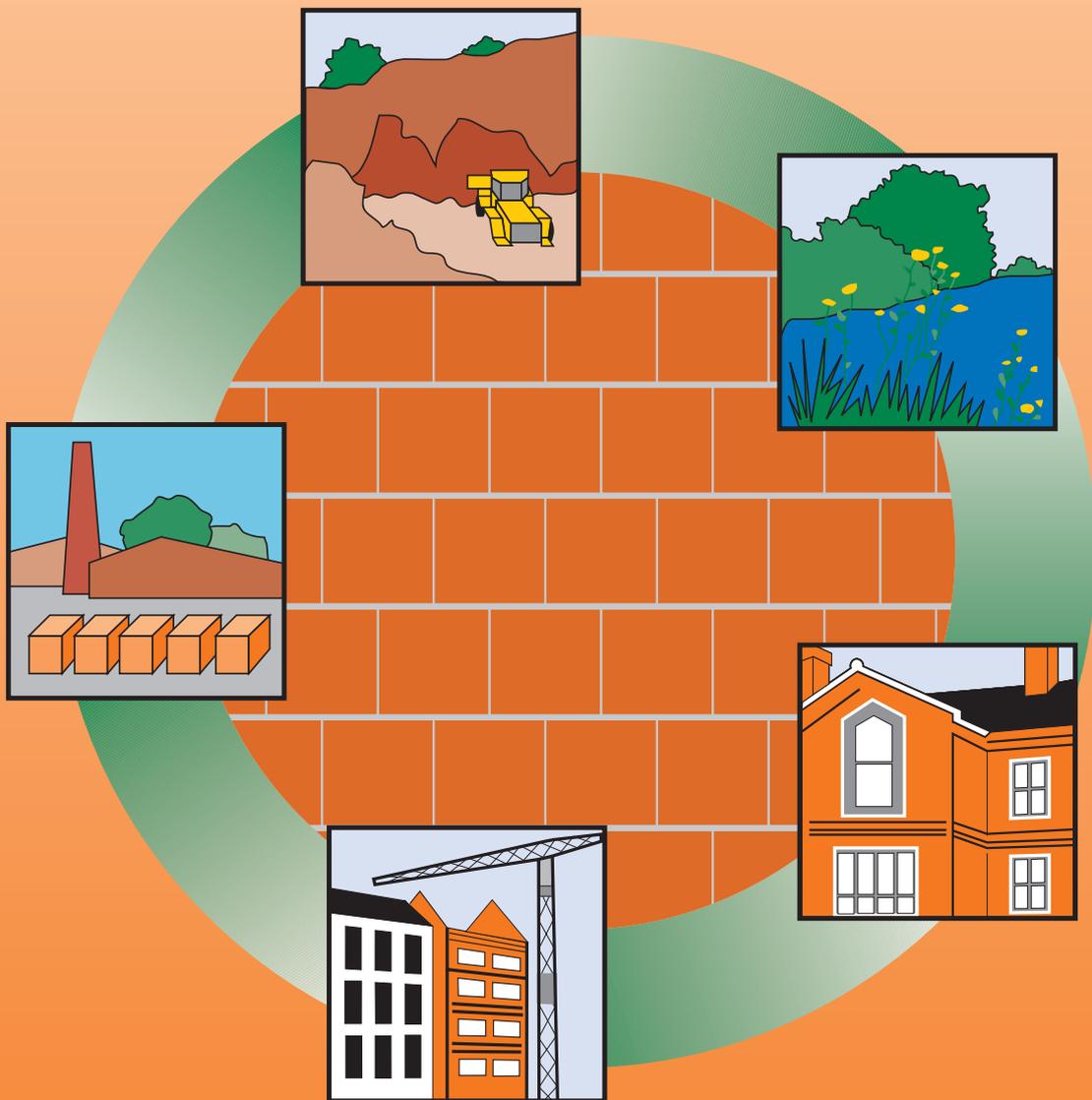


# Ökologisches Bauen mit Ziegeln



ziegel

<b>1</b>	<b>Vorwort / Grußwort</b>	Seite 2/3
<b>2</b>	<b>Ökologie und Ökosysteme</b>	4
<b>3</b>	<b>Bauen und Umwelt</b>	6
	3.1 Gesamtheitliche Betrachtung	6
	3.2 Gesundheit und Wohlbefinden	8
	3.3 Innenraumklima	10
	3.4 Wärmeschutz	11
	3.5 Feuchteschutz	13
	3.6 Brandschutz	13
	3.7 Schallschutz	14
	3.8 Recycling	15
<b>4</b>	<b>Ziegelindustrie und Umwelt</b>	16
	4.1 Umweltphilosophie	16
	4.2 Standorte	17
	4.3 Energieeinsatz und Emissionen	18
<b>5</b>	<b>Ökobilanz</b>	20
	5.1 Begriffsdefinition	20
	5.2 Sachbilanz Mauerziegel	24
	5.2.1 Ziegelherstellung	24
	5.2.2 Aufwendungen für die Energiebereitstellung	26
	5.2.3 Ergebnisse und Entwicklungstendenzen	27
	5.2.4 Emissionen	28
	5.3 Wirkungsabschätzung der Mauerziegelherstellung	29
	5.4 Umweltkategorien	29
	5.5 Ökobilanz Ziegelwände	32
	5.5.1 Untersuchte Varianten	32
	5.5.2 Ökologische Bewertung	32
	5.5.3 Ökonomische Bewertung	34
	5.6 Sachbilanz eines Ziegelgebäudes	34
	5.6.1 Gebäudebeschreibung	35
	5.6.2 Ausgewählte Ergebnisse der Sachbilanz	37
	5.7 Konsequenzen für die Mauerziegelherstellung und das Bauen mit Ziegeln unter ökologischen Gesichtspunkten	38
<b>6</b>	<b>Literatur</b>	40



**Peter Hahn, RA**  
**Geschäftsführer, Arbeitsgemeinschaft**  
**Mauerziegel im Bundesverband der**  
**Deutschen Ziegelindustrie e.V.**

Als Teil der Natur ist der Mensch auf einen intakten, natürlich funktionierenden Lebensraum angewiesen. Bauen ist eine wesentliche Handlung zur Erhaltung und Schaffung humaner Lebensbedingungen. Im Wissen um die zunehmende Bedeutung der Berücksichtigung von Umwelteinflüssen hat die Ziegelindustrie der Länder Deutschland, Österreich und Schweiz eine Studie über die ökologischen und wirtschaftlichen Langzeitwirkungen des Bauens mit Ziegeln beauftragt. Die Untersuchungen stützen sich auf die Angaben von Hintermauer-Ziegelwerken in den drei deutschsprachigen Ländern, sowie auf die wichtigsten dort jeweils gebräuchlichen Wandkonstruktionen.

Das Projekt wurde von renommierten Wissenschaftlern unter Berücksichtigung der vom Umweltbundesamt aufgestellten Kriterien für die Bewertung von Ökobilanzen unter der Federführung von Herrn Universitätslektor Dipl.-Ing. Dr. Manfred Bruck aus Wien durchgeführt.

Die Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel im Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. freut sich, mit dieser Broschüre die wichtigsten Erkenntnisse präsentieren zu dürfen. Beschrieben und bewertet wird die gesamte Lebenslinie von Ziegeln.

Die Produktlinie für den Hintermauerziegel und daraus erstellte Wandkonstruktionen umfaßt die unterschiedlichen Stadien im Lebenslauf von Ziegeln, die einen Bogen spannt von der Rohstoffbeschaffung über den Transport, den Herstellungsprozeß, die Vermarktung, den Gebrauch bis hin zur Entsorgung. Dahinter stehen Analysen für jedes einzelne Stadium nach den Kriterien Umwelt, Energie, Gesundheit und Wirtschaftlichkeit.

Die positiven Ergebnisse dieser ökologischen und ökonomischen Betrachtungsweise ergänzen die bekannten Vorteile der Ziegelbauweisen und begründen deren Beurteilung als ökologisch wertvoller, gesunder und wirtschaftlicher Baustoff.



**Eduard Oswald, MdB**  
**Bundesminister für Raumordnung,**  
**Bauwesen und Städtebau**

## **Ökologisches und preiswertes Bauen ist notwendig und machbar.**

Auch in den Bereichen des Bauens und Wohnens haben wir bisher natürliche Ressourcen, wie Energie, Luft, Wasser und Boden, und Flächen verbraucht, das Mikroklima verändert, ansteigende Stoffbelastungen in Kauf genommen und wachsendes Anspruchsdenken leider oftmals zu unkritisch hingenommen. Die in Jahr-millionen in den Brennstoffen Kohle, Erdgas und Erdöl gespeicherte Energie verbrauchen wir auch heute noch ohne zu zögern innerhalb eines winzigen Bruchteils dieser Zeitspanne.

Deshalb herrscht kein Zweifel: Wirtschaftliche Entwicklung kann vom Umweltschutz nicht mehr getrennt werden. Wir müssen die Verantwortung übernehmen und geeignete Schritte für eine ökologisch nachhaltige Entwicklung in die Wege leiten. Gerade im Bauwesen bieten sich Möglichkeiten der Integration wirtschaftlicher und ökologischer Aspekte zur Sicherung unserer Lebensgrundlagen in vorbildgebender Weise.

Vernünftiges und ökologisch sinnvolles Planen, Konstruieren und Bauen sind allerdings sehr komplexe Aufgaben. Alle Teilbereiche des Bauens sind von der Grundidee des umweltverträglichen Bauens berührt: Von der Bauleitplanung bis hin zum fertigen Bauwerk.

Gesundes und umweltgerechtes Bauen und Wohnen muß einhergehen mit der Verhinderung extremer Zersiedelung mit bescheideneren Flächen- und Nutzungsanforderungen, mit der richtigen Baustoffauswahl sowie der allmählichen Ausschleusung belastender Materialien aus dem Stoffkreislauf bis hin zur Werterhaltung und richtigen Modernisierung.

Selbstverständlich können auch Gebäude aus Ziegelmauerwerk nicht losgelöst von der Gesamtökologie gesehen werden. Durch den energie- und rohstoffschonenden Herstellungsprozeß, die hohe energetische Qualität während der Nutzungsdauer, die Dauerhaftigkeit, das wartungsfreie Altern und problemlose Recycling von Ziegelprodukten wird deutlich, daß in der Ziegelbranche eine bemerkenswerte Weiterentwicklung stattgefunden hat und die Herausforderungen der Vergangenheit mit großem Erfolg bewältigt worden sind. Dies verdient Respekt und Anerkennung.

Für die Zukunft müssen wir uns darauf konzentrieren, daß ökologisches Bewußtsein und Handeln noch stärker miteinander verbunden werden. Das Haus der Zukunft muß sparsam mit dem Verbrauch von Natur umgehen, mit möglichst geringen Kosten errichtet und bewirtschaftet werden können, und in jedem Fall ökologisch sinnvoll gebaut werden.

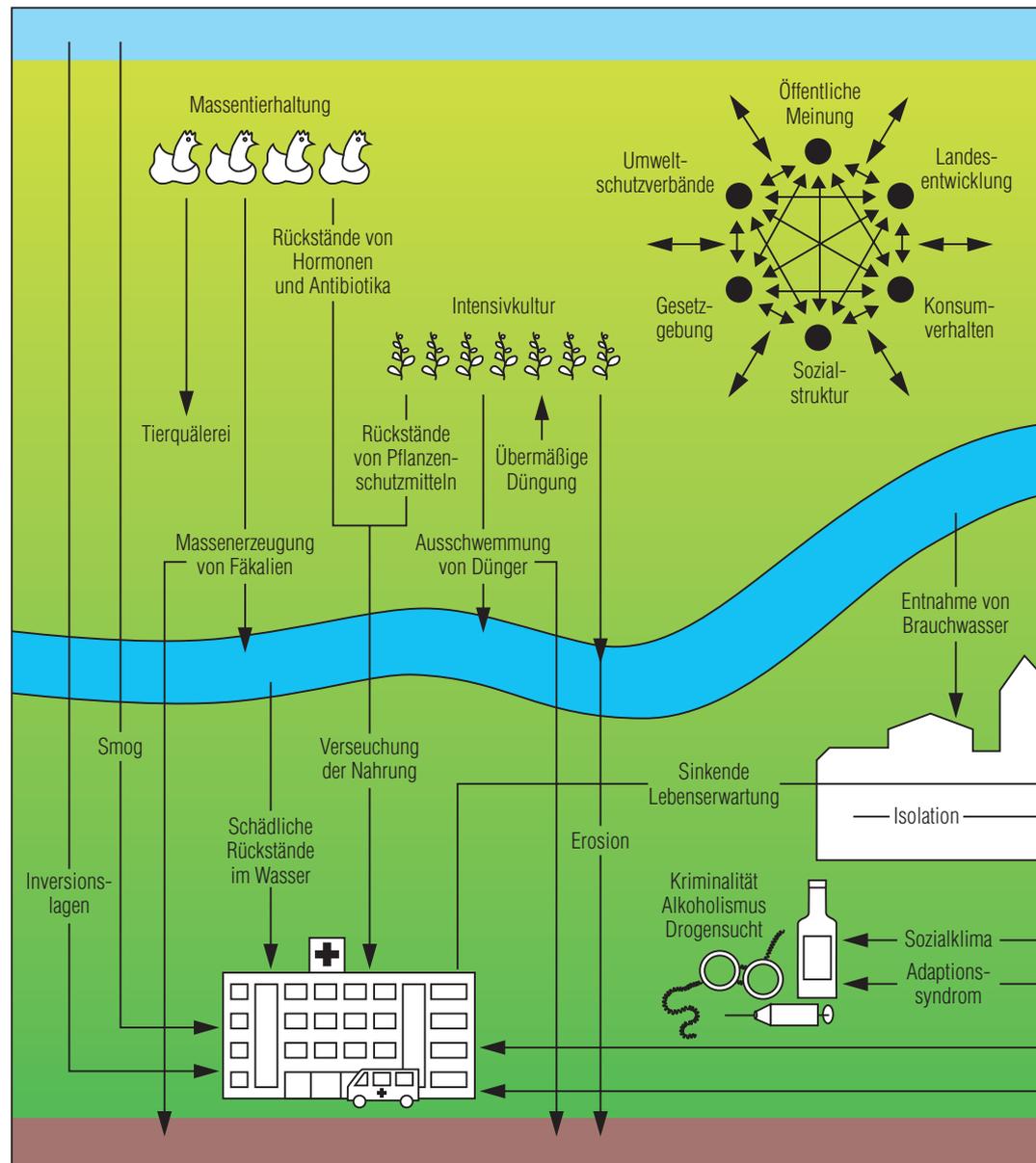
# 2 Ökologie und Ökosysteme

Der Begriff „Ökologie“ setzt sich aus zwei griechischen Wörtern zusammen: „Oikos“ bedeutet Haus, im übertragenen Sinne auch Haushalt, „logos“ bedeutet Lehre, Wissenschaft. Die Ökologie, ursprünglich eine Teilwissenschaft der Biologie, erforscht die Wechselbeziehungen zwischen den Lebewesen (Pflanzen, Tiere, Mensch) und ihrer Umwelt.

Diese Wechselbeziehungen der Lebewesen untereinander (z.B. die sogenannten Nahrungsketten), aber auch der Lebewesen zu den anorganischen Faktoren der Umwelt, zur Raumstruktur, zu Luft, Wasser und Boden kennzeichnen die lebensnotwendigen Abhängigkeiten.

Das Wirkungsgefüge von Lebewesen und deren anorganischer Umwelt wird als Ökosystem bezeichnet. Es lassen sich Ökosysteme verschiedener Größenordnung abgrenzen, wie z.B. der Regenwald, das Wattenmeer, aber auch in weiterem Sinne die vom Menschen geschaffenen Lebensräume wie Häuser, Städte und Verdichtungsgebiete. Dabei haben zumindest natürliche Ökosysteme keine festen Grenzen: der Wechsel äußerer Einflüsse bewirkt Veränderungen und die Erhaltung des inneren Gleichgewichts zwingt zu ständigen Anpassungen.

Zu den durch den Menschen vorgenommenen Eingriffen in das vernetzte System Mensch-Tier-Pflanze-Landschaft-Boden-Wasser-Luft-Klima und den daraus resultierenden Beeinflussungen der natürlichen Kreisläufe zählen heute insbesondere:

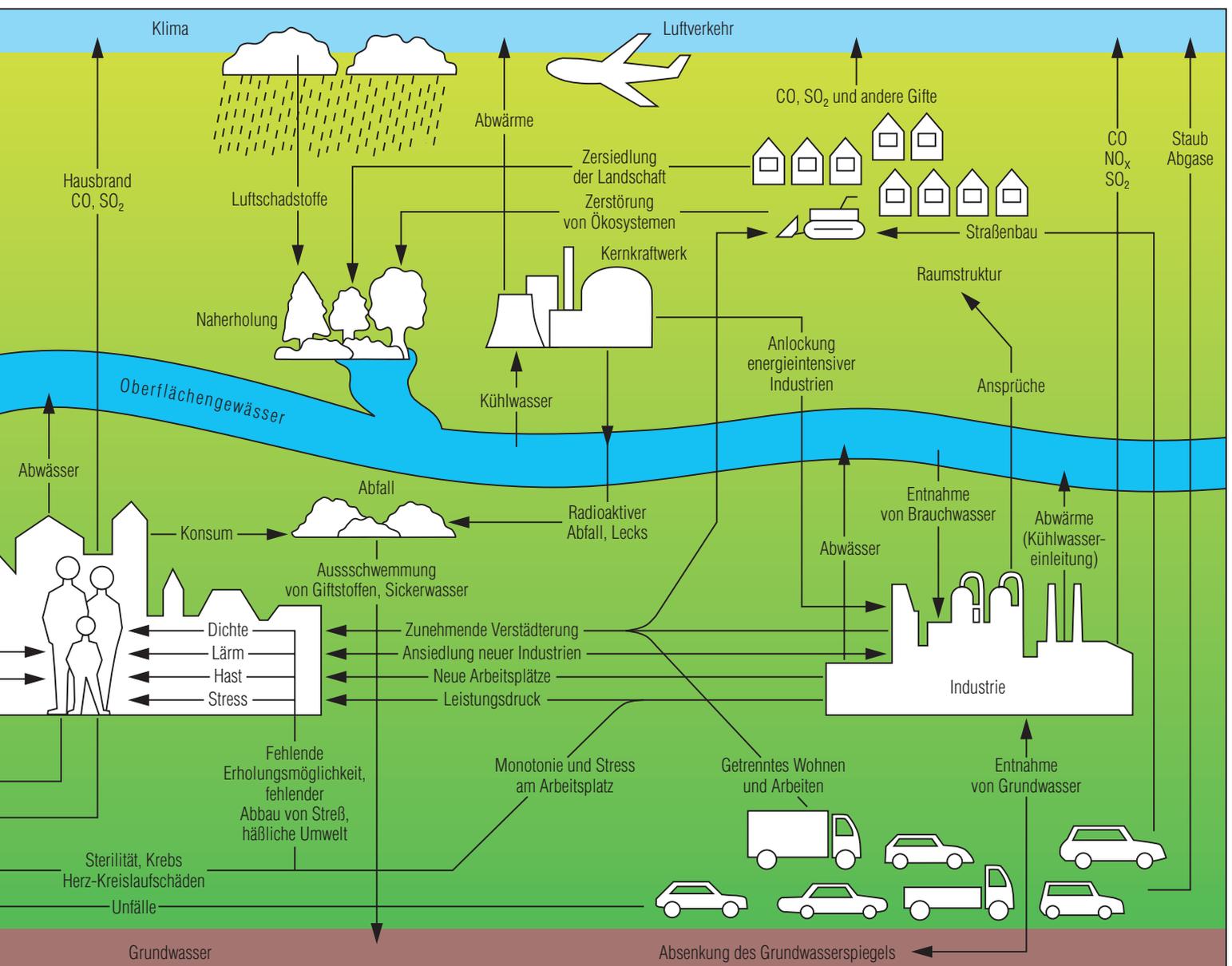


**Bild 1**  
Wechselbeziehungen zwischen dem Menschen und seiner Umwelt nach [1].

- **Abbau von Ressourcen**
- **Flächenverbrauch**
- **Treibhauseffekt**
- **Ozonschichtzerstörung**
- **Versauerung**
- **Sommersmog (Photochemische Oxydation/ Photooxidantienbildung)**
- **Überdüngung von Böden und Gewässern (Eutrophierung) und Sauerstoffzehrung**
- **Schädigende Strahlung**
- **Humantoxikologie**
- **Ökotoxikologie**
- **Lärm**
- **Geruchsbelastung**

Die Stabilität eines Ökosystems hängt vom bestehenden dynamischen Gleichgewicht ab. Der Ausfall bestimmter Beteiligter, Faktoren oder Beziehungen bewirkt Störungen, die zu gravierenden Veränderungen des Ökosystems führen können.

Eine lineare Verbrauchswirtschaft, die Rohstoffe verbraucht, Boden und Landschaft ausbeutet und Abfallstoffe weder zurückführt noch im Sinne eines natürlichen Kreislaufs einbindet, gefährdet natürlich funktionierende Ökosysteme.



# 3 Bauen und Umwelt

## 3.1 Gesamtheitliche Betrachtung

Bauen, charakterisiert durch Rohstoffgewinnung, Baustoff- und Bauteilherstellung und Errichtung von Bauwerken für die verschiedenen Zweckbestimmungen, die Wartung und Pflege von Gebäuden, deren Umnutzung bis hin zu der Beendigung von deren Nutzungsphase, darf natürliche Wirkungsgefüge nicht gefährden, sondern soll das Ökosystem unseres Lebensraumes lebenswert stabilisieren.

