

# Kreislaufgerechtes Bauen

Harald Kloft

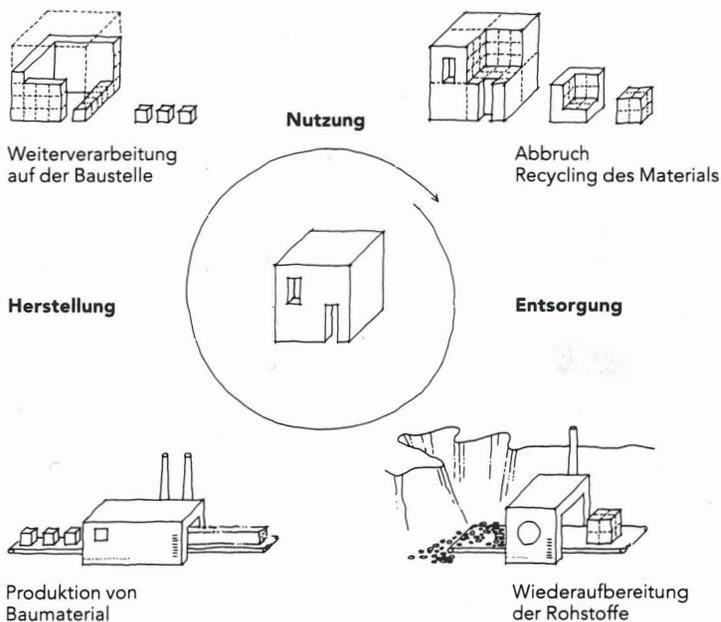
## Problematik von Stoffkreisläufen im Bauwesen

Die Existenz unserer heutigen Industriegesellschaft ist angewiesen auf den ständigen Abbau und Verbrauch von Rohstoffen und Energie. In der Natur bilden die Stoffwechselvorgänge geschlossene Systeme. Im Gegensatz dazu sind technische Prozesse durch einen überwiegend linearen Ablauf gekennzeichnet. Global begrenzte Ressourcen und zunehmende Umweltbelastungen haben in den letzten Jahren die Forderung nach einem Wandel unseres Wirtschaftssystems in eine Kreislaufwirtschaft forciert. Dabei handelt es sich um den Versuch, technisch produzierten Stoffen die natürlichen Qualitäten des „Werdens und Vergehens“, soweit möglich, zuzuordnen.

Aufgrund seines hohen Stoff- und Energiebedarfs und der Vielzahl offener Prozeßketten kommt dem Bausektor bei der Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft wesentliche Bedeutung zu. Der Entsorgungspaß gibt dabei den größten Ausschlag zur verstärkten Rückführung von Baurestmassen in die Stoffkreisläufe, denn die Abfälle aus der Bauwirtschaft stellen mit einer Gesamtmenge von 285 Millionen Tonnen jährlich den größten Anteil am Abfallaufkommen in Deutschland dar [1]. Im Bereich des Straßenbaus sind die Materialströme bereits so weit entwickelt, daß möglichst kein Deponiematerial anfällt. Dagegen ist der Bereich des Hochbaus überwiegend noch durch offene, nicht rückführende Prozesse gekennzeichnet, so daß die gebaute Umwelt stetig anwächst und weiterhin die Entsorgungsprobleme von morgen verursacht.

Aus dieser Erkenntnis heraus wurden von umweltpolitischer Seite Vorgaben formuliert, die innerhalb kurzer Zeit eine deutliche Steigerung der Verwertungsquoten bringen sollten. In der „Zielfestlegung der Bundesregierung zur Vermeidung, Verringerung oder Verwertung von Bauschutt, Baustellenabfällen, Bodenaushub und Straßenaufbruch“ aus dem Jahre 1993 wurde beispielsweise eine Steigerung der Bauschuttverwertung von seinerzeit rund 20 Prozent auf 60 Prozent für das Jahr 1995 vorgegeben [2]. Diese im Hinblick auf den kurzen Zeitraum unrealistischen Verwertungsquoten sind zwar bei weitem nicht erfüllt worden, dennoch sind solche Zielvorgaben wichtig, um die Rückführung von Baurestmassen in die Materialkreisläufe zu forcieren.

Einen weiteren Schritt zur Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft im Bauwesen soll das Inkrafttreten der Neufassung des „Gesetzes zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen“ (KrW/AbfG) ab Oktober 1996 darstellen, wonach der Bauherr im Falle eines Gebäudeabbruchs die alleinige Verantwortung für den anfallenden Bauschutt trägt. War es zuvor möglich, das Abfallgesetz durch Deklaration von Bauschutt als Wirtschaftsgut zu umgehen, sind heute Abbruchmaterialien generell als Abfälle einzu-



stufen und unterliegen in vollem Umfang dem KrW/AbfG. Materialien, die einer Wiederverwertung zugeführt werden sollen, sind „als Abfälle zur Verwertung“ zu behandeln, wobei die Pflicht zur Verwertung so lange einzuhalten ist, wie dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist [3].<sup>1</sup> Das Inkrafttreten des KrW/AbfG soll zwar dazu beitragen, die Rückführung von Baurestmassen in die Stoffkreisläufe zu forcieren, aber entscheidende Impulse zur Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft im Bauwesen werden nur solche Maßnahmen geben, die schon bei der Gebäudeplanung ansetzen und langfristig auf ein effizientes Stoffstrommanagement abzielen. Als Zielstellung kreislaufgerechten Bauens kann die lange Erhaltung von Bauwerken, Bauteilen und Baustoffen auf hohem Niveau formuliert werden. Dabei kommt einer möglichst langen Nutzungsdauer von Bauwerken hohe Priorität zu. Erst wenn Bauwerke in ihrer Funktion nicht mehr zu nutzen sind, gilt es, Konzepte für ein Gebäuderecycling zu entwickeln. Maßnahmen hierzu beginnen bei der Zuführung neuer Nutzungen und reichen bis zur Rückführung kontrolliert rückgebauter Bauteile und Baustoffe in die Stoffkreisläufe.

