



Konzept zur nachhaltigen Nutzung von Baurestmassen basierend auf der thematischen Strategie für Abfallvermeidung und Abfallrecycling der EU

(Projekt EnBa)

ACTION 5

Voraussetzungen zur Prognose der materiellen Zusammensetzung zukünftiger Baurestmassen als Grundlage zur langfristigen, zielorientierten Bewirtschaftung von Baurestmassen

Endbericht



Dieses Projekt wird im Rahmen von LIFE+ von der Europäischen Union finanziert

finanziert durch:

Bundesministerium für Land- u. Forstwirtschaft, Umwelt u. Wasserwirtschaft

Land Niederösterreich Land Oberösterreich
Land Steiermark Land Kärnten



lebensministerium.at



Konzept zur nachhaltigen Nutzung von Baurestmassen basierend auf der thematischen Strategie für Ab- fallvermeidung und Abfallrecyc- ling der EU

(Projekt EnBa)

ACTION 5

Voraussetzungen zur Prognose der mate-
riellen Zusammensetzung zukünftiger
Baurestmassen als Grundlage zur lang-
fristigen, zielorientierten Bewirtschaftung
von Baurestmassen
Endbericht

**STANMIRA MARKOVA
KERSTIN HAMMER
HELMUT RECHBERGER**

finanziert
im Rahmen von LIFE+ von der Europäischen Union
durch das
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und
Wasserwirtschaft
Amt der Niederösterreichischen Landesregierung
Amt der Oberösterreichischen Landesregierung
Amt der Steiermärkischen Landesregierung
Amt der Kärntner Landesregierung

IMPRESSUM :

(Vers.1.0.)

Projektsachbearbeitung:

Stanimira Markova, Kerstin Hammer, Helmut Rechberger

TU Wien

Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft,
Forschungsbereich Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement

Karlsplatz 13/226

1040 Wien

Tel.: +43 (0)1 58801.22641

Fax: +43 (0)1 58801.22697

Email: office@iwa.tuwien.ac.at; <http://iwr.tuwien.ac.at/ressourcen>

Leadpartner:

Ressourcen Management Agentur (RMA)

Initiative zur Erforschung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung

ZVR Zahl: 482686233

Argentinerstraße 48/2. Stock

1040 Wien

Tel.: +43 (0)1 913 22 52.0

Fax: +43 (0)1 913 22 52.22

Email: office@rma.at; www.rma.at

Kurzfassung

Die Produkte des Bauwesens stellen ein riesiges Ressourcenlager dar, welche hinsichtlich Sekundärrohstoffe in der Abbruchphase zurzeit nur wenig ausgeschöpft werden. Das Problem der ineffizienten Nutzung von Sekundärressourcen liegt besonders in der mangelnden Datenlage des Baumaterialienverbrauchs und dessen Zusammensetzung. Die genaue Ermittlung des derzeitigen Verbrauchs an Bauprodukten für die Region Österreich ist deshalb kaum möglich. Auch sind die Absatzmengendaten in Österreich in den einzelnen Jahres-Statistiken nicht immer auf gleiche Positionen aufgeschlüsselt worden oder Informationen fehlen. Ein weiterer Unsicherheitsfaktor ist, dass eine Reihe von Daten nicht öffentlich bekannt gegeben wird. Daten über den Verbrauch von einzelnen Stoffen in der Bauwirtschaft zu finden, ist oft schwer möglich.

Für Kupfer und Aluminium in der Baubranche wird konstatiert, dass einerseits der Kupferverbrauch mit der Zeit zurückgeht und der Aluminiumverbrauch andererseits ansteigt. Ebenso zeigt sich, dass ein Großteil der heutigen Gebäude bis zu 87% aus Beton besteht. Der Rest entfällt auf Materialien wie Stahl, Kunststoff, Holz, Kupfer, Estrich und andere. Eine leichte Zunahme der Materialien Holz, Eisen-Metalle und Kunststoffe ist zu verzeichnen.

Da die Anforderungen in der Bauwirtschaft aufgrund der steigenden Komplexität von Gebäuden steigen, werden innovative Materialien entwickelt, wie z.B. flüssiges Holz, transparente Wärmedämmung oder transparenter Beton. Die neueren Materialien stellen einen minimalen Anteil des Materialverbrauchs im Bauwesen dar. Die Probleme, die durch ihre Anwendung auftreten, sind aber nicht mit ihrer Masse sondern i.d.R. mit ihrer Zusammensetzung verbunden. Obwohl eine Analyse der Methoden zur Entwicklung neuer Materialien mit vordefinierten Materialeigenschaften zeigt, dass die Trends zunehmend in Richtung der Materialien mit geschlossener Kreislaufwirtschaft (No Waste Materials) gehen, so sind die meisten in der Praxis neu angewendeten Materialien Verbundmaterialien. Diese Verbundmaterialien bestehen jedoch aus einem hohem Anteil an Kunststoffen, die zu einem sehr niedrigen Grad rezyklierbar sind und nur thermisch verwertet werden können oder gar deponiert werden müssen.

Um diesem Trend entgegenzuwirken, können Bewertungsindikatoren und Methoden für die Ressourceneffizienz im Bauwesen herangezogen werden. Für eine Bewertung werden die Indikatoren Verfügbarkeit, Rezyklierbarkeit, Eigenversorgung sowie Scale-Up herangezogen.

In dieser Arbeit wird aufgrund der lückenhaften Datenlage der Grad der Rezyklierbarkeit als die Relation der Massen des rezyklierten Materials, die in das System zurück fließen, zu den Output-Massen des Materials nach Abbruch definiert. Der Grad der Rezyklierbarkeit ist durch die Abbruchweise, die Sammlung und Aufbereitung sowie dem Stand der Technik abhängig. Für Aluminium resultiert ein Grad der Rezyklierbarkeit von 76% während er sich für Kies bei 51% bewegt.

Der Einsatz von Recyclingbaustoffen leistet einen Beitrag zum stofflichen Recycling und zur Schonung von nichtenergetischen natürlichen Ressourcen im Bauwesen. Der kumulierte Energiebedarf sowie das Treibhauseffektpotential für die Herstellung von Recyclingbeton liegt unter jenem der Primärproduktion.

Aufgrund der Umweltrelevanz der Bauwerke ist deshalb auch die Information über die materielle Zusammensetzung des Bauwerks wichtig, um in der späteren Abbruchphase die verschiedenen Materialien so effizient wie möglich zu nutzen. Die materielle Information wird in unterschiedlichem Ausmaß während der Ausschreibungsphase, der Planungsphase, aber auch während der Ausführungsphase generiert und entsprechend dokumentiert. Die Vertragsform spielt insofern eine Rolle, als dass sie vor allem die Art der Dokumentation der materiellen Information vorbestimmen kann. So ist z.B. beim Einheitspreisvertrag jede Position genau ermittelt. Anders ist es beim Regiepreisvertrag. Dort kann im Voraus der Umfang nicht ausreichend genau bestimmt und daher in einem Leistungsverzeichnis beschrieben werden. Eine signifikante Änderung der Leistung und daher der materiellen Information kommt im Laufe der Bauphase nicht selten vor, wodurch eine Ermittlung der materiellen Zusammensetzung eines fertiggestellten Bauwerks anhand der Leistungsverzeichnisse der Ausschreibung nicht möglich ist. Die höchste Detailliertheit und Genauigkeit der materiellen Information in der Dokumentation findet sich somit im Moment der Übergabe des fertiggestellten Bauwerks. Daher ist es sinnvoll, wenn in dieser letzten Phase der Ausführung Maßnahmen eingeführt werden, um die materielle Information zu Zwecken der Dokumentation zu gewinnen (z.B.: Gebäudepass).

Eine andere Möglichkeit für die Verbesserung der Ressourceneffizienz und die Minimierung des Ressourcenverbrauchs ist der so genannte Design for Recycling Ansatz, der schon in der Designphase des Produktes ansetzt, um die Kreislaufführung der Ressourcen zu ermöglichen. Dieser Ansatz ist jedoch noch nicht für das Bauwesen und dessen Produkte etabliert. Die Entwicklung eines materiellen Gebäudepass wäre daher hilfreich, welcher die in der Planungsphase generierte Information in geeigneter Form erfasst und dokumentiert. Studien über Design for Recycling aus der elektronischen und der Automobilindustrie zeigen, dass Ressourceneffizienz und Materialkreislauf am stärksten und effizientesten durch Maßnahmen im Design- und Planungsprozess zu beeinflussen sind. Materielle Informationen müssen für jedes Objekt in der Planungsphase neu generiert werden. Daher wären einheitliche Standards sowie eine einheitliche Dokumentation sinnvoll. Zusätzlich sind die politischen Rahmenbedingungen für die Etablierung von Design for Recycling-Ansätzen für Bauwerke noch nicht gegeben. Ohne ein politisches Regelwerk für das Bauwesen wie beispielsweise Mindestquoten für Recycling und Wiederverwendung sowie das Verbot des Einsatzes von bestimmten Materialien, Verbindungsarten oder Konstruktionen ist nicht zu erwarten, dass die Produzentenverantwortung und die Entwicklung von Designansätzen für Ressourcenoptimierung die notwendige Tiefe und den Umfang erreichen können.

Um die Sekundärprodukte des Bauwesens in Zukunft so effizient wie möglich zu nutzen sowie Design for Recycling Maßnahmen für das Bauwesen umzusetzen, müssen die weiter oben angeführten Probleme und Hindernisse durch die Umsetzung politischer Maßnahmen abgebaut werden.

Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG	V
INHALTSVERZEICHNIS	I
1 EINLEITUNG	1
Darstellung des zu behandelnden Problems	1
2 ZIELSETZUNG	3
3 METHODIK.....	5
3.1 Darstellung der eingesetzten Baumaterialien	5
3.2 Bewertung von Baumaterialien	5
3.3 Darstellung des klassischen Planungsprozesses	6
3.4 Design for Recycling Ansätze für die Bauplanung	6
4 ERGEBNISSE	7
4.1 Materialverbrauch im Bauwesen für das System Österreich	7
4.1.1 <i>Klassische Baumaterialien</i>	7
4.1.1.1 <i>Statistische Daten</i>	8
4.1.1.2 <i>Zeitreihen zum Verbrauch exemplarisch ausgewählter Stoffe</i>	9
4.1.1.3 <i>Empirische Ergebnisse</i>	14
4.1.1.3.1 <i>Materialien des Tief- und Hochbaus</i>	15
4.1.1.3.2 <i>Fallbeispiele</i>	16
4.1.2 <i>Neue Materialien</i>	20
4.1.3 <i>Verbrauchstrends und Problematik</i>	23
4.1.3.1 <i>Zeitreihen des Materialverbrauchs im Bauwesen</i>	23
4.1.3.2 <i>Zukunftstrends des Materialverbrauchs im Bauwesen</i>	28
4.1.4 <i>Liste der Baumaterialien</i>	29
4.2 Bewertungsindikatoren und Methoden für die Ressourceneffizienz im Bauwesen	31
4.2.1 <i>Materialeffizienz</i>	32
4.2.1.1 <i>Verfügbarkeit</i>	36
4.2.1.2 <i>Rezyklierbarkeit</i>	37
4.2.1.3 <i>Eigenversorgung</i>	38
4.2.1.4 <i>Scale- Up</i>	39
4.2.2 <i>Energieeffizienz</i>	42
4.2.2.1 <i>Energieverbrauch während des Gebäudebetriebes</i>	42
4.2.2.1.1 <i>Energiestandards</i>	42
4.2.2.1.2 <i>Bauweisen</i>	44
4.2.2.2 <i>Graue Energie der Herstellung</i>	46

4.2.2.2.1	<i>Analyse des Betonherstellungsprozesses</i>	46
4.2.3	<i>Schlussfolgerungen über die Ressourceneffizienz im Bauwesen</i>	48
4.3	<i>Analyse des klassischen Planungsprozesses und des Generierungsprozesses der materiellen Information im Bauwesen</i>	49
4.3.1.	<i>Begriffe und Definitionen</i>	49
4.3.2.	<i>Vergabe - Gesetzliche Grundlagen</i>	49
4.3.3.	<i>Vertrag</i>	52
4.3.3.1.	<i>Einheitspreisvertrag</i>	52
4.3.3.2.	<i>Pauschalvertrag</i>	52
4.3.3.3.	<i>Mengengarantievertrag</i>	52
4.3.3.4.	<i>Regiepreisvertrag</i>	53
4.3.4.	<i>Die Leistungsbeschreibung</i>	53
4.3.4.1.	<i>Konstruktive Leistungsbeschreibung</i>	54
4.3.4.2.	<i>Funktionale Leistungsbeschreibung</i>	54
4.3.4.3.	<i>Standardisierte Leistungsbeschreibung</i>	54
4.3.5.	<i>Leistungsverzeichnis</i>	55
4.3.6.	<i>Die Akteure</i>	55
4.3.7.	<i>Die Generierung und die Dokumentierung der materiellen Information</i>	59
4.4	<i>Zusammenstellung von Design for Recycling Ansätzen verschiedener Produktionsbranchen</i>	60
4.4.1	<i>Einleitung</i>	60
4.4.2	<i>Design for X</i>	60
4.4.2.1	<i>Eco-Design</i>	61
4.4.2.2	<i>Design for Assembly: DFA (Design für Herstellung)</i>	64
4.4.2.3	<i>Design for Dissassembly: DfD (Design für Demontage)</i>	65
4.4.2.4	<i>Design for maintenance: DfM (Design für Wartung)</i>	67
4.4.2.5	<i>Design for Minimum Parts</i>	68
4.4.2.6	<i>Design for Safety: DfS (Design für Sicherheit)</i>	69
4.4.2.7	<i>Design for Recycling</i>	69
4.4.2.7.1	<i>Das Recycling-Netzwerk</i>	70
4.4.2.7.2	<i>Design-For-Recycling in der Planungsphase von Produkten:</i>	72
4.4.3	<i>Best Practice: Beispiele aus der Elektronik- und der Automobilindustrie</i>	75
4.4.3.1	<i>Elektronische Erzeugnisse</i>	76
4.4.3.1.1	<i>Fallbeispiele</i>	80
4.4.3.2	<i>Die Automotive Industrie</i>	83
4.4.3.2.1	<i>Methode:</i>	85
4.4.3.2.2	<i>Ergebnisse</i>	91
4.4.4	<i>Design for X für das Bauwesen</i>	91
4.4.4.1	<i>Notwendige Rahmenbedingungen für die Implementierung von Design for X – Ansätze im Bauwesen</i>	92
4.4.4.1.1	<i>Technische Rahmenbedingungen</i>	92

4.4.4.1.1.1	<i>Detailliertes Wissen über die materielle Zusammensetzung der Produkte</i>	92
4.4.4.1.1.2	<i>Standards für die Planungsprozesse</i>	93
4.4.4.1.2	<i>Politische Rahmenbedingungen</i>	94
4.4.4.2	<i>Katalog mit heuristischen Design for Recycling Maßnahmen für das Bauwesen</i>	94
5	SCHLUSSFOLGERUNGEN	97
6	LITERATUR.....	101
7	ANHANG	109

1 Einleitung

Action 5 beruht auf der Erkenntnis, dass das Bauwesen auf der einen Seite der größte Verbraucher einer Reihe wichtiger Ressourcen (Materialien) ist, und andererseits die Produkte des Bauwesens in Form von Bauwerken den wichtigsten Bestand (Sekundärlager) in einer Volkswirtschaft darstellen. Dieses Lager ist in Zukunft effizienter, kontrollierter und planbarer zu nutzen, wofür einer Reihe von Bedingungen zu schaffen sind.

