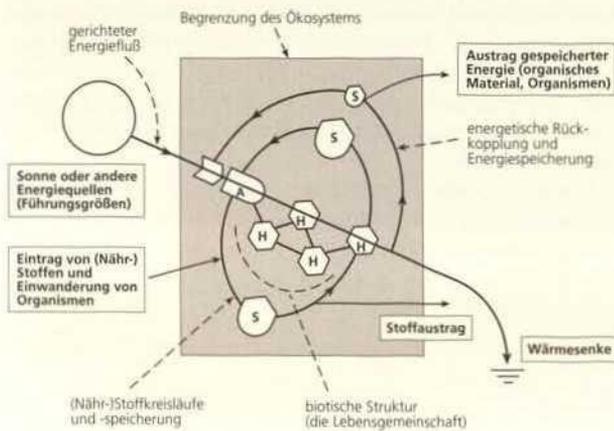


Ökologie und Ökonomie

Die Energie- und Stoffflußbilanzverfahren stammen aus der Systemökologie, die ein Teil der Ökologie als „Wissenschaft von den Beziehungen des Organismus zur umgebenden Außenwelt“ (E. Haeckel) darstellt. Die moderne Systemtheorie, heute vor allem aus Elektronik, Datenverarbeitung, Logistik und Management bekannt, ging aus der Erforschung und Modellierung von Ökosystemen in den 20er Jahren hervor.

Der Ausgangspunkt der hier vorgestellten Forschungsprojekte ist der Ansatz von Odum, daß sich die Mensch-Umwelt-Beziehungen durch stark redundante Energie-, Stoff- und Geldflüsse beschreiben lassen.

Für Odum besteht die Umwelt aus „Organismen, chemischen Zyklen, Wasser, Luft, Menschen, Maschinen, Boden, Städten, Wäldern, Seen, Flüssen, Teichen, Ozeanen; alle sind verbunden durch Energieflüsse, die Stoff- und Informationsflüsse beinhalten“. Die Umwelt kann mit einer Systemsprache beschrieben werden, die im wesentlichen auf der Energiefluß-Sprache beruht.



1. Funktionsdiagramm eines Ökosystems. Der Schwerpunkt liegt auf der Dynamik des Systems. Dabei spielen Energiefluß, Stoffkreisläufe, Speicherung (S) und Nahrungsnetze mit autotrophen (A) und heterotrophen (H) Organismen eine Rolle (nach E.P. Odum).

Auf dieser Grundlage ist es möglich, Lebenszyklusbetrachtungen, Ökobilanzierung, Kostenberechnung und Produktmodellierung (als Abbildungen der Wirklichkeit in Rechnern) zu verbinden und über Simulationsrechnungen für den Planungs- und Produktionsprozeß verfügbar zu machen.

Die Energie wurde gewählt, weil dadurch Systeme dargestellt werden können, bei denen alle Zustandsänderungen von Energieumwandlungen begleitet werden. Diese Energiespra-

che verfolgt die Energieflüsse von der exogenen Quelle (Sonne) über Speicher und verschiedene Umwandlungsphasen bis zu einer endgültigen Umwandlung in Wärme (Wärmesenke). Eugene P. Odum hat eine graphische Sprache zur Darstellung von solchen Systemen geschaffen (Abb. 1).

Umweltbelastung durch Bauen

Alle zur Zeit verwendeten Verfahren zur Abschätzung der Umweltbelastung durch den Bauprozess beruhen schlußendlich auf Energie- und Stoffflußbilanzen. Was sie unterscheidet, ist der Grad der Transparenz der Systemgrenzen. Im Falle von Verfahren, die sich auf die Zukunft beziehen (und Prognosen enthalten), kommen dazu noch vereinfachende Hypothesen und Annahmen (default-Werte). Im Gegensatz zum Endenergieverbrauch, der relativ einfach gemessen werden kann und dadurch eine Validierung der Modelle erlaubt, gibt es keine Möglichkeit, vollständige Energie- und Stoffflußbilanzen (z.B. auf Gebäudeebene) zu validieren. Die Aussagekraft von Resultaten ist also direkt proportional zur Vollständigkeit der Beschreibung der Systemgrenzen und Hypothesen. In diesem Sinne sind fast alle Literaturangaben zum Primärenergieaufwand für die Herstellung von Baustoffen derzeit irrelevant, weil sie auf unterschiedlichen und oft nicht expliziten Annahmen beruhen. Nur Werte, die auf detaillierten Sachbilanzen beruhen, sind überhaupt weiterverwendbar.

Energie- und Stoffflußbilanzen, die Bewertungen (Aggregationen) enthalten, werden auch Ökobilanzen genannt. Die damit verbundenen Verfahren sind international von den SETAC-Forschungsorganisationen relativ gut definiert worden. Der englische Ausdruck „Life Cycle Impact Assessment“ kann als Oberbegriff verwendet werden.

Eine Studie des Umweltbundesamtes „Ökobilanzen für Produkte“ übernimmt die wesentlichen Schritte der SETAC-Methode:

A. Festlegen des Bilanzierungsziels (goal definition)

Es handelt sich vor allem um die Formulierung des Zweckes, und damit verbunden um die Festlegung der Systemgrenzen. Ebenfalls muß in diesem Schritt die funktionale Einheit, auf die sich die zu bilanzierenden Belastungen beziehen, festgelegt werden.

B. Sachbilanz (life cycle inventory)

Die eigentliche quantitative Erfassung der Energie- und Stoffflüsse für das Bilanzobjekt durch genaue Prozeßkettenanalyse innerhalb der festgelegten Systemgrenzen. Das Resultat dieses Schrittes ist eine Matrix der quantifizierbaren Umweltbelastungen sowie eine Liste von qualitativen Angaben bzw. Informationen, die nicht direkt in die quantitative Bilanz eingehen.

C. Wirkungsbilanz (classification)

Unter einer Wirkungsbilanz wird die Beschreibung der in der Sachbilanz erhobenen Wirkungen bezüglich möglicher Umweltauswirkungen (Klimaveränderung, Ressourcenbeanspru-

STEUERUNG

chung, Luftbelastung etc.) verstanden. Dies gilt jedoch nur insofern, als der Sachbilanz entnommene Daten mit Wirkungsindizes versehen werden können, denen eine Auswirkung auf die Umwelt genau zugeordnet werden kann.

D. Bilanzbewertung (evaluation)

Es geht in dieser Phase um die Zusammenfassung der Auswirkungen. Diese Zusammenfassung kann verschiedene Formen annehmen:

- medium- oder effektorientierte Aggregationsverfahren (z. B. Treibhauseffekt)
- kritische Stoffflußverfahren (Ökopunkte)
- Nutzwertanalysen
- Schaden-Nutzen-Analysen (resp. Schadstoffschöpfung)

Dazu kommen noch verbal argumentative Bewertungen z.B. in Form von „expert ranking“ und als abschließender Schritt Verbesserungsvorschläge (application).

Die Umwelteinwirkungen eines Gebäudes können in drei Bereiche aufgeteilt werden:

a) Ressourcenbeanspruchung aus der Umwelt (upstream)

Dabei entstehen einerseits Umwelteinwirkungen durch Emissionen für die Deckung des Energiebedarfs von Prozessen aller Art (Transport, Abbau, Energieumwandlung etc.), andererseits entstehen auch direkte Auswirkungen wie Erosion und Landumwandlung (Flächenbedarf). Die Verknappung der Ressourcen kann sich auf verschiedene Gebiete beziehen:

- Stoffe (biotische (nachwachsende, erneuerbare), abiotische (nicht erneuerbare))
- Wasser (nur ein räumlich-zeitliches Problem, die Wassermenge im System ist konstant)
- Flächen (Flächennutzung bedeutet eigentlich nur Umwandlung von Flächen mit hoher Biodiversität in solche mit niedrigerer Biodiversität)
- Arten (z.B. Ausrotten von Pflanzen- oder Tierarten)

b) Auswirkungen auf die Umwelt durch die Gebäudeerstellung, Nutzung und Entsorgung

Es entstehen wiederum Umweltauswirkungen durch Emissionen sowie Veränderung der Umwelt durch Gebäude an sich

(Versiegelung beeinflusst das Mikroklima, Zerstörung von Biotopen).

c) Die direkte Rückführung von Stoffflüssen (Wärme und Wasserrückgewinnung, Weiternutzung, Umnutzung, z.T. Recycling) sowie die Verlängerung der Verweilzeit von Elementen und Komponenten können die Stoffflüsse reduzieren. Im weiteren können positive Effekte (durch ökologische Ausgleichsmaßnahmen) erreicht werden.

