



Initiative
kostengünstig
qualitätsbewusst
Bauen
umweltgerecht
innovativ
bezahlbar

Bauen im Lebenszyklus

- Allgemeine Anforderungen
- Grundlagen
- Planungsphase
- Errichtungsphase
- Nutzungsphase, Modernisierung, Umnutzung
- Rückbau, Wiederverwendung

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen	2
1.1	Lebenszyklusbetrachtung	2
1.2	Aspekte der Nachhaltigkeit	3
2	Planungsphase	5
2.1	Grundstück	5
2.2	Gebäudeentwurf	6
2.3	Kostenplanung	10
3	Errichtungsphase	11
3.1	Bauausführung	11
3.2	Qualitätsprüfung	11
4	Nutzungsphase	12
4.1	Allgemeine Betriebskosten	12
4.2	Reinigungsaufwand	13
5	Instandhaltung und Modernisierungsphase	13
5.1	Instandhaltung	13
5.2	Modernisierung	14
6	Umnutzungsphase / Weiternutzungsphase	15
7	Rückbau, Wiederverwendung und Recycling	15
8	Quellen	16

3.2 Bauen im Lebenszyklus

1 Grundlagen

1.1 Lebenszyklusbetrachtung

Jeder Bauherr möchte sein neues Haus so errichten, bzw. ein aus dem Bestand erworbenes Gebäude so gestalten, dass

- es allen seinen gegenwärtigen Wohn- und Lebensbedürfnissen entspricht,
- es an mögliche Veränderungen dieser Bedürfnisse während der gesamten Nutzungsperiode leicht anzupassen ist,
- eine dauerhafte Nutzung des Gebäudes auch generationenübergreifend ohne Verluste an Wohnqualität möglich ist und
- der Wiederverkaufswert des Hauses langfristig auf einem hohen Niveau bleibt.

Damit ein Haus diesen Anforderungen gerecht werden kann, ist eine vorausschauende Planung erforderlich, d.h. der gesamte Lebenszyklus des Gebäudes – „von der Wiege bis zur Bahre“ - muss berücksichtigt werden. Der Lebenszyklus eines Hauses kann mit Hilfe des folgenden Schemas (Abb. 1) dargestellt werden:

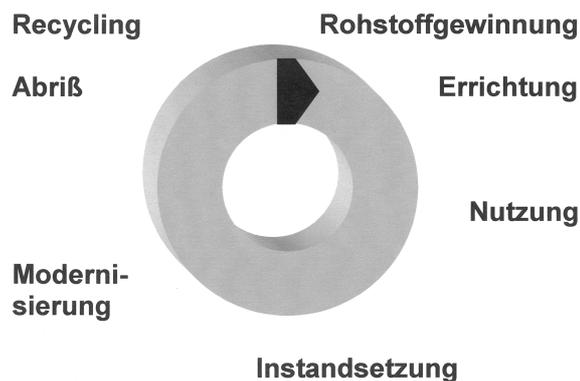


Abb. 1: Lebenszyklus eines Gebäudes

Der Lebenszyklus eines Gebäudes kann in folgende einzelne Lebenszyklusphasen eingeteilt werden:

- Planungsphase
- Errichtungsphase
- Nutzungs- und Betriebsphase
- Instandhaltung- und Modernisierungsphase
- Umnutzungs-/Weiternutzungsphase
- Rückbau und Wiederverwendung
- Recycling

Die Lebenszyklusbetrachtung bietet die Chance, die Aufwendungen über die gesamte Lebensdauer eines Gebäudes – seien sie ökonomischer oder ökologischer Natur – auf der Grundlage einer fundierten Planung zu minimieren und gleichzeitig die Nutzungsqualität zu sichern. Dabei ggf. erforderliche höhere Planungs- und Errichtungskosten lassen sich in der Regel - insbesondere durch Einsparungen bei den Nutzungskosten - refinanzieren, so dass insgesamt eine Senkung der Lebenszykluskosten möglich wird, ohne die Qualität des Gebäudes zu beeinträchtigen (win-win-Situation).

Die Bedeutung der Lebenszyklusbetrachtung kann beispielhaft an der Verteilung der Kosten eines Einfamilienhauses - geplant nach Energieeinsparverordnung - über dessen Gesamtlebensdauer veranschaulicht werden. In einer Simulation der Lebenszyklus-

kosten kann der Einfluss der Betriebsphase auf die Gesamtkosten bei einer angesetzten Lebensdauer von 80 Jahren und einer jährlichen Energiepreissteigerung von 1, 2 und 3 % (Inflationsbereinigt, ohne Lohn bzw. Materialpreissteigerungen) wie folgt abgeschätzt werden:

Tabelle 1: Lebenszykluskosten [1]

Phasen (Betrachtungszeitraum 80 Jahre)		Energiepreissteigerung		
		1%	2%	3%
Errichtung		240.000,-€	240.000,-€	240.000,-€
Nutzung	Betrieb	341.000,-€	531.000,-€	900.000,-€
	Wartung	46.000,-€	46.000,-€	46.000,-€
	Instandsetzung	212.000,-€	212.000,-€	212.000,-€
Rückbau		29.000,-€	29.000,-€	29.000,-€
rechnerische Lebenszykluskosten		868.000,-€	1.058.000,-€	1.427.000,-€
Anteil der Betriebsphase an den Gesamtlebenszykluskosten		69,0 %	74,6 %	81,2 %

Es wird deutlich, dass unter den getroffenen Annahmen die Betriebskosten in der Simulationsrechnung den variabelsten Anteil darstellen und für das Gebäude mit Abstand den größten Anteil ausmachen. Entscheidendes Kriterium für die Betriebsphase ist die Entwicklung der Energiepreise. Auf die Berücksichtigung der Reinigungskosten wurde indes verzichtet, da sie für privat genutzte Wohngebäude von eher geringer Bedeutung sind.

Da die einzelnen Lebenszykluskosten sehr von den zukünftigen Preisentwicklungen am Arbeits- und Rohstoffmarkt beeinflusst werden, sind diese sowohl bei der Lebenszyklusbetrachtung im Rahmen des Entwurfs als auch bei Modernisierungsmaßnahmen sinnvoll zu berücksichtigen.

Die Einbeziehung der Lebenszyklusbetrachtung ist somit als neue Stufe der Planungs- und Bauqualität anzusehen.

1.2 Aspekte der Nachhaltigkeit

Die ganzheitliche Lebenszyklusbetrachtung berücksichtigt die drei Aspekte der Nachhaltigkeit:

- ökonomische Aspekte,
- ökologische Aspekte und
- soziokulturelle Aspekte.