Darstellung des zu behandelnden Problems

- dem Bauwesen stehen langfristig wesentliche Ressourcen nicht mehr in gleichem Ausmaß wie derzeit zur Verfügung.
- Bauwerke stellen den größten Bestand an Sekundärressourcen in einer Volkswirtschaft dar, der jedoch nicht ausreichend effizient genutzt wird bzw. der nach derzeitigem Kenntnisstand in Zukunft nicht ausreichend effizient genutzt werden kann.
- Die materielle Zusammensetzung der Bauwerke ist nicht in ausreichendem Maße bekannt, um effizientes Recycling betreiben zu können.
- Zukünftig ansteigende Mengen an Baurestmassen erfordern höhere Recyclingraten, da der Deponieraum knapp ist.

2 Zielsetzung

Ziel von Action 5 ist es, methodisch-konzeptionelle Grundlagen zu entwickeln, die einen Beitrag zur Optimierung der Ressourcenbewirtschaftung im Bauwesen leisten und in einer umfassenden Gebäudebewertung zum Ausdruck kommen sollen. Dieses globale Ziel soll in 4 Schritten erreicht werden (übergeordnete Ziele):

- Ermittlung des Baumaterialverbrauchs für die Region Österreich
- Definition von ressourcenbezogenen Indikatoren für das Bauwesen
- Analyse des klassischen Planungsprozesses und des Generierungsprozesses der materiellen Information im Bauwesen
- Zusammenfassung der Grundlagen für die Entwicklung eines materiellen Gebäudepass-Konzeptes
- Erarbeitung von Design for Recycling Maßnahmen für das Bauwesen

3 Methodik

3.1 Darstellung der eingesetzten Baumaterialien

Der Fokus in Action 5 liegt auf der Verbrauchsseite (Inputseite) des Bauwesens. Ziel ist es, den Verbrauch von Baustoffen möglichst vollständig darzustellen. Dies erfolgt anhand einer umfassenden Literaturstudie, die Statistiken, Berichte von Branchen und Behörden, einschlägige Fachliteratur und wissenschaftliche Literatur berücksichtigt. Dabei sind die erhobenen Daten auf eine geeignete funktionelle Größe zu normieren. Zusätzlich ist es für die Zielsetzung des Projektes von Vorteil, diese Materialflüsse so weit wie möglich als Zeitreihen zu erheben, damit auslaufende bzw. „kommende“ Materialien erkannt werden können. Die Literatur ist also auch danach zu sichten, welche Materialien zukünftig vermehrt im Bauwesen zu erwarten sind. Des Weiteren werden Experteninterviews zu diesem Thema durchgeführt. Das Resultat dieser Recherche ist eine sehr umfangreiche Liste an Stoffen und Gütern.

3.2 Bewertung von Baumaterialien

Die eigentlichen Ziele, die mit der Auswahl von Baumaterialien verfolgt werden, werden aufgelistet und beschrieben. Dabei werden einerseits die derzeit diskutierten Ziele untersucht (Literaturrecherche, Analyse existierender Gebäude- und Materialbewertungssysteme) und diese gegebenenfalls um die Ziele des Umweltverträglichen Regionalen Stoffhaushalts (URS) erweitert. Dies erfolgt noch auf einer abstrahierten, qualitativen Ebene. Zum Beispiel ist ein Ziel des URS ein ausreichend hoher Grad an Eigenversorgung für eine Region (z.B. Österreich). Wie dieses Ziel zu quantifizieren ist, wird später ermittelt. Untersucht soll auch werden, ob derzeit Ziele und Mittel, die der Zielerreichung dienen, nicht fälschlicherweise vermischt werden. So ist bspw. der Einsatz nachwachsender Rohstoffe kein Ziel an sich, sondern eine Möglichkeit, um ein umweltpolitisches Ziel, z.B. Klimaschutz, zu erreichen.

Die derzeit benutzten Bewertungsansätze werden dargestellt und bzgl. ihrer Abdeckung der vorher ermittelten Ziele untersucht. Daraus ergeben sich dann die zu reduzierenden Defizite. Ausgehend von den ermittelten Defiziten der etablierten Bewertungskriterien werden weitere Kriterien möglichst quantitativ hergeleitet. Untersucht werden auf jeden Fall miteinander verknüpfte Aspekte wie Knappheit der Ressource (theoretisch/praktisch) und der Grad der möglichen Eigenversorgung.

Des Weiteren wird die Betrachtung auf den gesamten Lebenszyklus der Materialien ausgedehnt. So ist bspw. nicht nur die graue Energie der Herstellung zu berücksichtigen, sondern auch der Energieverbrauch während des Betriebs sowie für Abbruch und Behandlung. Ganz wesentlich ist hier die Recyclingfähigkeit zu berücksichtigen, da für recyclingfähige Baumaterialien diese Kennzahlen sich erheblich verbessern.

Die entwickelten Kriterien werden quantitativ auf die ausgewählten Baumaterialien/Bauweisen angewandt. Damit soll die praktische Durchführbarkeit geprüft werden (Fallbeispiele). Dies dient auch der möglichst anschaulichen Darstellung der neu definierten Kriterien.

3.3 Darstellung des klassischen Planungsprozesses

Ziel dieses Arbeitsschrittes ist es, die in der Bauwirtschaft angewendeten klassischen Planungsprozesse zu erheben und in Bezug auf die Fragestellung zu analysieren. Es wird dabei untersucht, welche materielle Information im Zuge dieser Planungsprozesse geschaffen wird und wie diese Information für die Projektziele zu nutzen und zu dokumentieren ist. Die Analyse umfasst auch die für die Planung von Gebäuden und für die Berechnung von Gebäudeeigenschaften eingesetzten Tools und deren Verbreitung in der Bauindustrie. Die Planungsprozesse sind auf ihre Integrationsmöglichkeiten zur Einbeziehung recyclingorientierter und Life-Cycle-orientierter Faktoren zu betrachten und zu bewerten. Dies wird teils auch anhand von Befragungen ausgewählter Vertreter der Branche erhoben.

3.4 Design for Recycling Ansätze für die Bauplanung

In diesem Schritt wird jenes Know-how, das bereits für elektrische und elektronische Produkte und im Automotivsektor auf dem Gebiet des Design for Recycling (DFR) entwickelt wurde zusammengefasst (Literatur, Expertenbefragung) und auf seine Anwendbarkeit für Bauwerke untersucht. Des Weiteren wird untersucht, ob für Bauwerke zusätzliche Informationen für praxistaugliches DFR notwendig sind. Darauf aufbauend wird ein Maßnahmenbündel erstellt, das in der Planungsphase begleitend angewendet werden kann, um Planer bei Entscheidungen im Kontext der Ressourceneffizienz zu unterstützen und somit einen erhöhten, optimierten Materialkreislauf im Bauwesen zu ermöglichen.

4 Ergebnisse

4.1 Materialverbrauch im Bauwesen für das System Österreich

4.1.1 Klassische Baumaterialien

Die Ermittlung des Materialverbrauchs im Bauwesen für Österreich ist ein wesentlicher Teil des Arbeitspaketes, da die Ergebnisse zu einem großen Teil die Wissensbasis für die Arbeiten in den nächsten Schritten bilden.

Das erste Zwischenergebnis in diesem Arbeitsschritt ist die Aufstellung und tabellarische Darstellung der gängigen Baumaterialien (Baumaterialienliste), die aktuell in Österreich verwendet werden. Das Ziel war eine Aufstellung und Unterscheidung der Baumaterialien nach stofflicher Zusammensetzung. Um dies zusammenstellen zu können, wurden bei der Literaturrecherche mehrere Quellen berücksichtigt, da die meisten Studien die Werkstoffe im Bauwesen nach ihrer Funktion aufteilen und betrachten.

Die Materialien sind in tabellarischer Form in Hauptgruppen (z.B. mineralische Werkstoffe, metallische Werkstoffe) und dann in Untergruppen (z.B. Beton, Mauerwerk; Baustahl, Aluminium) dargestellt. Zu jeder Untergruppe sind die wichtigsten Produkte aufgelistet (z.B. Normalbeton, selbstverdichtender Beton, Porenbeton; Betonstahl, Spannstahl, Stahlbleche). Die vollständige tabellarische Darstellung ist der Tabelle 4-9 zu entnehmen.

Auf dieser qualitativen Erfassung aufbauend wurde eine detaillierte Ermittlung des Materialverbrauchs in der Region Österreich angestrebt. Der ursprüngliche Plan war, eine Aufstellung des Verbrauchs für jedes Produkt der Untergruppen über einige aufeinanderfolgenden Jahre zu erstellen.

Im Laufe der Arbeit stellte sich heraus, dass mit der heute gegebenen Datenbasis und den Parametern, die aktuell in Branchenberichten und Statistiken zu finden sind, solche Aufstellungen nicht machbar sind. Zusätzlich wurde die Arbeit durch die Tatsache erschwert, dass die Absatzmengendaten in den Statistiken über die Jahre nicht immer auf gleiche Positionen aufgeschlüsselt sind oder Information über konkrete Positionen in manchen Jahren fehlen. Dies machte einen Vergleich des Verbrauchs über eine festgelegte Periode unmöglich. Daher wurde die Verbrauchsermittlung auf die Hauptgruppen und z.T. Untergruppen reduziert. Weiterhin wurden Umrechnungen vorgenommen, da die Standardeinheiten, in der die Absatzmengen angegeben werden, für verschiedene Materialien unterschiedlich sind (Tonnen, Kubikmeter, Festmeter). Es existiert eine Reihe von Daten, die nicht öffentlich bekanntgegeben werden (z.B. genaue Ermittlungen über den Absatz von Baustahl), und dies stellt einen weiteren Unsicherheitsfaktor dar. Für die Zusammenstellung des Materialverbrauchs wurden zusätzlich zu den Statistiken und Branchenberichten auch Publikationen, Informationen aus dem Internet und Befragungen verwendet.

Bei der Tabellenerstellung wurde eine Darstellung der Materialien angestrebt, die im Hochbau eingesetzt werden. Da die Statistiken und Branchenberichte keinen Unterschied zwischen dem Einsatz in Hoch- und in Tiefbau machen, wurden Materialien mit einem Einsatz in beiden Bereichen mit ihrem Gesamtverbrauch in der Erfassung berücksichtigt (z.B. Kies).

4.1.1.1 Statistische Daten

Die Hauptgruppen der Erfassung des Materialverbrauchs (folgende Tabelle) entsprechen nicht denen der klassischen Materialien im Bauwesen (Tabelle 9). Der Grund dafür ist eine Doppelnennung mancher Materialien, die einerseits in den Funktionsgruppen und andererseits in den Gruppen der Materialeigenschaften vorkommen würden (z.B. EPS würde einmal in der Gruppe der Kunststoffe und einmal in der Gruppe der Dämmstoffe berücksichtigt werden). Des Weiteren werden Materialien in der Literatur und in Statistiken nach verschiedenen Kriterien und mit unterschiedlicher Detailliertheit betrachtet und erfasst.

Tabelle 4-1: Darstellung des Materialverbrauchs im Bauwesen für die Region Österreich 2005-2007

Natursteine		2005	2006	2007
Bausande	Mio.t	3,65	2,14	1,80
Kies	Mio.t	25,01	24,71	26,97
Kalkstein für die Zementherstellung	Mio.t	1,23	1,97	1,96
Brechstein für den Hoch u. Tiefbau	Mio.t	13,09	13,92	14,36
Split	Mio.t	11,75	12,62	10,66
Summe	Mio.t	54,73	55,36	55,75
Mineralische Werkstoffe				
Ziegel, Mauerwerk	Mio.t	2,71	2,60	2,16
Frischbeton (Transportbeton)	Mio.t	23,25	24,08	24,04
Betonsteine	Mio.t	4,87	3,87	5,95
Sanitärkeramik	Mio.t	k.A	k.A	k.A
Zement	Mio.t	3,96	4,26	4,84
Summe	Mio.t	34,79	34,81	36,99
Bauglas				
Flachglas	t	1732,00	1170,00	1424,00
Sicherheitsglas und Verbundglas (Gewicht ang. 40 kg/m ²)	t	60,92	17,40	64,71
Weitere Glasprodukte (Glasfasern, Schaumglas)	t	k.A	k.A	k.A
Summe	t	1792	1187	1488
Bindemittel				
Gips	Mio.t	0,20	0,19	G
Kalke	Mio.t	0,49	0,46	0,47
Summe	Mio.t	0,70	0,65	-

Putz und Estrich	Mio.t	0,33	0,35	0,37
Metallische Werkstoffe				
Stahl (Anm.: ohne Bewehrungsstahl)	Mio.t	0,77	0,89	1,03
Aluminium	Mio.t	0,13	0,14	0,16
Weitere Metalle (Zink, Zinn, Magnesium)		k.A	k.A	k.A
Summe	Mio.t	0,9	1,03	1,19
Kunststoffe				
Polymere des Ethylens	Mio.t	0,148	0,170	0,173
Polymere des Propylens	Mio.t	0,015	0,018	0,019
Polymere des Vinylchlorids	Mio.t	0,116	0,118	0,117
Polymere des Styrols (EPS, XPS)	Mio.t	0,054	0,069	0,072
Polyurethane	Mio.t	0,027	0,032	0,029
andere	Mio.t	0,017	0,02	0,024
Summe	Mio.t	0,38	0,43	0,44
Holz und Holzwerkstoffe				
Laubholz*	Mio.t	2,19	2,36	2,48
Nadelholz*	Mio.t	6,43	4,91	7,20
Summe	Mio.t	8,62	9,27	9,68

*Die Umrechnung der verbrauchten Holzmenge von Mio.fm auf Mio.t ist mit der Annahme von einem durchschnittlichen Laubholzgewicht von 0,517 t/fm und einem durchschnittlichen Nadelholzgewicht von 0,379 t/fm erfolgt.

4.1.1.2 Zeitreihen zum Verbrauch exemplarisch ausgewählter Stoffe

Daten zum Verbrauch einzelner Stoffe in der Bauwirtschaft zu finden, ist oft nicht möglich. Dies basiert auf der Problematik, dass die eingesetzten Baumaterialien nicht ausreichend erfasst werden und somit auch nicht auf den Verbrauch einzelner Stoffe geschlossen werden kann. Dennoch wurde versucht anhand von Literatur Zeitreihen für die Stoffe Kupfer und Aluminium zu erstellen. Anhand dieser Zeitreihen soll es möglich sein, eine Tendenz für die Zukunft zu erkennen.

