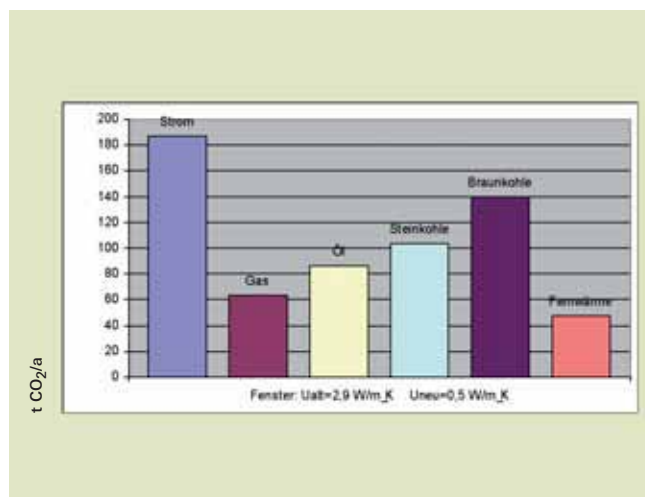


Abb. 5-18 Jährliche CO<sub>2</sub>-Einsparung bei Fenstermodernisierung in Abhängigkeit des Heizungssystems

Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Reduktion des Heizenergiebedarfs (Abb. 5-17). Die entsprechende Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Abhängigkeit des verwendeten Brennstoffs zeigt Abb. 5-18. Zugrunde gelegt ist hier der Austausch der Fenster mit einem U-Wert von 2,9W/m<sup>2</sup>K gegen solche mit einem U-Werte von

0,5 W/m<sup>2</sup>K. Die notwendigen Aufwendungen für die Herstellung der neuen Fenster, die bei einer Lebenszyklusbetrachtung berücksichtigt werden müssen, sind dabei vernachlässigbar klein. Allerdings ist die wirtschaftliche Belastung hier im Vergleich zu anderen energetischen Maßnahmen relativ hoch.

➔ Vom Altbau zum Niedrigenergiehaus, I. Gabriel, H. Ladener, Ökobuch Verlag, 1997

➔ Nachhaltiges Bauen mit Aluminium und/oder Glas, Technische Universität München, 2005  
[www.sfm-bauwerke.de](http://www.sfm-bauwerke.de)



## WÄRMEBRÜCKEN

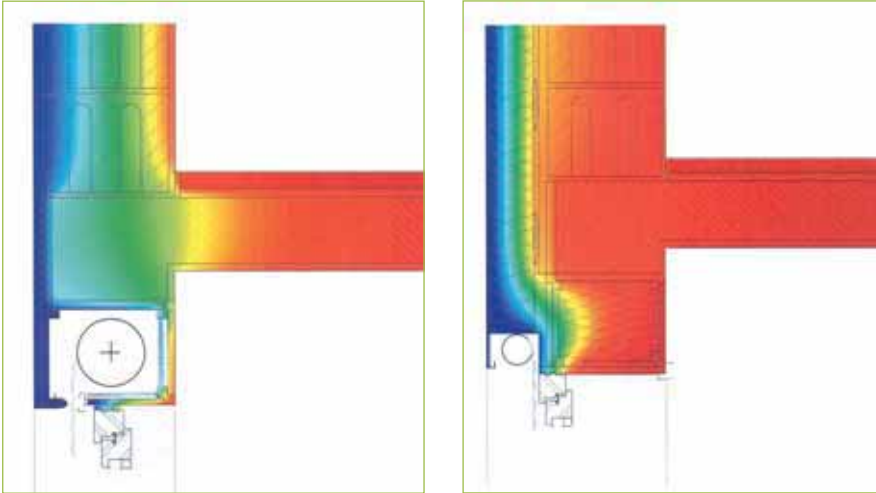


Abb. 5-19 Rollladenkasten vor und nach einer energetischen Sanierung

Eine Sanierung von Wärmebrücken stellt an den Planer bzw. Architekten hohe Ansprüche, weil zahlreiche projektspezifische Detailausbildungen zu erarbeiten sind. Um ein zufrieden stellendes Ergebnis zu bekommen, ist sowohl bei der Planung als auch der handwerklichen Ausführung große Sorgfalt notwendig. Eine Sanierung zur Vermeidung von Schimmelpilz

und Wärmeverlusten ist aus Sicht der Nachhaltigkeit aber zwingend erforderlich. Die Vielzahl der im Altbau vorzufindenden Konstruktionen erschwert hingegen das Zurückgreifen auf Standardlösungen.

