



Der Kumulierte Energieaufwand (KEA) im Baubereich

Arbeitspapier im Rahmen des UBA-F&E-Vorhabens Nr. 104 01 123:

**Erarbeitung von Basisdaten zum Energieaufwand und der Umweltbelastung
von energieintensiven Produkten und Dienstleistungen für Ökobilanzen und
Öko-Audits**

Bearbeitung:

Dr.-Ing. Wolfgang Jenseit, Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e.V.)

Dr.-Ing. Thomas Lützkendorf, Bauhaus Universität Weimar

MSc Dipl.-Ing. Oliver Eiermann, Institut für Industrielle Bauproduktion (ifib)

Darmstadt/Karlsruhe/Weimar, Juni 1999

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis.....II

AbbildungsverzeichnisIV

Einführung..... 1

1 Anwendung von Basisdaten im Baubereich 2

 1.1 Konkretheit der Aussagen..... 2

 1.2 Anwendungsfälle in der bauproduktherstellenden Industrie..... 2

 1.3 Anwendungsfälle bei Planung und Bewertung von Bauprodukten/Bauwerken 5

 1.4 Fazit 9

2 KEA-Richtungssicherheit im Baubereich: Ebene Bauprodukt..... 10

 2.1 Holz..... 11

 2.2 Frischbeton..... 13

 2.3 Vergleich von Produktionsstätten zur Herstellung von porösen Ziegeln 15

 2.4 Solarkollektoren..... 17

3 KEA-Richtungssicherheit im Baubereich: Ebene Bauteil..... 20

 3.1 Warmwasserbereitung..... 20

 3.2 Stahlbetonkonstruktion 24

 3.3 Außenwandkonstruktionen 26

4 KEA-Richtungssicherheit im Baubereich: Ebene Gebäude..... 32

 4.1 Bilanzierung..... 33

 4.2 Richtungssicherheit..... 38

 4.3 Zusammenfassung..... 43

5 Literatur..... 44

Anhang: siehe extra-Papier !

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 KEA und Emissionen von Holzprodukten	12
Tabelle 2 Zusammensetzung unterschiedlicher Betone.....	14
Tabelle 3 KEA und Emissionen unterschiedlicher Betone.....	14
Tabelle 4 Input einzelner Ziegelwerke und durchschnittlicher Input mehrerer Werke	16
Tabelle 5 KEA und Emissionen zur Ziegelherstellung	16
Tabelle 6 Materialinput der thermischen Kollektoren.....	18
Tabelle 7 Vergleich der KEA Rechnung für thermische Kollektoren.....	19
Tabelle 8 Emissionen und KEA von thermischen Kollektoren.....	19
Tabelle 9 Leistungsdaten der thermischen Kollektoren	21
Tabelle 10 KEA und Emissionen der Warmwasserbereitstellung.....	22
Tabelle 11 KEA und Emissionen von Deckenkonstruktionen	25
Tabelle 12 Aufbau und Zusammensetzung der Außenwandkonstruktion mit Poren- betonstein.....	26
Tabelle 13 Aufbau und Zusammensetzung der Außenwandkonstruktion mit Ziegel	26
Tabelle 14 Aufbau und Zusammensetzung der Außenwandkonstruktion mit Kalk- sandstein-EPS	27
Tabelle 15 Emissionen und KEA von Außenwänden mit k-Wert = 0,5	27
Tabelle 16 Aufbau und Zusammensetzung der Außenwandkonstruktion in Holz- bauweise	29
Tabelle 17 Aufbau und Zusammensetzung der Außenwandkonstruktion mit Poren- beton	29
Tabelle 18 Aufbau und Zusammensetzung der Außenwandkonstruktion mit Kalk- sandstein	29
Tabelle 19 Emissionen und KEA von Außenwandkonstruktionen (k-Wert= 0,3)	30
Tabelle 20 Wirkungskategorien aus GEMIS	32
Tabelle 21 Auf "DUMMY" abgebildete Baustoffbezeichner.....	34
Tabelle 22 Elementkatalog (Auszug)	35
Tabelle 23 Einfluss der Systemgrenzen auf den KEA.....	37
Tabelle 24 Ausgewählte Gebäude aus [BKB1995].....	38
Tabelle 25 Szenario "Einfamilienwohnhaus"	40

Tabelle 26 Szenario "Mehrfamilienwohnhaus" 42

Tabelle 27 Korrelationsfaktoren der Wirkungskategorien mit KEA **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Tabelle 28 Korrelationsfaktoren der Wirkungskategorien mit Primärenergiebedarf
(PEB) **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Tabelle 29 Szenario "Einfamilienwohnhaus" (GEMIS basiert) **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Tabelle 30 Szenario "Einfamilienwohnhaus" (ECOINVENT basiert) **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Tabelle 31 Szenario "Mehrfamilienwohnhaus" (GEMIS basiert) **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Tabelle 32 Szenario "Mehrfamilienwohnhaus" (ECOINVENT basiert) **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Abbildungsverzeichnis

Bild 1	KEA und Emissionen von Holzprodukten	12
Bild 2	KEA und Emissionen von Frischbetonen.....	15
Bild 3	KEA und Emissionen von Mauerziegeln	17
Bild 4	KEA und Emissionen von Solarkollektoren.....	20
Bild 5	Energie- und Stoffflüsse beim themischen Solarkollektor	21
Bild 6	KEA der Warmwasserbereitung	23
Bild 7	KEA von Deckenkonstruktionen.....	25
Bild 8	KEA-Richtungssicherheit für Außenwände	28
Bild 9	KEA-Richtungssicherheit von Außenwänden (0,3 W/m ² K) - SO ₂ - Äquivalente vs. KEA-Summe	30
Bild 10	KEA-Richtungssicherheit für Außenwände (0,3 W/m ² K) - CO ₂ - Äquivalente vs. KEA-nichterneuerbar.....	31
Bild 11	Vorgehen bei der Bilanzierung von Gebäuden.....	33
Bild 12	Bildschirmkopie ElementMaker.....	36
Bild 13	Überblick Szenario "Einfamilienwohnhaus"	39
Bild 14	Überblick Szenario "Mehrfamilienwohnhaus"	41
Bild 15	Verhältnisse der Wirkungskategorien zu KEA. Fehler! Textmarke nicht definiert.	
Bild 16	Verhältnisse der Wirkungskategorien zu PEB.. Fehler! Textmarke nicht definiert.	
Bild 17	Wirkungskategorien der Elemente auf GEMIS- und ECOINVENT- Basis.. .. Fehler! Textmarke nicht definiert.	
Bild 18	Vergleich Szenario "Einfamilienwohnhaus" ... Fehler! Textmarke nicht definiert.	
Bild 19	Vergleich Szenario "Mehrfamilienwohnhaus" . Fehler! Textmarke nicht definiert.	

Einführung

Im F&E-Vorhaben des Umweltbundesamtes Nr. 104 01 123 “*Erarbeitung von Basisdaten zum Energieaufwand und der Umweltbelastung von energieintensiven Produkten und Dienstleistungen für Ökobilanzen und Öko-Audits*” wurden Informationsbedarf und Anwendungsfelder im Bauwesen unter besonderer Berücksichtigung des “Kumulierten Energieaufwandes” (KEA) illustriert und diskutiert.

Die Arbeitsgemeinschaft der am Projekt beteiligten Institute untersuchte dabei jeweils den eigenen Arbeitsschwerpunkten entsprechend Teilfragen und tauschte die Ergebnisse untereinander aus. In mehreren Diskussionsrunden und Workshops – teilweise mit dem Umweltbundesamt - wurden die gewonnenen Erkenntnisse ausgetauscht und kritisch reflektiert.

Dieses Arbeitspapier fasst die Ergebnisse dieser Diskussionen zusammen.

Es gliedert sich in die folgenden Abschnitte:

- Im ersten Abschnitt wird die grundsätzliche Anwendung von Basisdaten auf den Baubereich diskutiert. Insbesondere wird das Ziel verfolgt, aufzuzeigen, dass im Bauwesen Basisdaten zu Energieaufwand und Umweltbelastung auf unterschiedlichen Aggregations-ebenen und in spezifischen Entscheidungsabläufen benötigt werden. Wo möglich, werden Anwendungsfälle und Betrachtungsebenen am Beispiel von Zement, Beton, Betonteil, Betonkonstruktion illustriert.
- Im zweiten Teil wird anhand der eingangs skizzierten Anwendungssystematik die in diesem Projekt entwickelte Methodik zur KEA-Berechnung beispielhaft angewendet und die Einsatzfähigkeit des KEA für den Baubereich anhand der Richtungssicherheit überprüft.
- In einem Anhang wird die Richtungssicherheit mit statistischen Methoden untersucht, und Material aus der Literatur zu KEA-Daten und Anwendungen aufgenommen.

1 Anwendung von Basisdaten im Baubereich

1.1 Konkretheit der Aussagen

Bei der Anwendung von Basisdaten für Energieaufwand und Umweltbelastung lässt sich der notwendige Grad der Konkretheit benötigter Werte aus der Frage- und Zielstellung ableiten. Hierbei kann unterschieden werden zwischen:

fallkonkreten Aussagen

Für Fragen der Bewertung und Optimierung von betrieblichen Abläufen an Einzelstandorten der bauproduktherstellenden Industrie sowie für standortkonkrete Fragen z.B. der Auswahl von Technologien, Transportwegen und -mitteln im Rahmen der Entscheidungsvorbereitung bei Einzelbauwerken werden fallkonkrete Werte benötigt und verwendet. Im Baubereich ist ein typisches Beispiel die fallkonkrete Berücksichtigung von Transportentfernungen zu einer bestimmten Baustelle - z.B. auch bei Zement (Bodenaustausch versus Zementstabilisierung).

Angaben auf Basis von Durchschnittswerten

Je nach Aggregationsebene der Betrachtung wird die Verwendung von Durchschnittswerten erforderlich, da sich fallkonkrete Betrachtungen nicht durchhalten lassen oder als nicht zweckmäßig erweisen. Insbesondere im Rahmen einer Entscheidungsvorbereitung in frühen Planungsphasen kann i.d.R. der konkrete Hersteller der zu berücksichtigenden Bauprodukte noch nicht angegeben werden. So werden u.a. für Zement oder Beton i.d.R. Durchschnittswerte angenommen. Die Regeln der Durchschnittsbildung können variieren.

1.2 Anwendungsfälle in der bauproduktherstellenden Industrie

1.2.1 Prozessanalyse/Prozessoptimierung in der bauproduktherstellenden Industrie

Die Prozessanalyse von innerbetrieblichen Teil- oder Einzelprozessen ist u.a. Aufgabe des Betriebs-Managements bzw. des Umwelt-Controlling. Insbesondere im Zusammenhang mit der innerbetrieblichen Kostenstellenrechnung sowie der Sicherstellung der Einhaltung von Auflagen und Anforderungen des Umweltschutzes erfolgt eine Analyse des prozessspezifischen Energie- und Stoffstroms im Sinne einer input/output-Betrachtung. Die zunächst prozessbezogenen Werte werden u.a. auch in produktbezogene Daten umgerechnet, um sie für Prozesskettenanalysen bereitzustellen. Ein Ziel ist u.a. auch das Gewinnen von Ansatzpunkten für eine Verbesserung ("Optimierung") innerbetrieblicher Abläufe.

Die Summe der innerbetrieblichen Energie- und Stoffströme und der resultierenden Umweltwirkungen kann bei einer Betrachtung ohne vor- und nachgelagerte Prozesse als "Stufenaufwand" bezeichnet werden.

Bei der Zementherstellung würden hier u.a. sowohl der mit dem Brennprozess verbundene (Teilprozess) als auch der gesamtbetrieblich verursachte (Summe der direkten und indirekten innerbetrieblichen Prozesskette) Energie- und Stoffstrom analysiert und i.d.R. auf eine Tonne Produkt bezogen.

1.2.2 Bilanzen bis “Werktor aufgeladen” in ihrer Innen- und Außenwirkung

Bei einer Analyse und Bewertung des produktbezogenen Energie- und Stoffstromes bis zur Systemgrenze “Werktor aufgeladen” werden neben betriebsinternen Abläufen, die dem Produkt hinsichtlich Ressourceninanspruchnahme, Energieaufwand und Umweltbelastung direkt bzw. indirekt zugeordnet werden können, auch stoffliche und energetische Vorstufen einbezogen. Insofern handelt es sich um einen “kumulierten Stufenaufwand”.

a) Innenwirkung

Das innerbetriebliche Interesse besteht u.a. in der Analyse des eigenverursachten Anteiles der Ressourceninanspruchnahme und der resultierenden Umweltbelastung an den Gesamtfolgen der Produktherstellung. Insbesondere ist abzuklären, ob und inwieweit die Gesamtbilanz durch stoffliche und energetische Vorstufen stark belastet wird und ob sich neben dem Bereich der Verbesserung eigener Prozesse ein Verbesserungspotential im Bereich der alternativen Material-, Dienstleistungs- (z.B. Transporte) und/oder Energieversorgung ergibt.

b) Außenwirkung

Unbewertete oder auch bewertete produktbezogene Daten zum Energie- und Stoffstrom werden i.d.R. mit der Bilanzgrenze “Werktor aufgeladen = from gradle to gate” angegeben. Derartige Angaben, die i.d.R. durch einen “Endhersteller” bereitgestellt werden müssen, haben den Vorteil einer rein “rückschauenden” Betrachtungsweise. Im Unterschied zu lebenszyklusbezogenen Angaben “from gradle to grave” sind keine “vorausschauenden” Annahmen auf Basis von Szenarien erforderlich. Bei wachsender Nachfrage nach produktbezogene Öko-Daten wird es (auch für Zwischenprodukte) erforderlich, dem jeweiligen Abnehmer Angaben zum im Produkt vergegenständlichten kumulierten Stufenaufwand (= “ökologischer Rucksack”) mitzugeben. Insofern ist ein Druck von Produzenten auf ihre Vorlieferanten zu erwarten.

Bei der Zementherstellung würde hier für den Standort x und das Verfahren y der betriebsbedingte Aufwand an Energie, Stoffen und Umweltbelastung mit dem Aufwand der stofflichen (u.a. Kalkbereitstellung) und energetischen (u.a. Stromerzeugung) Vorstufen einschließlich durchschnittlicher oder konkreter Transportdienstleistungen zum kumulierten Stufenaufwand = kumulierte Sachbilanz mit der Bilanzgrenze “Werktor aufgeladen” zusammengefasst.

1.2.3 Produktionsstättenvergleiche

Einzelne Unternehmen produzieren identische Produkte mit vergleichbaren Technologien an verschiedenen Standorten. Neben einem Vergleich der Kosten- und Gewinnsituation der Einzelstandorte kann eine vergleichende Analyse der standort-, umsatz- oder produktbezogenen Energie- und Stoffströme erfolgen. Basis des Vergleiches sind i.d.R. Prozess- bzw. Prozesskettenanalysen.

Bei der Zementherstellung werden u.a. identische Sorten auch innerhalb eines Unternehmens an unterschiedlichen Standorten hergestellt. Diese können verglichen werden. Zusätzlich sind Produktionsstättenvergleiche unternehmensübergreifend auf Verbandsebene üblich.

1.2.4 Technologievergleiche

Einzelne Produkte mit nahezu identischen Eigenschaften können mit unterschiedlichen Verfahren und Technologien sowohl innerhalb eines Unternehmens als auch innerhalb einer Branche hergestellt werden. Bei identischem Nutzen (= Produkt) können diese sich hinsichtlich Aufwand und Folgen für die Umwelt unterscheiden.

1.2.5 Bildung von gemittelten Werten (nach Produktionsanteilen) auf Verbandsebene

Im Rahmen einer ökologischen Bewertung von Bauprodukten und Bauwerken durch Planer ist eine fallkonkrete Untersuchung in frühen Planungsphasen weder sinnvoll noch möglich. Insofern werden zu Bauprodukten Durchschnittswerte zu kumulierten Sachbilanzen auf unterschiedlicher Aggregationsebene benötigt. Eine Wichtung nach Produktionsanteilen ist eine von mehreren Methoden einer Mittelwertbildung.

Bei der Zementherstellung und Betonproduktion werden Mittelwerte auf unterschiedlichen Aggregationsebenen benötigt. Beispiele sind

- *Mittelwerte für Zementsorten bei mehreren Produktionsstätten und/oder Verfahren*
- *Mittelwert für Zement allgemein*
- *Mittelwerte für Beton - spezifisch für einzelne Betonklassen*
- *Mittelwerte für Stahlbeton - spezifisch für Betonklassen und Bewehrungsgrade*
- *Mittelwerte für Transportbeton und Betonfertigteile*
- *Mittelwert für Beton und Stahlbeton allgemein*

1.2.6 Lebenswegbilanzen

Im Zusammenhang mit einer wachsenden Nachfrage bezüglich produktkonkreter Informationen zu umwelt- und gesundheitsrelevanten Eigenschaften werden Produkthersteller und -anbieter mit der Forderung konfrontiert, neben kumulierten Sachbilanzen und Ökobilanzen auf dem Niveau "from gradle to gate" auch Informationen auf dem Niveau "from gradle to grave" im Sinne einer Lebenswegbilanz bereitzustellen. Der dabei zu untersuchende Lebensweg umfasst die Vorstufen, die Herstellung, die Weiterverarbeitung/Anwendung, die Nutzung, (die "Dekomponierung", die Entsorgung).