Auf die einzelnen Aspekte wird im Weiteren näher eingegangen.

Ökonomische Dimension

Die ökonomische Dimension der Lebenszyklusbetrachtung umfasst:

- die Minimierung der Lebenszykluskosten von Gebäuden (Erstellung, Betrieb, Instandhaltung, Rückbau, Recycling etc.),
- die Reduzierung von Umbau- und Erhaltungsinvestitionen im Vergleich zum Neubau,
- die Optimierung der Aufwendungen für technische und soziale Infrastruktur.

Ökologische Dimension

Zu den Hauptaufgaben der modernen Gesellschaft gehört die Suche nach der Antwort auf folgende globale Probleme:

- begrenzte bisher genutzte energetische Ressourcen – insbesondere von fossilen Energieträgern – und die daraus resultierende Steigerung der Energiekosten,

- der Klimawandel, der durch Umweltbelastungen (z.B. gestiegene CO₂ – Emissionen in die Erdatmosphäre) verursacht wird.

Diese Probleme betreffen im besonderen Maße auch das Bauen und Wohnen. Da die Kosten der traditionellen Energieträger zukünftig mit hoher Wahrscheinlichkeit weiter steigen werden, ist die Nutzung alternativer Energieträger sowie der Einsatz innovativer Techniken, und damit die Senkung des Bedarfs an den fossilen Energieträgern - auch aus ökonomischen Gründen - erforderlich.

Beim heutigen Standard des Wärmeschutzes entfällt der weitaus größte Anteil an treibhausfördernden Schadgasen auf die Betriebsphase durch die Wärmeerzeugung (Heizung) sowie den Stromverbrauch. Deshalb kann insbesondere durch die Optimierung des Energiekonzeptes, die Wahl des Energieträgers und den Nutzungsgrad der Anlagentechnik, die Bildung von Treibhausgasen deutlich reduziert werden. Jeder Immobilieneigentümer sollte sich selbst und seiner Nachwelt zuliebe um die Senkung der CO₂-Emissionen bemüht sein, da die langfristigen Folgen kaum abzuschätzen sind.

Neben der Reduzierung der Erderwärmung können noch weitere Umweltschutzziele genannt werden:

- Verringerung der Versauerung von Böden und Gewässern,
- Verringerung der bodennahen Ozonbildung (Sommersmog),
- Vermeidung der Überdüngung von Böden und Gewässern,
- Verringerung des Ozonlochs,
- Reduzierung des Eintrags von Schwermetallen.

Um beim Bauen die Störung des Naturgleichgewichtes möglichst gering zu halten, sollten folgende ökologischen Anforderungen berücksichtigt werden:

- Reduzierung der Flächeninanspruchnahme,
- Vermeidung weiterer Zersiedelung der Landschaft,
- Geringhaltung zusätzlicher Bodenversiegelung,
- Orientierung der Stoffströme im Baubereich an den Zielen der Ressourcenschonung – u.a. das Bestreben zur hohen Dauerhaftigkeit und zur universellen Nutzbarkeit des Gebäudes und die Berücksichtigung der problemlosen Rückbaumöglichkeiten,
- Vermeidung der Verwendung und des Eintrages von Schadstoffen in Gebäude bei Neubau, Umbau und Nutzung,
- Verringerung der Kohlendioxid-Emissionen der Gebäude.

Dabei sollte dem Neubauwunsch als Alternative vergleichend die Nutzung von Bestandsgebäuden gegenüber gestellt werden.

Sozio-kulturelle Dimension

Die sozio-kulturellen Aspekte des Lebenszyklus von Gebäuden sind selten quantifizierbar, stellen jedoch eine wichtige Grundlage für eine langfristige Nutzung des Gebäudes dar. Kriterien dabei sind:

- Sicherung bedarfsgerechten Wohnraumes nach Alter und Haushaltsgröße,
- Vernetzung von Arbeiten, Wohnen und Freizeit in der Siedlungsstruktur,
- „Gesundes Wohnen“ innerhalb wie außerhalb der Wohnung,
- Gestaltung der bebauten Umwelt.

Diese und weitere soziokulturellen Aspekte beeinflussen die funktionelle Dauerhaftigkeit eines Gebäudes, d.h. dass die Gesamtlebensdauer eines Gebäudes stark von seiner flexiblen Nutzbarkeit bestimmt wird.

In den folgenden Abschnitten sollen die einzelnen Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes dargestellt und exemplarisch Aspekte auf dem Weg zur Optimierung angeführt werden.

2 Planungsphase

Werden die drei vorhergehend beschriebenen Dimensionen bereits während der Planungsphase berücksichtigt, sind die Voraussetzungen günstig, dass der Wohn- bzw. Verkaufswert des geplanten Hauses auf Dauer erhalten bleibt. Eine gründliche Analyse und die Optimierung der ökonomischen, ökologischen und soziokulturellen Anforderungen, die man an ein Haus stellt, führen zur Erarbeitung eines erfolgreichen Planungskonzeptes.

2.1 Grundstück

Am Anfang jeder Neubauplanung steht die Auswahl eines Grundstücks. Schon die Lage des Gebäudes auf dem Grundstück beeinflusst die mögliche natürliche Belichtung und Besonnung, den Wärmeschutz, den erforderlichen Schallschutz, sowie die Art der Be- und Entlüftung. So ist z.B. darauf zu achten, dass die Vorgaben des Bebauungsplanes eine Ausrichtung des Gebäudes zulassen, die eine sinnvolle aktive und passive Nutzung der Solarenergie ermöglicht.

Um Bauland und natürliche Ressourcen zu schonen, sind folgende Aspekte zu beachten:

- Minimierung der Oberflächenversiegelung, Erhaltung von ökologischen Strukturen, Verbesserung der Biodiversität des nicht bebauten Bodens,
- Minimierung des Flächenaufwands für Verkehrsflächen/-wege,
- Schutz des Grundwassers und Nutzung des Regenwassers innerhalb des Grundstücks,
- Nutzung des Bodenaushubs innerhalb des Grundstücks.

Mögliche Belastungen des Bodens mit Kontaminationen, wie Schwermetallen, Ölen, etc., sollten im Vorfeld ausgeschlossen werden, da deren Sanierung mit erheblichen Kosten verbunden sein kann.

