



SIA Effizienzpfad Energie Statusbericht Graue Energie

Grundlagen zur Dokumentation SIA D 0216
Ein Projekt von Swiss Energycodes der KHE des SIA

Bearbeitung
büro für umweltchemie, Ueli Kasser, Dipl. Chemiker

22. Februar 2004

Inhalt

Zusammenfassung	1
1. Begriffsklärung	2
2. Anwendung in der Baubranche	4
2.1. Beispiele	4
2.2 Schweizerische Instrumente	6
2.3 Ausland	7
3. Einflussfaktoren bei Gebäuden	8
3.1. Kompaktheit	8
3.2 Materialisierung	9
3.3 Fensterfläche	9
3.4 Nebenräume	9
3.5 Andere Faktoren	9
4. Berechnungsmethode und Daten	11
4.1. Grundsätzliches	11
4.2 Systemgrenzen	11
4.3 Bewertungsfragen	11
4.4 Standardisierung	12
4.5 Datensituation	13
5. Vergleich zu anderen Indikatoren	14
5.1 Grundlagen	14
5.2 Vorteile	15
5.3 Nachteile	15
Quellenverzeichnis	16

Zusammenfassung

Begriffsklärung	Die Graue Energie ist der kumulierte Aufwand an energetischen Rohstoffen, die erforderlich sind um ein Produkt oder eine Leistung an einem bestimmten Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt bereitzustellen. Er umfasst alle vorgelagerten Prozesse bis zum Rohstoffabbau (Primärenergie) und setzt eine Stoffbuchhaltung dieser Prozesse voraus. Die Graue Energie wird in Energieeinheiten ausgedrückt und bezieht sich auf eine physikalische Einheit des Produktes oder der Leistung. Es ist ein Indikator für den „ökologischen Rucksack“, der von der Technologie, von Produktionsstandorten, Systemgrenzen und anderen Systemfaktoren abhängig ist.
Anwendung in der Bau- branche	Die Graue Energie wird als Teil der Methodik zur ökologischen Beurteilung von Konstruktionen und Gebäuden verwendet und unterstützt die Problemlösung bei strategischen Fragen wie „Umbauen oder sanieren?“ oder bei wärmetechnischen Aufgaben. Sie ist in verschiedenen Planungsinstrumenten wie SNARC, eco-devis oder Thermo 2000 integriert und wird auch im Ausland als Umweltbelastungsindikator verwendet.
Einflussfaktoren bei Gebäuden	Die Graue Energie ist in erster Linie von der Grösse und Kompaktheit eines Gebäudes anhängig. Je grösser und kompakter ein Gebäude, desto geringer ist die auf die Flächeneinheit bezogene Graue Energie. Die Materialisierung der Gebäudehülle wirkt sich in weit geringerem Masse auf die Graue Energie aus. Fensterfläche und Nebenräume spielen ebenfalls eine gewisse Rolle. Einige Zusammenhänge zwischen Gebäudeausgestaltung und Grauer Energie sind noch wenig geklärt.
Berechnungsmethode und Daten	Die Graue Energie basiert wie andere Umweltindikatoren auf Stoffbuchhaltungen und verlangt analog zur Finanzbuchhaltung Regeln für die Zuordnung, Erfassung, Amortisation und Transparenz der Daten. Die bisherigen Normen des VDI und der ISO zur Erarbeitung von Stoffbuchhaltungen gehen nicht über Begriffsdefinitionen und sehr allgemein gehaltene Empfehlungen hinaus. Systemgrenzen und Bewertungsfragen sind noch nicht hinreichend standardisiert, obwohl sie einen grossen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Im Baubereich ist eine Vielzahl von Daten verfügbar. Allerdings sind sie nur beschränkt vergleichbar und häufig fehlt die Transparenz der Berechnungsgrundlagen. Es besteht ein ausgesprochener Harmonisierungsbedarf der durch die ETH in Zukunft wahrgenommen werden soll.
Vergleich mit anderen Indikatoren	Die Graue Energie ist nicht der einzige Indikator für die kumulierte Umweltbelastung der vorgelagerten Prozesse. Sie bewertet die Inputseite des Systems, während die anderen gebräuchlichen Indikatoren sich auf die Bewertung der Emissionen konzentrieren. Diese sind wesentlich anspruchsvoller und mit grossen Unsicherheiten belastet. In der heutigen Situation darf die Graue Energie als einfacher, aussagekräftiger und praxistauglicher Indikator für den „ökologischen Rucksack“ eines Produktes oder einer Leistung bezeichnet werden und ist für das Instrumentarium in der Nachhaltigkeitsbeurteilung unerlässlich.

1. Begriffsklärung

Ergebnis aus den Stoffbuchhaltungen vorgelagerter Prozesse

Die Graue Energie ist eine Zahl in einer Energieeinheit (MJ oder kWh), die den kumulierten Energieaufwand zur Herstellung des Produktes beinhaltet. Dies erfordert eine Stoffbuchhaltung für alle dem Produkt vorgelagerten Prozesse, vom Rohstoffabbau über Transport-, Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse inkl. der dazu notwendigen Hilfsstoffe und allenfalls auch Produktionsmittel.

Abb. 1

Die in der Fabrik Menz-nau verbrauchte Energie ist Teil der Grauen Energie einer Spanplatte



Physikalische Bezugsgrösse, Abhängigkeit von Zeit und Ort

Die Graue Energie eines Produktes oder einer Dienstleistung bezieht sich auf eine physikalische Einheit (Stk., kg, m³, km etc.) und ist abhängig von der Zeit und vom Ort (Herkunft, Transport). Der Unterschied zwischen einer Tulpe im April und im Dezember ist die am Produkt nicht sichtbare Energie, die zum Beheizen des Gewächshauses oder zum Antreiben des Frachtflugzeugs verbraucht wird.

Graue Energie ist immer Primärenergie

Das Erdöl im Meeresboden ist die Primärenergieform von Heizöl oder der Stubenwärme, sofern diese mit Heizöl erzeugt wurde. In Abb. 2 sind diese Zusammenhänge am Beispiel eines 10 kW Low-Nox-Heizölkessels dargestellt. Von 149 Litern Heizöl (äquivalente Energiemenge) erreichen nur 100 Liter in der Form von Wärme die Stube. Die Differenz ist ein Mass für den Aufwand um den Nutzen zu erreichen, wenn man die Stoffbuchhaltung beim Bohrturm beginnt. Auf diese Weise lässt sich jeder Nutzen zurückverfolgen bis zur primären Rohstoffform, jenem Ort und Moment wo er durch den Menschen der Natur entnommen wurde.

Indikator für den „Ökologischen Rucksack“

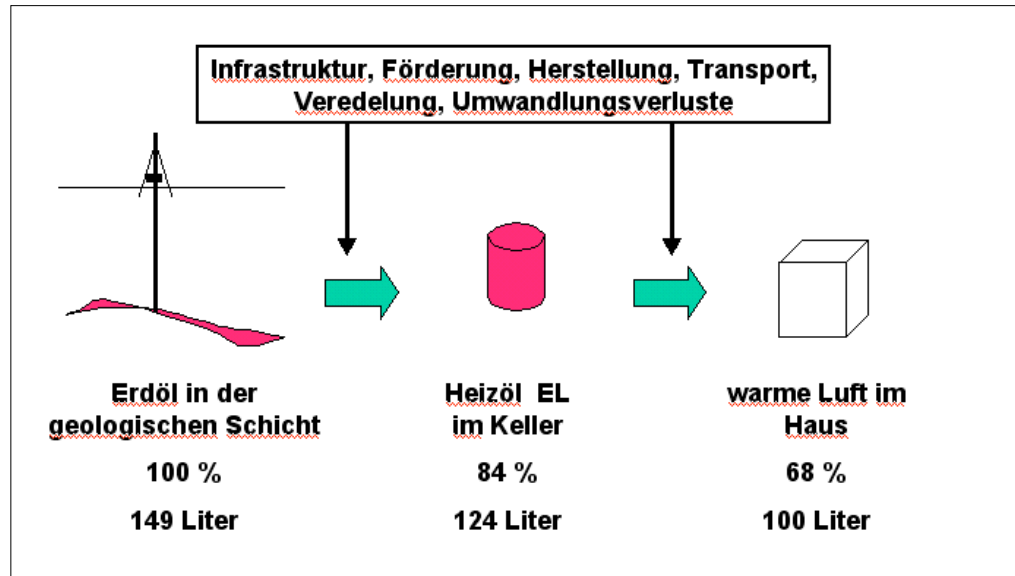
Während sich die ökonomische Vergangenheit im Preis widerspiegelt, benutzt man für die ökologische Vergangenheit die Graue Energie oder eine andere quantitative Grösse. Derjenige der das Produkt nutzt, ist auch (Mit)verursacher der Umweltauswirkungen. Es gibt eine Reihe anderer Indikatoren wie das Treibhauswirksamkeitspotential (GWP), die Umweltbelastungspunkte (UBP) oder der "ecoindicator".