Zum Erstellen dieser Zeitreihen wurden folgende Quellen verwendet:

- Internetquellen des International Wrought Copper Council (IWCC)
- WIFO, Monatsberichte 4/1973 und 10/1986
- Beitrag der Abfallwirtschaft zum Aluminiumhaushalt Österreichs (BMLFUW)

Eine vollständige Auflistung der Literaturquellen findet sich im Anhang.

Kupfer:

Kupfer ist eines der ersten Metalle, welches durch seine leichte Verarbeitung bereits vor etwa 10.000 Jahren verwendet wurde. Die wichtigsten Produzenten sind Chile, Peru und die USA. Die weltweite Zunahme der Kupferproduktion ist auch in Österreich erkennbar. Seit 2003 stieg die Gesamtgewinnung von Kupfer von 62.000 t auf 81.000 t im Jahr 2007 an (BMfWA 2008).

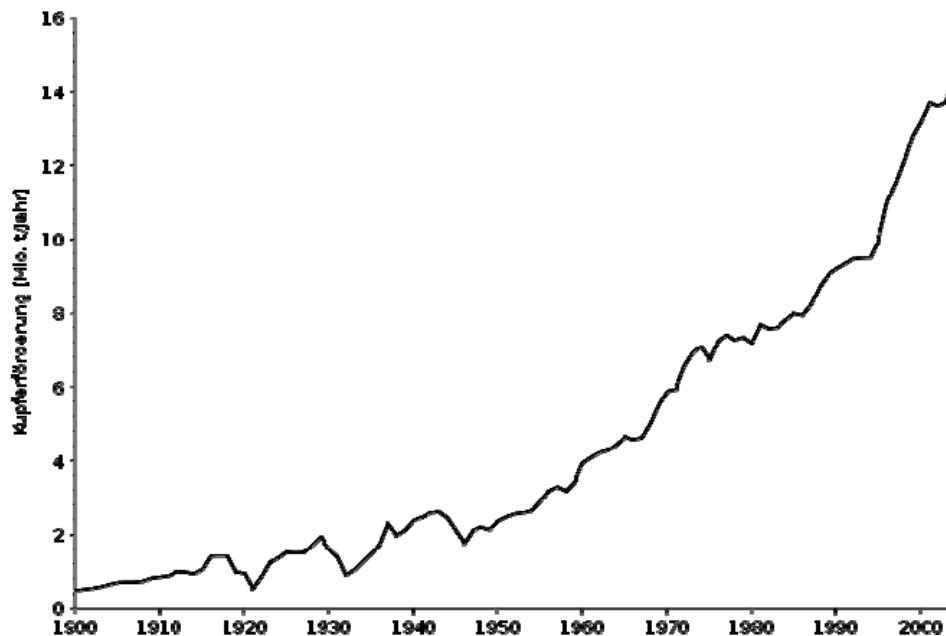


Abbildung 4-1: Weltweite Kupferförderung von 1900 bis 2000 (<http://minerals.usgs.gov>)

Das International Wrought Copper Council (IWCC), erstellte für den Zeitraum 1987-2003 eine Zeitreihe zum Endverbrauch von Kupfer, die nach Anwendungsgebiet differenziert ist. Betrachtet wurden jedoch nur große regionale Gebiete (Europa, USA, Japan) wodurch ein Rückschluss auf Österreich nicht möglich ist. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Entwicklung Gesamteuropas auch auf Österreich übertragbar ist. Das IWCC führt in seiner Statistik den Bereich Bauwesen und Elektrik separat an, daher bleibt unklar, inwieweit elektrische Leitungen und Ähnliches in das Bauwesen einfließen. Beide Bereiche zeigen seit 1987 eine Zunahme des Verbrauchs von Kupfer.

Kupfer spielt in der Bauwirtschaft v.a. bei Warmwasser- und Heizungsleitungen, Fußbodenheizungen, elektrischen Leitungen, Fassadenverkleidungen und im Innenbereich-Ausbau eine Rolle. In Abbildung 4-1 ist zu erkennen, dass der Endverbrauch von Kupfer im Bauwesen in Europa 1999 ein Maximum hatte und seit dem wieder rückläufig ist.

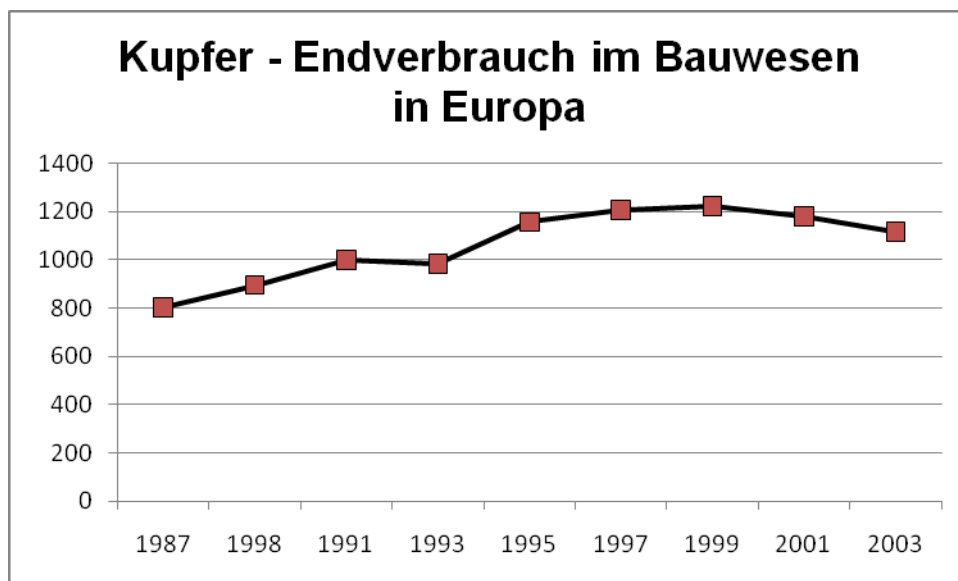


Abbildung 4-2: Zeitreihe zum Kupferverbrauch im Bauwesen Europas von 1987 bis 2003, Angabe in 1000 Tonnen (Copper Council)

Auch eine Studie über Kupfer für Zukunftstechnologien (Fraunhofer 2010) bestätigt, dass der Anteil des Gesamtkupferverbrauchs im Bereich Architektur (ohne elektrische Leitungen), prozentuell betrachtet, abnimmt. Diese Studie erstellte unter anderem ein Szenario für den Kupferverbrauch in unterschiedlichen Anwendungsbereichen, welches bis ins Jahr 2050 reicht. Aus diesem Szenario geht hervor, dass der Verbrauch von Kupfer in seiner Gesamtheit zwar weiter ansteigen, jedoch im Bereich Architektur und Wasserversorgung bis ins Jahr 2018 stark abknicken wird (siehe Abbildung 4-3).

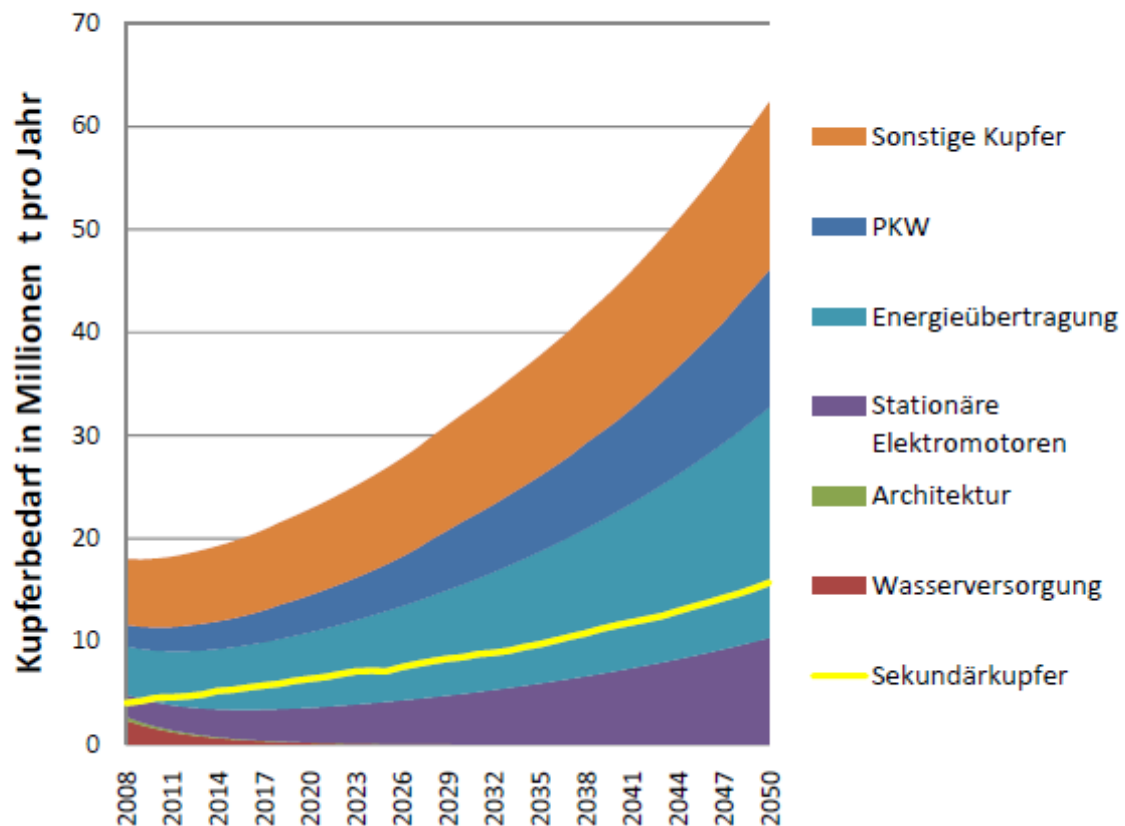


Abbildung 4-3: Kupferverbrauch Dominanz-Szenario aufgeschlüsselt nach Segmenten (Fraunhofer 2010)

Aluminium:

Aluminium ist ein relativ junges Material, dessen Produktion im letzten Jahrhundert stark zugenommen hat. Allein in Österreich stieg die Produktion von Hüttenrohaluminium seit dem Jahr 1956 von ca. 59.000t auf ca. 95.000t im Jahr 1985 (WIFO 1986). Die Produktion von Halbzeug nahm seit 1956 von 36.000t auf 201.000t im Jahr 2001 zu (BMFL 2003).

Diese Entwicklung ist auch in Bezug auf die weltweite Produktion von Aluminium zu beobachten (Abbildung 4-4).

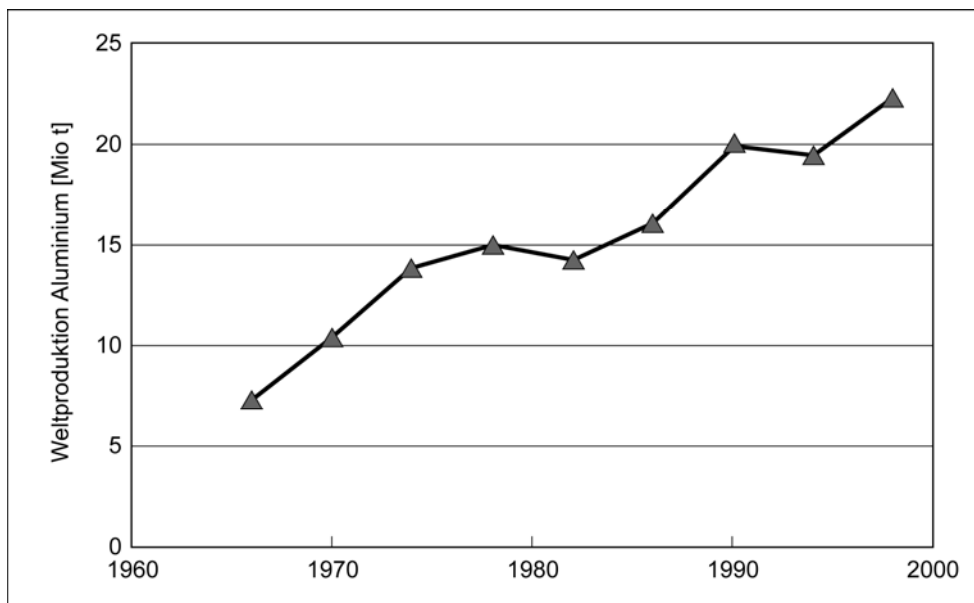


Abbildung 4-4: Entwicklung der weltweiten Aluminium-Produktion seit 1966 (BMLFUW 2003)

Bei einer Aufteilung der Anwendungsbereiche in Bau, Transport, Elektrotechnik, Verpackung und Sonstiges fällt auf, dass in Österreich der größte Abnehmer von Aluminium die Bauwirtschaft ist (32%). Bei allen Bereichen ist seit den 50er Jahren ein Anstieg der eingesetzten Mengen zu verzeichnen, im Baubereich ist dieser jedoch besonders rasch gestiegen. In Abbildung 4-5 ist der Aluminium-Endverbrauch der Bauwirtschaft in Österreich dargestellt, wobei es sich hier um ein Modellierungsmodell handelt. Konkrete Zahlen aus (WIFO 1973) bestätigen dieses Modell.

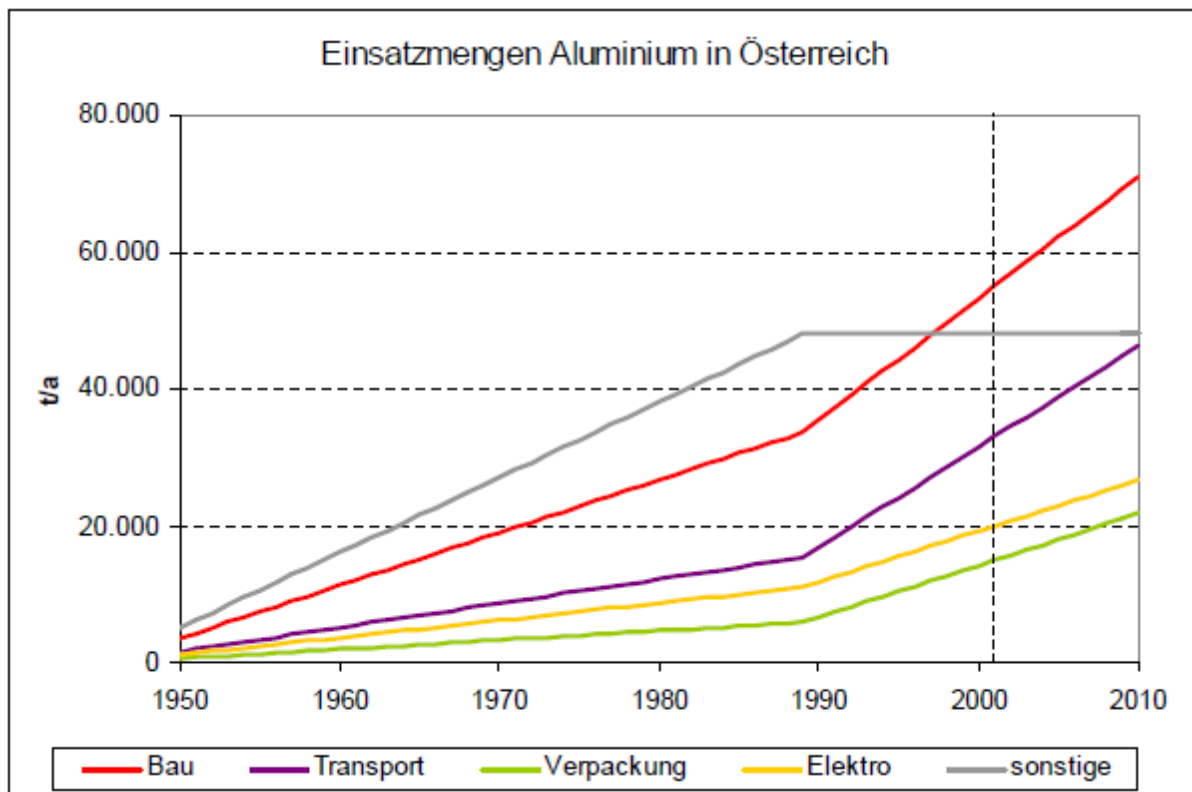


Abbildung 4-5: Interpolationsmodell für die in Österreich eingesetzten Aluminium-Mengen nach Anwendungsbereichen (BMLFUW 2003)

Die starke Zunahme des Aluminium-Verbrauchs im Bauwesen lässt sich u.a. durch den verstärkten Einsatz bei Türen, Fenstern und Fassaden des Hochbaus erklären. Dies bestätigen die Verkaufszahlen eines führenden Österreichischen Systemanbieters für derartige Produkte. Unter Berücksichtigung des geschätzten Marktanteils in diesem Bereich kann die eingesetzte Menge von Aluminium im Hochbau auf etwa 10.000 bis 30.000t/a geschätzt werden (BMLFUW 2003).