Das Beispiel zeigt die wärmetechnische Sanierung eines Großformatmauerwerks incl. Rollladenkasten.

Eine Zusatzdämmung der Außenwand sowie die Montage einer neuen Minirolllade mit gleichzeitiger Dämmfüllung des alten Hohlraums reduzieren die Transmissionsverluste deutlich. Aufgrund von möglichen Luftundichtigkeiten empfiehlt es sich, raumseitig eine Dampfsperre anzuordnen (vgl. Kap. 4.2).

Standardlösungen zur Sanierung von Wärmebrücken im Altbau finden Sie in:

➔ Energetische Gebäudesanierung mit Faktor 10, Hrsg.: Dr. B. Schulze Darup, 2004  
[www.dbu.de](http://www.dbu.de)

➔ Wärmebrücken im Gebäudebestand,  
Fachverband für Energie-Marketing und Anwendung (HEA), VDEW Energieverlag, 2001

## BAUSCHÄDEN DURCH ENERGETISCHE SANIERUNG

Zusätzliche Wärmedämmung verhindert den Wärmefluss sowohl von außen nach innen als auch umgekehrt. Als Folge können die Oberflächentemperaturen der Wandaußenflächen unter die Taupunkttemperatur sinken (bei 3-fach Verglasung kann das bis zur Raureifbildung an der Außenfläche führen). Somit kann, neben der bekannten Schimmelbildung auf Wandinnenseiten, auch außen Schimmel entstehen. Die Taupunkttemperatur ist abhängig von der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte, die jeweiligen Werte sind in Teil 3 der DIN 4108 angegeben. Tauwasserbildung auf Bauteiloberflächen kann somit vermieden werden, wenn die Oberflächentemperaturen zu jedem Zeitpunkt mindestens so groß wie die

entsprechende Taupunkttemperatur ist. Bei Wänden versucht man die Oberflächentemperaturen durch absorbierende Oberflächen in Kombination mit einer größeren Wärmespeicherkapazität der äußeren Schicht anzuheben. Zum Einsatz kommen hier relativ neu entwickelte PCM's (Phase Change Material).

Weitere Bauschäden entstehen durch fehlerhaft geplante und ausgeführte Wärmedämmung bzw. Wärmebrückenkonstruktionen oder veränderte Luftwechselraten innerhalb der Räume sowie fehlerhaftes Nutzungsverhalten (Schimmel an der Innenseite). Weitere Hinweise zu Bauschäden, die durch energetische Sanierung entstehen können, entnehmen Sie bitte nachfolgender Literatur.

➡ Schäden bei der energetischen Modernisierung, Tagungsband 40. Bausachverständigen-Tag, Fraunhofer IRB Verlag, 2005

## 6 Zusammenfassung

Bei Neu-, Aus- oder Umbau von Gebäuden stehen nachhaltige Baumaßnahmen sehr viel häufiger mit den rein ökonomischen Zielen im Einklang als gemeinhin angenommen wird. Gerade im Hinblick auf steigende Energiepreise machen z.B. rationelle Konzepte unter Einbeziehung von regenerativen Energieträgern immer mehr Sinn.

Nachhaltiges Handeln bedeutet zu nächst, eine hohe Bauqualität und damit einhergehend geringen Wartungsaufwand und gute Dauerhaftigkeit sicherzustellen. Die durchschnittliche Lebensdauer von Gebäuden liegt gegenwärtig bei etwa 50 Jahren, wobei die tragende Gebäudehülle aus mineralischen Rohstoffen wesentlich länger standhaft ist. Eine deutliche Verlängerung der Nutzungs- und Lebensdauer ist zwangsläufig mit höheren Investitionskosten im Gebäudebau verbunden. Diese sind vor allem bei kurzfristiger Betrachtungsweise zunächst schwer zu vermitteln. Lenkt man jedoch den Blick auf die höhere Flexibilität nachhaltig errichteter Gebäude und zukünftige Nutzungsvarianten aufgrund sozialer, demogra-

phischer, kultureller und wirtschaftlicher Veränderungen, können auch höhere Kosten akzeptiert werden. Frühzeitige Abbrüche, Entsorgungskosten und damit verbundene Umweltbelastungen werden so vermieden.

