



# KS-ORIGINAL. FAKTEN ZUR ÖKOBILANZ.

2. Auflage

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Allgemeines</b>  | <b>3</b>  |
| 1.1 Ökologisches Bauen als ganzheitlicher Ansatz                     | 3         |
| 1.2 Ökobilanzen als Entscheidungshilfe                               | 3         |
| <b>2. Ökobilanz für Kalksandstein</b>                                | <b>3</b>  |
| 2.1 Methodik und Datengrundlage                                      | 3         |
| 2.2 Zieldefinition und Bilanzgrenzen                                 | 4         |
| 2.3 Sachbilanz   | 5         |
| 2.4 Wirkungsbilanz   | 6         |
| 2.5 Bewertung  | 6         |
| 2.6 Ökologische Ziele für die Kalksandstein-Herstellung              | 6         |
| 2.7 Deklarationsraster Kalksandstein                                 | 7         |
| <b>3. Ökobilanz für KS-Wandkonstruktionen</b>                        | <b>8</b>  |
| 3.1 Allgemeines  | 8         |
| 3.2 Methodik   | 8         |
| 3.3 KS-Innenwände  | 8         |
| 3.4 Nutzungsdauer  | 8         |
| 3.5 Sachbilanzen für KS-Außenwände                                   | 9         |
| 3.6 Sachbilanzen für Kelleraußenwände                                | 13        |
| 3.7 Recycling von Wandkonstruktionen                                 | 13        |
| 3.8 Ökologische Ziele für KS-Wandkonstruktionen                      | 14        |
| <b>4. Schlussworte</b>   | <b>15</b> |
| <b>5. Anhang: Umweltkategorien und Ergebnisse der Wirkungsbilanz</b> | <b>16</b> |
| 5.1 Ressourcenabbau  | 16        |
| 5.2 Treibhauseffekt  | 16        |
| 5.3 Ozonabbau  | 16        |
| 5.4 Photooxidantien-Bildung  | 16        |
| 5.5 Versauerung  | 16        |
| 5.6 Eutrophierung und Sauerstoffzehrung                              | 16        |
| 5.7 Humantoxische Effekte und Ökotoxikologie                         | 17        |
| 5.8 Abfall   | 17        |
| 5.9 Ökosysteme und Landschaften                                      | 17        |
| 5.10 Recycling (von Kalksandsteinen)                                 | 17        |
| <b>Literatur</b>   | <b>18</b> |

Kalksandstein.  
Fakten zur Ökobilanz.  
2. Auflage Oktober 2004

Redaktion:  
Dipl.-Ing. S. Brinkmann, Durmersheim  
Dipl.-Ing. B. Diestelmeier, Dorsten  
Dipl.-Ing. G. Meyer, Hannover  
Dipl.-Ing. D. Pikowski, Berlin  
Dipl.-Ing. W. Raab, Röthenbach  
Dipl.-Ing. J. Schmertmann, Buxtehude  
Dipl.-Ing. H. Schwieger, Hannover

unter Mitarbeit von:  
Dipl.-Ing. W. Eden, Hannover  
Dipl.-Ök. T. Kaczmarek, Hannover

Herausgeber:  
Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, Hannover

BV-929-06/01

Alle Angaben erfolgen nach bestem Wissen  
und Gewissen, jedoch ohne Gewähr.

Nachdruck auch auszugsweise nur mit  
schriftlicher Genehmigung.

Gesamtproduktion und  
© by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf

1. ALLGEMEINES

Die Nutzung natürlicher Ressourcen und die Beeinträchtigung der Umwelt durch Abfälle und Emissionen stellen das Thema Ökologie zunehmend in den Mittelpunkt sowohl unternehmerischer Handlungen als auch umweltbewusster Entscheidungen.

Entsprechende Rahmenbedingungen durch staatliche Umweltpolitik sind mit der Verkündung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes im Herbst 1994 geschaffen worden.

1.1 Ökologisches Bauen als ganzheitlicher Ansatz

Bei der Beurteilung von Produkten spielen heute die Umweltauswirkungen, die mit der Verwendung von Materialien verbunden sind, eine große Rolle. Auch für den Wohnungsbau werden ressourcen- und umweltschonende Entwicklungen immer wichtiger.

Ökologisches Bauen [1] bewegt sich im Spannungsfeld zwischen einem möglichst geringen Eingriff in die Natur, größtmöglicher Ressourcenschonung und einer für den Menschen optimalen Bauform. Hinzu kommt, dass kostengünstiges und Flächen sparendes Bauen bei knappem Bauland als wesentlicher Teilbereich des ökologischen Bauens erkannt und der Öffentlichkeit verdeutlicht werden muss.

Entscheidungshilfen für Architekten, Planer, Bauherren und Bauunternehmer für diesen umfassenden Ansatz zum ökologischen Bauen standen bisher nicht in dem notwendigen Maße zur Verfügung.

Ein wesentlicher Beitrag zur Information der Baufachleute sind die Veröffentlichungen der Kalksandsteinindustrie. Beispielhafte Objektreportagen dokumentieren preiswerte Wohnobjekte in hoher Qualität und zeigen, dass mit Kalksandstein-Wandkonstruktionen Ökonomie und Ökologie in Einklang zu bringen sind.

In der Ergänzung zum Kostenbewusstsein muss das ganzheitliche und umweltgerechte Denken bzw. Vorgehen aller am Bau Beteiligten gefördert werden. Dabei genügt es nicht, nur die aus einem Produkt hervorgehenden Umwelteinflüsse zu betrachten. Vielmehr ist es erforderlich, den Energieaufwand beim Bauen insgesamt zu erfassen.

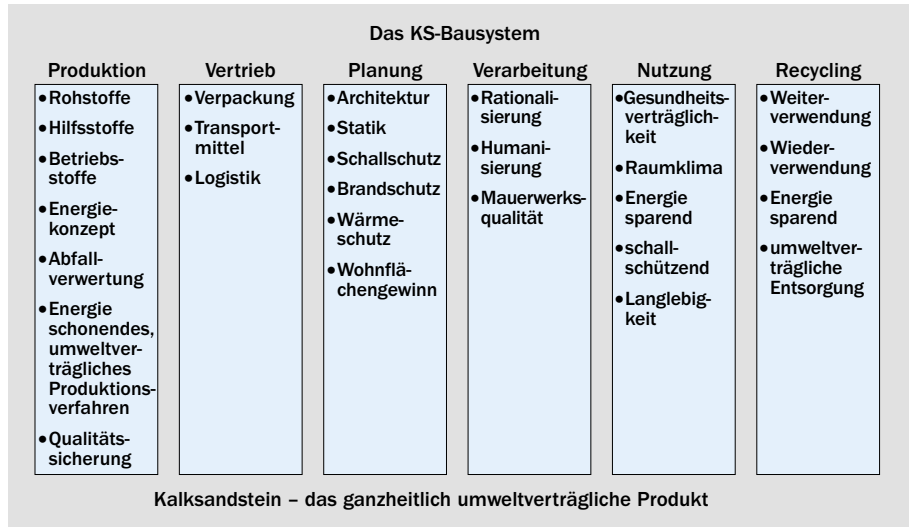


Bild 1/1: Das KS-Bausystem beschreibt das Produkt sowie die Dienstleistung gegenüber dem Kunden unter Einbeziehung von Ökologie und Ökonomie.

1.2 Ökobilanzen als Entscheidungshilfe

**Die Ökobilanz ist eine möglichst umfassende Untersuchung der Umweltauswirkungen zweier oder mehrerer unterschiedlicher Produkte oder Verfahren. Sie dient der Verbesserung der Umwelteigenschaften von Produkten und Verfahren, der Entscheidungsfindung in der Beschaffung und der Begründung von Handlungsempfehlungen. Aufgabe einer Ökobilanz ist es, die mit Produkten oder Verfahren in Verbindung stehenden Wirkungen auf die Umwelt im Rahmen von Daten zu erfassen, transparent aufzuarbeiten und zu bewerten. Dadurch kommt der Ökobilanz auch eine Optimierung- und Vergleichsfunktion zu.**

Bei der Erstellung von Wohngebäuden kommt es nicht nur darauf an, die einzelnen Produkte/Baustoffe isoliert zu betrachten. In der Praxis bewährte Materialkombinationen müssen als Gesamtsystem erfasst und beurteilt werden.

2. ÖKOBILANZ FÜR KALKSANDSTEIN

Zur umfassenden Beurteilung des Produktes Kalksandstein und der empfohlenen KS-Wandkonstruktionen wurde 1994 von der AGIMUS Umweltberatungsgesellschaft mbH, Braunschweig, unter der wissenschaftlichen Betreuung von Herrn Professor Dr. Peter Steiger, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, eine umfassende Ökobilanz erstellt.

2.1 Methodik und Datengrundlage

Die Vorgehensweise bei der Erstellung der KS-Ökobilanz ist für eine später mögliche Vergleichbarkeit mit anderen Baustoffen in jedem Schritt mit dem Umweltbundesamt, Berlin, abgestimmt. Das methodische Vorgehen entspricht einem Ergebnispapier des Normenausschusses für Grundlagen des Umweltschutzes (NAGUS) beim Deutschen Institut für Normung (DIN) [2].

Die Methodik gliedert sich in die Bereiche

- Zieldefinition,
- Sachbilanz,
- Wirkungsbilanz und
- Bewertung.

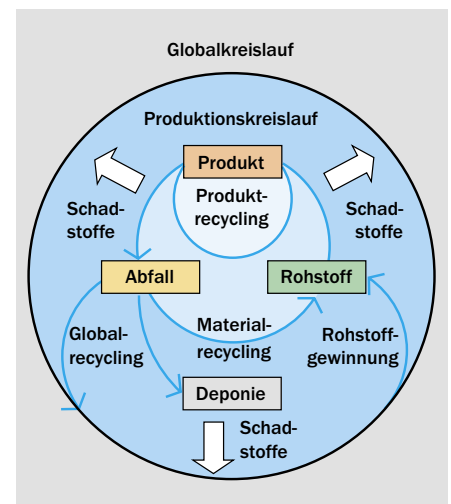


Bild 2/1: Stoffkreisläufe als Gesamtsystem [3]

Grundlage der Untersuchung sind direkt erhobene Daten aus 74 Kalksandsteinwerken, die sowohl geografisch als auch technologisch die Kalksandsteinindustrie repräsentativ vertreten. Die Ergebnisse sind Durchschnittswerte der untersuchten Kalksandsteinwerke für die Produktion von 1000 t KS. Dies entspricht etwa 333.000 Steinen im Normalformat (24 cm x 11,5 cm x 7,1 cm). Mit dieser Menge lassen sich ca. 17 Wohnungen aus Kalksandstein erstellen.

**2.2 Zieldefinition und Bilanzgrenzen**

Ein wesentliches Ziel der KS-Ökobilanz ist die Darstellung der Umwelteinflüsse des Produktes Kalksandstein in seiner Gesamtheit. Die Ergebnisse der Ökobilanz fließen in Entscheidungen zur Produktion und Bauanwendung ein.

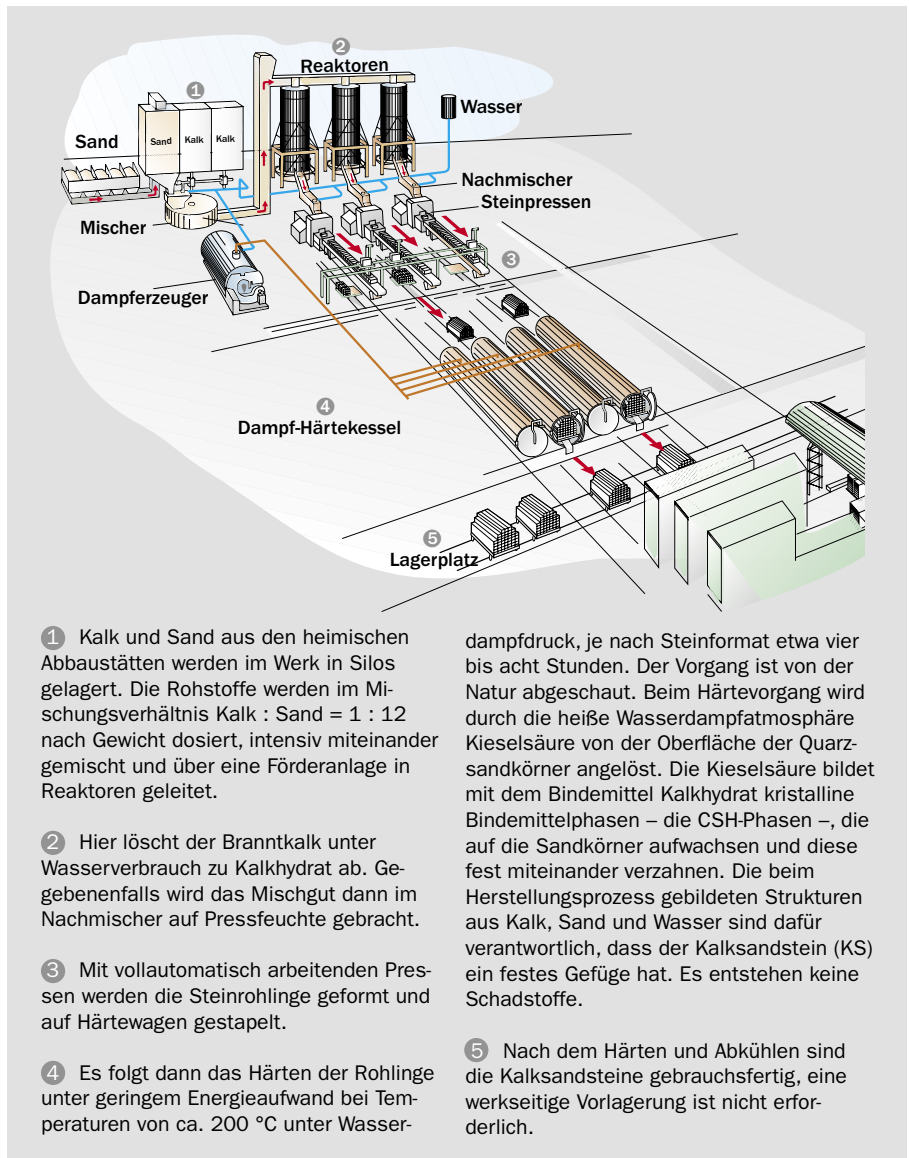
- Konkrete Ansatzpunkte für eine weitere Optimierung der KS-Produktion unter ökologischen Aspekten werden aufgezeigt.
- Die Darstellung umweltbezogener Daten dient als Beurteilungsgrundlage für KS-Wandkonstruktionen.