2.1.1 Oberflächenversiegelung

Die Oberflächenversiegelung durch die Überbauung mit einem Gebäude spielt hinsichtlich des Wasserhaushalts des Grundstücks eine wesentliche Rolle. Durch die Versiegelung der Oberfläche kann der anfallende Niederschlag nicht mehr direkt in das Erdreich versickern. Eine schnelle Ableitung des Regenwassers von den versiegelten Flächen ins Abwassernetz reduziert die Grundwasseranreicherung vor Ort. Deshalb sollten folgende Maßnahmen geprüft werden:

- richtige Einschätzung und Optimierung des Wohnflächenbedarfs (d.h. nicht mehr Fläche zu bebauen, als wirklich benötigt wird),
- ggf. Bau eines Kellergeschosses, um Nebenräume unterzubringen und damit die Grundfläche der baulichen Anlagen zu verringern,
- ggf. Ausführung von Gründächern, die das Regenwasser über einen längeren Zeitraum zurückhalten. Gleichzeitig können Gründächer zur Verbesserung der Biodiversität und zum Kleinklima (Minderung sommerlicher Überhitzung, Staubbindung) beitragen,
- Versickerung des Niederschlagswassers auf dem Grundstück,
- ggf. Sammlung des Niederschlagswassers von den Dachflächen in einer Zisterne zur weiteren Nutzung für die Gartenbewässerung.

Große Bedeutung für die Bewahrung des biologischen Mikroklimas auf dem Grundstück hat die Erhaltung des Baumbestandes und anderer Anpflanzungen. Pflanzen tragen zur Reduzierung des CO₂-Gehaltes der Luft bei. Aber auch weitere Vorteile für den Erhalt der lokalen Naturräume sind hier zu nennen. Pflanzen haben feuchtigkeitsregulierende Fähigkeiten (Nachtkühle), bieten einen Schutz vor Erosion (geringere Staubbelastung) und dienen zur Beherbergung von Insekten und Tieren (Bodenauflockerung).

1.1.2 Flächenaufwand für Verkehrsflächen / -wege

Die Ausführung der Verkehrsflächen auf dem Grundstück - wie Stellflächen, Zufahrten und Gehwege - sollte aus o. g. Gründen mit wasserdurchlässigen Materialien, z.B. Rasengittersteinen, Kiesweg, Kleinpflaster etc. erfolgen. Durch eine Begrenzung auf das notwendige Maß werden gleichzeitig die Baukosten vermindert.

1.1.3 Nutzung von Regenwasser

Wasser ist eine wertvolle Ressource. Obwohl in Deutschland in der Regel ausreichend Grundwasser zur Verfügung steht, ist ein sparsamer Umgang anzuraten, um die Eingriffe in die Natur, die Veränderung des Grundwasserhaushalts und der Grundwasserqualität zu minimieren.

Eine Schonung des Grundwassers erfolgt insbesondere auch durch die Nutzung des Regenwassers auf dem eigenen Grundstück. Die Effizienz einer Regenwassernutzungsanlage hängt von der Regenwassersammelfläche sowie vom Standort (regenreiche Zone) ab. Üblicher Weise wird das Regenwasser in Zisternen gesammelt und z.B. für die Gartenbewässerung genutzt. Die dadurch verringerte Abnahme von Trinkwasser von den Wasserbetrieben führt in der Regel zu einer dauerhaften Reduzierung der Kosten für die Wasserver- und -entsorgung. Dem stehen jedoch erhöhte Investitionen für die Erstellung des Regenwasserspeichers entgegen. Bei der Nutzung von Regen- bzw. Brauchwasser im Gebäude muss neben dem Trinkwassernetz - aufgrund hygienischer Anforderungen - immer ein eigenständiges zweites Leitungssystem hergestellt werden.

Bei der Wahl der Materialien für die Dacheindeckung sollte man darauf achten, dass es durch den Abtrag von Metall-Ionen bei Metalleindeckungen oder Entwässerungseinrichtungen z.B. aus Kupfer, Zink oder Blei zu Belastungen des Grundwassers durch Schwermetalle kommen kann.

2.1.4 Gründung und Bodenaushub

Der bei der Gebäudeerstellung anfallende Bodenaushub für Keller, Fundamente oder Versorgungsleitungen sollte so weit wie möglich auf dem Grundstück verbleiben. Dies erspart sowohl Transport- und Entsorgungskosten (z.B. Deponie), als auch Transportvorgänge (LKW), die zu zusätzlichen ökologischen Belastungen in Form von Emissionen und Energieverbrauch führen würden.

Der Bodenaushub kann – soweit geeignet - als architektonisches Mittel für die landschaftliche Gestaltung des Grundstücks - beispielsweise für Anböschungen im Terrassenbereich - genutzt werden. Kontaminierte Böden sind vorschriftsmäßig aufzubereiten bzw. zu entsorgen.

2.2 Gebäudeentwurf

Im Sinne der Lebenszyklusbetrachtung beinhaltet eine gute Planung neben dem architektonischen Entwurf – städtebauliche Einbindung, Gestaltung, Funktion etc. - grundsätzliche Konzepte zur Minimierung der Nutzungs- bzw. Betriebsaufwendungen für

- Energieversorgung (Heizung, Kühlung, Stromversorgung etc.),
- Wasserversorgung, Abwasserentsorgung,
- Lüftung,
- Belichtung,
- Entsorgung des Abfalls,
- Reinigung,
- Inspektion und Wartung sowie
- werterhaltenden Bauunterhalt.

2.2.1 Architektonische Anforderungen

Wichtige Voraussetzung für die dauerhafte Nutzung eines Hauses und für die Erhaltung seines Wertes schafft die *Ausarbeitung eines flexiblen Nutzungskonzeptes*, so dass die Grundrisse und die Ausstattung des Gebäudes mit vertretbarem Aufwand an die jeweiligen Nutzeranforderungen angepasst werden können (siehe Info-Blatt 3.1 Bedarf, Funktion, Gestaltung). Wohngebäude, die hinsichtlich barrierefreiem Wohnen, Wohnraumerweiterung bzw. teilgewerblicher Nutzung anpassungsfähig sind, werden langfristig konkurrenzfähig auf dem Markt bestehen können.

Die bedarfsgerechte Optimierung der Flächen führt zu Einsparungen bei den Errichtungskosten aber auch zur Reduzierung des Heizwärmebedarfs und weiterer Betriebskosten in der Nutzungsphase.

2.2.2 Konstruktionen und Material

Aus ökonomischer, ökologischer und soziokultureller Sicht spielt die Auswahl der *Konstruktion* und der *Baumaterialien* im Lebenszykluskonzept eine wesentliche Rolle.