Das zu beachtende Problem besteht in der Tatsache, dass ein Produkt mit Verlassen des Betriebes i.d.R. einer direkten Einflussnahme durch den Hersteller entzogen wird. Insofern hat er z.B. zwar die Recyclingfähigkeit des Produktes zu garantieren und Rücknahme- und/oder Recyclingmöglichkeiten anzubieten - haftet jedoch nicht für das tatsächliche Wieder- oder Weiterverwenden.

Der Lebensweg eines Produktes im Rahmen einer “vorausschauenden” Betrachtung erfolgt auf der Basis von Szenarien. Ein Bauprodukt kann häufig in unterschiedlichen Konstruktionen und Belastungssituationen zum Einsatz kommen. Insofern sind durchaus mehrere “Lebenswege” möglich, deren “Weichenstellung” außerhalb des direkten Einflussbereiches der Hersteller erfolgt. Es besteht daher ein Bedarf an einer modularartig aufgebauten und szenariengerecht erfolgenden Datenbereitstellung von Informationen zu einzelnen Phasen des “Lebens” des Produktes.

Zusätzlich kann der Fall eintreten, dass z.B. Grund- und Hilfsstoffe oder Halbzeuge und auch Bindemittel so in handelbare Güter eingehen, dass sie ihre Eigenschaften verlieren und insofern von einem eigenständigen Lebensweg nicht gesprochen werden kann. Es wird daher unterschieden zwischen:

1. *Bilanzen “cradle to gate”* mit anschließendem Übergang in ein übergeordnetes Produkt bei Verlust eigenständiger Eigenschaften,
2. *Lebenswegbilanzen “from cradle to grave”* für Produkte, die während Anwendung und Nutzung ihre eigenständigen Eigenschaften bewahren und deren differenzierte potentielle Lebenswege durch szenariengerechte Datenbereitstellung des phasenspezifischen Energie- und Stoffstroms beschreib- und bewertbar gestaltet werden.

Für die Datenbereitstellung bei Zement und Bindemitteln ist die Ebene “from cradle to gate” ausreichend. Bindemittel gehen in Folgeprodukte ein und verlieren dort ihre eigenständigen Eigenschaften.

Für eine Datenbereitstellung bei Betonprodukten ist eine szenariengerechte Aufbereitung für die Phasen Herstellung, Nutzung, Instandhaltung, Abriss, Entsorgung und Wiederverwendung erforderlich. Diese sollte zusätzlich die Anwendung in unterschiedlichen Bauteilen und Beanspruchungssituationen umfassen.

1.3 Anwendungsfälle bei Planung und Bewertung von Bauprodukten/Bauwerken

1.3.1 Produktbewertung und -optimierung auf der Ebene Baustoff

Während in der bauproduktherstellenden Industrie die produktbezogene Betrachtungsweise neben der prozess-, unternehmens- und/oder standortbezogenen Analyse und Bewertung der Energie- und Stoffströme steht, werden im Rahmen der Entscheidungsfindung im Planungsprozess eindeutig produktbezogene Daten benötigt.

Die Bereitstellung von Daten auf Produktebene zum Energie- und Stoffstrom einschließlich einer Bewertung ist eine Voraussetzung für eine auch ökologisch orientierte Produktauswahl im Planungsprozess. Hierbei verstehen sich ökologische Kriterien als zusätzlicher Bewertungsmaßstab u.a. zu Aspekten wie Kosten, Verfügbarkeit oder Gestaltungsmöglichkeiten. Die ökologische Bewertung erfolgt z.B. auf Ebene der Material- und/oder Energieintensität. Die Bewertung eines Produktes “an sich” je Masse oder Volumen ohne Bezug zu einer bauwerkerelevanten funktionellen Einheit ist jedoch problematisch.

Für Produkthersteller bieten derartige Analysen gleichzeitig Ansatzpunkte für eine Produktverbesserung (“Optimierung”) und die Ausarbeitung von Marketing-Strategien.

Bei Zement findet eine Produktauswahl durch Planer auf der Ebene bewerteter Energie- und Stoffströme i.d.R. nicht statt. Auf Seiten der Hersteller erfolgt die Bewertung ggf. im Rahmen der Produktentwicklung, z.B. Effekte durch Zuschlagstoffe oder thermische Verwertung von Reststoffen im Brennprozess.

Bei Beton dienen bewertete Angaben zum Energie- und Stoffstrom dem Planer als Ansatzpunkte für eine Meinungsbildung im Rahmen einer Vorauswahl. Im Bereich der Produktoptimierung kann der Effekt von verschiedenen Rezepturen zur Sicherung identischer Betonklassen hinsichtlich Stoff- und Energieaufwand sowie resultierender Umweltbelastung untersucht werden.

1.3.2 Produktbewertung und -optimierung auf der Ebene Bauteil

Unter Bauteil wird im Rahmen dieser Ausführungen ein sich aus mehreren Bauprodukten zusammensetzendes Konstruktionsteil (z.B. Stahlbetonfertigteile, Fenster) verstanden. Häufig stehen beteiligte Bauprodukte untereinander in einem bestimmten, sich gegenseitig beeinflussenden Verhältnis, um die gewünschte Gesamtfunktion zu realisieren. Hieraus ergeben sich zusätzlich Ansätze für eine Optimierung des Bauteils.

Die kumulierte Sachbilanz des Bauteils muss die Massenanteile der Einzelprodukte ebenso umfassen wie den Transport- und Herstellungsaufwand im Rahmen der Produktion des Konstruktionsteils. Häufig treten hier Probleme auf - z.B. werden Fenster teilweise nur über ihre Glas- und Rahmenmaterialien ohne Herstellungsaufwand im Fensterwerk bilanziert.

Für Bauteile kann die Möglichkeit der Beschreibung einer bauwerkerelevanten funktionellen Einheit bereits angenommen werden. Insofern bieten bewertete Angaben zum Energie- und Stoffstrom dem Planer direkte Grundlagen für eine Auswahl.

Für konkrete oder durchschnittliche Stahlbetonkonstruktionen können je nach Tragfähigkeit bewertete Angaben zum Energie- und Stoffstrom für Planer bereitgestellt werden. Ggf. kann zwischen flächigen und stabförmigen Elementen unterschieden werden.

1.3.3 Aggregationsebene Element

Sowohl im Rahmen der Kostenermittlung (siehe DIN 276) als auch im Bereich der computergestützten Planung von Gebäuden setzt sich mehr und mehr die Methode der Beschreibung und Verwendung von Elementen durch. Unter einem Element wird hierbei der Teil eines Bauwerkes im eingebauten Zustand verstanden - z.B. 1 m² Außenwand. Je nach Grad der Komplexität oder der Detaillierung kann zwischen Makro-, Grob- und Feielementen unterschieden werden.

Bezüglich der Energie- und Stoffströme repräsentiert das Element spezifische oder durchschnittliche Aufwendungen für die Herstellung und den Antransport beteiligter Bauprodukte einschließlich aller Vorstufen sowie möglicher Streu-, Bruchverluste und Verschnitte bei Antransport und Verarbeitung und die Aufwendungen infolge der Bauprozesse.

Für den Herstellungs- oder Erstaufwand ergibt sich eine bauwesenspezifische Systemgrenze “von der Wiege bis zum Einbauort einschließlich Einbau”.

Im Rahmen von Entwurfsentscheidungen besteht ein Bedarf an Aussagen zum weiteren Verhalten des Elementes während seiner Lebensdauer und zu den damit verbundenen Energie- und Stoffströmen. Diese "Lebenswege" können jedoch in Abhängigkeit von Lage, Beanspruchung, Art der Wartung, Art von Abriss und Entsorgung durchaus unterschiedlich verlaufen. Es ist daher notwendig, Angaben für den Energie- und Stoffstrom infolge Wartung, Pflege, Instandsetzung, Zerlegung, Entsorgung u.a. modulartig für die Anwendung in verschiedenen Szenarien bereitzustellen. Erst unter Annahme bestimmter Szenarien ist ein Zusammensetzen der Module für eine Bilanz "von der Wiege bis zur Bahre" möglich und sinnvoll. Eine Veröffentlichung "allgemeingültiger" Lebenszyklusbilanzen für Einzelelemente erscheint vor diesem Hintergrund wenig seriös und im Ansatz unkorrekt. Es ist zusätzlich zu beachten, dass Entscheidungen auf der Aggregationsebene Gebäude die Szenarien auf der Ebene "Elemente" dominieren können - z.B. Wahl der Nutzungsdauer, Wahl der Abrissart u.a..

Das Element repräsentiert neben einer stofflich-konstruktiven & technologischen und/oder systemtechnischen Lösung gleichzeitig im Sinne eines funktionalen Äquivalentes die Summe zu erfüllender Anforderungen und Eigenschaften. Somit ist auf der Ebene Element unter Einbeziehung identischer Szenarien die volle Vergleichbarkeit zwischen Varianten gegeben.

1.3.4 Aggregationsebene Einzelbauwerk

Bauwerke sind im Entscheidungsfindungsprozess der Planer i.d.R. der eigentliche Bewertungsgegenstand - die Funktionseinheit. Versuche einer Teiloptimierung auf untergeordneten Aggregationsebenen stellen einen Versuch dar, die Komplexität des Problems über eine Auflösung zu bewältigen.

Es besteht zunächst die bauwesentypische Systemgrenze "von der Wiege bis zur Übergabe". Es werden die Aufwendungen der Investition analysiert. Bei Anwendung der Element-Methode kann ein Bauwerk als Summe seiner Elemente beschrieben werden. Im Rahmen von Analyse- und Optimierungsabläufen besteht ein Interesse an der Feststellung des Anteils einzelner Bauprodukte, Bauteile, Elemente oder Prozesse an Gesamtaufwand und Gesamtbelastung.

Im weiteren Lebensweg besteht die Möglichkeit einer Systematisierung von Aufwendungen in "konstruktionsbezogen" (= Herstellung und Instandhaltung) und "funktionsbezogen" (= Betreiben im Sinne Beheizen, Beleuchten, Belüften usw.) oder in "einmalig" (= Herstellung) und "laufend" (= Instandhaltung und Betreiben). Im Unterschied zu kurzlebigen Konsumgütern weisen Gebäude eine lange Nutzungsdauer auf, was einen Einfluss auf das Verhältnis von einmaligem zu laufendem Aufwand sowohl an Kosten als auch an Energie- und Stoffströmen hat. Gleichzeitig haben sie die Besonderheit, infolge Beheizung, Beleuchtung und anderer Aktivitäten zur Herstellung und Aufrechterhaltung einer bestimmungsgemäßen Nutzung einen vergleichsweise hohen Energieaufwand zu verursachen.

Das sehr komplexe Gebilde "Gesamtbauwerk" hat als solches einen hohen Einfluss auf den Energieaufwand zum Betreiben - insbesondere zum Beheizen. Für die Ermittlung eines Aufwandes an Energie und Stoffen für das Beheizen ist zunächst eine Energiebilanz erforderlich, die einen sich aus Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten sowie inneren und solaren Wärmegegewinnen und unter Annahme von Szenarien zum Klima, zur Nutzung u.a. ergebenden Heizwärmebedarf ergibt. Der ermittelte Nutzwärmebedarf führt unter Annahme eines Heizungssystems und eines gewählten Energieträgers zu Angaben über einen zu erwartenden mittleren Endenergieaufwand. Unter Verwendung von Daten und Szenarien zum Aufwand für die Bereitstellung der Endenergie (Vorstufen) lässt sich ein Gesamtaufwand ermitteln. Ein Vergleich von einmaligen und laufendem Aufwand unterhalb der Aggregationsebene Bauwerk führt zu Problemen und ist teilweise unkorrekt (z.B. Vergleich Primärenergieaufwand zur Herstellung eines Außenbauteils mit den Transmissionswärmeverlusten = Nutzenergiebedarf).

Im Rahmen der Ergebnisdarstellung sind u.a. folgende Kennwerte typisch:

- Erstaufwand, laufender Aufwand/Jahr, Endaufwand
- Gesamtaufwand während eines Nutzungs-/Betrachtungszeitraumes
- Aufwand/Jahr während eines Nutzungs-/Betrachtungszeitraumes infolge Errichtung, Nutzung, Instandhaltung.

Es ergeben sich diverse Analyse- und Optimierungsmöglichkeiten.

1.3.5 Aggregationsebene Siedlungsstruktur/Region

Neben Fragen zu Einzelobjekten existieren Probleme der Planung, Bewertung und Entscheidungsfindung auch auf städtebaulicher und raumplanerischer Ebene. Zusätzlich zur Ermittlung und Beurteilung der Energie- und Stoffströme während der Nutzungsdauer der Einzelgebäude werden Aufwendungen für Bauwerke der Infrastruktur ebenso einbezogen wie der Personen- und Güterverkehr. Neben einer Bewertung des Gebäudes an sich werden so Untersuchungen zu Varianten der Standortwahl, der verkehrstechnischen Anbindung, der Notwendigkeit und Auslastung von Bauwerken der Infrastruktur u.a. möglich.

1.3.6 Aggregationsebene Dienstleistung (z.B. Wohnen -lifestyle - Untersuchungen)

Die Komplexität der Nutzung von Gebäuden einschließlich aller Wechselbeziehungen zwischen Bauwerk, Nutzer und Umwelt verursacht i.d.R. Probleme bei der Vereinbarung von Systemgrenzen.

Typisch sind Probleme der Abgrenzung bei Fragen, ob ein Aufwand hinsichtlich seiner Verursachung überwiegend dem Gebäude (z.B. Beheizung) oder überwiegend dem direkten Nutzer (z.B. Energieaufwand für Kochen) zugeordnet werden soll.

U.a. ergeben sich derartige Fragen bei hochinstallierten Bürogebäuden, deren innere Wärmelasten zu einer Reduzierung des Heizwärmebedarfes beitragen. Eine mögliche Lösung ist die Aufweitung des Untersuchungsgegenstandes vom Bauwerk auf die Dienstleistung "Wohnen" bzw. "Bürotätigkeit" - z.B. Buchungsvorgang o.a.).

Zusätzlich zum Lösungsansatz methodischer Probleme ergibt sich aus Fragen der politikbegleitenden Beratung die Frage nach den Energie- und Stoffströmen, die durch bestimmte Verhaltensweisen ausgelöst werden. Neben Themenbereichen wie Tourismus, Freizeit, Verkehr u.a. hat sich das Bedürfnisfeld "Bauen und Wohnen" als Untersuchungsgegenstand etabliert.

Für einen verwertbaren Erkenntnisgewinn bleibt das Vereinbaren sinnvoller Systemgrenzen unerlässlich. Eine zunehmende Aufweitung der Systemgrenzen würde zur Aufteilung aller Energie- und Stoffströme auf z.B. alle Menschen führen und so Ansatzpunkte für konkrete Beeinflussungsmaßnahmen nicht mehr erkennbar werden lassen.

1.3.7 Aggregationsebene Gebäudebestand

Im Unterschied zu bisher diskutierten Aggregationsebenen hat der Untersuchungs- und Bewertungsgegenstand "Gebäudebestand" überwiegend strategische Bedeutung. In den Vordergrund treten Fragen der Analyse der dynamischen Entwicklung des Gebäudebestandes, der hinsichtlich seiner in ihm vergegenständlichten Stoff- und Energiemengen selbst als zu bewirtschaftende Ressource zu betrachten ist. Die Analyse des jährlichen Energie- und Stoffstroms im Sinne eines gebäudebestandsbezogenen input und output kann für das Ressourcenmanagement z.B. bei Verteilfragen (wieviel Material und Energie wird für Bau und Unterhalt von Gebäuden, wieviel für Ihre Beheizung aufgewendet und wie verändert sich die Relation und der Gesamtaufwand z.B. bei verstärkter Sanierung) Aussagen liefern. Nachgefragte Informationen sind u.a.

- jährlicher input und output an Energie und Stoffen
- Vorhersage der dynamischen Entwicklung von input und output.

Die Aggregationsebene "Gebäudebestand" eignet sich zusätzlich für einen Vergleich und einen Abgleich von Daten, die nach bottom-up- und top-down-Ansätzen auf Basis einer volkswirtschaftlichen Verflechtungsbilanzierung ermittelt wurden.

1.4 Fazit

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Methode der Ermittlung und Bewertung von Energie- und Stoffströmen - hier insbesondere im Zusammenhang mit dem Kriterium "kumulierter Energieaufwand" - allein im Bauwesen auf unterschiedlichen Ebenen für differenzierte Untersuchungsgegenstände und Bedürfnislagen angewendet werden kann.

Jeder dieser Anwendungsfälle erfordert spezifische Systemgrenzen und Vorgehensweisen, die jeweils transparent zu dokumentieren sind.