Den Bilanzgrenzen in dieser Ökobilanz wird eine hohe Bedeutung beigemessen. Durch die Datenerfassung sind auch vorgeschaltete Prozessketten erfasst. So werden in der Sachbilanz Daten für die fremdbezogenen Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe ermittelt.

Ebenso sind alle Transporte im Lebensweg berücksichtigt, da z.B. die Vernachlässigung der Transporte zur Baustelle die Sachbilanz bis zu 10 % verfälschen kann.

Beim Vergleich mit anderen Ökobilanzen ist demnach die jeweilige Bilanzgrenze zu beachten, da Vergleiche sonst nur in Teilbereichen sinnvoll sind.

Es wäre zu begrüßen, wenn die gesamte Baustoffindustrie Ökobilanzen mit einer vergleichbaren Systematik erstellen würde. Damit wäre ein ökologischer Vergleich zwischen verschiedenen Wandbaustoffen gegeben, der allen am Bau Beteiligten eine Baustoffauswahl nach ökologischen Gesichtspunkten ermöglicht.



- 1 Kalk und Sand aus den heimischen Abbaustätten werden im Werk in Silos gelagert. Die Rohstoffe werden im Mischungsverhältnis Kalk : Sand = 1 : 12 nach Gewicht dosiert, intensiv miteinander gemischt und über eine Förderanlage in Reaktoren geleitet.
- 2 Hier löscht der Branntkalk unter Wasserverbrauch zu Kalkhydrat ab. Gegebenenfalls wird das Mischgut dann im Nachmischer auf Pressfeuchte gebracht.
- 3 Mit vollautomatisch arbeitenden Pressen werden die Steinrohlinge geformt und auf Härtewagen gestapelt.
- 4 Es folgt dann das Härten der Rohlinge unter geringem Energieaufwand bei Temperaturen von ca. 200 °C unter Wasser-

dampfdruck, je nach Steinformat etwa vier bis acht Stunden. Der Vorgang ist von der Natur abgeschaut. Beim Härtevorgang wird durch die heiße Wasserdampf-atmosphäre Kieselsäure von der Oberfläche der Quarzsandkörner angelöst. Die Kieselsäure bildet mit dem Bindemittel Kalkhydrat kristalline Bindemittelphasen – die CSH-Phasen –, die auf die Sandkörner aufwachsen und diese fest miteinander verzahnen. Die beim Herstellungsprozess gebildeten Strukturen aus Kalk, Sand und Wasser sind dafür verantwortlich, dass der Kalksandstein (KS) ein festes Gefüge hat. Es entstehen keine Schadstoffe.

5 Nach dem Härten und Abkühlen sind die Kalksandsteine gebrauchsfertig, eine werkseitige Vorlagerung ist nicht erforderlich.

Bild 2/2: Die Herstellung von Kalksandstein [4].

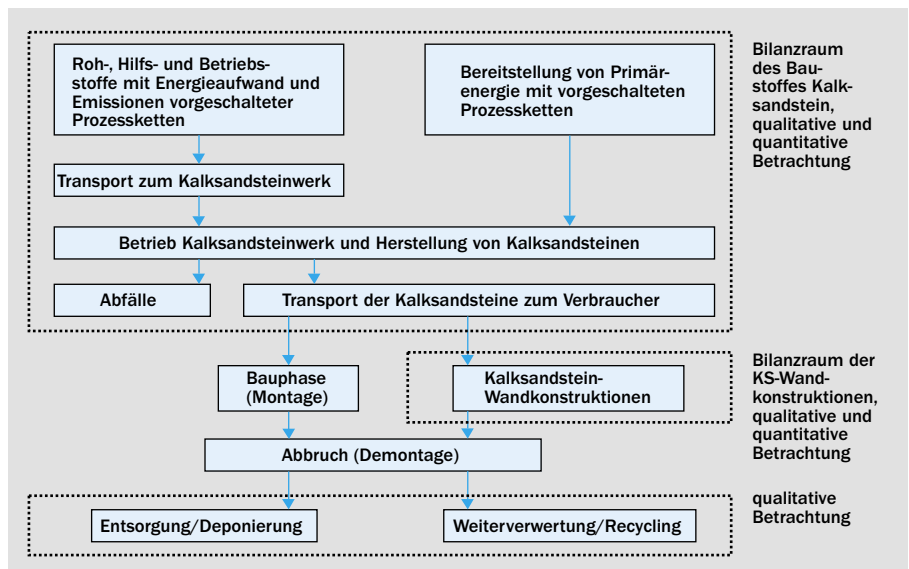


Bild 2/3: Bilanzraum der Ökobilanz für Kalksandstein

**2.3 Sachbilanz**

**Energieträger**

In der Sachbilanz werden die Material- und Energieströme sowie die Emissionen z.B. in Luft, Wasser und Boden für den gesamten Lebensweg des Kalksandsteins einschließlich der Transporte zur Baustelle erfasst. Die wesentlichen Ergebnisse werden in Tafel 2/1 dargestellt.

Als Maßstab für die Ergebnisdarstellung wird die Produktionsmenge von 1000 t Kalksandstein festgelegt.

Für die Produktion ist nur ein geringer Primärenergiebedarf notwendig [5], im Durchschnitt aus 74 Kalksandsteinwerken 845.000 MJ pro 1000 t KS. Vom gesamten Energieeinsatz bei der Produktion fallen 48 % im Kalksandsteinwerk an und sind somit direkt von der KS-Industrie zu beeinflussen (Bild 2/4). Der Rest fällt in vorgelagerten (Kalkaufbereitung, Zulieferung) und nachgelagerten Stufen (Auslieferung der Produkte) an.

Bei der Datenerfassung hat sich gezeigt, dass der durchschnittliche Energiebedarf noch deutlich gesenkt werden kann. Die 10 günstigsten Werke haben 65 % des durchschnittlichen Energiebedarfs.

Aus anderen Untersuchungen [6] kann nachgewiesen werden, dass sich in den letzten Jahren eine Verschiebung zu Gunsten umweltfreundlicher Energieträger vollzogen hat:

| Einsatz in % | 1991 | 1995 | 1999 |
|--------------|------|------|------|
| Leichtöl     | 48   | 55   | 49   |
| Schweröl     | 25   | 2    | 5    |
| Erdgas       | 27   | 43   | 46   |

Die Nutzung von Erdgas anstelle von Schweröl reduziert z.B. den Ausstoß an Schwefeldioxid auf 25 %. Auch die Emission an Kohlendioxid und Stickoxid konnte dadurch deutlich gesenkt werden.

**Rohstoffe**

Kalksandsteine werden aus den natürlichen Rohstoffen Kalk, Sand und Wasser hergestellt (Bild 2/2).

**Industriell produzierte Kalksandsteine aus natürlichen Rohstoffen können durchaus als der Natur nachempfundene Mauersteine bezeichnet werden. (Vgl. [7])**

Tafel 2/1: Ergebnisse aus der Sachbilanz für Kalksandsteine

|  |            |  |
|--|------------|--|
| Ergebnisse für Rohstoffeinsatz und Energieaufwand zur Produktion von 1000 t KS einschließlich vorgelagerter (Kalkaufbereitung, Zulieferung) und nachgelagerter Stufen (Auslieferung der Produkte) und daraus resultierende Emissionen in Luft, Wasser und Boden. |            |  |
| <b>Anmerkung: Als Maßeinheit sind 1.000 t KS festgelegt. Das entspricht ca. 333.000 NF-Steinen. Mit dieser Menge können 17 Wohnungen gebaut werden.</b>  |            |  |
| <b>a) Eingangsstoffe</b>   | insgesamt  | davon im KS-Werk   |
| <b>Energie</b> (in Megajoule, MJ)  |            |  |
| Energieträger insgesamt  | 845.032 MJ | 403.856 MJ   |
| • davon Öl, Gas, Kohle   | 773.585 MJ | 369.213 MJ   |
| • Strom  | 71.447 MJ  | 34.643 MJ  |
| <b>Rohstoffe</b>   |            |  |
| • Kalk   |            | 85,52 t  |
| • Sand (erdfeucht)   |            | 947,50 t   |
| • Zuschlagstoffe (z.B. Steinmehl)  |            | 33,28 t  |
| • Wasser   |            | 224,88 m <sup>3</sup>  |
| <b>Betriebsmittel</b>  |            |  |
| Betriebsmittel gehen in verschiedenen Arten und Mengen in den Produktionsprozess ein und sind in der Ökobilanz erfasst. Je nach Wasserhärte und -qualität werden Hilfsstoffe zur Aufbereitung eingesetzt.  |            |  |
| <b>b) Ausgangsstoffe und Emissionen</b>  |            |  |
| <b>Produkte</b>  |            | 1.000 t KS   |
| <b>Emissionen in Luft</b>  |            |  |
| • Kohlendioxidausstoß  |            | 141,0 t  |
| davon: KS-Produktion   |            | 62,0 t   |
| • Stoffe zur Photooxidantienbildung  |            | 10,9 t   |
| Ozon zerstörende Stoffe <sup>1)</sup> , halogenierte Kohlenwasserstoffe und humantoxische bzw. ökotoxische Stoffe konnten nicht oder in quantitativ und qualitativ nur unbedenklichen Mengen <sup>2)</sup> nachgewiesen werden.                                  |            |  |
| <b>Emissionen in Wasser</b>  |            |  |
| • Abwasser   |            | 83,32 m <sup>3</sup>   |
| • CSB-Wert des Abwassers   |            | 114 mg/l   |
| • Sauerstoff zehrende Einträge   |            | 0,01 t   |
| • Versauerung  |            | 0,58 t   |
| davon Stickoxide   |            | 0,24 t   |
| davon Schwefeldioxid   |            | 0,34 t   |
| <b>Emissionen in Boden</b>   |            |  |
| Nahezu alle Abfallmengen können von Dritten recycelt bzw. weiterverwendet werden. Der gewerbliche Restmüllanteil beträgt 0,5 m <sup>3</sup> .  |            |  |
| <b>Zum Vergleich:</b>  |            |  |
| Bei der Produktion von 64 t unlegiertem Stahl oder 130 t Flachglas oder 307 t Papier werden ebenfalls 141 t CO <sub>2</sub> freigesetzt.   |            |  |
| Der Bedarf an Primärenergie ist aufgrund des KS-Produktionsverfahrens (Dampfhärtung bei 160 - 220 °C) geringer als in Produktionsprozessen, bei denen hohe Temperaturen notwendig sind.  |            |  |
| <sup>1)</sup> Gesetz zu der am 25.11.1992 in Kopenhagen beschlossenen Änderung des Montrealer Protokolls vom 16.09.1987 über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen.  |            | <sup>2)</sup> Aufgrund seiner geringen natürlichen Radioaktivität zählt KS zu den unbedenklichen Baustoffen [8]. |

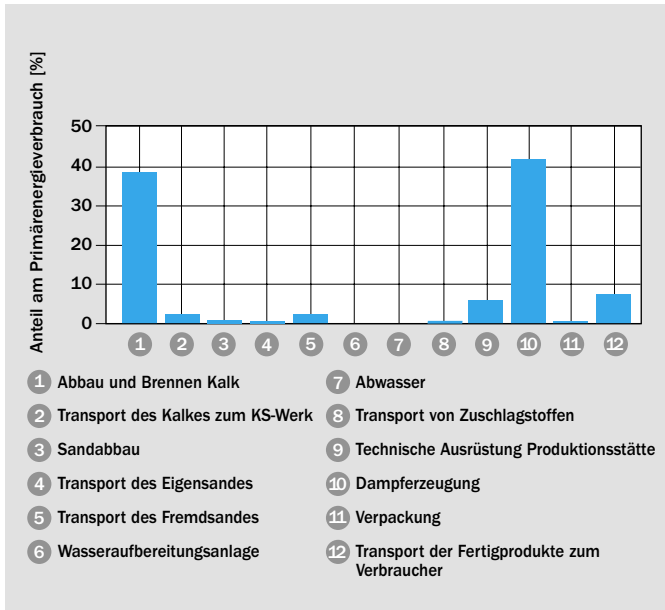


Bild 2/4: Anteil der einzelnen Produktionsschritte am Primärenergieverbrauch

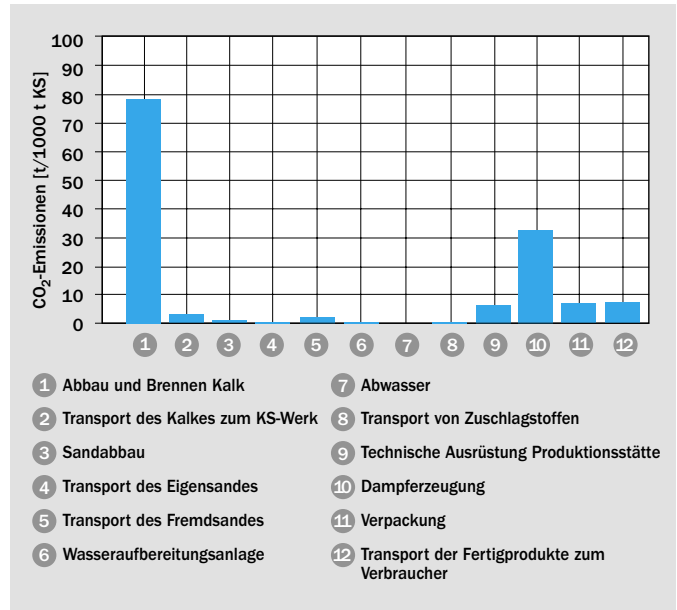


Bild 2/5: Verteilung der CO<sub>2</sub>-Emission auf die einzelnen Produktionsschritte

Das Bindemittel Kalk wird durch Silofahrzeuge zugeliefert, der Sand überwiegend aus werksnahen Gruben entnommen.