### Stoffkreisläufe in der Baugeschichte

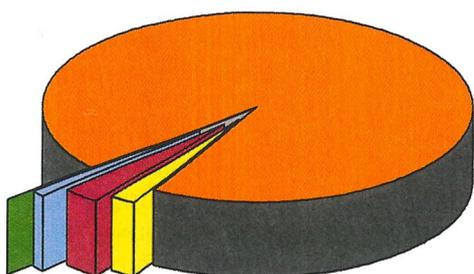
Schon im Altertum wurden Steine abgebrochener Bauwerke für neue Bauten wiederverwendet. Grund hierfür war die pragmatische Verwendung als günstiges Baumaterial. Wegen der unzulänglichen Transportmöglichkeiten in früheren Zeiten waren die Möglichkeiten, Baustoffe zu beschaffen, regional begrenzt. Ein überregionaler Baustoffhandel und damit eine von der Region unabhängige Verfügbarkeit konnte sich nicht entwickeln: „Es wird immer wieder aus Gründen der Nützlichkeit geboten gewesen sein, umfangreiche, massive Bauglieder aus dem Ab-

- 1 Stoffkreislauf des Mauerwerks [14]
- 2 Nordmauer der Festung Tebursuk, zwischen 565 und 578 v. Chr. [4]



Materialinhalte nach Baustoffgruppen gemittelt über die Baualtersklassen

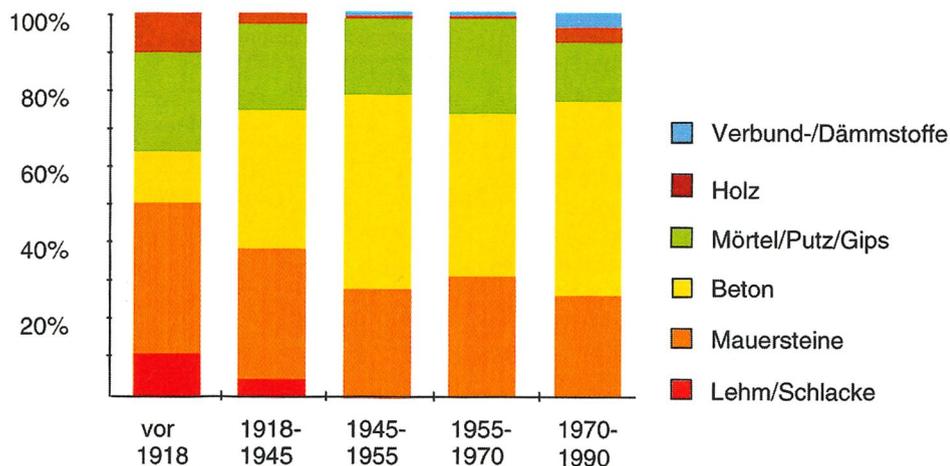
Baustoffmassen



mineralisch	94,2 %
anorganisch	1,9 %
organisch	2,9 %
Verbund-/Dämmstoffe	0,9 %
Sonstige	0,1 %

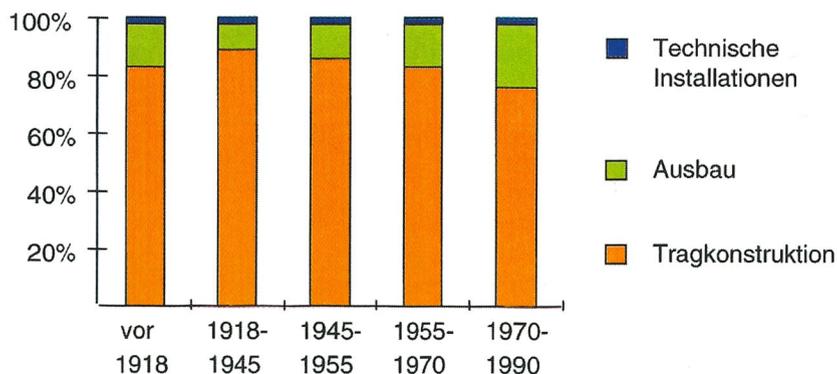
3

Baustoffeinsatz in den verschiedenen Baualtersklassen



4

Verteilung der Baustoffmassen auf Tragkonstruktion Ausbau und Technische Installationen



5

bruch beim Neubau wiederzuverwenden, und zwar unweit der Abbruchstelle: Auf diese Weise konnte man den Aufwand der zum Transport notwendigen Kräfte auf das geringste Maß reduzieren und zugleich billiges Baumaterial gewinnen." [4]. Dieser Art von Recycling aus rein ökonomischen Gründen fielen zahlreiche bedeutende Bauwerke des Altertums zum Opfer. Der künstlerische Wert von Bauteilen sowie verlorene handwerkliche Fähigkeiten waren weitere Anlässe zum Raub und zur Wiederverwendung, vor allem von kunstvoll gearbeiteten Werksteinen, wie das aus Spolien gefügte Mauerwerk der Festung von Tebursuk belegt, dessen Errichtung zwischen 565 und 578 inschriftlich datiert ist: „Hier zeigt sich der Mangel an passenden gleichartigen Steinen ... offenbar hat man einzelne Gebäude abgebrochen, das Material zum Bauplatz gebracht und, wie es ankam, sogleich hintereinander verbaut" [4].