Ein anderer Aspekt der Nachhaltigkeit im Bereich Gebäudebau ist die Wiederverwertung von Stoffen. Hier birgt eine verstärkte Übertragung von Recyclingmethoden aus der Konsumgüterindustrie in den Bausektor ein hohes ökologisches und ökonomisches Potential, wie man es z.B. von der Altglasverwertung oder dem Kfz-Recycling kennt. Im Gebäudebau sind die Abfallmengen im Vergleich zum privaten Hausmüll fünf mal größer, was die Notwendigkeit, ein umfassendes und hochwertiges Baustoff-Recycling zu etablieren, immer dringlicher werden lässt. Das Ziel sind trennbare Konstruktionen, die mittels geeigneter Bauverfahren in ihre Bestandteile zerlegbar sind und somit die Möglichkeit eröffnen, die Rohstoffe separat zu sammeln und erneut in den Produktionskreislauf einbringen zu können. Somit kann man den Gebäudebestand als zukünftiges Roh- und Wertstoff-

lager erkennen und die Denkansätze zur Demontier- und Separierbarkeit von Bauteilen und Materialien leicht nachvollziehen. Bei einer weiteren Verknappung von Rohstoffen und Baumaterialien wird der Gebäudebestand auf diese Weise zu einer zukünftigen, wertvollen Rohstoffquelle (Stadtbergbau: urban/city mining).

Ein grundlegender Aspekt nachhaltigen Handelns im Gebäudebau ist schließlich ein strukturierter Planungsablauf einschließlich der Aufstellung eines interdisziplinären Teams aus Fachplaner, Bauherr, Architekt und späterem Nutzer schon in der Entwurfsplanung. Dies ermöglicht eine Reduzierung von Planungs- und Ausführungsfehlern, womit sich teure und ressourcenaufwändige Nacharbeiten auf ein Minimum beschränken lassen.

Gesamtheitlich betrachtete Gebäude der Zukunft bieten Vorteile für einen umweltbewussten, vorausschauenden Kundenkreis und sollten sich auch betriebswirtschaftlich gut in Marketingkonzepte integrieren lassen.



# 7 Anhang

## TEILNEHMER DES FORSCHUNGSVERBUNDES

### Technische Universität München

**Lehrstuhl für Bauinformatik,  
Prof. Rank**

Simulation des Ressourcenbedarfs von Bauwerken – Integration eines Produktmodells der technischen Gebäudeausstattung, Vom Laseraufmaß zum Stoffflussmanagement für Altbauten

**Lehrstuhl für Statik,  
Prof. Bletzinger**

Numerische Methoden für eine lebenszyklusorientierte Statik

**Lehrstuhl für Technologie Biogener Rohstoffe,  
Prof. Faulstich**

Bewertung und Management von Roh- und Baustoffströmen in Bayern

**Lehrstuhl für Tragwerksplanung,  
Prof. Barthel**

Ressourcenschonende Instandsetzung alter Bauten – Integration von objektorientierter Modellierung in den Planungsprozess

**Lehrstuhl für Stahlbau /  
Fachgebiet Leichtmetallbau  
und Ermüdung,  
Prof. Albrecht / Prof. Kostea**

Nachhaltiges Bauen mit Aluminium und/oder Glas

**Lehrstuhl für Baustoffkunde  
und Werkstoffprüfung,  
Prof. Schießl**

Nachhaltige Kreislaufführung mineralischer Baustoffe

**Institut für Baustoffe und  
Konstruktion, Fachgebiet  
Gesteinshüttenkunde,  
Prof. Heinz**

Nachhaltige Verwertung von Betonbrechsand als Betonzusatzstoff

**Lehrstuhl für Geodäsie,  
Prof. Wunderlich**

Vom Laseraufmaß zum Stoffflussmanagement für Altbauten

**Lehrstuhl für Produktentwicklung,  
Prof. Lindemann**

Transfer von Methoden zur nachhaltigen Entwicklung aus dem Maschinenwesen in das Bauwesen