Vorteile bietet die *modulare Bauweise* und der Einsatz *vorgefertigter Bauteile*. Einerseits sind diese Bauteile wiederverwendbar, da sie in Abhängigkeit von der gewählten Füge-technik relativ leicht und zerstörungsfrei aus der Baukonstruktion herauszulösen sind, andererseits ergeben sich durch den hohen Vorfertigungsgrad Kosteneinsparungen bei der Montage vor Ort. Dem stehen jedoch ggf. erhöhte Transportkosten (LKW, Kran) gegenüber.

Um den Gesundheitsschutz der Bewohner - als wichtigem soziokulturellen Aspekt - zu gewährleisten, muss schon in der Planungsphase darauf geachtet werden, dass ausschließlich *umwelt- und gesundheitsverträgliche sowie emissionsarme Baustoffe und Ausbaumaterialien* eingesetzt werden. Dabei gewinnt aus ökologischen und wirtschaftlichen Gründen die Verwendung von nachwachsenden Rohbaustoffen immer mehr an Bedeutung. Dies entspricht dem Prinzip der Nachhaltigkeit – eine Regeneration der Ressourcen ist möglich. Zu den nachwachsenden Rohstoffen, die heutzutage ihre Anwendung im Baubereich finden, gehören neben Holz auch weitere Materialien, wie z.B. Schafwolle, Flachs, Schilf, Zellulose, Stroh, Getreide und Hanf, die als Wärmedämmung genutzt werden.

Es sollten soweit möglich *wiederverwendbare Baukonstruktionen, Bauteile und Baustoffe* eingesetzt werden. Zu den wiederverwendbaren Konstruktionen gehören grundsätzlich Systeme mit lösbaren Verbindungen (z.B. mit Schraub- oder Bolzverbindungen). Folgende Tabelle zeigt beispielhaft, welche Bauelemente für welche Konstruktionsgruppen als wiederverwendbar in Frage kommen (Tab. 2).

Tabelle 2: Konstruktionsgruppen und Bauelemente

Tragkonstruktionen	<ul style="list-style-type: none">- Stahlträger, Stahlstützen- Betonfertigteile (Decken, Wände)- Holzbalken- Holzfertigteile
Außenwände	<ul style="list-style-type: none">- Betonscheiben (Normalbeton)- Holzfertigteile
Innenwände	<ul style="list-style-type: none">- Betonfertigteile
Decken	<ul style="list-style-type: none">- Deckenträger- Deckenbalken- Deckenplatten- Schüttungen- Zwischenlagen (Hohldielen)
Dachkonstruktion	<ul style="list-style-type: none">- Dacheindeckungen- Holzsparren, Dachbalken- Schüttungen

2.2.3 Energieversorgung

Mit der Verknappung der fossilen Ressourcen ist ein langfristiger Preisanstieg für die derzeit wichtigsten Energieträger – Gas, Öl, sowie indirekt auch Strom – verbunden. Das folgende Diagramm (Abb. 2) veranschaulicht die Entwicklung der Heizölkosten in den letzten drei Jahren. Es zeigt, dass die Energiepreise temporär bis zu 100% angeiegen sind. Der Gaspreis entwickelt sich ähnlich.



Abb. 2: Energiepreisentwicklung für Heizöl 2003 bis 2005 [Quelle: TECSON]

Die Minimierung des Energieverbrauchs wird somit zu einem zentralen Anliegen der Gebäudeplanung, nicht nur aus ökologischen, sondern auch aus ökonomischen Gründen. Um eine weitere Reduzierung des Energieverbrauchs im Wohnbereich zu erreichen, wurde im Februar 2002 die Energieeinsparverordnung (EnEV) eingeführt. Die EnEV legt für Wohngebäude die Anforderungen an den Primärenergiebedarf für die Heizung, Trinkwassererwärmung und Lüftung fest. Die Heizungsanlagenverordnung (Heizanlagen V) wurde in die EnEV integriert.

Bei der Lebenszykluskostenbetrachtung sind diese Kostenentwicklungsfaktoren zu berücksichtigen. Die Aufgabe der Planer ist es, ein Gebäude energetisch zu optimieren. Grob lassen sich folgende Standards für den Heizwärmebedarf angeben:

Niedrigenergiehaus (KfW-60 Haus): 60 kWh/(m²·Jahr)

KfW-40 Haus: 40 kWh/(m²·Jahr)

Passivhaus: 15 kWh/(m²·Jahr)

Eine Möglichkeit den eigenen Haushalt von den Energiepreisschwankungen unabhängiger zu machen, stellt der Einsatz effizienter Technik oder hausintegrierter dezentraler Anlagen dar. Dazu gehören:

- die Niedertemperatur- und Brennwertkessel,
- Solaranlagen,
- die Wärmepumpen zur Wärmebereitstellung,
- die Klein- und Blockkraftwerke zur Wärme- und Stromerzeugung (Kraft-Wärme-Kopplung).

Die Entscheidung für ein geeignetes System sollte im Sinne der Lebenszyklusbetrachtung gemeinsam mit einem kompetenten Fachplaner auf der Basis wirtschaftlicher und ökologischer Vergleiche getroffen werden.

In Abb. 3 ist der Gesamtenergieaufwand für ein Wohngebäude - Betriebsenergie (vorwiegend Heizenergie) und im Gebäude „verbaute“ Energie - in Stufen vom Durchschnittshaus bis zum solar beheizten Haus dargestellt. Der Energieaufwand für die Erstellungsphase kann dabei über die Gesamtlebensdauer verteilt werden. Beim „Grundfall“ beträgt der Anteil der verbaute Energie nur 10 %. Deshalb war es bisher nicht erforderlich diesen Energieverbrauch z.B. in der Wärmeschutzverordnung oder in der Energieeinsparverordnung zu berücksichtigen.

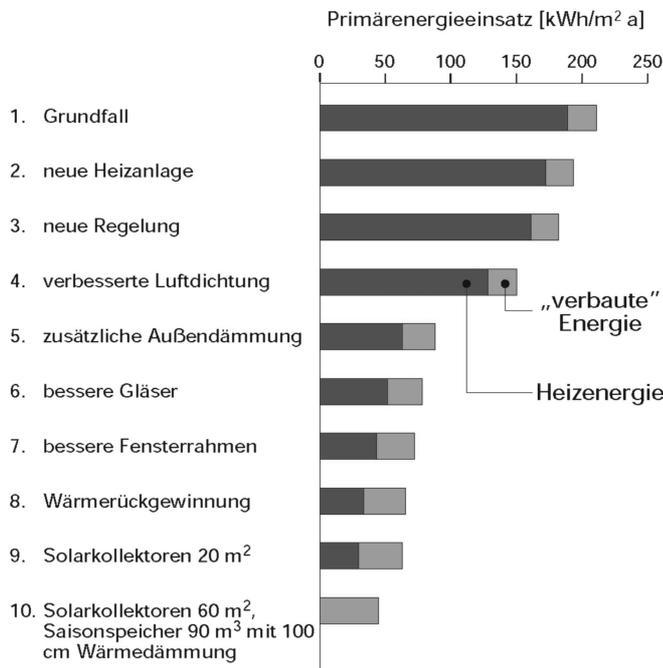


Abb. 3: Gesamtenergieaufwand für ein Wohngebäude [2]

Je weiter jedoch der Heizenergiebedarf durch zusätzliche Maßnahmen - wie z.B. einen verbesserten baulichen Wärmeschutz und eine effizientere Energieversorgung - gesenkt werden kann, umso sinnvoller wird zukünftig eine energetische Bewertung unter Einbeziehung der Erstellungsphase.