Die Demontage von Bauwerken aus dem Altertum fand auch in unseren Regionen statt. Es ist urkundlich belegt, daß Karl der Große die Erlaubnis zur Ausbeutung der römischen Wasserleitung, die von der Eifel nach Köln führte, gab. Diese Wasserleitung war aus opus caementitium erbaut, das zu Hausteinen für Häuser, Klöster, Kirchen und Burgen weiterverarbeitet wurde [5]. Hier kann von einem Recycling im eigentlichen Sinn gesprochen werden, also einem Wiedereinsatz eines Stoffes oder eines Materials auf der ursprünglichen Qualitätsstufe nach entsprechender Aufbereitung. Interessant ist, daß römische Bauwerke in manchen Gegenden nur teilweise abgebrochen wurden. So stehen heute noch die Hinterfüllungen aus Römerbeton, während die Verblendsteine fehlen, beispielsweise bei den römischen Ruinen in Trier [6]. Der Grund liegt wohl darin, daß bearbeitete Natursteine wertvoller als Beton waren. Außerdem war es schon damals einfacher, neuen Beton herzustellen, als alten wiederzuverwerten, vorausgesetzt die Zuschlagstoffe standen zur Verfügung.

Im Zuge der französischen Revolution wurden zahlreiche mitteleuropäische Klöster säkularisiert und deren Bauwerke abgebrochen, wie beispielsweise die berühmte romanische Klosterkirche von Cluny, die 1798 um den Wert des Baumaterials auf Abbruch verkauft wurde [7]. Offensichtlich konnte zu allen Zeiten ein Gebäude oder Bauwerk nur überdauern, solange es eine Funktion hatte, danach wurde es in den Kreislauf rückgeführt.

Ein weiteres Beispiel für funktionierende Stoffkreisläufe in der Geschichte sind die Zerstörungen durch Kriege, die später häufig das Material für den Wiederaufbau lieferten. Entsorgung des Trümmerschutts und Materialbedarf für den Wiederaufbau wurden so in einem gelöst. Im Nachkriegsdeutschland war man mit 400 Millionen Kubikmetern Trümmerschutt aus dem Zweiten Weltkrieg konfrontiert, die beseitigt werden mußten [7]. Dabei handelte es sich



6

vor allem um Mauerwerk aus Ziegelsteinen. Die Hauptlast des Wiederaufbaus trugen „Trümmerfrauen“, die Millionen von Ziegeln Stück für Stück mit der Hand säuberten, von Mörtel befreien und damit für eine Wiederverwendung vorbereiteten. Ziegel, die nicht direkt wiederverwendet werden konnten, wurden zu Ziegelsplitt zermahlen und in Ziegelsplittbeton weiterverarbeitet. Seitdem besteht mit der DIN 4226 eine Norm für Ziegelsplitt, die eine Verwendung von Ziegelsplitt als Leichtzuschlag für Beton bis Güteklasse B 25 regelt [8].

Das Recycling von Bauteilen fand also in früheren Zeiten nicht aus ökologischen, sondern in der Hauptsache aus Nützlichkeits-Erwägungen statt. Erst mit Einführung der industriellen Produktion von Baustoffen und im Zuge der Entwicklung neuer Transportmittel konnte sich ein Wandel zu überregionaler Verfügbarkeit vollziehen. Durch die Verringerung des relativen Produktionsaufwandes bei industriell gefertigten Produkten wurde überdies die Herstellung von neuen Materialien immer billiger, und die ökonomische Komponente kehrte sich um. Es wurde billiger, neue Baustoffe zu produzieren, als alte wiederzuverwerten, und aus funktionierenden Stoffkreisläufen wurden offene Prozeßketten.

Heute sind es vor allem ökologische Gründe in Form begrenzter Ressourcen und zunehmender Umweltbelastungen, die uns wieder zu einem Denken in Kreisläufen zwingen.

#### Recycling von mineralischen Baustoffen

Eine wesentliche Komponente zum Schließen von Stoffströmen im Bauwesen ist die Rückführung von Bauteilen oder Baustoffen in neue Herstellungsprozesse. Bei der Verteilung der Baureststoffe zeigt sich mit einem Anteil von über 90 Prozent die Dominanz der mineralischen Baustoffe bei Wohngebäuden in Massivbauweise im Gebäudebestand [9].

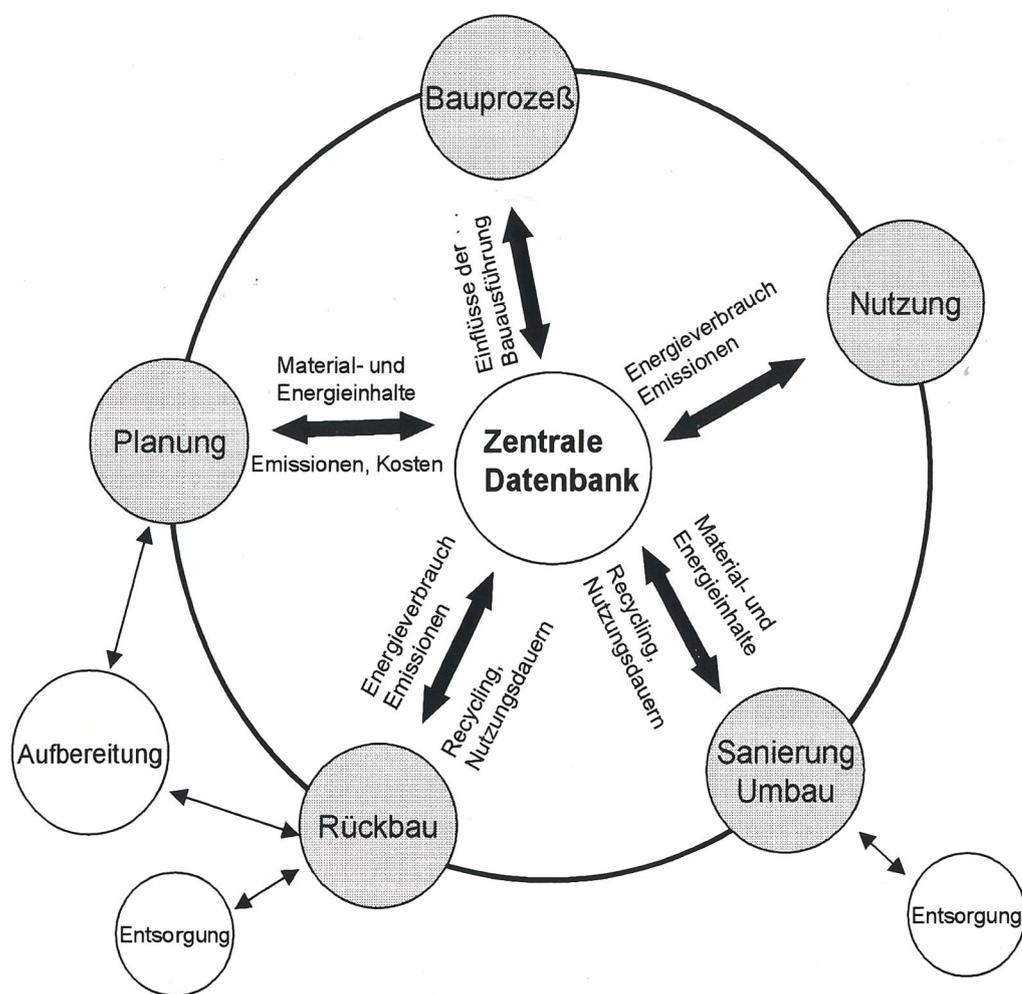
Die Aufbereitungsverfahren für Bauschutt aus mineralischen Baustoffen sind weit entwickelt. Bereits auf der Baustelle wird eine Sortierung des Abbruchmaterials in Beton- oder Ziegelabbruch vorgenommen. Bei Anlieferung zu einer Recyclinganlage muß der Bauschutt zur Beurteilung der qualitativen Zusammensetzung ein Multikontrollsystem durchlaufen [10]. Hauptziel dieser Eingangskontrolle ist es, kontaminierte Störstoffe fernzuhalten und minderwertige Bestandteile auszusortieren, die hohe bau- und umwelttechnische Risiken in sich bergen. Zur Eingangskontrolle gehören ebenso die Datener-