Besonderheiten von Gebäuden

Gebäude weisen Besonderheiten auf, die bei einer ökologischen Betrachtung zu beachten sind:

- Eine zu Konsumgütern vergleichsweise lange Lebens- bzw. Nutzungsdauer, wodurch sich getroffene Entscheidungen über größere Zeiträume auswirken. Bewertungsmethoden müssen deshalb den Lebenszyklus umfassen.

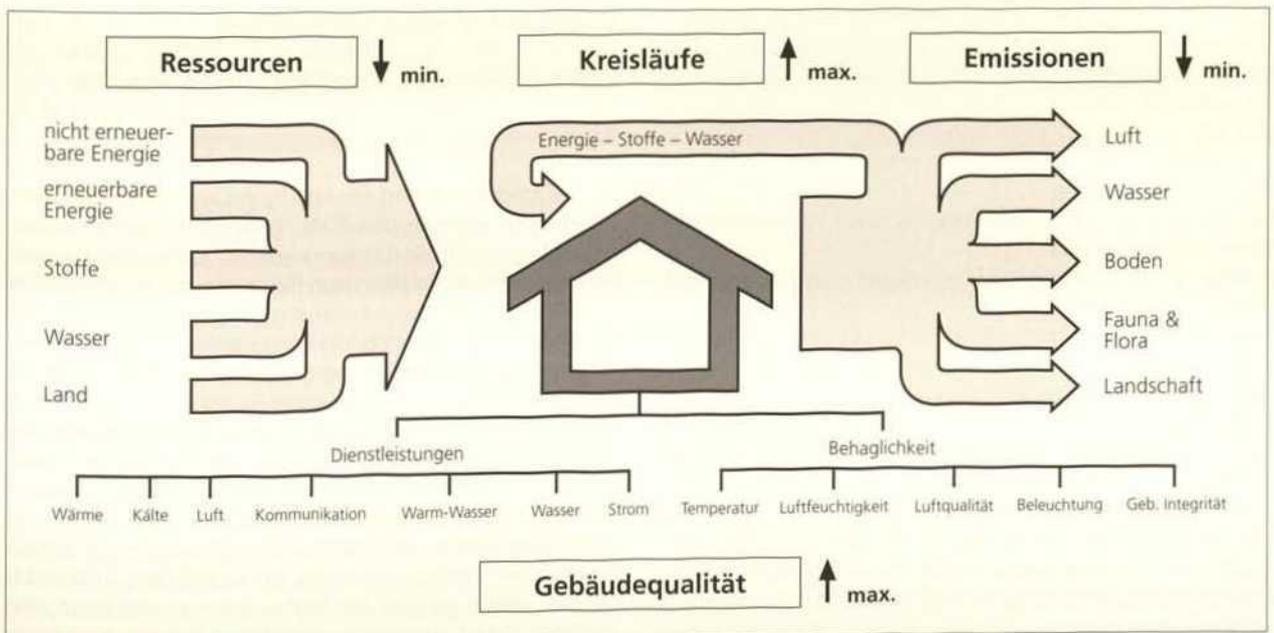
- Einen vergleichsweise hohen Aufwand für Nutzung und Erhaltung über die Lebensdauer hinweg, der den Aufwand zur Herstellung und Errichtung um ein Mehrfaches übersteigen kann. Nutzung und Erstellung müssen getrennt bewertet werden können.

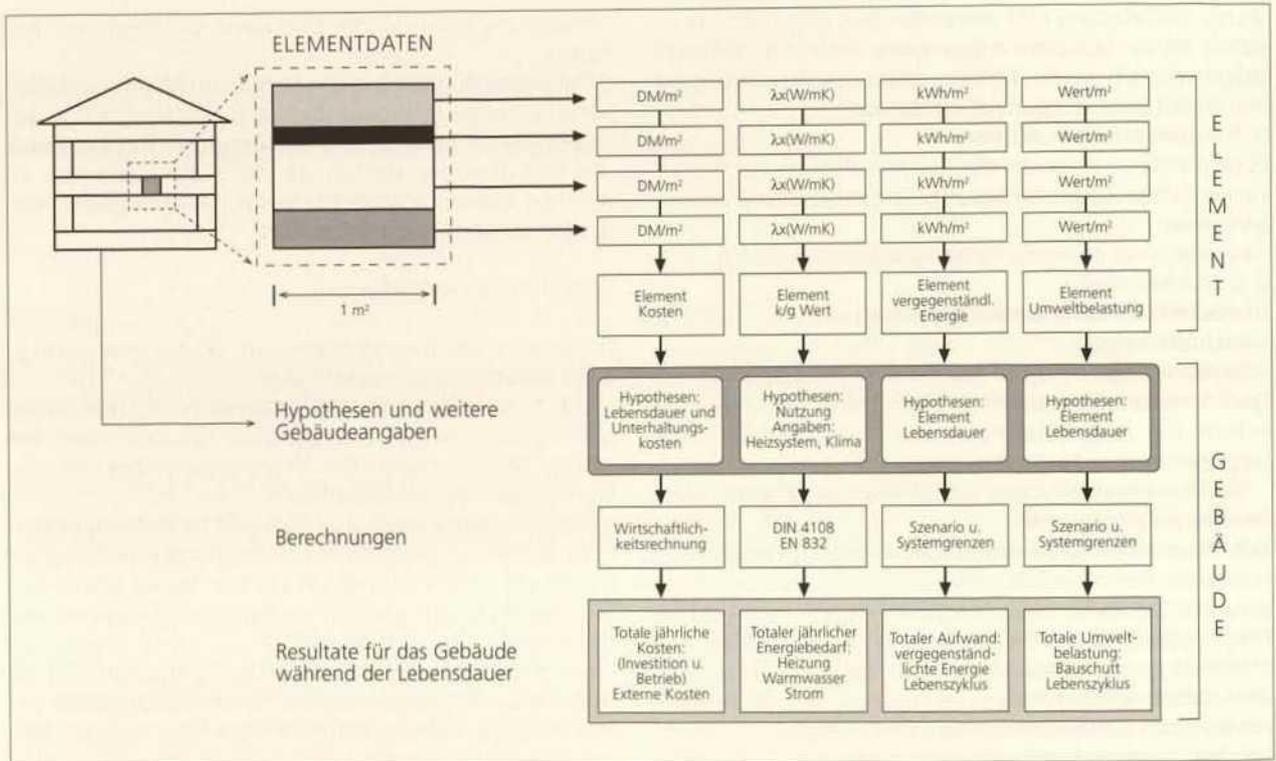
- Eine Vorhersage über zukünftige Handlungsweisen und die damit verbundenen Auswirkungen ist nur bedingt aus dem ersten Planungszustand ableitbar. Die Voraussetzungen der Szenarien müssen offengelegt sein. (Recyclingannahmen sind in der Regel sehr hypothetisch, während Materialaufwandsangaben sehr genau sein können.)

