

Armin Binz, Gerold Lehmann, Markus Erb, Muttenz

BET
9826683-2

Wohnbausanierung im Vergleich

Energetische und ökologische Beurteilung verschiedener Varianten

Beim detaillierten Vergleich von Stoff- und Energieflüssen verschiedener Sanierungsvarianten von Wohnbauten zeigt sich, dass in gewissen Situationen Abbruch und Ersatzneubau eine interessante Alternative zur Sanierung darstellen kann, auch was den energetischen Standpunkt betrifft.

Wie sind Sanierungsvarianten aus ökologischer und energetischer Sicht einzuschätzen? Detaillierte Berechnungen der Stoff- und Energieflüsse typischer Wohnbauten über deren ganze Lebensdauer liefern Grundlagen, um die Bedeutung von Grauer Energie für Erstellung und Unterhalt einerseits und den Betrieb andererseits miteinander vergleichen zu können. Dabei zeigt sich, dass in gewissen Situationen Abbruch und Ersatzneubau eine Alternative zur Sanierung darstellen kann, die energetisch gut vertretbar ist.

Der Energieverbrauch von Wohngebäuden für Betrieb, Herstellung der Baustoffe und Werterhaltung sowie die dabei anfallenden Stoffflüsse sind von grosser ökologischer Relevanz. Die Veränderung der Bauwirtschaft, hin zu einer nachhaltigen Entwicklung, führt vor allem über eine optimale Sanierung der bestehenden Bausubstanz. Es ist aber nicht auszuschliessen, dass Abbruch und Neubau eines Wohngebäudes die energietechnisch und ökologisch bessere Variante sein kann, als die Erhaltung und energietechnische Optimierung eines bestehenden Gebäudes.

Am Institut für Energie der Fachhochschule beider Basel wurde an fünf für die schweizerische Bausubstanz typischen Wohnbauten jeweils drei verschiedene Sanierungsvarianten bezüglich der Auswirkungen auf Energieverbrauch und Stoffflüsse detailliert durchgerechnet [1]. Dieselbe Analyse wurde auch für die beiden Extremvarianten durchgeführt, nämlich das Gebäude unsaniert zu lassen bzw. es abzubrechen und einen Ersatzneubau zu erstellen. Ein Hauptziel der Untersuchung bestand darin, auszuloten, in welchem Verhältnis die Betriebsenergieeinsparung durch die Sanierung zur Grauen Energie für die Sanierungsmassnahmen stehen.

Die Berechnungen wurden mit einem vorgängig [2] erstellten Rechenprogramm (Excel) durchgeführt, das für institut-

interne Zwecke und nicht für den Verkauf entwickelt wurde. Das Programm erlaubt die detaillierte Eingabe von geeigneten Wohnbauten. Die Gebäudeeigenschaften sind in hohem Masse parametrisiert. Veränderungen von Abmessungen führen deshalb zu automatischen Anpassungen der übrigen Daten. Damit wird es einfach, eine grosse Anzahl von Varianten zu rechnen, was für Sensitivitäts-Fragestellungen von Nutzen ist. Als Resultate liegen schliesslich die absoluten und kopf- oder flächenbezogenen Stoff- und Energieflüssen vor, die jährlich umgesetzt werden.

Wir sind im Verlaufe unserer Arbeit zum Schluss gelangt, dass der Energieverbrauch, wenn er vollständig, d.h. für alle Nutzungen, über die ganze Lebensdauer und in allen Qualitäten (Wärme, Strom) erfasst wird, ein sehr aussagekräftiger Indikator für die Umweltbelastung eines Projektes bzw. von Projektvarianten ist. Wir haben uns deshalb auf die detaillierte Beschreibung der Energieströme konzentriert. Um die Qualitätsaspekte der Energie gebührend zu berücksichtigen, greifen wir im folgenden vor allem auf die Resultate auf Stufe Primärenergie zurück. Der Elektrizität belasten wir einen Primärenergiebedarf (Öl, Kohle, Gas, Nuklearwärme usw.), der dem europäischen Stromverbrauch entspricht.