Wie Abbildung 4-5 zeigt, ist auch für die nächsten Jahre ein Weiterführen dieses Trends zu erwarten.

4.1.1.3 Empirische Ergebnisse

Die oben angegebenen Mengen beziehen sich auf den Gesamtverbrauch in Österreich. Die Methodik der Datenerhebung in den einzelnen Branchen und bei Statistik Austria ermöglicht keine klare Unterscheidung zwischen Einsatz im Hoch- und im Tiefbau. Diese Unterscheidung ist dennoch von wesentlicher Bedeutung für die Zwecke des Projektes. Um die prozentuelle Aufteilung des Materialeinsatzes nach Hoch- und Tiefbau ermitteln zu können, sowie qualitative und quantitative Daten über wichtige Materialien zu erheben, über die keine statistische Daten veröffentlicht werden, wurden zusätzlich Interviews mit Experten aus der Forschung und der Industrie durchgeführt.

4.1.1.3.1 Materialien des Tief- und Hochbaus

Von den oben betrachteten Materialien sind für den Tiefbau vor allem Beton und Baustahl relevant. Laut der Ergebnisse aus den durchgeführten Interviews (siehe Protokolle im Anhang) ist von einer Aufteilung von 50/50% bis 60/40% auszugehen, wobei der größere Anteil dem Hochbau zugeschrieben wird. Diese Aufteilung ist dadurch begründet, dass obwohl die Baumaßnahmen im Tiefbaubereich um das Vielfache voluminöser und umfangreicher als jene im Hochbau sind, sind dafür die Neubauten im Hochbaubereich um das Vielfache zahlreicher.

Auf dieser Annahme basierend, kann eine Abschätzung des Baustahlanteils in der Massenbilanz für den Hochbau gemacht werden. Der Mindestvolumenanteil von Bewehrungsstahl in 1 m³ Beton beträgt ca. 2-3% (Konstruktivbewehrung ohne tragende Wirkung). In tragenden Bauteilen beträgt dieser Anteil ca. 5% und in vorgespannten bis zu 10%. Die Dichte des Normalbetons je nach Klasse variiert zwischen 1,2 und 2,4 t/m³. Unter der Annahme eines durchschnittlichen Volumenanteils von 5% Baustahl in 1 m³ Beton sowie einer durchschnittlichen Betondichte von 1,8 t/m³ und einer genormten Baustahldichte von 7,85 t/m³, kann der Prozentanteil von Baustahl im Hochbau mit folgendem System aus Gleichungen berechnet werden:

$$\begin{aligned} [B [m^3] + St[m^3] = Ges [m^3] \\ [St[m^3] = 0,05 * Ges [m^3] \end{aligned}$$

Legende:

B [m³] – der verbrauchte Beton im Hochbaubereich

St[m³] – der verbrauchte Baustahl im Hochbaubereich

Ges[m³] - die Volumensumme aus Beton und Stahl (d.h. der verbrauchte Stahlbeton im Hochbaubereich)

Somit ergibt sich folgende Aufteilung des Materialverbrauchs für den Hochbau:

Tabelle 4-2: Materialverbrauch für die Herstellung von Beton und Betonfertigteile (Umweltchemie, econum GmbH, online)

		Gesamt	Hochbau		Gesamt	Hochbau
Frischbeton	Mio.m ³	13,4	8,0	Mio.t	24,04	14,42
Stahl	Mio.m ³	0,7	0,4	Mio.t	5,52	3,31
Stahlbeton	Mio.m ³	14,1	8,4	Mio.t	29,56	17,73

*Anm: Als Berechnungsgrundlage dient der Frischbetonverbrauch in Österreich für das Jahr 2007

4.1.1.3.2 Fallbeispiele

Zusätzlich zu den durchgeführten Interviews wurde der Materialeinsatz in drei Neubauobjekten aus dem Wohnbau ermittelt. Es handelt sich dabei um ein Einfamilienhaus in Massivbauweise und um zwei geförderte Wohngebäude (Mehrfamilienhäuser) in Massiv- und Holzmassivbauweise. Die Daten für das Einfamilienhaus konnten durch einen privaten Kontakt beschafft werden. Die beiden Mehrfamilienhäuser sind gut dokumentiert und die Daten konnten mit Hilfe des Österreichischen Ökologie Instituts vollständig erhoben werden.

Wie in den Abbildung 4-6 bis Abbildung 4-8 erkennbar ist, bestehen sowohl die Gebäude in Massivbauweise als auch jene in Holzmassivbauweise zum Großteil aus Beton (80-87%). Ein deutlicher Unterschied ist im Verbrauch von keramischen Materialien zu erkennen, welche in den Massivhäusern häufiger eingesetzt werden als im Holzmassivhaus. Wie zu erwarten, ist der Anteil von Holz im Holzmassivhaus bis zu dreimal so hoch wie in den Häusern in Massivbauweise. Die Stoffe Kupfer und Aluminium wurden in ähnlichem Ausmaß verbraucht, was sich durch ihre Anwendungsgebiete erklären lässt. So wird Kupfer v.a. in Rohren und elektrischen Leitungen eingesetzt, welche in der Ausstattung eines jeden modernen Gebäudes Standard sind. Aluminium findet hauptsächlich in Türen, Fenstern und Wand- oder Deckenkonstruktionen Anwendung. Ähnlich verhält es sich mit Glas. Eine genaue Aufstellung aller Ergebnisse findet sich in den folgenden Tabellen und Diagrammen.

Tabelle 4-3: Zusammenfassung des Materialaufwands für das gesamte Objekt „Einfamilienhaus Massiv“

Objekt	Masse
<i>Material</i>	<i>kg</i>
Stahl	5.473
Beton	385.752
Estrich	13.713
Keramische Materialien	61.460
Dämmstoffe	6.277
Kunststoff	216
Holz	6.275
Glas	796
Aluminium	56
Kupfer	247

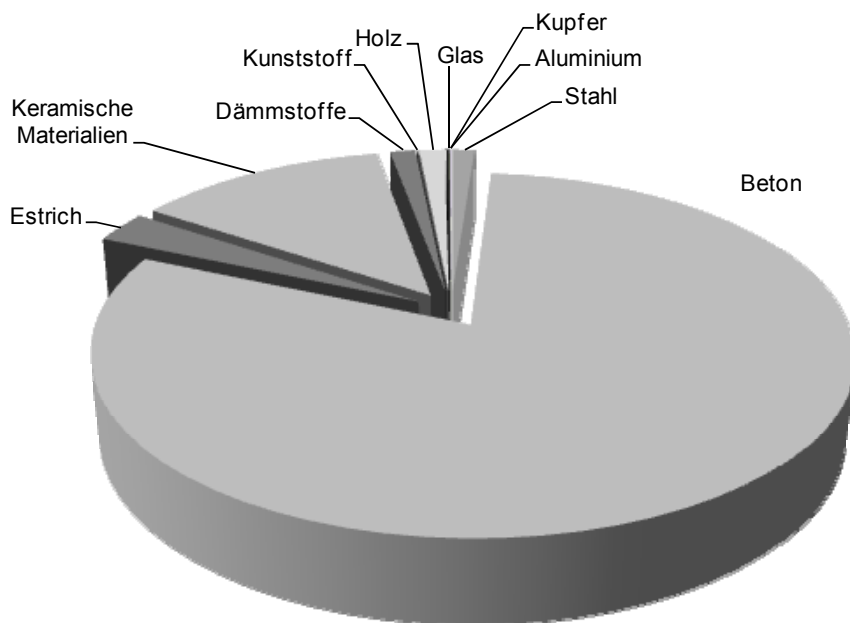


Abbildung 4-6: Graphische Darstellung des Materialaufwandes für das Objekt „Einfamilienhaus“

Tabelle 4-4: Zusammenfassung des Materialaufwands für das gesamte Objekt für den Fall „Mehrfamilienhaus Massiv“

Massiv	Masse
<i>Material</i>	<i>kg</i>
Beton	1650051
Kunststoffe	2031
Dämmstoffe	10728
Stahl	43500
Gipskarton	15300
Estrich, Putz, Spachtelung	15812
Glas	8600
keramische Werkstoffe	15004
Holz	15801
Sand, Kies	99000
Kupfer	150
Aluminium	186

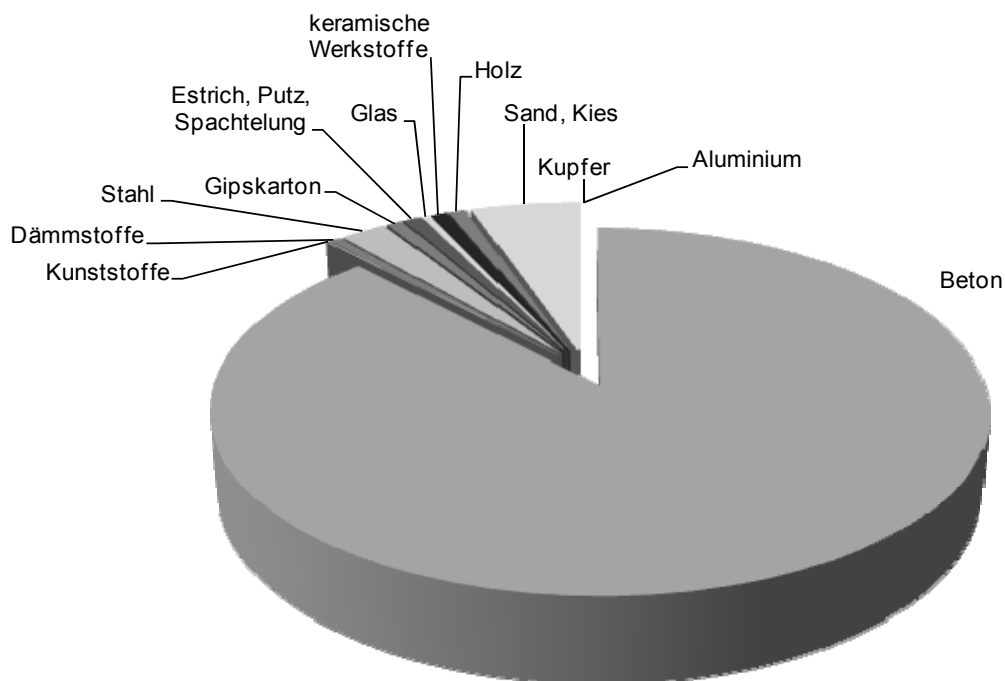


Abbildung 4-7: Zusammenfassung des Materialaufwands für das gesamte Objekt für den Fall „Massiv“

Tabelle 4-5: Zusammenfassung des Materialaufwands für das gesamte Objekt für den Fall „Mehrfamilienhaus Holzmassiv“

Holzmassiv	Masse
<i>Material</i>	<i>kg</i>
Beton	1650051
Kunststoffe	4797
Dämmstoffe	12105
Stahl	28410
Gipskarton	15300
Estrich, Putz, Spachtelung	5280
Glas	8600
keramische Werkstoffe	964
Holz	70715
Sand, Kies	132696
Kupfer	150
Aluminium	248

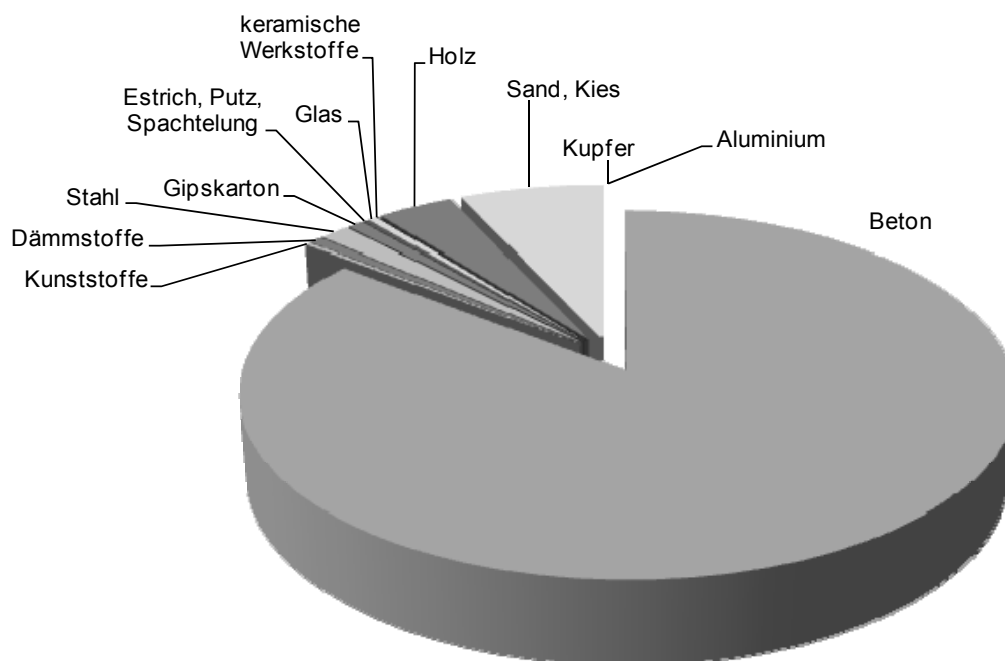


Abbildung 4-8: Zusammenfassung des Materialaufwands für das gesamte Objekt für den Fall „Holzmassiv“

4.1.2 Neue Materialien

Die klassischen Baumaterialien weisen nicht immer jene Eigenschaften auf, die notwendig sind, um komplizierte gestalterisch-technische Probleme zu lösen. Daher werden laufend neue Materialien entwickelt, die bessere funktionelle oder ästhetische Eigenschaften besitzen.