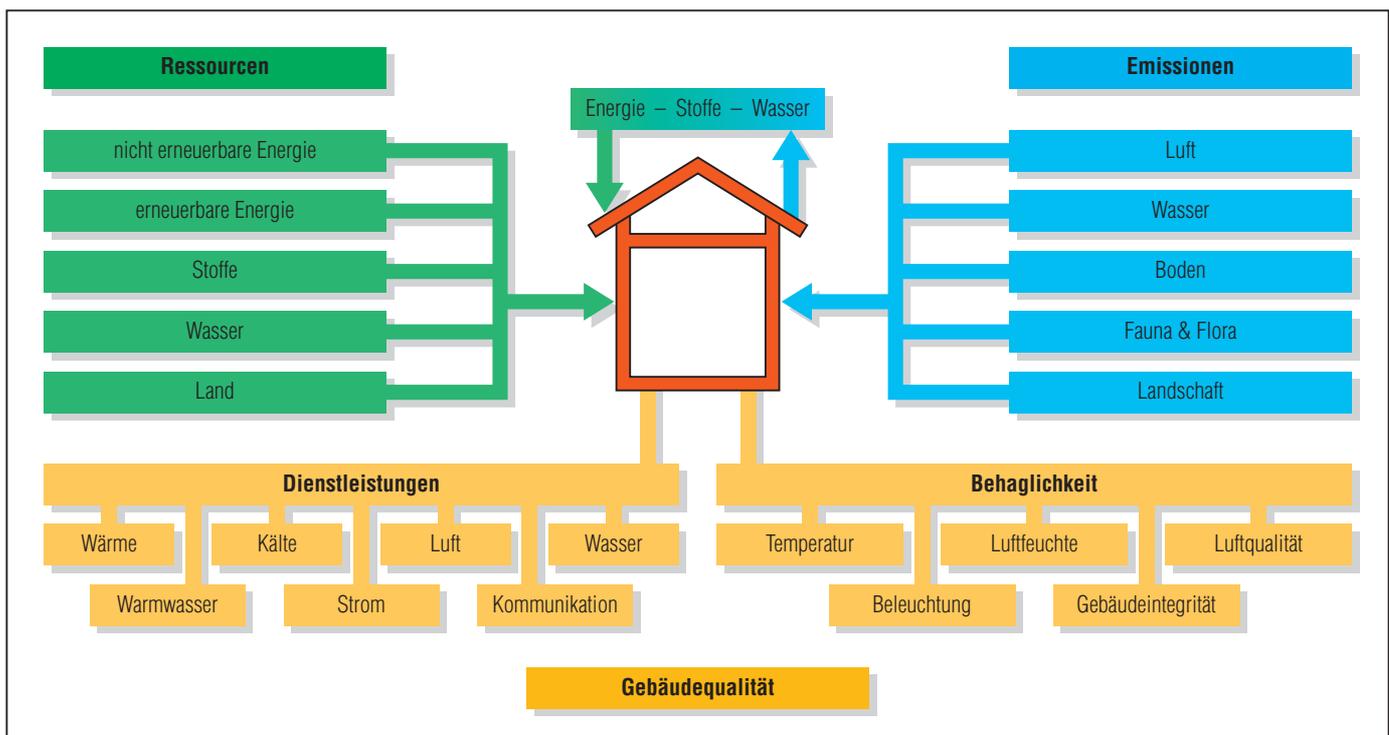
Im Rahmen einer gesamtheitlichen, d.h. ökologischen, ökonomischen und sozialen Betrachtung unserer Bau- und Siedlungsweisen sowie unserer Wohngepflogenheiten kann dies nur heißen, die Umweltbeanspruchung weitestmöglich zu reduzieren und Bauprodukte, Bau- und Wohnprozesse kontinuierlich danach zu hinterfragen,

- wo und wie der Ressourceneinsatz, insbesondere an Rohstoffen verringert werden kann und
- wie Energieverbrauch und umweltsowie gesundheitsbelastende Emissionen vermindert werden können.

Die häufige Fragestellung nach einer gesamtheitlichen, ökologischen wie ökonomischen Beurteilung von Bauprodukten darf sich nicht nur auf den Baustoff konzentrieren, sondern muß folgende Bereiche zwingend beinhalten:

- Die Betrachtung des gesamten „Lebenszyklus“ eines Gebäudes
- Die Betrachtung mindestens des gesamten Gebäudes statt eines reinen Vergleichs einzelner Bauprodukte
- Die Berücksichtigung der Nutzungsqualität, d.h. des „Lebenswertes“ eines Gebäudes, einer Siedlung, Stadt und Landschaft.

Bild 2 Energieflüsse, Stoffflüsse und Gebäudequalität nach [2].



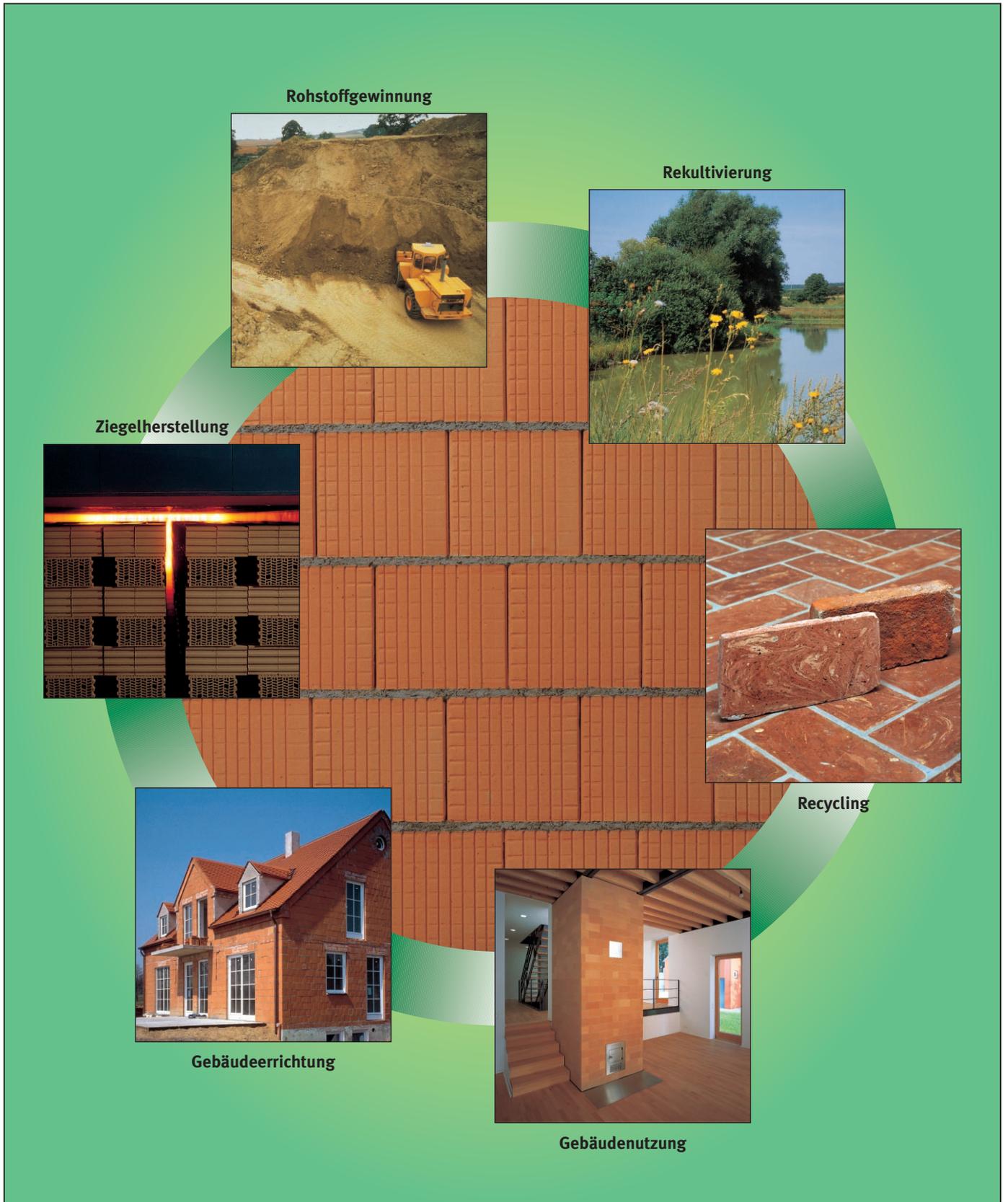


Bild 3 Lebenszyklus des Bauprodukts Ziegel.

### 3.2 Gesundheit und Wohlbefinden

Bauen soll die für unser Leben notwendigen Umweltbedingungen erhalten oder schaffen. Der Bau von Wohngebäuden an sich ist Gesundheitsschutz. Standort, Siedlungsform, Gebäudekonstruktion, Baustoffe und Bauverfahren sollen Gesundheit und Wohlbefinden fördern.

„Gesundheit“ ist nach der Festlegung der Weltgesundheitsorganisation der Zustand psychischen, physischen und sozialen Wohlbefindens und nicht nur das Freisein von Krankheiten.

Im Rahmen von Baustoff- und Bauteilbewertungen wurden bisher überwiegend Wirkungen auf das physische Wohlbefinden reproduzierbar belegt.

Physisches „Wohlbefinden“ kann für bestimmte Situationen durch die Parameter äußerer Bedingungen definiert werden. Physischer und psychischer Zustand des Menschen sind jedoch unter anderem mitentscheidend, ob und wie sich ein Einfluß auf die Gesundheit auswirkt.

Psychisches „Wohlbefinden“ wird zunehmend im Zusammenhang mit baulicher Gestaltung konkretisiert.

Soziales „Wohlbefinden“ ist eine wesentliche Anforderung an den Siedlungs- und Städtebau.

Bauprodukte dürfen die Gesundheit und die Umwelt nicht gefährden. Dies gilt für alle Gewinnungs-, Herstellungs- und Verarbeitungsvorgänge, für den Nutzungszustand, eine mögliche außergewöhnliche Einwirkung, z.B. bei einem Brand, für den Abbruch, die Verwertung, die Entsorgung und das Deponieverhalten.

Unmittelbare ungünstige Wirkungen der Stoffe über Atmung, Hautkontakt, Mundkontakt und Bestrahlung, als auch mittelbare Wirkungen über den Lebensraum, insbesondere auf Wasser-, Boden- und Lufthaushalt, sind zu vermeiden.

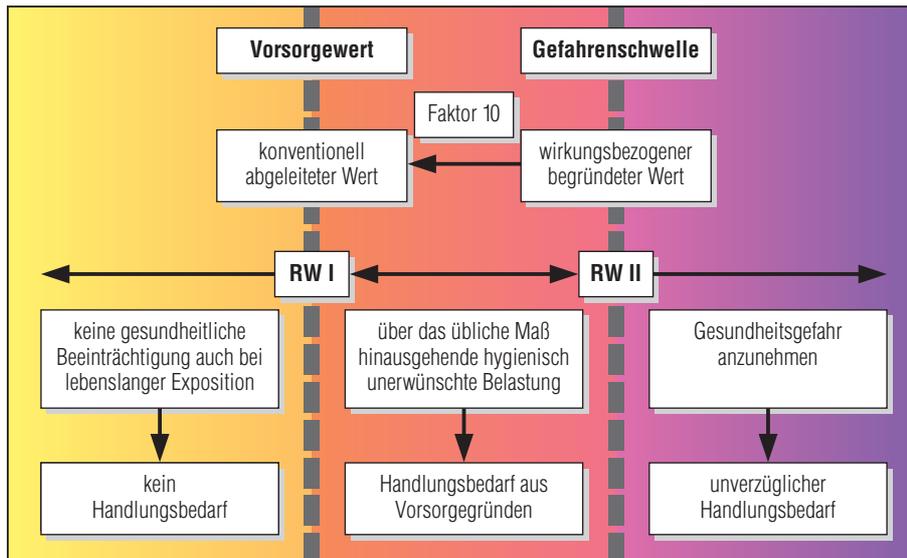
Im Grundlagendokument zur EU-Bauproduktenrichtlinie [3] wird präzisiert, was für die Erfüllung der wesentlichen Anforderung „Hygiene, Gesundheit, Umweltschutz“ von Bauprodukten im Nutzungszustand vermieden werden muß:

- Freisetzung giftiger Gase
- Vorhandensein gefährlicher Teilchen oder Gase in der Luft
- Emission gefährlicher Strahlen
- Wasser- oder Bodenverunreinigung oder -vergiftung
- unsachgemäße Beseitigung von Abwasser, Rauch und festem oder flüssigem Abfall
- Feuchtigkeitsansammlung in Bauteilen und auf Oberflächen von Bauteilen in Innenräumen.

Darüber hinaus sollen Bauprodukte resistent gegen „Ungeziefer“ sein und raumbildende Oberflächen allgemeine Anforderungen der Sauberkeit und Reinigungsmöglichkeit erfüllen.



**Bild 4**  
**Wohnhausmodell**  
**aus einem**  
**Kinderwettbewerb.**



**Tabelle 1**  
Vorsorge- und Gefahrenabwehrmaßnahmen auf der Basis medizinisch begründeter Richtwerte [4].

Andere in der Natur vorkommende Radionuklide können, entweder wegen ihrer schwachen Strahlung, oder ihres geringen Vorkommens vernachlässigt werden.

Messungen an Ziegeln haben gezeigt, daß deren ionisierende Strahlung sehr gering ist und daß sich hieraus keine gesundheitsgefährdenden Radon- oder Thoronkonzentrationen in Räumen ergeben können.

**Die Radonabgabe an die Innenraumluft ist vor allem von der Exhalationsrate abhängig, die bei Ziegeln sehr gering und damit günstig ist, s. Tabelle 2.**

#### Ziegel enthalten keine Schadstoffe.

Die für die Herstellung der Mauerziegel verwendeten Grundstoffe Ton, Lehm, Sand und Wasser sind Naturprodukte, die keine toxische Wirkung besitzen. Von der Herstellung, über die Nutzung bis zur Entsorgung bzw. Verwertung des Baustoffes Ziegel werden die Anforderungen der Hygiene, der Gesundheit und des Umweltschutzes optimal erfüllt.

#### Ziegel enthalten keine Allergene.

Für den Mauerziegel sind allergieauslösende Wirkungen nicht bekannt. Die über hunderte von Jahren reichende Erfahrung mit dem Baustoff Ziegel erlaubt die Feststellung, daß allergische Reaktionen auszuschließen sind.

#### Ziegel enthalten keine organischen Rückstände von Porosierungsmitteln.

Durch umfangreiche gaschromatografische Messungen wurde nachgewiesen, daß bei Verwendung von organischen Porosierungsmitteln keine gesundheitsgefährdenden Rückstände im Ziegel verbleiben. Für sämtliche heute eingesetzten organischen Porosierungsmittel gilt, daß diese rückstandslos verbrennen.

#### Alle in der Natur vorkommenden Stoffe haben eine natürliche Radioaktivität, die bei Ziegeln sehr gering ist.

Die Radioaktivität gehört zu den Umwelteinflüssen, die der Mensch mit seinen Sinnen nicht wahrnehmen kann. Heute stehen aber Meßgeräte zur Verfügung, mit deren Hilfe auch geringste sogenannte ionisierende Strahlungsmengen registriert werden können.

Die ionisierende Strahlung von Baustoffen wird hauptsächlich durch Spuren der Radionuklide Kalium 40, Radium 226, Thorium 232, sowie deren Folgeprodukte, insbesondere Radon- und Thorongas verursacht.

Erhöhte Konzentrationen ionisierender Gase in Innenräumen stammen überwiegend aus dem Untergrund. Eine entsprechende „Abdichtung“, z.B. durch eine Betonbodenplatte und die Beachtung des aus hygienischen Gründen ohnehin erforderlichen Mindestluftwechsels sind einfache und wirksame Maßnahmen gegen diese mögliche Belastung der Innenraumluft.

#### Ziegel führen auch bei lebenslanger Exposition zu keiner gesundheitlichen Beeinträchtigung.

Baustoff	Radionukleidkonzentration Mittelwert (Höchstwert) in Bq/kg			Exhalationsrate für 10 cm Dicke in Bq/m <sup>2</sup> h	
	Ra-226	Th-232	K-40	Rn-222	Rn-220
Kalksandstein	11 (19)	7 (15)	384 (592)	0,9	90
<b>Mauerziegel</b>	<b>40 (71)</b>	<b>30 (44)</b>	<b>771 (955)</b>	<b>0,2</b>	<b>30</b>
Leichtbetonsteine					
- Naturbims	48 (104)	59 (111)	888 (1110)	1,5	180
- Blähton	56 (67)	33 (93)	573 (925)	0,4	k. A.
Beton	11 (33)	15 (44)	415 (740)	1,1	70
Porenbeton	20 (80)	20 (60)	200 (800)	1,0	60
<b>empfohlener Grenzwert</b>	<b>≤ 130</b>	<b>≤ 130</b>	<b>kein Grenzwert erforderlich</b>	<b>≤ 5,5</b>	<b>≤ 1850</b>

**Tabelle 2** Natürliche Radioaktivität von Baustoffen [5, 6].

### 3.3 Innenraumklima

Der Mensch hält sich 90 bis 95 % seines Lebens in Innenräumen auf. Allein diese Dauer verdeutlicht die Bedeutung der Innenraumqualität in der Beziehung Mensch und Umwelt.

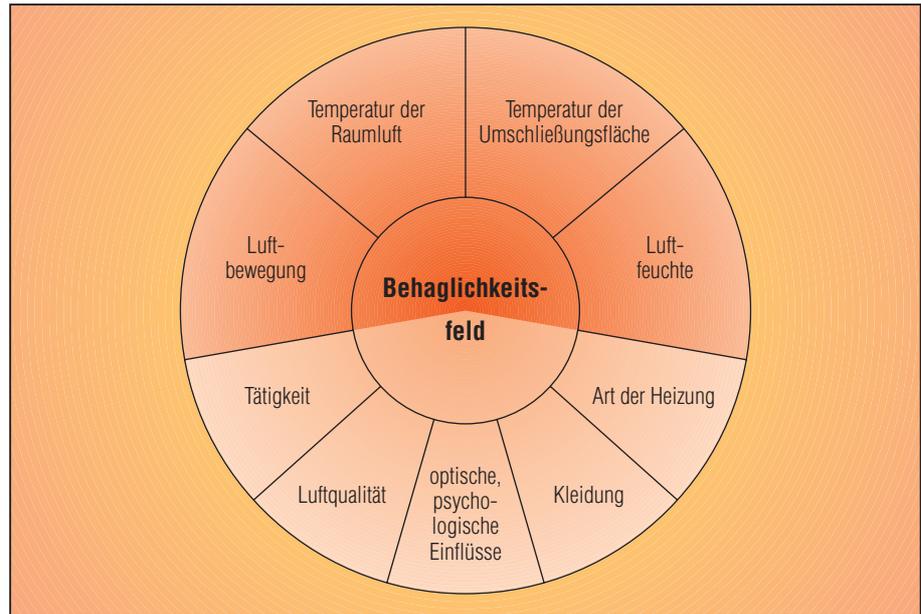
Die Innenraumluft, als Medium der Atmung und des Temperatur- und Feuchteempfindens bildet den Hauptteil gesundheitsrelevanter Einflüsse.

Kriterien der „Luftqualität“ sind nach heutigem Erkenntnisstand:

- Schwebeteilchen fester Stoffe
- Gase
- Temperatur
- Feuchte

Baustoffe und Bauteile der Gebäudekonstruktion sind so anzuwenden, daß das wünschenswerte „Innenraumklima“ erzielt wird. Hierbei gilt es, vor allem diesbezügliche Erkenntnisse der Bauphysik und Bauchemie zu beachten.

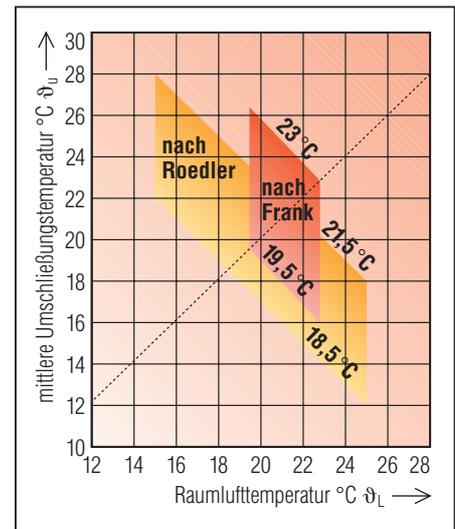
**Bild 7 und 8**  
Bauen mit Ziegeln schafft behagliche Innenräume.



**Bild 5** Faktoren der Behaglichkeit.

Im Gebäude werden Luftbelastungen vorwiegend durch

- Nutzungsvorgänge (Kochen, Rauchen usw.)
- Einträge von Staub, Bakterien, Viren und Pilzen durch Mensch, Haustier, Pflanze und Nahrungsmittel
- Einrichtungsgegenstände
- Raumausstattung
- belastete Zuluft (Schadstoffe, Allergene) sowie
- Vorgänge und Gewohnheiten des Heizens und Lüftens verursacht.



**Bild 6**  
Behaglichkeitsfeld für das Wertepaar Raumlufttemperatur und Raumumschließungsflächentemperatur.



### 3.4 Wärmeschutz

Wärmeschutz ist notwendig für die Erhaltung der für das Wohlbefinden erforderlichen Temperatur und Feuchte der Innenraumluft sowie im Hinblick auf Heizeneinsparung.

Zusätzlich muß beim sommerlichen Wärmeschutz eine Überhitzung bei hohen Außentemperaturen und Sonneneinstrahlung vermieden werden.

Die **Wärmedämmung** eines Bauteils wird durch den Wärmedurchlaßwiderstand  $1/\Lambda$  und den Wärmedurchgangskoeffizienten  $k$  gekennzeichnet.

Die Wärmedämmung der Außenbauteile oder der Bauteile zwischen beheizten und nicht beheizten Räumen ist erforderlich zur:

- Sicherung der thermischen Behaglichkeit,
- Vermeidung schädlicher Kondenswasserbildung,
- Verringerung temperaturbedingter Formänderungen
- Verringerung des Heizenergiebedarfs während der Nutzung.