- Die Höhe des einmaligen und laufenden Aufwandes wird durch komplizierte und dynamische Zusammenhänge zwischen Baukörper, Haustechnik, Standort und Nutzerverhalten beeinflusst, die teilweise gegenläufige Tendenzen aufweisen. Nur durch komplexe Modelle können diese Sachverhalte abgebildet werden.

- Die mit der Errichtung und Nutzung von Gebäuden in Zusammenhang stehenden Aufwendungen und Belastungen haben einen wesentlichen Anteil am Produktions- und Konsum-

2. Energie- und Stoffflüsse und die Qualität eines Gebäudes.





3. Kombinierte Berechnung von Baukosten, Energiebedarf und Umweltbelastung.

volumen in den industriellen Gesellschaften. Gewisse Bewertungskriterien können nur aus gesamtheitlichen Betrachtungen abgeleitet werden.

– Der Unikatcharakter von Gebäuden erschwert die Vergleiche. Eine vergleichsweise große Variantenvielfalt (Material- und Technologieauswahl) kann zur Realisierung gleicher Gebäudetypen verwendet werden. Gebäude müssen mit Hilfe von geeigneten Elementen schnell und eindeutig beschrieben werden können.

– Der Planungsprozess von Gebäuden ist stufenweise strukturiert (z.B. nach HOAI) und funktioniert iterativ – man braucht die gleichen Daten mehrmals mit verschiedener Genauigkeit. Nur Verfahren, die von dieser Struktur ausgehen respektive auf ihr aufbauen, haben längerfristig eine Chance, angewandt zu werden.

– Die Energie- und Stoffflußdaten müssen relativ neutral zur Verfügung stehen, um so für verschiedene funktionale Einheiten verwendet werden zu können, die auch nachträglich festgelegt werden können:

– Nutzfläche pro Zeiteinheit (m^2 Nutzfläche eines Mittelschulhauses während eines Jahres).

– Elementfläche (m^2 Fenster während der Lebensdauer des Fensters). Es kann sich dabei auch um Erneuerungs- respektive Unterhaltselemente handeln.

– Bauleistung (Einbringen von $1 m^3$ Beton in eine Schalung). Es kann sich auch um Erneuerungs- oder Unterhaltsleistungen handeln.

– Nutzungsleistung (Bereitstellung von $1 m^3$ Warmwasser mit 55 Grad) Diese Nutzleistungen können den Gebäudebetrieb und die Gebäudenutzung im weitesten Sinn betreffen.

– Viele baurelevante Prozesse haben einen einfachen periodischen Charakter (Tages-, Wochen-, Jahres-Rhythmus) und kön-

nen als solche erfaßt respektive aufgerechnet werden. Für längere Zeiträume muß jedoch ein Betrachtungszeitraum explizit festgelegt werden. Dieser Zeitraum muß variabel sein, denn die Unsicherheit durch zeitliche Distanz muß berücksichtigt werden. Mögliche Betrachtungszeiträume sind:

– 1-3 Jahre: Erstellung eines Gebäudes

– 3-5 Jahre: kurzfristige Unterhaltsplanung, kurzfristige Nutzungsplanung

– 10-15 Jahre: mittelfristige Erneuerungsplanung, mittelfristige Nutzungsplanung

– 30 Jahre: langfristige Nutzungsplanung

– 80-120 Jahre: Gesamtlebensdauer für normale Gebäude

– über 100 Jahre: Gesamtlebensdauer für Baudenkmäler.

Gebäudemodell

Die zur Ökobilanzierung notwendigen Daten müssen mit anderen schon existierenden Planungsdaten verknüpft werden, um den Aufwand für Erhebung klein zu halten. Die Elementkostengliederung für die in den Planungs- und Entscheidungsprozess eingeschlossene Erstellung von Energie- und Schadstoffbilanzen für Gebäude, die den gesamten Lebenszyklus erfassen, ist dazu besonders geeignet. Dies resultiert aus folgenden Ursachen:

– Die Elementkostengliederung ist ein erprobtes Instrument, das in den Planungsablauf eingeführt und durch die Architekten anerkannt ist. Sie sind mit der Beschreibung eines Gebäudes auf der Basis von Elementen vertraut.

– Eine Verknüpfung der Erarbeitung von Energie- und Schadstoffbilanzen mit der Ermittlung des finanziellen Aufwandes hat den Vorteil, daß alle benötigten Daten jeweils gleichzeitig vorliegen. Somit werden Quervergleiche möglich hinsichtlich

STEUERUNG

der sich einstellenden Rang- und Reihenfolge beim Variantenvergleich nach finanziellen, energetischen und ökologischen Kriterien.

– Ein Anhängen der Erstellung von Energie- und Schadstoffbilanzen an die Ermittlung des kostenseitigen Aufwandes erfordert bei Vorliegen geeigneter Daten und Instrumente weder zusätzliche Planungsschritte noch neue Strukturen der Objektbeschreibung.

– Die Bereitstellung von energie- und ökorelevanten Daten auf der Ebene „Element“ im Sinne von eingebautem Bau- bzw. Bauwerksteil hat den Vorteil, daß die Variantenauswahl durch den Planer auf Basis vergleichbarer Gebrauchswerteinheiten erfolgt. Die bisher übliche Entscheidung auf der Ebene „Einzelbaustoff“ ist nicht zweckdienlich, läßt sie doch nicht alle Einflußgrößen (weiter notwendige Materialien und Prozesse zur Gewährleistung eines Gebrauchswertes) erkennen.

– Das Element im Sinne des Bau- bzw. Bauwerksteils im eingebauten Zustand ist eine ideale Zwischengröße, die zunächst den Aufwand für die Errichtung als Summe der Aufwendungen zur Herstellung der Materialien über alle Vorstufen in der tatsächlich notwendigen Menge (einschließlich der Verluste) sowie notwendiger Transport- und Bauprozesse zuläßt.

– Das Element ist gleichzeitig idealer Ausgangspunkt für die Abschätzung künftiger Aufwendungen im Rahmen von Unterhalt, Ersatz und Beseitigung. Aussagen zur Lebensdauer, zum Instandhaltungszyklus, zum Recyclingverhalten und zu während der Nutzung freiwerdenden Schadstoffen sind nicht bzw. nicht nur materialspezifisch, sondern bauteiltypisch. Eine Vielzahl dieser Eigenschaften wird beeinflußt von der Art der Kombination unterschiedlicher Materialien, von der Lage des Einzelmaterials sowie von den Nutzungsbedingungen. All diese Angaben sind erst auf der Ebene „Bauteil“ möglich.

– Die Gebäudebeschreibung sowie die Bewertung mit finanziellen, energetischen und ökologischen Kriterien auf der Basis der Elementkostengliederung ist für eine computerunterstützte Bearbeitung geeignet und kann bereits in frühen Entwurfs- und Planungsphasen angewendet werden. Sie stellt einen Schritt in Richtung integrierte CAD-Systeme dar.

Es zeigt sich, daß mit der Elementkostengliederung wesentliche Teile einer ganzheitlichen Bewertung baulicher Lösungen auch mit energetischen und ökologischen Kriterien möglich werden. Besonders die Anteile aus

- Herstellung und Antransport von Baumaterialien
- Baustellenprozessen
- Instandhaltung, Instandsetzung, Erneuerung
- Anfall an Wohngiften
- Abriß und Entsorgung

lassen sich so bestimmen. Nur der Anteil „Nutzung und Betrieb“ im Sinne von Beheizen, Beleuchten und Belüften erfordert zusätzlich ein Gebäudemodell, für das die bausteinartigen Elemente jedoch eine wesentliche Voraussetzung bilden.