Es wird empfohlen, Konventionen nicht allgemein, sondern spezifisch für typische Anwendungsfälle und Bewertungsaufgaben zu vereinbaren.

2 KEA-Richtungssicherheit im Baubereich: Ebene Bauprodukt

An Beispielen aus dem Baubereich soll die **Richtungssicherheit** von **KEA** überprüft werden. Dabei wird zur Berechnung des KEA die im **Projekt entwickelte** Methodik¹ angewandt. Die Untersuchung soll dabei das Bauprodukt, das Bauteil (Decken, Außenwände) und weitere höher aggregierte Bauteile bzw. Bauteilgruppen umfassen. Dieses Kapitel dient dazu, die neu entwickelte methodische Sichtweise anhand von Beispielen aus dem Baubereich zu illustrieren - die Beispiele stellen *keine* Ökobilanzen dar.

Der **Kumulierte Energie Aufwand** (KEA) kann zur Bewertung von Produkten und Dienstleistungen als ein zusätzlicher Indikator im Rahmen von Ökobilanzen nach ISO-Norm oder als ein alleiniger Indikator im Rahmen einer "Sreening"-LCA (Ökobilanz) dienen.

In diesem Kapitel soll der Einsatz des KEA als Indikator im Rahmen einer Kurz-Ökobilanz oder "Sreening-LCA" diskutiert werden. Nach dem Arbeitspapier zu Allokationsfragen² müssen für den Einsatz des KEA als alleinigen Indikator in einer Kurz-Ökobilanz folgende Bedingungen gefordert werden:

- Der Indikator muss die relevanten Umweltaspekte der Produkte oder Dienstleistung abdecken (qualitative Analyse) und
- Für den Indikator muss seine Aussagefähigkeit hinsichtlich der relevanten Umweltaspekte im Rahmen einer konventionellen Ökobilanz (quantitative Analyse) nachgewiesen werden.

Ein typischer Einsatzzweck einer solchen Kurz-Ökobilanz wäre eine "Hot-Spot-Analyse" oder die Einzeldiskussion von (Produkt-) Varianten mit nur einem Indikator, der im Rahmen einer Ökobilanz als aussagefähig eingestuft werden kann.

Aus Projekten³ zu "Bauen&Wohnen" in Deutschland kann abgeleitet werden, dass für Gebäude (Errichtung und Betrieb) das Treibhaus- und Versauerungspotential die Bewertung⁴ bestimmt. Damit sind Treibhaus- und Versauerungspotential geeignet, als quantitativer Maßstab zur Überprüfung des KEA als Leitindikator für den Baubereich zu dienen. Die Überprüfung gilt nur für den Baubereich und ist mit folgenden Einschränkungen verbunden:

- "Gleiches mit Gleichem": Die Überprüfung vergleicht die Umweltindikatoren nur für Bauprodukte und aus ihnen zusammengefasste Bauteile oder Dienstleistungen, die einem ähnlichen Zweck dienen. Der Vergleich von Produkten oder Dienstleistungen für unterschiedliche Anwendungen ist nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Damit wird die Aussagefähigkeit gleichzeitig auf den Baubereich eingegrenzt.
- "Vollständigkeit der Indikatoren": Bedingungen für einen konsistenten Vergleich ist eine nahezu vollständige Datenbasis für alle drei Indikatoren.
- "KEA neu": Der Indikator KEA wird nach der in diesem Projekt entwickelten Methodik berechnet. Die Gültigkeit dieses Vergleiches bezieht sich daher nur auf "KEA-neu".

¹ Siehe dieses Projekt

² Einsatz KEA in Sreening LCA – Rückschlüsse aus den Ergebnissen der SETAC-Arbeitsgruppe

³ siehe UBA-Forschungsprojekt und Bericht der Enquete-Kommission zum Bauen & Wohnen

⁴ der ebenfalls wichtige Indikator "Flächeninanspruchnahme" ist weniger eine Funktion des Baubereichs (Bauproduktes, z.B. Mauerwerk) als der Gestaltung

Der KEA wird mit dem Treibhauspotential (CO₂-Äquivalente) und dem Versauerungspotential (SO₂-Äquivalente) für einzelne Produktbereiche verglichen. Das Treibhauspotential wird dabei nur mit dem KEA-nichterneuenerbar in Beziehung gesetzt, aus den anderen KEA Untergliederungen wird kein Treibhausgas freigesetzt. Das Versauerungspotential wird der KEA-Summe gegenübergestellt.

Ziel des Vorhabens ist die Feststellung der **Richtungssicherheit** des KEA hinsichtlich der beiden anderen Indikatoren. Der KEA gilt dann als richtungssicher, wenn die Bewertung eines Produktes anhand des KEA der Bewertung über die Leitindikatoren Treibhaus- und Versauerungspotential eindeutig folgt. Grundsätzlich kann die Richtungssicherheit als eine

- **lineare** Entwicklung des KEA-Indikators mit den beiden anderen Indikatoren verstanden werden. Da aber diese Art der Übereinstimmung für das Verhältnis von Treibhauspotential zu Versauerungspotential im allgemeinen nicht gilt, ist auch eine Überstimmung von KEA zu Treibhausgaspotential **und** Versauerungspotential nur im Einzelfall gegeben.
- Erhaltung der **Rangfolge** der Varianten (Bauteile, Bauprodukte) hinsichtlich KEA, Treibhausgaspotential und Versauerungspotential beurteilt werden. Im Vergleich von Produkten soll dabei die Rangfolge der drei Indikatoren erhalten bleiben.

Für die folgenden Beispiele aus dem Baubereich soll die **Richtungssicherheit** nur anhand der **Rangfolge** festgestellt werden.

2.1 Holz

Holzprodukte haben für den Bausektor eine hohe Relevanz. Sie werden traditionell für den Dachstuhl, für den Innenausbau (Spanplatte) und zunehmend wieder für die Grundkonstruktion (Rahmenbauweise) verwendet. Als Holzprodukte werden betrachtet:

- Fichtenstamm ab Wald: der geschlagene Fichtenstamm, bereit zum Abtransport aus dem Wald ohne weitere Bearbeitung.
- Fichtenstamm frei Sägewerk: Fichtenstamm ab Wald inklusive Transport
- Schnittholz - feucht: Schnittholz aus Fichtenstämmen mit einer Feuchte von u=40%.
- Schnittholz-getrocknet: Schnittholz-feucht technisch getrocknet auf eine Feuchte u=15%.
- BSH: Brettschichtholz aus Fichte mit einer Feuchte von 15%.
- Sperrholz: aus Fichte hergestelltes Sperrholz (verleimte Schäl furniere).
- Spanplatte: aus Resthölzern und Industrieholz hergestellte Spanplatte

Die obigen Beispiele von Holzprodukten werden aus methodischer Sicht behandelt. Ein vergleichbares Einsatzgebiet der Holzprodukte liegt nicht vor.

Die Daten sind im GEMIS-Datensatz "KEA" enthalten⁵. Das Ergebnis der Bilanzierung ist in der folgenden Tabelle und Grafik dargestellt:

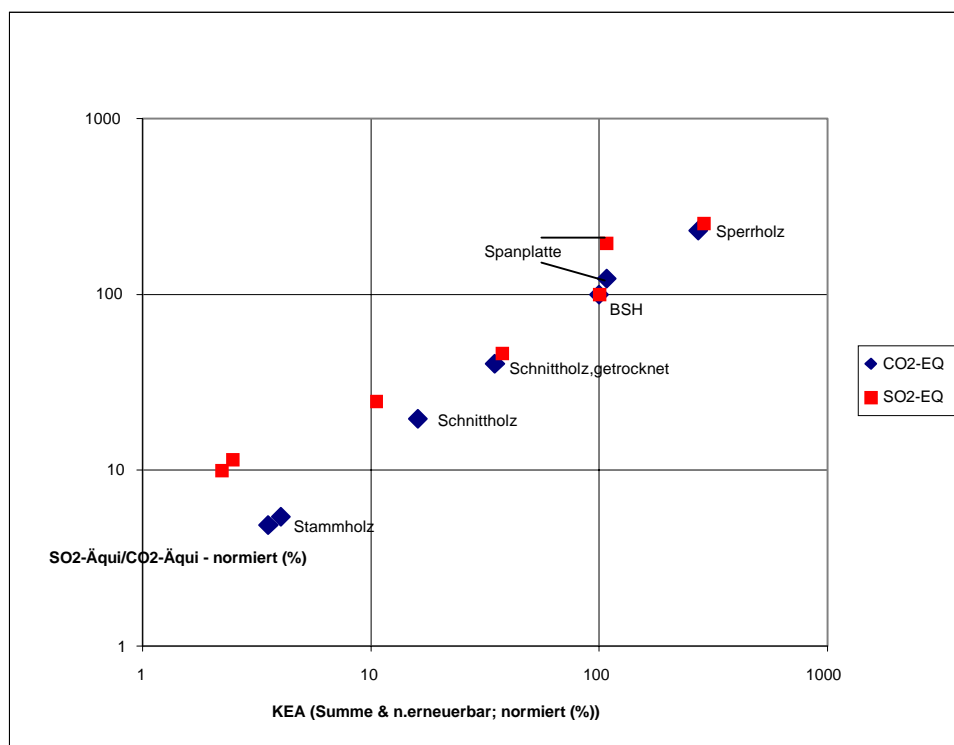
⁵ zu weiteren Details der Bilanzierung siehe das eigene Arbeitspapier zur KEA-Methodik

Tabelle 1 KEA und Emissionen von Holzprodukten

		Stamm frei Wald	Stamm Säge- Werk	Schnitt- holz	Holz ge- trocknet	BSH- Fichte	Sperr-holz	Span- platte
SO ₂ -EQ	g/m ³	67	77	166	311	674	1507	1336
CO ₂ -EQ	kg/m ³	11	12	44	89	222	517	275
KEA Summe	MJ/m ³	130	146	616	2181	5852	16240	6338
KEA nichterneuerbar	MJ/m ³	127	144	575	1255	3584	9748	3832
KEA neu erneuerbar	MJ/m ³	3	3	29	47	130	272	100
KEA neu andere	MJ/m ³	0	0	13	879	2138	6220	2405
SO ₂ -EQ	%	9,9	11,4	24,7	46,1	100,0	223,6	198,2
CO ₂ -EQ	%	4,9	5,5	19,7	40,2	100,0	233,2	123,9
KEA Summe	%	2,2	2,5	10,5	37,3	100,0	277,5	108,3
KEA nichterneuerbar	%	3,6	4,0	16,0	35,0	100,0	272,0	106,9
KEA neu erneuerbar	%	2,0	2,0	22,1	36,4	100,0	209,2	77,1
KEA neu andere	%	0,0	0,0	0,6	41,1	100,0	290,9	112,5
Rangfolge								
CO ₂ / KEA-n.erneuerb.		(7/7)	(6/6)	(5/5)	(4/4)	(3/3)	(1/1)	(2/2)
SO ₂ / KEA-Summe.		(7/7)	(6/6)	(5/5)	(4/4)	(3/3)	(1/1)	(2/2)

Die Grafik stellt die CO₂-Äquivalente dem KEA-nichterneuerbar und die SO₂-Äquivalente der KEA-Summe gegen (in der Tabelle grau unterlegt). Um zum besseren Vergleich beide in einer Graphik darstellen zu können, umfasst die X-Achse sowohl KEA-Summe als auch KEA-nichterneuerbar. Vergleiche zwischen SO₂-Äquivalenten und CO₂ -Äquivalenten dürfen aufgrund des unterschiedlichen KEA (Bezugspunkt) nicht durchgeführt werden.

Bild 1 KEA und Emissionen von Holzprodukten



Die Grafik ist **doppelt-logarithmisch** aufgebaut, da die betrachtete Produktgruppe einen großen Bereich umfasst. Die Datenpunkte der einzelnen Holzprodukte sind gekennzeichnet. Für die Abhängigkeit der CO₂-Äquivalente von KEA-nichterneuerbar ergibt sich ein weitgehend linearer Verlauf. Die Auftragung der SO₂-Äquivalente gegenüber der KEA-Summe zeigt demgegenüber Abweichungen.

Es können zwei Gruppen unterschieden werden. Brettschichtholz (BSH), Sperrholz und getrocknetes Schnittholz bilden eine Gruppe mit recht guter Übereinstimmung. Abweichungen davon muss bei Spanplatte, Schnittholz und den Rohprodukten festgestellt werden.

Während bei der ersten Gruppe die SO₂-Äqui-Emissionen aus der Prozesswärme und Stromherstellung stammen, überwiegen bei der zweiten Gruppe Transportemissionen. So stellt der Einsatz von Brennstoffen in transportablen Maschinen und in Lastwagen bei den Rohprodukten den wichtigsten Anteil des KEA-Summe dar. Beim Schnittholz ist dieser Anteil aus den Vorprodukten immer noch bestimmend. Die Transportaufwendungen für die Spanplattenproduktion werden durch die weitere Transportentfernung und den Einsatz von Industrieholz mit deutlich höherer Feuchte verursacht.

Die Übereinstimmung zwischen KEA-nichterneuerbar und CO₂-Äquivalenten ist deutlich höher als zwischen SO₂-Äquivalenten und KEA-Summe. Gleichwohl sind auch hier Unterschiede zwischen den Produktgruppen sichtbar: Produkte mit hohem Energieeinsatz (BSH, Sperrholz) weisen einen geringfügig höheren KEA pro CO₂-Emissionen auf (Strom, Gas).

Die Richtungssicherheit des KEA ist innerhalb der Gruppe der Holzprodukte gegeben.

Die Rangfolge zwischen den einzelnen Produkten hinsichtlich des Treibhaus- und Versauerungspotential und den zugeordneten KEA bleibt erhalten.

2.2 Frischbeton

Frischbeton wird aus hydraulischem Bindemittel, Sand/Kies und Wasser durch Mischen hergestellt. Er wird durch seine Festigkeitsklasse (B5= Nennfestigkeit 5 N/mm²; Serienfestigkeit 8N/mm²; Festigkeitsklassen B5, B10, B15, B20, B25, ...B55 nach DIN 1045) charakterisiert. Ein gebräuchlicher Beton ist B25, der für bewehrten Beton im Hausbau eingesetzt wird.

Eine festgelegte Zusammensetzung von Beton B25 existiert nicht, sondern kann im Rahmen der DIN Vorschrift frei gewählt werden. Neben Rezepturen, die als Binder nur Portlandzement (PZ) enthalten, können auch Zemente aus Portlandzement mit Zuschlagstoffen wie Hüttensand, Steinkohlenflugasche, gebrannter Ölschiefer, Puzzolan/Traß oder kieselsäurereiche Flugasche gewählt werden.

Da Zementklinker (als Vorstufe des Portlandzementes) in einem Hochtemperaturprozess hergestellt werden, sind die oben aufgeführten Abfälle/Ersatzstoffe interessant. Aus ökologischer Sicht kommt hinzu, dass bei der Klinkerproduktion geogenes CO₂ abgespalten wird, d.h. der Klinkerproduktionsprozess mit hohen CO₂-Emissionen belastet ist.

In dem folgenden Beispiel werden ein Beton aus Portlandzement und alternativ aus Hochofenzement⁶ betrachtet werden. Hochofenzement enthält Portlandzement und Hüttensand, der durch Abschrecken von Hochofenschlacke gewonnen wird. Der Hüttensand wird als Sekundärressource also ohne Vorbelastung bilanziert. Bilanziert wird die Konditionierung des Hüttensandes (Mahlen, Trocknen).