3 Aufschlüsselung der Baurestmassen von Wohngebäuden in Massivbauweise im Gebäudebestand [9]

4 Baustoffliche Zusammensetzung von Wohngebäuden verschiedener Baualtersklassen in Massivbauweise [9]

5 Verteilung der Baustoffmassen von Wohngebäuden in Massivbauweise aus verschiedenen Baualtersklassen auf Tragkonstruktion, Ausbau und Technische Anlagen [9]

6 Betonbruch



7 fassung und der Herkunftsnachweis des Eingangsmaterials. Erst wenn der Nachweis der Unbedenklichkeit erbracht ist, wird das angelieferte Material angenommen.

Der eigentliche Aufbereitungsprozess beginnt mit der Aufgabe des Bauschuttmassenstroms auf die Förderbänder der Aufbereitungsanlage. Die Trenn- und Sortiertechniken bestehen im wesentlichen aus Brech- und Siebvorläufen, die in Abhängigkeit von der Körnung durchlaufen werden. Zwischengeschaltete Magneten sorgen dafür, daß aus dem Massenstrom Metall- und Stahlbestandteile entfernt werden. Diese werden anschließend direkt der Aufbereitungsanlage und Wiederverwertung zugeführt. Ebenso findet auf dem Weg durch die Aufbereitungsanlage eine Schadstoffentfrachtung von Holz und anderen Leichtstoffen statt. Holz wird in diesem Zusammenhang als Schadstoff betrachtet, weil mit Holzbestandteilen versehenes Recyclingmaterial für Betonzuschläge unbrauchbar ist. Die Abscheidung dieser Störstoffe erfolgt mechanisch mit Hilfe von Windsichtern oder durch nasse Sortierverfahren.

Das Haupteinsatzgebiet von mineralischen Baustoffen aus dem Hochbau nach entsprechender Aufbereitung ist der Straßenbau. Der-

7 Informationskreislauf im Bauwesen [15]

zeitiges Haupthindernis für die Verwendung von mineralischen Recyclingmaterialien im Hochbau ist die fehlende Normierung. Während Betonsplitt in Deutschland nicht als Zuschlagstoff zur Betonherstellung zugelassen ist, darf Ziegelsplitt gemäß DIN 4226 als Leichtzuschlag für Beton verwendet werden. Der Einsatz ist jedoch wegen der langsamen, aber starken Wasseraufnahme bei der Herstellung von Mauerwerkssplittbeton nur eingeschränkt möglich. Um die Verarbeitbarkeit eines Betons aus Ziegelsplitt garantieren zu können, müßten besondere Maßnahmen zur Vorbehandlung getroffen werden [2].

Ein weiteres Problem stellt die in DIN 4226 geforderte Reinheit der Zuschläge aus dem Mauerwerksabbruch dar, die mit den momentanen Abbruchverfahren nicht erreicht wird. Die Reinheitsanforderungen der DIN 4226 können nur gewährleistet werden, wenn das Mauerwerk in der Aufbereitung möglichst von den Mörtelanteilen befreit wird. Die Verwendung von Ziegelsplittbeton für nichttragende Wände ist dagegen kein Problem. Hier kann der Mauerwerkssplittbeton durch Pilotprojekte wieder marktfähig ge-

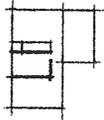
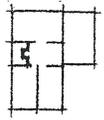
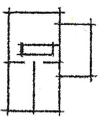
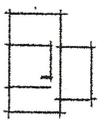
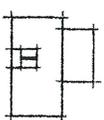
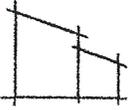
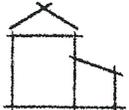
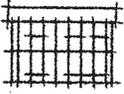
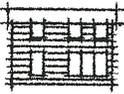
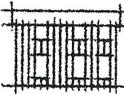
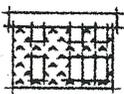
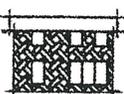
macht werden. In anderen Ländern – so in den Niederlanden – ist sowohl die Verwendung von Mauerwerkssplitt (zehn Prozent), wie auch ein Einsatz von Betonsplitt (20 Prozent) als Zuschlagstoff zulässig [8].