Bei der konkreten Anpassung der Energie- und Schadstoffbilanzierung an die Elemente sollen jedoch auch weitere Vorteile dieser Methode hinsichtlich Analysemöglichkeiten genutzt werden. Vergleichbar dem Vorgehen bei der Kostenermittlung, wo aufbauend auf Elementen ein Auffinden und Zusammenstellen vergleichbarer Leistungspositionen intern erzeugbar ist, wird mit rechentechnischen Hilfsmitteln die Ausweisung relevanter Verursacher bei Energieaufwand und Umweltbelastung nicht nur auf der Ebene „Element“, sondern auch auf der Ebene „Material“ und „Prozeß“ in den jeweiligen Lebensphasen des Bauwerkes angestrebt und möglich.

Mediumsorientiert Immissionsgrenzwerte

Kritisches Luft-Volumen

Kritisches Wasser-Volumen

Kritisches Boden-Volumen

Kritische Stoffflüsse Ökologische Knappheit

Ökopunkte

Effektorientiert

Abiotische Ressourcen

Biotische Ressourcen

Flächenbedarf

Treibhauspotential

Ozonschichtzerstörung

Versauerung

Photochemische Oxydation

Überdüngung

Strahlung

Humantoxikologie

Ökotoxikologie

Lärm

Gestank

Gesamtaggregation

EPS Methode

A B C Methode

Externe Kosten

4. Bewertungsmethoden nach SETAC-CML

Basisdaten und Bewertungsmethoden

Ökobilanzen von Baustoffen, Bauprozessen und Gebäuden können nur über einen modulartigen Aufbau, der eine weitgehende Zusammenarbeit von verschiedenen Forschungsteams und Herstellern voraussetzt, erstellt werden. Es muß da-

bei unterschieden werden zwischen Basisdaten, die von der Forschung ermittelt werden, und Sachbilanzen von Baustoffen und Bauprozessen, die sinnvollerweise nur von den Herstellerfirmen selbst erhoben werden können.

Die Ermittlung und Bereitstellung von Basisdaten hat das Ziel, Bearbeiter von derartigen Recherchen zu entlasten durch eine zentrale Bereitstellung und Aktualisierung, die den tatsächlichen Verhältnissen angepaßte Fortschreibung zu sichern sowie die datentechnischen Grundlagen der Energie- und Stoffflußanalysen in diesem Punkt zu harmonisieren. Folgende Datensätze werden als Basisdaten betrachtet:

- Energiebereitstellung und Umwandlung
- Transportprozesse
- Entsorgungsprozesse
- Baustoffherstellung.

Die OEKOINVENTARE der ETH Zürich sind zur Zeit die vollständigsten kohärenten Prozeßanalysen für diese Basisdaten. Die Sachbilanzen für die Herstellung von Baustoffen und Bauprozessen wurden in den letzten zwei Jahren direkt von Herstellern in Deutschland, der Schweiz und Österreich übernommen und mit den OEKOINVENTAREN unter Annahme von europäischen Durchschnittswerten für Energiebereitstellung, Transport und Entsorgungsprozesse verknüpft.

Die Bewertungsmethoden folgen den hauptsächlichlichen Energie- und Stoffflüssen eines Gebäudes:

- Entnahme aus der Umwelt
- Rückführung in die Umwelt
- Geschlossene Stoffkreisläufe innerhalb des Bausektors bzw. der Wirtschaft.

Diese Stoffflüsse (Umwelteinwirkungen) verursachen:

- Umweltauswirkungen (z.B. Treibhauseffekt)
- Ressourcenverknappung.

Die Wirkungsbilanz verbindet Umwelteinwirkungen mit Umweltauswirkungen (z.B. Beitrag einer bestimmten „Schadstoff“-Emission zum Treibhauseffekt). Die Bewertung besteht in der mehr oder weniger weitgehenden Aggregation ver-

schiedener Umwelteinwirkungen. Im weiteren besteht die Bewertung vor allem darin, eine begrenzte Anzahl für den Bauprozess relevanter Umwelteinwirkungen zu identifizieren.

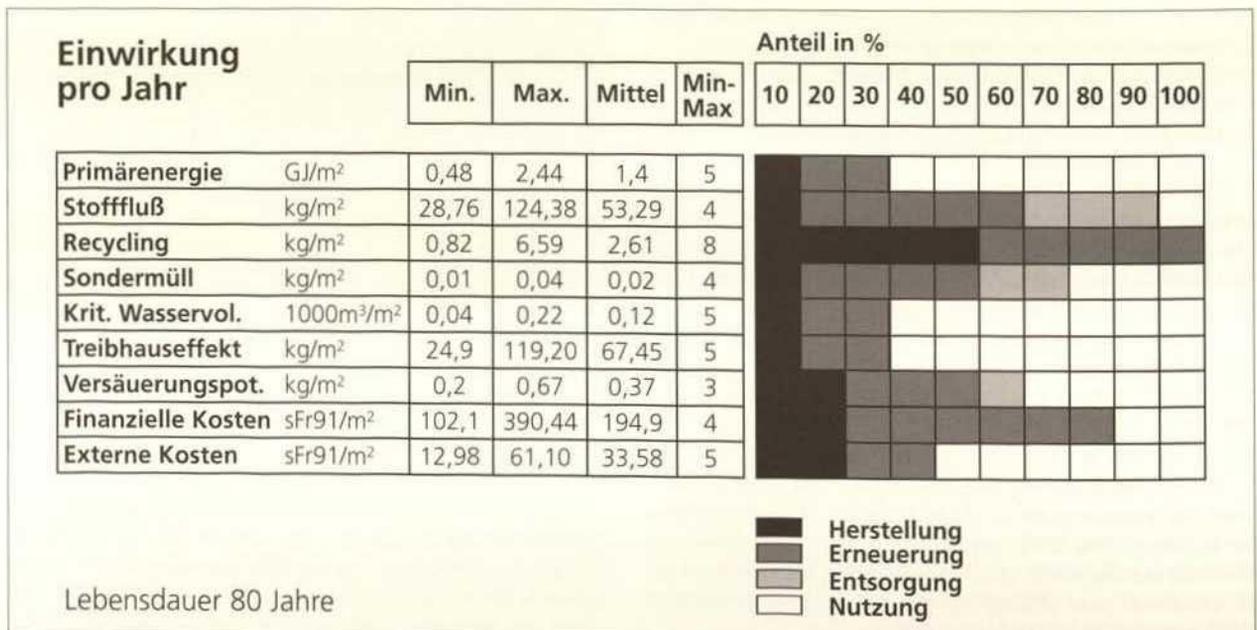
Simulation von Gebäuden

Auf Grund von Kosten-Standardelementen sowie von weiteren, speziell aufgebauten Elementen wurde ein Katalog mit ca. 500 Elementen erstellt. Jedes dieser Elemente hat allgemeine Eigenschaften (Kosten, Lebensdauer etc.) und besteht aus Schichten (Baustoffen) sowie Bauprozessen. Schichten haben wiederum ihre eigene Lebensdauer, Abfallkategorie, Verlustfaktoren, Wiederverwendungsmöglichkeit etc. Mit Hilfe dieses Kataloges wurden 120 Typengebäude erstellt.

Diese Gebäude unterscheiden sich durch ihre Nutzung, ihre Geometrie, ihre Ausführungsart und ihre energetische Effizienz (Nutzenergiebedarf). Ziel der Simulationsrechnungen war es, den Einfluß der verschiedenen Bewertungsmethoden auf die Klassifizierung der Gebäude abschätzen zu können, sowie Referenzwerte pro Gebäudetyp und Elementgruppen zu erhalten. Es ist offensichtlich, daß bei den Grunddaten, bei den Berechnungshypothesen, bei den Bewertungsmethoden und bei der Gebäudebeschreibung sehr große Unsicherheiten bestehen. Es geht also nicht darum, Unterschiede zwischen Gebäuden im Prozentbereich festzustellen und daraus Schlußfolgerungen zu ziehen, sondern vielmehr grundsätzliche Abhängigkeiten und Tendenzen aufzuzeigen. Ziel des gesamten Projektes ist es, eine Antwort auf die entscheidenden Fragen am Anfang jedes Planungsprozesses zu geben:

- Soll ein Neubau, eine Erneuerung, ein Umbau oder eine andere Lösung, die kein Gebäude benötigt, vorgesehen werden?
- Ist die Projektvariante a, die auf Grund der Elementmethode berechnet wurde, der Variante b im Bezug auf mehrere Umweltbelastungskriterien überlegen?
- Sind die Risiken der Ausführungsvariante x signifikant kleiner als diejenigen der Ausführungsvariante y?