Die Materialzusammensetzung beider Betone kann der folgenden Tabelle entnommen werden:

Tabelle 2 Zusammensetzung unterschiedlicher Betone

	Einheit	Beton B25	
		Rezeptur A	Rezeptur B
Zement CEM I	t/t	0	0,1217
HOZ CEM III/A	t/t	0,1217	0
Waschkies	t/t	0,7847	0,7847
Flugasche	t/t	0,0174	0,0174
Wasser	t/t	0,0761	0,0761

Inklusive Transport können für jeweils 1t Beton B25 folgende Emissionen und Energieaufwendungen bilanziert werden:

Tabelle 3 KEA und Emissionen unterschiedlicher Betone

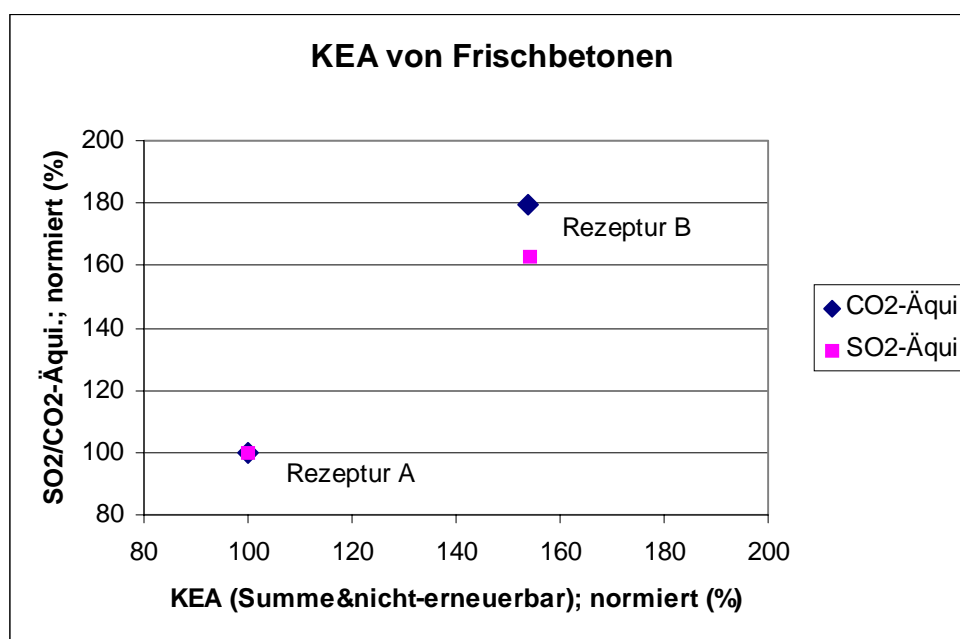
	Einheit	1 t Frischbeton-B25	
		Rezeptur A	Rezeptur B
SO ₂ -Äqui.	kg	0,16	0,26
CO ₂ -Äqui.	kg	73	131
KEA-Summe	MJ	495	764
KEA-nichternewbar	MJ	485	745
KEA-erneuerbar	MJ	3	5
KEA- andere	MJ	7	13
SO ₂ -Äqui.	%	100	162,5
CO ₂ -Äqui.	%	100	179,7
KEA-Summe	%	100	154,2
KEA-nichternewbar	%	100	153,7
KEA-erneuerbar	%	100	177,7
KEA-andere	%	100	177,0
Rangfolge			
CO ₂ /KEA-n.erneuerbar		(2/2)	(1/1)
SO ₂ /KEA-Summe		(2/2)	(1/1)

⁶ Hochofenzement (HOZ) kann zwischen 36-65% Hüttensand enthalten, für dieses Beispiel wird ein Mittelwert von 50% Hüttensand und 50% Klinker angesetzt.

Die Ergebnisse sind im oberen Teil der Tabelle als absolute Werte und im unteren Teil prozentual, normiert auf die Rezeptur A (HOZ enthaltenden Beton), dargestellt. KEA - erneuerbar und KEA-andere sind von untergeordneter Bedeutung und können in dieser Diskussion vernachlässigt werden. Die KEA-Summe der Rezeptur B (Beton mit hohem Portlandzement Anteil) ist um 54 %, die SO₂-Emissionen um 63 % und die CO₂-Emissionen um 80 % höher. Bestimmend für beide Emissionen sind die hohen Emissionen der Klinkerherstellung. Da die Rezeptur B doppelt soviel Klinker enthält wie der Beton der Rezeptur A ist die Steigerung der Emissionen im Verhältnis zum KEA verständlich.

Für dieses Beispiel ist die allgemeine Richtungssicherheit des KEA gegeben, wenn auch keine strikte Linearität zwischen KEA und Emissionen vorliegt.

Bild 2 KEA und Emissionen von Frischbetonen



2.3 Vergleich von Produktionsstätten zur Herstellung von porösen Ziegeln

Im Gegensatz zum vorangehenden Kapitel soll an dieser Stelle nicht verschiedene Produkte sondern verschiedene Produktionsstätten zur Herstellung ein und desselben Produktes betrachtet werden.

Ziegel zur Errichtung von Außenwänden sind poröse, gebrannte Tonkörper. Sie werden in relativ kleinen Ziegelwerken hergestellt, die im allgemeinen die lokalen Tonlagerstätten nutzen. Ton kann dabei nicht als einheitliches Material angesehen werden. Die Hauptbestandteile der Tone unterliegen deutlichen Schwankungen. Die Tone selber enthalten organisches Material (Humus, Torf, Braunkohle).

Die Tone werden in meistens betriebseigenen Lagerstätten gefördert und zur Produktionsstätte transportiert. Dort werden sie aufgearbeitet, mit Porosierungsmittel versetzt und in Öfen gebrannt. Zwei ausgewählte Werke (W2&W4) werden dem Durchschnitt mehrerer Ziegelwerke gegenübergestellt.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die betrachteten Inputströme:

Tabelle 4 Input einzelner Ziegelwerke und durchschnittlicher Input mehrerer Werke

Input		Werk2	Werk4	Durchschnitt aus 12 Werken
Ton	t/t	1,320	1,230	1,350
Sägemehl	t/t	0,037	0,051	0,032
Natursteinmehl	t/t	0,000	0,002	0,000
Wasser	t/t	0,212	0,094	0,100
Braunkohlestaub	t/t	0,023	0,000	0,000
Erdgas	MJ/t	1135	1625	1310
Strom	kWh/t	35	36	42
Diesel	MJ/t	29	46	0
Angaben in MJ/t aus obiger Tabelle				
Sägemehl	MJ/t	716	994	620
Braunkohle	MJ/t	510	0	0

Hauptbrennstoff ist Erdgas. Deutliche Differenzen bestehen hinsichtlich "Energieträgern" wie Sägemehl und Braunkohle, die zur "Porosierung" in den Frischton eingemischt werden. Die Emissionen der Brennöfen sind sehr verschieden. Die Emissionen werden vom Ton bestimmt, insbesondere hinsichtlich Fluorwasserstoff, Chlorwasserstoff und Schwefeldioxid. Die Angaben zur CO₂-Emission in der Ökobilanz sind um die CO₂-Emissionen aus Sägespäne korrigiert worden. Das Ergebnis zeigt nachfolgende Tabelle und Grafik:

Tabelle 5 KEA und Emissionen zur Ziegelherstellung

	Einheit	Ziegelherstellung		
		Werk2	Werk4	Durchschnitt aus 12 Werken
SO ₂ -Äqui.	kg	0,31022	0,13416	0,44239
CO ₂ -Äqui.	kg	151	189	194
KEA-Summe	MJ	2985	3157	2578
KEA-nichtererneuerbar	MJ	2241	2134	1950
KEA-erneuerbar	MJ	8	8	7
KEA-andere	MJ	736	1015	622
SO ₂ -Äqui.	%	70,1	30,3	100
CO ₂ -Äqui.	%	77,7	97,2	100
KEA-Summe	%	115,8	122,5	100
KEA-nichtererneuerbar	%	114,9	109,5	100
KEA-erneuerbar	%	110,6	118,6	100
KEA- andere	%	118,5	163,3	100
Rangfolge				
CO ₂ /KEA-n.erneuerbar		(3/1)	(2/2)	(1/3)
SO ₂ /KEA-Summe		(2/2)	(3/1)	(1/3)

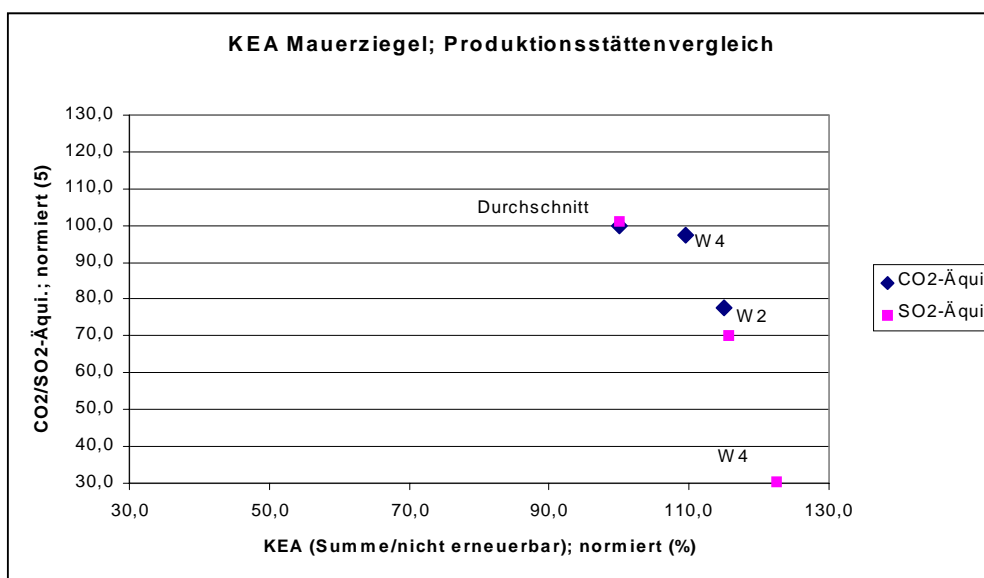
Der Durchschnittswert aus mehreren Ziegelwerken ist als Bezugspunkt auf 100% gesetzt worden. Für die beiden ausgesuchten Werke finden sich erhöhte Energieeinsätze, die sich sowohl im KEA-Summe als auch im KEA-nichtererneuerbar wiederfinden. Die korrespondierenden Emissionen der beiden Werke 2&4 sind hingegen deutlich geringer.

Schränkt man den Vergleich auf die beiden Einzelwerke ein, so zeigt das Werk 2 den höchsten Einsatz an KEA-nichtererneuerbar, jedoch die niedrigeren CO₂-Emissionen. Für die KEA-Summe ist das Verhältnis genau umgekehrt. Das Werk weist den höheren KEA-Summe Bedarf aus, jedoch die niedrigeren SO₂-Emissionen.

Neben den in Branchenvergleichen immer auftretenden Bilanzierungsungenauigkeiten aufgrund unterschiedlicher Interpretation der Systemgrenzen, können zwei Effekte für diesen Sachverhalt identifiziert werden:

1. Bei den CO₂-Emissionen werden je nach Tontyp geogene oder aus nicht quantifizierten Humuskohlenstoff resultierende Emissionen mitgemessen und mitbilanziert. Eine Fehlerquelle der Bilanzierung im GEMIS-Datensatz kann in der Bereinigung der CO₂-Emissionen für die eingesetzten Sägespäne liegen. Diese Bereinigung verändert aber nur die absoluten Emissionen und weniger die relativen.
2. Die SO₂-Emissionen werden deutlich bestimmt durch die eingesetzten Materialien. So kann Braunkohlestaub und Reststoffe für höhere SO₂-Emissionen, der Ton selber für HF-, HCl- und SO₂-Emissionen sowie der eingestellte Brand für die Höhe der NO₂-Emissionen verantwortlich sein. Alle Parameter sind von örtliche Gegebenheiten abhängig.

Bild 3 KEA und Emissionen von Mauerziegeln



Für die Richtungssicherheit des KEA zeigt dieses Beispiel, dass unterschiedliche Produktionsgegebenheiten verbunden mit hohen prozessbedingten Emissionen zu einem Verlust der Richtungssicherheit führen. Da die Emissionen weniger verbrennungsbedingt sondern prozessbedingt sind, kann der Energieeinsatz oder KEA nicht als Leitgröße für die Emissionen dienen.

2.4 Solarkollektoren

Ein Solarkollektor nutzt die Einstrahlung der Sonne und wandelt die Strahlung in Wärme um. Solarkollektoren auf Häusern werden für die Warmwasserversorgung im Sommer genutzt und ersetzen dadurch im allgemeinen fossilen Brennstoff. Die Produktion eines Solarkollektor soll anhand der vorliegenden Beispielrechnung der VDI-RL 4600 mit GEMIS nachvollzogen werden. Ohne die Leistungsfähigkeit der beiden Kollektoren näher zu betrachten, wird die funktionelle Einheit auf das Marktangebot „Kollektor für eine unterstützte Brauchwassererwärmung bei einem Einfamilienhaus in Deutschland“ festgelegt.

Es werden zwei Typen von Solarkollektoren betrachtet:

- Flachkollektor mit Aluminium-Gehäuse
- Vakuum-Röhren-Kollektor

Beide unterscheiden sich neben ihrer Materialzusammensetzung durch ihre unterschiedliche Fähigkeit die eingestrahlte Sonnenenergie zu nutzen.

Der Flachkollektor⁷ ist dabei mit 6,15 m² größer als der Vakuum – Röhrenkollektor mit 5 m².

Der Materialaufwand der Kollektoren wird bilanziert und für Montage und Wartung ein Zuschlag auf den Materialbezug von 10 % bzw. 5 % vorgenommen.

Die etwas vereinfachte Materialbilanz wie er in diesem Projekt eingestellt wird, kann der folgenden Aufstellung entnommen werden. Messing wird als Kupfer, PAN/PU als Polyethylen (PE) bilanziert.

Tabelle 6 Materialinput der thermischen Kollektoren

	Flachkollektor	Vakuum-Röhrenkollektor
Material	kg/6,15m ²	kg/5m ²
EPDM/Gummi	3,5	2,2
Stahl	48,3	90,6
Aluminium	23,1	0,1
Kupfer (Band & Rohr), Messing	65,0	41,8
Glas	55,0	72,8
PAN/PU = PE	40,3	24,1
Mineralfaser	9,6	0,0
Propylenglycol	7,5	7,5
PVC	0,3	0,3

Das Ergebnis der Bilanzierung ist zusammen mit den Angaben der VDI-RL 4600 in der nachfolgenden Tabelle enthalten.

Das KEA-Ergebnis nach der disaggregierten Methodik dieses Projektes beinhaltet nicht den stofflich genutzten Anteil der Ressourcen.

Um zu einem vergleichbaren Ergebnis zu gelangen, ist dieser Anteil zu addieren.

⁷ Die unterschiedliche Baugröße wird durch unterschiedliche Wirkungsgrade bestimmt.

Tabelle 7 Vergleich der KEA Rechnung für thermische Kollektoren

	Einheit	Vakuum-Röhrenkollektor	Flachkollektor
KEA-VDI-4600	MJ	7637	12591
GEMIS			
KEA-Summe	MJ	6089	11753
KEA-nichternewerbar	MJ	5943	11538
KEA-erneuerbar	MJ	23	69
KEA-andere	MJ	123	147
Stoff	MJ	1327	2008
Stoff&KEA-Summe	MJ	7416	13761

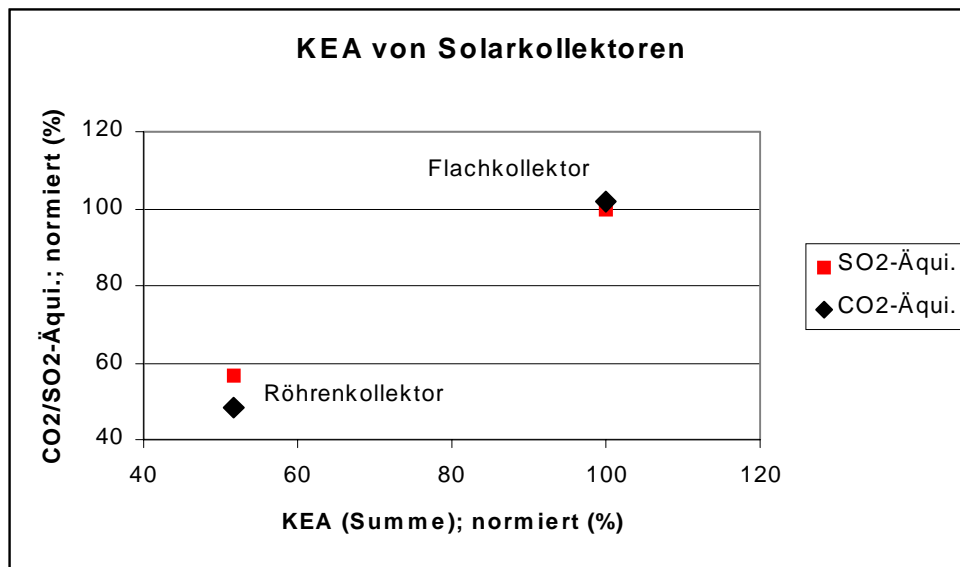
Insgesamt zeigt die Rechnung, dass das Beispiel der VDI-RL 4600 gut zu reproduzieren ist. Die Abweichungen beim Flachkollektor-Alu sind auf andere Annahmen zur Aluminiumherstellung begründet. Zur Überprüfung der Richtungssicherheit sind die aus der Materialzusammensetzung resultierenden Emissionen bilanziert worden:

Tabelle 8 Emissionen und KEA von thermischen Kollektoren

	Einheit	Solarkollektoren	
		Vakuum-Röhren	Flach
SO ₂ -Äqui.	g	2117	3732
CO ₂ -Äqui.	kg	432	895
KEA-Summe	MJ	6089	11753
KEA-nichternewerbar	MJ	5943	11538
KEA-erneuerbar	MJ	23	69
KEA-andere	MJ	123	147
SO ₂ -Äqui.	%	56,7	100
CO ₂ -Äqui.	%	48,3	100
KEA-Summe	%	51,8	100
KEA-nichternewerbar	%	51,5	100
KEA-erneuerbar	%	33,6	100
KEA-andere	%	83,6	100
Rangfolge			
CO ₂ /KEA-n.-erneuerbar		(2/2)	(1/1)
SO ₂ /KEA-Summe		(2/2)	(1/1)

Wie aus der Tabelle ersichtlich ist der Anteil an KEA-erneuerbar und KEA-andere sehr gering und kann daher in der weiteren Diskussion vernachlässigt werden. In der folgenden Grafik sind die CO₂- und SO₂- Emissionen über dem KEA-Summe aufgetragen:

Bild 4 KEA und Emissionen von Solarkollektoren



Aus der Graphik ist ersichtlich, dass eine weitgehende Korrelation zwischen den Emissionen und dem KEA – Summe existiert. Abweichungen resultieren aus dem Einsatz an Aluminium im Flachkollektor mit seinen hohen, treibhausgasrelevanten Fluorkohlenstoff Emissionen.