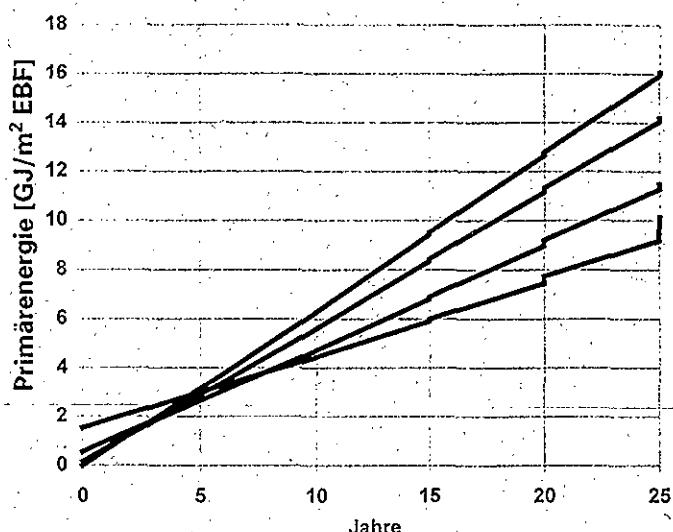
Am Beispiel eines Hochhauses im Kanton Baselland (Bild 1) soll illustriert werden, wie sich die Energieflüsse der verschiedenen Erneuerungsstrategien verhalten. Die Gebäudeunterlagen wurden uns freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Die Sanierungsvarianten sind nicht wirklich vorgesehen. Bild 2 zeigt in einem Summendiagramm den Primärenergieverbrauch über die nächsten 25 Jahre. Das Programm rechnet jeweils über die ganze Gebäudelebensdauer, die in der Regel mit hundert Jahren angenommen wurde. Die unsanierte Variante weist ein starkes Anwachsen des Energiekonsums für den Betrieb auf. Bei der minimalen, durchschnittlichen und fortschrittlichen Sanierung steht zu Beginn ein unterschiedlich grosser Energieeinsatz (Graue Energie) für die eingesetzten Baumaterialien, deren Transport sowie die Bauarbeiten und den Materialabbau. Die einzelnen Kurven sind keine Geraden, sondern Treppenstufen, weil periodisch Erneuerungen stattfinden. So werden etwa alle 15 Jahre die Küchen

ersetzt, alle 25 Jahre die Fenster usw. Dies ist jedesmal mit einem entsprechenden Einsatz an Grauer Energie verbunden. Es ist ersichtlich, dass schon nach 5 Jahren die Summe der verbrauchten Primärenergie bei der fortschrittlichen Sanierungsvariante geringer ist, als beim Verzicht auf eine Sanierung und nach 8 Jahren auch tiefer als bei der durchschnittlichen Sanierung, obwohl für eine fortschrittliche Sanierung natürlich zu Beginn ein höherer Einsatz an Grauer Energie geleistet werden muss.