### Universität der Bundeswehr München

**Institut 1,  
Mathematik und Bauinformatik,  
Prof. Holzer**

Zur Nutzung thermografisch erhobener Altbaubefunde bei der Planung von Sanierungskonzepten

➔ Alle Abschlussberichte können als pdf-Dateien auf der Homepage des Verbundes unter [www.sfm-bauwerke.de](http://www.sfm-bauwerke.de) herunter geladen werden.

## QUELLENANGABEN UND ZUSAMMENFASSUNG DER VERWEISE

### **Abfallkennzahlen für Neubauleistungen im Hochbau**

K. Lipsmeier, Technische Universität Dresden, 2004

### **Arbeitshilfe „Kommunales Flächenressourcenmanagement“**

[www.stmugv.de](http://www.stmugv.de)

Bay. Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz

### **Bauökologie**

B. Schulze Darup, Bauverlag, 1996

### **Bauschäden im Bild**

K. Zimmermann, WEKA Baufachverlag, 2005

### **Baustoffprüfungen**

W. Hiese, H. Knoblauch, Werner-Verlag, 2004  
Bauwerksdiagnostik und Qualitätsbewertung  
Fraunhofer IRB Verlag, 1997

### **Bauwerkspass**

Hrsg.: Bundesingenieurkammer

[www.bingk.de](http://www.bingk.de)

### **Bestandsaufnahme und bauteilbezogene Gebäudeaufnahme** (Info-Blatt 15.2)

Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken (IEMB)

### **Bodenaushub ist mehr als Abfall**

Hrsg.: Landesanstalt für Umweltschutz  
Baden-Württemberg, 1999

[www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de](http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de)

### **Brauchwasserbereitung mit Sonnenenergie - Energiesparinformation Nr. 14**

Hrsg.: Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, 2002

### **Dämmstoffe im Hochbau**

Hrsg.: Wirtschaftsministerium  
Baden-Württemberg, 2000

[www.agsn.de](http://www.agsn.de)

### **Das Niedrigstoffhaus**

R. Obernosterer, Hrsg.: Zentrum für Bauen und Umwelt, 2000

[www.hausderzukunft.at](http://www.hausderzukunft.at)

### **DIN 4108 – Bleibblatt 2**

Wärmeschutz und Energie – Einsparung  
in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs-  
und Ausführungsbeispiele

### **DIN 4109**

Schallschutz im Hochbau

### **Ecoinvent Datenbank V 1.2 (2005)**

Schweizer Zentrum für Ökoinventare

### **Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten**

Viterra Energy Services AG/Institut Wohnen und Umwelt GmbH, 2003

### **Energetische Bewertung von Bestandsgebäuden**

Hrsg.: Deutsche Energie-Agentur (dena), 2004

### **Energetische Gebäudesanierung mit Faktor 10**

Hrsg.: Dr. B. Schulze Darup, 2004

[www.dbu.de](http://www.dbu.de)

### **Energie sparen – Heizkosten senken – CO<sub>2</sub>-Ausstoß mindern**

Hrsg.: Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, 2002

[www.impulsprogramm.de](http://www.impulsprogramm.de)

### **Energiegerechtes Bauen und Modernisieren**

Hrsg.: Bundesarchitektenkammer,  
Birkhäuser Verlag, 1996

### **Energiesparen im Altbau**

Hrsg.: Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, 2002

### **Ganzheitliche Bilanzierung von elektrisch angetriebenen Wärmepumpen**

Hrsg.: Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), 1996

### **Gebäudeerweiterungen** (Info-Blatt 16.3)

Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken (IEMB)