Von besonderer Bedeutung für die thermische Behaglichkeit sind die raumseitigen Oberflächentemperaturen der Bauteile.

Gegenüber der Raumlufttemperatur wesentlich niedrigere Oberflächentemperaturen erzeugen „scheinbare Zugerscheinungen“, die aus der notwendigen stärkeren Wärmeabstrahlung des menschlichen Körpers zu diesen Flächen entstehen.

Niedrige Oberflächentemperaturen können durch höhere Raumlufttemperaturen ausgeglichen werden, d.h. führen zu Raumlufttemperaturen, die bereits den unbehaglich warmen Bereich erreichen können, s. Bild 6.

Aus einer höheren Wärmedämmung der Außenbauteile ergeben sich höhere raumseitige Oberflächentemperaturen und neben der besseren thermischen Behaglichkeit ein niedrigerer Heizenergiebedarf.

**Mit Ziegelmauerwerk werden die Anforderungen der Wärmeschutzverordnung 1995 sicher erfüllt.**

Die **Wärmespeicherfähigkeit** von massiven Ziegelwänden erhöht den Anteil der verwertbaren internen Wärmequellen sowie der durch die Fenster eingestrahelten Solarenergie.

Bild 9 verdeutlicht, daß in einem massiven Haus die Nutzung dieser Energiequellen um bis zu 30 % größer ist als bei Leichtbauweisen. Bei periodischem Heizen und bei Außentemperaturänderungen wird Wärme von den Bauteilen aufgenommen und wieder abgegeben.

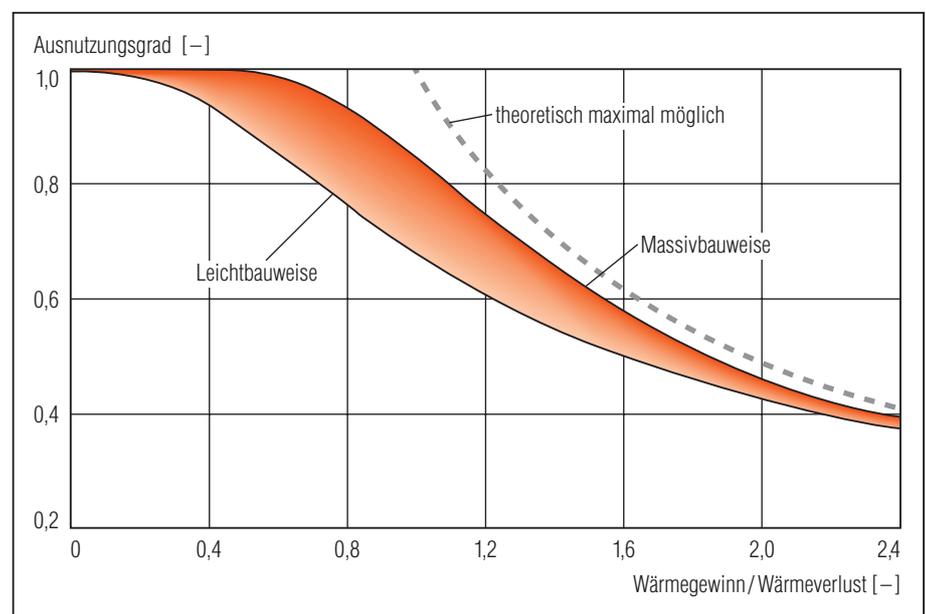
Bei wechselnder Wärmezufuhr – z.B. infolge von Sonneneinstrahlung oder Nachtabsenkung der Heizung – schwankt die Temperatur in Gebäuden mit großer Wärmespeicherfähigkeit weniger als bei geringer Wärmespeicherfähigkeit.

Die ausgetauschte Wärmemenge ist umso größer, je größer der Temperaturunterschied zwischen Bauteiloberfläche und umgebender Luft und je größer die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmespeicherkapazität des Stoffes ist.

Die hohe Wärmespeicherfähigkeit massiver Ziegelwände hat somit eine ausgleichende, d.h. „stabilisierende“ Auswirkung auf das Raumklima.

Bei der passiven Solarenergienutzung werden Bauteile mit hoher Wärmespeicherfähigkeit gezielt als Energiespeicher eingesetzt.

**Bild 9**  
**Nutzungsgrade solarer Einstrahlung und interner Wärmequellen eines Gebäudes in leichter und schwerer Bauart in Abhängigkeit des Wärme-Gewinn-Verlust-Verhältnisses, aus [7].**

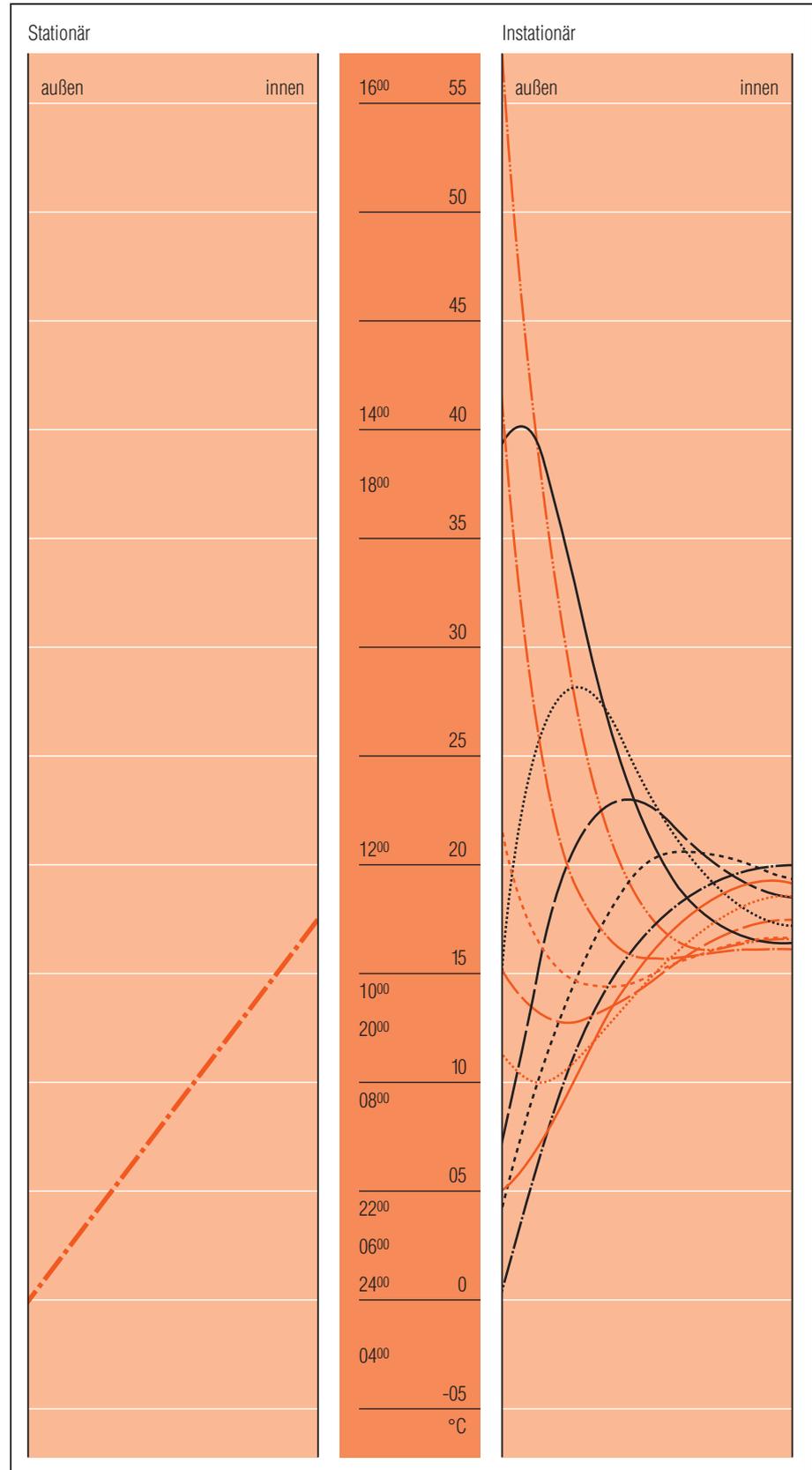


Die Temperaturverteilung in Bauteilen ist zeit-, geometrie- und material-abhängig.

Aus Vereinfachungsgründen wird bei der Berechnung des Wärmeschutzes von stationären, d.h. zu beiden Seiten des Bauteils konstanten Temperaturen sowie von einem eindimensionalen, d.h. nur in Richtung der Bauteildicke veränderlichen Temperaturdurchgang ausgegangen. Dadurch stellt sich im Bauteil ein linearer Temperaturverlauf gemäß Bild 10, linke Seite, ein, der bei mehrschichtigen Wandaufbauten bei jeweils unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit einen geknickten Verlauf aufweist.

In Bild 10, rechte Seite, ist für einen Tag mit hoher solarer Einstrahlung der Temperaturverlauf zu unterschiedlichen Tageszeiten dargestellt.

Es ist deutlich zu erkennen, daß durch die hervorragende Wärmespeicherfähigkeit der Ziegelwand die große Außentemperaturschwankung optimal gedämpft wird und sich ein ideales, weil umgekehrtes, Oberflächentemperaturverhältnis einstellt.



**Bild 10**  
 Durch die hervorragende Wärmespeicherfähigkeit von Ziegelmauerwerk werden Außentemperaturschwankungen optimal gedämpft [8].

### 3.5 Feuchteschutz

Durch bauphysikalisch richtiges Konstruieren wird der erforderliche Feuchteschutz eines Gebäudes sichergestellt. Die hohe Ausführungssicherheit von Ziegelwandkonstruktionen bietet gute Voraussetzungen für einen wirksamen Feuchteschutz.

#### Baufeuchte

Ziegelwände haben einen sehr geringen praktischen Feuchtegehalt, s. Bild 11, und begünstigen eine rasche Austrocknung der Rohbaufeuchte.

#### Bodenfeuchte

Bewährte Abdichtungsmaßnahmen gegen aufsteigende Feuchtigkeit aus dem Baugrund und gegen die Durchfeuchtung der Ziegelwand von außen (z.B. Kellerwand-Abdichtungssysteme und wasserabweisende Leichtputze) stellen dies sicher.

#### Regen

Die Wärmedämmung von Außenwänden wird maßgeblich von deren Feuchtegehalt beeinflusst. Der Schutz vor Regen ist daher durch wasserabweisende Außenputze sicherzustellen.

Besonders schlagregenbeanspruchte Außenwandflächen können z.B. durch größere Dachüberstände geschützt werden.

#### Tauwasserbildung

Ziegelwände gewährleisten aufgrund ihrer wärmedämmenden Wirkung und hohen Kapillarität, daß die Oberflächentemperatur an der Außenwandinnenseite nicht bis zum Kondensationspunkt sinkt und sich daher kein Kondenswasser auf den Innenwänden bildet.

#### Wohnfeuchte

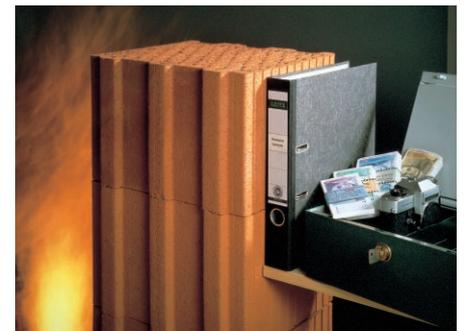
Wohnfeuchte beeinflusst die raumklimatischen und wohnhygienischen Verhältnisse unmittelbar. Die Feuchteabführung ist i.w. über das Lüften der Räume sicherzustellen.

Für den Ausgleich von Feuchteschwankungen im Raum (z.B. Bad und Küche) ist die Sorptionsfähigkeit der Wandoberflächen ein wesentlicher Faktor. Hintermauerziegel gewährleisten zusammen mit diffusionsoffenen Innenputzen, Tapeten, etc. eine günstige feuchteausgleichende Wirkung der Wandflächen.

### 3.6 Brandschutz

Die deutschen Brandschutzvorschriften enthalten Regelungen, die das Entstehen und die Ausbreitung von Bränden verhindern und die Zeit für Brandbekämpfung und Rettung von Menschen sicherstellen sollen.

Verglichen mit anderen westlichen Industriestaaten hat die Bundesrepublik Deutschland zur Zeit ein hohes Sicherheitsniveau, das durch umfangreiche Vorschriften zum vorbeugenden und abwehrenden Brandschutz in den deutschen Baubestimmungen gewährleistet wird. Dennoch verursachen Brände in Gebäuden Jahr für Jahr erhebliche Sachschäden und fordern zahlreiche Todesopfer. Zusätzlich zu 600 bis 700 Brandtoten pro Jahr betragen die indirekten und direkten Brandschäden ca. 0,2 % des Bruttoinlandproduktes.

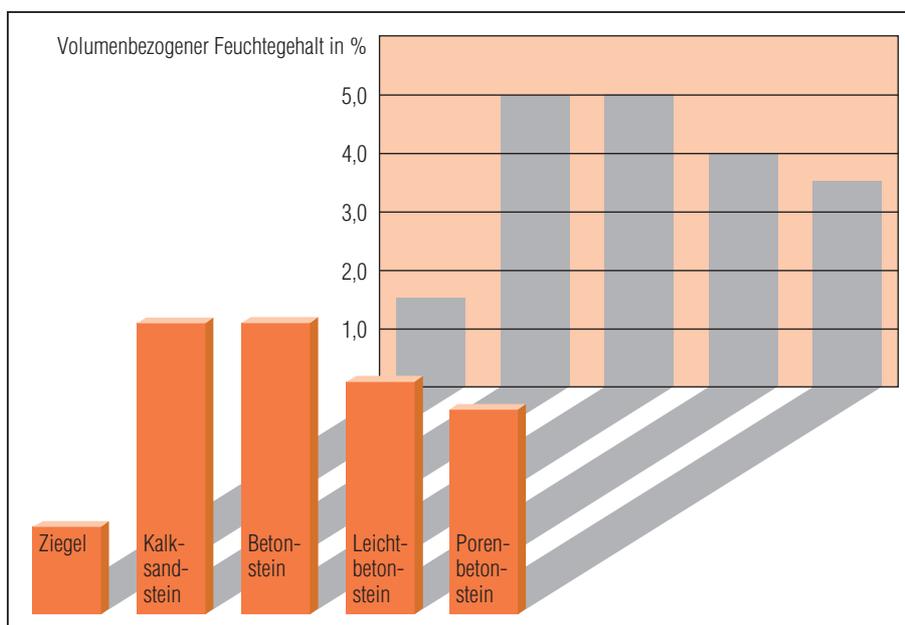


Ursache für Brandschäden mit Todesfolge sind meistens nicht die direkten Brandeinwirkungen, sondern Rauchvergiftungen aus Brandgasen brennbarer Baustoffe und anderer Materialien.

**Ziegel sind in die Baustoffklasse A1 ‚nichtbrennbar‘ eingestuft.**

Nichtbrennbare Baustoffe senken die Schadenswahrscheinlichkeit und deren Folgen, die Versicherungen honorieren die Verwendung solcher Baustoffe in ihrer Prämienstaffelung.

Prämienunterschiede von zur Zeit bis zu 250 % zeigen deutlich das geringe Schadensrisiko der massiven Ziegelbauweise.



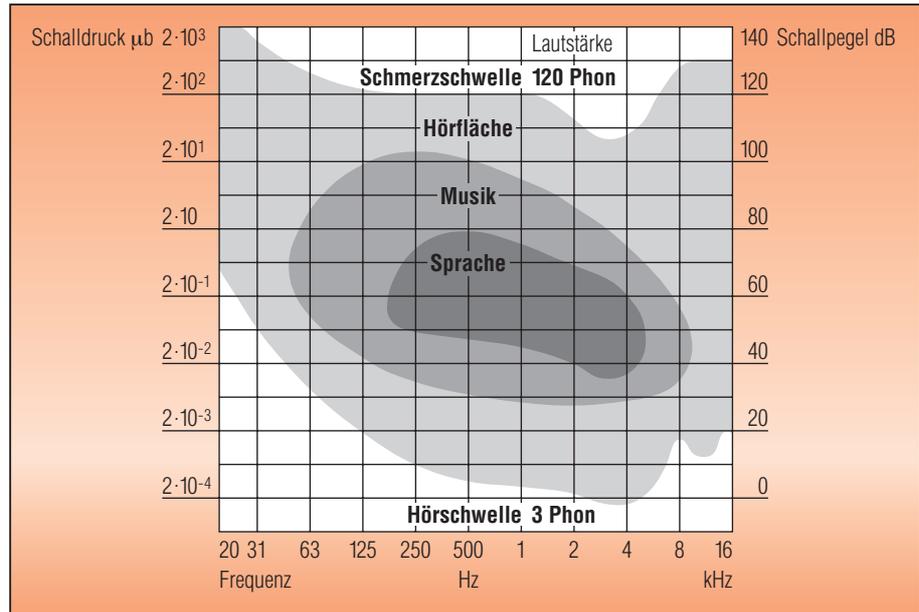
**Bild 11 Praktischer Feuchtegehalt von Baustoffen nach DIN 4108.**

### 3.7 Schallschutz

Schallschutzmaßnahmen sind notwendig, um die Bewohner eines Gebäudes vor Außenlärm und vor gegenseitiger Lärmbelästigung zu schützen. Die Ausbreitung von Luft-, Tritt- und Körperschall ist auf ein nicht störendes Maß abzumindern.

Bei der Festlegung von Schallschutzmaßnahmen ist zu berücksichtigen, daß der Mensch für verschiedene Frequenzen unterschiedlich empfindlich ist, s. Bild 13.

Mindestanforderungen sind in Normen festgelegt. Der Schallschutz wird nicht nur von der Wahl der Baustoffe für die trennenden Bauteile bestimmt. Die sachgemäße Ausführung von Anschlüssen, Verbindungen, Öffnungen, Installationen usw. bestimmt in den meisten Fällen die Qualität des Schallschutzes.



**Mit Außenwänden aus Wärmedämmziegeln, Wohnungstrennwänden aus Schallschutz-Füllziegeln und zweischaligen Reihenhaus-Trennwänden aus Hochlochziegeln können alle Anforderungen der deutschen Schallschutznorm DIN 4109 in einem Baustoffsystem sicher erfüllt werden.**

**Bild 13 Schalldruck und Schallpegel in Abhängigkeit von der Frequenz [9].**



Die Verwendung von Ziegeln für Außen- und Innenwände verringert Verformungsunterschiede und reduziert somit die Gefahr von Rißbildungen im Mauerwerk.

**Bild 12 Schallschutz-Füllziegel.**



**Bild 14 Schallquellen verschiedener Verursacher.**

### 3.8 Recycling

Ziegel sind ein bewährter langlebiger Baustoff. Für Ziegelgebäude werden in der Literatur Nutzungszeiten von 80 bis 100 Jahren und mehr angenommen.

Die Umweltverträglichkeit des Ziegels endet jedoch nicht mit der Nutzungsphase des Gebäudes.

Aufgrund der vorwiegend einschaligen, ausführungssicheren Bauweise ohne Zusatzdämmung sind Ziegelgebäude weitgehend sortenrein recycelbar. Hocheffiziente Verfahren zur Trennung von Ziegeln und Mörtelresten sind verfügbar.

Bei einem selektiven Rückbau können Ziegel ausgebaut, ggf. bearbeitet und neuen hochwertigen Verwendungsmöglichkeiten zugeführt werden.

**Aber auch bei Abbruch eines Gebäudes sind Ziegel als wertvolle Sekundär-Rohstoffe einsetzbar. Ziegelsplitt ist z.Zt. als einziges Recyclingmaterial aus Mauerwerkbaustoffen als Leichtzuschlag nach DIN 4226-2 für Beton genormt und wird z.B. als Leichtzuschlag für Mantelsteine von Keramik-Schornsteinen eingesetzt.**

Weitere derzeitige Einsatzgebiete für Ziegelsplitt sind Packlagen im Wegebau oder fein gemahlene Beläge für Sportplätze, Garten- und Parkwege. Darüberhinaus sind Ziegel nach Untersuchungen in [10] auch problemlos in Deponien der Deponieklasse I nach der Technischen Anleitung (TA) Siedlungsabfall deponierbar.

Untersuchungen mit einem genormten Auslaugverfahren nach [11] ergaben erwartungsgemäß, daß die Gehalte aller untersuchten Spurenelemente im Ziegeleluat extrem gering waren.

Das Eluat übertraf dabei sogar die strengen Qualitätsanforderungen der Trinkwasserverordnungen [12, 13] bei weitem, s. Bild 17.



Bild 15 Wiederverwertung von Abbruch-Ziegeln als hochwertiger Bodenbelag.



Bild 16 Schornstein-Mantelstein mit Ziegelsplitt-Zuschlag.

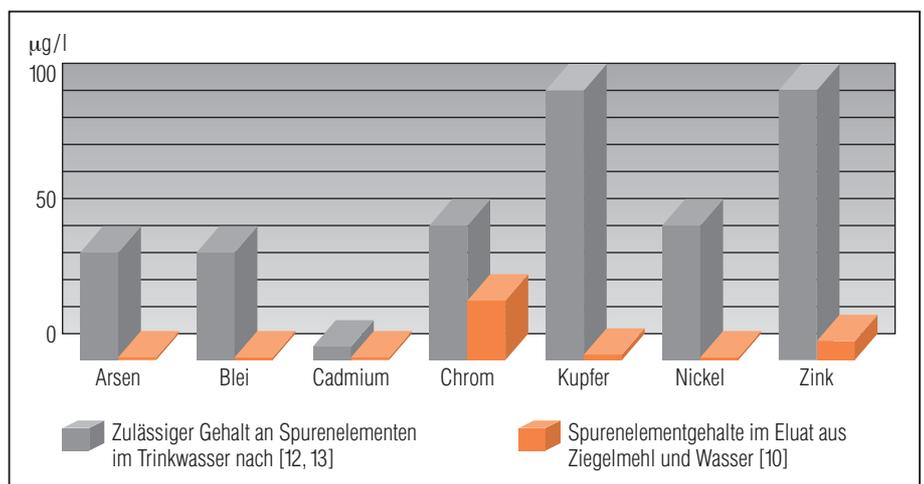


Bild 17 Ziegel sind problemlos deponierbar.