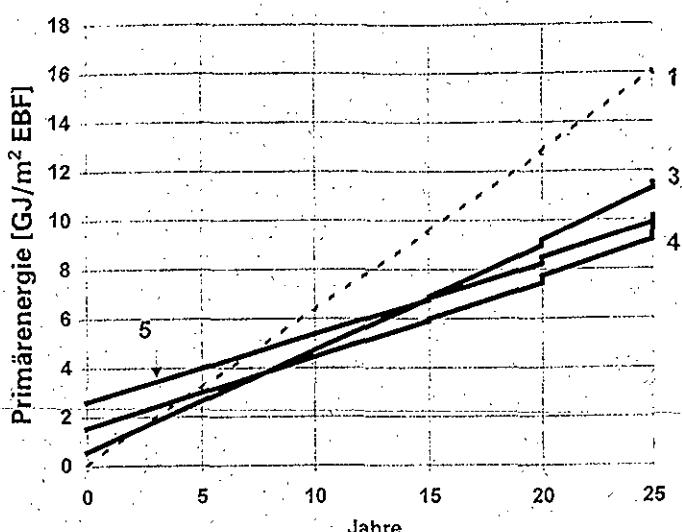
In Bild 3 wird deutlich, dass Abbruch und Erstellung eines Ersatzneubaus aus energetischer, und in diesem Sinne mit Vorbehalt auch aus ökologischer Sicht, eine interessante Alternative zu einer durchschnittlichen (oder noch schlechteren) Sanierung ist. Hingegen ist eine fortschrittliche Sanierung überlegen, weil sie einen ähnlichen Betriebsenergiebedarf aufweist (Kurvenneigung), aber weniger Graue Energie für die Erstellung erfordert. Allerdings zeigt die Realität, dass eine fortschrittliche Sanierung, wie sie den Berechnungen zugrunde liegt, in der Praxis selten realisierbar ist, da sie weitgehend dem optimierten Neubau entspricht; das bedeutet einen Wärmeschutz von ungefähr 20 cm Wärmedämmung, Dreifach-Wärmeschutzverglasung-

1
Zwölfgeschossiges Hochhaus mit 60 Wohnungen, Baujahr 1969. Eines von fünf untersuchten Wohngebäuden, die repräsentativ für die schweizerische Bausubstanz sind





2 Aufsummierter spezifischer Primärenergieverbrauch für Graue Energie und Betriebsenergie (Heizung, Warmwasser, Licht und Geräte) über 25 Jahre bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten. Legende: 1 Verzicht auf (energietechnische) Sanierung; 2 minimale energietechnische Sanierung; 3 durchschnittliche energietechnische Sanierung; 4 fortschrittliche energietechnische Sanierung.



3 Aufsummierter Primärenergieverbrauch über 25 Jahre. Gegenüberstellung von durchschnittlicher Sanierung, fortschrittlicher Sanierung und Abbruch mit Ersatzneubau. Legende: 1 Verzicht auf (energietechnische) Sanierung; 2 minimale energietechnische Sanierung; 3 durchschnittliche energietechnische Sanierung; 4 fortschrittliche energietechnische Sanierung; 5 Abbruch und Ersatzneubau (optional: Leichtbau)

en, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und eine moderne Heizung mit hohem Nutzungsgrad (im vorliegenden Beispiel eine Wärmepumpe mit Erdsonde). Unter der hier «durchschnittlich» genannten Sanierung ist eine durchaus moderne und umfassende Sanierung zu verstehen, mit 10 bis 12 cm Wärmeschichtung, Zweifach-Wärmeschutzverglasung und moderner Haustechnik.

Die Berechnungen haben in allen Fällen gezeigt, dass die Betriebsenergie, in erster Linie für die Beheizung, in zweiter Linie für die elektrischen Geräte und Einrichtungen, dominierend sind. Wärmeschutzmassnahmen und Energieeffizienz können aus dieser Sicht kaum überschätzt werden. Der Aufwand an Grauer Energie für Herstellung, Transport, Einbau und Abbruch der Baustoffe stellt hinsichtlich der Wahl der Erneuerungsstrategie einen doch deutlich weniger wichtigen Anteil des Gesamtenergieflusses dar. Zudem sind die Optimierungsmöglichkeiten eingeschränkter. Die Gebäude-Erstellung stellt allerdings nur einen Teil des Bedarfs an Grauer Energie dar. Über hundert Jahre Gebäudelebensdauer betrachtet liegt der Aufwand für periodische Erneuerungsmaßnahmen (Küchen, Innenausbau, Fenster usw.) in der gleichen Größenordnung wie die Erstellung des Ersatzneubaus. Weil die Massnahmen des Wärmeschutzes und der rationellen Energieanwendung keine grossen Mengen an Grauer Energie beanspruchen, amortisieren sie sich energetisch meistens nach wenigen Jahren.