5. Stoffflüsse und Belastungen pro Jahr und pro m² Nutzfläche nach Bewertungskriterien für verschiedene Lebenszyklusphasen.



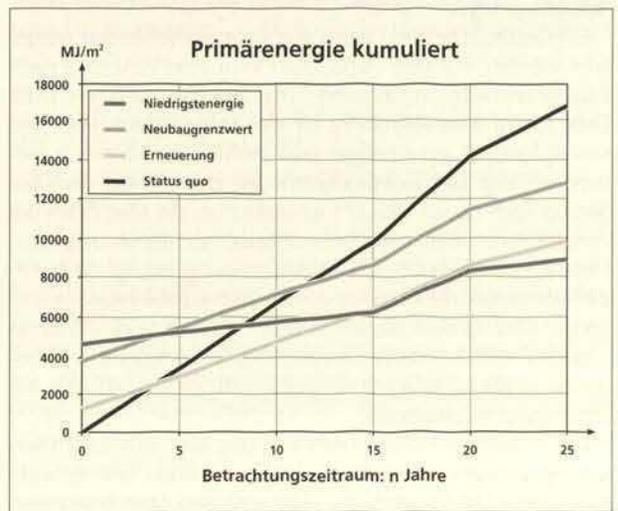
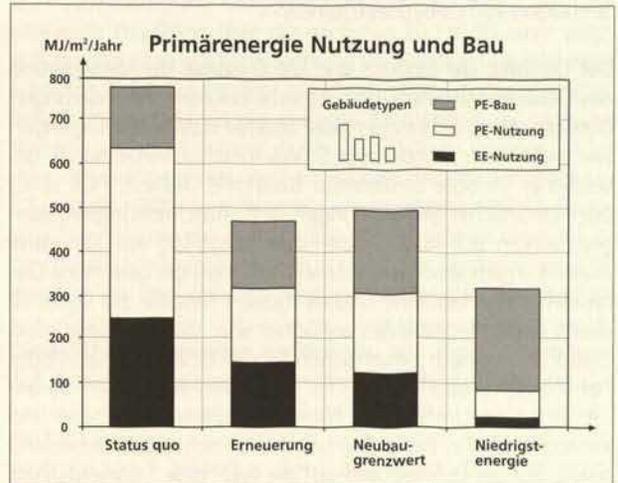
Die vorliegenden Resultate sind vor allem ein Anfang, eine Grundlage einer neuen Art von Planungsinstrumenten, die erlauben werden, auf jeder Stufe des Planungsprozesses die umweltrelevanten Entscheidungen aufgrund von transparenten, kohärenten, lebenszyklusbezogenen Angaben zu fällen.

Die Umweltbelastung nach Lebenszyklusphasen ist besonders interessant, weil sie in den bisherigen Studien noch nie systematisch untersucht wurde. Die meisten existierenden Hilfsmittel zur Einschätzung der Umweltbelastung beschränken sich auf den Bauprozess und vor allem auf die Baustoffauswahl. Die Abb. 5 zeigt die Mittelwerte pro Jahr und pro m² Nutzfläche sowie Anteile nach Phasen für die Bewertungskriterien. Es zeigt sich, daß die Bewertungskriterien „gesamter Energiebedarf“, „Kritisches Wasservolumen“ und „Treibhauseffekt“ eine ähnliche Verteilung aufweisen. Die Umweltbelastungspunkte und vor allem das Säurebildungspotential werden in kleinerem Maße durch die Nutzung verursacht als durch Herstellung und Erneuerung. Es ist besonders interessant, zu sehen, daß die externen Kosten die Umweltbelastung in ähnlicher Weise abbilden, während die finanziellen Kosten einen relativ kleinen nutzungsbedingten Anteil aufweisen. Durch die ständige Verringerung des direkten Energieverbrauchs für Heizung und Warmwasser sowie des Stromverbrauchs wird sich die Belastung in der Nutzungsphase weiterhin reduzieren. Die Bedeutung der Herstellungs- und Erneuerungsphasen nimmt also ständig zu. Vor allem die wesentlichen Entscheidungen zwischen Neubauen, Umbauen, Erneuern und Umnutzen müssen in diesem Zusammenhang gesehen werden. Die Anteile der Phasen bei den Stoffflüssen resp. Abfallflüssen zeigen den kleinen Anteil der nutzungsbedingten Abfallflüsse. Nur bei den Abfällen in Reststoffdeponien und bei Sondermüll (SAVA) hat die Nutzung eine Bedeutung, weil sie stark durch die Energieumwandlung bedingt ist. Alle anderen Abfälle werden von den großen Mengen in Inertstoffdeponien dominiert.

Die Verteilung über die Gesamtheit der Gebäude zeigt die großen Streubereiche. Der Vergleich der jährlichen Referenzwerte für alle Bewertungs- und Stoffflußkriterien zeigt große Abweichungen. Die Differenzen zwischen den Mittelwerten für verschiedene Nutzungstypen haben deshalb nur eine sehr beschränkte Aussagekraft. Das bedeutet, daß die Unterschiede auf Grund von Nutzungsart durch geeignete Bauart und Energieeffizienz der Gebäude relativ problemlos kompensiert werden können. Die Bedeutung der Simulationswerte liegt deshalb vor allem in der Integration dieser Referenzwerte in zukünftige Planungshilfsmittel, die erlauben, diese Art von Optimierung durchzuführen.

Einfluß des Betrachtungszeitraums

Die angegebenen jährlichen Werte beziehen sich auf eine Lebensdauer von 80 Jahren. Es ist offensichtlich, daß die Zuverlässigkeit und Aussagekraft der Werte im Laufe der Zeit sehr stark abnimmt (neue Technologien, neue Randbedingungen). Es ist deshalb notwendig, den Betrachtungszeitraum verändern zu können. Ein Vergleich von vier Varianten (Status quo eines Gebäudes mit hohem laufenden Energieverbrauch, Neubau nach Standardanforderungen, Bauliche Erneuerung mit energetischer Sanierung und Niedrigstenergiehaus) zeigt für die Entwicklung des Gesamtenergiebedarfs über 1 bis 30 Jahre eine sich ständig verändernde Reihenfolge der gesamthaft günstigsten Lösung. Werden zusätzlichen Bewertungskriterien wie Treibhauseffekt, Versauerung, gesamter Stofffluß, Son-



6 a. und b. Kumulierter Gesamtverbrauch für 4 Varianten.

dermüll, direkte und externe Kosten in der gleichen Art und Weise berechnet, so zeigt sich wiederum für jedes Kriterium eine sich zeitlich verändernde Reihenfolge der besten Lösungen. Die Schlußfolgerung besteht darin, daß es wohl nie einen einzigen Wert für die Umweltbelastung eines Gebäudes geben wird, und daß sogar die Suche nach dem ökologischen, energetischen und kostenmäßigen Optimum aussichtslos ist. Die einzige Lösung dieses Dilemmas besteht in einem strikt anforderungsorientierten Vorgehen. Auf Grund von Simulationsrechnungen für alle Kriterien wird ein Bereich der möglichen Lösungen festgelegt. Bei Beginn der Planung können in diesen Bereichen Zielwerte festgelegt werden, wodurch ein n-dimensionaler Lösungsraum entsteht. Dieser Lösungsraum enthält sämtliche Lösungen, die die vorgegebenen Anforderungen erfüllen.