Einige Beispiele hierfür sind folgender Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 4-6: Beispiele für innovative Baumaterialien

Material	Beschreibung	Einsatz
Flüssiges Holz	Eine Mischung aus Kunststoffen und Holzfasern, die eine plastische Konsistenz aufweist und sich leicht in beliebige Formen bringen lässt	Möbelbau, Fassadenverkleidungen
Transparente Wärmedämmung	Gelartiger Kunststoff mit Hohlräumen, die entweder konstruktiv oder durch horizontal, parallel gelegte Fasern oder Röhren gebildet werden	Durch die erhöhte Lichtdurchlässigkeit wird eine direkte Sonnenbestrahlung von Außenbauteilen ermöglicht (die dunkel gestrichen werden), nach dem Prinzip des Treibhauseffektes werden so Wärmegewinne erzielt
Transparenter Beton	Leichtbeton mit ca. 5% in Querrichtung des Bauteils gelegten optischen Fasern, mit denen ca. 70% Lichtdurchlässigkeit erreicht wird	Innenbau
Intelligente Baumaterialien	Es handelt sich um eine sehr breite Palette von Materialien, in der Regel um Glas- oder Kunststoffe, die durch eine Modifizierung mit Nanotechnologien auf Umwelteinwirkungen reagieren (z.B. Temperatur und Lichtveränderung, erhöhter Brandschutz)	In allen Einsatzbereichen möglich; sehr oft in Fassaden (schmutzabweisend, sich ändernde Transparenz bei Änderung der Lichtintensität etc.)

Die Entwicklung neuer Materialien war sehr oft vom Zufall geprägt (z.B. die Entwicklung des Eisenbetons). Heute existiert eine Systematik zur Entwicklung neuer Materialien, die sich ei-

ner Reihe analytischer Methoden bedient, um einerseits die gewünschten Materialeigenschaften zu erhalten und andererseits die Entwicklung und Vermarktung des Materials innerhalb eines Systems von technisch-konstruktiven, ästhetischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zu ermöglichen.

Der Einsatz neuer Materialien ist von einer Reihe von Anreizen und Barrieren abhängig, die alle Aspekte des Lebens beinhalten. Folgende Abbildung veranschaulicht die Analyse über diese Anreize und Barrieren:

Tabelle 4-7: Anreize und Barrieren bei der Entwicklung neuer Materialien für das Bauwesen. Quelle: Glass, J.: 2008

Politischer Aspekt		Gesellschaftlicher Aspekt	
Anreize	Barrieren	Anreize	Barrieren
Normen des Bauwesen	Zu starre Gesetzgebung und Normung	Wachsendes Konsumentenbewusstsein	Regionalität: komplexe Hintergründe
Energiepolitik		Ausbildung- neue Studienrichtungen im	Fehlen von Know-How und Fachwissen
Strategien für nachhaltiges Bauen	Initiativlosigkeit in der Gesetzgebung	Themenbereich Nachhaltigkeit	Mangel an qualifizierte Arbeitskraft
Pläne für die Reduktion von Abfallmengen			
Pläne dem Klimawandel entgegenzuwirken			
Sicherheitsmaßnahmen			

Wirtschaftlicher Aspekt		Technologischer Aspekt	
Anreize	Barrieren	Anreize	Barrieren
Gebühren und Taxen (z.B. Deponiegebühren)	Gefahr vom Import, balancierter Handel	Anreize für Gebäude mit niedrigem Gehalt an Kohlenstoff	Fehlen von R&D Maßnahmen
Transportkosten	Negative Beurteilung seitens der Investoren	Carbon footprint	Kleine Veränderungen im Gebäudepark (Sekundärlager)
USt	Produktionskosten	Logistiklösungen, Zentren für Materialkonsolidierung	Materialkosten und Verfügbarkeit
Methoden für CO ₂ -Accounting	Energiekosten	Veränderungen motiviert durch Gesundheits- und Sicherheitsfragen	Fehlende Datenbasis und Aktualität
			Schlechte Spezifikation und Detailierung in der Ausschreibung

Die Hauptfragen, die man sich bei der Entwicklung neuer Technologien und im konkreten Fall neuer Materialien für das Bauwesen stellt, können wie folgt zusammengefasst werden (Glass, J. 2008):

- Was sollen die Materialien leisten können? (z.B. niedriger Kohlenstoffgehalt, robust sein, sich an Temperaturdifferenzen adaptieren können etc.)
- Was wird von Bau- und Konstruktionstechnik, Produktionsmethoden und Baustellen erwartet? (regionale Eigenversorgung, stärkere Berücksichtigung von Rahmenbedingungen, die außerhalb der reinen Bauproblematik liegen, wie z.B. Klimawandel, Treibhauseffekt etc.)

- Welcher Wissenstand wird vorausgesetzt? (IT-Kenntnisse, spezielle Fachkenntnisse über Spezifikation und Design)
- Was wird von Innovationen, R&D und Management erwartet? (revolutionär, Schaffung von Anreizen für Führungskräfte, um in Richtung einer radikalen Veränderung zu gehen)

Folgende Tabelle liefert einen Überblick über eine Reihe von Methoden, die einzeln oder in Kombination angewendet werden können, um neue Materialien zu entwickeln:

Tabelle 4-8: Übersicht der Methoden zum Prognostizieren neuer Technologien. Quelle: Cheng, A.C.: 2006

Methode	Erläuterung	Voraussetzungen
Delphi Methode	Diese Methode kombiniert Meinungen von Experten, die auf die Wahrscheinlichkeit konzentriert sind, die gewünschte Technologie zu realisieren, mit Meinungen von Experten, die sich mit der Zeit bis zur technischen Realisierung in den einzelnen Schritten beschäftigen	Alle Beteiligten sollen Experten auf dem konkreten Aspekt der gesuchten Technologie sein
Wachstumskurve	Diese Methode basiert auf die Ermittlung der Lebenszykluskurve der konkreten Technologie und kann eine Aussage über das prognostizierte Wachstum der Technologie machen und darüber, in welcher Phase des Lebenszyklus dieses Wachstum eintreten kann	1) Es muss eine entsprechende Datenbasis für eine längere Zeitperiode existieren, 2) der Lebenszyklus der Technologie soll bekannt sein
Die Case Study-Methode	Die Prognosen werden anhand bekannter Analysen von Entwicklungen in der Vergangenheit erstellt	Sie kann nur für komplexe Technologien mit wenigen Organisationseinheiten angewendet werden
Relevanzbäume	Diese Methode wird als ein Standardansatz betrachtet, in dem Ziele und Teilziele der gesuchten Technologie in einer baumartigen Form unterteilt werden	Die hierarchische Struktur der Technologie muss bekannt sein
Szenarien	Diese Methode liefert verschiedene Szenarien für die möglichen Entwicklungen einer Technologie, die auf Bedingungen und Annahmen ruhen	Die Szenarientwickler sollen Experten in allen Aspekten der gesuchten Technologie sein

Folgende Abbildung zeigt, wie die Methoden in einem vernetzten Modell getestet werden. Durch Ranking der vorbestimmten Prioritäten (Ebene der unten folgenden Abbildung – z.B. Verfügbarkeit der Daten, Aktualität der Daten etc.), werden die Methoden hinsichtlich der Eignung ihrer Reaktion auf unterschiedliche Rahmenbedingungen bei der Entwicklung der Technologie überprüft, wodurch sich letztendlich die bestgeeigneten Methoden ergeben sollen (Cheng, A-C.: 2006):

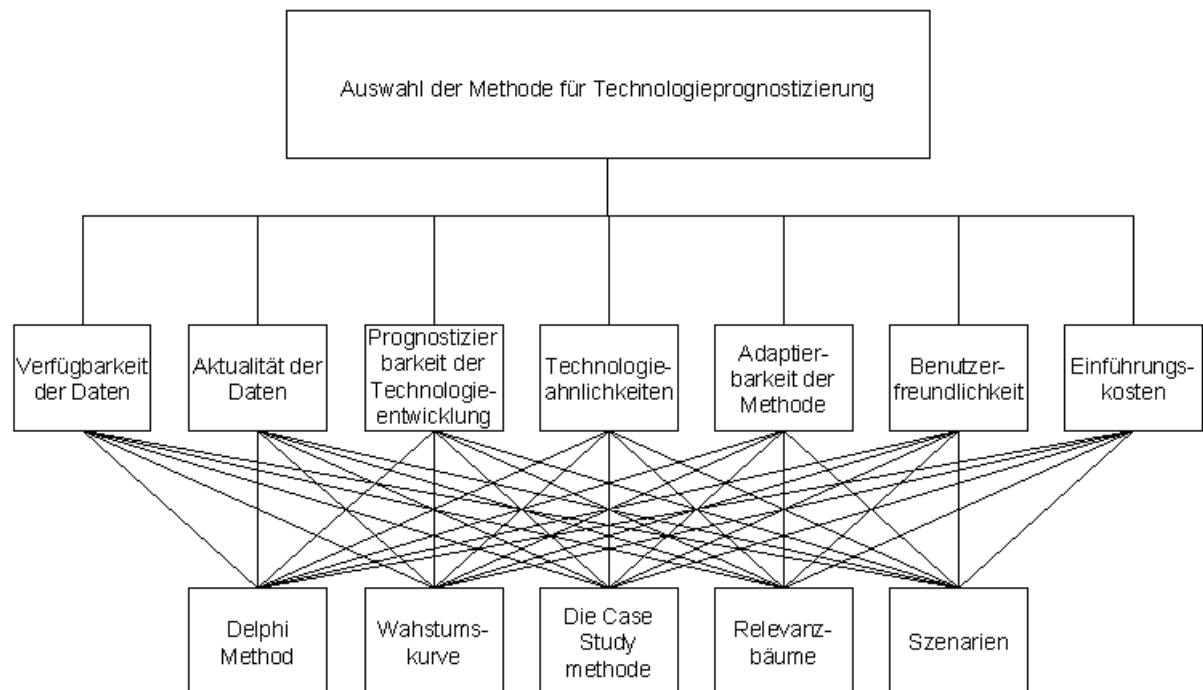


Abbildung 4-9: Analyse zur Ermittlung der bestgeeigneten Methode für Materialprognostizierung. Quelle: Cheng, A.-C.: 2006

4.1.3 Verbrauchstrends und Problematik

4.1.3.1 Zeitreihen des Materialverbrauchs im Bauwesen

Die statistische Datenlage in Österreich bietet keine ausreichende Basis, so dass die Entwicklung des Materialverbrauchs im Bauwesen genau verfolgt werden könnte.

Die Ergebnisse aus den durchgeführten Interviews über die Entwicklung und die aktuelle Lage in Österreich, korrelieren stark mit Studien über das Bundesland Steiermark und mit weiteren aus Deutschland und der Schweiz (Schachermayer et al. 2000, Weber-Blaschke 2005, Schneider und Rubli 2007). Wenn die Daten für Österreich nicht vorhanden sind, werden letztere als Grundlage für die qualitative Ermittlung der Zeitreihen herangezogen. Die quantitative Prognose für Österreich erfolgt aufgrund der vorhandenen statistischen Daten und den durchgeführten Interviews.

Werden die Prozesse der Materiallagerbildung im Bauwesen in den drei Ländern verglichen, ist ersichtlich, dass die Trends in den Bauweisen in vergleichbarem Ausmaß und zeitgleich stattgefunden haben. Für Österreich werden diese von (Lahner, 1995) bis zu den 70er verfolgt (Abbildung 4-10), Weber-Blaschke et al. betrachten Deutschland und Bayern als konkretes Beispiel (Weber-Blaschke et al., 2005) und (Schneider et al. 2007) erfasste die Stadt Zürich bis zum Anfang des 21. Jahrhunderts.

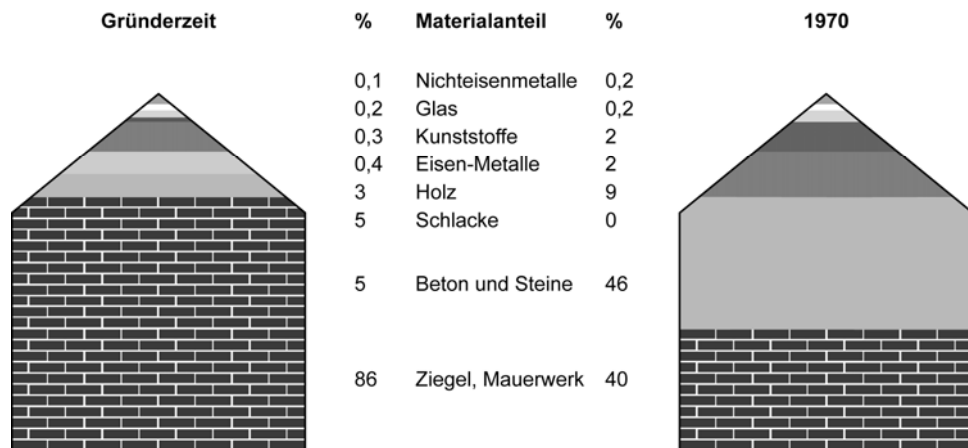


Abbildung 4-10: Veränderungen der Lagerzusammensetzung in Österreich am Beispiel eines Gründerzeithauses und eines Wohnhauses der 70er Jahre. Quelle: (Lahner 1995)

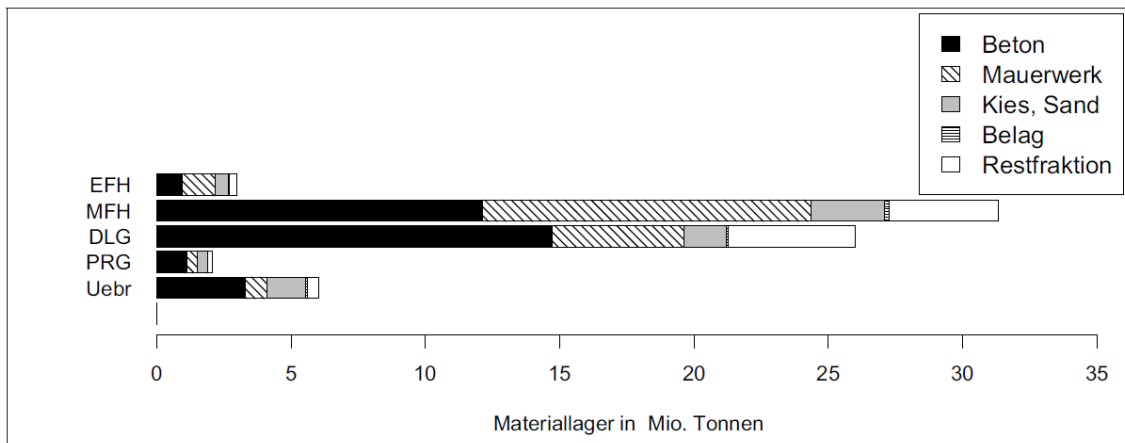


Abbildung 4-11: Materiallager der Stadt Zürich im Jahr 2005 nach Schneider und Rubli (2007). Die Abkürzungen stehen für: EFH – Einfamilienhäuser, MFH – Mehrfamilienhäuser, DLG – Dienstleistungsgebäude, PRG – Produktionsgebäude, Uebr – übrige

In Österreich gewann im Laufe der Zeit vor allem Beton im Bauwesen an Bedeutung. Während bei Häusern aus der Gründerzeit noch Ziegel (Mauerwerk) mit einem Anteil von 86% des verbrauchten Materials der dominante Baustoff ist, sinkt sein Anteil bei Häusern aus den 1970er Jahren auf 40%. Ziegel und Mauerwerk wurden von Beton verdrängt, dessen Anteil in dieser Zeit um 41% zunimmt. Schlacken sind im Lager eines Wohnhauses aus den 70er Jahren nicht mehr vorhanden. Des Weiteren ist eine leichte Zunahme der Materialien Holz, Eisen-Metalle und Kunststoffe zu erkennen.