Ursprung und internationale Bedeutung

Der Ursprung des Begriffes "Graue Energie" geht auf ein Charakteristikum nationaler Energiestatistiken zurück. Diese umfasst die in einem Land produzierte Energie und die importierten fossilen Energieträger. Der indirekte "Energieverbrauch" aus dem Konsum von importierten Rohstoffen und Gü-

tern ist in der Energiestatistik nicht enthalten. Dieser indirekte Verbrauch wurde als "Graue Energie" bezeichnet [Spreng 1989] und ist für den Vergleich zwischen Ländern von Bedeutung. Auch im Rahmen internationaler Abkommen und Diskussionen spielen indirekter Energieverbrauch und indirekte Emissionen (Treibhausgase) eine gewisse Rolle [vgl. z.B. BUWAL 2001].

Abb. 2
Zusammenhang zwischen Primär-, End- und Nutzenergie am Beispiel einer kleineren Heizölfeuerung



Ein Index vergleichbar mit der Teuerung oder dem SPI

Obwohl die Graue Energie auf verhältnismässig einfach messbaren Grössen in den Betrieben beruht, ist sie keine exakte Zahl im naturwissenschaftlichen Sinne. Zur Berechnung müssen – wie bei allen anderen Indikatoren die auf Stoffbuchhaltungen aufbauen – Systemabgrenzungen, Zuordnungen, Gewichtungen, Amortisationszeiten, Plausibilitäts- und Repräsentativitätsüberlegungen herangezogen werden (vgl. Kap. 4 Berechnungsmethoden). Diese Indikatoren sind vergleichbar mit dem Teuerungs- oder dem Swiss Performance Index SPI. Im Gegensatz zu diesen Indices gibt es für Stoffbuchhaltungen noch keine allgemein anerkannte Berechnungsmethode. Durch Veränderung des Baustoffmarktes, der Produktionsorte, der Technologie und der Produktentwicklung verändert sich auch die Graue Energie.

2. Anwendung in der Baubranche

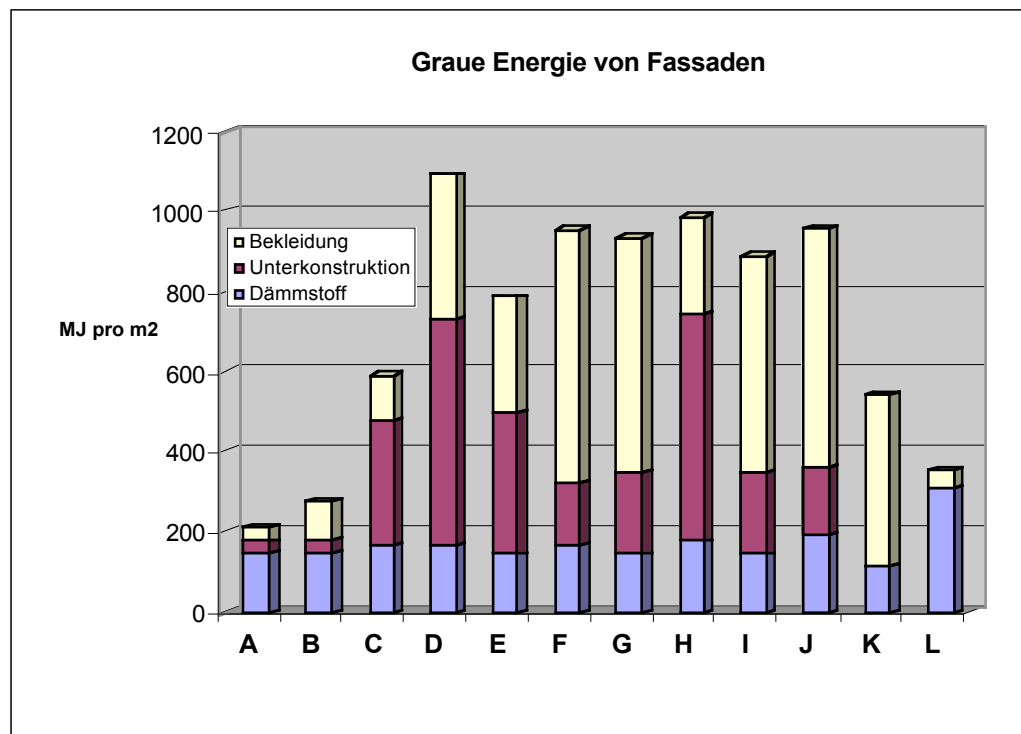
2.1. Beispiele

40 cm Wärmedämmung sinnvoll?

Wer die Frage beantwortet haben will, ob die Erhöhung einer Wärmedämmung von 30 auf 40 cm sinnvoll und/oder effizient ist, muss zwangsläufig auf Indikatoren wie die Graue Energie für Wärmedämmstoffe zurückgreifen. Die Frage lässt sich nur beantworten, wenn man die Graue Energie des Mehraufwandes an Dämmmaterial mit der eingesparten Energie vergleichen kann. Bei der Glaswolle dauert es 5 Jahre, bei Schaumglas bereits 35 Jahre bis der Mehraufwand durch die Erhöhung von 30 cm auf 40 cm wieder eingespart werden kann. Bei modernen hochwärmedämmenden Fensterkonstruktionen mit Edelgas oder bei Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung stellen sich analoge Fragen des ökologischen Verhältnisses zwischen Aufwand und Ertrag.

Abb. 3
Graue Energie verschiedener Fassadenkonstruktionen

- A Holzschalung auf Holz
- B Putzträgerplatten auf Holz
- C Faserzement auf Alu
- D Keramik auf Alu
- E Feinsteinzeug auf Alu
- F Naturstein auf Konsolen
- G Alukofferblechfassade
- H Glas auf Alu
- I Alu-Profil auf Metall
- J Alu-Verbund
- K Vorsatz Backstein
- L Wärmedämmverbund



Optimierung von Konstruktionen

Eine häufiger Anwendungsbereich ist die vergleichende Beurteilung von Konstruktionen im Hochbau. Stellvertretend für die vielen Beispiele sei hier eine Arbeit des Schweizerischen Verbandes für Dach und Wand zitiert, der für seine Mitglieder die Graue Energie von 12 typischen Fassadenverkleidungen bilanzierte (Abb. 3).