### **Gebäudetypologie 2004**

Hrsg.: Institut für Wohnen und Umwelt, 2004

### **Glasbau Atlas**

C. Schittich, G. Staib, D. Balkow, M. Schuler,  
W. Sobek, Birkhäuser Verlag, 1998

### **Grundlagen und Bau eines Passivhauses**

D. Pregizer, C.F. Müller Verlag, 2002

### **Handbuch Altbausanierung**

Hrsg.: Institut für Landes- und  
Stadtentwicklungsforschung NRW /  
U. Meisel, 2005

### **Handbuch der Gebäudetechnik - Band 2**

W. Pistohl, Werner Verlag, 2000

### **Hausakte**

Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr, Bau-  
und Wohnungswesen, 2001

[www.kompetenzzentrum-iemb.de](http://www.kompetenzzentrum-iemb.de)

### **Heizung im Niedrigenergiehaus - ein Systemvergleich-**

W. Feist, Hrsg.: Passiv Haus Institut, 2004

### **Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten**

Hrsg.: Schweizerischer Ingenieur- und  
Architekten-Verein (SIA 0123), 1995

### **Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten**

Hrsg.: Schweizerischer Ingenieur- und  
Architekten-Verein (SIA), 1995

### **Im Dialog-CO<sub>2</sub>-Minderung durch Wärmedämmmaßnahmen im Gebäudebestand**

BASF, 2005

### **Instandhaltung von Gebäuden und der technischen Gebäudeausstattung** (Infoblatt 15.3)

Hrsg.: IEMB

[www.kompetenzzentrum-iemb.de](http://www.kompetenzzentrum-iemb.de)

### **Kalksandstein. Planung, Konstruktion, Ausführung**

Kalksandstein-Info GmbH, 2005

### **Konstruktionshandbuch - Verbesserung des Wärmeschutzes im Wohngebäudebestand**

Hrsg.: Institut Wohnen und Umwelt, 1997

### **Kontaminierte Bausubstanz - Erkundung, Bewertung, Entsorgung**

Hrsg.: Bayerisches Landesamt für  
Umweltschutz, 2003

[www.bayern.de/ifu](http://www.bayern.de/ifu)

### **Kontrollierte Wohnungslüftung**

(Energiesparinformation Nr. 9),

### **Lüftung in Wohngebäude**

(Energiesparinformation Nr. 8)

[www.impulsprogramm.de](http://www.impulsprogramm.de)

### **Leitfaden Nachhaltiges Bauen**

Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr,  
Bau- und Wohnungswesen, 2001

[www.bmwbv.de](http://www.bmwbv.de)

### **Leitfaden zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Energiesparinvestitionen im Gebäudebestand**

Hrsg.: Institut für Wohnen  
und Umwelt (IWU), 2003

[www.iwu.de](http://www.iwu.de)

### **Leitfaden zur ökologischen Altbausanierung**

J. Veit u.a., Hrsg.: Landesinstitut für Bauwesen  
des Landes NRW, 2001

### **Luftdichtheit von Gebäuden- Schnittstellen zur Qualitätssicherung**

Hrsg.: Landesgewerbeamt BW, 2003

[www.wm.baden-wuerttemberg.de](http://www.wm.baden-wuerttemberg.de)

### **Luftdichtheit von Wohngebäuden**

J. Zeller, K. Biasin, VVEW Energieverlag, 2002

### **Nachhaltige Instandsetzung - WTA-Schriftenreihe Heft 20**

J. Dreyer, Aedificatio Verlag, 1999

### **Nachhaltigkeitsanalyse demontagegerechter Baukonstruktionen**

K. Hüske, Inst. für Massivbau TU Darmstadt, 2001

### **Neue Konstruktionsalternativen für recyclingfähige Wohngebäude**

B. Brendenbals, W. Willkomm, IRB Verlag, 1996

### **Oberflächennahe Geothermie**

Hrsg.: Bay. Staatsministerium für Umwelt,  
Gesundheit und Verbraucherschutz, 2005

[www.umweltministerium.bayern.de](http://www.umweltministerium.bayern.de)