Derzeit ist ein vom Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (DAfSt) initiiertes Forschungsvorhaben zum Thema „Baustoffkreislauf im Massivbau“ in Bearbeitung, das vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBF) und der Wirtschaft gefördert wird. Ziel ist es, durch die Kombination grundlagenorientierter und anwendungsbezogener Forschungsarbeiten abzuklären, unter welchen Bedingungen die beim Abbruch von Bauwerken anfallenden mineralischen Baurestmassen möglichst vollständig bei der Erstellung von Neubauten wiederverwendet werden können [1]. Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens sollen die Basis liefern zur Ausarbeitung einer Richtlinie für den Einsatz von Recyclingbeton. Inhaltlich erstrecken sich die Forschungsthemen von der Planung und Ausführung von Abbruch- und Rückbaumaßnahmen, der Optimierung und Weiterentwicklung vorhandener Aufbereitungsverfahren, über grundsätzliche Fragestellungen zur Eignung von aufbereitetem Bauschutt als Betonzuschlag und zur Beurteilung bemessungsrelevanter Frisch- und Festbetoneigenschaften, bis hin zu sicherheitstheoretischen Untersuchungen zur Streuung der Materialkennwerte von Recyclingbeton [11].

Außerdem wird im Rahmen des Forschungsvorhabens ein Demonstrationsbauwerk erstellt, bei dem Beton aus rezykliertem Zuschlag eingesetzt wird. Hierbei handelt es sich um ein Verwaltungsgebäude, dessen Stützen, Wände und Decken in Recyclingbeton – zum Teil in Sichtbetonqualität – der Güte B 35 hergestellt werden.<sup>2</sup>

### Baustoffliche Zusammensetzungen von Gebäuden

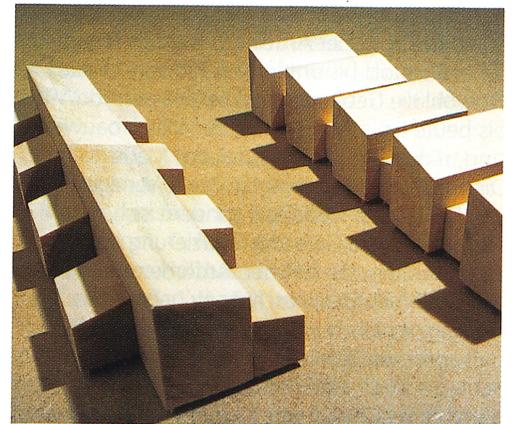
Wichtige Voraussetzung für eine Lenkung der Materialströme im Bauwesen ist die Kenntnis der baustofflichen Zusammensetzung von Bauwerken. Gerade in dieser Hinsicht existiert jedoch eine regelrechte Informationslücke im Bauwesen. Selbst bei heutigen Neubaumaßnahmen wird nicht dokumentiert, welche Baustoffe in welchen Mengen verbaut werden. Der Bauherr erwirbt also ein Produkt, über dessen stoffliche Zusammensetzung er nicht informiert ist. Dies liegt hauptsächlich daran, daß die Stoffströme im Bauwesen nur am Anfang bei der Produktion von Baustoffen und am Ende bei der Beseitigung als Bauabfälle registriert werden. Zwischen Produktion und Deponierung sind die Bewegungen dagegen weitgehend unbekannt. Die Kenntnisse hierum sind aber Voraussetzung, damit sich Strategien und Planungsinstrumente zur Lenkung der Stoffströme im Bauwesen entwickeln lassen und künftig Gebäude im Hinblick auf deren Umweltauswirkungen ganzheitlich bewertet werden können.

<b>Grundrisse</b>						
	Variante A	Variante B	Variante C	Variante D	Variante E	
<b>Dach</b>						
	Pultdach	Satteldach	Flachdach	Kaltdach Tonne	Kaltdach Sattel	Kaltdach Pult
<b>Fassade</b>						
	Tafel	Horizontal-Verschalung	Vertikal-Verschalung	Putz	Textil u.a.	

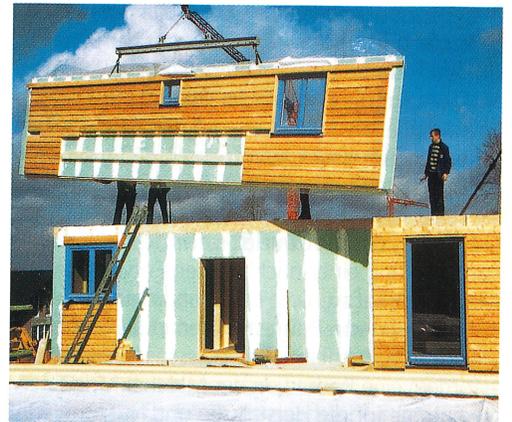
8



9



10



11

8 Variationsmöglichkeiten des Mikado-Hauses

9–11 Mikado-Haus, Ansicht, Modell, Baumontage

Geht man von einer durchschnittlichen bautechnischen Lebensdauer von 80 bis 100 Jahren bei Wohngebäuden aus, so ist der heute anfallende Bauschutt aus Baustoffen der Vergangenheit zusammengesetzt. In einem von der Fritz-und-Margot-Faudi-Stiftung geförderten Forschungsvorhaben wurden am Institut für Statik der Technischen Universität Darmstadt Wohngebäude unterschiedlichen Baualters auf ihre baustoffliche und mengenmäßige Zusammensetzung hin untersucht [9]. Bei den Gebäuden handelt es sich um typische Vertreter der Massivbauweise. Es wurde eine Unterscheidung zwischen Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern vorgenommen. Die Ergebnisse für die durchschnittlichen Baustoffmassen der untersuchten Wohngebäude betragen  $530 \text{ kg/m}^3$  Bruttorauminhalt (BRI). Auf die jeweiligen Wohnflächen bezogen, ergibt sich dieser Mittelwert zu  $2550 \text{ kg/m}^2$  Wohnfläche (WFL).