Ab Fabrikator,
ohne Lebensdauer,
ohne Unterhalt,
ohne Entsorgung

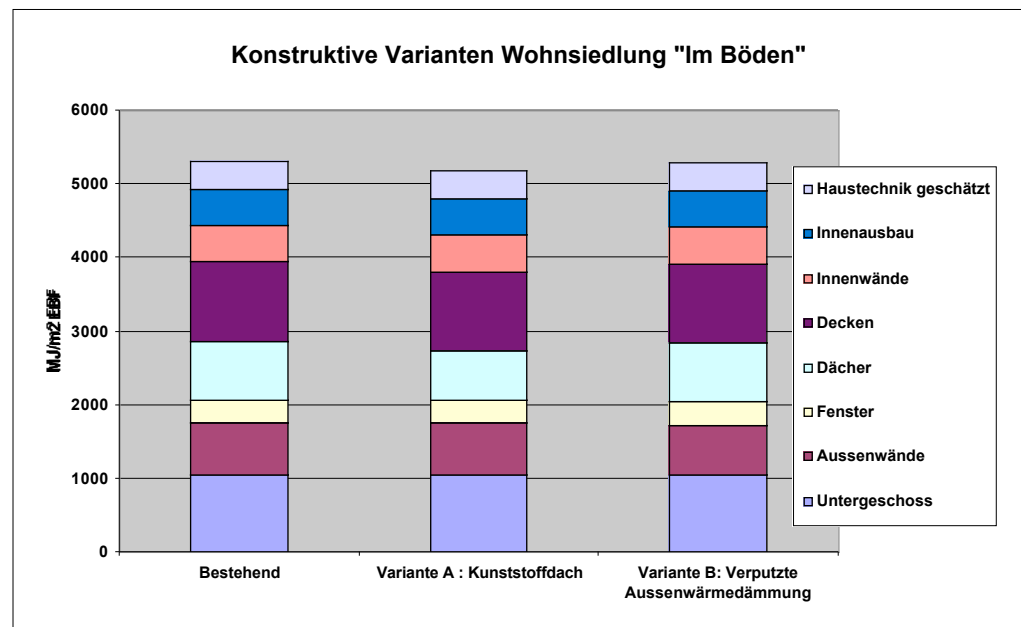
Anhand der Fassaden lässt sich der Stellenwert der Grauen Energie sehr deutlich charakterisieren. So wie der Indikator heute normalerweise verwendet wird, handelt es sich um die kumulierte Energie bis das Bauprodukt das Fabrikator verlässt. Das hat praktische und erkenntnistheoretische Gründe. Die Beurteilung der Lebensdauer resp. Nutzungsdauer als eine der wichtigsten Einflussgrößen soll dem Fachmann, dem Planer und den Architektinnen überlassen werden. Wird beispielsweise die Nutzungsdauer der verputzten

Wärmedämmung gegenüber metallischen oder keramischen Varianten als deutlich kleiner eingeschätzt, so müssen die Werte um einen entsprechenden Faktor korrigiert werden. Es können aber auch Massnahmen getroffen werden, um die Nutzungsdauer zu erhöhen (Witterungsschutz). Es ist wenig sinnvoll wenn man die Nutzungsdauer in Zahlen versteckt. Die Verarbeitung auf der Baustelle und der Unterhalt darf man bei Fassaden vernachlässigen, da er weit unter 1 % des kumulierten Energieaufwandes der Herstellung ausmacht. Schliesslich bleibt noch die Entsorgung, für die sich die Graue Energie als Bewertungsgrösse nicht eignet. Stoffbuchhaltungen von Verbrennungsanlagen oder von Deponien haben ihre Tücken. Langzeitprognosen über das Verhalten des Deponiekörpers sind kaum möglich.

Ressourcenintensität
von Gebäuden

In Abb. 4 ist die Graue Energie eines Gebäudes in drei Varianten aufgetragen. Sie wurde nach dem Bau zu wissenschaftlichen Zwecken berechnet [Kasser 2001]. U.a. ging es darum den Einfluss von einzelnen Gebäudeteilen eines bestehenden Gebäudes zu eruieren. Es handelt sich um die Wohnsiedlung „Im Böden“ der ABZ Wohnbaugenossenschaft in Zürich-Affoltern, die 1995 erstellt wurde.

Abb. 4
Graue Energie einer
Wohnsiedlung: Einfluss
von konstruktiven Vari-
anten



Unbedeutender
Einfluss konstruktiver
Varianten?

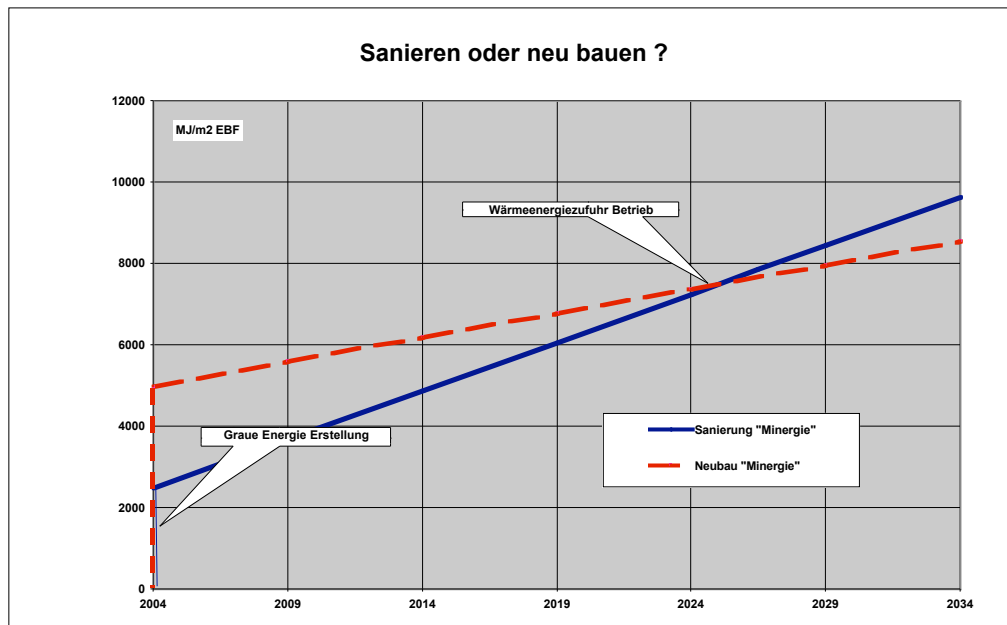
Augenfällig in Abb. 4 ist die Geringfügigkeit verschiedener Varianten. Ersetzt man beispielsweise das bestehende Kompaktdach aus Schaumglas durch ein Foliendach (Variante A in Abb. 4) so wirkt sich das nur im Bereich zwischen 3 - 4 % aus. Wenn beispielsweise die bestehende Eternitfassade durch eine verputzte Wärmedämmung ersetzt wird (Variante B in Abb. 4), so ist der Einfluss auf die gesamte Graue Energie pro m² EBF geringer als 1 %, obwohl die Eternitfassade als solche pro m² Fassade fast doppelt so energieintensiv ist wie die verputzte Wärmedämmung. Das hängt einerseits mit der Bezugsgrösse EBF zusammen. Andererseits machen die Aussenwände insgesamt bei der Wohnsiedlung „Im Böden“ nur 15 % der grauen Energie aus und die Verkleidung wieder nur den geringeren Teil der Aussenwand. Das verleitet oft zur Schlussfolgerung, dass die Konstruktionswahl keinen Einfluss auf die Graue Energie habe. In der Tat sind andere Faktoren, über die in früheren Planungsphasen entschieden wird von grösserem Einfluss (vgl. auch Kap. 3). Allerdings verhält es sich wie bei den Kosten. Sie können in der Projektie-

rungsphase nur noch in grösserem Umfang gesenkt werden, wenn bei allen Konstruktionen und Arbeitsgattungen „gespart“ wird.

Strategische Planung:
„Neubau oder Sanie-
rung“?

Eine „klassische“ Leistung der Grauen Energie ist die Gesamtenergiebetrachtung eines Gebäudes über eine bestimmte Zeit. Eine solche ist vor allem bei der Frage „Neubau oder Sanierung?“ hilfreich. In Abb. 5 sind die beiden Varianten über 30 Jahre Betriebszeit aufgezeichnet. Die Graue Energie ist als einmalige Investition 2004 vertikal aufgetragen, die Betriebsenergie erfolgt kontinuierlich (ansteigende Gerade).