Die Korrelationen der Prozesse des Bauwesens in den Referenzregionen sollen zusätzlich durch einen Vergleich der Bauweisen nach Zeitperioden untersucht werden.

Eine Übersicht über die Bauweisen in Österreich bis zu den 70er Jahren liefert das Forschungsprojekt LAUF (Glenck et al. 2000). Diese wird mit den Ergebnissen aus Bayern, Deutschland und der Stadt Zürich verglichen:

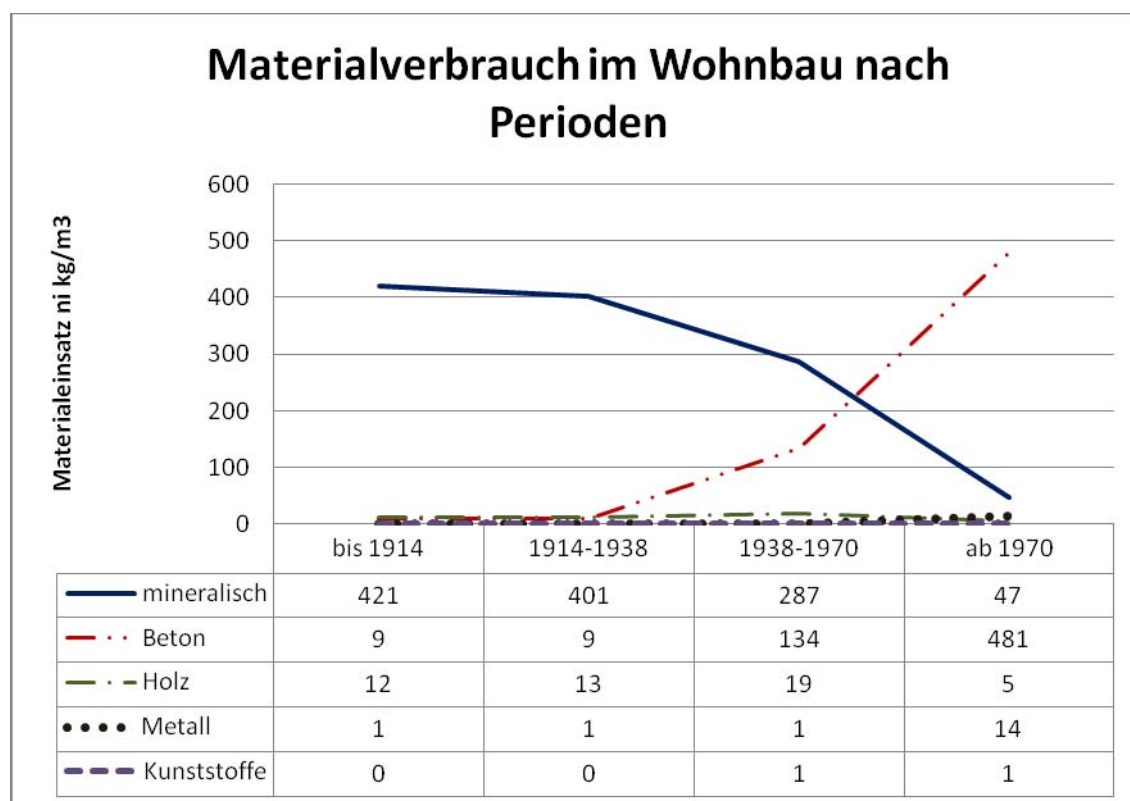


Abbildung 4-12: Materialverbrauch im Wohnbau für Österreich nach Zeitperioden bis zu den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts nach den Datenermittlungen von Büro Jereb aus 1998, zitiert im Forschungsprojekt LAUF der TU Wien (Glenck et al. 2000)

Bei der Betrachtung des Materialeinsatzes im Zusammenhang mit Zeitperioden am Beispiel der Studien aus Österreich (Abbildung 4-12), Zürich (Abbildung 4-13) und Deutschland (Abbildung 4-14) wird die oben angesprochene Entwicklung bestätigt. Auch in Zürich lag der Anteil an Mauerwerk in Gebäuden aus der Gründerzeit (1850-1914) noch über 70% und fiel bis zu den 1970er Jahren auf etwa 20% ab. Im Gegensatz dazu steigt in derselben Zeit der Verbrauch an Beton von etwa 5% auf 45%. Dass dieser Trend nicht nur auf die Schweiz zutrifft, zeigt ein Vergleich mit der Studie aus Österreich, in welcher ebenfalls ein Rückgang der mineralischen Baustoffe und ein Aufschwung des Betons ab dem Ende der Gründerzeit bis 1970 erkennbar ist.

Die Studie von Weber-Blaschke (2005) zum Materialeinsatz im Wohnbau in Deutschland und Bayern zeigt ein ähnliches Bild in Bezug auf das Mauerwerk (Ziegel, Fliesen, Stein, Mauer-

steine) und Beton, es stellt aber auch Entwicklungen anderer Baustoffe dar. So wurde in frühen Zeiten Lehm in geringen Mengen als Baustoff verwendet, während er heutzutage nicht mehr zum Einsatz kommt. Auch Holz wurde früher mehr eingesetzt als heute. Wenn man Gesamtdeutschland betrachtet wird deutlich, dass der Anteil von Mauerwerk mit der Zeit um etwa 20% abnimmt während Verbrauch an Beton um 30% zunimmt.

Bayern wurde in dieser Studie separat betrachtet. In Abbildung 4-16 ist zu erkennen, dass im frühen 20. Jahrhundert der Verbrauch von mineralischen Baustoffen jenem von Beton überwog. Dieses Verhältnis änderte sich jedoch stark bis zum Beginn des 21. Jahrhunderts. Bei dieser Grafik ist zu berücksichtigen, dass es sich um den Materialeinsatz in Mio. Tonnen handelt. Der kontinuierliche Anstieg beider Materialien ist durch die Zunahmen der Bauaktivitäten im Bereich Wohngebäude zu erklären. Der Bestand umfasste 1950 etwa 1 Million Wohngebäude und nahm bis 2003 auf 2,7 Mio. zu (Bayrisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung).

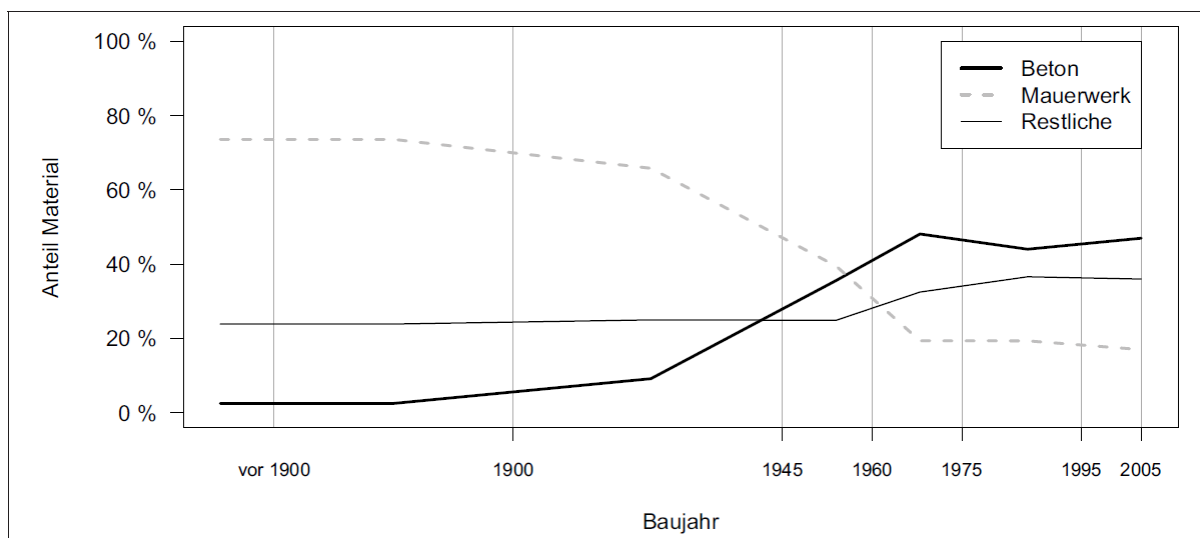


Abbildung 4-13: Materialeinsatz im Mehrfamilienwohnbau in Zürich. Die Gruppe „restlichen“ umfasst Materialien wie Holz, Metalle, Kunststoffe etc. zusammengefasst. Quelle: (Schneider und Rubli 2007).

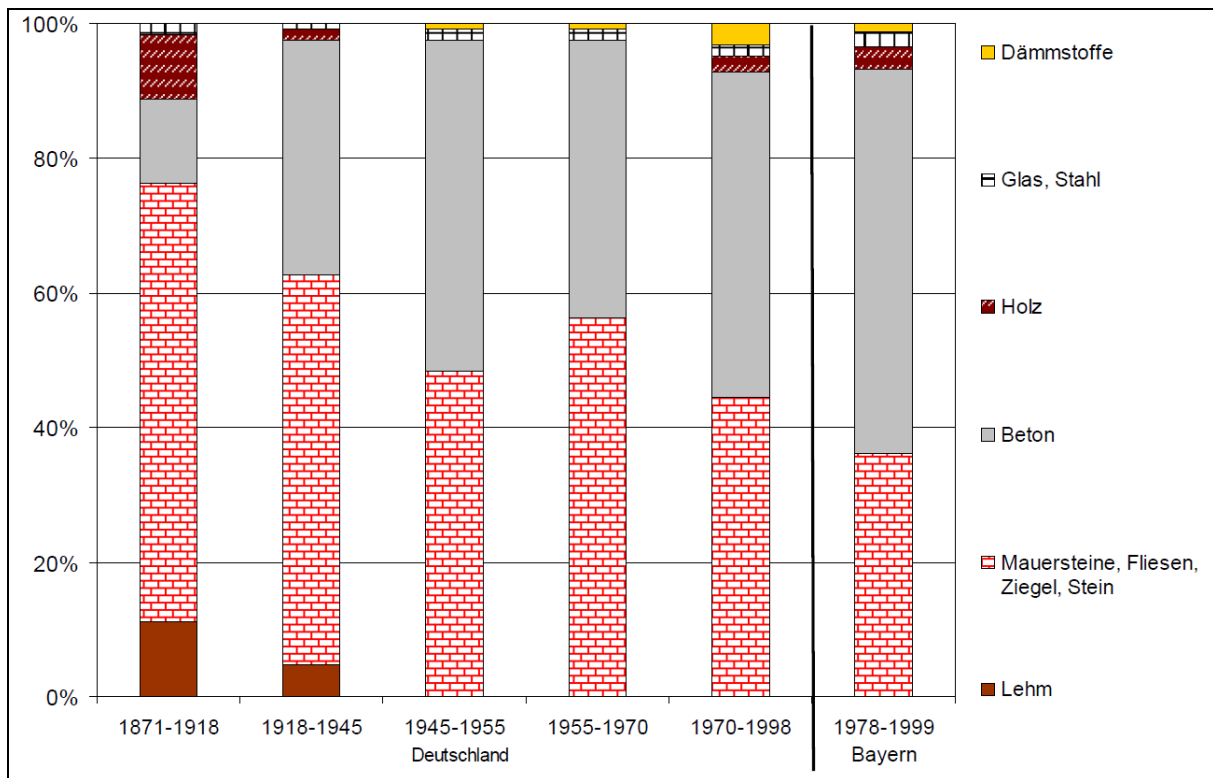


Abbildung 4-14: Materialeinsatz im Wohnbau in Deutschland für die Periode 1871-1998 und für Bayern für die Periode 1978 – 1999. Quelle: Weber-Blaschke (2005)

Eine weitere Erfassung der Bauweisen in Deutschland bietet eine Studie des Umweltzentrums Dortmund aus dem Jahr 1995:

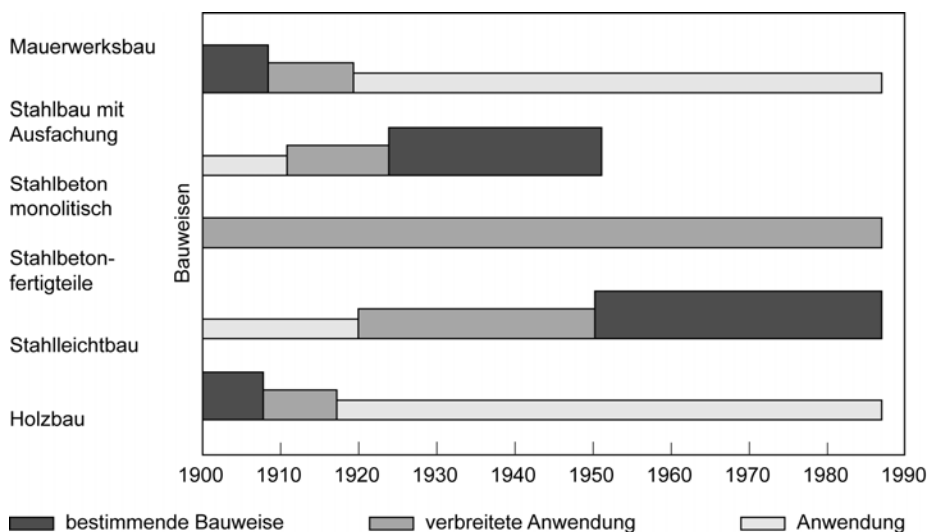


Abbildung 4-15: Schematische Übersicht über die Bauweisen in Deutschland ab 1900. Quelle: Umweltzentrum Dortmund GmbH (1995).