Bei einer Analyse ist zu erkennen, daß sich die Baustoffzusammensetzung der Gebäude von einer Altersklasse zur nächsten ändert. Während der Betonanteil seit Mitte der zwanziger Jahre zunimmt, sinkt der Anteil von Holz als organischer Baustoff bis unter die 5-Prozent-Marke. Obwohl die Gebäude der Altersklassen von 1918 bis heute typische Vertreter der Massivbauweise sind, reduziert sich der Anteil des Mauerwerks. Dies läßt nicht unbedingt auf eine Verlagerung von Baustoffen schließen, sondern ist hauptsächlich mit der Gewichtsreduzierung der Mauersteine durch die höheren Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz zu begründen. Die Anfang des Jahrhunderts noch häufig in Holzbalkendecken verwendeten Baustoffe Lehm und Schlacke sind nach dem Zweiten Weltkrieg fast gänzlich verschwunden. Dagegen ist ein kontinuierlicher Zuwachs bei den organischen Stoffen wie Glas und Stahl sowie bei den Dämmstoffen zu verzeichnen. Mehr als 80 Prozent der Baustoffmassen der untersuchten Wohngebäude entfallen auf die Bauteile der Tragkonstruktion und weniger als 20 Prozent auf den Ausbau. Die Technischen Anlagen sind massenmäßig vernachlässigbar.

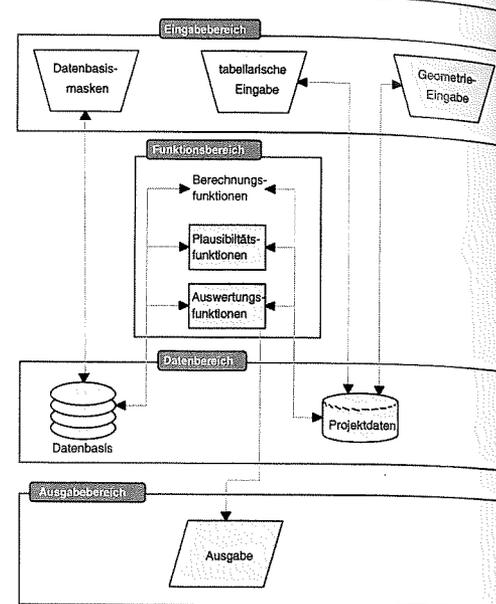
### Erhaltung des Gebäudebestandes

Zur Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung wird es zukünftig nicht genügen, allein die Rückführung von Baureststoffen in die Stoffkreisläufe zu forcieren. Prozesse des Bauwesens erfordern eine Reduktion der Material- und Energieeinträge für die Herstellung und Nutzung von Bauwerken. Der Gebäudebestand selbst stellt nach Meinung von Experten in Zukunft die größte Ressource im Baubereich dar, mit der verantwortungsbewußt umgegangen und die intensiv genutzt werden sollte. Ungefähr 80 Prozent aller bestehenden Wohngebäude sind vor 1977, dem Inkrafttreten der 1. Wärmeschutzverordnung, gebaut worden. Während Niedrigenergiehäuser mit einem Heizwärmebedarf von

$50\text{--}70 \text{ kW/m}^2$  a Stand der Technik bei Neubauten sind, werden in bestehenden Gebäuden noch immer durchschnittlich 200 bis  $250 \text{ kWh/m}^2$  a Heizwärme verbraucht. Dies hat eine Reduktion der Vorräte an nicht erneuerbaren Energieträgern zur Folge und trägt gleichzeitig in einem hohen Maß zur globalen Erwärmung bei. Die Ergebnisse der Untersuchungen zur baustofflichen Zusammensetzung von Wohngebäuden verschiedener Baualtersklassen zeigen, daß vor allem bei Massivbauten mehr als 80 Prozent der Baustoffmassen auf die Bauteile der Tragkonstruktion entfallen. Selbst bei größeren Umbaumaßnahmen kann in der Regel die Tragstruktur erhalten werden. Dies trägt zur Vermeidung von Baurestmassen bei und schont stoffliche und energetische Ressourcen.

Die Untersuchungen am Institut für Statik der TU Darmstadt haben weiterhin gezeigt, daß eine Änderung der baustofflichen Zusammensetzung von Gebäuden früherer Baualtersklassen meist mit einer Änderung des konstruktiven Aufbaus der Baukonstruktionen konform geht. Erst bei neueren Gebäuden wird wegen der Baustoffvielfalt und der technischen Möglichkeiten die Konstruktionstypologie unübersichtlich. Als Schlußfolgerung aus dieser Erkenntnis, daß frühere Gebäude aus typischen Konstruktionen zusammengesetzt, typische Gebäudevertreter aber nur schwer zu klassifizieren sind, wird derzeit am Institut für Statik ein Konstruktionskatalog entwickelt, der die typischen Baukonstruktionen im Wohnungsbau von 1890 bis 1970 katalogisiert. Ziel ist es, ein praxistaugliches Arbeitsinstrument zu konzipieren, das für die typischen Konstruktionen im Bereich der Gründungen, Außenwände, Innenwände, Decken und Dächer Angaben zu den jeweiligen Konstruktionsaufbauten, den verwendeten Baustoffen und deren Massen und die zugehörigen Abfallschlüsselnummern enthält. Mit Hilfe dieser Zusammenstellung soll es möglich sein, Wohngebäude, die abgebrochen oder rückgebaut werden sollen, stofflich einzuordnen und mengenmäßig genau zu erfassen, um eine Verwertung und Entsorgung der anfallenden Baurestmassen in ökologischer und ökonomischer Hinsicht zu optimieren. In einem weiterführenden Schritt ist geplant, die bauphysikalischen Eigenschaften dieser Konstruktionen im Hinblick auf die Anforderungen von Wärme-, Schall- und Feuchteschutz zu beurteilen und Vorschläge für eine energetische Sanierung auszuarbeiten.