Abb. 5
Gesamtenergie-
betrachtung über dreis-
sig Jahre von Umbau
und Neubau anhand
eines Modell-Beispiels



Erfahrungswerte
nötig

Aus Forschungsergebnissen an der ZHW kennt man die Grauenenergiewerte von Sanierungen und Neubauten als Erfahrungswerte. Ein bestehendes Gebäude kann demnach ohne weiteres mit 2500 MJ/m² EBF so saniert werden, dass der Minergiestandard für Sanierungen erreicht wird (Ausgezogene Linie in Abb. 5). Mit einem Neubau braucht es in der Regel etwa doppelt so viel Graue Energie, jedoch kann mit dem Minergiestandard Neubau die Betriebsenergie um 50 % gesenkt werden (Unterbrochene Linie in Abb. 5). Trotz den deutlich höheren Investitionen an Grauer Energie beim Neubau, erreicht man über dreissig Jahre betrachtet mit dem Neubau einen geringeren Gesamtenergieverbrauch. Dieses Modell-Beispiel lässt sich an konkreten Objekten beliebig differenzieren. Nur mit Hilfe der Grauen Energie lassen sich solche Fragen, die in der strategischen Planung bedeutend und umweltrelevant sind, zuverlässig und objektiv beantworten. Dies erfolgt heute im vermehrten Masse nicht nur an konkreten Objekten, sondern auch im Rahmen energiepolitischer Überlegungen [vgl. z.B. Binz 2001, Ott 2002].

2.2 Schweizerische Instrumente

SNARC

Das Instrument zur raschen Beurteilung von Wettbewerbsprojekten nutzt den Indikator „Graue Energie“ zur Bewertung der Ressourcenintensität. Im Rahmen des Projektes wurde ein Algorithmus entwickelt, der ein rasches Abschätzen der Grauen Energie eines Gebäudes anhand der wesentlichen Einflussfaktoren ermöglicht (vgl. auch Kap. 3).

eco-devis

Die Standardleistungen in den 44 wichtigsten Normpositionenkatalogen des

Hochhaus wurden einer ökologischen Beurteilung unterzogen, um schlussendlich jene Leistungen für den Anwender des NPK zu kennzeichnen die als besonders ökologisch bewertet wurden. Die Beurteilungsmethode umfasst 12 Kriterien, die zu drei Hauptkriteriengruppen zusammengefasst werden. Ein gewichtiges Kriterium ist die Graue Energie.

Thermo 2000

Die vom Büro für Umweltchemie über die Jahre erarbeiteten Grauenergiedaten [Kasser 1998] wurden in das Programm von Jürg Krieg zur Berechnung der Betriebsenergie nach 380/1 integriert. So lassen sich Synergien nutzen, um Heizenergie und Graue Energie praktisch gleichzeitig zu berechnen.

2000 Watt Gesellschaft

Im Konzept und Strategie der 2000-Watt-Gesellschaft eines nachhaltigen Energieverbrauchs ist die Graue Energie miteinbezogen. Es wäre insbesondere in einem rohstoffarmen Land eine Verzerrung, diese versteckte Energie nicht zu berücksichtigen.

BUWAL Forschung

Das Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft hat in den Neunzigerjahren ein Forschungsbericht zur Grauen Energie publiziert [BUWAL 1999]. Darin wird die Aussagekraft, die Zuverlässigkeit und Zweckmässigkeit der Grauen Energie als Index von Stoffbuchhaltungen im Detail diskutiert.

2.3 Ausland

Österreich

Der ökologische Bauteilkatalog für Architekten enthält zahlreiche bauphysikalische und ökologische Daten einer Vielzahl von Standardkonstruktionen. Darin wird neben der Grauen Energie auch die Treibhauswirksamkeit (GWP) und das Versäuerungspotential (AP) als Indikatoren für den ökologischen Rucksack ausgewiesen [Waltjen 1999].

Deutschland

Im Rahmen der VDI-Forschungsberichte wurden verschiedene detaillierte Gesamtenergiebilanzen von bestehenden Gebäuden vorgelegt, die aufschlussreiche Erkenntnisse über die Verhältnisse des Energieaufwandes verschiedener Bauprozesse enthalten [Brake 1999, Geiger 1997]. Das Umweltbundesamt veröffentlichte eine Grundsatzstudie über die Indikatoren von Stoff- und Energiebilanzen [UBA 1998]. Im Baustoffinformationssystem für Architekten ECOBIS des Bundesamtes für Wohnungswesen ist die Graue Energie als wesentliches Merkmal von Baustoffen enthalten [ECOBIS 2000].

USA:

Schliesslich veröffentlichte der amerikanische Architektenverband ein umfangreiches Werk zu den Stoff- und Energiebilanzen von Bauprodukten, die als „embodied energy“ ausgewiesen werden [Demkin 1996].

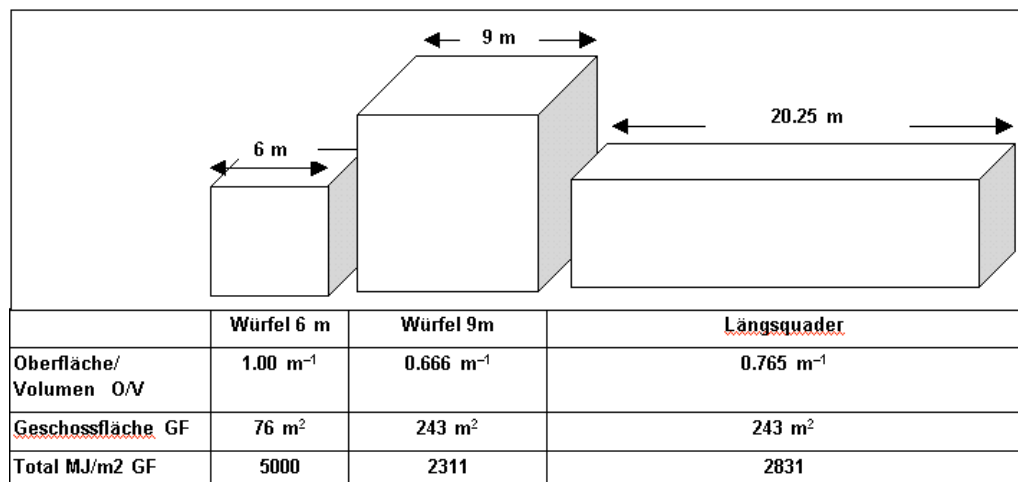
3. Einflussfaktoren bei Gebäuden

3.1. Kompaktheit

Form und Grösse, Gebäudehüllenfaktor

Aus allen bisherigen Untersuchungen weiss man, dass die Graue Energie ganz wesentlich durch Form und Grösse eines Gebäudes bestimmt wird. Die Graue Energie wird somit primär in der strategischen Planung oder Entwurfsphase durch den Architekten und Bauherren bestimmt, während die Betriebsenergie sowohl in der Projektierung durch den Architekten wie in der Bewirtschaftung durch den Benutzer oder bei späteren Sanierungen beeinflusst werden kann. Weil bei allen Gebäuden ein grosser Teil der Grauen Energie in der Gebäudehülle und in den Untergeschossen enthalten ist, sind Gebäudegrösse und Form die entscheidenden Faktoren. Dach, Aussenwände und Untergeschoss machen bei allen Gebäuden deutlich mehr als die Hälfte der Grauen Energie aus. Je grösser und kompakter das Gebäude (kleines Verhältnis Oberfläche zu Volumen), desto geringer ist der Anteil der energieintensiven Gebäudehülle. Bei kleineren und aufgelösteren Formen (grosses Verhältnis Oberfläche zu Volumen) nimmt die auf die Geschossfläche bezogene Graue Energie zu.