Aus der Perspektive des Architekten ist die Optimierung der Grauen Energie allerdings ein wichtiges Planungsziel. Die jährliche Graue Energie für Sanierung und Unterhalt, 20 bis 40 MJ/(m² a), oder für die Erstellung von Neubauten, 30 bis 60 MJ/(m² a) liegt nur deshalb so tief, weil sie über die ganze Lebensdauer eines Bauteils bzw. eines Bauvorhabens verteilt wird. Gerade bei energieintensiven Bauteilen, etwa der Rohbaustruktur, sind dies sehr lange Zeiträume und man kann sich fragen, ob heute wirklich damit gerechnet werden darf, dass ein neu erstelltes Gebäude im Jahr 2080 noch steht. Der Architekt, der pro Jahr 1000 m² Bruttogeschossfläche Neubaustanz mit einer spezifischen Grauen Energie von 3000 MJ/m² statt 4000 MJ/m² erstellt, nutzt ein Energiesparpotential von einem TJ/a, entsprechend etwa 25 Tonnen Rohöl pro Jahr.

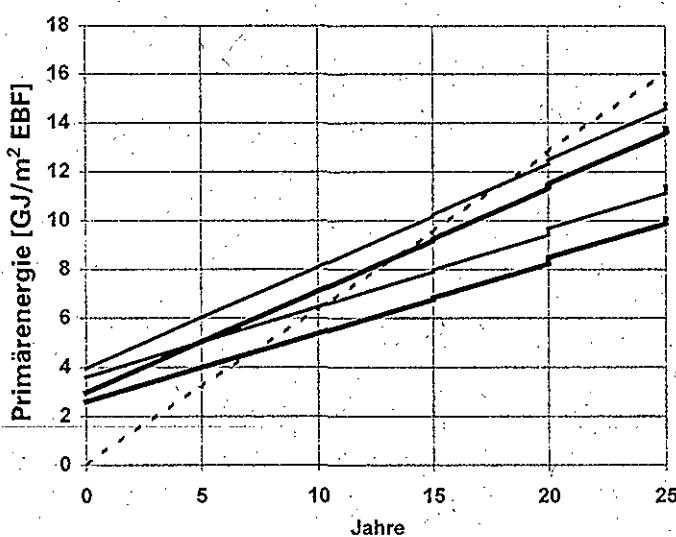
Neben den Analysen von Erneuerungsvarianten für ganze Gebäude lassen sich mit der umfassenden Beschreibung der Energie- und Stoffflüsse interessante Aussagen zu einzelnen Fragestellungen aus dem Themenbereich des energiebewussten Bauens machen. Zwei davon werden im folgenden aufgegriffen.

Massivbau versus Leichtbau

Auch in der heute viel diskutierten Frage, ob aus ökologischer Sicht Leicht- oder Massivbauten zu bevorzugen seien, zeigt

sich: die Gesamtbilanz von Heizenergie und Grauer Energie der beiden Bauweisen hängt entscheidend von der wärmetechnischen Qualität der Gebäudehülle ab. Werden einander nämlich zwei wärmetechnisch identische Objekte gegenübergestellt (gleiche Gebäudehüllen-k-Werte, Fensterflächen und -qualitäten etc.), sind die Unterschiede zwischen massiv und leicht gebauten Objekten nicht sehr gross. Bild 4 zeigt denn auch, dass Abbruch und Erstellung von «konventionellen» (aber durchaus noch mit etwa 10 cm Wärmeschichtung und Wärmeschutzverglasung) versehenen Neubauten, wo auch nicht besonders auf den Einsatz an Grauer Energie geachtet wurde, deutlich schlechter sind, auch schlechter als eine durchschnittliche Sanierung. Und zwar gilt dies für Massiv- und Leichtbauten.