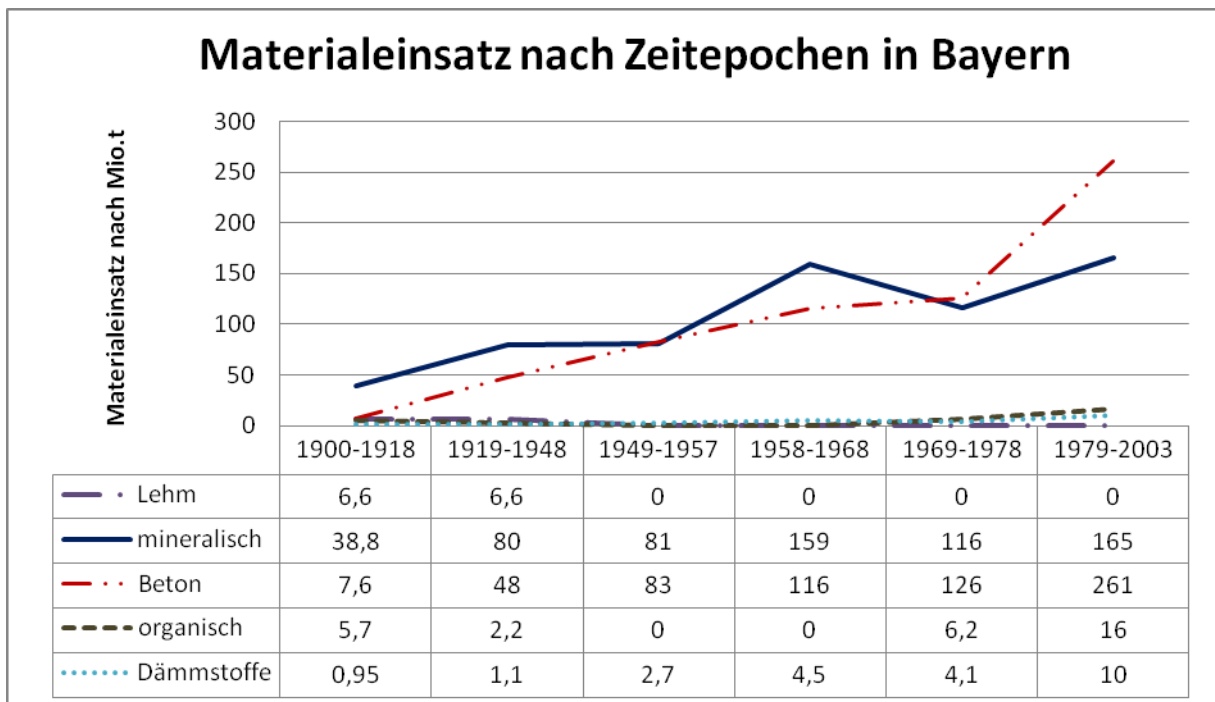


Abbildung 4-16: Materialeinsatz nach Zeitepochen in Bayern. Anmerkung zu den Materialgruppen: mineralisch: Mauerziegel, Fliesen, Gips; anorganisch: Stahl, Metalle, Glas; organisch: Holz, Kunststoffe; Dämmstoffe: Dämmstoffe, Bitumenerzeugnisse. Nach Weber-Blaschke (2005)

In Hinblick auf Entwicklungen ab den 1970er Jahren kann man davon ausgehen, dass sie die materiellen Prozesse im Bauwesen ähnlich verhalten wie in der Schweiz und in Deutschland. Dies wird auch durch Interviews mit Experten aus der Praxis und Forschung in Österreich bestätigt. Für die Recherche wurden sowohl Gespräche mit Vertretern der Wirtschaft (z.B. BauXund) als auch universitären Einrichtungen (z.B. Institut für Hochbau und Technologie) geführt. Eine vollständige Auflistung und Dokumentation der Interviews findet sich im Anhang.

4.1.3.2 Zukunftstrends des Materialverbrauchs im Bauwesen

Bei der Ermittlung des Verbrauchs von klassischen Materialien im Bauwesen zeigt sich ein konstantes, gleichmäßiges Wachstum bei fast allen Materialien. Eine signifikante Steigerung des Verbrauchs kann nur bei Holz, vor allem im Bereich Einfamilienhaus, beobachtet werden. Diese Tendenz wirft die Frage auf, wie weit diese Entwicklung gehen darf, bevor die Grenze erreicht wird, bei der der Zuwachs selbst nicht mehr ausreicht, um den Bedarf aller holznutzenden Industriebranchen zu befriedigen (vergl. Scale-up Kapitel 3.2). Das wird auch von der Studie der TU München über die Roh- und Baustoffströme in Bayern bestätigt, wo bis zum Jahr 2020 mit einem 5 – 10%igen Anstieg des Holzanteils am Gesamtmaterialverbrauch zu rechnen ist Weber-Blaschke (2005)

Die neuen Materialien stellen einen minimalen Anteil des Materialverbrauchs im Bauwesen dar (Ergebnisse von den Experteninterviews und von Baustellenbesichtigungen ergaben einen Einsatz von neuen Materialien unter 5% des gesamten Materialeinsatzes). Die Probleme, die durch ihre Anwendung auftreten, sind aber nicht mit ihrer Masse sondern i.d.R. mit ihrer Zusammensetzung verbunden. Obwohl eine Analyse der Methoden zur Entwicklung neuer Materialien mit vordefinierten Materialeigenschaften zeigt, dass die Trends zunehmend in Richtung der Materialien mit geschlossener Kreislaufwirtschaft (No Waste Materials) gehen, so sind die meisten in der Praxis neu angewendeten Materialien Verbundmaterialien. Diese Verbundmaterialien bestehen jedoch aus einem hohem Anteil an Kunststoffen, die zu einem sehr niedrigen Grad rezyklierbar sind und nur thermisch verwertet werden können oder gar deponiert werden müssen.

4.1.4 Liste der Baumaterialien

Folgende Tabelle liefert ein Überblick über die klassischen Materialien des Bauwesens. Die Tabelle ist in drei Ebenen aufgegliedert:

- 1) in die Hauptgruppen aller Materialien mit gleichen chemischen, konstruktiven oder funktionellen Eigenschaften (Natursteine, mineralische Werkstoffe, Dämmstoffe)
- 2) in Untergruppen, die das Material im Allgemeinen darstellen
- 3) in Beispiele für die Produktformen, in denen das konkrete Material auftreten kann.

Teilweise werden keine Beispiele angegeben, da die Produkte selbst eine vorwiegend reine Form des Materials darstellen (z.B. Aluminiumprodukte).

Die vorgeschlagenen Beispiele sind keine vollständige Darstellung der möglichen Produktformen, sondern sollen die häufigsten Anwendungen schildern.

Tabelle 4-9: Darstellung der klassischen Materialien im Bauwesen

Hauptgruppe		Hauptgruppe	
Natursteine		Mineralische Werkstoffe	
Untergruppe	Beispiele	Untergruppe	Beispiele
Kalkstein	Marmor, Kalktuffe	Mineralische Bindemittel	Zement, Kalk, Gips
Sandstein	Grauwacken, Konglomerate, Quarzit	Beton	Normalbeton, Leichtbeton, selbstverdichtender Beton, ultrahochfester Beton, Porenbetonsteine, Fertigbetonteile
Ton, Lehm, Bentonit		Mauerwerk	Mauerwerkziegel, Klinker, Pflastersteine, Schornsteinziegel
Tiefengesteine	Granit, Diorit	Spezielle Ziegel	Dachziegel, Steinzeugwaren, feuerfeste Baustoffe
Erdgussgesteine	Basalt, Porphyrit	Sanitärkeramik	Sanitärfliesen

Metamorphe Gesteine	Serpentinit, Gips	keramische Fliesen und Platten	Spaltplatten, Bodenklinkerplatten
Gesteinskörnung für Mörtel und Beton			

Hauptgruppe		Hauptgruppe	
Bauglas		Bindemittel, Putz und Estrich	
Untergruppe	Beispiele	Untergruppe	Beispiele
Flachglas	Floatglas, Drahtglas, selbstreinigendes Glas	Gipsbinder	
Sicherheitsglas	Einscheiben-, Sicherheitsglas, Verbundsicherheitsglas	Magnesiumbindemittel	
Isolierglas		Baukalke	Luftkalke, hydraulische Kalke
Profilbauglas und Pressglas	Glassteine, Betongläser, Glasdachsteine	Zement	Portlandzement, Hochofenzement, Flugaschenzement
Glasfasern	Textilglas, Glaswolle	Mauermörtel	
Schaumglas		Putzmörtel	
		Estriche	MG.Estrich, Ca-Estrich, Zementestrich, Gussasphaltestrich, Industrieestriche, Kunststoffestriche

Hauptgruppe		Hauptgruppe	
Klebstoffe, Spachtelmasse		Kunststoffe	
Untergruppe	Beispiele	Untergruppe	Beispiele
Klebstoffe		Plastomere	Polyolefine, Polyvinyle, Polyfluorcarbonate, Polyamide, lineare Polyester
Spachtelmassen	Spachtelputz, Kunstharzputz	duroplastische und vollsynthetische Kunststoffe,	Formaldehydharze, vernetzte Polyester, Epoxidharze, glasfaserverstärkte Kunststoffe, Polyurethane
Kitte	Leinölkitte, Glycerinkitte, Wasserglaskitt, Leimkitt, Sulfidablaugekitt, Phenolplastikkitt, Bitumenkitt etc.	Silikone	
Fugendichtstoffe	Silicon-Dichtstoffe, Polysulfid-Dichtstoffe, Acryl-Dichtstoffe, Polyurethan-Dichtstoffe	halbsynthetische Kunststoffe	Celluloseabkömmlinge, Zellglas, Kautschukabkömmlinge
		Elastomere	
		Geokunststoffe	

Hauptgruppe Metallische Werkstoffe		Hauptgruppe Holz und Holzwerkstoffe	
Untergruppe	Beispiele	Untergruppe	Beispiele
Gusseisen		Vollholzprodukte	Rundholz, Schnittholz, Massivholz, balkenschichtholz, Brett-schichtholz
Baustahl	Betonstahl, Spannstahl, Stahlerzeugnisse	Parkett	
Aluminium		Holzpfaster	
Kupfer		Besondere Holzbauteile	Nagelplatten-Binder, Holzrahmenbau
Blei		Holzwerkstoffe	Sperrholz, Spannplatten, Furnierholz, Faserplatten
Zink			
Zinn, Zink, Nickel, Titan, Magnesium			
Dämmstoffe		Textilien, Wand- und Bodenbeläge	
Untergruppe	Beispiele	Untergruppe	Beispiele
Wärmeschutz	Faserdämmstoffe, Schaumkunststoffe, mineralische Schaumstoffe, WDVS, Leichtbauplatten, Holzfaserdämmstoffe, Kork	Wandbeläge	Tapeten, Spannstoffe, Unterlagsstoffe
Schallschutz		Bodenbeläge	textile Bodenbeläge, elastische Bodenbeläge, Linoleum, Kunststoffboden
Brandschutz	Brandschutzspachtelungen		

4.2 Bewertungsindikatoren und Methoden für die Ressourceneffizienz im Bauwesen

Innerhalb dieses Schrittes wurden eine Literatursuche sowie Expertenbefragungen durchgeführt. Ziel war es, einen Überblick und eine Gegenüberstellung der existierenden Bewertungssysteme für Bauwerke und Baumaterialien zu schaffen und diese auf vorhandene Bewertungen von Materialien und Bauwerken hinsichtlich Ressourcenverbrauch und Effizienz zu untersuchen.

Weltweit existiert eine große Anzahl von Bewertungssystemen. Bedingt durch die regionalen Gesetzgebungen, sowie nationalen Schwerpunkte in der Politik der Nachhaltigkeit, setzten sich jedoch nur wenige international durch. In der folgenden Tabelle werden die derzeit bekanntesten Bewertungssysteme dargestellt.

Tabelle 4-10: Übersicht über wichtige Gebäudebewertungssysteme (Zertifizierungssysteme)

Bewertungssystem	Region	Indikatoren der Ressourceneffizienz
LEED	USA	Materialverbrauch, Recycling
BREEAM	Großbritannien	Verwendung von Recycling-Baustoffe
LEnSE	EU (Belgien)	Materialverbrauch, Deponiebedarf
SBTool07	Internationale Entwicklung	Materialverbrauch, Recycling
DGNB	Deutschland	nur energetische Indikatoren
TQ	Österreich	Verwendung von Recycling-Baustoffe, Trennbarkeit

Diese Analyse hatte als weiteres Ziel, die Defizite in den gängigen Bewertungen hinsichtlich Ressourceneffizienz und –verbrauch zu identifizieren. Anschließend wurden Bewertungsindikatoren entwickelt, die diese Defizite aufgreifen und verringern sollen. Dieser Schritt stellte sich im Laufe des Projektes als sehr wesentlich heraus und ist daher im Folgenden detaillierter dargestellt. Die Bewertungsindikatoren wurden mittels einer qualitativen Materialbilanz für die Region Österreich formuliert (siehe Abbildung 4-17; eine detaillierte Auflistung aller Parameter, die darin auftauchen und zur Berechnung der Indikatoren angewendet werden sind dem Anhang zu entnehmen).

4.2.1 Materialeffizienz

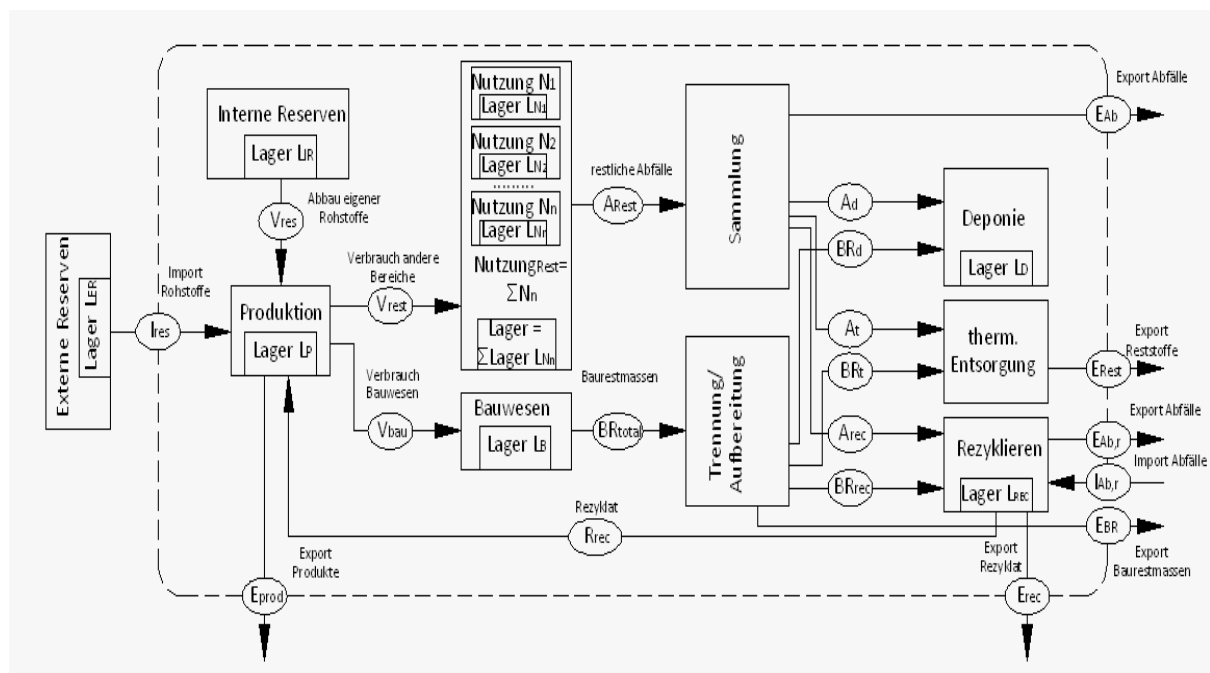


Abbildung 4-17: Güterflusssystem für die Region Österreich

Mittels des dargestellten Systembildes wurden die Hauptprozesse und Parameter bestimmt, die im Kreislauf eines Materials relevant sind.