In Zukunft wird der Erhaltung und energetischen Sanierung des Gebäudebestandes eine tragende Funktion zur Reduzierung der Material- und Energieeinträge im Bauwesen zukommen. Nach Lützkendorf [12] eröffnet eine Schwerpunktverlagerung von Neubau- zu Umbaumaßnahmen sogar volkswirtschaftliche Perspektiven: Die häufig als Nachteil betrachtete Tatsache der arbeits- und somit kostenintensiven Erhaltung und Erneuerung von Gebäuden<sup>3</sup> müsse vor dem



8 EDV-gestützte Erfassung der stofflichen und energetischen Zusammensetzung von Gebäuden [15]

Hintergrund der hohen Arbeitslosigkeit und dem Zwang zur Schonung von Ressourcen neu interpretiert werden. Durch mehr Umbaumaßnahmen im Gebäudebestand könne die Nachfrage nach qualifizierter Arbeit gesteigert und somit die „Umweltbelastung durch Arbeit ersetzt werden“.

### Planung neuer Gebäude

Im Hinblick auf Neubaumaßnahmen verlangen die sozialen und gesellschaftlichen Veränderungen in Zukunft flexiblere Gebäudekonzepte. Die Diskrepanz zwischen funktionaler Nutzungsdauer und technischer Lebensdauer von Gebäuden nimmt in unserer schnelllebigen Zeit ständig zu und ist einer der entscheidenden Ansatzpunkte für ein Umdenken bei der Planung von Neubaumaßnahmen. Gebäude sollten zukünftig so konzipiert werden, daß sie auf Nutzungsänderungen oder gehobene Anforderungen an den technischen Standard reagieren können. In Analogie zu Einweg- und Mehrwegstrategien anderer Produktionsbereiche sind Szenarien für die Planung von Bauwerken denkbar, die entweder zu dauerhaften, flexiblen Konstruktionen tendieren und bei einer Umnutzung leicht umgebaut werden können oder von vornherein auf eine kurze Nutzungsdauer ausgelegt sind. Dies müßte sich folgerichtig auf die Material- und Konstruktionswahl sowie letztlich auch auf die Baukosten auswirken.

Nach Ablauf der Nutzungsdauer sollten Gebäude in Zukunft kontrolliert rückgebaut und die einzelnen Bauteile wiederverwendet werden können. Gibt es dennoch Bauteile, die für einen

erneuten Einsatz unbrauchbar sind, muß gewährleistet sein, daß diese nach einer Aufbereitung wieder in die Stoffkreisläufe zurückgeführt werden können. Für einzelne Konstruktionen gerade im Bereich der Gebäudeaußenhülle ist in diesem Zusammenhang eine Mehrschichtigkeit im Aufbau sinnvoll. Hier müssen konstruktive Lösungen entwickelt werden, die den Austausch einzelner Schichten parallel zu unterschiedlicher Nutzungsdauer ermöglichen.

Auch die Integration der technischen Installationen in die Gebäudestruktur erfordert im Hinblick auf eine Austauschbarkeit innovative Lösungen. Noch immer werden beispielsweise im Mauerwerksbau die Wände nach Fertigstellung des Rohbaus regelrecht ausgehöhlt, um Installationen unterzubringen. Dieses Verfahren verursacht unnötigen Bauschutt schon in der Herstellungsphase des Bauwerks und erschwert einen geordneten Rückbau [13].

Eine kreislaufgerechte Planung von Neubauten erfordert jedoch nicht nur intelligente Lösungen für einzelne Konstruktionen, sondern vor allem die Entwicklung kompletter Systemlösungen, also eine modulare Fügung vorgefertigter Elemente. Das Bauen mit Modulen zeichnet sich durch zwei wichtige Merkmale aus, nämlich die Einhaltung eines festgelegten Maßsystems und die demontable Fügung der Anschlüsse und Verbindungen der einzelnen Elemente [14]. Die nötigen konstruktiven Vorgaben erfordern strenge Disziplin bei der Planung, schaffen jedoch größte technische und funktionelle Flexibilität für die Nutzung. Wichtig für die Akzeptanz ist die Möglichkeit der Variation, damit die Bedürfnisse nach Individualität befriedigt werden können. Die kreislaufgerechte Planung von Neubauten gestaltet sich als Optimierungsprozeß zwischen den angestrebten Zielen – einem möglichst hohen Gebäudestandard, gleichzeitig einem möglichst geringem Energie- und Stoffeinsatz bei der Herstellung und dem Betrieb von Gebäuden und der möglichst hohen Rezyklierbarkeit der Baukonstruktion.

### Politische und gesellschaftliche Handlungsräume

Auf politischer Ebene sind derzeit Regulatoren zu beklagen, die den Wandel von einer nachsorgenden zu einer versorgenden Bauwirtschaft eher behindern: Beispielsweise ist die Abschreibungsdauer von Gebäuden nicht auf eine nachhaltige Entwicklung ausgelegt. Im Bereich von Gewerbe- und Freizeitimmobilien sind monetäre Amortisationszeiten zwischen fünf und zehn Jahren keine Seltenheit. Dies führt dazu, daß Gebäudeplanungen konzeptionell häufig auf kurze Nutzungsdauer ausgelegt werden, die technische Lebensdauer aber um ein Vielfaches höher liegt. Zurück bleiben meist schwer umnutzbare Bauwerke, die nur mit erneuten stofflichen, energetischen und monetären Aufwendungen einer neuen Nutzung zugeführt werden können.

Das eigentliche Dilemma besteht jedoch darin, daß sich unter monetären Aspekten der Kapitaleinsatz für Investoren trotzdem lohnt. Durch die Einführung einer längeren Abschreibungsdauer könnte eine vorsorgende Produktverantwortung geschaffen werden, die derart langlebigen Produkten angemessen ist. Auch müßten nicht Neubauten, sondern Sanierungsmaßnahmen steuerlich mehr gefördert werden.