In der Realität stehen sich allerdings oft hochgedämmte Leichtbauten und wegen der grossen Wanddicken blass mittelmässig gedämmte Massivbauten gegenüber. In diesem Fall haben die Leichtbauten die bessere Bilanz. Massivbauten werden den Anspruch der ökologischen Ebenbürtigkeit zu (Holz-)Leichtbauten nur aufrecht erhalten können, wenn sie ebenfalls mit einem hervorragenden Wärmeschutz ausgestattet werden können. Argumentationen über unterschiedliche Dauerhaftigkeit und Wärmespeicherverhalten haben untergeordnete Bedeutung. Es ist aber auch nicht so, dass der erhöhte Aufwand an Grauer Energie einen nicht aufholbaren ökologischen Rückstand für



Aufsummierter spezifischer Primärenergieverbrauch von verschiedenen Varianten von Mehrfamilienhaus-Ersatzneubauten. Legende: 1 Verzicht auf (energietechnische) Sanierung; 2 minimale energietechnische Sanierung; 3 durchschnittliche energietechnische Sanierung; 4 fortschrittliche energietechnische Sanierung; 5 optimierter Leichtbau; 6 konventioneller Leichtbau; 7 Optimierter Massivbau; 8 konventioneller Massivbau

Massivbauten bedeutet. Allerdings sollte bei Massivbauten eine längerfristige Existenz des Rohbaus gesichert sein.

Produktevarianz

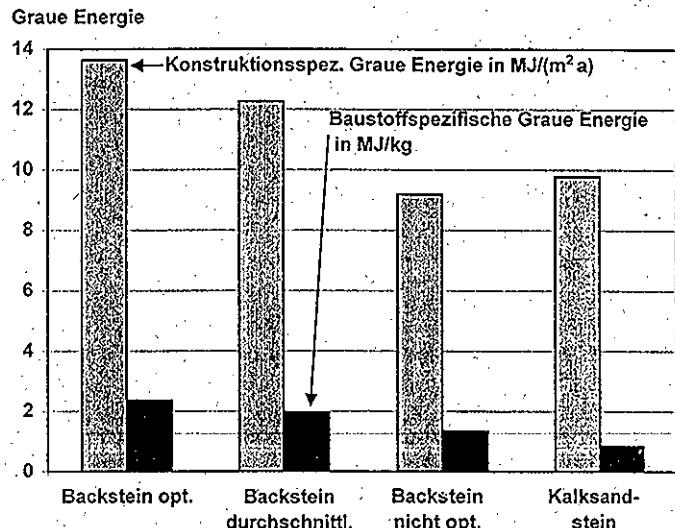
Für die Berechnung der Grauen Energie wird normalerweise von Durchschnittswerten für Baumaterialien ausgegangen. Faktisch bestehen aber Unterschiede von Produkt zu Produkt, je nachdem, ob ein Baustoff in einer energetisch optimierten Anlage hergestellt wird und wie weit er transportiert werden muss. Werden Baustoffe aus energetisch optimierter Produktion gewählt, kann das konkrete Produkt im Einzelfall durchaus eine tiefere Grauenergiebelastung aufweisen, als Alternativbaustoffe mit besseren Durchschnittswerten. So liegt etwa die mittlere Graue Energie einer Wand aus Kalksandsteinen tiefer als der Durchschnittswert einer gleich dicken Backsteinwand, jedoch höher als der Grauenergiewert einer Backsteinwand aus besonders energiebewusst produzierenden Betrieben. Die Alternative zwischen Backstein- und Kalksandstein-Konstruktion wirkte sich in den von uns gerechneten Mehrfamilienhäusern in der Größenordnung von 3 bis 5 MJ/(m² a) aus (Primärenergie). Bezogen auf den gesamten Einsatz Grauer Energie in der Höhe von 60 bis 80 MJ/(m² a) oder gar den Gesamtenergieeinsatz inklusive Betriebsenergie ist dies von geringer Relevanz. Vor allem

liegt sie in der Größenordnung der Produktevarianz, also den Unterschieden zwischen den verschiedenen Produktionsstätten. Die Unterschiede werden in diesem Fall noch zusätzlich durch die Tatsache abgeschwächt, dass Backstein ein tieferes spezifisches Gewicht hat und etwas besser wärmedämmend ist (Bild 5).