Das Brauchwasser wird der Produktion vornehmlich aus eigenen Brunnen oder Oberflächengewässern zugeführt. Nur ein geringer Teil wird aus der Trinkwasserversorgung eingespeist.

**Emissionen**

Emissionen an umweltrelevanten Stoffen in Luft, Wasser und Boden sind in Tafel 2/1 aufgeführt. Bild 2/5 zeigt die CO<sub>2</sub>-Emissionen pro 1000 t KS für die einzelnen Produktionsschritte.

Die nicht emittierten Betriebsmittel und Hilfsstoffe sind in der Ökobilanz berücksichtigt und führen z.B. zu einem gewerblichen Restmüll von 0,5 m<sup>3</sup> pro 1000 t KS.

Die Abwasserfrachten sind nur mit geringen Schadstoffen belastet. Aus diesem Grund können sie den Oberflächengewässern direkt zugeführt oder in die örtliche Kanalisation eingeleitet werden.

**2.4 Wirkungsbilanz**

Die in der Sachbilanz erhobenen quantitativen Daten werden in der Wirkungsbilanz hinsichtlich ihres Einflusses auf die Umwelt beschrieben bzw. zusammengefasst. Dabei wird der von der SETAC [9] entwickelte Katalog über zu betrachtende Umweltauswirkungen herangezogen (siehe Anhang).

Der Einfluss der ermittelten Daten wird darin nach aktuellem wissenschaftlichen Kenntnisstand abgeschätzt.

Nach Abwägung der Vor- und Nachteile anderer Methoden, wie kritische Volumina oder ökologische Knappheit, liegt in Abstimmung mit dem Umweltbundesamt der KS-Ökobilanz der *Ansatz qualitativer Betrachtungen von Umweltauswirkungen* zugrunde.

Die Methoden der Berechnung von Stoffströmen innerhalb der Umwelt-/Wirkungskategorien basieren auf den Arbeiten des Umweltbundesamtes [10].

**2.5 Bewertung**

Die Kalksandsteinindustrie kann durch weitere Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauches einen Beitrag zur Minderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes leisten.

Für die Senkung z.B. der Energieverbräuche sind Investitionen in den Werken notwendig, deren Aufwendungen durch den eingesparten Energiebedarf vielfach in überschaubarer Zeit amortisiert werden.

Aus der Untersuchung (siehe Anhang) wird deutlich, dass die unvollständige Verbrennung von z.B. Dieseldieselkraftstoff bei den Transportvorgängen (Straßenverkehr) einen großen Einfluss auf verschiedene Umweltkategorien mit sich bringt. Ein Vorteil des Kalksandsteins sind die relativ kurzen Transportwege bei der Produktauslieferung.

Auch die Gewässerqualität wird insgesamt weniger von Einleitungen der Produktionsabwässer beeinflusst als von Stickoxiden aus Verbrennungsprozessen (Dampferzeugung, Transporte). Abgesehen vom Beitrag zum Treibhauseffekt – der ohnehin nur zu 44 % direkt beeinflusst werden kann (siehe Tafel 2/1) – sind alle anderen Umweltauswirkungen aus der KS-Produktion weniger relevant.

**2.6 Ökologische Ziele für die Kalksandstein-Herstellung**

Aus den Ergebnissen der Ökobilanz für den Baustoff Kalksandstein lassen sich Maßnahmen als ökologische Ziele für eine weitere Optimierung der KS-Produktion ableiten:

- weitere Reduzierung des Verbrauchs von Primärenergieträgern,
- Beibehaltung kurzer Transportwege bei der Rohstoffzulieferung und der Produktauslieferung,
- Rohstoffschonung durch Recycling sowie
- Entlastung der Deponien durch Abfallvermeidung.

**Kalksandstein ist ein Produkt der kurzen Wege. Die durchschnittlich zu überbrückende Distanz bei der Produktauslieferung beträgt aufgrund der dezentralen Herstellung nur ca. 40 bis 60 km.**

2.7 Deklarationsraster Kalksandstein

Deklarationsraster Massivbaustoffe 1/98

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| 0. Allgemeine Angaben   | Produkt:<br>Kalksandstein                                      | Hersteller:<br>KS- Werke   | Hergestellt nach Produktnorm:<br>DIN V 106 |
|   | Baufaufsichtliche Zulassungs-Nr.:                              | Güteüberwachung nach:<br>DIN V 106                               | Klassifizierung:                           |
| 1. Technische Daten   | 1.1 Rohdichte  | von 1,0 bis 2,2 mm kg/dm <sup>3</sup>                            |  |
|   | 1.2 Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen μ (trocken/feucht) | 5/10 nach DIN 52615 T 1  |  |
|   | 1.3 Wärmeleitfähigkeit λ <sub>ns</sub>                         | 0,27 bis 1,3 W/(m·K) nach DIN 4108                               |  |
|   | 1.4 Spez. Wärmekapazität                                       | 1,0 kJ/(kg·K)  |  |
|   | 1.5 Baustoffklasse (Brandschutz)                               | A 1 nach DIN 4102-4  |  |
| 2. Zusammensetzung (Summe: 100 %)   | Primärrohstoff (Massen-%)                                      | Recyclat (Massen-%)  | Nähere Bezeichnung                         |
|   | 2.1 Nachwachsende Rohstoffe                                    | /.   | /.   |
| 2.2 Mineral. Stoffe phys. aufbereitet   | ca. 88 M.-% Natursande   | ggf. bis zu 5 M.-% recyceltes KS-Material aus der KS-Produktion  |  |
|   | ca. 7 M.-% Kalkstein, gebrannt                                 |  |  |
| 2.3 Mineral. Stoffe therm. hergestellt  | s.o.   | /.   | /.   |
|   | /.   | /.   | /.   |
| 2.4 Basischemikalien  | /.   | /.   | /.   |
|   | /.   | /.   | /.   |
| 2.5 Kunststoffstoffe und ähnliche Stoffe                                      | /.   | /.   | /.   |
|   | /.   | /.   | /.   |
| 2.6 Metalle und Metallverbind.  | /.   | /.   | /.   |
|   | /.   | /.   | /.   |
| 2.7 Andere, nicht einteilbare Stoffe  | /.   | /.   | /.   |
|   | /.   | /.   | /.   |
| 2.8 Wasser  | ca. 5 M.-%   | /.   | /.   |
|   | keine  | keine Komponenten gemäß R 20 - R 59 (Human- und Umwelttoxologie) | keine Informationen vorhanden              |
| 2.9 Ökologisch und toxikologisch relevante Bestandteile gemäß R-Sätzen der EU | Chem. Bezeichnung  | Massenanteil Beschichtung %                                      | Kennzeichnung gemäß Gefahrsstoffverordnung |
|   | /.   | /.   | /.   |
|   | Luftverunreinigende Substanzen (z.B. Stäube, Gase)             | /.   | Quelle: Ökobilanz KS [11]                  |

|   |  |   |
|---|--|---|
| 4. Nutzung  | 4.1 Lage im eingebauten Zustand  | Wandbaustoff  |
|   | 4.2 Leningrader Summen-Formel  | Ergebnis: $\frac{15}{370} + \frac{10}{259} + \frac{200}{4820} = 0,12$<br>(Ra/370 + Th/259 + K/4810)   |
| 5. Entsorgung Produkt (nach KrWG bzw. TA S)   | 5.1 Stoffliche Verwertung  | ja (zum selben Produkt)   |
|   | 5.2 Abfallbeseitigung, unbedenklich  | ja (zu einem anderen Produkt) unbedenklich  |
|   | 5.3 Abfallbilanz nach § 20 KrWG  | nein  |
| 6. Entsorgung, Verpackung   | 6.1 Verpackungsmaterialien   | Palette, Folie, Stahlbänder   |
|   | 6.2 Rücknahme durch den Hersteller   | ja  |
|   | 6.3 Mehrwegverpackung  | ja, Paletten  |
| 7. Energiedaten   | 7.1 Primärenergiegehalt des Produktes  | ~ 234 kWh/t Quelle: Ökobilanz KS [11]   |
|   | 7.2 Energiebedarf bei der Herstellung  | Total ~ 112 kWh/m <sup>3</sup> Quelle: Ökobilanz KS [11]<br>Thermisch .... kWh/m <sup>3</sup> aus<br>35,3 % Gas<br>31,5 % Öl<br>15,2 % Diesel<br>8,5 % Strom<br>. % Reg. Energiequellen<br>Elektrisch 15,4 kWh/m <sup>3</sup> |
| 8. Emissionen (Gesamtaufkommen bei der Herstellung) umgerechnet aus Ökobilanz Kalksandstein | 8.1 CO <sub>2</sub> -Aufkommen   | ca. 66 kg CO <sub>2</sub> / t Produkt<br>Quelle: Ökobilanz KS [11]  |
|   | 8.2 Staubaufkommen   | ca. 0,06 kg CO <sub>2</sub> / t Produkt<br>Quelle: Ökobilanz KS [11]  |
|   | 8.3 SO <sub>2</sub> -Aufkommen   | ca. 0,16 kg CO <sub>2</sub> / t Produkt<br>Quelle: Ökobilanz KS [11]  |
|   | 8.4 NO <sub>x</sub> -Aufkommen   | ca. 0,17 kg CO <sub>2</sub> / t Produkt<br>Quelle: Ökobilanz KS [11]  |
| 9. Allgemeines  | Sind weitere Informationen über alle Inhaltsstoffe erhältlich? Werden in Ihrem Betrieb Öko-Audits nach EU-Norm durchgeführt? | ja  |
|   | Name der verantwortlichen Person   | Unterschrift  |
| Anmerkungen des Herstellers: Annahme: Mittlere Steinrohddichte ~ 1,6 kg/dm <sup>3</sup>     |  | Datum   |
|   |  | nein  |

**Anmerkungen des Öko-Zentrums NRW:** Dieses Raster beinhaltet nur Materialdaten und trifft keine Aussagen über deren Verhalten in einer bestimmten Konstruktion. Das Datenblatt wurde in Anlehnung an eine Vorlage des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereines SIA erstellt. Wir danken dem SIA für die uns freundlicherweise zur Verfügung gestellten Unterlagen.

### 3. ÖKOBILANZ FÜR KS-WANDKONSTRUKTIONEN

Für die ganzheitliche Betrachtung ist es erforderlich, nicht nur den Baustoff Kalksandstein, sondern auch die in der Praxis bewährten KS-Wandkonstruktionen zu untersuchen.

#### 3.1 Allgemeines

Beim Bauen und bei der Planung werden zunehmend ganzheitliche Methoden angewendet, um den Herausforderungen unserer Zeit gerecht zu werden. Einerseits ist es erforderlich, dass in den nächsten Jahren etwa jährlich 300.000 Wohnungen fertig gestellt werden [12]. Andererseits zwingen knapper werdende Ressourcen und ökologische Aspekte, wie vor allem die Verringerung von Emissionen bei Herstellung und Nutzung von Baukonstruktionen, zum Umdenken.

Die Kalksandsteinindustrie unterstützt diesen ganzheitlichen Ansatz, indem sie die ökonomischen und ökologischen Aspekte des Bauens miteinander verknüpft. Schlanke Wände aus Steinen mit hoher Druckfestigkeit und hoher Rohdichte sind nicht nur eine Voraussetzung für wirtschaftliche Wandkonstruktionen bei den vielfältigen Bauaufgaben, sondern tragen durch ihre Leistungsfähigkeit auch dazu bei, die für ein Gebäude eingesetzte Baustoffmasse insgesamt zu verringern.

Ein Beispiel dafür sind Last abtragende Wände, die statt mit 24 cm mit 17,5 cm oder 11,5 cm ausgeführt werden. Die Möglichkeit, tragende Wände in 11,5 cm Dicke auszuführen, verringert auch die Stützweiten der Decken, die dadurch in der Dicke reduziert werden können und/oder geringere Mengen an Baustahl benötigen. Dies spart Ressourcen in erheblichem Umfang ohne Einbuße in Leistungsfähigkeit und Qualität.

Im Produktlebenszyklus der KS-Wandkonstruktionen ist die Nutzungsphase vorrangig zu behandeln. Insbesondere bei Außenwänden entscheidet die Nutzungsphase über den wesentlichen Anteil des Primärenergieverbrauchs und die damit verbundenen Emissionen. Der Primärenergieverbrauch (PEV) durch Transmissionswärmeverluste in der Nutzungsphase übersteigt den Primärenergieverbrauch für die Herstellung der Bauteile um das 10- bis 15fache (oder ca. 5 % PEV für die Herstellung und 95 % für die Nutzung).

Untersuchungen wie [13] zeigen, dass auch für Abriss und Recycling ähnliche Verhältnisse gelten. Der Primärenergieverbrauch für ein Gebäude wird über den Lebenszyklus zu 90 % von der Nutzungsphase bestimmt.

**Einsparungen beim Heizwärmeverbrauch sind ein Schlüssel zur Lösung des Klimaproblems.**

Die Kalksandsteinindustrie empfiehlt bereits seit 35 Jahren hochgedämmte Außenwandkonstruktionen. Die passive Sonnenenergienutzung und ein angenehmes, ausgeglichenes Raumklima werden durch die hochwärmespeichernden und sorptionsfähigen KS-Außen- und Innenwände optimal ermöglicht.