# 4 Ziegelindustrie und Umwelt

## 4.1 Umweltphilosophie

Die Erhaltung einer lebenswerten Umwelt für uns und die nachfolgenden Generationen heißt, unsere durch die Herstellung und Nutzung von Gütern verursachten Eingriffe in das Ökosystem Erde so zu gestalten, daß irreversible Schädigungen des natürlichen Gleichgewichts dieses vernetzten Systems Mensch-Tier-Pflanze-Boden-Wasser-Luft-Klima vermieden werden.

Wir müssen lernen, unsere Lebens- und Wirtschaftsweise nach dem Prinzip der Nachhaltigkeit auszurichten und kontinuierlich danach zu hinterfragen, inwieweit bei der Herstellung und Nutzung von Gütern

- der Abbau und Verbrauch von Ressourcen verringert und
- Schadstoffemissionen vermieden werden können.

Für die Ziegelindustrie ist diese Aufgabe ein erklärtes Anliegen.

In einer Zeit, in der man einer unüberschaubaren Flut technisch erzeugter, chemisch ermöglichter Baustoffe gegenübersteht, ist es von besonderer Bedeutung für Mensch und Umwelt, mit dem Ziegel einen Traditionsbaustoff zu haben, der im Zuge ständiger Qualitätsverbesserungen den gestiegenen Anforderungen an das Bauen und Wohnen stets Rechnung getragen hat. Die Ziegelindustrie orientiert sich mit ihren Produkten an den Bedürfnissen, Erwartungen und Wünschen einzelner Menschen und der Gesellschaft und realisiert damit gesunde Lebens- und Wohnumstände.

Die positiven Eigenschaften des wertvollen Baustoffes, der hohe Wohnwert und die Wirtschaftlichkeit werden ergänzt durch eine ökologische Wertschöpfung. Das ist heute wichtiger denn je angesichts der zunehmenden Bedeutung der Umwelteinflüsse wie Abbau von Rohstoffen, Energieverbrauch, Luftverschmutzung, Treibhauseffekt und Bodenversauerung.

In dieser Situation ermöglicht das Bauen mit Ziegeln, nach ökologischen Grundsätzen zu planen, zu projektieren, auszuführen und zu wohnen, Bauwerke für Generationen dauerhaft und wirtschaftlich nutzbar zu machen.

Die Ziegelindustrie sieht für die Zukunft eine Verpflichtung in einem integrierten Denken und Gestalten beim Bauen. Dabei eröffnen Ziegel die Chance, den Umweltschutz mit dem angestrebten Nutzen der Menschen nach wohngesundem, kostengünstigen und umweltgerechten Bauen in Einklang zu bringen. Ziegel sind Teile eines Gebäudes, in dem sich Menschen aufhalten, deren Wünsche bestimmt werden durch

- Sicherheit und Geborgenheit
- Gesundheit und Wohlbefinden
- Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit

All dies ist letztlich ein Stück Lebensqualität. Dieser fühlt sich die Ziegelindustrie von jeher verpflichtet.

## Ziegel für eine nachhaltige Lebens- und Wirtschaftsweise

Der Ziegel zeichnet sich als langlebiges Gebrauchsgut durch eine im Baustoffvergleich überdurchschnittlich lange Lebensdauer aus, wie z.B. Aquädukte aus Backstein aus der Zeit der Römer oder romanische und gotische Kirchen-Ziegelbauwerke zeigen.

Bei den für die Ziegelherstellung verwendeten Rohstoffen Ton, Lehm und Sand handelt es sich zum überwiegenden Teil um lokale Rohstoffvorkommen in unmittelbarer Nähe der Ziegeleien. Die Transportentfernungen von den Gruben zum Werk sind äußerst gering. Nach Abbau der Rohstoffe werden die Gruben rekultiviert, d.h. die Abbauflächen wieder in ihrem ursprünglichen Zustand bepflanzt bzw. in Abstimmung mit den lokalen Umweltbehörden in wertvolle Biotope umgewandelt. Bei der Ziegelherstellung entstehen so gut wie keine Abfälle, Ziegelbruch wird der Produktion wieder zugeführt.

## Der Ziegel ist der Baustoff der kurzen Wege.

Deutschlandweit und flächendeckend können Hintermauerziegel aus einem Umkreis von weniger als 50km direkt bei einem von rund 150 Ziegelwerken bezogen werden.

Die Wahl von Ziegelerzeugnissen für ein Gebäude entspricht damit auch der dem Prinzip der Nachhaltigkeit zugrundeliegenden Forderung nach vornehmlicher Verwendung regional produzierter Wirtschaftsgüter.

4.2 Standorte

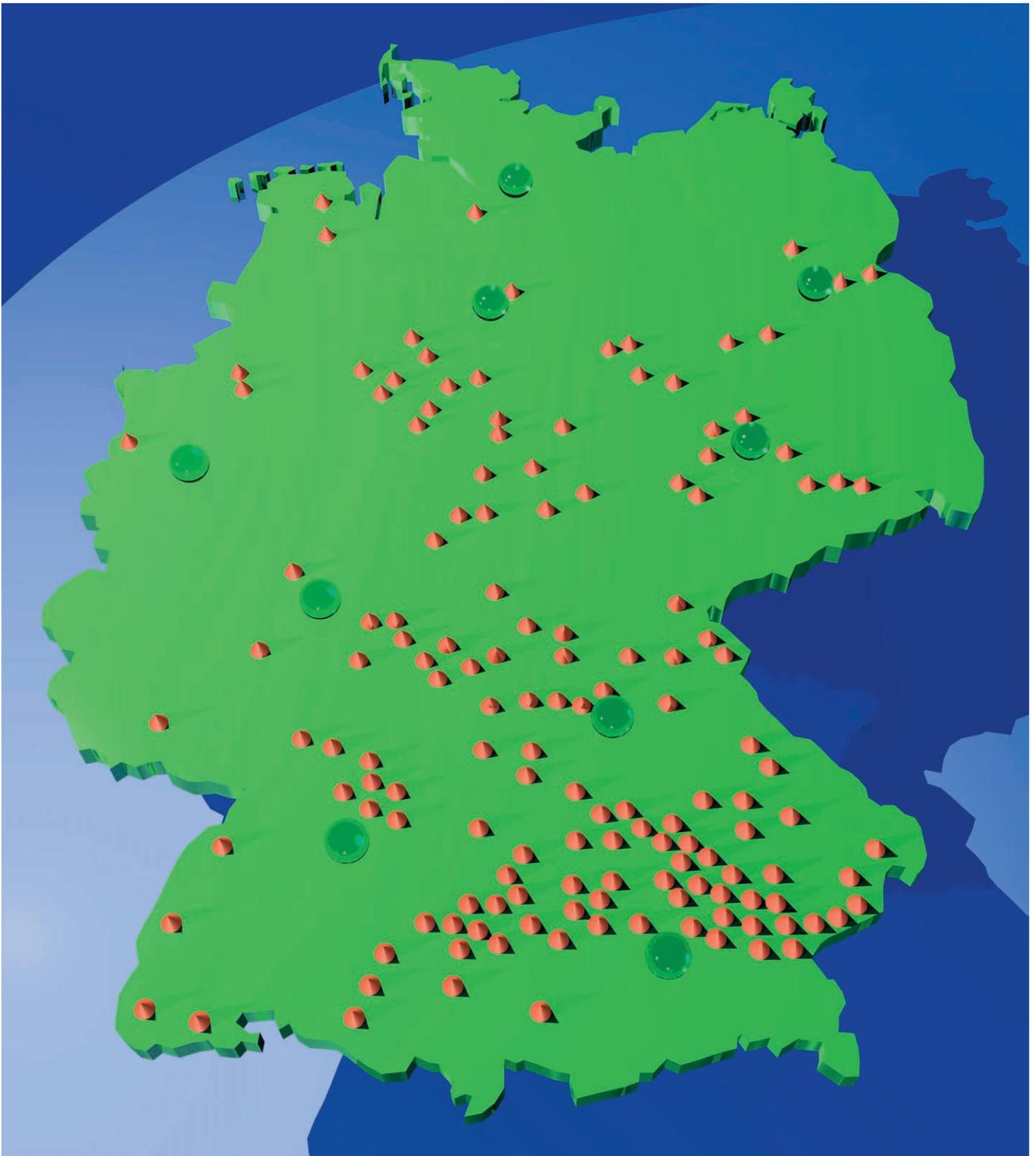


Bild 18 Standorte der Hintermauerziegel-Werke in der Bundesrepublik Deutschland.

### 4.3 Energieeinsatz und Emissionen

Da die Energiekosten für die Ziegelherstellung einen wesentlichen Anteil an den Gesamtkosten ausmachen, besteht in der Ziegelindustrie seit jeher das Bestreben, den erforderlichen Energieaufwand zu reduzieren.

In der Ziegelindustrie wurden durch zahlreiche Maßnahmen wie

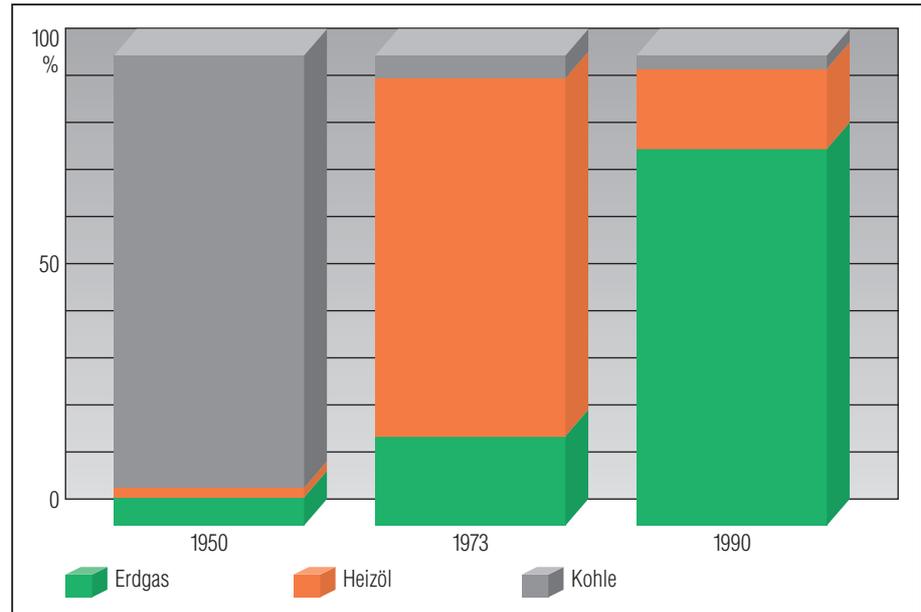
- verbesserte Brenntechnik
- höhere Effizienz bei der Rohlingstrocknung
- anlageninterne Wärmerückgewinnung
- weitere verfahrenstechnische Optimierungsarbeiten

die Möglichkeiten zur Produktionsenergie-Einsparung bereits in sehr weitreichendem Ausmaß umgesetzt.

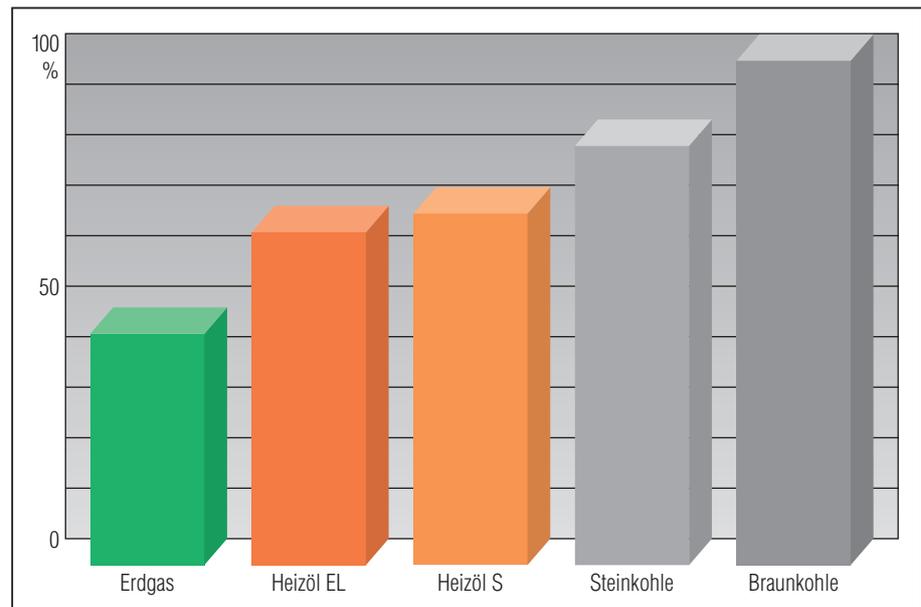
Der spezifische Energieverbrauch pro Kilogramm Ziegel konnte von Mitte der 70er Jahre bis zum Ende der 80er Jahre um ca. 40 % gesenkt werden.

Weiterhin werden zur Herstellung wärmedämmender Hochlochziegel, die zur Energieeinsparung bei Gebäuden beitragen, in zunehmendem Maße nachwachsende Rohstoffe als Porsierungsmittel eingesetzt.

Eine drastische Verringerung konnte auch beim Ausstoß der bei der Energieerzeugung aus Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Kohle, Erdöl und Erdgas entstehenden Spurengase Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Di-Stickoxid/Lachgas (N<sub>2</sub>O), Schwefeloxiden (SO<sub>x</sub>), Stickoxiden (NO<sub>x</sub>), Salzsäure (HCl), Fluorwasserstoff (HF) und Ammoniak (NH<sub>3</sub>) erreicht werden.



**Bild 19 Die Energieträgerverwendung durch die Ziegelindustrie in der Entwicklung von 1950 bis 1990 [14].**



**Bild 20 Freisetzung von Kohlendioxid bei der Verbrennung unterschiedlicher Brennstoffe in Abhängigkeit von der erzeugten Wärmemenge [15].**

Die Senkung des Luftschadstoffausstoßes wurde nicht nur durch den verringerten spezifischen Energiebedarf pro kg Ziegel erreicht, sondern auch durch gleichzeitigen Einsatz modernster Luftreinhaltetechnik und

die Energieträger-Umstellung von Kohle und schwerem Heizöl auf das vergleichsweise emissionsarme Erd- und Flüssiggas.

Als Ergebnis dieser Anstrengungen konnte die spezifische Kohlendioxid-Emission (kg CO<sub>2</sub>/kg gebrannter Ziegel) im Zeitraum von 1975 bis 1990 um rund 75% gesenkt werden.

### Erfolge in den neuen Bundesländern

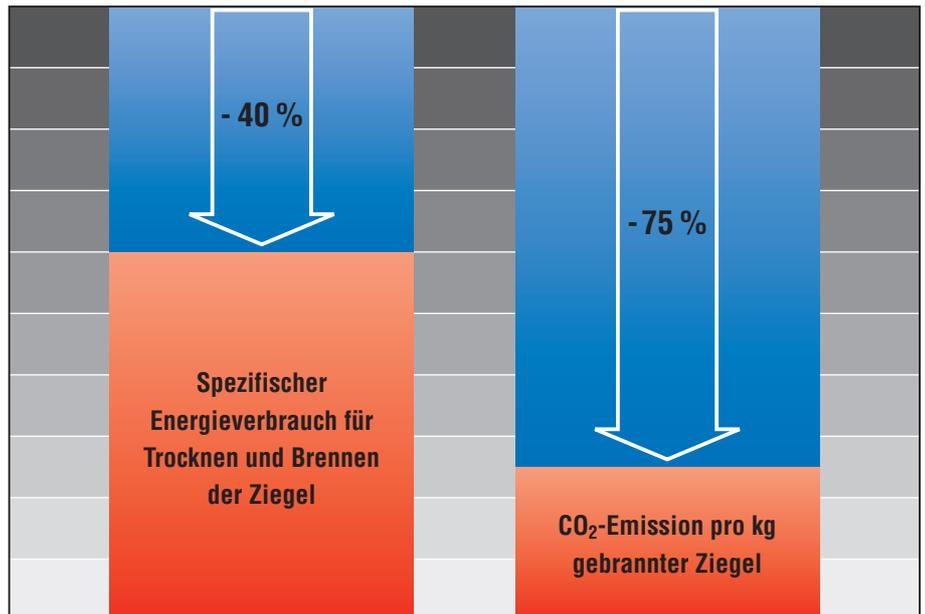
Bis 1990 existierten in der ehemaligen DDR überwiegend technologisch veraltete Ziegelwerke, deren Brennöfen fast ausschließlich mit schwefelhaltigem Braunkohlenbrikett-Abrieb beheizt wurden und die mit keinerlei Luftreinhaltetechnik ausgerüstet waren.

Der spezifische Energieverbrauch für das Trocknen und Brennen von Mauerziegeln lag mehr als doppelt so hoch wie in den alten Bundesländern.

In den neuen Bundesländern hat die Ziegelindustrie im Vergleich zu vielen anderen Branchen mit überdurchschnittlich hohen Investitionen besondere Anstrengungen unternommen, und die weltweit modernsten Ziegelwerke errichtet.

Parallel zur Modernisierung alter und der Errichtung neuer Ziegelwerke wurde die Befuerung der Brennöfen auf moderne Energieträger wie Erd- bzw. Flüssiggas oder leichtes Heizöl umgestellt und diese mit modernster Luftreinhaltetechnik ausgerüstet.

Die Ziegelindustrie hat damit beispielhaft gezeigt, wie man den Produktionsstandort Ostdeutschland erhalten und gleichzeitig einen Beitrag zur ökologischen Sanierung und zum ökologischen Umbau im Osten Deutschlands leisten kann [14, 16].



**Bild 21** Senkung des spezifischen Energieverbrauchs und Rückgang des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in der Ziegelindustrie von Mitte der 70er bis zum Ende der 80er Jahre [16].

## Die Verpflichtungserklärung der deutschen Ziegelindustrie

Im Vorfeld der ersten Vertragsstaatenkonferenz der Klimakonvention in Berlin 1995 erklärte sich die deutsche Wirtschaft bereit, auf freiwilliger Basis besondere Anstrengungen zu unternehmen, um ihre spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen bzw. den spezifischen Energieverbrauch bis zum Jahre 2005 (Basis 1987) um bis zu 20% zu senken.

Ein Jahr später, am 27. März 1996 wurden diese Zusagen gegenüber der Bundesregierung präzisiert und erweitert, so wurde z.B. das Basisjahr von 1987 auf 1990 umgestellt.

Die Ziegelindustrie hat sich bereits sehr frühzeitig der Erklärung von 1995 angeschlossen und sich auch an der erweiterten Erklärung von 1996 mit einer Einzelerklärung beteiligt [14]:

Bezogen auf das Basisjahr 1990 verpflichtet sich die Ziegelindustrie zur Senkung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen (kg CO<sub>2</sub>/kg gebrannter Ziegel) bis zum Jahre 2005:

- Für die alten Bundesländer um ca. 15%
  - spezifischer Energieverbrauch:
    - 1990:** 1935kJ/kg gebrannter Ziegel
    - 2005:** 1645kJ/kg gebrannter Ziegel
  - Energieträgerstruktur: gleichbleibend
- Für die neuen Bundesländer um ca. 70%
  - spezifischer Energieverbrauch:
    - 1990:** 3100kJ/kg gebrannter Ziegel
    - 2005:** 1645kJ/kg gebrannter Ziegel
  - Energieträgerstruktur: Umstellung von Braunkohlenbrikett-Abrieb auf Erd- und Flüssiggas.

# 5 Ökobilanz

## 5.1 Begriffsdefinition

Unter Ökobilanz versteht man eine möglichst umfassende Darstellung der Umweltauswirkungen von Produkten, Produktgruppen, Systemen, Verfahren oder Verhaltensweisen. Sie dient dem Vergleich funktionell äquivalenter Produkte, ist Basis für die Verbesserung der Umwelteigenschaften von Produkten und Entscheidungshilfe für umweltpolitische Maßnahmen aller Art.

Entsprechend einer Definition des Umweltbundesamt Berlin gilt, Zitat [17]:

*Das Konzept „Ökobilanz“ beruht auf vier Kernbestandteilen:*

- *einer Betrachtung des gesamten Lebensweges der Produkte, d.h. Rohstofferschließung und -aufbereitung, Produktion, Distribution einschließlich Transport, Ge- und Verbrauch, Entsorgung,*
- *einer medienübergreifenden Betrachtung der mit dem Lebensweg verbundenen Umweltbelastungen, d.h. der Luft-, Wasser- und Bodenbelastungen durch Schadstoffe, des Verbrauchs an Rohstoffen, Energieträgern und Wasser, des Lärms, der Bodenversiegelung und der Abfallströme,*
- *einer Beschreibung der zusammengefaßten Umweltbelastungen hinsichtlich ihrer Einflüsse auf mögliche Umweltauswirkungen,*
- *einer allgemein akzeptierten Bewertung mit dem Ziel, die Umweltbelastungen zusammenzufassen, Schwachstellen und Entwicklungspotentiale im Hinblick auf ökologische Optimierung zu identifizieren und umweltorientierte Entscheidungen zu treffen.*

## Methodik

Ein genormtes Standardverfahren zur Erstellung von Ökobilanzen liegt derzeit noch nicht vor. Die Methodik der Ökobilanzierung in [15] folgt im wesentlichen dem Vorschlag des Umweltbundesamtes zur Durchführung von Produktbilanzen, sowie Ergebnissen der aktuellen Methodendiskussion, s. Bild 23 [17, 18, 19].