Die Optimierungsmethode besteht darin, dem Planer an jedem Planungszeitpunkt, d.h. mit wechselnden funktionalen Einheiten, so schnell und so genau wie möglich mitzuteilen, ob er in diesem Lösungsraum liegt und, wenn nicht, welche Änderungen vorgenommen werden müssen, um in diesen Lösungsraum zu gelangen. Entsprechende Planungshilfsmittel auf Grund der leicht erweiterten Kostendaten (Elementmethode) sind zur Zeit in Entwicklung.

Simulation von Gebäudebeständen

Der Umfang, die Struktur und die Dynamik der Veränderung des Gebäudebestandes sind schlecht bekannt. Veränderungen ökonomischer, technischer oder sozialer Rahmenbedingungen wie technischer Standards (z.B. Wärmeschutzverordnung), gesetzlicher Verbote bestimmter Baustoffe (Asbest, PCB usw.) oder steuerlicher Bestimmungen (z.B. Abschreibungsregelungen) wirken sich kurz-, mittel- oder langfristig aus. Um diese Auswirkungen abschätzen zu können, muß der betroffene Gebäudebestand bekannt, und es müssen Modelle zur Dynamik dieses Gebäudebestandes verfügbar sein. Werden diese Informationen in einem dynamischen Modell eines regionalen oder nationalen Gebäudebestandes bereitgestellt, können Veränderungen im Umfeld des Planens, Bauens, Betriebens und Instandhaltens in ihren Wirkungen auf den Gebäudebestand selbst, auf die Umwelt und auf die Bau- bzw. Volkswirtschaft simuliert werden.

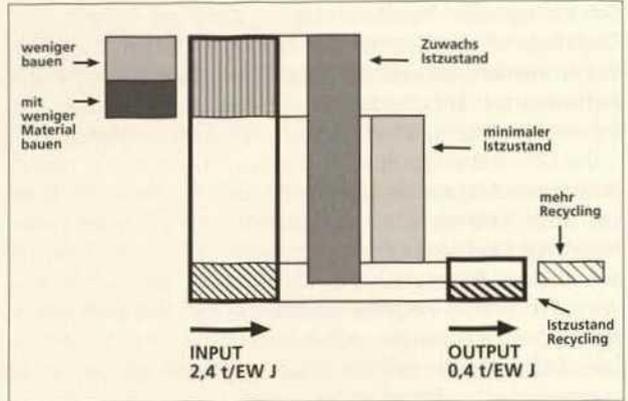
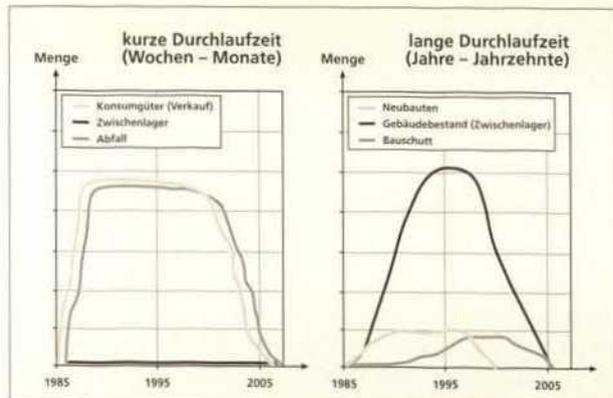
Ein Gebäudebestand kann aus Referenzgebäuden aufgebaut werden. Für jede Gebäudeart wird eine Verteilung nach Baujahr und Alterungszustand (Streuung) angenommen. Jeder Gebäudetyp wird vollständig für den Lebenszyklus modelliert und aufgebaut aus Energie- und Stoffflüssen. Dadurch entsteht ein sog. Gebäudeproduktmodell, das u.a. auf der Gliederung nach neuen DIN 271 (erweitert um die Methoden der verschiedenen Baukostenberatungsdienste der Architektenkammern) aufgebaut ist. Die Beschreibung erfolgt nach Kostenelementen, die ihrerseits wiederum aus Bauleistungen aufgebaut sind. Es wird dadurch möglich, über eine richtig strukturierte Bauabrechnung (Devisierung) Einzelobjekte und Bestände direkt zu erfassen. Zugleich wird die Schnittstelle zur Berufspraxis sichergestellt.

Die Dynamik der Bestandsentwicklung setzt sich zusammen aus Hypothesen zu Neubau-, Abriß-, Umbau-, und Erneuerungsraten. Die Dynamik der Alterung wird über Ersatzraten und Ersatzfrequenzen modelliert. Verschiedene Entwicklungs- und Alterungs-, bzw. Erneuerungstrategien haben verschiedene Auswirkungen auf die Energie- und Stoffflüsse.

Die Entwicklung dieses Modells ist Inhalt eines DFG-Forschungsprojektes an der Universität Karlsruhe (ifib und Lehrbereich Bauökonomie).

Die starke Ausweitung der Stoffflüsse (sowohl in Form von Energie- als auch von Baustoffflüssen) prägte das Bauen der letzten 250 Jahre. Durch die Industrielle Revolution wurden die

7. Unterschiedliche Dynamik von Stoffflüssen im Konsumgüter- und Baubereich (nach Baccini).



8. Stoffflüsse im schweizerischen Gebäudebestand.

Flüsse für Energie (Holz und Kohle zum Betreiben der Dampfmaschinen) und Grundmaterialien für industriell hergestellte Produkte sprunghaft größer. Nach dem Zweiten Weltkrieg hat eine zusätzliche Ausweitung stattgefunden. Die Hochkonjunkturphase hat in vielen Ländern zu einer Vervielfachung der Konsumgüter und praktisch zu einer Verdoppelung des gesamten Gebäudebestandes geführt. Es entstand dadurch ein riesiges stoffliches Zwischenlager.

Es stellt sich die Frage, ob die Stoffflüsse an sich Indikatoren für den Ressourcenverbrauch und die Umwelteinwirkungen sind. Wenn man dabei die Unterscheidung zwischen erneuerbarer und nicht erneuerbarer Primärenergie macht, ist dies sicher der Fall für die Energie. Zusätzlich zum absoluten Wert des Baustoffflusses interessiert natürlich als zusätzliches Kriterium, ob die Baustoffe selbst recycelt sind oder sich am Ende ihrer Lebensdauer recyceln lassen. Ganz abgesehen von der Tatsache, daß es sich bei praktisch allen Recyclingvorgängen um Downcycling handelt, muß ein großer Unterschied gemacht werden zwischen der effektiven heutigen Verwendung von recyceltem Material und der Möglichkeit eines Recycling in zehn, fünfzig oder hundert Jahren.

Der Baustoffinput in den Bausektor innerhalb der Schweiz wird z. Zt. auf ca. 2,4 t pro Jahr je Einwohner geschätzt. Dem gegenüber steht ein gesamtes jährliches Bauschutt aufkommen von 0,4 t/Jahr/Einwohner (von dem z. Zt. nur lediglich ca. 5 % recycelt werden). Es ist anzunehmen, daß die Verhältnisse in Deutschland ähnlich sind. Der Ausbau des Gebäudebestandes als Zwischenlager geht also unvermindert weiter. Aus diesem Grund kommt heute vor allem dem Kriterium effektiv wiederverwendeter Baustoffe eine Bedeutung zu.

Integration von besonderen Gebäudegruppen

Die vorhergehenden Betrachtungen zeigen, daß jede längerfristige Strategie der behutsamen Entwicklung auf dem Baubereich von der sorgfältigen Bewirtschaftung des gesamten Gebäudebestandes ausgehen muß. Der existierende Gebäudebestand wird mittelfristig zur prinzipiellen Ressource werden. In diesem Sinne sind konzeptuell alle Arten von Gebäuden einzubeziehen, inbegriffen Denkmäler. Das bedeutet natürlich nicht, daß damit Denkmäler automatisch zu einer verfügbaren Ressource, einem möglichen Steinbruch deklariert werden.