Der prozentual erhöhte Einsatz an Stahl, Kupfer und Glas führt zu einer relativ höheren Emission an SO₂-Äquivalenten beim Vakuum – Röhrenkollektor.

3 KEA-Richtungssicherheit im Baubereich: Ebene Bauteil

3.1 Warmwasserbereitung

Die Anlagen zur Warmwasserbereitung können als komplexe Bauprodukte bzw. als Bauteile angesehen werden. Neben dem Materialaufwand besitzt der Energiebedarf während der Nutzung eine hohe Bedeutung, so dass an dieser Stelle die Dienstleistung der Warmwasserbereitung in Höhe von 1000 MJ als funktionelle Einheit betrachtet werden soll.

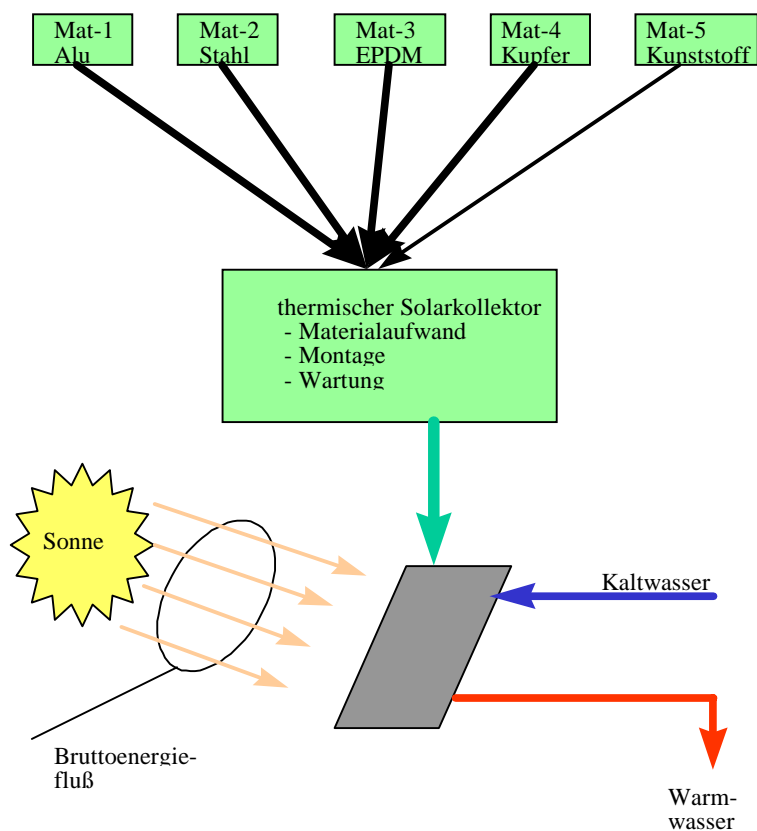
Warmwasser soll nach Kap. 2.1.4 durch die dort skizzierten Sonnenkollektoren und alternativ durch einen Gas – Brennwert – Kessel bereit werden.

Es sei daran erinnert, dass im Gegensatz zur VDI-RL 4600, in der die Solarenergie nach ihrem Bruttoenergiefluss in die Bilanz⁸ eingestellt wird, an dieser Stelle nach der in diesem Projekt entwickelten Methodik die Solarenergie netto⁹ bilanziert wird (vgl. folgende Abbildung).

⁸ Damit enthält die Bilanzierung nach VDI-RL 4600 die Umwandlungsverluste des Kollektors.

⁹ Die Solarenergie entspricht danach der aufgenommenen Wärmemenge Kaltwasser – Warmwasser.

Bild 5 Energie- und Stoffflüsse beim thermischen Solarkollektor



Die allgemeinen Leistungsangaben der Kollektoren nach VDI-RL 4600 können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden:

Tabelle 9 Leistungsdaten der thermischen Kollektoren

Montage	10%	Herstellung
Wartung	5%	Herstellung
Lebensdauer	20	a
Hilfsenergieaufwand (Strom)	2%	des Wärmegevinns

Die Angaben zum Wärmegewinn/ertrag von Kollektoren sind abhängig von den Randbedingungen unter denen die erzeugte Wärme abgenommen werden kann. Durch den Vergleich mit dem nachfragegesteuerten Erdgaskessel ist es sinnvoll, für die Kollektoren nur ihren Beitrag zur Energieeinsparung¹⁰ zu bilanzieren. Da in diese Bilanzierung sehr stark Randbedingungen (Haus, Nutzer) einfließen, können sie hier nur sehr pauschal festgelegt werden¹¹:

- Die Wärmeabgabe des Erdgaskessels wird mit dem durchschnittlichen jährlichen Nutzungsgrad bilanziert.
- Die Materialaufwendungen der Kollektoren werden nicht über ihre Verkaufsgröße, sondern über ihre spezifischen Leistungsgewichte (kg/MW) bilanziert.
- Für Brauchwassersystem zeigen Vakuumröhrenkollektoren gegenüber Flachkollektoren eine um 60% verminderte Absorberfläche.

Der jährliche Wärmegewinn aus der Energieeinsparung beträgt nach der obigen Bilanzierung für Flachkollektoren ca. 900 MJ/m²*a und für Vakuumröhrenkollektoren ca. 1500 MJ/m²*a. Das Leistungsgewicht der Kollektoren berechnet sich bei einer jährlichen Nutzungsdauer von ca. 2000 h für den Flachkollektor auf 328715 kg/MW und für den Vakuum – Röhrenkollektor auf 229824 kg/MW.

Das Ergebnis der Bilanzierung wird in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 10 KEA und Emissionen der Warmwasserbereitstellung

	Einheit	1000 MJ Warmwasser		
		Gas-Brennwert	Vakuum-Röhrenkollektor	Flachkollektor
SO ₂ -Äqui.	g	37	20	40
CO ₂ -Äqui.	kg	68	7	11
KEA-Summe	MJ	1129	1094	1153
KEA-nicht erneuerbar	MJ	1123	89	147
KEA-erneuerbar	MJ	2	1001	1002
KEA-andere	MJ	5	4	4
SO ₂ -Äqui.	%	100	55	108
CO ₂ -Äqui.	%	100	10	17
KEA				
KEA-Summe	%	100	97	102
KEA-nicht erneuerbar	%	100	8	13
KEA-erneuerbar	%	100	59182	59209
KEA-andere	%	100	81	92
Rangfolge				
CO ₂ /KEA-n-erneuerbar		(1/1)	(3/3)	(2/2)
SO ₂ /KEA-Summe		(2/2)	(3/3)	(3/3)

¹⁰ D.h. Wärme aus Kollektoren, die z.B. im Sommer nicht nachgefragt (Überschuß) werden, können nicht als Wärmegewinn bilanziert werden.

¹¹ zur weiteren Information siehe Öko-Institut (Hrsg) 1997: Thermische Solaranlagen Marktübersicht, R.Schüle, M. Ufheil, C.Neumann, Staufen bei Freiburg: Ökobuch, ISBN 3-922964-66-4.

Deutlich ist die Verschiebung der Energieressourcen zu sehen. Der Gas – Brennwertkessel bezieht Gas als nicht-erneuerbaren Energieträger aber nahezu keine Energie aus KEA - erneuerbar oder KEA – andere. Die KEA Rechnung der Kollektoren weisen den größten Anteil KEA – erneuerbar (Sonne) aus. Der Anteil an KEA- nichterneuerbar ist bei den Kollektoren durch die Herstellung bzw. durch den Hilfsstrom bedingt.

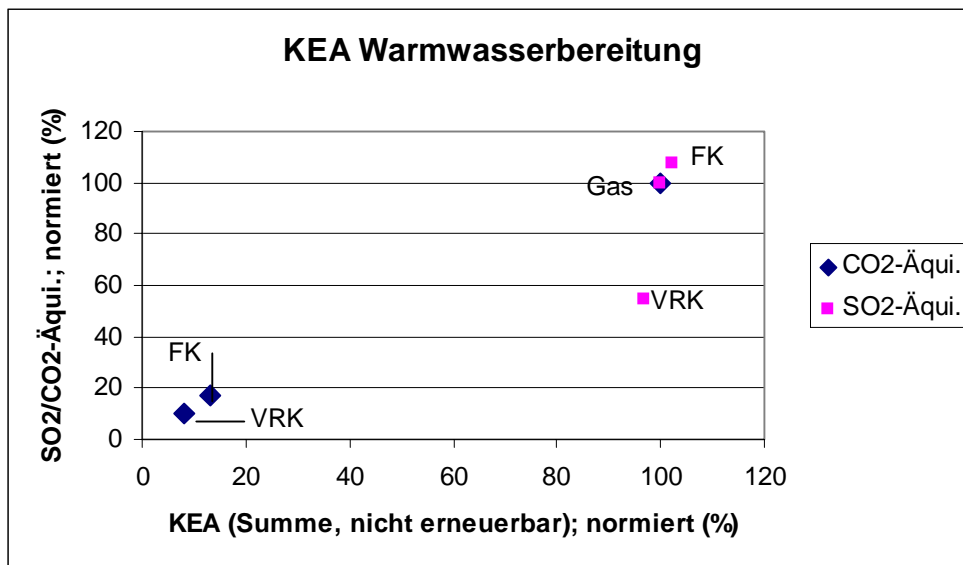
Innerhalb der Kollektoren ändern sich die Verhältnisse im Vergleich zu Kap. 1.1.4. Durch die Veränderung der Bezugsgröße (nicht mehr Baueinheit sondern Energieeinsparung) und den notwendigen Hilfsstrom¹² verschieben sich die relativen Emissionen.

Die SO₂-Äquivalent Emissionen des Gas – Kessels sind durch die Stickstoffoxide der Verbrennung bedingt. Bei den Kollektoren resultieren die SO₂-Äquivalent Emissionen aus der Vorkette ihrer Herstellung. Emissionen in derselben Größe resultieren zudem aus dem Hilfsstrombezug.

Die CO₂-Äquivalente Emissionen resultieren bei den Kollektoren zu ca. 30-50 % aus der Stromerzeugung. Der Rest entstammt der Materialvorleistungskette. Die Verbrennung des Erdgases führt zu dem Hauptanteil der CO₂-Äquivalente Emissionen des Erdgaskessels. Weitere Emissionsquellen ist die Erdgaskette, die Stromherstellung und die Materialvorleistungen (Stahl).

Die folgende Graphik zeigt das Ergebnis der Bilanzierung:

Bild 6 KEA der Warmwasserbereitung



Die Richtungssicherheit des KEA-nichterneuerbar bezüglich der CO₂- Emissionen ist deutlich sichtbar. Eine entsprechende deutliche Korrelation zwischen KEA-Summe und SO₂-Äquivalente Emissionen besteht nicht, gleichwohl bleibt die Rangfolge erhalten. Zum einen wird KEA-Summe der Kollektoren aus der emissionslosen Sonnenenergie gebildet, zum anderen ist die Herkunft der SO₂-Äquivalente Emissionen zu unterschiedlich.

¹² In allen drei Fällen ca. 60 MJ KEA- nicht erneuerbar.

Eine Veränderung der Betriebszeit¹³ der Kollektoren führt zu keiner anderen Beurteilung. Eine 50%-Erhöhung der Auslastung führt zu einer Reduktion der SO₂-Äquivalente Emission um ca. 27% bei gleichzeitiger Reduktion des KEA-Summe um 3%. Die zur Beurteilung von Solarkollektoren wichtige Einflussgröße Betriebszeit wird in der obigen Graphik durch einen nahezu senkrechten Funktionsverlauf abgebildet.

3.2 Stahlbetonkonstruktion

Stahlbetonkonstruktionen werden im Wohnungsbau hauptsächlich als Fundament oder Decken eingesetzt. Sie bestehen aus einem Komposit aus Beton und Rundstahl zur Armierung. Der Nutzen einer Stahlbetonkonstruktion wird durch ihre Tragfähigkeit bestimmt. Stahlbetonkonstruktionen gleicher Tragfähigkeit können somit als gleichwertig angesehen werden. Die Qualität beider Stoffe werden im Fall von Stahl durch seine Zugfestigkeit und im Fall von Beton durch seine Festigkeit angegeben. In diesem Beispiel sollen beide Stoffe gleicher Qualität verwendet werden.

Das Beispiel beschreibt eine 5 m x 0,6 m großes Deckenelement¹⁴, das einmal stahlminimiert und das andere Mal betonminimiert aufgebaut ist:

- stahlminimiert: Die Decke soll eine Höhe von 23 cm haben und aus 1714 kg Beton B 25 und 22 kg Betonstahl Bst 500, d= 10 mm aufgebaut sein.
- betonminimiert: Das Element verfügt über eine Höhe von 18 cm und besteht aus 1341 kg Beton B 25 und 25 kg Betonstahl BSt 500, d= 10 mm.

Für den Rundstahl wird das Modul "Metall\Stahl\Warmwalzstahl" ausgewählt. Die Transportentfernung soll dabei 500 km betragen.

Der Beton B 25 wird dem Modul "Steine-Erden\Beton B 25" zugeordnet. Durchschnittliche Transporte für Zement, Sand und Kies sind hier schon vorgegeben.

¹³ Bei gleicher Standzeit, gleichem Hilfsstromverbrauch erniedrigt eine Erhöhung der Betriebszeit den auf den Energieoutput (Warmwasser) bezogenen Materialeinsatz des Kollektors

¹⁴ Eine Decke kann aus mehreren Deckenelementen zusammengesetzt werden.

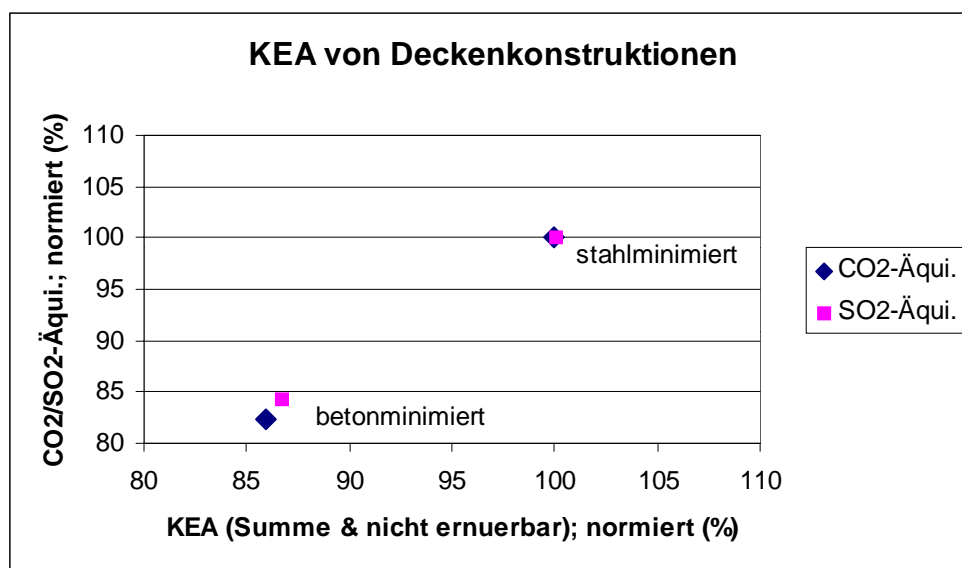
Tabelle 11 KEA und Emissionen von Deckenkonstruktionen

	Einheit	Deckenkonstruktionen	
		stahlminimiert	betonminimiert
SO ₂ -Äqui.	kg	0,7	0,59
CO ₂ -Äqui.	kg	337	277
KEA-Summe	MJ	2144	1861
KEA-nichternewerbar	MJ	2035	1748
KEA-erneuerbar	MJ	13	11
KEA-andere	MJ	97	101
SO ₂ -Äqui.	%	100	84,3
CO ₂ -Äqui.	%	100	82,4
KEA			
KEA-Summe	%	100	86,8
KEA-nichternewerbar	%	100	85,9
KEA-erneuerbar	%	100	87,1
KEA-andere	%	100	104,6
Rangfolge			
CO ₂ /KEA-n.-erneuerbar		(1/1)	(2/2)
SO ₂ /KEA-Summe		(1/1)	(2/2)

Das Ergebnis der Bilanzierung zeigt die obige Tabelle:

Das Ergebnis ist eindeutig. Im Vergleich zu den beiden Umweltkategorien Versauerung (SO₂-Äquivalente) und Treibhauspotential (CO₂-Äquivalente) besteht Richtungssicherheit hinsichtlich des KEA-Summe und KEA-nichternewerbar. KEA-erneuerbar und andere liefern nur einen sehr geringen Beitrag.