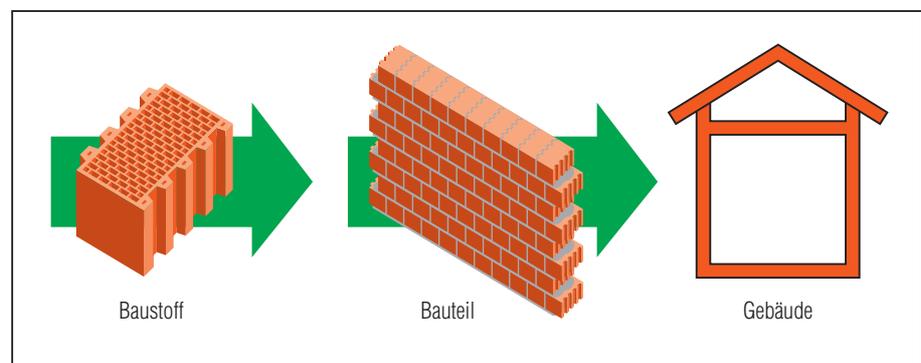
In einer Sachbilanz werden die benötigten Stoff- und Energiemengen zur Herstellung eines Bauprodukts bzw. Bauteils als Input dem Output der dabei entstehenden Produkte, Emissionen, Abfälle gegenüber gestellt. Der quantitative Einsatz innerhalb eines bestimmten Zeitraums oder im Bezug auf ein oder mehrere hergestellte Produkte wird durch Messungen oder aus betrieblichen Aufzeichnungen ermittelt.

Ein Gebäude besteht aus einer Vielzahl unterschiedlicher Bauteile, diese Bauteile werden wiederum aus unterschiedlichen Bauprodukten hergestellt. Die Gesamtbilanz eines Gebäudes ergibt sich aus den Bilanzen seiner Bauteile und Bauprodukte. Für das Bauprodukt Mauerziegel wurde in [15] aufgrund einer 1996 durchgeführten Erhebung in 19 deutschen Ziegelwerken eine umfassende Sachbilanz erstellt.

Auf der Basis dieser Sachbilanz wurde eine umfassende Wirkungsbilanz erstellt sowie eine Bilanzbewertung vorgenommen. Darüber hinaus wurden die Daten der Sachbilanz zur vergleichenden Bewertung unterschiedlicher Ziegelaußenwandkonstruktionen herangezogen.

In [20] wurde eine Sachbilanz für eine Doppelhaushälfte in Ziegelbauweise erstellt. Dabei wurde neben der Trag- und Hüllkonstruktion auch die technische Gebäudeausrüstung berücksichtigt.

Die wichtigsten Ergebnisse der Studien [15, 20] sind auf den folgenden Seiten dokumentiert.



**Bild 22 Baustoff, Bauteil, Gebäude.**

Zitatende

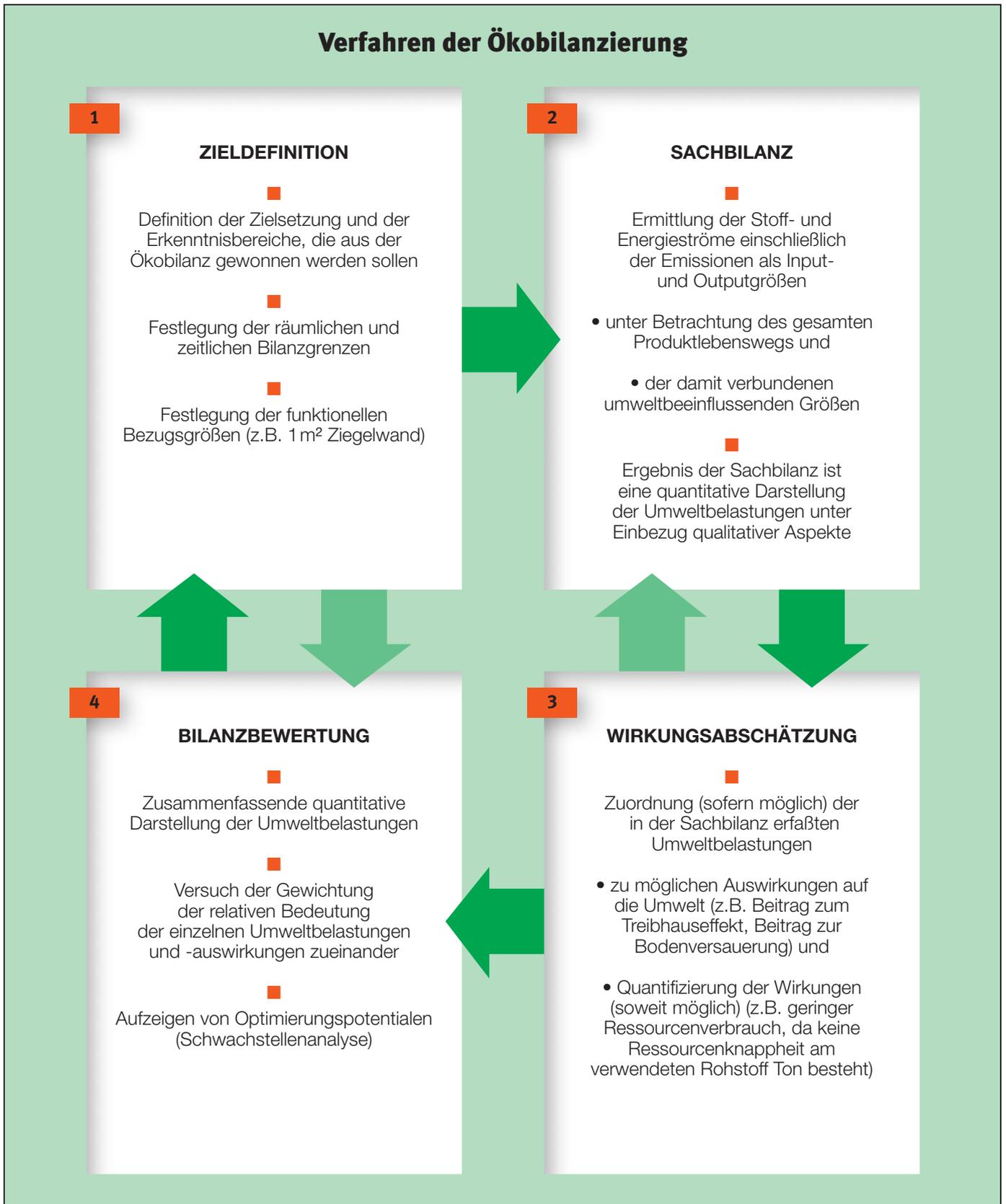


Bild 23 Verfahren der Ökobilanzierung.

**INPUT**

**Rohstoffe**

- Ton
- Lehm
- Sand
- Kalk

**Porosierungsstoffe**

- Sägemehl (neu)
- Sägemehl (Reststoff)
- Polystyrol (neu)
- Polystyrol (Reststoff)
- Papierfasern (Reststoff)

**Zuschlagstoffe**

- Kohlenstaub
- Natursteinmehl
- Perlite
- Kalkgranulat

**Wasser**

- Wasser (Netz)
- Wasser (Brunnen)

**Betriebs- und Hilfsstoffe**

- Getriebe-, Hydrauliköl
- Holzpaletten
- Kunststoffbänder
- Motoröl
- Mundstücke
- PE-Folien
- PVC-Folien
- Schmierfett
- Stahlbänder
- Walzenmäntel
- übrige Stahlteile

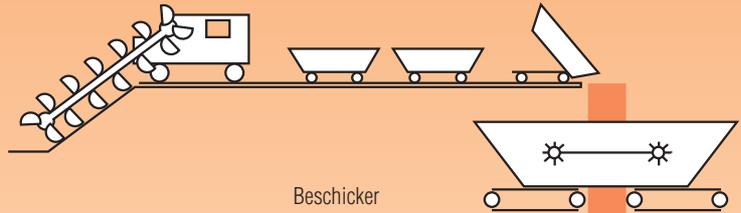
**Energieträger**

- Elektrische Energie
- Brennstoffe
- Erdgas
- Propan
- Heizöl EL
- Heizöl schwer

**Treibstoffe**

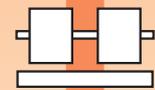
- Diesel (allgemein)
- Diesel (Grube)
- Diesel (Transporte)
- Benzin (Transporte)

**Rohstoff-Abbau**



**Aufbereitung**

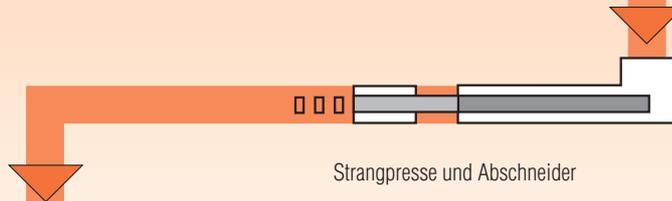
Kollergang



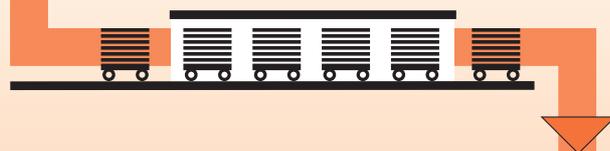
Walzwerk



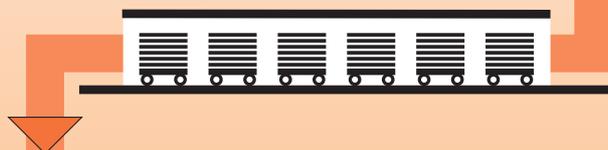
**Formen**



**Trocknen**



**Brennen**



Güteprüfung

Lager

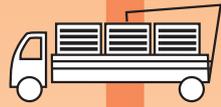
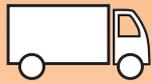
Verpacken

Verladen



**Bild 24 Sachbilanz Mauerziegel.**

**Transporte**



Ziegeltransport



Ziegelbruch  
Baustellenabfall

Beschicker

**Baustelle**



Entladen Montieren Fertigstellen

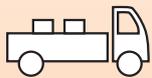
**Gebäudenutzung**



Einrichten Nutzen Heizen Lüften

**Instandhaltung / Umbau**

neue Stoffe/Teile

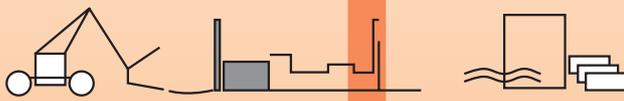


Oberflächenbehandlung Reparieren Austauschen

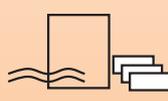


Abfall

**Abbruch**



Abbauen Trennen



Sortieren

**Deponie / Verwertung**



Ziegel zur Recyclinganlage

**OUTPUT**

**Mauerziegel**

**Recyclate**

Rohstoff zur Ziegelherstellung  
Trocken- und Brennbruch  
Verpackung  
Abbruch

**Feste Abfälle**

Bruch  
Verpackung  
Abbruch

**Atmosphärische Emissionen**

Staub, Partikel  
Stickoxide (NO<sub>2</sub>)  
Schwefeloxide (SO<sub>2</sub>)  
Fluorwasserstoff (HF)  
Kohlenmonoxid (CO)  
Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)  
Chlorwasserstoff (HCl)  
organische Stoffe (gesamt C)  
Äthanol  
Benzol  
Methanol  
Phenol

**Wasserbelastungen**

Dampf (Trockenprozeß)

**Energieabgabe**

Abwärme

**Lärmemissionen**

**Materialverschleiß**

Mundstücke  
Walzenmäntel  
Holzpaletten

## 5.2 Sachbilanz Mauerziegel

### 5.2.1 Ziegelherstellung

#### Rohstoffgewinnung

Rohstoff für Mauerziegel sind Lehme und Tone unterschiedlicher, natürlicher Zusammensetzung. Der Abbau geschieht oberflächennah in ausgesuchten Lagerstätten. Beim Abbau werden die Gruben gezielt für die Rekultivierung als Biotope vorbereitet. Geräte für den Abbau sind vorwiegend Bagger und Scraper.

#### Rohstoffaufbereitung

Der Rohstoff wird mit Fahrzeugen zur Zwischenlagerung zum Sumpfhaus oder Maukturm (Bevorratung, Mischung verschiedener Tonsorten, gleichmäßige Durchfeuchtung, Homogenisierung) gebracht. Die mechanische Aufbereitung, insbesondere das Mischen und Zerkleinern, geschieht im Kollergang.

Zur Magerung werden bei sehr fetten (feinkörnigen) Tonen Sande und Kalkgranulat beigemischt, zur Erzielung höherer Rohdichten (Schalldämmziegel) wird Kalk-/Natursteinmehl zugesetzt.

Bei der Herstellung von hochwärmedämmenden Ziegeln ist eine zusätzliche Porosierung erforderlich. Diese wird durch die Zugabe von feinen Zellulosefasern (z.B. unbehandeltem Sägemehl oder bei der Papierherstellung anfallendem Papierfangstoff) und/oder Polystyrol (Reststoffe und neu) und/oder Kohlenstaub erreicht.



Bild 25 Rohstoffabbau in der Tongrube.



Bild 26 Homogenisierung des Tons im Sumpfhaus.

#### INPUT

##### Grundstoffe [15] Durchschnittliche Zusammensetzung

Gewichteter Mittelwert	1,30 kg/kg Ziegel	
Ton, Lehm, Mergel	70-90	M.-%
Sand, Ziegelbruch	0-15	M.-%
Kalksteinmehl, Natursteinmehl	0-8	M.-%
Kohlenstaub	0-8	M.-%
Sägemehl, Papierfasern	0-6	M.-%
Polystyrol	0-0,25	M.-%

#### INPUT

##### Wasserverbrauch [15]

Gewichteter Mittelwert	0,187 m³/t Ziegel
------------------------	-------------------

##### Flächennutzung [15]

Gewichteter Mittelwert	1,36 m²/t Ziegel
------------------------	------------------

##### Zuliefertransporte [15]

Gewichteter Mittelwert	0,011 tkm/kg Ziegel
------------------------	---------------------



Bild 27 Drahtabschneider.

Je nach mineralogischer Zusammensetzung des Ausgangsmaterials und angestrebter Ziegelrohddichte ergeben sich unterschiedliche Mengenanteile.

### Formgebung

Die Formgebung des aufbereiteten Rohmaterials erfolgt durch Strangpressen mit entsprechenden Mundstücken und nachgeschaltetem Drahtabschneider.

### Trocknen

Die feuchten Rohlinge kommen in den Trockner, der im wesentlichen mit der Abwärme des Tunnelofens betrieben wird. Die Trocknungszeit variiert je nach Format und Rohddichte und beträgt in der Regel 24 bis 48 Stunden.



Bild 28 Abwärme aus dem Tunnelofen wird über Kraft-Wärme-Kopplung zum Betrieb der Ventilatoren des Trockners genutzt.

### Brennen

Nach dem Trocknen werden die Rohlinge in einem wärmeisolierten Tunnelofen gebrannt. Zunächst werden sie in der Vorwärmzone auf die Garbrandtemperatur von 900 bis 970°C aufgeheizt. Diese Temperatur wird ca. 2 bis 6 Stunden gehalten. Danach schließt sich die Abkühlphase an. Die in der Abkühlzone anfallende Energie wird über einen Wärmeverbund der Vorwärmzone zugeführt.

Die rückstandsfreie Verbrennung der genannten Porosierungsstoffe bewirkt eine Feinporosierung. Es finden keine Umwandlungsprozesse mehr statt. Die bei der Verbrennung der Porosierungsstoffe entstehende Wärmeabgabe reduziert den Einsatz anderer Energieträger zur Beheizung des Tunnelofens.

### Qualitätskontrolle

Die eigen- und fremdüberwachte Gütesicherung erfolgt während und im Anschluß an den Produktionsprozeß gemäß DIN und/oder nach bauaufsichtlichen Zulassungen oder Zertifizierungsurkunden durch staatlich autorisierte Institute.

### Verpacken

Nach der Qualitätskontrolle werden die gebrannten Ziegel zu Kleinpaketen gebündelt, auf Europaletten gruppiert und der Verpackungsanlage zugeführt. Dort werden die Ziegel entweder mit Stahl- oder recyclingfähigen Kunststoffbändern umreift oder in PE-Schrumpffolie verpackt. Die Folien und Paletten werden vom Ziegelwerk zurückgenommen und wiederverwendet bzw. an den Folienhersteller zum Recycling weitergeleitet.

#### INPUT

##### End-Energie-Einsatz [15] Primär-Energie

Gewichteter Mittelwert	0,474 kWh/kg Ziegel
Elektrische Energie	ca. 9,0%
Brennstoffe	ca. 86,0%
Treibstoffe	ca. 2,5%
Porosierungsstoffe (neu)	ca. 2,5%

#### INPUT

##### End-Energie-Einsatz [15] Sekundär-Energie

Gewichteter Mittelwert	0,144 kWh/kg Ziegel
Recycling-Porosierungsstoffe	100%
z.B.	
Sägemehl	
Polystyrol	
Papierfangstoff	

### 5.2.2 Aufwendungen für die Energiebereitstellung

Die Angaben in dieser Broschüre zum Energieverbrauch im Ziegelwerk beziehen sich auf den Endenergieverbrauch im Werk. In dieser Energiekennzahl sind die verbrauchten Mengen der jeweils verwendeten Energieträger mit ihren jeweiligen Heizwerten multipliziert und aggregiert. Dies entspricht der Vorgehensweise in vergleichbaren Ökobilanzen. Dort wird dieser Energieverbrauch als Primärenergieverbrauch definiert.

Nicht berücksichtigt sind beim Endenergieverbrauch die Aufwendungen für die Energiebereitstellung. Dies sind die Aufwendungen, die zur Förderung, zum Transport und zur Veredelung von Primärenergieträgern vor dem Einsatz in der Produktion erforderlich waren. Hierzu liegen eine Vielzahl von Modellannahmen [18, 21, 22] vor. Besonders die Annahmen zur Bewertung des Stromverbrauchs sind stark unterschiedlich und abhängig vom Energiemix (Art der Stromgewinnung, z.B. aus Wasserkraft, Kernspaltung, Kohle) vor Ort, s. Tabelle 3.

Als Basis für die Wirkungsabschätzung der Mauerziegelherstellung wurde in [15] das Modell [22] zugrunde gelegt.

Aufgrund der darin enthaltenen sehr hohen Bewertung der Aufwendungen für die Energiebereitstellung liegen die Ergebnisse aus [15] weit auf der sicheren Seite.



Bild 29 Gesamtansicht eines modernen Ziegelwerks.

Energieträger	Modell		
	[18]	[21]	[22]
	kWh/kWh <sub>HU</sub>		
Elektrische Energie	1,646	2,203	3,420
Erdgas H	0,095	0,073	0,255
Heizöl EL	0,091	0,131	0,265
Benzin	0,091	0,261	0,414
Braunkohlenstaub	0,060	0,253	0,489

Tabelle 3 Energiebedarf für die Bereitstellung von Endenergie bezogen auf den unteren Heizwert in kWh/kWh<sub>HU</sub> nach unterschiedlichen Modellannahmen.

#### INPUT

##### End-Energie-Einsatz [15] Primär-Energie

Gewichteter Mittelwert der besten 25% der Werke 0,351 kWh/kg Ziegel

Elektrische Energie	ca. 13,0 %
Brennstoffe	ca. 83,5 %
Treibstoffe	ca. 2,5 %
Porosierungsstoffe (neu)	ca. 1,0 %

#### INPUT

##### End-Energie-Einsatz [15] Sekundär-Energie

Gewichteter Mittelwert der besten 25% der Werke 0,201 kWh/kg Ziegel

Recycling-Porosierungsstoffe z.B. Sägemehl, Polystyrol, Papierfangstoff	100 %
---	-------

### 5.2.3 Ergebnisse und Entwicklungstendenzen

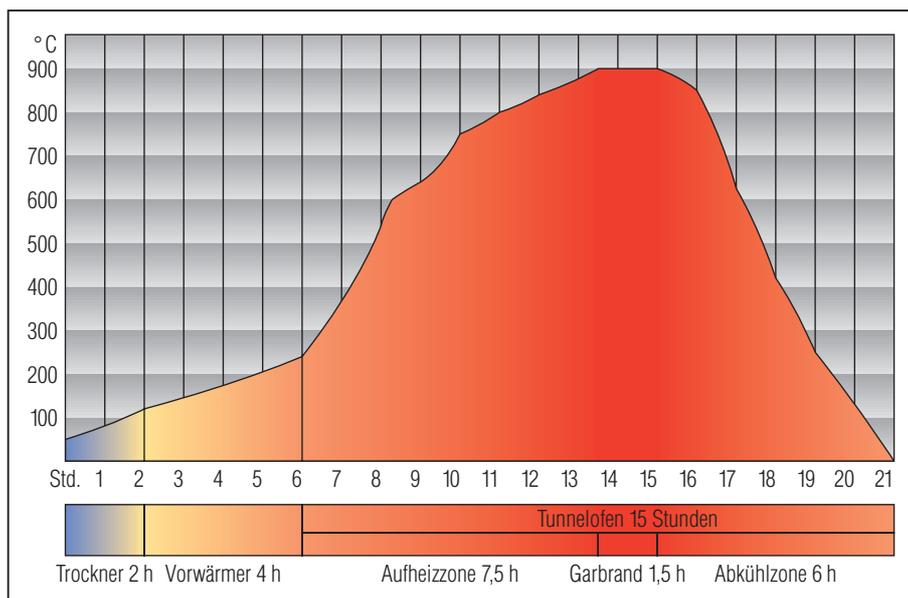
Der mittlere Endenergieeinsatz für die Herstellung eines Kubikmeter Wärmedämmziegel der Rohdichte  $650\text{kg/m}^3$  beträgt nach der Studie [15] 308 kWh.

Die Studie [15] hat auch gezeigt, daß mit modernster Produktionstechnologie noch erhebliche Energieeinsparpotentiale vorhanden sind.