2.2.4 Nutzung erneuerbarer Energieträger

Die Nutzung von erneuerbaren Energien ist nicht nur ökologisch, sondern auf Dauer auch ökonomisch gerechtfertigt. Bei vielen Bauherren und Eigentümern von Ein- und Mehrfamilienhäusern sind Anlagensysteme zur *Nutzung von Solarenergie* - thermische Solaranlagen (Warmwasserbereitung) und Photovoltaikanlagen (Stromerzeugung) - schon heute populär. Die Effizienz der Anlagen hängt von der geografischen Lage des Gebäudes, der Ausrichtung auf dem Grundstück, der Dachneigung, der Verschattung durch benachbarte Gebäude bzw. Bäume und vom Wirkungsgrad des Anlagensystems ab.

Eine weitere Möglichkeit der aktiven Nutzung von regenerativen Energieressourcen bietet die Verwendung von *nachwachsenden Rohstoffen*. Als Energieträger kommen derzeit Biomasse (Holzpellets, Holzabfälle in verschiedenen Formen, landwirtschaftliche Reststoffe etc.) sowie Pflanzenöle in Frage.

2.3 Kostenplanung

Bei der Betrachtung der Lebenszykluskosten werden sowohl die Investitionskosten – im wesentlichen die Errichtungskosten – wie auch die prognostizierten Gebäudenutzungskosten einbezogen. Ziel ist die Schaffung von Gebäuden mit langer Nutzungsdauer und hoher Qualität unter Minimierung der Lebenszykluskosten insgesamt.

Für die Errichtungskosten kann die Kostenermittlung auf verschiedene Arten erfolgen, wobei in der Regel nach Kostengruppen vorgegangen wird. Dabei können regionale Einflüsse zu Kostenunterschieden führen und sollten deshalb bei der Kostenplanung berücksichtigt werden, z.B. auf der Basis regionaler Faktoren in den Baukostenkatalogen.

Im Bereich des privaten Wohnungsbaus ist oftmals die Zuordnung nach den Gebäudeebenen für den Bauherren leichter nachvollziehbar. In der Regel fragt der Bauherr, was der Keller oder das ausgebaute Dach und nicht was die Innenwände des gesamten Gebäudes kosten.

Im folgenden Diagramm (Abb. 4) sind beispielhaft die prozentualen Kostenanteile der einzelnen Gebäudeebenen bzw. Bauteile dargestellt. Dies liefert Anhaltswerte, wie sich eine Kostenverteilung im Bereich des Einfamilienhausbaus ergeben kann.

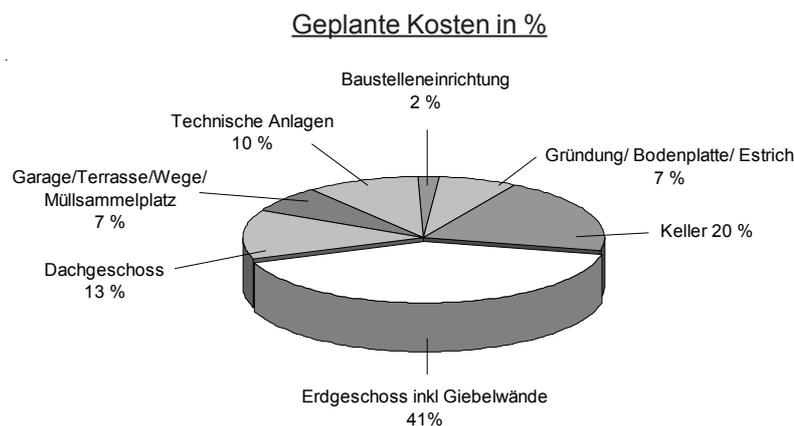


Abb. 4: Kostenanteile nach Gebäudeebenen und Bauteilen

Die im Diagramm dargestellte Verteilung kann dabei je nach Gebäudetyp und Ausführung differieren. Für die Betrachtung und Kostenkalkulation ist es wichtig, dass selbst bei einem konventionellen Gebäude, das ohne besonders aufwendige Anlagen betrieben wird (keine Lüftungsanlage, keine Solartechnik, keine Wärmepumpen) schon ein erheblicher Teil der Errichtungskosten für Anlagentechnik anfallen. In Zukunft dürfte der prozentuale Anteil eher zunehmen, da energiesparende Anlagensysteme aufgrund ihrer technischen Ausführung, aber auch ihres innovativen Charakters deutlich höhere Errichtungskosten verursachen, die sich jedoch in der Nutzungsphase amortisieren können. Dies ist durch entsprechende Variantenvergleiche zu prüfen.

3 Errichtungsphase

3.1 Bauausführung

Im Sinne der Lebenszyklusbetrachtung spielt die Einhaltung der vorgegebenen Qualitätsstandards eine wesentliche Rolle, da durch die Ausführung die Lebensdauer des Gebäudes maßgeblich bestimmt wird. Mängel in der Ausführungsqualität ziehen Instandhaltungsaufwendungen nach sich, die sich nicht nur in erhöhten Unterhaltskosten niederschlagen, sondern ggf. auch den Ersatz von Baustoffen oder -konstruktionen erforderlich machen und damit zum weiteren Ressourcenverbrauch beitragen. Bei der Prüfung von Kosteneinsparpotenzialen sollten grundsätzlich die Auswirkungen hinsichtlich der Qualität, der Dauerhaftigkeit und der Folgekosten Berücksichtigung finden.

Bei der Bauausführung sind folgende Aspekte zu beachten:

- Einhaltung der vorgegebenen Qualitätsstandards,
- Sicherstellung des vereinbarten Fertigstellungstermins,
- Anwendung geeigneter Bauverfahren und Maßnahmen (z.B. Schutz des Objektes vor Feuchtigkeit während der Bauphase),
- Umweltschonende Baustelleneinrichtung und -betrieb,
- klare Abgrenzung der Bauleistungen zwischen den Fachfirmen und dem Bauherrn bei angestrebten Eigenleistungen.