Was hier an der Gegenüberstellung Backstein zu Kalksandstein gezeigt wurde, gilt in den meisten Fällen: die Festlegung der Baustoffe birgt nicht das grosse Sparpotenzial bezüglich Grauer Energie. Sehr viel wesentlicher ist der Baustoffbedarf insgesamt, also etwa, ob eine Tiefgarage gebaut wird, der Anteil Außenwand pro m² Geschossfläche usw.

Schlussfolgerungen

Das gewählte Vorgehen, anhand von fünf realen und typischen Wohnbauten und deren Sanierungsmöglichkeiten eine Energie- und Stoffflussanalyse durchzuführen, hat zu eindeutigen und überraschend übereinstimmenden Resultaten geführt, die auch einige klare Schlussfolgerungen zulassen. Hier muss allerdings auch die Kehrseite der Methode dieser Schlussfolgerungen klargestellt werden: mit der Wahl der Energie als Leitgröße hat man in der Regel eine Entscheidgrundlage, die auch eine ökologische Optimierung gewährleistet. Als ressourcenorientierte Betrachtung bleibt sie aber naturgemäß kurzfristig gegenüber einzelnen Umweltauswirkungen.



Graue Energie von Kalksandstein und Backsteinen aus unterschiedlichen Produktionsstätten [3], gewichtsbezogen (Baustoff-Vergleich) und volumenbezogen (Wand-Vergleich)

Obwohl mit fünf typischen Fällen das Feld der Wohnbauten gut ausgelüftet wird, muss immer sorgfältig bedacht werden, ob in der Übertragung von Schlussfolgerungen auf ein konkretes weiteres Objekt andere Rahmenbedingungen und Systemgrenzen als in der Untersuchung vorliegen.

Im folgenden werden die wesentlichen Erkenntnisse zu Schlussfolgerungen und Empfehlungen verdichtet. Dabei werden einerseits bekannte Postulate (Heizung) bestärkt und andererseits neue Forderungen in ihrer Bedeutung eingeordnet (Graue Energie).

In erster Linie muss die Betriebsenergie, also Heizenergie, Warmwasser und Haushalt-Elektrizität, reduziert werden. Bei den fortschrittlichen Neubauten und Sanierungen liegt sie im Bereich von 85% des Verbrauchs an nicht erneuerbarer Primärenergie. Bei einem unsanierten Bau kann sie vor allem durch den grossen Heizenergiebedarf über 95% ausmachen. Erneuerungsstrategien für bestehende Wohnbauten sollten also die künftig anfallende Betriebsenergie ins Zentrum der Optimierungsbemühungen rücken.

Bei bestehenden, saniierungsbedürftigen Bauten sollte zuerst der Heizenergiebedarf reduziert werden. Der Optimierungsspielraum liegt meist im Bereich von weit über 100 MJ/(m² a). Bei allen untersuchten bestehenden Objekten hatte die Heizenergie den grössten Anteil an der gesamten

Betriebsenergie. Die Bedeutung des Wärmeeschutzes von Wand, Dach, Boden und Fenster ist in diesem Zusammenhang von vorrangiger Bedeutung. Aus ökologischer Sicht sollten die Dämmsschichten so dick wie technisch möglich und wirtschaftlich verkraftbar gewählt werden. Ebenfalls besonders interessant ist der Einbau von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, wo dies technisch möglich und mit verhältnismässigem Aufwand durchführbar ist. Allerdings muss beachtet werden, dass die Belastung auf Primärenergieebene rasch sehr gross werden kann und die Massnahme in Frage stellt, wenn die Anlage nicht sorgfältig konzipiert und dimensioniert wird. Insbesondere die Ventilatorleistung und der Einsatz von Material (Metalle bei langen Kanalsystemen) schlagen stark zu Buche.