Eine grobe altersmäßige Verteilung zeigt, daß in Deutschland zur Zeit etwa 20 % der Bausubstanz vor dem Ersten Welt-

krieg und 15 % zwischen den Weltkriegen gebaut wurde. Dieser Bestand ist typmäßig und konstruktiv relativ homogen und global gesehen von einer hohen Bauqualität. Dazu gehören auch größere, nicht mehr benutzte Industriebaubestände. Unter den Bauten, die nach dem Zweiten Weltkrieg gebaut wurden, lassen sich eine Vielzahl von besonderen Beständen unterscheiden, u.a. technisch und komfortmäßig z.T. obsolete Bauwerke, Bauten mit hohem Risiko z.B. durch Asbestverwendung etc. Der bisher verfolgte Produktmodellansatz (insbesondere der Aufbau von Gebäuden aus Elementen) kann ohne weiteres mit geringen Erweiterungen auf diese Bestandsgruppen angewandt werden und die Grundlage von neuen, umfassenden Strategien der Weiternutzung, der Umnutzung und des Recycling bilden.

Strategien

Man kann also zusammenfassend feststellen, daß die Berechnung von Energie- und Stoffflüssen die notwendige, wenn auch nicht ausreichende Grundlage der Abschätzung der Umweltbelastung durch den Bauprozess darstellt. Der einzige Weg, sich in Richtung einer Kreislaufgesellschaft zu bewegen, besteht heute darin, möglichst wenig neue Baustoffe zu verwenden. Das kann zum kleinen Teil durch das systematische Recycling geschehen, womit derzeit bestenfalls etwa 10 % des Inputs ersetzt werden könnte. Es bleibt deshalb nur der relativ schnelle Verzicht auf das Erstellen neuer Gebäude und der Versuch, bauliche Probleme durch eine intensive Umnutzung und systematische Erneuerung der bestehenden Bausubstanz längerfristig umweltgerecht zu lösen. Die globale Umweltbelastung kann stark vereinfacht als Funktion von Bevölkerungswachstum, Bedürfnissen und Ökologischer Effizienz der Be-

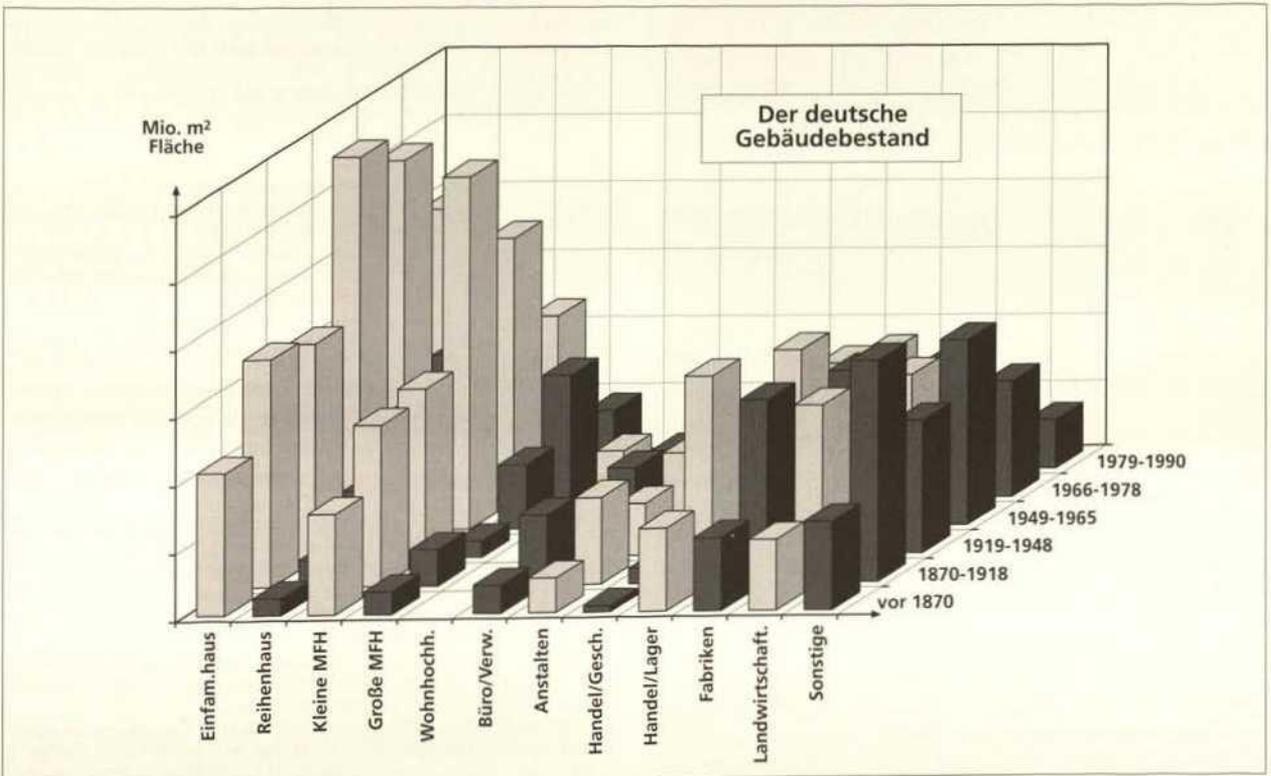
dürfnisbefriedigung dargestellt werden (Brundland). Eine weltweite Projektion über die nächsten 20 bis 30 Jahre zeigt, daß sich bei einer starken Erhöhung der Bevölkerung und einer erhöhten Befriedigung der Grundbedürfnisse (Nahrungsmittel, Schutz, Krankheit) für die gesamte Menschheit die globalen Bedürfnisse um Faktoren 5 bis 10 erhöhen werden. Wird versucht, während der gleichen Periode die Umweltbelastung z.B. um die Hälfte zu reduzieren, um so Treibhauseffekt, Ozonschichtzerstörung etc. aufzuhalten, so verbleibt als einzige ausgleichende Maßnahme eine Erhöhung der ökologischen Effizienz in der Bedürfnisbefriedigung (Landwirtschaft, Produktion, Dienstleistung, Gebäude etc.) um einen Faktor 5 bis 10. Diese Schlußfolgerungen werden von den meisten Forschern auf diesem Gebiet geteilt. Ein Blick auf die Entwicklung der Umweltbelastung von neuen Gebäuden zeigt, daß sich unsere Bestrebungen im Durchschnitt z. Zt. immer noch unterhalb eines Faktors 1 bewegen. Ganz abgesehen von einer unsinnigen Verwendung des Begriffs „ökologisch“ (z.B. „ökologische Wolkenkratzer“, „ökologische Haustechnik“, die im übrigen oft Beispiele betrifft, die eine wesentlich höhere Umweltbelastung als vergleichbare durchschnittliche Gebäude verursachen), zeigt es sich, daß nur radikal verschiedene Ansätze eine Aussicht auf Erfolg haben können.

Wir unterscheiden dabei grundsätzlich drei Strategien:

– Sparen

Die vollständige Ausnutzung der Sparstrategie ist eigentlich kein Diskussionspunkt mehr, sie sollte selbstverständlich sein. Es ist heute möglich, Gebäude zu planen, die einen Heizenergiebedarf von 20 kWh/m² pro Jahr haben (d.h. 10 % der durchschnittlichen Energiekennzahl von Gebäuden). Wie rasch ein solcher Wert im Bestand erreicht werden kann, ist allerdings schwierig zu beantworten. Auch was den Stromver-

9. Zusammensetzung des deutschen Gebäudebestandes nach Alter und Gebäudetypen.



brauch betrifft, sind sehr große Reduktionen möglich, man denke nur an die Verringerung des Energiebedarfs um einen Faktor 40 von Laptop-Rechnern.