In der Regel wird ein Großteil der notwendigen Arbeiten im Rahmen der Errichtung eines Wohngebäudes durch Fachfirmen ausgeführt, ein geringerer Teil oftmals durch Eigenleistungen vom Bauherrn übernommen. Die Auswahl, welche Eigenleistungen durch den Bauherrn selbst erfolgen, sollten sich nicht nur an den möglichen Kosteneinsparungen orientieren, sondern auch an der Komplexität der Bauaufgabe. Nicht fachgerecht ausgeführte Eigenleistungen können Folgeschäden bzw. Baumängel, aber ggf. auch Terminverzögerungen nach sich ziehen.

3.2 Qualitätsprüfung

Neben der Überwachung und Dokumentation der ausgeführten Bauqualität während der Bauphase durch den Bauleiter, andere Fachleute sowie den Bauherrn selbst, hat die nachträgliche Qualitätsprüfung - auch unter Einsatz von technischen Prüfverfahren - einen wichtigen Stellenwert eingenommen. Als Beispiel seien die Untersuchungen zur Luftdichtheit des Gebäudes sowie zur Auffindung von konstruktiven Wärmebrücken bzw. falscher Ausführung der Wärmedämmung genannt.

Lüftdichtheitsprüfung und Infrarotthermographie

Als Nachweis für die Luftdichtheit der Gebäudehülle kann eine Lüftdichtheitsprüfung vorgenommen werden. Durch einen entsprechenden Untersuchungsaufbau (siehe Abb. 5) wird durch ein Gebläse in einzelnen Räumen, einer Wohnung oder im gesamten Gebäude ein Über- oder ein Unterdruck erzeugt. Die durch Undichtigkeiten in der Gebäudehülle ein- bzw. ausströmende Luft wird durch Messgeräte erfasst. Werden dabei zu hohe Verluste festgestellt, liegen im allgemeinen technische Ausführungsmängel vor.



Abb. 5: Lüftdichtheitsprüfung

Entweder wurden Details der Luftdichtheitsebenen nicht richtig ausgeführt oder es können Leckagen durch Beschädigung dafür verantwortlich sein.

Soweit im Rechenverfahren nach Energieeinsparverordnung der Bonus für Luftdichtheit angerechnet werden soll, ist auf jeden Fall ein Luftdichtheitsnachweis zu erbringen.

Mangelhafte Ausführung der Dämmung führt zu Wärmebrücken in der Gebäudehülle und damit zu erhöhten Transmissionswärmeverlusten (Wärmeverlust durch Bauteile), die sich nachteilig in den Heizkosten niederschlagen. Durch gezielte infrarotthermographische Aufnahmen von der Gebäudehülle, können Aussagen über die Ausführungsqualität der Dämmung getroffen werden.

4 Nutzungsphase

4.1 Allgemeine Betriebskosten

Um die Betriebskosten - als wesentlichen Teil der Lebenszykluskosten - während der Nutzungsphase eines Hauses fundiert bewerten zu können, sollten die Medienverbräuche (Heizung, Strom, Wasser, Abwasser usw.) in der Hausakte [2] kontinuierlich dokumentiert und miteinander verglichen werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass einige Medienverbräuche klimatischen Schwankungen unterliegen. So verändert sich der Heizenergieverbrauch in Abhängigkeit davon, ob wir einen harten oder milden Winter hatten. Diese Einflüsse können über Rechenverfahren – z.B. die Klimabereinigung - ausgeglichen werden.

Weiterhin ist der Unterschied zwischen rein rechnerisch ermittelten Bedarfsgrößen - in der Regel unter standardisierten Voraussetzungen berechnet - und tatsächlich gemessenen Verbrauchsgrößen zu beachten. Bei starken Abweichungen zwischen Bedarf und Verbrauchswerten ist aber in jedem Fall eine Überprüfung der Ursachen anzuraten. So hat z.B. das Nutzerverhalten einen erheblichen Einfluss auf den tatsächlichen Verbrauch. Auch Veränderungen in der Haushaltsstruktur können zum Anstieg bestimmter Betriebskosten führen.

Sobald die Medienverbräuche analysiert sind, können Maßnahmen zu deren Verminderung eingeleitet werden. Dabei sollte eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung hinsichtlich der Amortisationszeit über den Lebenszyklus des Gebäudes bzw. des Bauteils hinweg durchgeführt werden.

Ein großes Einsparpotenzial besteht in der Regel auch im eigenen Nutzerverhalten. So kann z.B. durch frühzeitiges Schließen des Wasserhahnes der Wasserverbrauch beim Duschen, Händewaschen etc. deutlich reduziert werden. Allein beim Baden in der Badewanne wird zwei- bis dreimal mehr Wasser benötigt als beim Duschen. Einsparungen beim Wasserverbrauch im Haushalt können aber auch im Vorfeld durch den Einsatz wassersparender Geräte (Waschmaschine, Geschirrspüler etc.) und wassersparender Armaturen (Einhandmischer, Spülstop bei der Toilette, wassersparender Duschkopf etc.) umgesetzt werden.

Das Thema Abwasser gewinnt durch steigende Gebühren zunehmend an Bedeutung. So wird durch die steigenden Anforderungen an die Wasserqualität die Aufbereitung in den Kläranlagen technisch immer aufwendiger und damit kostenintensiver. Zur Reduzierung der Abwassermenge - und damit der Abwasserkosten - sind das richtige Nutzerverhalten, wassersparende Armaturen und die Trennung vom Regenwasser der richtige Weg. Auch die bewusste Auswahl von Reinigungs- oder Waschmitteln verringert die Abwasserbelastung. Unter besonderen Randbedingungen kann auch die Nutzung einer Pflanzen-Kläranlage auf dem eigenen Grundstück vorgesehen werden.

Entsprechende Konzepte sind auch zur nachhaltigen Reduzierung des Abfallaufkommens im häuslichen Bereich zu entwickeln. Durch die getrennte Sammlung (Recyclingtonnen) kann darüber hinaus der verwertbare Anteil erhöht werden. Im Ein- und Zweifamilienhausbereich bietet sich die fachgerechte Kompostierung der häuslichen organischen Abfälle an.