### **Ökobilanzen im Brückenbau**

H. Lünser, Birkhäuser Verlag, 1999

### **Ökologie der Dämmstoffe**

Österreichisches Institut für Baubiologie  
und -ökologie, Springer-Verlag, 2000

### **Ökologie und Bauinstandsetzen**

J. Gänßmantel, Aedificatio Verlag, 2000

### **Ökologische Gebäudeausrüstung**

P. Schütz, Springer Verlag, 2003

### **Ökologische und Ökonomische Bewertung der elektrischen Wärmepumpe im Vergleich zu anderen Heizsystemen**

B. Leven, J. Neubarth, C. Weber, Hrsg.: Universität Stuttgart, Inst. für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, 2001

### **Ökologischer Bauteilkatalog**

Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie, Springer-Verlag, 1999

### **Ökonomie und Ökologie in der Bauwerkserhaltung**

J. Gänßmantel, WTA-Publications Verlag, 2004

### **Photovoltaik in der Gebäudegestaltung**

Landesregierung NRW, 2004

### **Photovoltaik- und Solarthermieranlagen**

Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2003

### **Planungshilfe Energiesparendes Bauen**

R. Fox-Kämper u.a., Hrsg.: Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW, 2003

### **Ratgeber: Wärmeversorgung im Neubau**

Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V., 2003  
[www.asue.de](http://www.asue.de)

[www.bayern.de/lfu](http://www.bayern.de/lfu)

Verwerterdatenbank Bayern

[www.bine.info](http://www.bine.info)

BINE Informationsdienst

[www.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory](http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory)

U.S. Department of Energy

[www.enev-online.de](http://www.enev-online.de)

Onlineinformationen zur Energieeinsparverordnung

[www.gebaeudeenergiepass.de](http://www.gebaeudeenergiepass.de)

Onlineinformation zum Bestandsenergiepass der dena

[www.waermepumpe-bwp.de](http://www.waermepumpe-bwp.de)

Bundesverband WärmePumpe (BWP) e.V.

### **Recyclingpraxis Baustoffe**

G. Kohler, Verlag TÜV Rheinland, 1997

### **Sanierungsberatung nach EnEV**

(Gebäudetypologie 2004)  
Hrsg.: WEKA, 2004

### **Schäden bei der energetischen Modernisierung**

Tagungsband 40. Bausachverständigen-Tag, Fraunhofer IRB Verlag, 2005

### **SCHADIS - Das elektronische Standardwerk zu Bauschäden**

Fraunhofer-Informationszentrum  
[www.irbdirekt.de/schadis](http://www.irbdirekt.de/schadis)

### **Schadstoffe in Gebäuden**

Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 2005  
[www.bayern.de/lfu](http://www.bayern.de/lfu)

### **Tageslichtnutzung in Gebäuden**

Hrsg.: Bine Informationsdienst

### **Thermische Solarenergienutzung an Gebäuden**

A. Marko, P. Braun, Springer Verlag, 1997

### **Typische Baufehler**

D. Scholz, Verlagsges. Müller, 2005

### **Umweltverträgliches Bauen und gesundes Wohnen – Bestand**

Oberste Baubehörde im Bay. Staatsministerium des Innern, 2004

### **Vom Altbau zum Niedrigenergiehaus**

I. Gabriel, H. Ladener, Ökobuch Verlag, 1997

### **Wärmebrücken im Gebäudebestand**

Fachverband für Energie-Marketing und Anwendung (HEA), VDEW Energieverlag, 2001

### **Wärmebrückenfreies Konstruieren**

Protokollband Nr. 16, Hrsg.: Passivhaus Institut, 1999

### **Wiederverwendung und Recycling im Hochbau**

W. Willkomm, T. Schütze, Hrsg.: Landesinstitut für Bauwesen NRW, 2000

### **Wohngebäudebestand und**

**Nutzungsperspektiven** (Info-Blatt 15.1)  
Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken (IEMB)

## BILDNACHWEIS

### Abb. 3-10

#### **Nachhaltigkeitsanalyse demontagerechter Baukonstruktionen**

K. Hüske, Inst. für Massivbau TU Darmstadt, 2001

### Abb. 3-12

#### **Kalksandstein. Planung, Konstruktion, Ausführung**

Kalksandstein-Info GmbH, 2005  
[www.kalksandstein.de](http://www.kalksandstein.de)