Bild 7 KEA von Deckenkonstruktionen



3.3 Außenwandkonstruktionen

Die Richtungssicherheit des KEA soll anhand verschiedener Außenwandkonstruktionen untersucht werden. Dabei gilt als wesentlicher Nutzen ihre Wärmedämmeigenschaft.

Außenwand mit Wärmedämmeigenschaft ($k=0,5W/m^2K$)

Es werden drei Typen von Außenwänden betrachtet. Neben einen Leichtbaustein aus Porenbeton, sollen auch Mauerwerke aus Ziegel und Kalksandstein betrachtet werden. Während Porenbeton und Ziegel monolithische Konstruktionen darstellen, muss die Kalksandsteinwand durch eine Zusatzdämmung (hier gewählt Wärmedämmverbundsystem mit Polystyrol - PS) ergänzt werden. Die Auswahl der jeweiligen Außenwandkonstruktion wird durch Handwerkstradition und lokalen Vorlieben bestimmt.

Die Außenwände sollen vergleichbare Wärmedämmeigenschaften von ca. $0,5W/m^2K$ aufweisen. Zur weiteren Vereinfachung soll in jedem Beispiel traditioneller Außenputz (Zement) mit 2 cm Dicke und Innenputz mit einer Dicke von 1 cm verwandt werden.

Der Aufbau der Außenwände wird im folgenden durch ihre Materialzusammensetzung charakterisiert:

Tabelle 12 Aufbau und Zusammensetzung der Außenwandkonstruktion mit Porenbetonstein

pro m ² Außenwand: 294,5 kg		
Bauelement: Porenbeton-0,5		
Baustoff	Dicke (cm) / Anteil	Menge (kg/m ²)
Außenputz	2	44
Porenbeton (500 kg/m ³)	30	150
Innenputz	1	20
Dünnbettmörtel	-	80,5

Porenbeton ist ein Leichtbaustein, dessen Wärmedämmeigenschaften eine monolithische Bauweise zulassen. Daher ist eine zusätzliche Wärmedämmung nicht vorgesehen. Porenbeton wird aus Zement und Sand unter Zusatz von Aluminiumfitter hergestellt.

Tabelle 13 Aufbau und Zusammensetzung der Außenwandkonstruktion mit Ziegel

pro m ² Außenwand: 417,5 kg		
Bauelement: Ziegel-0,5		
Baustoff	Dicke (cm) / Anteil	Menge (kg/m ²)
Außenputz	2	44
Ziegel (700 kg/m ³)	36,5	255,5
Innenputz	1	20
Mörtel-normal	-	98

Außenwände aus porösen Ziegel erreichen bei ausreichender Dimensionierung die Anforderungen an einen k-Wert $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ in monolithischer Bauweise. Er wird dabei mit einer Dicke von 36,5 cm eingesetzt, so dass auf eine zusätzliche Wärmedämmung verzichtet werden kann.

Tabelle 14 Aufbau und Zusammensetzung der Außenwandkonstruktion mit Kalksandstein-EPS

pro m ² Außenwand: 410,1 kg		
Bauelement: KSS-0,5		
Baustoff	Dicke (cm) / Anteil	Menge (kg/m ²)
Außenputz	2	44
Dämmstoff-EPS	6	1,58
Kalksandstein (1700 kg/m ³)	17,5	297,5
Innenputz	1	20
Dünnbettmörtel	-	47

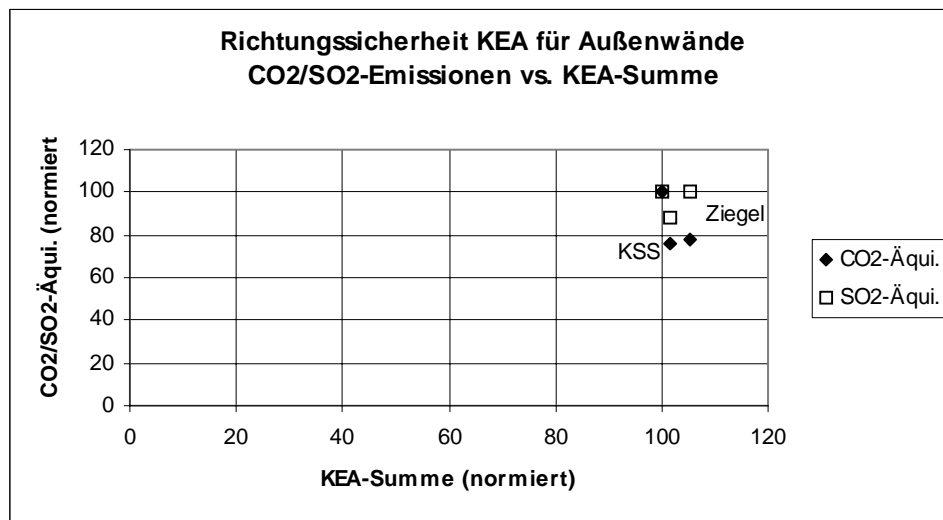
Kalksandstein ist ein sehr kompakter Stein, daher ist eine äußere Wärmedämmung notwendig. In diesem Beispiel wird eine Dämmung auf Basis von expandiertem Polystyrol (EPS) in einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS-EPS) beispielhaft ausgewählt. Da Kalksandstein auch in größeren Formaten eingesetzt werden kann, wird in diesem Beispiel eine großformatige Bauweise angenommen, die zu einem geringeren Mörtelverbrauch führt.

Das Ergebnis der Bilanzierung ist in der folgenden Tabelle aufgeführt:

Tabelle 15 Emissionen und KEA von Außenwänden mit k-Wert = 0,5

	Einheit	Außenwand-Konstruktionen-k-Wert 0,5		
		Porenbeton	Ziegel	Kalksandstein WDVS-EPS
SO ₂ -Äqui.	kg	0,17	0,17	0,15
CO ₂ -Äqui.	kg	106	82	80
KEA-Summe	MJ	656	692	665
KEA-nichternewerbar	MJ	641	686	656
KEA-ernewerbar	MJ	6	3	3
KEA-andere	MJ	9	3	7
SO ₂ -Äqui.	%	100	100	88
CO ₂ -Äqui.	%	100	78	76
KEA-Summe	%	100	105	101
KEA-nichternewerbar	%	100	107	102
KEA-ernewerbar	%	100	49	46
KEA-andere	%	100	38	77
Rangfolge				
CO ₂ /KEA-n.-ernewerbar		(1/3)	(2/3)	(3/2)
SO ₂ /KEA-Summe		(1-2/2-3)	(1-2/1)	(3/2-3)

Bild 8 KEA-Richtungssicherheit für Außenwände



Die absoluten Ergebnisse sind auf Porenbeton als Standard bezogen. Der KEA-erneuerbar hat nur einen geringen Anteil und kann daher bei dieser Diskussion vernachlässigt werden. Die CO₂- wie die SO₂-Emissionen werden daher nur auf KEA-Summe bezogen dargestellt.

Der KEA (Summe) ist bei Porenbeton am geringsten. Kalksandstein mit WDVS-EPS weist einen geringfügig erhöhten, Ziegel einen um 5 % erhöhten KEA auf. Im Vergleich des KEA mit den beiden anderen Indikatoren sind etwas größere Unterschiede festzustellen. Bedingt durch den hohen Anteil an Emissionen aus der Zementherstellung weist Porenbeton höhere CO₂-Emissionen auf.

Für den KEA ist in diesem Beispiel keine Richtungssicherheit gegeben. Wird nur der KEA herangezogen ergibt sich die Wand aus Porenbeton / Kalksandstein als günstigste Lösung anzusehen. Urteilt man auf Basis der CO₂- und SO₂-Emissionen ist der Kalksandstein im Vorteil.

Die insgesamt geringfügigen Unterschiede im KEA lassen allerdings eine detaillierte Beurteilung nicht zu.

Außenwand mit erhöhter Wärmedämmeigenschaft (k= 0,3 W/m²K)

Für den Bau eines Niedrigenergiehauses können unter anderem weitergehende Anforderungen an die Wärmedämmeigenschaften der Außenwände gestellt werden. Sie sollen hier beispielhaft an Außenwänden mit einer Wärmedämmeigenschaft von ca. 0,3 W/m²*K illustriert werden. Die Anforderungen an Außenwände von Niedrigenergiehäuser können allerdings je nach Haustyp, Hausgeometrie und anderen Wärmedämmmaßnahmen deutlich variieren.

Zusätzlich zu den traditionellen Mauerwerkstypen wird der Holzrahmenbau mit herangezogen.

Die einzelnen Außenwände werden in folgenden durch ihre Materialzusammensetzung charakterisiert:

Tabelle 16 Aufbau und Zusammensetzung der Außenwandkonstruktion in Holzbauweise

pro m ² Außenwand: 70,76 kg		
Bauelement: Holz-0,3		
Baustoff	Dicke (cm) / Anteil	Menge (kg/m ²)
Gipskartonplatte	1,25/100%	12,5
Holz-Kantholz	4,00/12%	2,88
DM-Glaswolle	4,00/88%	1,41
PE-Folie	0,02/105%	0,21
Holz-Spanplatte	1,3/100%	10,4
Holz-Kantholz	16/25%	24
DM-Glaswolle	16/75%	4,8
Holz-Weichfaserplatte	1,3/100%	7,8
Holz-Kantholz	3/7%	1,26
Holz-Bretter	3/100%	18

Die Außenwand Holz besteht aus mehreren Schichten. Das Grundgerüst wird aus Kanthölzern im Rahmenbauweise aufgebaut, die durch Spanplatten versteift werden.

Die Hohlräume werden in diesem Beispiel mit Glaswolle gedämmt.

Tabelle 17 Aufbau und Zusammensetzung der Außenwandkonstruktion mit Porenbeton

pro m ² Außenwand: 312 kg		
Bauelement: Porenbeton-0,3		
Baustoff	Dicke (cm) / Anteil	Menge (kg/m ²)
Außenputz	2	44
Porenbeton (400 kg/m ³)	37,5	150
Innenputz	1	20
Dünnbettmörtel	-	98

Die Porenbetonwand nutzt einen leichteren Stein mit erhöhter Wärmedämmeigenschaft ($\lambda=0,11$ W/mK).

Tabelle 18 Aufbau und Zusammensetzung der Außenwandkonstruktion mit Kalksandstein

pro m ² Außenwand: 411,6 kg		
Bauelement: KSS-0,3		
Baustoff	Dicke (cm) / Anteil	Menge (kg/m ²)
Außenputz	2	44
Dämmstoff-EPS	12	3,16
Kalksandstein (1700 kg/m ³)	17,5	297,5
Innenputz	1	20
Dünnbettmörtel	-	47

Die Kalksandsteinwand wird mit einem zusätzlichen Wärmedämmverbundsystem aufgerüstet. Als Dämmmaterial wird beispielhaft expandiertes Polystyrol ausgewählt (WDVS-EPS). Eine Veränderung der Konstruktion ergibt sich gegenüber dem vorherigen Kapitel dadurch nicht.

Das Ergebnis der Bilanzierung wird in der folgenden Tabelle aufgelistet:

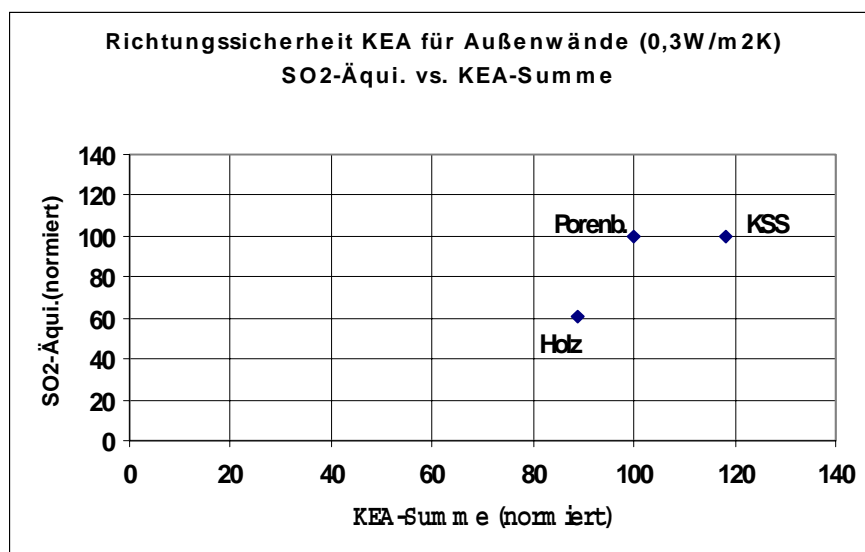
Tabelle 19 Emissionen und KEA von Außenwandkonstruktionen (k-Wert= 0,3)

	Einheit	Außenwand-Konstruktion (0,3 W/m ² K)		
		Holz	Porenbeton	Kalksandstein WDVS-EPS
SO ₂ -Äqui.	kg	0,11	0,18	0,18
CO ₂ -Äqui.	kg	33	112	88
KEA-Summe	MJ	614	690	817
KEA-nichternewerbar	MJ	537,08	674,88	805,64
KEA-erneuerbar	MJ	5,3	6,04	3,1
KEA-andere	MJ	71,29	9,56	7,92
SO ₂ -Äqui.	%	61	100	100
CO ₂ -Äqui.	%	30	100	78
KEA-Summe	%	89	100	118
KEA-nichternewerbar	%	80	100	119
KEA-erneuerbar	%	88	100	51
KEA-andere		746	100	83
Rangfolge				
CO ₂ /KEA-n.-erneuerbar		(3/3)	(1/2)	(2/1)
SO ₂ /KEA-Summe		(3/3)	(1-2/2)	(1-2/1)

Die Holzbauweise weist den geringsten KEA wie die geringsten Emissionen auf. Porenbeton und Kalksandstein -WDVS-EPS zeigen vergleichbare SO₂-Äquivalente Emissionen. Die CO₂-Äquivalente Emissionen und der KEA differieren bei Porenbeton und Kalksandstein -WDVS-EPS deutlich. Der hohe Anteil an KEA-andere bei der Holzrahmenbauweise resultiert aus dem Einsatz von Holzreststoffen.

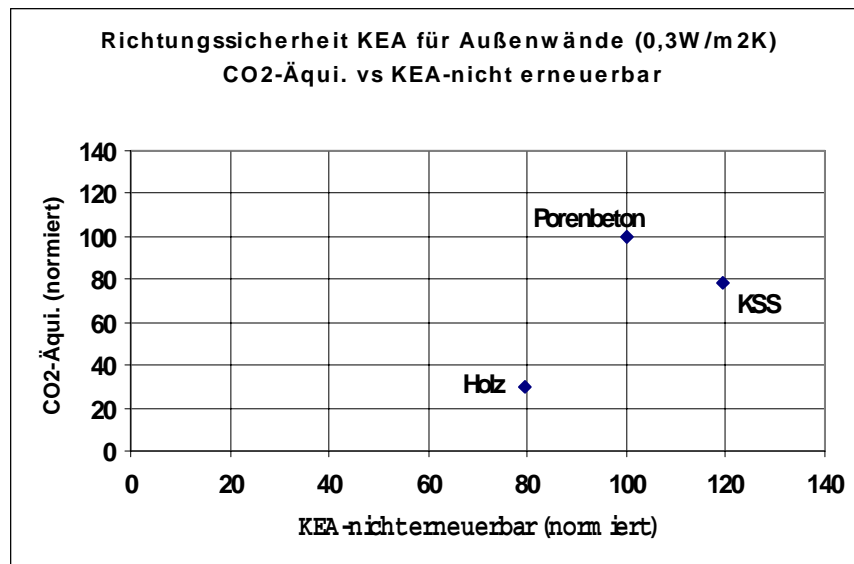
Die folgende Abbildung zeigt den KEA-Summe und die SO₂-Emissionen.

Bild 9 KEA-Richtungssicherheit von Außenwänden (0,3 W/m²K) - SO₂-Äquivalente vs. KEA-Summe



Während die Holzrahmenbauweise sowohl in KEA-Summe als auch in den SO₂-Emissionen unter den beiden anderen Wandtypen liegt, ist eine eindeutige Rangfolge zwischen Porenbeton und Kalksandstein-WDVS-EPS nicht gegeben. Trotz höheren KEA weisen Kalksandstein-WDVS-EPS und Porenbeton ähnliche SO₂-Emissionen auf.

Bild 10 KEA-Richtungssicherheit für Außenwände (0,3 W/m²K) - CO₂-Äquivalente vs. KEA-nichtererneuerbar



Das Verhältnis von KEA-nichtererneuerbar und den CO₂-Emissionen der Außenwände zeigt noch größere Unterschiede. Obwohl die Wand aus Kalksandstein mit WDVS-EPS den höheren KEA aufweist, sind die bilanzierten CO₂-Emissionen deutlich geringer. Der Erhalt der Rangfolge ist in diesem Beispiel eindeutig nicht gegeben.