#### 3.2 Methodik

Die Methodik der Ökobilanz von KS-Wandkonstruktionen lehnt sich weitgehend an die in Abschnitt 2 beschriebene Vorgehensweise an. Die Daten der Sachbilanz können auch für die Wirkungsbilanz verwendet werden:

- CO<sub>2</sub>-Emissionen für den Treibhauseffekt
- SO<sub>2</sub>-Emissionen für die Versauerung
- Primärenergieverbrauch

Je nach verwendetem Energieträger für die Nutzungsphase entstehen unterschiedliche Wirkungsbilanzen (vgl. Abschnitt 3.5).

#### 3.3 KS-Innenwände

Nach der Mauerwerksnorm DIN 1053-1 beträgt die Mindestdicke tragender Wände  $d \geq 11,5$  cm. Diese Regelung bedeutet, dass schlanke Innenwände, die früher als nicht tragende Wände ausgeführt werden mussten, heute tragende Funktion haben können. Dadurch wird das Gebäude besser ausgesteift, und die Deckenspannweiten können verringert werden.

Die Bemessung tragender Innenwände erfolgt jedoch nicht allein nach statischen Gesichtspunkten. Bei der Bemessung sind vielmehr auch bauphysikalische Anforderungen zu berücksichtigen. So müssen zum Beispiel einschalige Treppenraum- und Wohnungstrennwände aus schalltechnischen Gründen  $d = 20$  bis 24 cm dick sein, obwohl aus statischer Sicht oft eine Wanddicke von 11,5 cm ausreicht.

Für tragende Innenwände sind Kalksandvollsteine besonders gut geeignet. Sie werden bevorzugt in den Festigkeitsklassen 12 und 20 angeboten. Die hohen Steinrohrichteklassen  $\geq 1,8$  bis 2,0 sind günstig für Wände mit Schallschutzanforderungen. Bei Innenwänden liegen auf beiden Wandseiten gleiche oder nahezu gleiche Temperaturen vor. Energiesparpotentiale mit solchen Wandkonstruktionen können nur am einzelnen Gebäude quantifiziert werden.

Bei Wohngebäuden oder ähnlich genutzten Gebäuden hängt der Nutzungsgrad der internen und solaren Wärmegewinne wesentlich von der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit der Gebäude ab (Bild 3/1). Günstig wirkt sich das Wärmespeichervermögen schwerer Innenbauteile auch auf den sommerlichen Wärmeschutz aus. Wichtig ist, möglichst auf raumlufttechnische Anlagen mit Kühlung zu verzichten, da für den Betrieb solcher Anlagen hohe Energiemengen notwendig sind.

Innenwände aus Kalksandsteinen besitzen aufgrund ihrer hohen Rohdichte ein hohes Wärmespeichervermögen und wirken sich daher bei hochgedämmten Außenwänden und Solargewinnen durch die Fenster (passive Solarenergienutzung) günstig auf den Energieverbrauch von Gebäuden aus.

#### 3.4 Nutzungsdauer

Die Nutzungsdauer ist abhängig von der Lebensdauer der Gebäude bzw. der Wandkonstruktionen. Zu unterscheiden sind:

- Wirtschaftliche Lebensdauer von Gebäuden  
Sie wurde in der Vergangenheit mit 100 Jahren angesetzt, gegenwärtig wird sie von

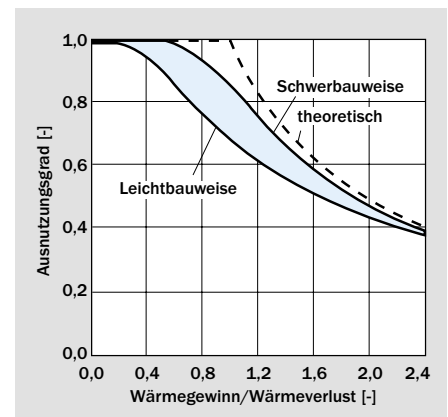


Bild 3/1: Nutzungsgrade solarer Einstrahlung und interner Wärmequellen eines Gebäudes in leichter und schwerer Bauart in Abhängigkeit vom Wärmegewinn-Verlust-Verhältnis [14]

der Wohnungswirtschaft auf ca. 80 Jahre geschätzt [15], [16].

● Funktionelle Lebensdauer von Gebäuden

Sie wird auch im Wohnungsbau zunehmend in den Vordergrund treten. Bei Gewerbe- und Industriebauten spielt sie längst eine entscheidende Rolle und beträgt in diesem Sektor ca. 40 bis 50 Jahre [16].

● Technische Lebensdauer von Gebäuden oder Gebäudeteilen

Die technische Lebensdauer – insbesondere von witterungsbeanspruchten Bauteilen wie z.B. Außenwänden – ist von vielen Parametern abhängig. Die wichtigsten sind: Beanspruchungsgrad, Detailverarbeitung sowie angemessene Pflege und Wartung. In der Literatur finden sich zur Lebens-

dauer für Außenwände Angaben zwischen 30 Jahren [17] bis zu 100 Jahren [18], [19]. Bei wartungsfreundlichen Teilsystemen, wie z.B. Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS), kann die Lebensdauer des Gesamtsystems problemlos durch entsprechende Instandhaltungsintervalle bis auf 80 Jahre und mehr verlängert werden. Die bautechnischen Vorschriften des Gesetzgebers für die Errichtung von Gebäuden gelten allgemein, so dass die zugrunde gelegte Dauerhaftigkeit der Gebäude von jeder zugelassenen Bauart gewährleistet wird. Bei dieser Dauerhaftigkeit wird bauaufsichtlich – obwohl nirgendwo schriftlich fixiert – von 50 Jahren ausgegangen.

Aufgrund der unterschiedlichen Betrachtung in der Literatur erfolgt deshalb die Darlegung der Kenndaten für Wandkon-

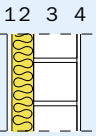
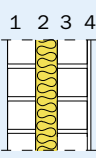
struktionen über ein Zeitintervall von 50 bis 80 Jahren.

3.5 Sachbilanzen für KS-Außenwände

Allgemeines

Bei der ökologischen Betrachtung von KS-Außenwänden ist neben ökologischen Daten zum Zeitpunkt der Bauwerkserstellung die Energiemenge zu beachten, die notwendig ist, ein Gebäude zu beheizen. Außenwände stellen einen erheblichen Flächenanteil der Wärme übertragenden Umfassungsfläche von Gebäuden dar und weisen – über die Heizperiode gemittelt – die höchsten Temperaturunterschiede zwischen innerer und äußerer Bauteiloberfläche auf. Die durch die Außenwände wesentlich beeinflussten Transmissionswärmeverluste eines Gebäudes werden über die Wärmedurchgangskoeffizienten

Tafel 3/1: Primärenergieverbrauch und Emissionen von KS-Außenwandkonstruktionen

| Außenwandkonstruktion  | Dämmschichtdicke [cm]   | U-Wert [W/(m <sup>2</sup> ·K)] | Primärenergieverbrauch [kWh/m <sup>2</sup> ] |      |      | CO <sub>2</sub> -Emissionen [kg/m <sup>2</sup> ] |     |      | SO <sub>2</sub> -Emissionen [kg/m <sup>2</sup> ] |      |      |      |
|--|---|--------------------------------|--|------|------|--|-----|------|--|------|------|------|
|  |   |                                | nach ... Jahren                              |      |      | nach ... Jahren                                  |     |      | nach ... Jahren                                  |      |      |      |
|  |   |                                | 0 <sup>1)</sup>                              | 50   | 80   | 0 <sup>1)</sup>                                  | 50  | 80   | 0 <sup>1)</sup>                                  | 50   | 80   |      |
| <b>KS-Thermohaut (KS mit WDVS)</b>   |   |                                |  |      |      |  |     |      |  |      |      |      |
|  1 2 3 4 Dämmplatten aus PS-Hartschaum        | 8   | 0,42                           | 83   | 2179 | 3436 | 44   | 690 | 1077 | 0,11   | 1,15 | 1,77 |      |
|  | ① 7 mm armierter Kalk-Zement-Außenputz<br>Armierung: Glasseidengewebe                     | 12                             | 0,30   | 89   | 1586 | 2484   | 45  | 506  | 783  | 0,11 | 0,85 | 1,30 |
|  | ② PS-Hartschaumplatten: λ = 0,04 W/(m·K)<br>Rohdichte: 15 kg/m <sup>3</sup>               | 15                             | 0,24   | 94   | 1292 | 2010   | 45  | 414  | 636  | 0,12 | 0,71 | 1,07 |
|  | ③ 17,5 cm KS 1,8<br>mittl. Steinrohddichte: 1,7 kg/dm <sup>3</sup>                        |                                |  |      |      |  |     |      |  |      |      |      |
| ④ 10 mm Innenputz  |   |                                |  |      |      |  |     |      |  |      |      |      |
| Dämmplatten aus Mineralwolle   | 8   | 0,42                           | 111  | 2207 | 3464 | 53   | 698 | 1086 | 0,13   | 1,17 | 1,79 |      |
| Wandaufbau wie zuvor, jedoch   | 12  | 0,30                           | 131  | 1628 | 2526 | 58   | 519 | 796  | 0,15   | 0,89 | 1,34 |      |
| ② Mineralwolle-Dämmplatten: λ = 0,04 W/(m·K)<br>Rohdichte: 100 kg/m <sup>3</sup>   | 15  | 0,24                           | 146  | 1344 | 2062 | 61   | 430 | 652  | 0,16   | 0,75 | 1,11 |      |
| <b>Zweischalige KS-Außenwand mit Kerndämmung</b>   |   |                                |  |      |      |  |     |      |  |      |      |      |
|  1 2 3 4 Kerndämmung mit PS-Hartschaumplatten | 8   | 0,42                           | 103  | 2199 | 3456 | 54   | 700 | 1087 | 0,14   | 1,18 | 1,80 |      |
|  | ① 11,5 cm KS Vb 1,8<br>mittl. Steinrohddichte: 1,7 kg/dm <sup>3</sup>                     | 12                             | 0,29   | 110  | 1557 | 2425   | 55  | 501  | 768  | 0,14 | 0,86 | 1,29 |
|  | ② Kerndämmplatten aus PS-Hartschaum:<br>λ = 0,04 W/(m·K); Rohdichte: 20 kg/m <sup>3</sup> | 15                             | 0,24   | 116  | 1314 | 2032   | 55  | 424  | 646  | 0,15 | 0,74 | 1,10 |
|  | ③ 11,5 cm KS 1,8<br>mittl. Steinrohddichte: 17 kg/m <sup>3</sup>                          |                                |  |      |      |  |     |      |  |      |      |      |
| ④ 10 mm Innenputz  |   |                                |  |      |      |  |     |      |  |      |      |      |
| Kerndämmung mit Mineralwolleplatten  | 8   | 0,42                           | 100  | 2196 | 3453 | 55   | 701 | 1088 | 0,13   | 1,17 | 1,79 |      |
| Wandaufbau wie zuvor, jedoch   | 12  | 0,29                           | 106  | 1553 | 2421 | 56   | 502 | 770  | 0,14   | 0,86 | 1,29 |      |
| ② Kerndämmplatten aus Mineralwolle;<br>λ = 0,04 W/(m·K); Rohdichte: 30 kg/m <sup>3</sup>   | 15  | 0,24                           | 110  | 1308 | 2026 | 57   | 426 | 648  | 0,14   | 0,73 | 1,09 |      |

<sup>1)</sup> Zeitpunkt der Herstellung

(U-Wert) ermittelt. Der U-Wert gibt die Wärmemenge an, die pro Zeiteinheit (Stunde) durch ein Bauteil von 1 m<sup>2</sup> Fläche transportiert wird, wenn der Temperaturunterschied zwischen Innen- und Außenseite des Bauteils 1 K beträgt. Wärmedurchgangskoeffizienten für KS-Außenwände und Kellerwände enthält Tafel 3/2. In Tafel 3/1 werden die Emissionen und Primärenergieinhalte angegeben. Die Höhe des jährlichen Heizenergieverbrauchs wird für Außenwände mit der Näherung  $U\text{-Wert} \times 10 = \text{Liter Heizöl pro m}^2 \text{ Wandfläche und Jahr}$  errechnet [20].

Es wäre denkbar – neben dem Energieträger Heizöl – auch andere Energieträger (z.B. Erdgas) für die Nutzungsphase zu untersuchen. Dies hätte allerdings zur Folge, dass aufgrund der unterschiedlichen spezifischen Emissionen in erster Linie der Energieträger selbst betrachtet würden, wobei die Einordnung von elektrischem Strom sowie die Wichtung der Emissionen Schwierigkeiten bereiten würde.

Die Ergebnisse der Sachbilanz für KS-Außenwände sind in Tafel 3/1 und Bild 3/3 angegeben.

**Bewertung der Ergebnisse**

Werden die Heizenergieverluste durch die Außenwände während des Nutzungszeitraumes berücksichtigt, übersteigen sie den Primärenergieverbrauch der Außenwände bis zum Zeitpunkt der Erstellung

um ein Vielfaches. So amortisieren sich (ökologisch) die Konstruktionen mit 15 cm Dämmschichtdicken trotz der etwas höheren Sockelbeträge für die Primärenergieinhalte sehr schnell. Die wichtigste Kenngröße für den Primärenergieverbrauch und die Emissionen, bezogen auf die Nutzungsdauer, sind die jeweiligen Wärmedurchgangskoeffizienten der Konstruktion.

Der höhere Primärenergieeinsatz von KS-Funktionswänden mit größerer Dämmschichtdicke amortisiert sich bereits nach kurzer Zeit, Bild 3/2. Die während des Nutzungszeitraumes umgewandelte Primärenergie übersteigt den Primärenergieinhalt der Konstruktion um ein Vielfaches. Die Kalksandsteinindustrie empfiehlt seit Jahrzehnten Außenwände mit U-Werten von 0,2 bis 0,4 W/(m<sup>2</sup>·K).

Der „ökologische Break-even-Point“ wird aufgrund des besseren Wärmeschutzes von Konstruktion 2 bereits nach 1,95 Jahren erreicht.