4.2 Reinigungsaufwand

Der Reinigungsaufwand eines Gebäudes hängt zum einen von der Nutzung zum anderen von der Wahl des Oberflächenmaterials und seiner Struktur ab, die beide bereits mit der Planung festgelegt werden. Die Hauptbereiche der Reinigung umfassen im Innenbereich die Bodenbeläge, Fenster, Küche und Bad sowie die technische Gebäudeausrüstung, im Außenbereich die Gebäudefassade, Dach sowie Wege und gepflasterte Flächen.

Die Reinigung von Außenbauteilen – z.B. Entwässerungseinrichtungen, wie Dachrinnen oder Entwässerungseinläufe – dient wesentlich auch zur Sicherstellung der ordnungsgemäßen Funktion.

Oberflächenmaterialien sollten somit nicht nur unter ästhetischen Gesichtspunkten, sondern auch - insbesondere bei Bodenbelägen und Fassadenbekleidungen - nach dem erforderlichen Reinigungsaufwand ausgewählt werden. Neben den erforderlichen Reinigungsintervallen spielt auch die Reinigungsart eine wichtige Rolle. Dabei kann der Stromverbrauch von Reinigungsgeräten ebenso genannt werden wie die Abwasserproblematik beim Einsatz chemischer bzw. biologischer Reinigungsmittel sowie mögliche Emissionen aus den Reinigungs- und Pflegeprodukten.

5 Instandhaltung und Modernisierungsphase

Je nach Wahl der verschiedenen Baumaterialien sowie der Nutzungsintensität der einzelnen Räume sind innerhalb des Gebäudelebenszyklus verschiedene werterhaltende Maßnahmen durchzuführen.

5.1 Instandhaltung

5.1.1 Maßnahmen und Kosten

Die Instandhaltung umfasst alle erforderlichen Maßnahmen zum Erhalt des technischen Zustands des Gebäudes sowie der Anlagentechnik. Eine regelmäßige Inspektion und Wartung verhindert Folgeschäden, deren Beseitigung meist mit einem erheblich höheren Kostenaufwand verbunden wäre.

Die Baukonstruktionen und haustechnischen Anlagen sollten turnusmäßig einer Inspektion unterzogen werden. Hinweise zu Art, Umfang und Zeitpunkt sind in der Hausakte [3] zu finden. Eine Vielzahl der Inspektionsmaßnahmen kann der Bauherr selbst durchführen. Andere Maßnahmen sind dem Fachmann vorbehalten. Neben den regelmäßigen Inspektions- und Wartungsarbeiten sind zusätzlich die schadensabhängigen Instandsetzungen defekter oder verschlissener Bauteile zu berücksichtigen.

Die Kosten der Instandhaltung stellen - nach den Betriebskosten – ebenfalls einen erheblichen Anteil an den Lebenszykluskosten dar. Im Rahmen der Lebenszyklusbetrachtung sind die Kosten für notwendige Instandhaltungsmaßnahmen bereits in der Planungsphase zu berücksichtigen und Konzepte für ihre Minimierung zu entwickeln. Für die Prognose der Kostenentwicklung kann hilfsweise auf die Baupreisindizes des Statistischen Bundesamtes aus den vergangenen Jahren zurückgegriffen werden (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Baupreisindizes für Einfamilienhäuser der letzten 10 Jahre bezogen auf das Jahr 2000 [4]

Baupreisindizes Einfamilienhaus	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Konventionelle Bauart	101,2	100,4	100,1	99,7	100,0	99,9	99,9	100,0	101,2
Vorgefertigte Bauart ohne Unterkellerung	97,6	97,7	99,4	99,5	100,0	101,2	101,8	102,2	103,2
Vorgefertigte Bauart mit Unterkellerung	98,0	98,4	99,2	99,7	100,0	100,6	101,3	102,2	103,7
Rohbauarbeiten	103,8	102,2	100,9	100,2	100,0	98,9	98,2	97,7	98,8
Ausbauarbeiten	98,7	98,7	99,1	99,1	100,0	100,9	101,4	102,0	103,4

5.1.2 Lebensdauerannahmen

Die geschätzte Lebensdauer der einzelnen Bauteile stellt eine entscheidende Größe für die Gesamtlebenszyklusbetrachtung des Gebäudes dar. Je nach Wahl der Einzelkonstruktionen und deren technischen Lebensdauern fallen Instandhaltungsarbeiten bzw. der Austausch von Bauteilschichten an. Ziel der Lebenszyklusbetrachtung ist die feine Abstimmung der einzelnen Bauteillebensdauern auf die Gesamtlebensdauer des Gebäudes.

Es ist hier darauf zu achten, dass speziell die Tragkonstruktionen (Fundamente, Bodenplatte, tragendes Mauerwerk, Decken und Dach) sowie die nicht mehr zugänglichen konstruktiven Lösungen (z.B. Abdichtung der Bodenplatte) die Gesamtlebensdauer des Gebäudes erreichen. Andere Bauteile, z.B. Bodenbeläge, sind in Abhängigkeit vom Beanspruchungsgrad (z.B. Eingangsbereich, Kinder usw.) sinnvoll zu wählen.

Für neuerrichtete Einfamilienhäuser wird grundsätzlich von einer Lebensdauer von 50 - 80 Jahren ausgegangen, die jedoch durch Modernisierungsmaßnahmen deutlich verlängert werden kann.

5.2 Modernisierung

Unter Modernisierung werden alle Maßnahmen am Gebäude verstanden, die über die normale Instandhaltung von Bauteilen sowie der technischen Ausstattung hinausgehen und nicht dem reinen Funktionserhalt dienen. Eine energetische Verbesserung der Gebäudehülle (z.B. das Aufbringen von Zusatzdämmung) sowie Maßnahmen zur Verbesserung des Wohnwertes (z.B. Veränderung der Raumzuschnitte) stellen demnach eine Modernisierungsmaßnahme dar.

Eine längere Nutzung der bestehenden Bausubstanz liegt im Interesse einer nachhaltigen Entwicklung, da so der Abriss vermieden und die bereits verbauten Baustoffe erhalten bleiben. Gleichzeitig entfällt der sonst erforderliche Neubau, was wiederum zur Schonung der Ressourcen führt.

Im Rahmen der Lebenszyklusbetrachtung eines Gebäudes und den damit verbundenen Lebenszykluskosten ist es entscheidend, den aus wirtschaftlicher Sicht richtigen Zeitpunkt für die Durchführung einer Modernisierungsmaßnahme zu bestimmen. Grundsätzlich sollte daher bei jeder anstehenden baulichen Maßnahme geprüft werden, ob und welche Modernisierungsmaßnahmen im zeitlichen Zusammenhang durchgeführt werden sollten. Über eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung können einerseits die Ersatzinvestition und andererseits die damit verbundenen Einsparungen bei den Folgekosten - z.B. verminderte Energiekosten sowie Kostenreduzierungen durch verlängerte Instandsetzungsintervalle oder geringeren Reinigungsaufwand - bewertet werden.