Die Nachfrage nach Haushalt-Elektrizität muss kontrolliert und optimiert werden. Sie hat bei optimierten Neubauten wie Sanierungen den grössten Anteil an der gesamten, nicht erneuerbaren Primärenergie. Im Rahmen von Erneuerungsstrategien für Wohnbauten sollte beim Geräteersatz konsequent «best available technology» im Sinne der Energieeffizienz eingesetzt werden. Im weiteren sind Tageslichtbeleuchtung und Bewohnerinformation bedenkenswerte Massnahmen.

Das Ziel des nachhaltigen Bauens kann nur erreicht werden, wenn Energieverbrauchsreduktion und Energieeffizienzsteigerung durch die Nutzung möglichst umweltverträglicher erneuerbarer Energien ergänzt wird. Auch die Nutzung erneuerbarer Energie ist mit Ressourcenbelastung (z.B. Landschaft) und Emissionen (z.B. Holzfeuerungsrauchgase) verbunden. Die dezentrale Nutzung der Sonnenenergie (vor allem passiv und aktiv thermisch solar) ist für den Gebäudesektor besonders naheliegend.

Neubauten brauchen mehr Graue Energie als Sanierungen. Dieser Mehraufwand liegt im extremsten Fall bei knapp $50 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \text{ a})$ nicht erneuerbarer Primärenergie. Wenn bei der Variante Abbruch/Neubau die Betriebsenergie tiefer als $50 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \text{ a})$ der Sanierungsvariante gesenkt werden kann, ist der Neubau energetisch besser als die Sanierung. Die Differenz von $50 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ist das Resultat der Gegenüberstellung der beiden in dieser Hinsicht extremsten Varianten, nämlich einem bestehenden, unsanierten Objekt und einem konventionellen Neubau in Massivbauweise. Wird ein Neubau mit einer Sanierung des gleichen Standards

verglichen, ist die Differenz viel kleiner, beispielsweise etwa $10 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \text{ a})$ beim Vergleich eines fortschrittlichen Neubaus in Holzleichtbauweise mit einer fortschrittlichen Sanierung.

Die Graue Energie ist nicht zu vernachlässigen, da sie normalerweise in der Grössenordnung von 30 bis $85 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \text{ a})$ nicht erneuerbarer Primärenergie liegt. Der Bedarf an grauer Energie ist relativ unelastisch durch die Erstellung oder Sanierung von Gebäuden bedingt. Naturgemäß kann sie dann eingespart werden, wenn die Möglichkeit des Nichtbauens eine Alternative ist. Die Fälle, wo durch den Verzicht auf Bauen, Umbauen oder Sanieren nicht ein Ersatzbedarf (auch an Grauer Energie) an anderer Stelle geschaffen wird, sind jedoch selten. Die Umnutzung eines bestehenden Gebäudes verursacht vordergründig natürlich einen viel geringeren Bedarf an Grauer Energie, als die Erstellung eines Neubaus. Korrekterweise muss aber die Betrachtung ausgedehnt werden: die Erstellung eines Neubaus überlässt die Nutzfläche des bestehenden Gebäudes einem anderen Nutzer, der seinerseits nicht neu bauen muss. Schlussendlich hängt die ökologische Beurteilung stark davon ab, ob gesamthaft neue Nutzflächen geschaffen werden müssen, oder ob in der bestehenden Bausubstanz genügend Fläche vorhanden ist.