Abb. 6
Gebäudehüllenfaktor
und Graue Energie
von Modellgebäuden



Einfache
Zusammenhänge

Das lässt sich anhand von drei Modellgebäuden einfach illustrieren (Abb. 6). Reduziert man einen Würfel von der Kantenlänge 9 Meter auf einen solchen von 6 Meter, so bleibt zwar die Form gleich, das Verhältnis Oberfläche zu Volumen O/V nimmt jedoch deutlich zu (Abb. 6). Pro Volumeneinheit, resp. pro m² Geschossfläche muss mehr Oberfläche „aufgewendet“ werden. Dem entsprechend ist auch die auf die Geschossfläche bezogene Graue Energie bei gleicher Materialisierung signifikant höher. Wird ausgehend vom selben Würfel unter Beibehaltung des Volumens resp. der Geschossfläche nur die Form verändert, so ergibt sich ebenfalls eine signifikante Erhöhung der Grauen Energie.

Einfluss allgemein unterschätzt

Der Einfluss von Grösse und Form wird in der Regel unterschätzt. Durch kompaktere, sich dem Würfel annähernde Formen lassen sich effizient Ressourcen einsparen. Selbstverständlich ist die Graue Energie nicht das alleinige Kriterium zur Bestimmung von Grösse und Form. Bei allzu kompakten Gebäuden besteht die Gefahr, dass gerade jene Nischen und Bereiche verlo-

ren gehen, die für Erholung und Begegnung wichtig sein können und die einen Beitrag an eine hohe Wohnqualität erbringen können.

3.2 Materialisierung

Leichtbauweise in Holz
ist ressourcensparend

Die Materialisierung der Aussenwände, Dächer und Decken ist eine weitere wichtige Einflussgrösse, die allerdings im Allgemeinen überschätzt wird. Dabei geht es weniger um die einzelnen Schichten als um das Konstruktionsprinzip. Eine Massivbauweise erfordert zwischen 1.5 bis 2 t Baustoffe pro m² Energiebezugsfläche, während eine Leichtbauweise in Holz in der Regel weniger als 1 t/m² aufweist. Bei einem mittelgrossen Gebäude kann man davon ausgehen, dass sich die Graue Energie bei einer Leichtbauweise in Holz gegenüber einem Massivbau um etwa einen Drittel reduzieren lässt. Allerdings darf auch die Bauweise analog der Form und Kompaktheit nicht nur aufgrund der Grauen Energie alleine beurteilt werden. Die Vorteile der Masse in Bezug auf Schallschutz, Wärmespeicherung und Brandschutz sind ebenso in eine gesamtheitliche Beurteilung mit einzubeziehen.

3.3 Fensterfläche

Ressourcenintensive
Fensterkonstruktionen

Ein weiterer wesentlicher Faktor stellt das Fenster dar. Je nach Grösse der Fenster, Rahmenanteil und Rahmenmaterial können Fenster pro Flächeneinheit ein Mehrfaches an Grauer Energie aufweisen, als geschlossene Aussenwände. Diese ist hauptsächlich im Rahmenmaterial enthalten. Erhöht man beispielsweise den Anteil Metallfenster an der Fassade eines mittelgrossen Gebäudes von 40 auf 60 %, so erhöht sich die Graue Energie pro Geschossfläche etwa um 15 %. Bei Holz/Metall-, Kunststoff- und Holzfenstern ist der Einfluss deutlich geringer. Das Fensterkonzept ist mit Überlegungen zu möglichen Energiegewinnen und zum Witterungsschutz zu ergänzen.

Glasfassaden

Extrem hohe Graue Energiewerte ergeben sich bei voll verglasten Gebäuden oder bei doppelschaligen Glasfassaden [Kasser 1999]. Sonnenschutz und Statik erfordern Materialien und Dimensionen die sich in erheblichem Masse auf die Ressourcenintensität (Graue Energie) auswirken.

3.4 Nebenräume

Tiefgaragen

Unbeheizte Nebenräume, insbesondere Tiefgaragen können mit grossen Investitionen an Ressourcen (Graue Energie) verbunden sein. Garagen unter Terrain verursachen einen Mehraufwand an Aushub, eine ressourcenintensive Baugrubensicherung bei Vorhaben im Grundwasser und erhebliche statische Massnahmen. Das gilt in besonderem Masse für Tiefgaragen, die nicht unter Gebäuden liegen. In Wohnbauten können Tiefgaragen pro Energiebezugsfläche 5 - 10 % der Grauen Energie ausmachen.

3.5 Andere Faktoren

Haustechnik

Zur Herstellung und Montage von haustechnischen Anlagen und Installationen sind verhältnismässig wenig Daten vorgelagerter Prozesse verfügbar. Die Bilanzierungen sind relativ aufwändig und werden deshalb oft nicht

durchgeführt. Aus verschiedenen Untersuchungen weiss man, dass die Haustechnik insgesamt 5 - 15 % der „gesamten“ Grauen Energie ausmachen. Bei einem Mehrfamilienhausneubau in Berlin wurde die Haustechnik (Kollektoren und Wärmepumpe, Sanitär- und Heizungsanlagen, Elektroinstalltionen) mit 8% der Grauen Energie des Gebäudes berechnet [Geiger 1997]. Bei einer Altbausanierung zu einem Passivhaus in Zürich wurde die gesamte Haustechnik inkl. mechanischer Bedarfslüftung mit 14% der Grauen Energie bilanziert [Viridén 2003].

Aushub,
Terraingestaltung,
Transporte

Bei einer Stoff- und Energiebilanz ist es nicht möglich, alle Prozesse zu berücksichtigen. Die Prozesssysteme sind offen (vgl. Kap. 4), der Erfassungsaufwand muss limitiert werden oder die Daten für die vorgelagerten Prozesse fehlen. Bei der Gebäudebilanzierung werden in der Regel der Aufwand für den Aushub, die Terraingestaltung und Umgebung, die Verarbeitungsprozesse und Hilfsmittel auf der Baustelle, die Entsorgung der Baustellenabfälle, die Baumaterialtransporte vom Lieferanten auf die Baustelle in erster Näherung vernachlässigt. Sie können planerisch wenig beeinflusst werden, sind oft aufwändig in der Erfassung und spielen im Rahmen einer Gesamtenergiebeurteilung eine untergeordnete Rolle. So macht beispielsweise die Energie, die direkt auf der Baustelle verbraucht wird (Kran, Licht, Pumpen, Maschinen) sowie die Hilfsstoffe (Schalungen, Gerüste, Wasser, Abdeckungen etc.) insgesamt anhand eines detailliert berechneten Beispiels deutlich weniger als 1 % der Grauen Energie eines Gebäudes aus [Geiger 1997].

Forschungsbedarf:
Graue Energie von
Hochhäusern, Arbeiten
im Grundwasser

Eine Reihe interessanter Fragen im Zusammenhang mit der Grauen Energie ist noch wenig erforscht, beispielsweise die Zusammenhänge bei vielgeschossigen Gebäuden. Der Senkung der Grauen Energie für die Gebäudehülle steht ein zunehmender Aufwand an Statik, Brandschutz und Erschliessung (Betriebsenergie für die Aufzüge!) gegenüber. Auch Bauarbeiten im Grundwasser dürften verhältnismässig energieintensiv sein.