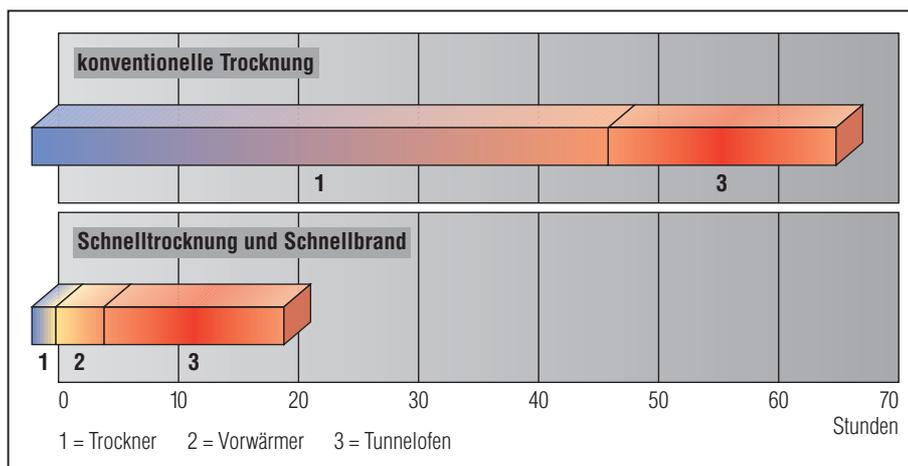
Die besten 25 % der an der Studie beteiligten Werke benötigen zur Herstellung der gleichen Menge Wärmedämmziegel lediglich im Mittel 228 kWh.

Diese Energieeinsparung wird überwiegend durch eine weiter optimierte Anlagentechnik erzielt. Dieses Einsparpotential von ca. 25 %, kann bei zukünftig anstehenden Werksmodernisierungen nach und nach realisiert werden.

Darüber hinaus befinden sich neue, noch energiesparendere Produktionstechnologien in der Entwicklung. Mit der Schnelltrocknungs- und Schnellbrand-Technologie, die sich bereits in ersten neuen Werken in der Phase der praktischen Umsetzung befindet, ist voraussichtlich eine weitere erhebliche Reduzierung des Brennstoffverbrauchs möglich [23].



**Bild 30** Temperaturverlauf für Trocknen und Brennen in einem modernen Werk mit Schnelltrockner.



**Bild 31** Verringerter Zeitbedarf für die einzelnen Produktionsschritte bei der Ziegelherstellung durch Schnelltrocknung und verkürzte Verweildauer im Tunnelofen.

#### INPUT

##### Betriebs- und Hilfsstoffe [15]

Berücksichtigt wurden hier u.a.:

Folienverpackungen	Elektromaterial
Paletten	Feuerfestmaterial
Stahlbänder	Mundstücke
Kunststoffbänder	Reinigungsmittel
Öle	Korrosionsschutzmittel
Fette	Frostschutzmittel

#### INPUT

##### Betriebs- und Hilfsstoffe [15]

Den mengenmäßig größten Anteil haben Verpackungen (Folien oder Bänder) mit etwa

0,5-1 g pro kg Ziegel

### 5.2.4 Emissionen

Die bei der Ziegelherstellung zwischen den Bilanzgrenzen Tongrube und Werkstor anfallenden signifikanten Emissionen sind atmosphärischer Natur. Sie stammen zum weit überwiegenden Anteil aus dem Brennvorgang.

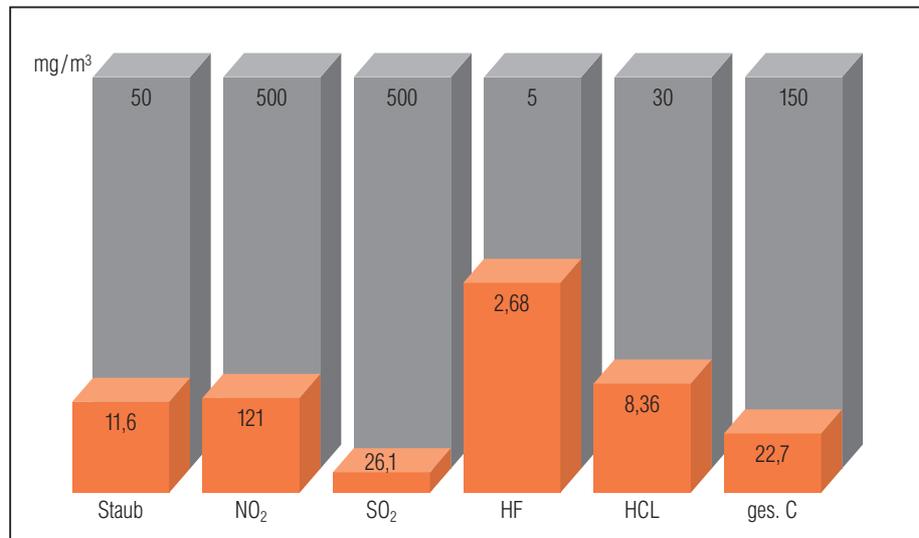
Abwasser entsteht nicht. Das eingesetzte Anmachwasser wird beim Trocknen in Form von Wasserdampf wieder frei, und damit in den natürlichen Wasserkreislauf zurückgeführt. Die Umweltbelastung aus der Entsorgung von bei der Ziegelherstellung entstehenden festen Abfällen ist gering. Der anfallende Trocken- und Brennbruch wird betriebsintern wiederverwertet.

Die Emissionen aus dem Brennvorgang liegen unter den gesetzlichen Grenzwerten der TA-Luft [24], s. Bild 33. Die aktuellen Erkenntnisse hinsichtlich Schwelgasverbrennung und Abluftreinigung werden in der Ziegelindustrie in vollem Umfang berücksichtigt. Zur Umweltentlastung werden im wesentlichen folgende Möglichkeiten eingesetzt:

- Wahl von emissionsarmen Brennstoffen (z.B. Erdgas)
- Kraft-Wärme-Kopplung
- Nachverbrennung der Schwelgase
- Verbesserung der Brennführung durch computerunterstützte Optimierung
- Einbau zusätzlicher Filter
- Verwendung von Recycling-Rohstoffen
- Grubenrekultivierung.



**Bild 32** Moderne Ziegelwerke mit Rauchgasreinigungsanlagen erfüllen alle Anforderungen der Technischen Anleitung (TA) Luft [24].



**Bild 33** Durchschnittliche Konzentration im Ofenabgas (orange) nach [15] und Anforderungswerte der TA Luft (grau).

#### OUTPUT

##### Atmosphärische Emissionen [15]

Gewichtete Mittelwerte pro kg Ziegel

Staub, Partikel	17,60 mg
Stickoxide NO <sub>2</sub>	184,00 mg
Schwefeloxide SO <sub>2</sub>	39,60 mg
Kohlendioxid CO <sub>2</sub>	149,00 g
Kohlenmonoxid CO	189,00 mg
Fluorwasserstoff HF	4,07 mg

#### OUTPUT

##### Atmosphärische Emissionen [15]

Gewichtete Mittelwerte pro kg Ziegel

Chlorwasserstoff HCl	12,70 mg
organische Stoffe, gesamt C	34,50 mg
Äthanol	3,08 mg
Benzol	2,25 mg
Methanol	5,68 mg
Phenol	0,70 mg

### 5.3 Wirkungsabschätzung der Mauerziegelherstellung

In den letzten Jahren wurde immer deutlicher erkannt, daß nicht allein der Energieeinsatz zur Herstellung eines Produkts, sondern vielmehr auch die Auswirkungen dieses Energieeinsatzes auf die Umwelt zur Beurteilung eines Produktes von vorrangigem Interesse sind.

Die wichtigsten zu betrachtenden Umweltkategorien sind [25]:

- der Abbau von nicht erneuerbaren Ressourcen
- Klimateffekte, z.B. Beiträge zum Treibhauseffekt, zum Ozonabbau, zur Photooxidantienbildung
- etwaige toxische Wirkungen eines Produkts
- die Versauerung des Bodens sowie die Eutrophierung (Überdüngung) der Gewässer
- die Recyclingfähigkeit und die entstehenden Abfälle.

### 5.4 Umweltkategorien

Die Wirkungsbilanz beschreibt die Auswirkung der in der Sachbilanz erhobenen Emissionsdaten auf die einzelnen Umweltkategorien. Für die Wirkungskategorien, bei denen bereits ein allgemeiner Konsens hinsichtlich der Bewertung der Emissionen besteht, erfolgte in [15] eine Auswertung nach dem aktuellen wissenschaftlichen Stand.

Diese Kategorien sind:

- der Treibhauseffekt (bewertet in Kohlendioxid(CO<sub>2</sub>)-Äquivalenten)
- der Abbau des stratosphärischen Ozons (bewertet in FCKW R11-Äquivalenten)
- die Photooxidantienbildung (bewertet in Äthylen(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)-Äquivalenten)
- die Versauerung des Bodens (bewertet in Schwefeldioxid(SO<sub>2</sub>)-Äquivalenten) und
- die Überdüngung (bewertet in Phosphat(PO<sub>4</sub>)-Äquivalenten).

Für die Wirkungsbilanzen in [15] wurden auf der Basis von [22] zusätzlich zu den atmosphärischen Emissionen im Ziegelwerk auch die jeweiligen Anteile aus den Primärenergieträgern, Primärstoffen, Transportvorgängen, der Dieselverbrennung in Motoren sowie von Abfällen auf Deponien berücksichtigt.



**Bild 34** Rekultivierte Tongrube.

**Ressourcen zur Ziegelherstellung sind nahezu unbegrenzt verfügbar.**

Ziegel-Hauptbestandteil ist Ton, dessen hauptsächliche Minerale sind Aluminiumsilikate mit angelagertem Hydratwasser (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 2 SiO<sub>2</sub> · 2 H<sub>2</sub>O).

83% der kontinental granitischen Erd-Oberkruste besteht aus solchen Silicium- und Aluminium-Verbindungen.

#### OUTPUT

##### Abfälle [15]

Hier wurden u.a. erfaßt:

Paletten	Elektromaterial
Verpackungen	Feuerfestmaterial
Produktabfall	Batterien
Bauschutt	Leuchtstoffröhren
Altöle und -fette	Kfz-Akkus
Metalle	Papier, Emulsionen

#### OUTPUT

##### Abfälle [15]

Der durchschnittliche Abfallanteil der Deponien zugeführt wird liegt unter 0,2g/kg gebrannter Ziegel.

Dabei handelt es sich überwiegend um Bauschutt aus Umbaumaßnahmen in den Ziegelwerken.

Die für die Ziegelherstellung erforderliche Energie wird aus der Verbrennung fossiler Ressourcen gewonnen. Der spezifische Energieverbrauch konnte in den vergangenen 20 Jahren um mehr als 40 % pro kg Ziegel gesenkt werden.

Der Verbrauch fossiler Brennstoffe für die Ziegelherstellung muß, unter Betrachtung des Produktnutzens unter dem Aspekt einer größtmöglichen Nachhaltigkeit unserer Lebens- und Wirtschaftsweise in Beziehung gesetzt werden zur nahezu unbegrenzten Lebensdauer des Ziegels und weiteren, im eingebauten Zustand zum Tragen kommenden energetisch relevanten Eigenschaften wie beispielsweise der hohen Wärmespeicherfähigkeit und den günstigen Wärmedämmeigenschaften des Ziegels.

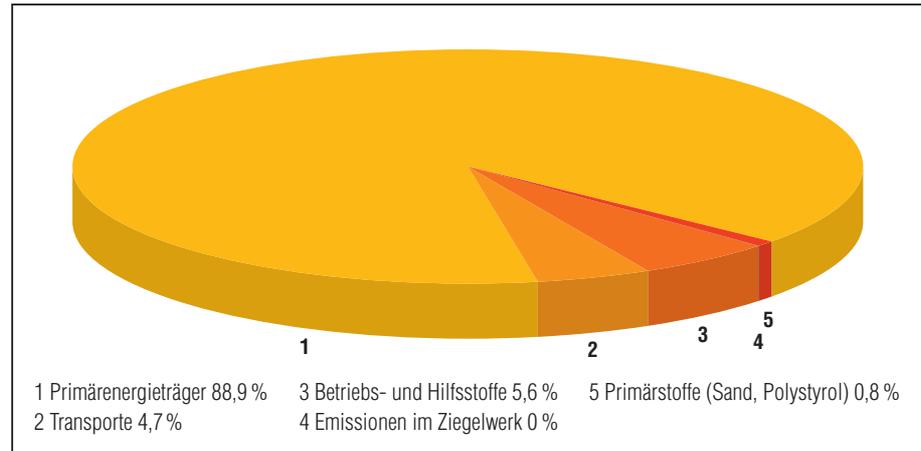
#### Verringerung des Treibhauspotentials durch überwiegende Verwendung umweltfreundlicher Energieträger.

Der Energieerzeugung aus fossilen Brennstoffen und der Förderung dieser Ressourcen wird heute durch die dabei emittierten Spurengase Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ), Distickoxid/Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) der größte Einfluß auf den Treibhauseffekt (GWP, Global Warming Potential) zugewiesen. Der GWP der einzelnen Gase wird nicht in absoluten Größen, sondern relativ zu  $\text{CO}_2$  angegeben, d.h. als sogenannte  $\text{CO}_2$ -Äquivalente, in der Regel für einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren. Das  $\text{CO}_2$  erhält hierbei den Bezugswert 1.

Den größten Einfluß der bei der Ziegelherstellung emittierten Spurengase auf den GWP haben die Kohlendioxid-Emissionen. Bei der Herstellung eines kg Mauerziegel fallen 200 g  $\text{CO}_2$ -Äquivalente an [15]. Dies ist die gleiche  $\text{CO}_2$ -Menge, die ein moderner Mittelklasse-PKW auf einem Fahrkilometer ausstößt.

#### Niedriges Versauerungspotential

Energieerzeugung aus fossilen Brennstoffen und Förderung dieser Ressourcen sind auch die Quellen für atmosphärische Emissionen von Schwefeloxiden ( $\text{SO}_x$ ), Stickstoffmonoxid (NO),



**Bild 35** Im Ziegelwerk fallen keine ozonzerstörenden Stoffe an.

Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ), Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ), Salzsäure (HCl), Fluorwasserstoff (HF) und Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), aus denen sich verschiedene Bestandteile in der Atmosphäre mit Wasser verbinden und in der Form saurer Niederschläge zur Schädigung unserer Umwelt beitragen. Die Versauerungswirkung (AP Acidification Potential) der einzelnen Gase wird anhand eines Äquivalenzwertes in Bezug auf Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) dargestellt.

Die Hauptanteile am geringen Versauerungspotential von 0,576 g  $\text{SO}_2$ -Äquivalenten je kg Mauerziegel [15] entstehen bei der Gewinnung der Primärenergieträger.

Wie bereits ausgeführt, wird in der Ziegelindustrie als Energieträger hauptsächlich das emissionsarme Erdgas eingesetzt, mit im Vergleich zu anderen Energieträgern geringem Einfluß auf Treibhauspotential und Versauerung.

#### Kein Beitrag zum Ozonabbau im Ziegelwerk

Bei der Ziegelherstellung fallen im Ziegelwerk keine Stoffe an, die einen Beitrag zum Ozonabbau in der Stratosphäre leisten.

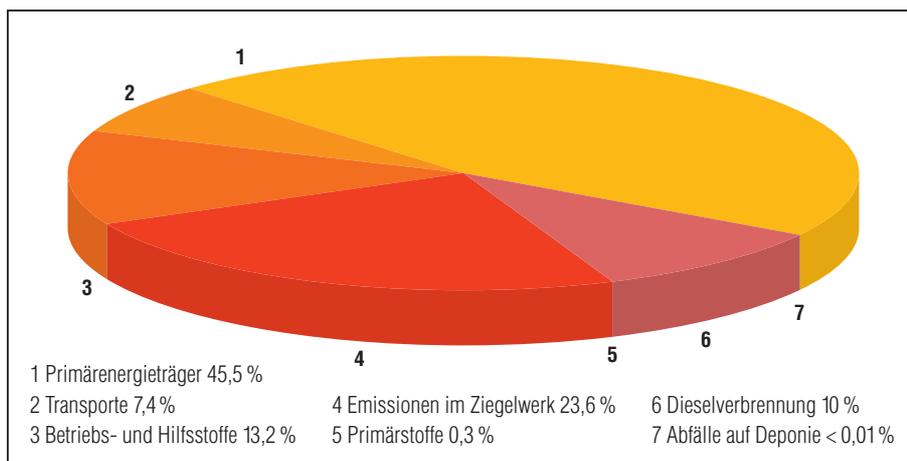
Geringfügige Beiträge zum Ozonabbau fallen jedoch bei der Gewinnung und Verarbeitung der Primärenergieträger an. Auch hier ist durch die überwiegende Verwendung von Erdgas als Energieträger in der Ziegelindustrie bereits ein erhebliches Umweltschutzpotential realisiert worden.

#### Geringer Beitrag zur Photooxidantien-Bildung (Sommersmog).

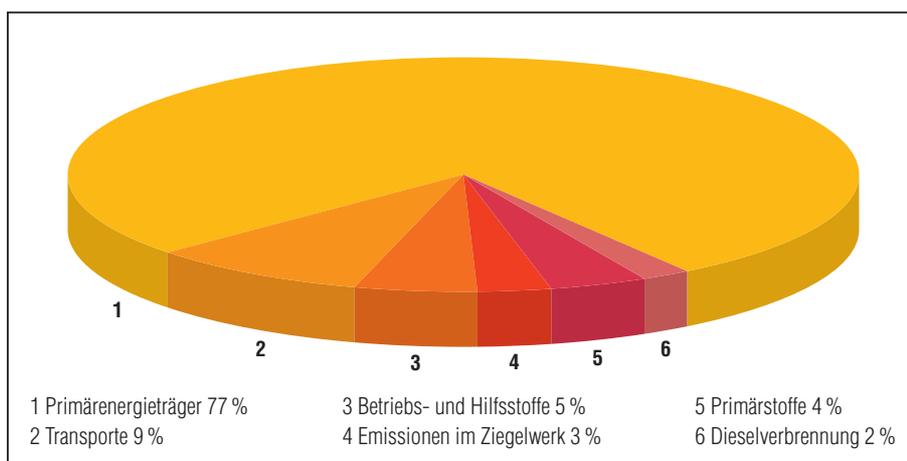
Unter dem Einfluß der Sonnenstrahlung (UV-B) bilden sich, insbesondere bei Temperaturen über  $20^\circ\text{C}$ , aus den bei unvollständigen Verbrennungsprozessen emittierten Kohlenwasserstoffen, Kohlenmonoxid und Stickoxiden weitere giftige, stark oxidierend wirkende Gase (Photooxidantien) in unserer Atemluft. Zu diesen zählen unter anderem Ozon und verschiedene Peroxyacetylnitrat (PAN)-Verbindungen [26].

Da den Kohlenwasserstoffen ( $\text{C}_m\text{H}_n$ ) der überwiegende Einfluß auf die Photooxidantienbildung zugeschrieben wird (POCP), wird der Einfluß verschiedener Kohlenwasserstoffe anhand eines Äquivalenzwertes in Bezug zu Äthylen ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) angegeben.

Bild 37 zeigt die in [15] ermittelten Anteile einzelner Kategorien an der Photooxidantienbildung von 0,0937 g  $\text{C}_2\text{H}_4$ -Äquivalenten je kg Mauerziegel.



**Bild 36** Einfluß der einzelnen Kategorien auf die Versauerung (SO<sub>2</sub>-Äquivalente).



**Bild 37** Anteile der einzelnen Kategorien bei der Sommersmog-Bildung (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-Äquivalente).

### Geringe Eutrophierung und Sauerstoffzehrung.

Unter Eutrophierung versteht man die Überdüngung (vor allem durch Stickstoff und Phosphat) von Boden und Gewässern durch verschiedene menschliche Einflüsse, wie z.B. die Düngerausbringung in der Landwirtschaft, die Nährstoffzufuhr durch Industrie- und Haushaltsabwässer oder die durch atmosphärische Emissionen hervorgerufene erhöhte Zufuhr von Nährstoffen durch den Niederschlag. Diese Einflüsse belasten insbesondere die Gewässerqualität.

Die Abwasserbelastung mit schwer und leicht abbaubaren organischen Schmutzstoffen wird über den sog. chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) bestimmt.

Die direkte Einleitung von Schadstoffen in Gewässer bei der Ziegelherstellung ist sehr gering, da so gut wie kein Abwasser anfällt.

Als Quelle der Stickoxide (Auslöser der indirekten, über die Luft erfolgenden Nährstoffzufuhr in Gewässer) in der Ziegelindustrie sind die gleichen Verursacher wie bei der Photooxidantienbildung zu nennen.

Die Eutrophierung wird in Phosphat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)-Äquivalenten angegeben. Bei der Produktion eines kg Mauerziegel fallen nach [15] im Mittel 0,0789g Phosphat-Äquivalente an.

**Durch die Verwendung umweltfreundlicher Energieträger und einen bewußten Stoffeinsatz bei der Ziegelherstellung ist die Wirkungsbilanz sehr günstig.**

### Wirkungsbilanz Mauerziegel auf einen Blick [15]

Alle Angaben bezogen auf 1 m<sup>3</sup> der Rohdichteklasse 0,7

Ressourcen	nahezu unbegrenzt vorhanden
Treibhauseffekt	130 kg CO <sub>2</sub> -Äquivalent
Versauerung	0,375 kg SO <sub>2</sub> -Äquivalent
Ozonabbau	0,00056 kg R11-Äquivalent
Photosmog	0,061 kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -Äquivalent
Überdüngung	0,051 kg PO <sub>4</sub> -Äquivalent

## 5.5 Ökobilanz Ziegelwände

### 5.5.1 Untersuchte Varianten

Auf der Basis der Sachbilanz Mauerziegel sowie weiterer Literaturangaben zu Mauer- und Putzmörteln wurde in [15] eine vergleichende ökologische und ökonomische Bewertung von unterschiedlichen Ziegel-Außenwandkonstruktionen durchgeführt. Untersucht wurden die Konstruktionen K1 bis K5 von S. 33.