Voraussetzung für die Umsetzung kreislaufgerechten Bauens ist auch die konsequente Handhabung der Informations- und Datenflut über die gesamte Nutzungsdauer von Gebäuden. Dazu ist es notwendig, einen „Informationskreislauf im Bauwesen“ aufzubauen. Dieser Informationskreislauf vernetzt alle zur Quantifizierung der Stoffströme von Gebäuden relevanten Informationen, beginnend bei der Produktion von Baustoffen bis hin zur Dokumentation der Stoffströme in den einzelnen Lebensphasen eines Bauwerks. Den ständigen Mittelpunkt der Informationsflüsse bildet eine zentrale Datenbank. Hier werden alle Daten archiviert, aktualisiert und auf Abruf bereitgehalten. Wichtig ist, daß der Datenfluß nicht nur in einer Richtung erfolgt, sondern daß ein ständiger Daten- und Informationsaustausch in den einzelnen Gebäudephasen mit der Zentralen Datenbank stattfindet.

In diesem Zusammenhang wird derzeit am Institut für Statik der TU Darmstadt ein EDV-gestütztes Arbeitsinstrument zur Erfassung der Material- und Energieinhalte von Gebäuden entwickelt [15]. Basierend auf den Erkenntnissen der durchgeführten Untersuchungen zum Baustoffeinsatz in Wohngebäuden wird ein an der DIN 276 orientiertes Datenbankmodell konzipiert, das eine EDV-gestützte Erfassung der stofflichen und energetischen Zusammensetzung von Gebäuden über die Nutzungsdauer ermöglicht. Ziel ist es, mit Hilfe des entwickelten Programms die Material- und Energieströme von Gebäuden zum Zeitpunkt der Errichtung zu dokumentieren und bei späteren Umbau- und Renovierungsmaßnahmen fortzuschreiben. Ein weiterführendes Ziel ist es, das entwickelte Programm als Planungsinstrument schon in der Entwurfsphase für die Konzeption ressourcenoptimierter Gebäude einzusetzen. Die Vernetzung der Informationsflüsse von Gebäuden wird eine Herausforderung für alle am Bau Beteiligten sein.

### Literatur

- [1] Grübl, P.: Baustoffkreislauf im Massivbau, in: Bauingenieur 72/1997
- [2] Bilitewski, B.: Recycling von Baureststoffen, EF-Verlag Berlin, 1993
- [3] von Liebermann, A.: Wertstoff Abfall. In: deutsche bauzeitung (db) 3/96
- [4] Deichmann, W. F.: Die Spolien in der spätantiken Architektur. Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München 1975

- [5] Breitenbücher, R.: Recycling von Frisch- und Festbeton. In: Beton 9/94
- [6] von Wölfel, W.: Römische Bauweisen in der Antike. In: Bautechnik 73/1996
- [7] Schneiders, M.; Zankow, D.: Recycling von Beton. In: Hochbaukonstruktionen unter ökologischen Gesichtspunkten, Seminarumdruck Umweltgerechtes Bauen, TU Darmstadt 1995
- [8] Quider, M.: Ökobilanz von Beton. Studienarbeit am Institut für Massivbau, TU Darmstadt 1992
- [9] Wörner, J.-D.; Kloft, H.: Untersuchungen zum Baustoffeinsatz und zu den Primärenergieinhalten von Wohngebäuden verschiedenen Baualters. Forschungsbericht, Institut für Statik, TU Darmstadt 1997
- [10] Real y Ehrlich, S.; Biesgen, M.: Aufbereitung mineralischer Baustoffe. In: Recycling, Seminarumdruck Umweltgerechtes Bauen, TU Darmstadt 1997
- [11] Moerland, P.; Wörner, J.-D.: Recycling-Beton braucht mehr Sicherheit. In: Deutsches Ingenieurblatt 2/98
- [12] Lützkendorf, T.: Umbau im Bestand – die Wohnungsreserven der nächsten Jahre. Beitrag zur Fachkonferenz „Zukunftsverträgliche Bau- und Wohnungswirtschaft“ am 28. 11. 96 in Bonn
- [13] Kloft, H.: Kreislaufgerechtes Bauen – Zusammenhänge, Auswirkungen und Perspektiven im Mauerwerksbau. In: Das Mauerwerk 2/97
- [14] Ravesloot, C. M. Thöne, V.: Zukunft des industrialisierten Holzbaus in Deutschland und den Niederlanden. In: das bauzentrum 6/96.
- [15] Kloft, H.: Untersuchungen zu den Material- und Energieströmen im Wohnungsbau, eingereichte Dissertation, TU Darmstadt 1998

### Anmerkungen

1 Eineinhalb Jahre nach Inkrafttreten zeigen erste Erfahrungen, daß die Anwendung des KrW/AbfG sich schwieriger gestaltet als erwartet. Als Gründe führt H. Görg von der Entsorgungsgemeinschaft „Bauen und Umwelt“ in einem Beitrag zum 18. Darmstädter Massivbau-Seminar „Kreislaufgerechtes Bauen im Massivbau“ die vielen Ungenauigkeiten und teilweise auch Widersprüche im Gesetzestext des KrW/AbfG an.

2 Informationen zu dem Forschungsvorhaben und aktuelle Ergebnisse von Zwischenberichten können im Internet unter der Adresse „<http://www.B-I-M.de>“ abgerufen werden.

3 Lützkendorf schätzt die durchschnittlichen Baukosten (Kostengruppen 300 und 400 nach DIN 276) für Neubauten auf brutto 1800 bis 2300 DM/m<sup>2</sup> Nutzfläche und für die Sanierung von städtischen Gründerzeitbauten auf 1200 bis 1600 DM/m<sup>2</sup> NF. Den Lohnanteil setzt er dabei für Neubauten mit 50 Prozent und für Altbausanierungen mit 70 Prozent an.