– Vermeiden

Die Vermeidungsstrategie bedeutet zuerst eine Erhöhung der Dauerhaftigkeit und eine bessere Nutzung all dessen, was bereits vorhanden ist. Das betrifft insbesondere den Gebäudebestand. Der einzige Weg, sich in die angegebene Richtung zu bewegen, besteht heute darin, möglichst wenig neue Baustoffe zu verwenden. Das kann zu einem kleinen Teil durch das systematische Recycling geschehen. Es bleibt deshalb nur der Verzicht auf das Erstellen neuer Gebäude und der Versuch, bauliche Probleme durch eine intensive Umnutzung und systematische Erneuerung der bestehenden Bausubstanz längerfristig zu lösen.

– Positive Effekte

Der Begriff der Umweltbelastung beinhaltet bereits einen Lösungsansatz: Es geht darum, die Umweltbelastung durch entsprechende Maßnahmen zu reduzieren, genauso, wie es darum geht, externe Kosten (als negative Effekte) zu identifizieren und zuzuweisen. Man kann sich natürlich auch fragen, ob es möglich ist, positive (externe) Effekte zu erzielen. Man kann die Umweltbelastung immer grundsätzlicher hinterfragen (Marten de Jong), indem man bei jeder Belastung fragt: „Warum ist sie denn so negativ?“ Die Antwort, auf die man am Ende stößt, ist entweder die Frage nach dem Überleben der Menschheit (als einer Art) oder noch grundsätzlicher die Frage der Erhaltung der Biodiversität, der Artenvielfalt, als einer Garantie für die Erhaltung des Lebens an sich (Lovelock). In diesem Sinne kann man sich fragen, ob es mögliche positive Effekte gibt, die die Biodiversität erhöhen. Man könnte sich ja Formen der Besiedelung und menschlicher Aktivität vorstellen, die die Biodiversität tendenziell erhöhen. Es muß betont werden, daß diese Frage einen utopischen Charakter hat und bis jetzt nicht untersucht wurde.

Schlußfolgerungen

Die Frage nach der Umweltbelastung durch das Bauen wirft also eine Reihe grundsätzlicher Fragen nach dem Sinn des Bauens an und für sich auf. Sie könnte in diesem Sinne Ausgangspunkt einer neuen Auffassung von Technik und Architektur werden, die sich, und das ist wohl neu, weder an technischen Lösungen noch an architektonischen Formen orientiert. Auf gesellschaftliche Forderungen hat die technische Gemeinschaft bis jetzt mit neuen Technologien, die Architektenschaft mit neuen Formen geantwortet. Die ökologische Herausforderung kann mit diesen Mitteln nicht beantwortet werden; im Gegenteil: Wir müssen verhindern, daß neue Technologien und Formen uns die Sicht auf die wesentlichen Probleme verstellen.

Es zeigt sich, daß gesamtgesellschaftlich nur die intensive Erhaltung und die optimale Nutzung des Gebäudebestandes mittelfristig zu einer Entlastung der Umwelt führen können. Dadurch wird der Gebäudebestand prinzipiell zur wichtigsten und schlußendlich einzigen möglichen Ressource. Die konzeptuellen Auswirkungen dieser Tatsache sind kaum untersucht worden. Man kann nur zwei nennen:

– Der Neubau verliert seine Bedeutung und wird zu einem Spezialfall der Erneuerung. Sämtliche Baugesetze, Stadt- und Regionalplanungsmethoden, Bauprodukte, Architektenwissen etc. beruhen heute aber auf dem Neubau.

– Wenn nichts mehr dazukommt, werden am Ende alle Ge-

bäude zu Denkmälern. Die heutigen Konzepte der Denkmalpflege sind jedoch auf die intensive Betreuung von Einzelobjekten ausgerichtet. Die neuen Aufgaben der Denkmalpflege oder vielleicht besser der Werterhaltung betreffen alle Bauten, werden zu einem Massenphänomen.

Der Gebäudebestand ist das größte finanzielle, physische und kulturelle Kapital der Gesellschaft. Da wir gewohnt sind, in Gebäuden zu leben, sind wir uns der Wichtigkeit und Komplexität von Gebäuden nicht bewußt. Ebenso erscheint uns der Gebäudebestand als etwas so selbstverständliches, daß wir nur sehr ungenaue Vorstellungen über die Anzahl der Gebäude haben. Um den finanziellen Wert von Gebäuden zu bestimmen, gibt es viele Methoden. Der einzige physische Wert von Gebäuden ist ihr ökologischer Wert, im Sinne von existierenden, verfügbaren Ressourcen, die nicht mehr neu aus der Natur entnommen werden müssen, und die bei Umnutzung, Wieder- und Weiterverwendung die Umwelt weniger belasten als bei Neubau. Der kulturelle Wert von Gebäuden ist die traditionelle Domäne der Baugeschichte und Denkmalpflege.

Das Aufzeigen der komplexen Beziehungen und Gemeinsamkeiten dieser verschiedenen Wertvorstellungen könnte der Ausgangspunkt einer neuen Strategie der Werterhaltung des Gebäudebestandes sein.

Literatur

- Baccini, Peter; Brunner Paul H.: *Metabolism of the Anthroposphere*. Berlin 1991.
- Consoli, J. u.a.: *Guidelines for Life Cycle Assessment: A Code of Practice*. SETAC, Bruxelles 1993.
- CRB-Zentralstelle für Baurationalisierung, CRB: *Elementkostengliederung*. Norm SN 506 502, Zürich 1990.
- Delage, J.P.: *Histoire de l'Ecologie*. Paris 1992.
- Heijungs, R. u.a.: „Environmental life cycle assessment of products; Guide and Backgrounds“, 2 Bde. National Reuse of Waste Research Programme (NOH), CML Leiden 1992.
- Kohler, Niklaus u.a.: *Energie und Stoffbilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer*. Schlußbericht Forschungsprojekt BEW. ifib – Universität Karlsruhe 1994.
- Lovelock, James E.: *Gaia: A new look at life on earth*. Oxford 1979.
- Marten de Jong, Tacke: „The existing environmental perception inhibits contemplating effective solutions in the ecological crisis.“ In: „IEA – Future buildings Forum“, Lake Konstanz, May 1995.
- Odum, Eugene Pleasance: *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia 1971.
- Odum, Howard T.: *System Ecology: An Introduction*. New York 1983.
- ders.: *Environment, Power and Society*. New York 1971.
- Rees, William E.: „Appropriated carrying Capacity: Ecological Footprints and the Built Environment“. In: *International Research Workshop Buildings and the Environment*, Cambridge University, Sept. 1992.
- Schweizer Norm SN 506 502 (1991): „Elementkostengliederung“.
- Speth, J.C.: „Can the world be saved?“ In: *Ecological Economics*, Jg. 1, 1989, S. 289-302.
- World commission on Environment and Development („Brundtland Committee“): *Our Common future*. Oxford/London 1987.

Projektangaben

Die Ausführungen beruhen auf Resultaten von Forschungsprojekten, die z.Zt. am Institut für Industrielle Bauproduktion (ifib) der Universität Karlsruhe (TH) in Zusammenarbeit mit anderen Institutionen durchgeführt werden:

- Projekt OGIP (finanziert durch das schweizerische Bundesamt für Energie-wirtschaft und das Amt für Bundesbauten) in Zusammenarbeit mit der ESU – ETHZ, dem CRB und privaten Büros.
- Projekt KOBEK (finanziert durch die Bundesumweltstiftung) in Zusammenarbeit mit der HAB Weimar, dem Baukostenberatungsdienst der Architektenkammer Baden-Württemberg und privaten Büros.
- Projekt REGENER (ein APAS Projekt der EG-DG XII) in Zusammenarbeit mit der Ecole des Mines de Paris, INERIS (F), WOON (NL), VTT (Finnland), Softech (I) etc.