4. Berechnungsmethode und Daten

4.1. Grundsätzliches

Vergleichbarkeit
von Daten

So einfach die Definition der Grauen Energie ist, so komplex ist die konkrete Erarbeitung von zuverlässigen Zahlen. Bei Stoff- und Energiebuchhaltungen ergeben sich ähnlich wie bei Finanzbuchhaltungen Zuordnungs-, Bewertungs-, Amortisations- und Erfassungsprobleme, die einheitlich, zweckmässig und logisch gelöst werden müssen. Es gibt keine falschen oder richtigen Zahlen. Es gibt höchstens Zahlen die nach derselben Logik erarbeitet wurden und deshalb vergleichbar sind, und es gibt Zahlen konkurrierender Materialien, die unter völlig verschiedenen Prämissen und Zielsetzungen erhoben und berechnet wurden. Das gilt in gleichem Masse für alle Indikatoren, die auf Stoff- und Energiebuchhaltungen beruhen. Die Standardisierungsfrage ist bis heute noch nicht zufriedenstellend gelöst

4.2 Systemgrenzen

Prozessuale,
zeitliche und
geografische
Systemgrenzen

Produktionssysteme sind offen und vernetzt. Untersucht man die Vergangenheit eines Stahlträgers so gelangt man zum Altauauto das den Stahlschrott liefert und zum Kraftwerk, das den Strom für das Einschmelzen des Schrotts produziert. Das Beispiel wirft bereits zwei grundlegende Fragen der Systemabgrenzung auf. Soll der Stahlträger der bereits für den Bau des Kraftwerkes gebraucht wurde in das System einbezogen werden und soll ein Teil des Aufwandes der für die Herstellung des Autos dem Stahlträger zugeordnet werden ? Wenn man die Produktionsmittel ins System einbezieht stellt sich die Frage der Amortisationszeit. Auf wieviel Produktionseinheiten Elektrizität soll der Aufwand für den Bau einer Staumauer verteilt werden? Welche Staumauern und Kraftwerke sollen welchen Stromversorgungsgebieten zugeordnet werden?

Bitumen ein
Abfallprodukt ?

Bei der Destillation von Erdöl aus Kuwait beispielsweise entsteht pro Liter zwangsläufig ca. 300 Gramm Bitumen. Die Hersteller von Dachbahnen möchten gerne dieses Bitumen als Abfallprodukt behandeln, da es zwangsläufig entsteht (sog. Kuppelproduktion). Das würde bedeuten, dass Bitumen in der Stoffbuchhaltung gratis zu haben ist. Der gesamte Aufwand müsste folgerichtig den anderen Destillationsprodukten zugeordnet werden. Die Kunststoffhersteller könnten mit gleichem Grund fordern, dass die Rohstoffbasis für ihre Produkte, die Erdölfraktion Naphta auch als Abfallprodukt zu behandeln ist. Solche Kuppelproduktionen sind in der Produktion von Werkstoffen häufig.

4.3 Bewertungsfragen

Welche Energie wird
berücksichtigt ?

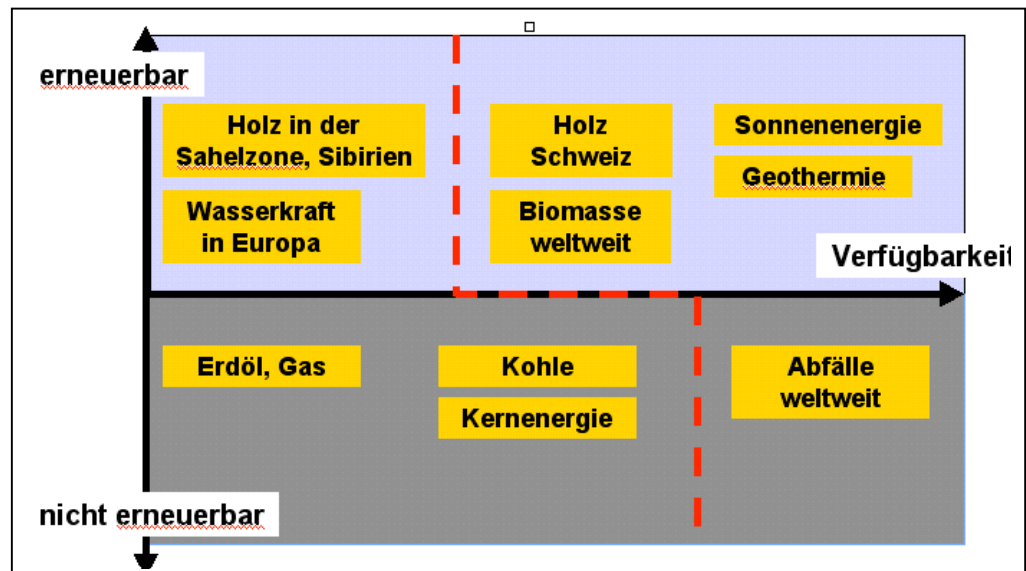
Bei der Grauen Energie wie sie heute in der Bauwirtschaft verwendet wird, handelt es sich um eine ökologische Bewertungsgrösse. Sie stützt sich auf physikalisch messbare Grössen (Energieeinheiten), berücksichtigt jedoch nicht alle Energieformen. In Analogie zur Betriebsenergie nach SIA 380/1 oder zum Minergiestandard, wo die Sonnenenergie oder die Geothermie dem

Erneuerbarkeit und Verfügbarkeit als Kriterien

Aufwand nicht belastet werden ist auch bei der Grauen Energie eine Bewertung notwendig.

Die Grauenenergiedaten für Baustoffe, die für schweizerische Verhältnisse harmonisiert wurden [Kasser 1998] umfassen die Summe aller nichterneuerbaren Primärenergieträger und energetisch nutzbaren fossilen Rohstoffe sowie der Wasserkraft eines bestimmten Systems. Erneuerbare und gut verfügbare Rohstoffe (z. Bsp. End-User-Recylate) sind nicht enthalten. Erneuerbarkeit, und Verfügbarkeit von energetischen Rohstoffen sind in Abb. 7 aufgezeichnet. Die direkten Umweltauswirkungen beim Abbau, bei der Umwandlung und Nutzung sind bei den, der Grauen Energie nicht belasteten Energieträgern vergleichsweise gering. Bei der Grauen Energie einer Wärmepumpe sind beispielsweise der Bau der Pumpe, die Energie zum Bohren der Sonde und die Elektrizität für den Betrieb enthalten, nicht aber die Wärme, die aus der Erde gefördert wird. Bei einer Spanplatte besteht die Graue Energie aus dem Bindemittel, der Plattenproduktion, dem Fällen, Transportieren und Verarbeiten des Holzes, nicht aber aus dem Heizwert der Späne, sofern diese aus einer nachhaltigen Waldwirtschaft stammen.

Abb. 7
Erneuerbarkeit und gute Verfügbarkeit als Kriterium für die Berücksichtigung bei der Grauen Energie



4.4 Standardisierung

VDI Richtlinie 4600

Der Verein Deutscher Ingenieure VDI hat bereits Mitte der Neunzigerjahre den Versuch unternommen, das Vorgehen bei der Berechnung der „Grauen Energie“, besser zu regeln. „Der Kumulierte Energieaufwand KEA gibt die Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands an, der im Zusammenhang mit der Herstellung, Nutzung und Beseitigung eines ökonomischen Gutes (Produkt oder Dienstleistung) entsteht bzw. diesem ursächlich zugewiesen werden kann“ [VDI 4600]. In dieser Richtlinie werden Begriffe definiert, Grundsätze erläutert und Transparenz gefordert. Auf konkrete Empfehlungen oder Bewertungen wurde verzichtet.

ISO 14041ff

Auch der Standardisierungsversuch der Internationalen Normvereinigung über das Life Cycle Assessment [ISO 14041ff] hat einen unverbindlichen Charakter. Die Norm beschreibt das Vorgehen bei der Stoff- und Energiebi-

lanzierung (Life Cycle Inventories) von Systemen und trägt zur Begriffsklärung bei. Sie enthält eine übersichtliche und systematische Darstellung der möglicher Vorgehensweisen und Probleme.

Unverbindliche
Empfehlungen

Die teilweise sehr vagen Formulierungen lassen einen grossen Ermessensspielraum bei der Systemfestlegung und Anwendung von Zuordnungsregeln. Es wird empfohlen viele offene Fragen situativ zu entscheiden. Man hat offensichtlich die Verbindlichkeit gemieden, um in der noch jungen Wissenschaft der Stoff- und Energiebilanzierung keine Präjudizien zu schaffen.