**Diese Ziegel-Wandkonstruktionen werden den Anforderungen der bevorstehenden Energie-Einsparverordnung 2000 gerecht.**

Neben den ökologischen und ökonomischen Kosten für die Errichtung, die Instandhaltung und den Abbruch sowie für die Gebäudeheizung wurden auch die Einflüsse unterschiedlicher Heizungssysteme mit berücksichtigt.

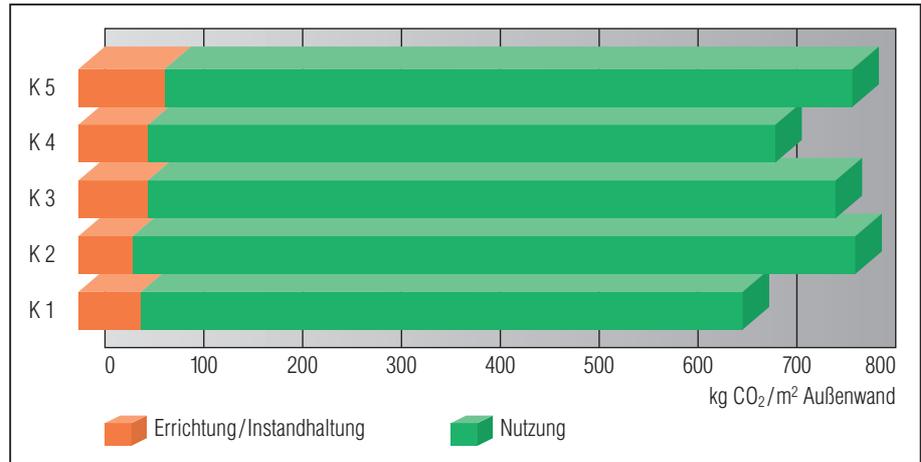
### 5.5.2 Ökologische Bewertung

Die ökologischen „Kosten“ der Einheit „1m<sup>2</sup> fertige Ziegel-Außenwand“ wurden in [15] für Nutzungsdauern von 10, 30 und 90 Jahren ermittelt.

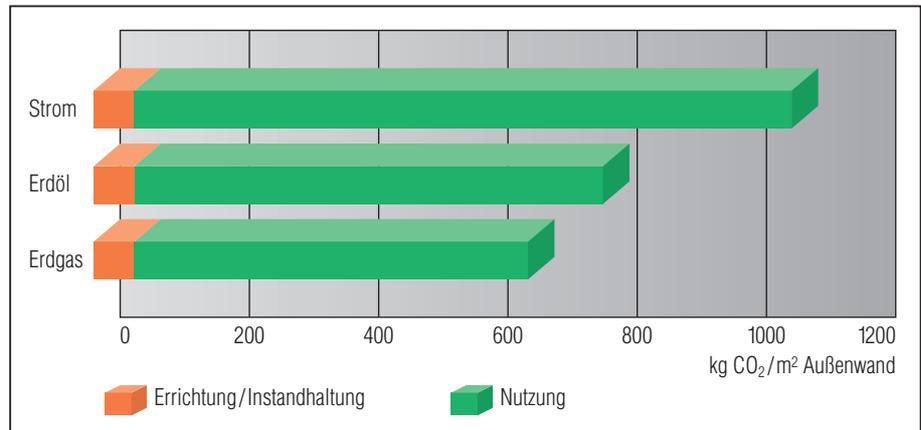
Die Errichtung und Instandhaltung einer Ziegel-Außenwand ist bei einer Nutzungsdauer von 90 Jahren mit weniger als 10% an den durch dieses Außenbauteil verursachten ökologischen „Gesamtkosten“ beteiligt, s. Bild 38.

Je nach verwendetem Heizungssystem – betrachtet wurden Erdgas-, Erdöl- und Stromheizung – unterscheiden sich die umweltrelevanten Kennwerte der Außenwand ganz erheblich.

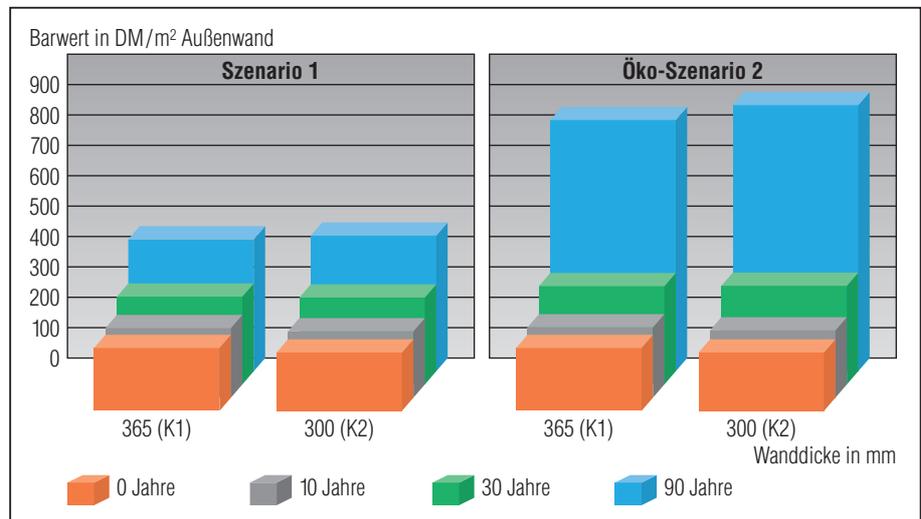
So kann z.B. durch die Verwendung einer Erdgas- statt einer Erdölheizung bei den Treibhausgasen ein Einsparereffekt erzielt werden, der bei einer Nutzungsdauer von 90 Jahren nahezu doppelt so groß ist, wie der Aufwand für Errichtung und Instandhaltung, s. Bild 39.



**Bild 38** Errichtung und Instandhaltung verursachen weniger als 10% des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes (Nutzungsdauer: 90 Jahre, Heizenergieträger: Erdgas).



**Bild 39** Die Wahl der Heizenergieträger hat einen erheblichen Einfluß auf die Bewertung der Umweltverträglichkeit der Außenwand-Konstruktion K1.

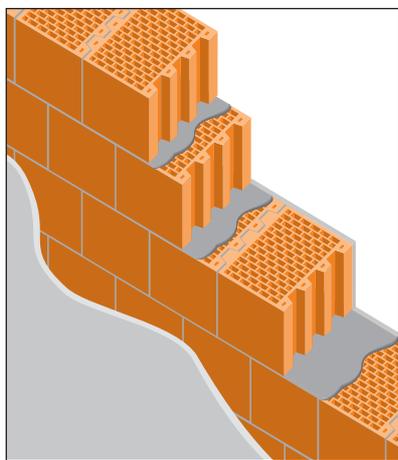


**Bild 40** Unter der Annahme erheblicher Energiepreissteigerungen ist nach 90 Jahren Nutzungsdauer die 365 mm dicke Ziegelwand die ökonomisch sinnvollste der untersuchten Außenwand-Konstruktionen (Heizenergieträger: Erdgas).

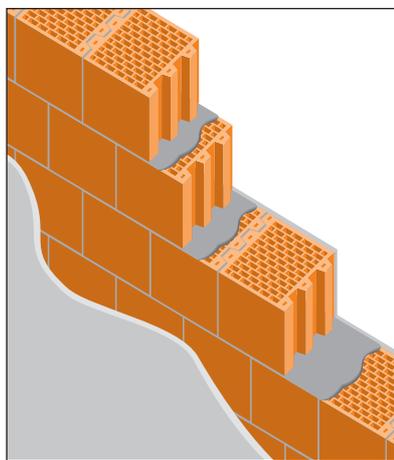
## Ziegel-Wand-Konstruktionen

**Zeichnung K1: Außenwand**

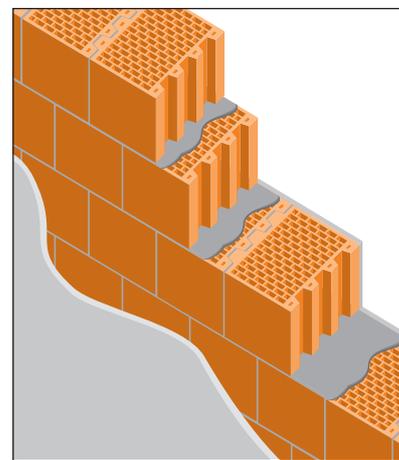
Einschaliges Ziegelmauerwerk  
 Ziegel  $d = 36,5$  cm  
 Ziegelrohddichte 0,6  
 Leichtmörtel LM 21  
 Mineral. Leichtputz außen 2 cm  
 Kalk-/Kalkgipsputz innen 1,5 cm  
 Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_R = 0,14$  W/mK  
 k-Wert der Wand =  $0,35$  W/m<sup>2</sup>K

**Zeichnung K2: Außenwand**

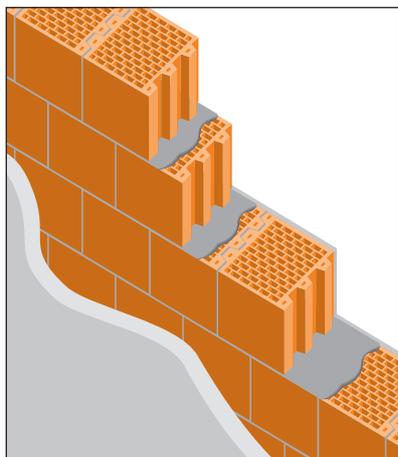
Einschaliges Ziegelmauerwerk  
 Ziegel  $d = 30$  cm  
 Ziegelrohddichte 0,6  
 Leichtmörtel LM 21  
 Mineral. Leichtputz außen 2 cm  
 Kalk-/Kalkgipsputz innen 1,5 cm  
 Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_R = 0,14$  W/mK  
 k-Wert der Wand =  $0,42$  W/m<sup>2</sup>K

**Zeichnung K3: Außenwand**

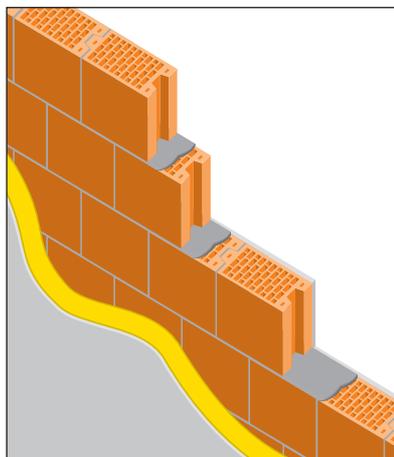
Einschaliges Ziegelmauerwerk  
 Ziegel  $d = 36,5$  cm  
 Ziegelrohddichte 0,8  
 Leichtmörtel LM 21  
 Mineral. Leichtputz außen 2 cm  
 Kalk-/Kalkgipsputz innen 1,5 cm  
 Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_R = 0,16$  W/mK  
 k-Wert der Wand =  $0,40$  W/m<sup>2</sup>K

**Zeichnung K4: Außenwand**

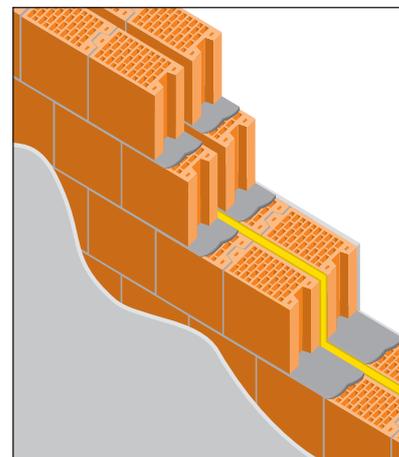
Einschaliges Ziegelmauerwerk  
 Ziegel  $d = 30$  cm  
 Ziegelrohddichte 0,8  
 Leichtmörtel LM 36  
 Wärmedämmputz außen 6 cm  
 Kalk-/Kalkgipsputz innen 1,5 cm  
 Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_R = 0,18$  W/mK  
 k-Wert der Wand =  $0,37$  W/m<sup>2</sup>K

**Zeichnung K5: Außenwand**

Einschaliges Ziegelmauerwerk  
 Ziegel  $d = 17,5$  cm  
 Ziegelrohddichte 1,4  
 Normalmörtel  
 Mineral. Wärmedämmverbundsystem  
 8 cm + Deckputz außen  
 Kalk-/Kalkgipsputz innen 1,5 cm  
 Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_R = 0,58$  W/mK  
 k-Wert der Wand =  $0,40$  W/m<sup>2</sup>K

**Zeichnung K6: Haus-Trennwand**

Zweischaliges Ziegelmauerwerk  
 Ziegel  $d = 2 \times 17,5$  cm  
 Abstand = 3 cm  
 Ziegelrohddichte 1,4  
 Normalmörtel  
 Kalk-/Kalkgipsputz 1,5 cm  
 Bewertetes Schalldämmmaß  $R'w = 67$  dB



Eine weitere Reduzierung des Schadstoff-Ausstoßes wird durch einen teilweisen Ersatz der Energie aus fossilen Brennstoffen durch regenerative Energien, z.B. Solarenergie erzielt.

### 5.5.3 Ökonomische Bewertung

In [15] wurden die Lebensdauerkosten von verschiedenen Ziegel-Außenwandkonstruktionen unter Berücksichtigung der

- Investitionskosten
- Erhaltungskosten
- Brennstoffkosten
- Abbruch- und Entsorgungskosten

ermittelt.

Die Berechnungen wurden mit zwei unterschiedlichen Szenarien durchgeführt.

Das Szenario 1, ein „Billig-Energie-Szenario“ entspricht der Realität der letzten Jahre, während beim Szenario 2, einem „ökologischen Szenario“ berücksichtigt wurde, daß zukünftig eine Höherbewertung von Stoff- und Energiekosten zu erwarten ist. Dies wurde durch die Annahme von höheren Preissteigerungsraten umgesetzt.

Bei Erdgas- und Erdölheizung ergeben sich für einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren keine Unterschiede zwischen monolithischen Ziegel-Außenwänden der Wanddicken 30 und 36,5 cm.

Erst bei einem auf 90 Jahre ausgedehnten Betrachtungszeitraum wird im „ökologischen“ Szenario 2 die dickere Wand ca. 5% wirtschaftlicher.

Die verputzten einschaligen Wände schnitten bei der ökonomischen Bewertung besser ab als die untersuchte Außenwand-Konstruktion K5 (175 mm HLz mit 80 mm Wärmedämm-Verbundsystem).

### 5.6 Sachbilanz eines Ziegelgebäudes

Eine umfassende Sachbilanz eines Ziegelgebäudes wurde erstmalig in [20] erstellt. Ziel der Studie war eine quantitative Darstellung der einzelnen Einflüsse auf den Energieverbrauch und die Wirkungsbilanz eines Gebäudes.

In der Studie wurde der erweiterte Rohbau (incl. technischer Gebäudeausrüstung, jedoch ohne Geräte) untersucht, s. Tabelle 4.

Dabei muß berücksichtigt werden, daß gerade der Ausbau und die Geräte der technischen Gebäudeausrüstung durch ihre kürzeren Erneuerungszyklen die Gesamtbilanz eines Gebäudes erheblich beeinflussen, s. Bild 41.

Der Betrachtungszeitraum in [20] beträgt 80 Jahre. Die Erfassung der Input- und Output-Daten erfolgte für die „Lebensabschnitte“

- Errichtung
- Nutzung
- Instandhaltung
- Abbruch.

Sachbilanz Ziegel-Massivhaus [20]		
Trag- und Hüllkonstruktion	Technische Gebäudeausrüstung	Ausbau
Aushubarbeiten Rohbauarbeiten Zimmermannsarbeiten Dachdeckungsarbeiten Dachdämmungsarbeiten Fußbodenaufbau- und Estricharbeiten Fenstereinbauarbeiten	Heizungsinstallation Sanitärinstallation Elektroinstallation Kanalverlege- und Anschlußarbeiten Flaschner-(Spengler)arbeiten Heizkessel, Regeleinheiten, Sanitärkeramik, Wannen, Toiletten, Armaturen, Steckdosen, Schalter	Treppen Bodenbeläge Türen Zargen Malerarbeiten Fensterbänke etc.

Tabelle 4 Bilanzgrenzen.

(■ = in der Sachbilanz nicht berücksichtigt)

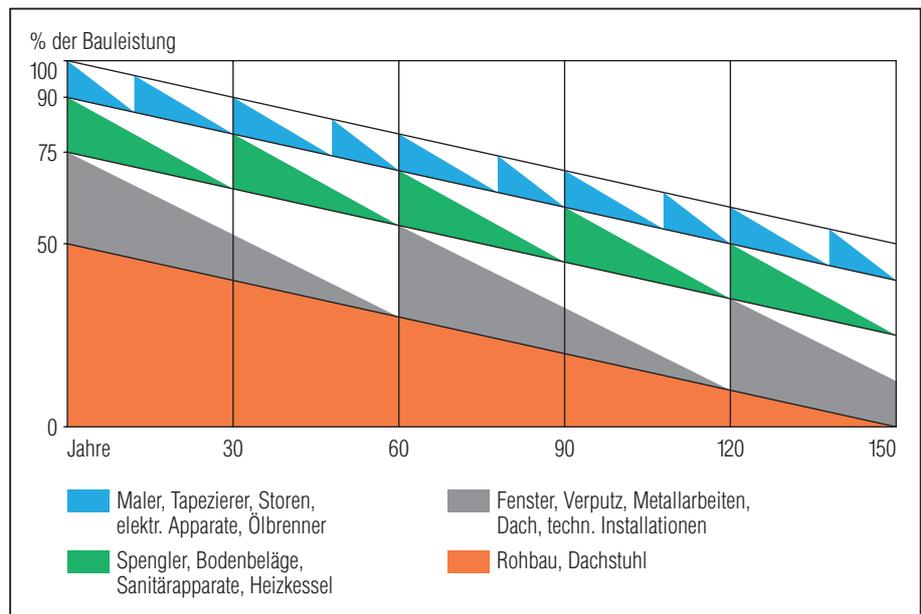


Bild 41 Ausbau und technische Gebäudeausrüstung verursachen einen erheblichen Anteil der Lebensdauerkosten eines Gebäudes [27].

### 5.6.1 Gebäudebeschreibung

Doppelhaus-Hälfte, voll unterkellert  
 Baujahr: 1996  
 beheizte Wohnfläche: 180,8m<sup>2</sup>  
 Nutzfläche: 72,1m<sup>2</sup>  
 Gas-Zentralheizung