Zu den wichtigsten Modernisierungszielen gehören neben der Wohnwertverbesserung u.a. die Reduzierung der Betriebsaufwendungen - durch Verbesserung der Anlagentechnik sowie Nutzung von kostengünstigeren Alternativen - und die energetische Optimierung des Gebäudebestandes.

6 Umnutzungsphase / Weiternutzungsphase

Die Veränderung der Familienstrukturen - wie z.B. Familienzuwachs, Auszug der Kinder aus dem elterlichen Haus, Untervermietung etc. – während der Nutzungsphase kann eine Wohnraumanpassung erforderlich machen und Umbau- oder Erweiterungsmaßnahmen zur Folge haben (siehe Info-Blätter 7.1 und 8.3).

Mit zunehmendem Alter bzw. durch Veränderung der gesundheitlichen Umstände fallen manchem Bewohner bestimmte alltägliche Verrichtungen im Haus nicht mehr so leicht. Dazu können bauliche Gegebenheiten, wie steile Treppen, Türschwellen, hohe Bädewannen oder schwergängige Fenster erschwerend beitragen.

Im Sinne einer Lebenszyklusbetrachtung sollten die Grundsätze des barrierefreien Bauens (siehe Info-Blatt 3.1) sowie mögliche Anpassungs- und Umbaumöglichkeiten schon in der Entwurfsphase eines Neubaus berücksichtigt werden.

7 Rückbau, Wiederverwendung und Recycling

Die Lebenszyklusbetrachtung umfasst neben den vorher beschriebenen Aspekten auch den Rückbau eines Gebäudes oder von Bauteilen sowie deren Wiederverwendung.

In der Regel haben sich private Bauherren in der Vergangenheit nur wenig mit diesem Thema beschäftigt. Dies könnte sich jedoch auf längere Sicht ändern, da z.B. beim späteren Verkauf des Hauses, auch die Rückbaufreundlichkeit für den Käufer ein Kaufargument darstellen könnte.

In Deutschland sind im Gebäudebestand und beim Neubau alle erdenklichen Gebäudeausführungen mit einer Vielzahl an Materialkombinationen vorzufinden. Die zukünftige Wiederverwendung wird primär durch den Verbund der Materialien in der Konstruktion bestimmt. Nach derzeitiger Gesetzgebung stellen ein Teil der in der Vergangenheit eingesetzten Baumaterialien Sonderabfall dar und können nur mit erhöhtem Kostenaufwand entsorgt werden.

Mögliche Stufen des Recycling stellt das Diagramm (Abb. 6) dar.

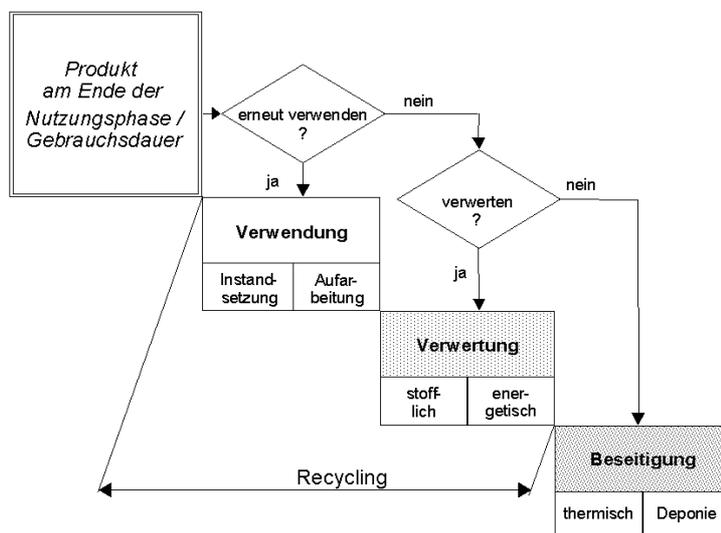


Abb. 6: Recyclingstufen

Die Wiederverwendbarkeit von Baustoffen bzw. Baukonstruktionen hängt von der Qualität des rückgebauten Produktes ab. Durch die Entwicklung schonender Rückbautechniken ist zukünftig von einer deutlichen Qualitätsverbesserung wiederverwertbarer Bauprodukte auszugehen. Ein weiterer Aspekt der Qualitätsverbesserung von Bauteilen ist das Erreichen einer hohen Stufe ihrer Rückbaufähigkeit. Je höher die Rückbaufähigkeit ist, desto größer ist die Chance zur Wiederverwendung einzelner Baumaterialien bzw. Bauteile.

Die nächsthöchste Stufe ist das Recycling von Baumaterialien zu einem Neuprodukt des gleichen Baumaterials (z.B. Kupferrohre). Darauf folgt die Stufe der Nutzung der Rückbauprodukte zur Herstellung eines nicht gleichartigen Produktes (z.B. Konstruktionsvollholz zu Spanplatten oder geschredderter Betonabbruch als recycelter Betonzuschlag). Sind die o.g. Verwendungsmöglichkeiten technisch nicht gegeben, kommt in der Regel nur die thermische Verwertung oder die Deponierung in Frage.

Eine wichtige Frage der Recyclingphase ist, ob es auch Abnehmer für die rückgebauten Bauteile gibt und wo sie angeboten werden können. Auch bei den Produktherstellern sollten Recycling- bzw. Beseitigungskonzepte nachgefragt werden. Hier sind Produkthersteller mit echten Recyclingkonzepten zu bevorzugen. Zur Zeit entstehen erste regionale Bauteilbörsen, die Lösungen für das Recyclingproblem anbieten wollen.

Aus ökologischer Sicht ist die Trennung der einzelnen Baustoffen nach Fraktionen wünschenswert, da die Anteile, die nicht einer direkten Wiederverwendung zugeführt werden können, wiederum dem Materialrecycling zugeführt werden können und somit zur Ressourcenschonung beitragen.

8 Quellen:

- [1] Lebenszyklusbetrachtungen am Beispiel eines Einfamilienhauses; Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V., Berlin im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Bericht-Nr. 1-17/2005.
- [2] Bundesarchitektenkammer (Herausgeber): „Energiegerechtes Bauen und Modernisieren“, Birkhäuser Verlag, Basel, Schweiz, 1996; Seite 41.
- [3] Hausakte; Institut für Bauforschung e.V., Hannover im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen.
- [4] Wohnen und Bauen in Zahlen; Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, 2005.