Die den Primärenergieverbräuchen zugeordneten Emissionen zeigen den gleichen zeitlichen Verlauf, da sie ebenso während des Nutzungszeitraumes von den Wärmedurchgangskoeffizienten abhängen.

**Aus ökologischen Gesichtspunkten ist es sinnvoll, einen besseren Wärmeschutz einzuplanen, als es nach Energieeinsparverordnung (EnEV) erforderlich ist.**

Aus den Ergebnissen wird ersichtlich, dass das Prinzip der Funktionswand auch im Bereich der Ökobilanz der KS-Außenwandkonstruktionen vorteilhaft bleibt. Die energetische Bilanz und die dadurch verursachten Emissionen werden in erster Linie durch die Dämmschichten beeinflusst, da sie den Wärmedurchgangskoeffizienten bestimmen.

Die Höhe des Sockelbetrages zum Zeitpunkt der Herstellung wird dagegen überwiegend von der Wanddicke und Rohdichte (Masse) der Kalksandsteine bestimmt.

Dämmschichten aus Polystyrol sind im Sockelbetrag nur bis zu ca. 20 % beteiligt. Wie bei den Innenwänden übernimmt das KS-Mauerwerk der Außenwand Aufgaben der Tragfähigkeit, des Schallschutzes und des Brandschutzes. Außerdem trägt sie zur erwünschten thermischen Trägheit bei und führt zusammen mit einer günstigen Sorptionsfähigkeit zu einem angenehmen Raumklima im Sommer und Winter.

Zwischen den Konstruktionsarten „KS-Thermohaut (KS mit WDVS)“ und „Zweischalige KS-Außenwand mit Kerndämmung“ bestehen hinsichtlich der Emissionen und der Primärenergieinhalte nur sehr geringe Unterschiede, wenn ein vergleichbarer Wärmeschutz ausgeführt wird.

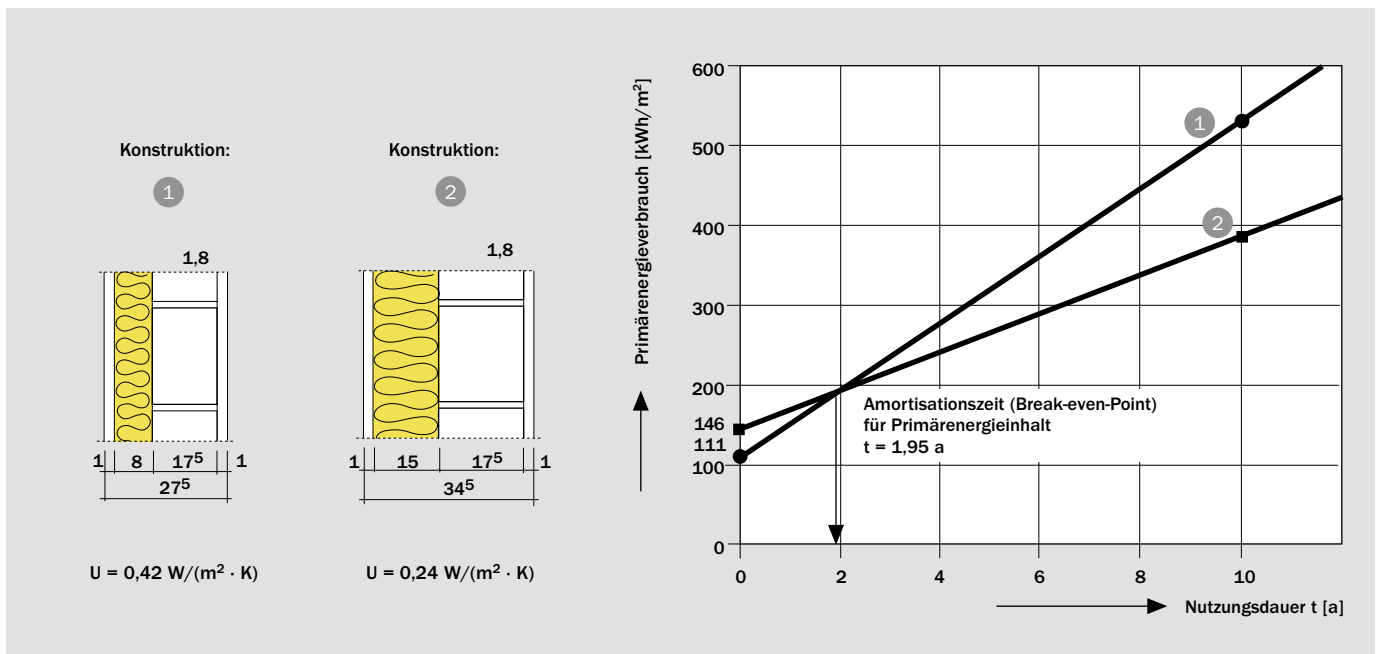
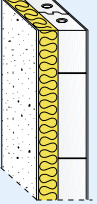
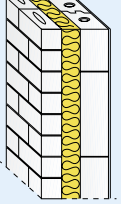
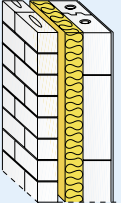
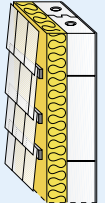
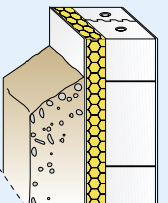


Bild 3/2: Amortisationszeit für Primärenergieverbrauch

Tafel 3/2: U-Werte<sup>1)2)</sup> von KS-Außenwänden

| System  | Dicke des Systems<br>[cm]   | Dicke der tragenden Wand <sup>2)</sup><br>[cm] | Dämmschichtdicke<br>[cm] | U [W/(m <sup>2</sup> ·K)] |       |       | Beschreibung (Aufbau)   |      |  |
|---|---|--|--------------------------|---------------------------|-------|-------|---|------|--|
|   |   |  |                          | $\lambda_R$ [W/(m·K)]     |       |       |   |      |  |
|   |   |  |                          | 0,025 <sup>3)</sup>       | 0,035 | 0,040 |   |      |  |
|    | ≤ 27  | 15   | 10                       | –                         | 0,31  | 0,35  | <b>KS-Thermohaut</b><br>(KS mit Wärmedämmverbundsystem nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung)<br>Aufbau:<br>Innenputz 1 cm ( $\lambda_R = 0,70$ )<br>KS-Außenwand mit der Rohdichteklasse 1,8<br>Wärmedämmstoff<br>Außenputz ≤ 1 cm  |      |  |
|   | ≤ 29,5  | 17,5   |                          | –                         | 0,31  | 0,35  |   |      |  |
|   | ≤ 32  | 20   |                          | –                         | 0,31  | 0,35  |   |      |  |
|   | ≤ 29  | 15   | 12                       | –                         | 0,27  | 0,30  |   |      |  |
|   | ≤ 31,5  | 17,5   |                          | –                         | 0,26  | 0,30  |   |      |  |
|   | ≤ 34  | 20   |                          | –                         | 0,26  | 0,29  |   |      |  |
|   | ≤ 33  | 15   | 16                       | –                         | 0,20  | 0,23  |   |      |  |
|   | ≤ 35,5  | 17,5   |                          | –                         | 0,20  | 0,23  |   |      |  |
|   | ≤ 38  | 20   |                          | –                         | 0,20  | 0,23  |   |      |  |
|   | ≤ 37  | 15   | 20                       | –                         | 0,17  | 0,19  |   |      |  |
| ≤ 39,5  | 17,5  |  | –                        | 0,16                      | 0,19  |       |   |      |  |
| ≤ 42  | 20  |  | –                        | 0,16                      | 0,19  |       |   |      |  |
|   | ≤ 35  | 11,5   | 10                       | 0,22                      | 0,29  | 0,33  | <b>Zweischalige KS-Außenwand mit Kerndämmung</b><br>Aufbau:<br>Innenputz 1 cm ( $\lambda_R = 0,70$ )<br>KS-Innenschale (tragende Wand) mit der Rohdichteklasse 1,8<br>Kerndämmplatten <sup>5)</sup><br>Fingerspalt 1 cm nach DIN 1053-1<br>KS-Verblendschale (KS Vb 1,8 - 2,0),<br>d = 11,5 cm <sup>6)</sup>  |      |  |
|   | ≤ 38,5  | 15   |                          | 0,22                      | 0,29  | 0,32  |   |      |  |
|   | ≤ 41  | 17,5   |                          | 0,22                      | 0,29  | 0,32  |   |      |  |
|   | ≤ 43,5  | 20   |                          | 0,22                      | 0,29  | 0,32  |   |      |  |
|   | ≤ 37  | 11,5   | 12                       | 0,19                      | 0,25  | 0,28  |   |      |  |
|   | ≤ 40,5  | 15   |                          | 0,19                      | 0,25  | 0,28  |   |      |  |
|   | ≤ 43  | 17,5   |                          | 0,18                      | 0,25  | 0,28  |   |      |  |
|   | ≤ 45,5  | 20   |                          | 0,18                      | 0,25  | 0,27  |   |      |  |
|   | ≤ 39  | 11,5   | 14                       | 0,16                      | 0,22  | 0,25  |   |      |  |
|   | ≤ 42,5  | 15   |                          | 0,16                      | 0,22  | 0,24  |   |      |  |
|   | ≤ 45  | 17,5   |                          | 0,16                      | 0,22  | 0,24  |   |      |  |
|   | ≤ 47,5  | 20   |                          | 0,16                      | 0,22  | 0,24  |   |      |  |
|  | ≤ 38  | 11,5   | 10                       | 0,23                      | 0,31  | 0,35  | <b>Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung und Luftschicht</b><br>Aufbau:<br>Innenputz 1 cm ( $\lambda_R = 0,70$ )<br>KS-Innenschale (tragende Wand) mit der Rohdichteklasse 1,8<br>Dämmplatten<br>Luftschicht ≥ 4 cm nach DIN 1053-1<br>KS-Verblendschale (KS Vb 1,8 - 2,0),<br>d = 11,5 cm <sup>6)</sup> |      |  |
|   | ≤ 41,5  | 15   |                          | 0,23                      | 0,30  | 0,34  |   |      |  |
|   | ≤ 44  | 17,5   |                          | 0,22                      | 0,30  | 0,34  |   |      |  |
|   | ≤ 46,5  | 20   |                          | 0,22                      | 0,30  | 0,34  |   |      |  |
|   | ≤ 40  | 11,5   | 12 <sup>4)</sup>         | 0,19                      | 0,26  | 0,29  |   |      |  |
|   | ≤ 43,5  | 15   |                          | 0,19                      | 0,26  | 0,29  |   |      |  |
|   | ≤ 46  | 17,5   |                          | 0,19                      | 0,26  | 0,29  |   |      |  |
|   | ≤ 48,5  | 20   |                          | 0,19                      | 0,26  | 0,29  |   |      |  |
|   |  | 15   |                          | 10                        | –     | 0,30  |   | 0,34 | <b>Einschalige KS-Außenwand mit außen liegender Wärmedämmschicht und hinterlüfteter Bekleidung</b><br>Aufbau:<br>Innenputz 1 cm ( $\lambda_R = 0,70$ )<br>KS-Außenwand mit der Rohdichteklasse 1,8<br>Wärmedämmstoff<br>Hinterlüftung ≥ 4 cm<br>Fassadenbekleidung (Dicke nach Art der Bekleidung) |
|   |   | 17,5   |                          |                           | –     | 0,30  |   | 0,34 |  |
| 20  |   |  |                          | –                         | 0,30  | 0,34  |   |      |  |
| 15  |   |  | 12                       | –                         | 0,26  | 0,29  |   |      |  |
| 17,5  |   |  |                          | –                         | 0,26  | 0,29  |   |      |  |
| 20  |   |  |                          | –                         | 0,26  | 0,29  |   |      |  |
|  | 29  | 24   | 5                        | –                         | 0,55  | 0,61  | <b>Einschaliges KS-Kellermauerwerk mit außen liegender Wärmedämmung (Perimeterdämmung)<sup>7)</sup></b><br>Aufbau:<br>KS-Außenwand mit der Rohdichteklasse 1,8<br>Perimeterdämmplatten <sup>5)</sup>  |      |  |
|   | 35  | 30   |                          | –                         | 0,53  | 0,59  |   |      |  |
|   | 41,5  | 36,5   |                          | –                         | 0,52  | 0,57  |   |      |  |
|   | 32  | 24   | 8                        | –                         | 0,37  | 0,42  |   |      |  |
|   | 38  | 30   |                          | –                         | 0,37  | 0,41  |   |      |  |
|   | 44,5  | 36,5   |                          | –                         | 0,36  | 0,41  |   |      |  |
|   | 36  | 24   | 12                       | –                         | 0,26  | 0,30  |   |      |  |
|   | 42  | 30   |                          | –                         | 0,26  | 0,29  |   |      |  |
|   | 48,5  | 36,5   |                          | –                         | 0,25  | 0,28  |   |      |  |

Als Dämmung können unter Berücksichtigung der stofflichen Eigenschaften und in Abhängigkeit von der Konstruktion alle genormten oder bauaufsichtlich zugelassenen Dämmstoffe verwendet werden, z.B. Hartschaumplatten, Mineralwolleplatten.

<sup>1)</sup> bisher k-Wert

<sup>2)</sup> Die wärmetechnischen Eigenschaften der tragenden Wand beeinflussen den U-Wert nur unwesentlich.

<sup>3)</sup> Phenolharz-Hartschaum, Zulassungsnummer Z-23.12-1389

<sup>4)</sup> bei Verwendung von bauaufsichtlich zugelassenen Anker mit Schalenabstand von ≥ 15 cm durch Zulassungen geregelt

<sup>5)</sup> 9 cm möglich, nach DIN 1053-1

<sup>7)</sup> Die aufgeführten U-Werte erdberührter Bauteile gelten nur in Verbindung mit den Reduktionsfaktoren nach Tabelle 3 aus DIN V 4108-6: 2000-11. U-Werte erdberührter Bauteile sind sonst nach DIN ISO 13370: 1998-12 zu ermitteln.