Die geringen CO₂-Emissionen im Verhältnis zu dem KEA-nichtererneuerbar beim Holz wird bestimmt durch den relativ hohen Anteil an Gas und Atomkraft sowie den relativ geringen Einsatz von Braunkohle. Die Relationen KEA zu Emissionen werden damit bestimmt durch emissionsarme Energieträger und das Fehlen von geogenen CO₂-Emissionen. Noch deutlicher wird dieser Effekt im Vergleich zum Porenbeton - Mauerwerk.

Insgesamt ist für die Beispiele der Mauerwerke **keine eindeutige** Richtungssicherheit des KEA festzustellen: Die SO₂-Emissionen folgen dem KEA recht gut, die CO₂-Emissionen werden deutlich von prozessbedingten Emissionen dominiert, sodass für sie keine Richtungssicherheit gegeben ist..

4 KEA-Richtungssicherheit im Baubereich: Ebene Gebäude

Zur Ermittlung des KEA bei Gebäuden wird ein mehrstufiges Verfahren angewendet. Aus einzelnen Ressourcen und Emissionen werden Baustoffe zusammengesetzt. Dies geschieht mit GEMIS [GEM1998] durch die Angabe einer Prozesskette und einer anschließenden Stoffnachfrage. Mittels dieser Baustoffe werden Elemente konfiguriert, mit denen ein Gebäude in seiner Herstellung beschrieben werden kann. Zusätzlich zu Informationen, wie Einheitspreis und Menge werden weitere Daten verwaltet, die es ermöglichen Umwelteinwirkungen zu untersuchen. Dazu werden verschiedene Leitsubstanzen zu sogenannten Wirkungskategorien zusammengefasst. Die Tabelle zeigt die aus GEMIS verwendeten Wirkungskategorien. Diese Daten können für einzelne Baustoffe, für Elemente und für Gebäude ermittelt werden.

Tabelle 20 Wirkungskategorien aus GEMIS

Wirkungskategorie	Einheit
KEA	kWh
CO2-Äquivalent	kg
SO2-Äquivalent	kg
Landinanspruchnahme	m ²
Staub	kg
CO	kg
NMVOG	kg
Erze	kg
Mineralien	kg

Es ist offensichtlich, dass sich die Qualität der Daten über Ressourcen und Emissionen fundamental auf die Ergebnisse auf Gebäudeebene auswirken. Je detaillierter diese Basisdaten vorliegen, desto zuverlässiger ist das Ergebnis. Dieser Sachverhalt wird im Abschnitt Richtungssicherheit genauer erläutert.

Die einzelnen Baustoffe, Elemente und Gebäude wurden detailliert beschrieben. Bei der Berechnung der Wirkungskategorien der Baustoffe in GEMIS wurden verschiedene Vereinfachungen getroffen, die im Abschnitt Baustoffe genauer erläutert werden.

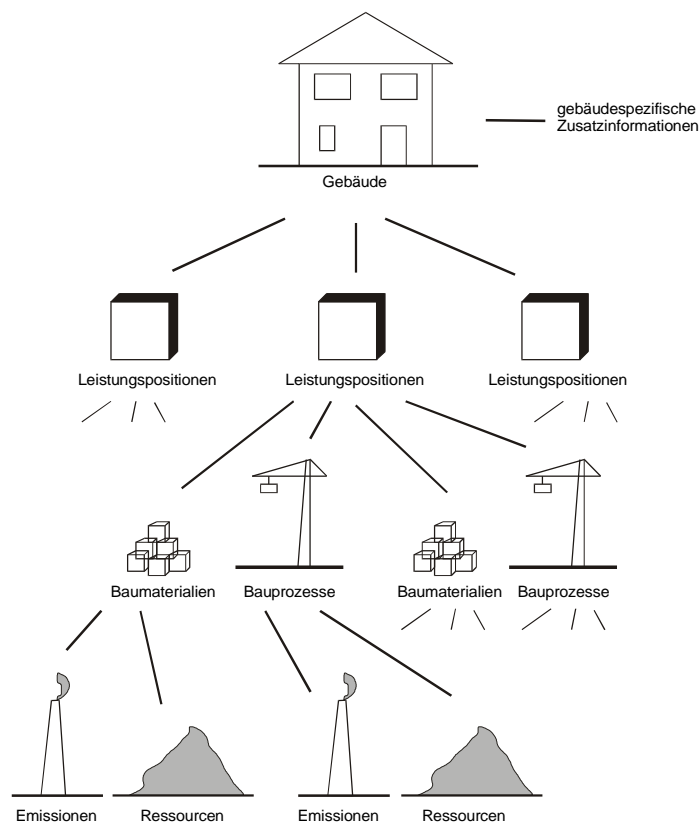
Da in den vorherigen Abschnitten bereits detaillierte Untersuchungen über Baustoffe und Elemente durchgeführt werden, wurde in diesem Kapitel auf die Untersuchung der zugrunde liegenden Baustoff- und Elementkataloge verzichtet. Im Anhang findet sich eine statistische Untersuchung der einzelnen Kataloge.

4.1 Bilanzierung

4.1.1 Verfahren

Auf jeder Beschreibungsebene (Baustoff, Element, Gebäude) kommen weitere Daten hinzu, die für die jeweilige Betrachtungsebene spezifisch sind. Das Bild unten zeigt das prinzipielle Vorgehen bei der Beschreibung von Gebäuden. Dieses Vorgehen wird im folgenden genauer erläutert, um die Entstehung der Daten und die gewonnenen Ergebnisse verständlicher zu machen.

Bild 11 Vorgehen bei der Bilanzierung von Gebäuden



4.1.2 Baustoffe

Zur Ermittlung der Werte der Wirkungskategorien der einzelnen Baustoffe wurde in GEMIS in einem Szenario der entsprechende Baustoff nachgefragt und die berechneten Werte in einen Baustoffkatalog übernommen. Dieser Baustoffkatalog ist die Grundlage für das Zusammensetzen der Elemente aus einzelnen Baustoffen und Prozessen. In den Fällen, in denen der entsprechende Baustoff nicht in GEMIS vorlag, wurde versucht die entsprechende Prozesskette vereinfacht zu modellieren. Dies führte zu einem Baustoffkatalog mit 140 Einträgen.

Ein weiterer Teil von Baustoffen wurde durch andere Baustoffe abgebildet (mapping), z.B. werden die einzelnen Baustoffe "Betondachstein", "Betonfertigteil" und "Betonpflasterstein" auf den in GEMIS vorhandenen Baustoff "Betonpflasterstein" abgebildet, da davon ausgegangen werden kann, dass zur Herstellung dieser drei unterschiedlich eingesetzten Baustoffe ein ähnlicher Ressourcenverbrauch notwendig ist und eine ähnliche Menge an Emissionen entsteht. Diese Art der Vereinfachung trifft in vielen Fällen wohl zu, jedoch kann es vorkommen, dass besondere Fertigteile mit höherem Aufwand hergestellt werden. Das Abbilden verschiedener Baustoffe auf andere hat den Vorteil, dass zur Beschreibung der Elemente eine Vielzahl von Baustoffbezeichnern zur Verfügung stehen. Ein weiterer Vorteil dieses Abbildungsverfahrens ist, dass bei Verbesserung der Datengrundlage einzelne Abbildungen durch Zahlenwerte ersetzt werden können. Das Abbildungsverfahren ergänzt den Baustoffkatalog um weitere 178 Baustoffbezeichner.

Für 23 Baustoffbezeichner war es nicht möglich eine gesicherte Datengrundlage zu erhalten oder sie auf andere Baustoffbezeichner abzubilden. Diese Bezeichner werden auf einen Baustoff "DUMMY" abgebildet, der in allen Wirkungskategorien den Zahlenwert Null besitzt. Die folgende Tabelle zeigt eine Liste dieser Baustoffe und ihrer Mengeneinheit.

Tabelle 21 Auf "DUMMY" abgebildete Baustoffbezeichner

Baustoffbezeichner	Einheit
Alkydharzlack	kg
Alkydharzlack(m ²)	m ²
Aushubmaterial	m ³
Betonzusätze	kg
Deckfarbe, auch spezifisch in m ²	kg
Dispersionsfarbe, auch spezifisch in m ²	m ²
Dispersions-Silikatfarbe aussen (m ²)	m ²
Dispersions-Silikatfarbe innen (m ²)	m ²
Dispersions-Silikatfarbe aussen	t
Dispersionsspachtel	t
Flachs-Dämmstoff(kg)	kg
Kleber Haftgrund	kg
Kork, auch spezifisch in m ³	m ³
Kunsthharzanstrich(m ²)	m ²
Kunststofffaserbelag	m ²
Linoleum 3 mm	m ²
Luftschicht	m
Naturharzanstrich (m ²)	m ²
Schafwollevlies (m ³)	m ³
Trockenlack	m ²

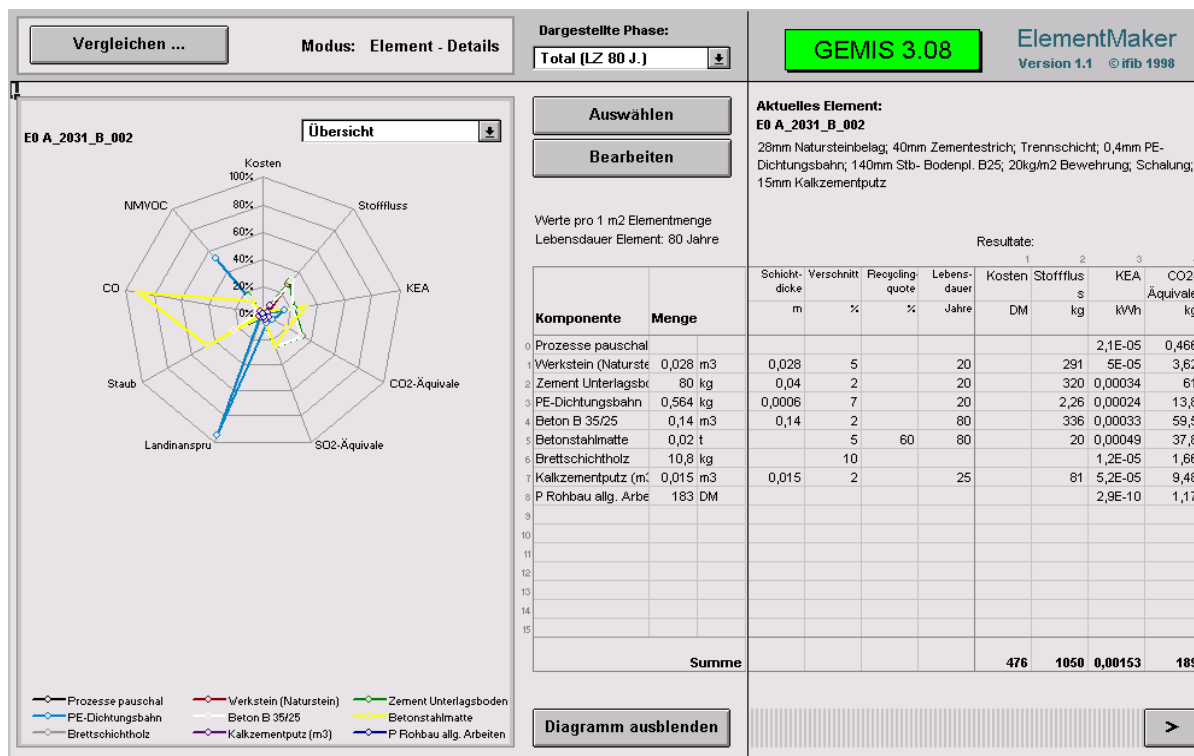
Da diese Baustoffe anteilig an der Masse oder Volumen nicht besonders relevant oder schwer erfassbar sind, ist es für eine erste Näherung möglich, die Werte dieser Baustoffe zur Zeit zu vernachlässigen. Da diese Baustoffe auf vorliegende Elementkataloge referenziert werden, ist es aus Kompatibilitätsgründen notwendig, dass die Bezeichner existieren.

Insgesamt entstand so ein Baustoffkatalog mit 341 Baustoffbezeichnern, die zur Beschreibung von Elementen verwendet werden können.

Um für die einzelnen Elemente die entsprechenden Wirkungskategorien zu erhalten, werden die Werte der Wirkungskategorien der Baustoffe aggregiert. Zusätzlich werden weitere Angaben, die erst auf Elementebene bekannt sind, ermittelt oder angegeben. Hierzu gehören die Angabe der Kosten für das Element (getrennt nach Erstellung, Erneuerung und Rückbau) und die Gesamtlebensdauer des Elements. Da die Schichtenreihenfolge bekannt ist, werden thermisch relevante Werte wie beispielsweise der Wärmedurchlaßwiderstand ($1/\lambda$ -Wert) oder das Gewicht des Stoffflusses berechnet.

Um ein Element zu konfigurieren wird ein EDV-Werkzeug verwendet. Das folgende Bild zeigt eine Bildschirmkopie für ein gerade bearbeitetes Element.

Bild 12 Bildschirmkopie ElementMaker



Da bei der Betrachtung von Umwelteinwirkungen Transportmittel und -distanz eine große Rolle spielen, jedoch für ein Element diese noch nicht angegeben werden können, ist die Systemgrenze die gleiche wie bei Baustoffen: das Werktor des Baustoffhandels.

Für den Vergleich von einzelnen Elementen untereinander lässt sich prinzipiell das gleiche sagen, wie für den Vergleich von Baustoffen. Der Vergleich wird erst im Gesamtkontext des Gebäudes sinnvoll, da auch bei der Elementauswahl viele Randbedingungen aus dem Gebäudekontext eine Rolle spielen. Als Beispiele lassen sich hier konstruktionsspezifische Merkmale, Wünsche des Bauherrn und auch baurechtliche Auflagen als die wichtigsten Randbedingungen für die Elementauswahl nennen.

4.1.4 Gebäude

Zur Beschreibung eines Gebäudes wird das Gebäude in seine Einzelbestandteile (Elemente) zerlegt und diese nach Menge und thermisch relevanten Eigenschaften (Orientierung und angrenzende Temperatur) erfasst. Die Berechnung der Wirkungskategorien erfolgt ebenfalls mit Hilfe eines EDV-Werkzeugs [ECOPRO1996].

Mit diesem EDV-Werkzeug können verschiedene Varianten eines Gebäudes oder auch unterschiedliche Gebäude miteinander verglichen werden. Hierbei ist es sinnvoll, nur Gebäude ähnlicher Nutzung miteinander zu vergleichen.

Bei der Erfassung der Gebäude werden weitere Daten erhoben. Hierzu zählen insbesondere die Lage, die Nutzungsart, die Energieträger für den Gebäudebetrieb und die Transportdistanz zum Baustoffhandel. Weiterhin werden der Wärmedurchgangskoeffizient (k-Wert) und der Gesamtenergiedurchlaßgrad (g-Wert) berechnet.

Bei der Ermittlung des KEA von Gebäuden treten unterschiedliche Problemstellungen auf. Der KEA_H läßt sich relativ genau ermitteln, da der KEA für jedes Teilstück in der Kette Baustoffe - Elemente - Gebäude bekannt ist bzw. sich berechnen lässt. Es ist offensichtlich, dass hier die Datengrundlage eine entscheidende Rolle spielt.

Der KEA_N ist vom gewählten Nutzungstyp (z. B. Wohnen-Einfamilienhaus, Wohnen-Mehrfamilienhaus, Verwaltung, Hotel/Gaststätten, etc.) und vom zum Nutzen und Betreiben eingesetzten Energieträger (fossile Brennstoffe vs. Erdwärme, Strom aus Atomenergie vs. Solarzellen, etc.) sehr stark abhängig. Daher sind diese Systemgrenzen bei Vergleichen von unterschiedlichen Gebäuden besonders zu beachten.

Der KEA_E ist nur sehr ungenau zu ermitteln, da die Lebensdauer eines Gebäudes mit ca. 80 bis 100 Jahren erheblich über der Lebensdauer eines Produkts aus dem Verbrauchsgüter- oder Verpackungssektor liegt. Da sich über ein Entsorgungsszenario in 100 Jahren keine seriöse Aussage treffen lässt, ist der KEA_E mit einer großen Unsicherheit behaftet.

Die Dreiteilung $KEA = KEA_H + KEA_N + KEA_E$ ist sinnvoll, wenn die Werte nicht nur als Summe, sondern auch einzeln ausgewiesen werden. Bei einer Aggregation zu einem Einzahlenwert wird die eindeutige Abgrenzung fast unmöglich. In diesem Fall wird eine Genauigkeit vorgetäuscht, die nicht vorhanden ist.

Die Tabelle zeigt die Auswirkungen der Wahl der Systemgrenzen bzw. Schnittstellen auf den Wert des KEA.