### Abb. 3-13

#### **Energetische Gebäudesanierung mit Faktor 10**

Hrsg.: Dr. B. Schulze Darup, 2004

### Abb. 3-14

#### **Thermische Solarenergienutzung an Gebäuden**

A. Marko, P. Braun, Springer Verlag, 1997

### Abb. 3-16

#### **Energierechtes Bauen und Modernisieren**

Hrsg.: Bundesarchitektenkammer, Birkhäuser Verlag, 1996

### Abb. 3-17

#### **Energetische Gebäudesanierung mit Faktor 10**

Hrsg.: Dr. B. Schulze Darup, 2004

Umweltverträgliches Bauen und  
gesundes Wohnen – Bestand  
Oberste Baubehörde im Bay.  
Staatsministerium des Innern, 2004

### Abb. 3-19

#### **Handbuch der Gebäudetechnik - Band 2**

W. Pistohl, Werner Verlag, 2000

### Abb. 3-20

#### **Statistisches Bundesamt**

[www.destatis.de](http://www.destatis.de)

### Abb. 3-22

#### **Statistisches Bundesamt**

[www.destatis.de](http://www.destatis.de)

### Abb. 3-25

#### **Energierechtes Bauen und Modernisieren**

Hrsg.: Bundesarchitektenkammer,  
Birkhäuser Verlag, 1996

### Abb. 3-26

#### **Energierechtes Bauen und Modernisieren**

Hrsg.: Bundesarchitektenkammer, Birkhäuser  
Verlag, 1996

### Abb. 3-27

#### **Heizung im Niedrigenergiehaus -ein Systemvergleich-**

W. Feist, Hrsg.: Passiv Haus Institut, 2004

### Abb. 3-31

#### **Brauchwasserbereitung mit Sonnenenergie - Energiesparinformation Nr. 14**

Hrsg.: Hessisches Ministerium für Umwelt,  
Landwirtschaft und Forsten, 2002

### Abb. 3-32

#### **Energiesparen im Altbau**

Hrsg.: Landesgewerbeamt Baden-Württemberg,  
2002

### Abb. 3-37

#### **Photovoltaik in der Gebäudegestaltung,**

Landesregierung NRW, 2004

### Abb. 3-39

#### **Energierechtere Perspektiven der Photovoltaik**

Deutsches Zentrum für Luft- und  
Raumfahrt e.V., 2005

### Abb. 4-4

#### **Bodenaushub**

[www.nitron.ch](http://www.nitron.ch)

### Abb. 4-17

#### **Ingenieurbüro n<sub>50</sub>**

### Abb. 4-18

#### **Ingenieurbüro n<sub>50</sub>**

### Abb. 5-2

#### **Bestandsaufnahme und bauteilbezogene Gebäudeaufnahme (Infoblatt 15.2)**

Hrsg.: IEMB  
[www.kompetenzzentrum-iemb.de](http://www.kompetenzzentrum-iemb.de)

### Abb. 5-4

#### **Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik (AIBAU)**

### Abb. 5-7

#### **Energetische Gebäudesanierung mit Faktor 10**

Hrsg.: Dr. B. Schulze Darup, 2004

### Abb. 5-8

#### **Energiesparen im Altbau**

Hrsg.: Landesgewerbeamt Baden-Württemberg,  
2002

### Abb. 5-10

#### **Entwurf zum Energiepass (15.Jan 2004), Deutsche Energie-Agentur (dena)**

### Abb. 5-11

#### **Entwurf zum Energiepass (15.Jan 2004), Deutsche Energie-Agentur (dena)**

### Abb. 5-12

#### **Entwurf zum Energiepass (15.Jan 2004), Deutsche Energie-Agentur (dena)**

### Abb. 5-13

#### **Luftdichtheit von Wohngebäuden**

J. Zeller, K. Biasin, VVEW Energieverlag, 2002

### Abb. 5-19

#### **Wärmebrücken im Gebäudebestand**

Fachverband für Energie-Marketing und  
Anwendung (HEA), VDEW Energieverlag, 2001





BAYERN I DIREKT Tel.: 0180 1 201010  
3,9 ct/min aus dem deutschen Festnetz;  
max. 42 ct/min aus den Mobilfunknetzen.