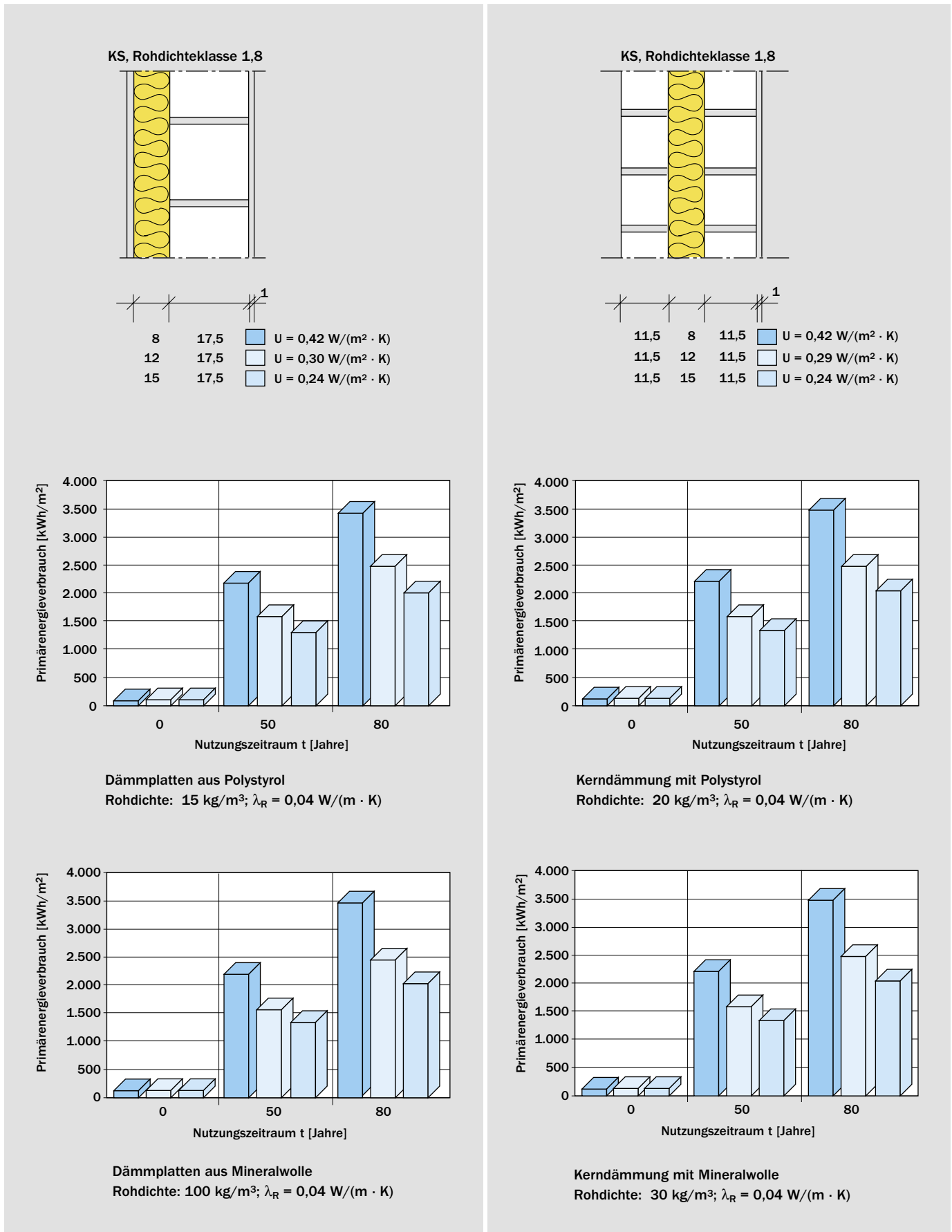


Bild 3/3: Primärenergieverbrauch von KS-Außenwandkonstruktionen für die Herstellung und während der Nutzung.

**3.6 Sachbilanzen für Kelleraußenwände**

Kelleraußenwände müssen außer vertikalen Auflasten aus den Geschossen auch horizontale Lasten infolge des Erddrucks aufnehmen. Aus diesem Grund werden die Wanddicken meist erheblich größer als die der darüber stehenden Außenwände. Dabei gilt: Je höher die vertikalen Auflasten sind, um so besser können die Lasten aus Erddruck aufgenommen werden.

In der Baupraxis werden für Kelleraußenwände vergrößerte Wanddicken (24 cm bis 36,5 cm) bei Rohdichteklassen 1,2 bis 1,4 verwendet. Bei nicht beheizten Kellern haben Kelleraußenwände während der Nutzungsphase praktisch keinen Einfluss auf den Heizenergieverbrauch. Sie sind daher wie Innenwände zu betrachten.

Bei beheizten Kellern werden Kelleraußenwände ähnlich wie die Außenwände in den Geschossen während der Nutzungsphase energetisch wirksam. Dabei ist zu beachten, dass bei den erdberührten Teilen von Kelleraußenwänden die Temperaturdifferenzen zwischen Innen- und Erdreichtemperatur – über die Heizperiode gemittelt – nur etwa halb so hoch sind wie bei nicht erdberührten Außenwänden. Daher sind hier mögliche Heizenergieeinsparungen während der Nutzungsphase durch Verbesserung des Wärmeschutzes auch nur halb so hoch wie bei den Außenwänden. Die Daten der Sachbilanz für Kelleraußenwände sind in Tafel 3/3 enthalten.

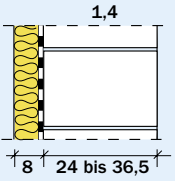
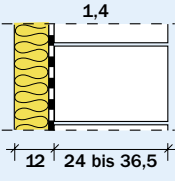
Bei Kelleraußenwänden mit den hier gewählten Rohdichteklassen und Dämmschichtdicken spielt die Dicke des KS-Mauerwerks energetisch nur eine untergeordnete Rolle.

**3.7 Recycling von Wandkonstruktionen**

**Allgemeines**

Zur Gesamtbilanzierung gehört ebenfalls die Bilanzierung der Stoff- und Energieströme nach Wegfall der Nutzung der Produkte. Eine Möglichkeit, diesen Aspekt zu berücksichtigen, wäre, geeignete Annahmen aus heutiger Sicht zugrunde zu legen. Allerdings muss bei der bisher berücksichtigten Lebensdauer von Gebäuden über Vorgänge nachgedacht werden, die nach Jahrzehnten stattfinden. Daher erscheint es zunächst sinnvoller aufzuzeigen, welche Maßnahmen und Strategien verwirklicht werden müssen, um zu akzeptablen Lösungen zu kommen.

Tafel 3/3: Sachbilanz der Kelleraußenwände

| Konstruktion                             |   | t <sup>1)</sup><br>[a] | CO <sub>2</sub> -Emissionen<br>[kg/m <sup>2</sup> ] | SO <sub>2</sub> -Emissionen<br>[kg/m <sup>2</sup> ] | Primärenergieverbrauch<br>[kWh/m <sup>2</sup> ] |
|--|---|------------------------|---|---|---|
| Nr.<br>U-Wert<br>[W/(m <sup>2</sup> ·K)] | Rohdichteklasse<br>KS   |                        |   |   |   |
| 1<br>0,42<br>bis<br>0,44                 |  | 0                      | 47 – 69   | 0,13 – 0,19   | 95 – 133  |
|  |   | 50                     | 385 – 392   | 0,68 – 0,71   | 1181 – 1193                                     |
|  |   | 80                     | 586 – 588   | 1,00 – 1,02   | 1810 – 1852                                     |
| 2<br>0,31<br>bis<br>0,33                 |  | 0                      | 48 – 70   | 0,14 – 0,20   | 107 – 144                                       |
|  |   | 50                     | 302 – 309   | 0,55 – 0,58   | 918 – 930                                       |
|  |   | 80                     | 452 – 454   | 0,80 – 0,81   | 1382 – 1424                                     |

<sup>1)</sup> Nach einem Nutzungszeitraum von t Jahren

**Werterhaltung**

Die Situation im Hochbau ist in dieser Frage schwierig zu beurteilen, weil eine Vielzahl von Baustoffen verwendet wird, vor allem, wenn der Innenausbau berücksichtigt wird und die Lebensdauer einzelner Bauteile und Einbauten unterschiedlich lang ist. Eine erste Maßnahme wird sein, durch problemlosen Austausch oder Unterhaltungsmaßnahmen die unterschiedliche Lebensdauer einzelner Bauteile oder Einbauteile einander anzupassen. Dies soll möglichst abfallarm geschehen. Ziel einer solchen Strategie ist es, eine möglichst lange Nutzungsdauer wertvoller Baustoffe und Baukonstruktionen zu erreichen, denn eine lange Nutzungsdauer verringert den Zwang zum Recyceln. Die Grundkonstruktion der KS-Wände begünstigt eine solche Strategie, da diese feuchteunempfindlich, nicht brennbar, fäulnisresistent und dauerhaft witterungsbeständig sind. Unterstützt wird eine solche Strategie durch recyclinggerechtes Planen, Bauen und Abreißen.

**Kalksandstein ist nicht brennbar, Baustoffklasse A1. Der hohe Feuerwiderstand ergibt sich aus den Baustoffbestandteilen und dem Herstellungsverfahren. Im Brandfall sind hohe Energiemengen nötig, um das Kristallwasser aus der Baustoffmatrix zu lösen. Ein Eingriff in die KS-Struktur erfolgt erst, wenn im Bauteil Temperaturen von über 600 °C auftreten.**

**Verwertung von Baureststoffen**

Der Bereich Baureststoffe ist einer der wichtigsten Ansatzpunkte neuerer Regelungen in der Abfallpolitik und im Abfallrecht. Die lange Lebensdauer von Bauprodukten erschwert jedoch die Umsetzung von Kreislaufstrategien, da die Verantwortlichkeit von Bauherren, bauausführenden Unternehmen und Baustoffproduzenten über die angesprochenen Zeiträume nur unzureichend zu klären ist. Vor diesem Hintergrund wird es notwendig sein, eine Vielzahl von Maßnahmen parallel zu klären. Die wichtigsten sind:

- Forschung im Bereich der Planung im Hinblick auf recyclinggerechte Gebäude,
- Forschung über recyclinggerechte Abbruchverfahren,
- Forschung über die Trennung von Stoffgemischen,
- Verwertungsmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit von Recyclingbaustoffen.

Neben den bereits aufgeführten Forschungen für Recycling des Kalksandsteins beteiligt sich die Kalksandsteinindustrie an der Lösung der aufgeworfenen Fragen auch in Zusammenarbeit mit anderen Verbänden und Institutionen. Die Kalksandsteinindustrie und die anderen Mitgliedsverbände des Bundesverbandes

Steine und Erden haben nach einheitlichen Grundsätzen Musterbilanzen für die einzelnen Produkte der Steine und Erden-Industrie erarbeitet. Seit Vorliegen dieser Bilanzen ist ein weiterer Schritt im Hinblick auf das Recycling von Gebäudeteilen und Gebäuden gelungen. Dabei wurde ein ganzheitlicher Ansatz des Lehrstuhls für Werkstoffkunde und des Instituts für Kunststoffprüfung (IKP) der Universität Stuttgart benutzt.

Zum Recycling von Wärmedämm-Verbandssystemen (Dämmstoff Steinwolle) schreibt Klose in [21]: „Technisch lassen sich alle gebrauchten Steinwolle-Dämmplatten wieder aufschmelzen. Dies gilt selbst für komplette Wärmedämm-Verbandssysteme inkl. mineralischem Kleber, Armierungsgewebe aus Glasfasern und mineralische Putze sowie Kunststoffputze“.

### Verwendung von recyceltem KS-Material in den Bereichen Betonbau, Straßenbau und KS-Produktion

Fragen der Wiederverwendung von KS-Abbruchmaterial aus Bauwerken und Produktionsabfällen sind für eine umweltverträgliche Mauersteinproduktion nach wie vor von herausragender Bedeutung.

Mit einem praxisorientierten AiF-Forschungsvorhaben [22] wurde von der Forschungsvereinigung Kalk-Sand eV in enger Zusammenarbeit mit der Ruhr-Universität Bochum und der Technischen Universität München die Eignung von Kalksandstein-Recycling-Material als Zuschlag für verschiedene Bereiche der Baustoffindustrie (Betonbau, Straßenbau, KS-Produktion) aufgezeigt.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden Ausgangsmaterialien unterschiedlichen Verunreinigungsgrades (sortenreines Material, Kalksandsteine aus selektivem Rückbau sowie Material aus konventionellem Abbruch) und verschiedene Zerkleinerungsaggregate (Prall-, Hammer-, Walzen- und Backenbrecher) berücksichtigt.

**Umfangreiche Analysen haben ergeben, dass Kalksandstein-Recycling-Material unter wasserwirtschaftlichen Bedingungen völlig unbedenklich ist und somit hervorragende ökologische Eigenschaften aufweist.**

### Deponierung und Sonderprodukte

Kalksandsteine sind grundwasserverträglich und können ohne Probleme deponiert werden, wenn auch ein Recycling vorzuziehen ist. Während für den Wohnungsbau zukünftig neben Kalksandsteinen aus natürlichen Rohstoffen auch Kalksandsteine aus dem Recyclingmaterial KS-Mauerwerk einschließlich Putz und Mörtel denkbar sind, gibt es derzeit noch ungenutzte Möglichkeiten.

Mit der einfachen Kalksandstein-Technologie können aus geeigneten Stoffgemischen Produkte für den Untertagebau oder weitere Sonderfälle z.B. Kabelabdeckungen hergestellt werden. Auch eine Verdichtung von Materialien für die Lagerung in Deponien (gepresst oder autoklaviert) ist vorstellbar.