Notwendigkeit einer
Normierung

Eine Standardisierung im Sinne einer Norm SIA 380/1 (Heizenergiebedarf) scheint bei Stoff- und Energiebuchhaltungen vorderhand nicht möglich. Es sind keine diesbezüglichen Anstrengungen bekannt, obwohl solche dringend notwendig wären.

4.5 Datensituation

Datenvielfalt

In den letzten 20 Jahren wurden ausserordentlich viele Stoff- und Energiebuchhaltungen der bedeutendsten Werkstoffe publiziert. Es handelt sich um eine kaum mehr überschaubare Anzahl von Publikationen. Mit den verfügbaren Daten liessen sich die meisten relevanten Fragen in der Bauplanung, für deren Beantwortung Stoff- und Energiebilanzen erforderlich sind, bearbeiten.

Energiesysteme, Stahl,
Holz, Massivbaustoffe

Da die Erstellung kumulierter Stoffbuchhaltungen ausserordentlich aufwändig ist, stammen viele Daten aus grösseren Forschungsprojekten oder aus Projekten Europäischer Industrieverbände. Die ETH hat 1996 erstmals umfassend und detailliert die wichtigsten Energieträger und Energieproduktionssysteme bilanziert. Der Europäische Stahlverband und der Europäische Kunststoffverband haben die wichtigsten Produkte aus ihren Betrieben bilanziert. Die EMPA hat in den Neunzigerjahren verschiedene Holzwerkstoffe und Produkte aus Holz einer umfassenden, bis auf die Waldwirtschaft zurück gehenden Stoffbilanz unterzogen. Der Verband der Ziegelindustrie, die Cem-suisse, der Natursteinverband und eine Reihe von Einzelfirmen haben Daten zu ihren Produkten erstellt.

Mangelnde Transparenz
und reduzierte
Vergleichbarkeit

Die Kehrseite der Datenvielfalt ist die z.T. erheblich eingeschränkte Vergleichbarkeit, da unterschiedliche oder nicht transparent dargestellte Berechnungs- und Erfassungsmethoden verwendet werden. So ist es auch für Fachleute ausserordentlich schwierig, die Qualität der Daten im Hinblick auf vergleichende Analysen zu beurteilen.

Harmonisierungs-
versuche

Die Notwendigkeit von vergleichbaren Daten für die praktische Anwendung ist unbestritten. Das Projekt Ecoinvent an der ETH soll mit Unterstützung von Bundesstellen etappenweise harmonisierte Daten in einem einheitlichen Format publizieren und für die praktische Anwendung zur Verfügung zu stellen. Das Projekt umfasst Werkstoffe, Produkte und Dienstleistungen aus allen Wirtschaftsbereichen. Ebenfalls mit Unterstützung von Bundesstellen sind 1997 für den Baubereich vom Büro für Umweltchemie Graue Energiedaten harmonisiert worden. Für den Architekten ist die Arbeit als Katalog mit ca. 550 Baustoffen, Bauteilen und Dienstleistungen publiziert worden [Kasser 1998]. Dieses Arbeitsmittel sollte dringend aktualisiert werden.

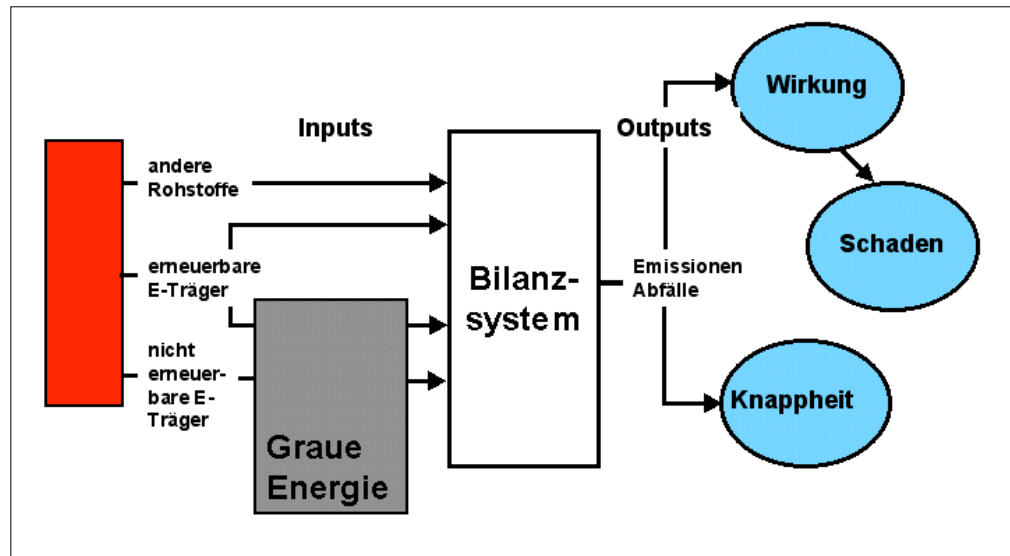
5. Vergleich zu anderen Indikatoren

5.1 Grundlagen

Stoffbilanz als Grundlage für alle Indikatoren

Ein bestimmtes vollständiges Stoffbilanzsystem besteht aus Inputs und Outputs und beruht auf dem Massenerhaltungsgesetz. Auf der Inputseite stehen die Primärrohstoffe in der Form wie sie der Natur entnommen werden (Rohstoffe), auf der Outputseite sind die Produkte sowie die Emissionen und Abfälle bilanziert (Abb. 8). Gemäss Massenerhaltungsgesetz müssen Inputs und Outputs gleich gross sein. Ein grösserer Input hat automatisch ein grösserer Output zur Folge.

Abb. 8
Bewertungssysteme einer Stoff- und Energiebilanz schematisch



Bewertung verschiedener Umweltbelastungen

Sowohl die Entnahme von Rohstoffen aus der Natur wie auch das emittieren von Stoffen in die Luft, den Boden und das Wasser werden heute als Umweltbelastung angesehen, wobei neben der Qualität des Materials die Menge ein entscheidender Faktor ist. Die Frage wie diese Umweltbelastung auf einfache Art und Weise zu quantifizieren ist, so dass sie in der Praxis handhabbar wird, ist Gegenstand von Bewertungsmethoden. Während sich die Graue Energie auf die Quantifizierung der nicht erneuerbaren und schlecht verfügbaren Energieträger beschränkt (Inputs vgl. Kap. 4.3), konzentrieren sich andere Indikatoren auf emissionsorientierte Bewertungen.

Erhebliche Unsicherheiten emissionsorientierter Indikatoren

Einfache, in der Praxis handhabbare Indikatoren für die emissionsorientierte Bewertung der Umweltbelastung stehen vor dem Problem, dass sie mehrere Duzend verschiedene Emittenten (Schadstoffe, Schadstoffgruppen und andere Gefahrenpotentiale) nach bestimmten Kriterien gewichten und zu einem Index aggregieren müssen. Bis anhin wurden in der Fachliteratur zahlreiche Modelle vorgeschlagen. Diese orientieren sich an der Wirkung, am Schaden oder an der ökologischen Knappheit (vgl. Abb. 8). Letzten Endes geht es dabei immer um die Frage, welche Schäden oder Wirkungen die Lebensgrundlage zukünftiger Generationen wie stark bedrohen. Wie bedrohlich ist beispielsweise die Emission eines kg Kohlendioxid in die Luft im Vergleich zu einem g eines Holzschutzmittelwirkstoffes, das in den Boden ausgewaschen wird? Viele dieser Gewichtungsfragen lassen sich nur mit grossen Unsicher-

heiten beantworten, da viel Mechanismen im komplexen System Umwelt nicht bekannt sind und sich einer Langzeitprognose entziehen.