Grundsatzentscheid über Bausystem, Gebäudetyp und Baukörper sind zur Reduktion der Grauen Energie viel wichtiger als die Wahl geeigneter Produkte. Der Optimierungsspielraum bezüglich Grauer Energie durch günstige Baustoff- und Baukonstruktionswahl liegt im Bereich von höchstens 35%. Wird zum Beispiel ein konventioneller Neubau in Massivbauweise mit einem Holzleichtbau verglichen, bei dem nur Baustoffe eingesetzt werden, die mit den besten heute verfügbaren Technologien hergestellt wurden und die Transportdistanzen zur Baustelle um 30% reduziert wurden, kann die graue Energie von 76 auf $50 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \text{ a})$ reduziert werden. Das Optimierungspotenzial ist nur leicht höher, wenn Mehrfamilienhäuser mit Einfamilienhäusern oder Sanierungen mit Neubauten verglichen werden. Meist liegen die realen Handlungsalternativen jedoch wesentlich näher zusammen. Auf einzelne Baustoffe bezogen wird der Optimierungsspielraum noch kleiner. Für die Alternativen Backstein- oder Kalksandstein-Bauweise wurde oben ein Unterschied von 3 bis $5 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ausgewiesen. Der Einsatz von technisch statt natürlich getrocknetem Holz macht etwa $5 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \text{ a})$ aus (bei einem Gebäude mit

voller Lebensdauer!). Wesentlicher sind die Einsparungen, die sich ergeben, wenn Gebäudeform, Tragsystem, Garagierung, Stützmauern usw. festgelegt werden, wenn also Grösse und Anzahl von Bauelementen betroffen sind.

Baustoffe, die für Unterhalts- und Erneuerungsarbeiten eingesetzt werden, müssen eine höhere Bedeutung zukommen. Deren Anteil ist von mindestens gleicher Bedeutung wie der Aufwand an Grauer Energie, der bei Neubauten für die Erstellung und bei Sanierungen für die Eingriffsmassnahmen anfällt. Nur gerade bei einem der untersuchten Objekte ist die Graue Energie für die Sanierung etwas höher als für Unterhalt und Erneuerung. Für die Dominanz der Unterhalts- und Erneuerungsmassnahmen sind vor allem Bauteile mit relativ kurzer Lebensdauer wie Fenster oder Küchengeräte verantwortlich.

Zwischen Energie- und Stoffflüssen besteht praktisch keine Korrelation. Die Grösse von Stoffflüssen kann deshalb nicht als Indikator für Umweltbelastungen verwendet werden. Bei einem unsanierten Mehrfamilienhaus betragen die Stoffflüsse $3 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ a})$ und bei der fortschrittlichen Sanierung des gleichen Objektes $5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ a})$. Mit der Sanierung kann der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie insgesamt jedoch um 48% gesenkt werden. Der Primärenergieverbrauch ist in erster Näherung als Indikator für Umweltbelastungen im Baubereich gut akzeptierbar, da andere wichtige Belastungen wie CO_2 -Äquivalente oder Versäuerungspotenzial weitgehend proportional zum Primärenergieverbrauch verlaufen.

Adresse der Verfasser:

Armin Binz, Prof. dipl. Arch. ETH/SIA, Gerold Lehmann, Energie-Ing., Architekt, Markus Erb, Natw. ETH, Energie-Ing. NDS, Institut für Energie, FHBB, Fachhochschule beider Basel, 4132 Muttenz

Literatur

- [1] Binz A., Erb M., Lehmann G.: Ökologische Beurteilung von Erneuerungsstrategien im Wohnungsbau. IfE, FHBB, Muttenz 1999. Studienarbeit im Auftrag des Bundesamtes für Energie, mitfinanziert durch die IKEA-Stiftung (Schweiz) und den Migros-Genossenschafts-Bund
- [2] Erb M., Fahrner M., Lehmann G., Regenass A.: Nachhaltiger Wohnungsbau. Diplomarbeit am NDS-Energie. Institut für Energie, Fachhochschule beider Basel, Muttenz 1997
- [3] Bruck M.: Ökologische Bewertung von Mauerziegeln und Ziegel-Aussenwandkonstruktionen. D-A-CH-Bericht. Verband Schweizerische Ziegelindustrie VSZ, Zürich 1996