Tabelle 23 Einfluss der Systemgrenzen auf den KEA

Schnittstelle bzw. Systemgrenze	Auswirkung auf		
Wahl der Nutzungsart und -dauer	KEA_N		
Elementlebensdauer	KEA_N	KEA_E	
Wahl des Erneuerungselements	KEA_H	KEA_N	KEA_E
Transport der Baustoffe bzw. Bauteile	KEA_H	KEA_E	
Wahl des Strommix	KEA_H	KEA_N	
Wahl des Energieträgers	KEA_N		

Die Wahl des Energieträgers während der Nutzungsphase hat durch die lange Lebensdauer des Gebäudes einen dominierenden Einfluss auf die Werte der Wirkungskategorien. Da während der Nutzungsphase der Energieeinsatz für den Gebäudebetrieb ausschlaggebend ist, lässt sich eine gute Übereinstimmung zwischen KEA und CO₂-Äquivalent bzw. SO₂-Äquivalent finden. Dies gilt solange, wie zum Gebäudebetrieb hauptsächlich fossile Energieträger eingesetzt werden. Bei einer Änderung der Technologie könne sich die Verhältnisse zwischen KEA und CO₂-Äquivalent bzw. SO₂-Äquivalent signifikant verschieben.

Aufgrund der hohen Unsicherheitspotentiale des KEA_N und KEA_E und aufgrund der Dominanz der Nutzungsphase wurde bei der Untersuchung der Gebäude nur der KEA_H betrachtet.

4.2 Richtungssicherheit

Es wurde der KEA_H für verschiedene Gebäude aus der Nutzungsart Wohnen ermittelt und mit anderen Umwelteinwirkungen verglichen. Die Tabelle unten zeigt eine Auflistung der ausgewählten Gebäude. Die genaue Dokumentation der Gebäude ist in [BKB1995] zu finden. Die Nummerierung wurde beibehalten, damit die Gebäude identifiziert werden können.

Tabelle 24 Ausgewählte Gebäude aus [BKB1995]

BKB-Nummer	Gebäudeart
6.1.0.0 - 15	Einfamilienwohnhaus (1 WE), mittlerer Standard
6.1.0.0 - 25	Einfamilienwohnhaus (1 WE), mittlerer Standard
6.1.0.0 - 43	Zweifamilien- (Doppel-) haus (2 WE), mittlerer Standard
6.1.0.0 - 04	Mehrfamilienwohnhaus (12 WE), mittlerer Standard
6.1.0.0 - 05	Mehrfamilienwohnhaus (8 WE), mittlerer Standard
6.1.0.0 - 61	Mehrfamilienwohnhaus (39 WE), kostengünstig

Bei der Nutzungsart wurde vertiefend zwischen den beiden Szenarien "Einfamilienwohnhaus" und "Mehrfamilienwohnhaus" unterschieden.

Die mit Elementen und Mengen beschriebenen Gebäude wurden mit dem auf GEMIS-Daten basierenden Elementkatalog berechnet. Im folgenden werden die Ergebnisse der Berechnungen sowohl als Übersicht, als auch in tabellarischer Form dargelegt und anschließend kommentiert.

4.2.1 Ergebnisse Szenario "Einfamilienwohnhaus"

Bild 13 Überblick Szenario "Einfamilienwohnhaus"

Varianten / Kriterien
relativ zur Referenz

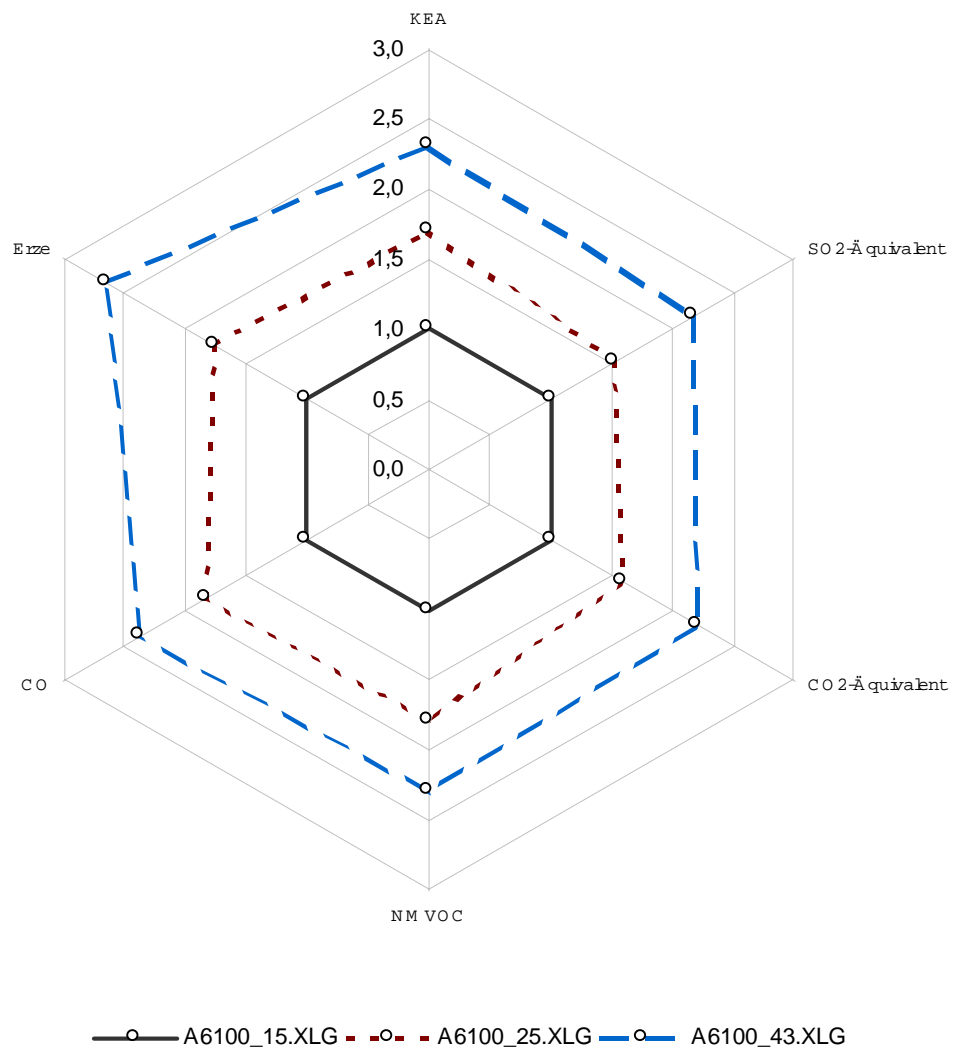


Tabelle 25 Szenario "Einfamilienwohnhaus"

		KEA	SO ₂ - Äquivalent	CO ₂ - Äquivalent	NMVOC	CO	Erze
		normiert	normiert	normiert	normiert	normiert	normiert
6.1.0.0-15	Gebäude total	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Fassade	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Öffnungen	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Innenwände	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Decken/Böden	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Dächer	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Technik	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Ergänzd. Lst.	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
6.1.0.0-25	Gebäude total	1,696	1,522	1,586	1,786	1,818	1,765
	Fassade	1,739	2,118	2,394	1,262	6,000	2,778
	Öffnungen	1,900	1,641	1,860	1,095	2,133	3,615
	Innenwände	0,837	1,279	1,400	1,828	3,919	12,338
	Decken/Böden	0,921	0,926	0,909	1,040	1,026	1,063
	Dächer	1,150	1,100	1,400	3,733	0,818	4,839
	Technik	1,158	1,034	1,000	1,393	0,933	1,091
	Ergänzd. Lst.	1,714	2,150	4,250	1,714	1,800	428,571
6.1.0.0-43	Gebäude total	2,304	2,174	2,207	2,286	2,364	2,647
	Fassade	2,174	2,000	2,113	0,951	2,214	2,111
	Öffnungen	0,860	0,795	0,814	0,905	0,778	0,715
	Innenwände	3,721	6,279	5,143	18,966	8,514	9,481
	Decken/Böden	0,978	1,000	1,000	1,280	1,077	0,906
	Dächer	3,000	2,200	2,433	7,333	1,727	20,000
	Technik	0,684	0,724	0,633	0,714	0,447	2,318
	Ergänzd. Lst.	2,286	3,050	6,875	2,286	2,400	325,000

4.2.2 Ergebnisse Szenario "Mehrfamilienwohnhaus"

Bild 14 Überblick Szenario "Mehrfamilienwohnhaus"

Varianten / Kriterien
relativ zur Referenz

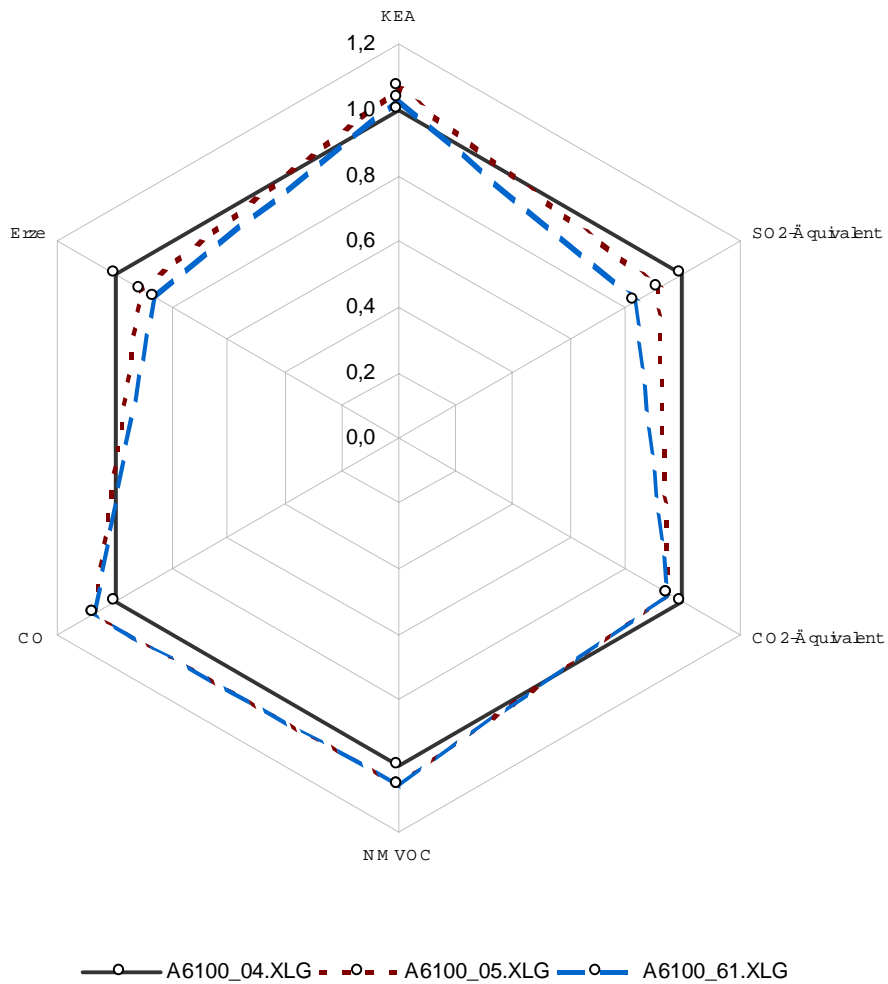


Tabelle 26 Szenario "Mehrfamilienwohnhaus"

		KEA	SO ₂ - Äquivalent	CO ₂ - Äquivalent	NMVOC	CO	Erze
		normiert	normiert	normiert	normiert	normiert	normiert
6.1.0.0-04	Gebäude total	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Fassade	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Öffnungen	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Innenwände	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Decken/Böden	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Dächer	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Technik	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Ergänzd. Lst.	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
6.1.0.0-05	Gebäude total	1,071	0,917	0,946	1,059	1,071	0,900
	Fassade	0,773	0,533	0,716	0,486	0,618	0,363
	Öffnungen	1,385	1,000	1,167	2,333	1,292	2,933
	Innenwände	0,966	0,750	0,771	44,286	1,241	0,140
	Decken/Böden	1,400	1,233	1,167	2,556	1,214	1,149
	Dächer	0,788	0,851	0,771	0,973	0,875	0,633
	Technik	1,750	1,500	1,600	2,375	1,727	1,583
	Ergänzd. Lst.	1,083	1,077	1,133	1,125	1,083	1,026
6.1.0.0-61	Gebäude total	1,036	0,833	0,946	1,059	1,071	0,855
	Fassade	0,546	0,367	0,516	0,622	0,294	0,219
	Öffnungen	0,531	0,509	0,475	1,067	0,385	0,160
	Innenwände	0,898	0,938	0,957	1,286	1,655	1,400
	Decken/Böden	1,400	1,400	1,500	1,444	0,929	1,043
	Dächer	0,385	0,457	0,457	0,181	0,444	0,014
	Technik	1,167	1,053	1,100	1,417	1,000	1,083
	Ergänzd. Lst.	1,083	0,962	0,600	1,063	1,083	1,842

4.2.3 Kommentar der Ergebnisse

Wie unschwer zu erkennen ist, stimmt die Rangfolge der Wirkungskategorien KEA, CO₂-Äquivalent und SO₂-Äquivalent beim Szenario "Einfamilienhaus" überein, d.h. die Richtungssicherheit ist in diesen drei Beispielen gegeben. Die Rangfolge im Szenario "Mehrfamilienwohnhaus" scheint im Diagramm nicht übereinzustimmen. Es lässt sich jedoch erkennen, dass nur die Variante 6.1.0.0-04 geringe Abweichungen im Bereich von ca. 5% aufweist. Da die Datengrundlage sich in einer ähnlichen Genauigkeit bewegt und die anderen beiden Varianten die gleiche Rangfolge aufweisen, lässt sich auch in diesen drei Beispielen die Richtungssicherheit als gegeben betrachten.

Aufgrund der relativ geringen Anzahl von sechs Beispielgebäuden lässt sich durch den Vergleich lediglich ein Trend ableiten. Es scheint, als ob sich einige Abweichungen, die auf Baustoff- oder Elementebene noch sichtbar sind, auf Gebäudeebene nicht mehr zu erkennen sind. Um einen solchen Effekt zu lokalisieren, wäre es notwendig, die einzelnen Wirkungskategorien gezielt nach den einzelnen Baustoffen aufzuschlüsseln. Ein solcher Baustoffmassenzug ermöglicht das Nachvollziehen der maßgebenden Stoffströme und damit auch der signifikanten Umweltbelastungen.

4.3 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Indikator KEA_H auf Gebäudeebene ein Indikator ist, der in erster Näherung Anhaltspunkte für die Richtung der Wirkungskategorien Treibhauspotential (CO₂ -Äquivalent) und Versauerung (SO₂ -Äquivalent) erkennen lässt. Die Qualität der zugrunde liegenden Basisdaten ist allerdings entscheidend für die getroffenen Aussagen.

Bei der Verwendung dieses Indikators als Leitindikator ist auf jeden Fall auf eine sehr saubere Definition der Systemgrenzen zu achten. Durch die lange Lebensdauer der Gebäude und der damit verbundenen langen Verweildauer der eingebauten Bauteile und Baustoffe lassen sich nur sehr schwer Aussagen über die beiden Werte KEA_N und KEA_E treffen. Daher ist beim Einsatz dieses Indikators ein gewisses Maß an kritischer Wachsamkeit gegeben. Die Aggregation zu einem Einzahlenwert kann sehr leicht zu pauschalen Aussagen verleiten. Nur ein sorgfältiges Hinterfragen der Relevanz der Daten und ihrer Qualität kann den falschen Einsatz des Indikators verhindern helfen.

Weiterhin ist die Fragestellung wie mit Nutzungsänderungen, Wieder- und Weiterverwendung, Erneuerung (die eigentlich eine Herstellungsphase in der Nutzungsphase ist) und Entsorgung umgegangen wird (Allokationsverfahren). Hier kann das Aufschlüsseln des KEA in seine drei Bestandteile nur eine Hilfestellung geben.

5 Literatur

- [BKB1995] Baukostenberatung Architektenkammer Baden-Württemberg (Hrsg.): Gebäudekosten 1995, Baupreistabellen. Stuttgart, 1994
- [BST1995] HAB Weimar / ifib / ETHZ-LES : Baustoffdaten - Ökoinventare. ifib, Karlsruhe, 1995
- [ESU1996] ETH Zürich Gruppe Energie-Stoffe-Umwelt (ESU) (Hrsg.): Ökoinventare von Energiesystemen, 3. Auflage, 1996, CDROM
- [ECOPRO1996] Institut für Industrielle Bauproduktion (Hrsg.): ECOPRO-Manual. Karlsruhe. 1996
- [GEM1998] Öko-Institut: Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 3.08. Freiburg, Darmstadt, Berlin. 1998. Mit Ergänzungen von Dr. Wolfgang Jenseit
- [HEI1992] Heijungs, Guinee, Huppes, et. al.: Environmental Life Cycle Assessment of Products. Leiden, 1992
- [VDI4600] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): Kumulierter Energieaufwand, Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden. Beuth Verlag. Berlin. Mai 1997