5.2 Vorteile

Aussagekraft und
Richtungssicherheit

Die Aussagekraft der Grauen Energie ist in zweifacher Hinsicht beachtlich. Der Umgang mit nicht erneuerbaren und die schlecht verfügbaren Energieträgern ist im Hinblick auf die Erhaltung der Lebensgrundlagen zukünftiger Generationen ein zentraler und entscheidende Faktor. Diese Energieträger sind die Schlüsselgrösse jeder wirtschaftlicher Tätigkeit. Die Nutzung aller anderen Rohstoffe ist unmittelbar von der Verfügbarkeit dieser Energieträger abhängig. Zudem sind die heute als wesentlich erkannten Umweltprobleme direkt oder indirekt an die Nutzung dieser Energieträger gekoppelt (Klimawandel, radioaktiver Abfälle, Landschaftszerstörung, Bodenversäuerung). Der rationelle und schonungsvolle Umgang mit Energie und konsequenterweise auch mit der Grauen Energie weist eine hohe Richtungssicherheit bezüglich nachhaltiger Entwicklung auf.

Effizienz

Die Erarbeitung von Stoffbilanzen im Hinblick auf eine Bewertung der Grauen Energie ist wesentlich einfacher und weniger aufwändig als Analysen von Systemen, bei denen Emissionen erarbeitet werden müssen. Energiedaten sind besser verfügbar und zuverlässiger als Emissionsdaten. Zudem sind sie weniger von einzelnen Produktionsbetrieben abhängig. Sie sind für bestimmte Technologien repräsentativer und lassen sich verhältnismässig einfach auf Plausibilität überprüfen.

Praxistauglichkeit

Im Gegensatz zu emissionsorientierten Indikatoren wird die Graue Energie in physikalischen Einheiten exprimiert. Das erleichtert die Interpretation und lässt Analogie- sowie Effizienzüberlegungen von Massnahmen zu. Die Datenharmonisierung ist namentlich in der Baubranche weit fortgeschritten und wesentliche Planungsinstrumente basieren auf der Grauen Energie.

5.3 Nachteile

Kein
Universalindikator

Die Graue Energie ist ein Mass für die Umweltbelastung aller vorgelagerten Prozesse einer Leistung oder eines Produktes, am Ort und zum Zeitpunkt der Betrachtung. Gebrauchstauglichkeit, Performance, soziale oder ökonomische Aspekte sind darin nicht enthalten.

Für die Entsorgungs-
merkmale nicht aussa-
gekräftig

Die Umweltbelastung durch Verbrennung oder Deponierung eines Produktes ist in der Grauen Energie nicht enthalten. Dieser Aspekt ist zusätzlich in eine gesamtheitliche Beurteilung mit einzubeziehen. Allerdings bietet die Beurteilung der Entsorgung auch bei anderen Indikatoren Schwierigkeiten, da sich die Emissionen aus Verbrennungsanlagen und Deponien kaum den einzelnen Produkten zuordnen lassen.

Für spezifische Schad-
stoffprobleme nicht
aussagekräftig

Erhöhte Fluoremissionen aus einer Ziegelbrennerei, die Auswaschung von Herbiziden aus einer Dachfolie oder die Kupferabgabe ins Meteowasser von Metalldächern aus Kupfer werden durch die Graue Energie nicht erfasst. Für solche, spezifische Schadstoffprobleme müssen andere Massnahmen (Legiferierung) oder zusätzliche Risikoabschätzungen getroffen werden.

Quellenverzeichnis

- Brake 1999 Brake, M.; Die energetische Produktbilanz von Wohngebäuden – Eine vergleichende Untersuchung an drei Fallbeispielen aus Berlin; IRB-Verlag Stuttgart, 1999.
- Binz 2001 Binz, A.; Energie- und Stoffflüsse bei Abbruch und Sanierung von Mehrfamilienhäusern; Fachhochschule FHBB, Basel-Mutenz, 2001.
- BUWAL 1999 Ökologische Bewertung mit Hilfe der Grauen Energie; Schriftenreihe Umwelt Nr. 307; Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft, Bern 1999.
- Demkin 1996 Demkin, J.A.; Environmental Resource Guide; The American Institute of Architects, Washington DC, 1996.
- Frischknecht 2001 Frischknecht, R.; Life Cycle Inventory modelling used in the Swiss national database ECOINVENT 2000; 11th SETAC Europe Annual Meeting, May 2001.
- ECOBIS 2000 ECOBIS – Ökologisches Baustoffinformationssystem mit gesundheitlich und umweltrelevanten Daten (CD-ROM); Bundesministeriums für Verkehr- Bau- und Wohnungswesen Berlin und der Bayrischen Architektenkammer, München, 2000.
- eco-devis 2002 eco-devis – ökologische Leistungsbeschreibungen; Schlussberichte und Faltblätter zu 44 Normpositionen-Katalogen des CRB; Trägerverein eco-devis; Zürich, 1996 – 2002.
- Geiger 1997 Geiger, B., Fleissner, Th.; Stoffliche und energetische Lebenszyklusanalysen von Wohngebäuden. In: Gesamtheitliche Bilanzierung von Energiesystemen, VDI- 1328, Düsseldorf 1997.
- ISO 14041 International Standard Organisation ISO/TC 207/SC5; Environmental management – Life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory analysis; Committee ISO CD 14 041.2; AFNOR, Paris, 1998.
- Kasser 1998 Kasser, U., Pöll, M.; Graue Energie von Baustoffen, Tabellenwerk mit 550 Baustoffdaten und Erläuterungen; Herausgabe im Eigenverlag Büro für Umweltchemie Zürich, 1995, 2. Überarbeitete Auflage 1998.
- Kasser 1999 Kasser U., Preisig, H., Wydler J.; Unsichtbarer Energieverbrauch – Neuste Erkenntnisse über die Graue Energie von Gebäuden; tec21 Nr. 27/28, Zürich, 10. Juli 2001.
- Kasser 2001 Kasser U., Wydler J.; Graue Energie Konnex-Gebäude; Auftrag der ABB-Immobilien AG, Baden; Zentrum für nachhaltiges Gestalten, Planen und Bauen, Winterthur, Aug. 1999.
- Ott 2002 Ott, W.; Neu bauen statt sanieren; Forum Energie Zürich, Zürich, 2002.
- SNARC 2001 SNARC – Systematik zur Beurteilung der Nachhaltigkeit im Architekturwettbewerb und bei Studienaufträgen; Zürcher Hochschule Winterthur, Zentrum für nachhaltiges Gestalten, Planen und Bauen, Winterthur 2001.
- Spreng 1989 Spreng, D.; Wieviel Energie braucht Energie?, Verlag der Fachvereine (vdf), Zürich 1989
- Thermo 2000 Thermo 2000; Das Programm für Energienachweise, Wärme- und Feuchteschutz, Graue Energie; Thermo Bauphysik Dr. J. Krieg, Ruhtalstrasse 30, 8400 Winterthur.
- UBA 1998 Klöpffer, W.; Produkteökobilanzen und ihre Anwendungsmöglichkeiten im

- Baubereich Band 1; UBA-Texte 69/1998, Umweltbundesamt Berlin, 1988.
- VDI 4600 Verein Deutscher Ingenieure; Kumulierter Energieaufwand – Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden; VDI 4600; Düsseldorf (D), Juni 1997.
- Virirdén 2003 Virirdén, K., Ammann, Th., Hartmann, P., Huber H.; P+D – Projekt Passivhaus im Umbau, Schlussbericht 2003; Bundesamt für Energie – Rationelle Energienutzung, Zürich, 2003.
- Waltjen 1999 Waltjen, T., et. al. ; Ökologischer Bauteilkatalog – Bewertete gängige Konstruktionen; Springer Verlag Wien, 1999.
- Wenzel 1997 Wenzel, B., Pick, E.; Energetische Input-Output-Analyse, verschiedene Ansätze zur Berücksichtigung von Abschreibungen; Universität GH Essen, Juli 1997.