#### Außenwände

300 mm Ziegel-Mauerwerk mit Leichtmörtel LM21

#### Treppenhauswände

240 mm Schallschutz-Füllziegel

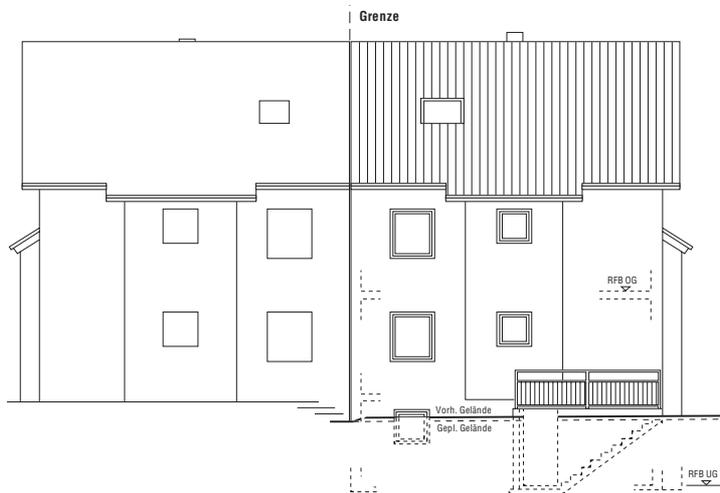
#### Tragende Innenwände

175 mm und 240 mm Hochlochziegel mit Normalmörtel

#### Nichttragende Innenwände

115 mm Hochlochziegel mit Normalmörtel

#### Ansicht Nord



#### Ansicht West



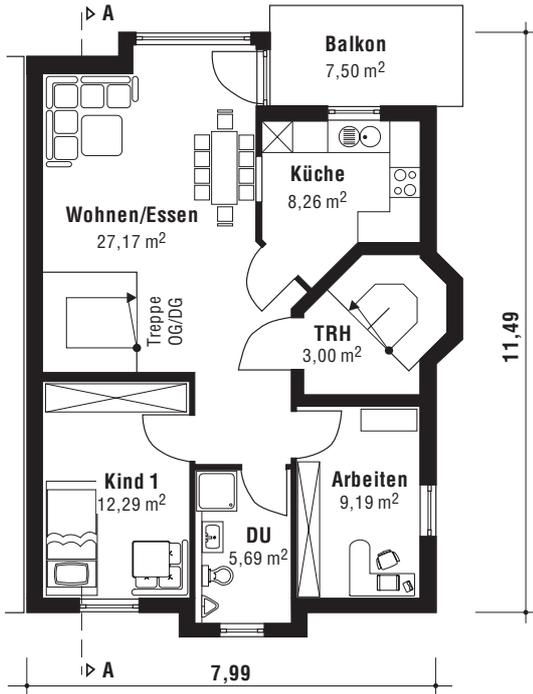
#### Ansicht Süd



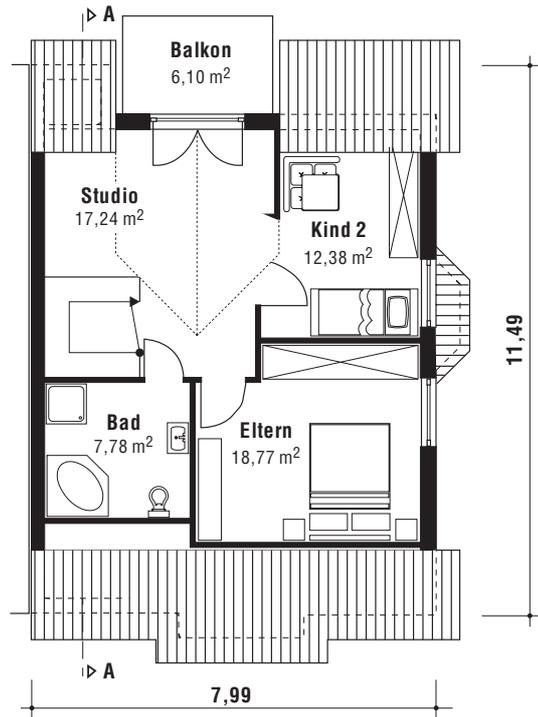
#### Schnitt A-A



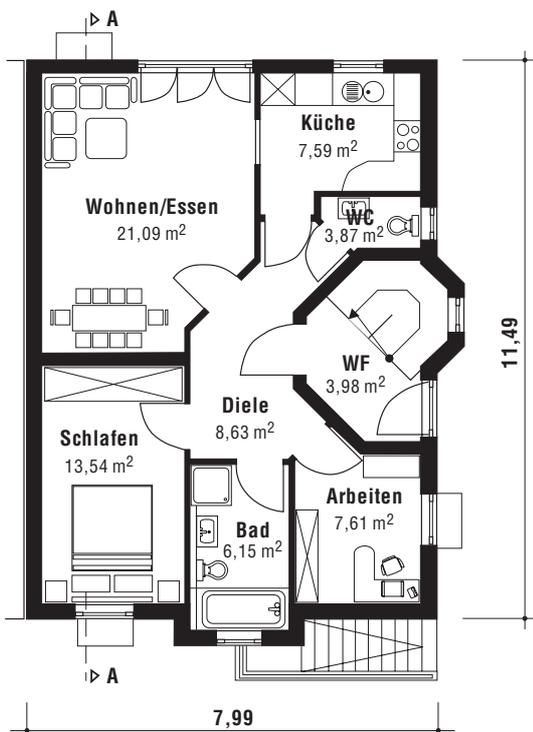
Obergeschoß



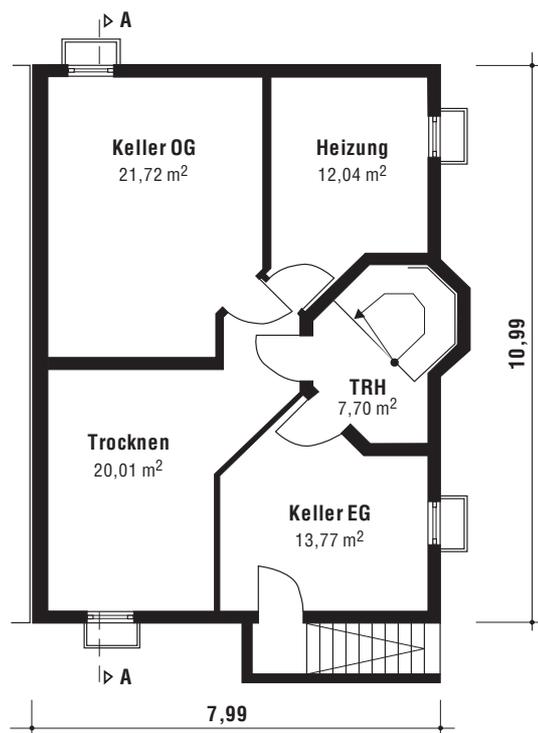
Dachgeschoß



Erdgeschoß



Kellergeschoß



### 5.6.2 Ausgewählte Ergebnisse der Sachbilanz

Der in [20] ermittelte Primär-Energie-Bedarf des untersuchten voll unterkellerten Ziegelgebäudes für die Kategorien „Trag- und Hüllfläche“ sowie „technische Gebäudeausrüstung“ beträgt 10.163 kWh/m<sup>2</sup> Wohnfläche für eine angenommene Nutzungsdauer von 80 Jahren.

Darin ist auch der Aufwand für das komplette Kellergeschoß mit 72,1 m<sup>2</sup> Nutzfläche enthalten.

Für das untersuchte Gebäude nach WSVO 1995-Standard bei den dort vorgegebenen Randbedingungen übersteigt der Energieverbrauch in der Nutzungsphase die Verbräuche für Herstellung, Instandhaltung und Abbruch des Gebäudes bei weitem, s. Bild 42.

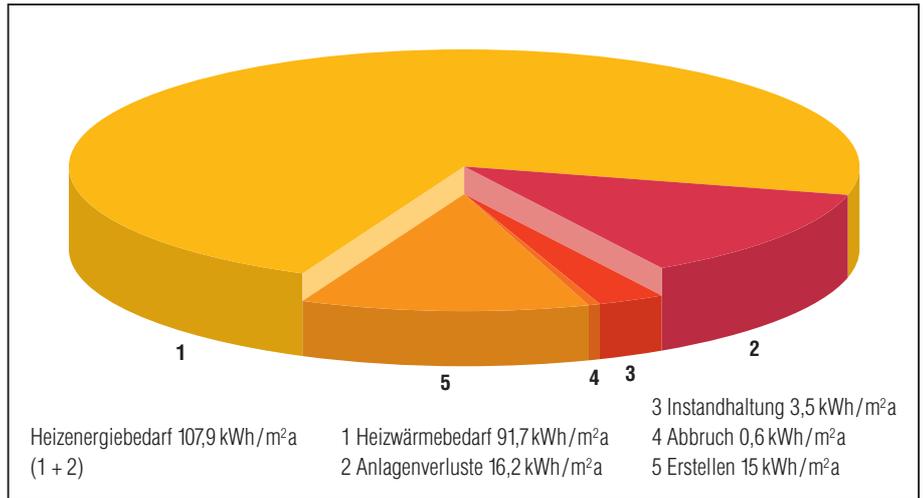
Für die Nutzungsdauer von 80 Jahren beträgt der Anteil der Baustoffherstellung am Gesamt-Energieverbrauch rd. 13,7%. Darin sind Herstellungs- und Instandhaltungsmaßnahmen enthalten.

**Für das betrachtete Gebäude beträgt der Anteil des Energieaufwands zur Ziegelherstellung am gesamten erfassten Energieaufwand ca. 2,7%.**

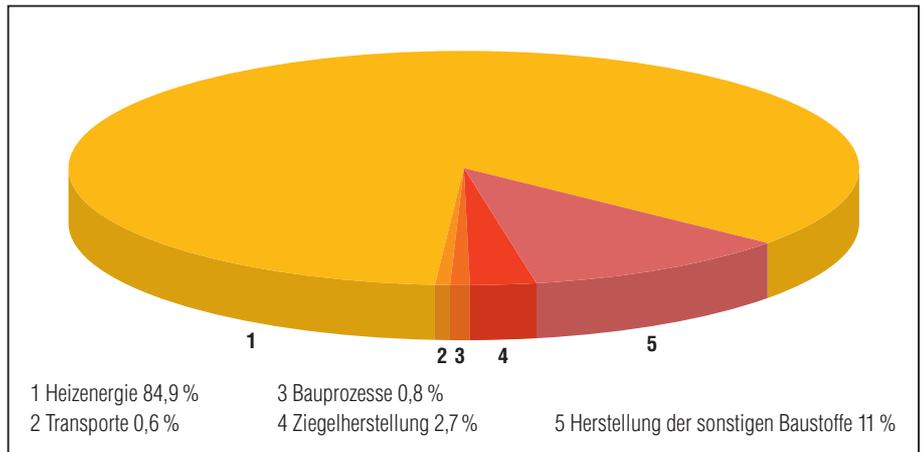
Bauprozesse und Transporte tragen zusammen nur zu 1,4 % zum Energieverbrauch bei. Ein Grund hierfür ist, daß die Wahl des Baustoffs Ziegel sehr kurze Transportwege ermöglicht, s. Bild 43.

Für den Lebensabschnitt „Erstellen des Gebäudes“ im Rahmen der untersuchten Gewerke wird für das Herzstück des Gebäudes, den Rohbau, ca. 53 % der aufgewendeten Energie benötigt, s. Bild 44.

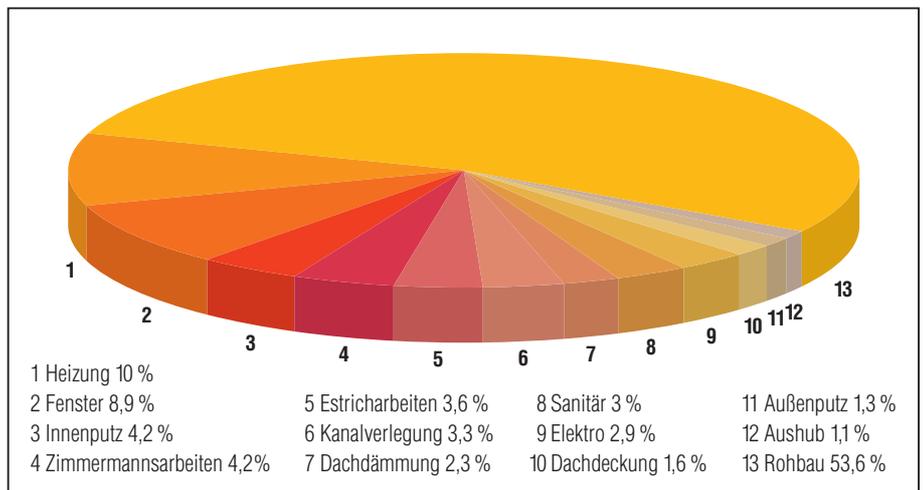
Sehr interessant fällt auch die Analyse der Ergebnisse für den Vergleich Untergeschosse – Obergeschosse aus. Für rd. 20 % des erforderlichen Energieeinsatzes können rd. 28 % der Wohn- und Nutzfläche errichtet und instandgehalten werden.



**Bild 42** Anteile der einzelnen „Lebensabschnitte“ am Primärenergiebedarf eines Ziegelgebäudes [20].



**Bild 43** Der Primärenergiebedarf für die Ziegelherstellung beträgt ca. 2,7% des Gesamtbedarfs des Gebäudes [20].



**Bild 44** Anteile der untersuchten Gewerke am Primärenergiebedarf in den Lebensabschnitten „Errichtung und Instandhaltung“ [20] ohne Geräte und Ausbau.

### 5.7 Konsequenzen für die Mauerziegelherstellung und das Bauen mit Ziegeln unter ökologischen Gesichtspunkten

Die deutsche Ziegelindustrie hat als einer der ersten Industriezweige ihre Energieversorgung überwiegend auf das vergleichsweise emissionsarme Erdgas umgestellt und damit einen wesentlichen Beitrag zur Umweltentlastung geleistet.

Gleichzeitig wurden und werden erhebliche Anstrengungen in Forschung und Entwicklung zur weiteren Brennstoffeinsparung durch Optimierung der Anlagentechnik unternommen. So wird heute die Abwärme der Tunnelöfen zur Beheizung der Trockner und darüber hinaus durch Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung auch zum Betrieb der Ventilatoren in den Trocknern benutzt.

Eine weitere Reduzierung des Brennstoffbedarfs über die bisherigen Erfolge hinaus ist bei zukünftig anstehenden Modernisierungsmaßnahmen durch den Einsatz neuer Technologien möglich.

Zur Deckung des Strombedarfs im Ziegelwerk wird bei zukünftigen Investitionsentscheidungen eine stärkere Berücksichtigung regenerativer Energien erfolgen.

**Die deutsche Ziegelindustrie stellt Mauerziegel in den weltweit modernsten Produktionsstätten her. Dabei werden alle Anforderungen an eine umweltfreundliche, ressourcenschonende Produktion konsequent umgesetzt.**

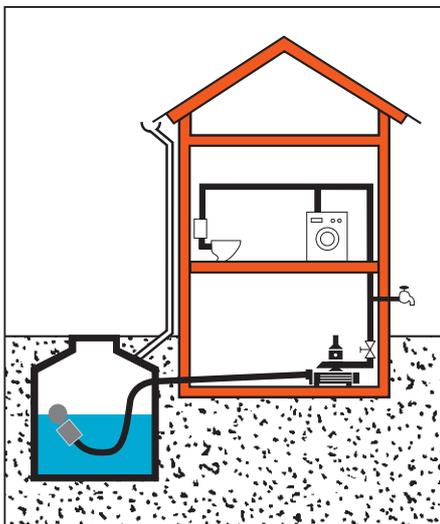
Ökologisches Bauen beginnt bereits mit der Ausweisung von Bauland in der Nähe der Arbeitsplätze der Menschen. Ein sorgfältiger Umgang mit den zur Verfügung stehenden Flächen ist aus ökologischen und ökonomischen Gründen zwingend. Der Bedarf an überbauter Fläche wird durch Keller-geschosse deutlich verringert. Keller-geschosse sind zudem in ihrem Erstellungs- und Instandhaltungsaufwand sehr günstig.

Zu den heute bereits weitgehend üblichen und ökologisch sinnvollen Maßnahmen zur Ressourcenschonung gehört auch die Nutzung von Regenwasser z. B. für Waschmaschine und WC.

Bezogen auf die Lebensdauer eines Gebäudes von 80 bis 100 Jahren überwiegt der Einfluß des Heizenergiebedarfs während der Nutzung die Energieaufwendungen für Errichtung, Instandhaltung und Abbruch bei weitem.

Dies bedeutet, daß eine weitere Reduzierung des Energieverbrauchs von Gebäuden im Rahmen des technisch und ökonomisch Machbaren sinnvoll ist. Die Energie-Einsparverordnung 2000 mit ihrem Niedrig-Energie-Haus-Standard unter Berücksichtigung der Anlagentechnik des Gebäudes ist dabei ein Schritt in die richtige Richtung.

Die Ziegelindustrie hat diese Verordnung bereits im Vorfeld durch zahlreiche wissenschaftlich begleitete Demonstrations-Bauvorhaben unterstützt. Ziegel-Niedrigenergie-Häuser entstanden u.a. in Bochum-Werne, (Reihenhauszeilen), Burg (Mehrfamilienhäuser), Euskirchen (Einfamilienhaus), Ludwigshafen (Mehrfamilienhäuser und Geschäftshaus) sowie Schwanstetten (Doppelhaushälften).



**Bild 45** Ressourcenschonung durch Regenwassernutzung für WC und Waschmaschine.



**Bild 46** Ziegel-Niedrig-Energie-Häuser, Bochum-Werne.



Der gegenüber der WSVÖ 1995 um 25 % reduzierte Heizenergieverbrauch der Gebäude wurde durch

- die energetisch optimierten Gebäudegeometrien
- die Orientierung der Gebäude
- moderne Heizungsanlagen und
- einen sinnvollen Dämmstandard aller wärmetauschenden Bauteile

erzielt.

**Bild 47 Ziegel-Solarspeicherhaus.**



**Bild 48 Solararchitektur mit Ziegeln.**



**Bild 49 „Null“-Heizenergiehaus mit Ziegeln, Berlin-Spandau.**

Ein weiteres wesentliches Ergebnis ist, daß die Emissionen der Gebäude vorrangig von der Wahl der Heizenergieträger und der Nutzung regenerativer Energien beeinflusst werden.

Das Demonstrationsprojekt eines „Null“-Heizenergiehaus in Ziegelmauerwerk zeigte, daß das angestrebte Ziel heute bereits realisiert werden kann. Die Kosten für die Errichtung und Instandhaltung stehen jedoch zur Zeit noch in keiner Relation zum erzielten Nutzen.

Neben der Energieeinsparung ist zukünftig auch ein verstärkter Ersatz von fossilen Energieträgern durch regenerative Energien (vor allem Solarenergie) sinnvoll.

Bereits heute ist es möglich, 50 bis 60 % des Energiebedarfs zur Warmwasserbereitung wirtschaftlich durch Solarenergie zu decken.

Die Ziegelindustrie realisiert zur Zeit Projekte in Zusammenarbeit mit innovativen Planern und Anlagenbauern.

**Bauen unter ökologischen Gesichtspunkten bedeutet vor allem energiesparendes Bauen mit gesundheitsverträglichen Baustoffen. Die deutsche Ziegelindustrie hat in vielen Demonstrationsvorhaben nachgewiesen, daß Niedrig-Energie-Häuser mit Ziegeln schon heute Stand der Technik sind.**

# 6 Literatur

## Literatur, Quellen

- [1] Engelhardt, W.: Umweltschutz. 5. neubearbeitete Auflage, München: Bayerischer Schulbuch-Verlag, 1985.
- [2] Kohler, N. et al.: KOBEEK Methode zur kombinierten Berechnung von Energiebedarf, Umweltbelastung und Baukosten in frühen Planungsstadien. Schlußbericht. ifib Universität Karlsruhe, Bauhaus-Universität Weimar, 1996.
- [3] Richtlinie des Rates der EG zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte. Anhang 1. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft 89/106/EWG. 1988.
- [4] Mitteilungen Deutsches Institut für Bautechnik, 28 (1997) Nr. 4. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn.
- [5] Keller, G.: Die Strahlenexposition der Bevölkerung durch Baustoffe unter besonderer Berücksichtigung von Sekundärrohstoffen. In: VGB Kraftwerkstechnik 74 (1994), Nr. 8, S. 711-716.
- [6] Göbel, K.: Brücken zum umweltbewußten Bauen und Wohnen. Ziegel Information GmbH. Bonn, 1992.
- [7] prEN 832-1997: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden. Berechnung des Heizenergiebedarfs – Wohngebäude.
- [8] Metzemacher, H.; Peters, H.: Baulicher Wärmeschutz. Erläuterungen zur Wärmeschutzverordnung mit Wärmebedarfsausweis. Hrsg.: Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie und Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel. Bonn, 4. überarbeitete Auflage, 1996.
- [9] Hauri, H.H.: Moderne Bauphysik. Grundwissen für Architekten und Bauingenieure. Verlag der Fachvereine Zürich. 2. Auflage, 1984.
- [10] Schubert, P.; Heer, B.: Umweltverträgliche Verwertung von Mauerwerk-Baureststoffen. Aachen: Institut für Bauforschung, 1997. Forschungsbericht Nr. F497.
- [11] DIN 38 414-4 10.84. Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S): Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S4).
- [12] Verordnung über Trinkwasser und Brauchwasser für Lebensmittelbetriebe. Fassung BGBl., Teil 1, Nr. 22 (1986) 760, geändert BGBl., Teil 1, Nr. 66. Bonn, 1990.
- [13] Rat der Europäischen Gemeinschaften; EG; EWG: Richtlinie des Rates vom 17. Dezember 1979 über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte gefährliche Stoffe. (80/68/EWG) (Anhang: Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Vollzug der Richtlinie); In: Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen 43 (1990), Nr. 56, S. 943-948.
- [14] Müller, W.: Erklärung der deutschen Ziegelindustrie zur Energieeinsparung und Klimavorsorge. Bauverlag Wiesbaden. In: ZI Ziegelindustrie International, 1996 (9), S. 592-602.
- [15] Bruck, M.: Ökobilanz Mauerziegel; Ökobilanz und Wirtschaftlichkeitsuntersuchung Außenwandkonstruktionen. Abschlußbericht. Wien, 1997.
- [16] Müller, W.: Der ökologische Umbau im Osten. Ein Beitrag der Ziegelindustrie zur Sanierung der Umwelt. Bauverlag Wiesbaden. In: ZI Ziegelindustrie International, 1994 (1), S. 29-34.
- [17] Grundsätze produktbezogener Ökobilanzen. Arbeitsausschuß „Produkt-Ökobilanzen“ des Normenausschusses Grundlagen des Umweltschutzes (NAGUS) im DIN, DIN-Mitteilungen 73 (1994), Nr. 3.
- [18] Ahbe, S.; Braunschweig, A.; Müller-Wenk, R.: Methodik für Ökobilanzen. BUWAL SRU 133. Bern: Oktober 1990.
- [19] Neitzel, H.: Produktbezogene Ökobilanzen – Bedeutung für die Bauindustrie. Vortrag anlässlich der Mitgliederversammlung 1995 der Arbeitsgemeinschaft Umweltverträgliches Bauprodukt e.V. Manuskript. AUB (Hrsg.). München: 1995.
- [20] Stoll, T.: Die Sachbilanz von Energie und Reststoffen eines Wohngebäudes in Ziegelbauweise. Diplomarbeit am Fraunhofer-Institut für Bauphysik. Stuttgart, 1997.
- [21] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten: Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS). Version 2.1, 1995.
- [22] Kohler, N.; Hollinger, M. et al.: Baustoffdaten – Ökoinventare. Karlsruhe, Weimar, Zürich, 1995.
- [23] Lingl, H.: Energieeinsparung durch neue Technologie. Bauverlag Wiesbaden. In: ZI Ziegelindustrie International, 1997 (10), S. 660-662.
- [24] Hansmann, K.: Bundes-Immissionsschutzgesetz. 16. Auflage mit Erläuterungen. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft, 1997.
- [25] Braunschweig, A.: Fortentwicklung der Bewertung von Ökobilanzen auf der Basis der ökologischen Knappheit. In: Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz e.V. (Hrsg.): Produktbezogene Ökobilanzen III: methodische Fortschritte, aktuelle Bilanzen, 39. Seminar im Rahmen der UTECH Berlin. Berlin, 1995.
- [26] Klötzli, F.: Ökosysteme. Stuttgart/Jena: Gustav Fischer Verlag, 1992.
- [27] Steiger, P.: Recycling – ein falscher Trost.

## **Impressum**

Herausgeber:  
Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel e.V.  
im Bundesverband der Deutschen  
Ziegelindustrie e.V.,  
Schaumburg-Lippe-Straße 4,  
53113 Bonn

Verfasser:  
Dr.-Ing. Siegfried Wagner, München  
Dipl.-Betriebsw. Beate Harr, München  
Dr.-Ing. Udo Meyer, Bonn

1. Ausgabe, Januar 1998

Alle Rechte vorbehalten.  
Nachdruck, auch auszugsweise nur  
mit ausdrücklicher Genehmigung von  
©Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel e.V.,  
Bonn, 1998

Gestaltung und Satz:  
Kleinhans GmbH, Ratingen

Reproduktionen:  
Immel & Breuer GmbH, Essen

Druck:  
Rhein Main Druck, Mainz

---