### Ausblick

Unter dem Zwang der heutigen Deponie- und Entsorgungskosten sowie neuer gesetzlicher Auflagen ist zu erwarten, dass das Recycling von Gebäudeteilen und Gebäuden erheblich bedeutsamer wird, als dies in der Vergangenheit der Fall war. Einerseits trägt die heute übliche große Vielfalt von Baustoffen und Baustoffkombinationen erheblich zur Verschärfung dieser Situation bei.

Andererseits ermöglicht gerade diese Vielfalt auch besonders Energie sparende Bauweisen und ein kostengünstiges Bauen. Dadurch werden erhebliche Ressourcen von Primärenergieträgern eingespart.

Die Kalksandsteinindustrie hat mit dieser Ökobilanz den Nachweis erbracht, dass sie ihren Teil zum Umweltschutz beiträgt. Beim Recycling von Gebäudeteilen und Gebäuden ist ein ganzheitlicher Ansatz notwendig, der zeitlich von der Planung bis zum Abriss branchenübergreifend betrachtet werden muss. Ansätze für diese Betrachtungsweise sind heute schon zu erkennen, entsprechende Lösungen werden vervollständigt.

### 3.8 Ökologische Ziele für KS-Wandkonstruktionen

Unter Berücksichtigung der Nutzungsdauer entstehen bei der Anwendung von Kalksandsteinprodukten geringe Primärenergieverbräuche und CO<sub>2</sub>-Emissionen. Der wichtigste Ansatzpunkt für Verbesserungen liegt in einem weiter verbesserten Wärmeschutz für Außenwandkonstruktionen. Angesichts eines Anteiles von nur ca. 10 % Primärenergieeinsatz für Herstellung und Recycling von Wandkonstruktionen können erhebliche Verbesserungen der Gesamtsituation erreicht werden. Maßnahmen, die kurz- oder mittelfristig angewendet werden können, sind:

#### Verwendung von Dämmstoffen mit geringer Wärmeleitfähigkeit

Bisher werden Dämmstoffe der Wärmeleitfähigkeitsgruppe O35 noch zu wenig berücksichtigt, obwohl ihr Nutzeffekt hoch ist und zu ihrer Herstellung nicht mehr Energie benötigt wird. Für KS-Wandkonstruktionen ist eine breite Palette von Dämmstoffen, z.B. Mineralwolle, Polystyrol-Hartschaum, extrudiertes Polystyrol, Phenolharz-Hartschaum und Polyurethan, Schaumglas und Bläherlite, geeignet. Die Anwendung von Zellulosedämmstoffen, Holzfaserplatten, Woll-, Baumwolle- und Flachsdämmstoffen ist für zukünftige Betrachtungen heranzuziehen. Wichtig ist, die Anwendung solcher Dämmstoffe zukünftig in die einschlägige Normung einzubeziehen, damit die Risiken für Hersteller und Verarbeiter überschaubar werden.

#### Informationen über Energie sparendes Bauen

Der Bau von Energiesparhäusern muss weiter gefördert werden durch Informationen der am Bau Beteiligten über die komplexen Zusammenhänge von Planung, Detailausbildungen und Ausführung. In diesem Zusammenhang ist auch eine Information der Nutzer erforderlich, denn diese beeinflussen maßgeblich den tatsächlichen Energieverbrauch. Die Nutzer entscheiden z.B. durch Raumlufttemperaturen und Lüftungsverhalten wesentlich über den Energieverbrauch ihres Gebäudes. Energiekennwerte, die den Energiebedarf eines Gebäudes, bezogen auf einen Quadratmeter Wohnfläche, über den Zeitraum von einem Jahr ausweisen, sind ein wichtiges Hilfsmittel zur Beurteilung der energetischen Qualität eines Gebäudes.

#### Verringerung der für Gebäude eingesetzten Baustoffmassen

Die Möglichkeit, Last abtragende Wände in 11,5 cm Dicke auszuführen, verringert:

- den Baustoffbedarf,
- die Stützweiten der Deckenkonstruktionen und damit deren Dicke und/oder den Stahlverbrauch,
- das Transportvolumen für die Baustoffe.

So können durch Tragwerksoptimierung erhebliche Ressourcen, Primärenergieverbrauch und Emissionen eingespart werden. Gleichzeitig führen die schlanken, tragenden KS-Wände zu einem Wohnflächengewinn von bis zu 7 %.

Die Anwendung von Dünnlagenputzen in Verbindung mit KS-Plansteinmauerwerk unter Verwendung von Dünnbettmörtel verstärkt diesen Trend zu Ressourcenschonung und Wohnflächengewinn.

#### Verstärkung und Intensivierung der Forschung für Wärmedämm-Verbandsysteme (WDVS)

WDVS werden seit mehr als 45 Jahren erfolgreich eingesetzt. Im Hinblick auf ihre Gebrauchsfähigkeit sind sie als bewährt zu bezeichnen, was auch in der Literatur bestätigt wird [23]. In dieser Phase wird es notwendig, verstärkt auf die Fragen zur Dauerhaftigkeit und zum Recycling einzugehen. Eng verbunden mit der Frage zur Dauerhaftigkeit von WDVS sind die einfachen Reparaturmöglichkeiten für diese Systeme. Obwohl erste Forschungsansätze Lösungen anbieten, sind

- die Aktivität einzelner Firmen,
- die Koordinierung der beteiligten Verbände und
- der Stand des Wissens beteiligter Forschungsstellen

weiterhin notwendig, damit in naher Zukunft hier entscheidende Erkenntnisse hinzugewonnen werden können.

#### Zunehmende Anwendung der Solararchitektur für beheizte Gebäude

Erkenntnisse aus der beispielhaften Anwendung von passiver Solararchitektur und damit zusammenhängende Fragen müssen breitere Anwendung finden. Im Vordergrund steht dabei eine höhere Ausnutzung der über transparente Bauteile eingestrahelten Sonnenenergie. Hierfür sind wärmespeicherfähige KS-Wandkonstruktionen hervorragend geeignet. Offen bleiben noch Fragen der Wärmeverteilung z.B. Nutzung der auf Südseiten erhöhten Wärmegewinne auch auf nord- oder ost-orientierte Räume.

Wichtiger wird die Beachtung der sommerlichen Raumlufttemperaturen. Der wichtigste Aspekt beim Bau von solargewinnmaximierten Gebäuden ist die Vermeidung von Kühlanlagen zur Aufrechterhaltung angenehmer Raumlufttemperaturen. Das Verhältnis von Fenstergröße und -orientierung, Sonnenschutz der Fenster, Lüftungsmöglichkeiten und Wärmespeicherung durch massive Innenbauteile muss sorgfältig aufeinander abgestimmt werden. Auch hier erweisen sich KS-Wandkonstruktionen als eine Grundlage zur Vermeidung von Kühlanlagen.

#### 4. SCHLUSSWORTE

Die Ergebnisse zeigen zum einen weitere Optimierungspotentiale im Produktionsprozess und bestätigen zum anderen die Empfehlungen der Kalksandsteinindustrie zu hochgedämmten KS-Wandkonstruktionen.

Damit ein erster Schritt zur ökologischen Vergleichbarkeit verschiedener Wandbaustoffe vollzogen wird, kann es nur begrüßt werden, wenn die Baustoff- und Zulieferindustrien ebenfalls Ökobilanzen mit der definierten Systematik des Umweltbundesamtes erstellen und dabei die große Erfassungstiefe durch vorgeschaltete Prozessketten und gleiche Bewertungsmaßstäbe berücksichtigen.

Daraus können alle am Bau Beteiligten eine Baustoffauswahl nach ökologischen Gesichtspunkten vornehmen.

Ökobilanzen von komplexen Produkten, wie Gebäuden, wurden bis vor kurzem mangels Einzeluntersuchungen nicht erfasst.

Die wissenschaftlich abgesicherten Ergebnisse aus der Ökobilanz für den Baustoff Kalksandstein und Kalksandstein-Wandkonstruktionen fließen in dieses ganzheitliche Projekt ein.

**Kalksandstein – ökologisch und ökonomisch die richtige Entscheidung.**



Das energieautarke Solarhaus in Freiburg im Breisgau.

**5. ANHANG: UMWELTKATEGORIEN UND ERGEBNISSE DER WIRKUNGSBILANZ [9].**

**5.1 Ressourcenabbau**

Wie alle Baustoffe wird der Kalksandstein aus nicht unbegrenzt verfügbaren Rohstoffen hergestellt. Die nicht nachwachsenden Rohstoffe sind nach derzeitigem Wissensstand jedoch über lange Zeiträume verfügbar. Für die Energiebereitstellung wird auf fossile Energieträger zurückgegriffen. Windkraft- und Biogasanlagen sind die Ausnahme.

**5.2 Treibhauseffekt**

Zur Bestimmung der Klimaauswirkungen eines Stoffes wird das so genannte Treibhauspotential (Global Warming Potential; GWP) definiert. Der GWP-Wert eines Stoffes wird oftmals durch einen Äquivalenzwert angegeben, der verschiedene Substanzen und Mengen in ihrer qualitativen Bewertung für eine Umweltauswirkung zusammenfasst. Die für das Treibhauspotential relevanten Gase Kohlendioxid, Methan und Distickoxid gehen als CO<sub>2</sub>-Äquivalente in die Gesamtberechnung ein.

Aus Tafel 5/1 wird deutlich, dass mehr als 98 % des GWP durch das bei Feuerungsprozessen emittierte Kohlendioxid verursacht wird.

**5.3 Ozonabbau**

Beiträge zum Abbau des stratosphärischen Ozons sind nicht nachweisbar, da die Sachbilanz keine Ozon zerstörenden Stoffe im Sinne des Montreal-Abkommens (vgl. Tafel 2/1) enthält.

**5.4 Photooxidantien-Bildung**

Für die Bildung von Photooxidantien (sog. Sommer-Smog) sind bestimmte Luftfremdstoffe verantwortlich. Wie beim Treibhauseffekt wird auch hier ein Äquivalenzwert (POCP) zur qualitativen Beurteilung angegeben, der in Tafel 5/2 dargestellt wird.

Nahezu 99 % des Beitrags zur Bildung von Photooxidantien resultieren aus der Emission der sog. sonstigen aliphatischen Kohlenwasserstoffe (NMVOC). Hauptverursacher bei der KS-Produktion sind die Emissionen aus der Dampferzeugung und aus unvollständigen Verbrennungsvorgängen bei der Auslieferung der Produkte zur Baustelle (Dieselkraftstoff).

**5.5 Versauerung**

Die versauernde Wirkung von Stoffen wird durch die Fähigkeit ausgedrückt, Hydronium-Ionen zu bilden. Auch hier wird ein Äquivalenzwert gebildet, um den qualitativen

Tafel 5/1: GWP-Werte treibhausrelevanter Gase und CO<sub>2</sub>-Äquivalente

| Emissionen                      | GWP-Wert [-] | CO <sub>2</sub> -Äquivalente [kg/1.000 t KS] |
|---------------------------------|--------------|--|
| Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ) | 1            | 138.338,78                                   |
| Methan (CH <sub>4</sub> )       | 11           | 447,47                                       |
| Distickoxid (N <sub>2</sub> O)  | 270          | 2.252,60                                     |
| Summe                           | -            | 141.038,85                                   |

Tafel 5/2: POCP-Werte verschiedener Emissionen

| Emissionen | POCP-Wert [-] | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -Äquivalente [kg/1.000 t KS] |
|------------|---------------|--|
| Methan     | 0,7           | 143,35   |
| NMVOC      | 70,0          | 10.847,98  |
| Benzol     | 18,9          | 7,91   |
| Aromaten   | 18,9          | 0,46   |
| Summe      | -             | 10.999,70  |

Tafel 5/3: Äquivalenzfaktoren der verschiedenen Emissionen und Sauerstoff zehrende Einträge

| Emissionen                 | Äquivalenzfaktor [-] | Sauerstoff zehrende Einträge [kg/1.000 t KS] |
|----------------------------|----------------------|--|
| Stickoxide aus der Luft    | 0,13                 | 45,39  |
| Gesamtstickstoff in Wasser | 0,42                 | 0,69   |
| Gesamtposphor in Wasser    | 3,06                 | 1,98   |
| CSB                        | 0,022                | 0,27   |
| Summe                      | -                    | 48,33  |

Einfluss verschiedener Substanzen und Mengen zu berücksichtigen.

Für eine Menge von 1000 t produzierter Kalksandsteine ergibt sich ein Versauerungspotential von 0,58 t Schwefeldioxid-Äquivalenten. Als Verursacher treten ebenfalls die Verbrennungsprozesse fossiler Energieträger auf, zu der die Kalksandsteinindustrie im Wesentlichen durch die Dampferzeugung (28 %) und die verschiedenen Transportvorgänge (16 % durch die Auslieferung) beiträgt.

**5.6 Eutrophierung und Sauerstoffzehrung**

Der zusätzliche Eintrag von Stoffen, die in Gewässern als Nährstoff dienen, führt zur Eutrophierung (z.B. Algenbildung). Zur Beurteilung der Gewässerqualität und der Belastung des Sauerstoffhaushaltes wird der biologische Sauerstoffbedarf und der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) herangezogen. Der durchschnittliche CSB-Wert für Einleitungen aus der Kalksandstein-

industrie liegt mit 114 mg/l deutlich unter den zulässigen Grenzwerten. Den verschiedenen schadstoffbelasteten Substanzen wird wiederum ein Äquivalenzfaktor zugeordnet, der in Tafel 5/3 dargestellt wird.

Aus den Sauerstoff zehrenden und eutrophierenden Einträgen durch die Produktion von KS stellt die Emission von Stickoxiden in die Luft die relevanteste Belastung dar. Erst an zweiter Stelle stehen die Einträge in Gewässer. Zusätzliche Schadstoffeinträge sind sehr gering. Aus der Tafel 5/3 wird deutlich, dass die Beeinflussung der Gewässerqualität bei der Produktion von Kalksandstein im Wesentlichen von den Emissionen in Luft – die wiederum in Wasser einwirken – und nicht von den direkten Einträgen in Gewässern abhängig ist. Aufgrund der vorhandenen Stickoxidemissionen bei den Verbrennungsprozessen in Dieselmotoren sind z.B. die Transportvorgänge überdurchschnittlich an der Eutrophierung und Sauerstoffzehrung in Gewässern beteiligt.

**5.7 Humantoxische Effekte und Ökotoxikologie**

Die toxischen Einwirkungen auf Mensch und Umwelt werden in dieser Umweltkategorie dargestellt.

Bei der Produktion von Kalksandsteinen werden die natürlichen Rohstoffe Kalk, Sand und Wasser verwendet. Die Rohstoffe werden durch geologische Gegebenheiten von bestimmten Spurenelementen in geringen Mengen begleitet. Der Kalksandstein zählt aufgrund seiner sehr geringen natürlichen Radioaktivität zu den unbedenklichen Baustoffen, Tafel 5/4.

Das gleiche gilt für den Gesamtgehalt an Schwermetallen [24] und toxikologischen Schadstoffmengen.

**5.8 Abfall**

Die Abfallmengen sind insgesamt gering, insbesondere fallen keine schwer zu entsorgenden und zu verwertenden Abfälle an. Nahezu alle Abfallmengen können von Dritten recycelt bzw. wiederverwendet werden.

Kalksandsteine können in Bezug auf ihr Deponieverhalten als uneingeschränkt unbedenklich bezeichnet werden [25].

**5.9 Ökosysteme und Landschaften**

In dieser Kategorie werden die Umweltauswirkungen auf den Landschaftsverbrauch und Eingriffe in Ökosysteme beschrieben. Landschaftsverbrauch ist z.B. die Raumbelegung durch Hausmülldeponien. Da die Rohstoffe im Werk nahezu vollständig in das Produkt eingehen, ist die Produktion selbst als abfallarm und mit geringen Auswirkungen auf diese Umweltkategorie zu bezeichnen. Der Restmüllanteil von 0,5 m<sup>3</sup> pro 1.000 t KS ist erfasst.

Der Sandabbau stellt eine reversible Beeinträchtigung der Landschaft dar, denn die Flächen werden mit behördlich überwachten landespflegerischen Begleitplänen renaturiert.

Tafel 5/4: Mittelwerte der Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide in Baumaterialien nach [8] und Bewertungszahl nach Leningrader Summenformel

| Material                            | Radium-226 in Bq pro kg | Thorium-232 in Bq pro kg | Kalium-40 in Bq pro kg | Bewertungszahl B |
|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|------------------|
| Kalksandstein                       | 15                      | 10                       | 200                    | 0,12             |
| Porenbeton                          | 15                      | 10                       | 200                    | 0,12             |
| Beton                               | 30                      | 23                       | 450                    | 0,26             |
| Ziegel, Klinker                     | 50                      | 52                       | 700                    | 0,48             |
| Kies, Sand, Kiessand                | 15                      | 16                       | 380                    | 0,18             |
| Ton, Lehm                           | < 40                    | 60                       | 1000                   | 0,55             |
| Tuff, Bims                          | 100                     | 100                      | 1000                   | 0,86             |
| Natürlicher Gips, Anhydrit          | 10                      | < 5                      | 60                     | 0,06             |
| Gips aus der Rauchgasentschwefelung | 20                      | < 20                     | < 20                   | 0,14             |
| Granit                              | 100                     | 120                      | 1000                   | 0,94             |
| Gneis                               | 75                      | 43                       | 900                    | 0,56             |
| Diabas                              | 16                      | 8                        | 170                    | 0,11             |
| Basalt                              | 26                      | 29                       | 270                    | 0,24             |
| Granulit                            | 10                      | 6                        | 360                    | 0,13             |
| Kupferschlacke                      | 1500                    | 48                       | 520                    | 4,35             |
| Braunkohlenfilterasche              | 82                      | 51                       | 147                    | 0,45             |

Eine dauerhafte Beeinträchtigung der Umwelt ist somit nicht gegeben, da

- der Sandabbau an ökologisch besonders schützenswerten Plätzen mit seltenen Arten o.Ä. ohnehin nicht gestattet wird und
- der Eingriff von der Natur gut verkraftet wird. In den renaturierten Flächen stellt sich das ökologische Gleichgewicht schnell wieder ein.

Vor diesem Hintergrund ist durch den Rohstoffabbau keine nachhaltige Wirkung zu sehen.

**5.10 Recycling (von Kalksandsteinen)**

Durch die ganzheitliche Betrachtung des ökologischen Bauens gewinnen Fragen der Wiederverwertung z.B. von Abbruchmaterial eine große Bedeutung. Neben der Schonung von Rohstoffressourcen wird durch das Recycling von Kalksandsteinen wertvoller Deponieraum freigehalten. Untersuchungen haben gezeigt, dass Kalksandstein aus dem Rückbau von Gebäuden (mit anhaftenden Mörtelresten) oder Produktionsabfällen erneut in den Produktionsprozess eingebracht werden und auch in anderen Baustoffbereichen (Betonbau, Erd-, Straßen- und Wegebau) zur Anwendung kommen kann [26].



Abbaustätten werden rekultiviert, neue Biotope entstehen.

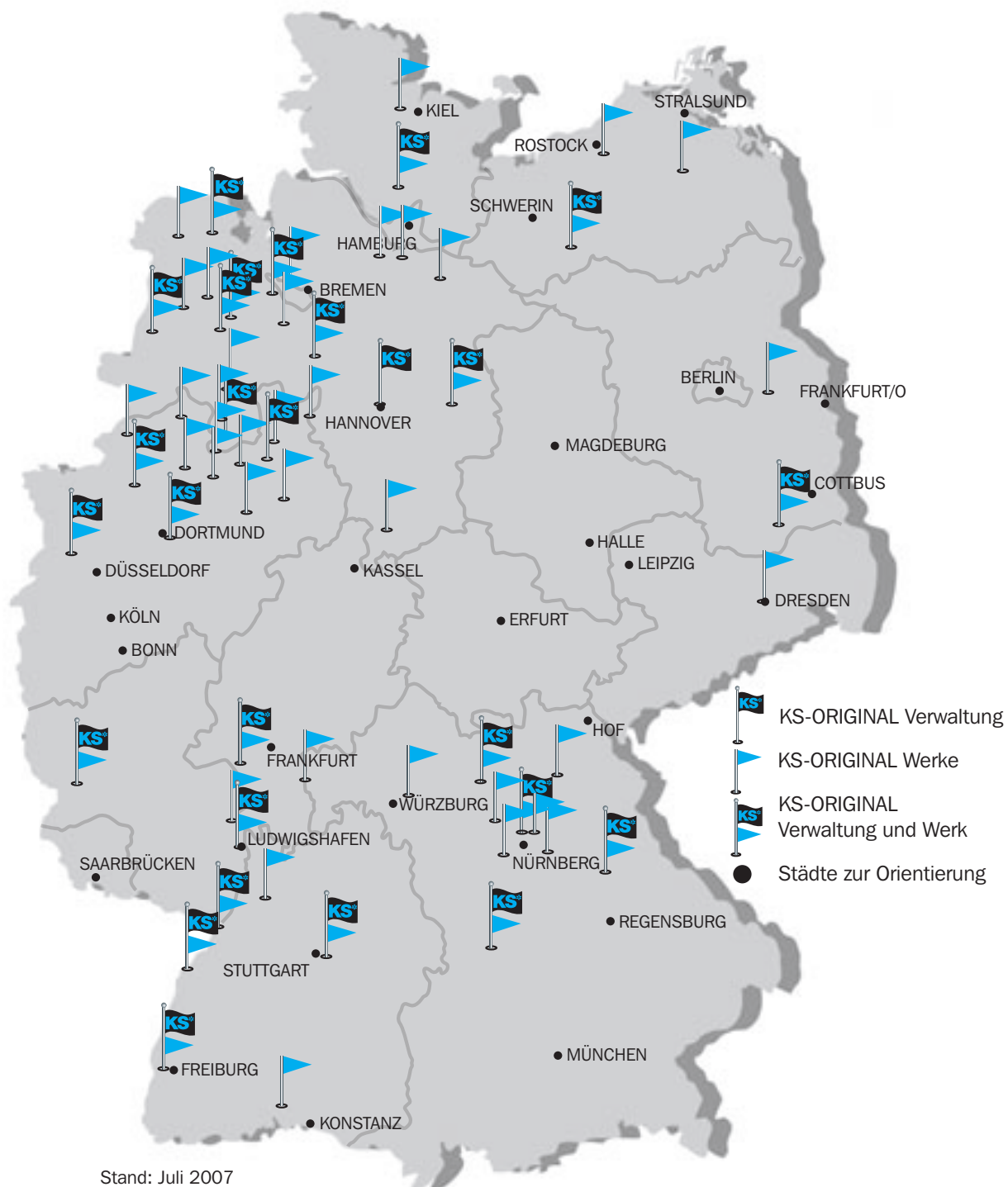
- [1] Töpfer, K., Baukultur 5/95, S. 69 f
- [2] Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): Grundsätze produktbezogener Ökobilanzen, Berlin 3/1994
- [3] Katalyse GmbH: Das recyclingfähige Haus. Studie über die Notwendigkeit und Möglichkeiten der Wiedereingliederung von Rückständen in den Naturkreislauf am Beispiel des globalrecyclingfähigen Hauses, Köln 1993
- [4] Kalksandstein: Planung, Konstruktion, Ausführung, Hrsg. KS-Info GmbH, Hannover, 4. überarbeitete Auflage, Verlag Bau+Technik, Düsseldorf 2003
- [5] Utermöhlen R., bauen spezial, 11/95, Fachschriften-Verlag
- [6] Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.): Betriebsvergleich 1991 bis 2003, unveröffentlicht, Hannover
- [7] Eberhardt, E.: Kalksandstein in der Natur, Hannover 1/95
- [8] BfS-Merkblatt: Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide in Baumaterialien, Hrsg. Bundesamt für Strahlenschutz, 2002
- [9] SETAC/Society for Environmental Toxicology and Chemistry: Code of Practice, Brüssel 1993
- [10] Klöpffer; Renner: Operationalisierung nicht oder nur schwer quantifizierbarer Umweltkategorien im Rahmen von Ökobilanzen. Bericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin 10/1993
- [11] Eden, W. et al.: Ökobilanz für den Baustoff Kalksandstein und Kalksandstein-Wandkonstruktionen; Forschungsbericht Nr. 82 der Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V., Hannover, November 1995
- [12] Wohnungsbauprognose 2015. Hrsg.: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn 2001
- [13] Ebel, W. u.a.: Einsparungen beim Heizwärmebedarf – ein Schlüssel zum Klimaproblem, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1995
- [14] Werner, H.: Berechnung des Heizenergiebedarfs von Gebäuden nach der Methode ISO 9164, HLH 37 (1986), Nr. 11, S. 541-545
- [15] Klug, K.-E.: Wirtschaftliche Instandhaltung von Wohngebäuden durch methodische Inspektion und Instandhaltungsplanung, Schriftenreihe des Instituts für Bauwirtschaft und Baubetrieb, Technische Uni Braunschweig, 1985
- [16] Jäger, J.; Görg, H.: Gutachten zum Recycling von Wärmedämm-Verbundsystemen mit Styropor, Ingenieurgesellschaft Umwelt – Technik – Bau, 1995
- [17] Menkhoff, H.: Was kostet die Wand? Bauwirtschaftliche Informationen, Mai 1995
- [18] Schulze, H.: Holzhäuser, eine Entscheidung für Generationen – Aussagen zur Lebensdauer, Holzbau-Handbuch, Reihe 3, Bauphysik Entwicklungsgemeinschaft Holzbau EGH, 1991
- [19] Ehm, H.: Wärmeschutzverordnung '95 – Der Weg zu Niedrigenergiehäusern, Bauverlag, Wiesbaden/Berlin 1995
- [20] RWE-Energie AG (Hrsg.): RWE-Energie-Handbuch, Essen 1/1994
- [21] Klose, G.: Recycling von Steinwolle-Dämmstoffen, Deutsche Bauzeitschrift (DBZ), 10/1995
- [22] Eden, W.; Friedl, L.; Krass, K.; Kurkowski, H.; Mesters, K.; Schießl, P.: Eignung von Kalksandstein-Bruchmaterial zum Recycling in der Baustoffindustrie. Forschungsvereinigung Kalk-Sand eV, Hannover 2003
- [23] Künzel, H.: Schäden an Fassadenputzen, Hrsg.: G. Zimmermann, IRB Verlag, Stuttgart 1994 (Schadenfreies Bauen, Bd. 9)
- [24] Rankers, R.: Umweltverträglichkeit von Fassadenbaustoffen, Institut für Bauforschung (ibac) RWTH, Aachen 1995
- [25] Bericht über die Untersuchung von Fabrikationsabfällen, Forschungsbericht Nr. 48 der Forschungsvereinigung Kalk-Sand, Hannover 1978
- [26] Wiederverwertung von Kalksandsteinen, Forschungsbericht Nr. 80 der Forschungsvereinigung Kalk-Sand, Hannover 1994

**KS-ORIGINAL** ist die Marketing-Organisation von 30 deutschlandweit liefernden KS-Herstellern mit 60 Kalksandstein-Werken.

**KS-ORIGINAL GMBH**

Entenfangweg 15  
30419 Hannover

Tel.: +49 (0) 5 11 279 53-0  
Fax: +49 (0) 5 11 279 53-31  
info@ks-original.de  
www.ks-original.de



**KS-ORIGINAL GMBH**

Entenfangweg 15  
30419 Hannover

Tel.: +49 (0) 5 11 279 53-0  
Fax: +49 (0) 5 11 279 53-31  
info@ks-original.de  
www.ks-original.de

Überreicht durch:

Der Kalksandstein  
**KS**  
DAS ORIGINAL