Aus diesen Parametern werden die Zusammenhänge im Materialverbrauch ersichtlich. Die Indikatoren der Materialeffizienz werden aus diesen Zusammenhängen abgeleitet und durch die Parameter des dargestellten Systems mathematisch ausgedrückt.

Dabei gibt es drei Gruppen von Parametern: 1) solche, die im System präsent sind und direkt zur Ermittlung der Indikatoren dienen; 2) solche, die zusätzlich zu ermitteln sind (Literatur oder empirische Untersuchungen) und 3) solche, die zwar im System vorhanden sind, die für die Berechnung der Indikatoren jedoch nur indirekt relevant sind.

Tabelle 4-11: Parameter aus der qualitativen Materialbilanz, die direkt für die Ermittlung der Indikatoren relevant sind

Parameter	Einheit	Erklärung
L_{ER}	[t]	Externe Reserven (der Region zustehend)
$L_{ER} = L_{GR} * (E_{REG} / E_{GLOBAL}), \text{ wo}$		Globale Weltreserven
L_{GR}	[t]	Einwohnerzahl der Region
E_{REG}	-	Weltbevölkerung
E_{GLOBAL}	-	
L_{IR}	[t]	Interne Reserven der Region
L_P	[t]	Lager in der Produktion
$\sum L_{Nn}$	[t]	Gesamtes Sekundärlager
V_{total}	[t/a]	Gesamtverbrauch der Region
$V_{total} = V_{bau} + V_{rest}, \text{ wo}$		Verbrauch im Bauwesen
V_{bau}	[t/a]	Verbrauch außerhalb des Bauwesens
V_{rest}	[t/a]	
BR_{total}	[t/a]	Baurestmassen
BR_{rec}	[t/a]	Baurestmassen, die in das Recycling gehen
R_{rec}	[t/a]	Rezykliertes Material, das in das System zurückfließt

Tabelle 4-12: zusätzliche Parameter, die aus der Literatur zu entnehmen oder empirisch zu ermitteln sind und die direkt zur Ermittlung der Indikatoren herangezogen werden

Parameter	Einheit	Erklärung
ΔL	[t/a]	Lagerzuwachs (im Primär-, sowie im Sekundärlager)
f_{rec}	-	Faktor zur Berücksichtigung der Rezyklierbarkeit des Lagers
k_{ab}	-	Faktor zur Berücksichtigung des selektiven Abbaus
k_{tr}	-	Faktor für die Trennbarkeit
k_{tech}	-	Faktor für den Stand der Technik
k'	-	Faktor zur Berücksichtigung der Tendenzen im Verbrauch

Tabelle 4-13: Parameter aus der qualitativen Materialbilanz, die indirekt zur Ermittlung der Indikatoren relevant sind

Parameter	Einheit	Erklärung
I_{res}	[t/a]	Import
I_{abf}	[t/a]	Import von Abfällen für das Recycling
V_{res}	[t/a]	Verbrauch von eigenen Reserven
E_{prod}	[t/a]	Export von Produkten
E_{ab}	[t/a]	Export von Abfällen aus anderen Branchen (außer Bauwesen)
E_{rest}	[t/a]	Export von Reststoffen aus thermischer Behandlung
$E_{ab,r}$	[t/a]	Export von Abfällen für das Recycling
E_{BR}	[t/a]	Export von Baurestmassen
E_{rec}	[t/a]	Export von rezyklierten Materialien (Sekundärreserven)
A_{rest}	[t/a]	Abfälle von anderen Branchen (außer Bauwesen)
A_d	[t/a]	Abfälle aus andern Branchen (außer Bauwesen) die deponiert werden
BR_d	[t/a]	Baurestmassen, die deponiert werden
L_d	[t]	Materiallager in Deponien
A_t	[t/a]	Abfälle aus andern Branchen (außer Bauwesen) die thermisch entsorgt werden
BR_t	[t/a]	Baurestmassen, die thermisch entsorgt werden
A_{rec}	[t/a]	Abfälle aus andern Branchen (außer Bauwesen) die rezykliert werden
L_{rec}	[t]	Materiallager im Prozess Recycling

Im Laufe der Arbeit wurden vier relevante und aussagekräftige Indikatoren für die Bewertung der Ressourceneffizienz definiert:

Verfügbarkeit	Rezyklierbarkeit
Eigenversorgung	Scale- Up

Diese Indikatoren geben Auskünfte über die Eignung von Baumaterialien, die über die derzeit eingesetzten Bewertungsmethoden (z.B. OI3, TQ, LEED, BREEAM) hinausgehen. Die Anwendbarkeit der Indikatoren wurde exemplarisch anhand von Beispielen mit einzelnen Baumaterialien geprüft, wobei bei der Wahl der Materialien für Demonstrationszwecke die Datenverfügbarkeit und Datenqualität ausschlaggebend waren.

4.2.1.1 Verfügbarkeit

Der vorgeschlagene allgemeine Algorithmus für die Berechnung der Verfügbarkeit beruht auf der klassischen Berechnung der statischen Reichweite.

$$\text{Statische Reichweite [a]} = \frac{\text{Reserven[t]}}{\text{Verbrauch[t/a]}}$$

Es sind jedoch weitere Parameter vorhanden, die sich auf die Dauer der Verfügbarkeit eines Materials auswirken. Daher sollte dieser Indikator unter zusätzlicher Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen im anthropogenen Sekundärlager, der potenziellen Rezyklierbarkeit des Lagers und des Beitrags des Rücklaufs aus dem Recycling ermittelt werden.

$$V[a] = \frac{L_{ER} + L_{IR} + \sum L_{Nn} \cdot f_{rec} + L_P}{V_{total} - R_{rec} - \Delta L}$$

Als Beispiel für die Verfügbarkeit eines Baumaterials wurde für die Region Österreich das Material Aluminium verwendet.

Tabelle 4-14: Berechnung der Verfügbarkeit für Aluminium.

Quellen: BMLFUW: Beitrag der Abfallwirtschaft zum Aluminiumhaushalt Österreichs, 2003; U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>

Parameter	Bezeichnung	Wert
L_{ER} [t]	Externe Reserven (für Österreich)	17 Mio.t
L_{IR} [t]	Interne Reserven	0
L_P [t]	Lager in der Produktion (Annahme)	0
ΔL [t/a]	Lagerzuwachs (Sekundärlager)	81.890 t
R_{rec} [t/a]	Sekundäraluminium	80.000 t/a
$\sum L_{Nn}$ [t]	Gesamtes Sekundärlager	2.803.000 t
$V_{total} = V_{bau} + V_{rest}$ [t/a]	Gesamtverbrauch für das System Österreich	409.000 t/a
f_{rec}	Faktor zur Berücksichtigung der Rezyklierbarkeit des Lagers	0,85
Klassische statische Reichweite (für Österreich) [a]		42
Verfügbarkeit [a]		78

Das Beispiel Aluminium zeigt, dass die Einbeziehung des anthropogenen Lagers und der Rezyklierbarkeit eines Materials wesentliche Auswirkungen auf die Verfügbarkeit haben können (im Beispiel ändert sich die Verfügbarkeit von 42 auf 78 Jahre).

4.2.1.2 Rezyklierbarkeit

Um den Grad der Rezyklierbarkeit zu ermitteln, sind zwei Vorgehensweisen möglich. Entweder man setzt die Massen des stofflich rezyklierten Materials ins Verhältnis zum Materialinput in das System des Bauwesens Österreichs (Import und Inlandsproduktion), oder ins Verhältnis zum Materialoutput aus dem Bauwesen (Baurestmassen).

Da eine vollständige Dokumentation der eingesetzten Materialien für einzelne Bauwerke und ganze Siedlungen heutzutage nicht existiert, ist es praktisch nicht möglich, den Materialinput in das System zu definieren.

Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit der Grad der Rezyklierbarkeit als die Relation der Massen des rezyklierten Materials, die in das System zurück fließen, zu den Output-Massen des Materials nach Abbruch definiert. Je nach Festlegung der Systemgrenzen, kann die Rezyklierbarkeit innerhalb einer Region oder für ein konkretes Bauobjekt berechnet werden.

Der Grad der Rezyklierbarkeit ist am stärksten durch folgende drei Parameter des Recyclingprozesses beeinflussbar: 1) den Abbruch und die Abbruchweise, 2) die Sammlung und Aufbereitung und 3) dem Stand der Technik. Jeder dieser Parameter wird mit einem Faktor k berücksichtigt ($0 < k < 1$).

Daher gilt:

$$\begin{aligned}BR_{rec} &= BR_{total} \cdot k_{ab} \cdot k_{tr} \\R_{rec} &= BR_{rec} \cdot k_{tech} \\Rec &= \frac{R_{rec}}{BR_{total}}\end{aligned}$$

In folgender Tabelle sind die Ergebnisse der Rezyklierbarkeit für drei verschiedene Materialien des Bauwesens dargestellt.

Tabelle 4-15: Beispiele für die Rezyklierbarkeit von Baumaterialien:

Quellen: Bundesabfallwirtschaftsplan 2006, Statistik Austria, Holzbilanz 1999 bis 2003; Bayerisches Landesamt für Umwelt: Sonderauswertung zur Abfallbilanz 2002 – Erfassung und Entsorgung von Altholz, 2003; BMLFUW: Beitrag der Abfallwirtschaft zum Aluminiumhaushalt Österreichs, 2003; KSKB Kantonalverband Steine, Kies, Beton, Schweiz

		Holz [AT]		AI [AT]		Kies [CH]	
BR_{total}	Baurestmassen	Mio fm/a	9,7	t/a	17.000	Mio. t/a	11,9
BR_{rec}	Baurestmassen für Recycling	Mio fm/a	2,3	t/a	17.000	Mio. t/a	11,9
Rrec_{,bau}	rezykliertes Material Bau	Mio fm/a	0,17	t/a	15.900	Mio. t/a	9,52
k_{ab}	Faktor für den selektiven Abbau	-	0,8		0,9*		0,8*
k_{tr}	Faktor für die Trennbarkeit	-	0,3		0,9*		0,8
k_{tech}	Faktor für den Stand der Technik	-	0,23		0,94		0,8*
Rec_{,bau}	Grad der Rezyklierbarkeit Bau	%	5,5**	%	76,1	%	51

Anmerkung: mit * sind angenommene Werte gekennzeichnet, für die keine Werte in der Literatur gefunden wurden.

**Der Wert der Rezyklierbarkeit von Holz variiert in Abhängigkeit der Quellen und Daten, die für die Berechnungen einbezogen werden, zwischen ca. 2% (1,8 % in dem Berechnungsfall, der in der Tabelle dargestellt ist) und 7,5%.

Baumaterialien mit geringer Rezyklierbarkeit müssen nicht per se in einer Bewertung schlecht abschneiden. Trotzdem ist die Rezyklierbarkeit ein wesentlicher Indikator, der bei einer nur inputseitigen Betrachtung nicht erfasst wird.

4.2.1.3 Eigenversorgung

Mit diesem Indikator soll ausgedrückt werden, ob sich eine Region mit dem konkreten Material selbständig versorgen kann. Die Eigenversorgung ist wie folgt definiert.

$$E[\alpha] = \frac{L_{IR} + \sum L_{N_x} \cdot f_{rsc} + L_P}{V_{total} - R_{rsc} - \Delta L_{IR}} \quad E[\alpha] = \frac{L_{IR} + \sum L_{N_x} \cdot f_{rsc} + L_P}{V_{total} - R_{rsc} - \Delta L_{IR}}$$

Die Eigenversorgung gibt an wie viele Jahre sich eine Region mit einem bestimmten Material ohne Import versorgen kann. Im Falle von erneuerbaren Ressourcen (Lagerzuwachs ΔL) kann E negativ werden, was einen Überschuss im System bedeutet (unendliche Eigenversorgung möglich).

Tabelle 4-16: Berechnung der Eigenversorgung für Aluminium und Holz

Quellen: Statistik Austria, Holzbilanz 1999 bis 2003; Bayerisches Landesamt für Umwelt: Sonderauswertung zur Abfallbilanz 2002 – Erfassung und Entsorgung von Altholz, 2003; BMLFUW: Beitrag der Abfallwirtschaft zum Aluminiumhaushalt Österreichs, 2003; Statistik Austria (Hg.): Gebäude- und Wohnzählung – 2001, Bearbeitungsstand 2007, Statistik Austria, 2007

		Aluminium	Holz
Parameter		t/a	Mio fm (Stand 2003)
$L_{IR} [t] / L_{IR} [fm]$	Interne Reserven	0	1094,73
$\Delta L [t] / \Delta L [fm]$	Lagerzuwachs	81.890	31,4
$R_{rec} [t/a] / R_{rec} [fm/a]$	Beitrag des rezyklierten Materials	80.000	0,168
$\sum L_{Nn} [t] / \sum L_{Nn} [fm]$	Gesamtes Sekundärlager	2.803.000	31,25
$V_{total} [t/a] / V_{total} [fm/a]$	Gesamtverbrauch für das System Österreich	409.000	26,6
f_{rec}	Faktor zur Berücksichtigung der Rezyklierbarkeit im Lager	0,85	0,07
mögliche Eigenversorgung [a]		8	Überschuss

Die Ergebnisse für die Eigenversorgung für Holz und Aluminium zeigen, dass sich die Region Österreich beim derzeitigen Verbrauch beliebig lange mit Holz versorgen kann. Für Aluminium ist die Region sehr stark auf Importe angewiesen.

4.2.1.4 Scale- Up

Mit diesem Indikator können Prognosen gemacht werden, die veranschaulichen, wie sich die Materialverfügbarkeit für eine Region oder die Möglichkeit zur Eigenversorgung verändern würde, wenn sich der Verbrauch in einer oder mehreren Branchen ändert.

Die Bewertung mit diesem Indikator kann in zwei Richtungen durchgeführt werden:

- a) in einem offenen System (aufbauend auf dem Indikator Verfügbarkeit – siehe p.3.2.1.); hierin wird gezeigt, wie sich die Verfügbarkeit eines Materials ändert, wenn eines oder mehrere Industriegesegmente den Verbrauch um einen bestimmten Faktor verändern;

$$K_{scale}[a] = \frac{L_{ER} + L_{IR} + \sum L_{Nn} \cdot f_{rec} + L_P}{(\sum V_{rest} + k'_1 \cdot V_1 \dots + k'_n \cdot V_n) - R_{rec} - \Delta L}$$

Tabelle 4-17: Berechnungsbeispiel für Scale- Up von Aluminium bei Verdoppelung des Verbrauchs im Bauwesen

Quellen: BMLFUW: Beitrag der Abfallwirtschaft zum Aluminiumhaushalt Österreichs, 2003; U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2009, S.29, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity>

Parameter		Wert
L_{ER} [t]	Externe Reserven	17 Mio.t
L_{IR} [t]	Interne Reserven	0
L_P [t]	Lager in der Produktion	0
ΔL [t/a]	Lagerzuwachs (Sekundärlager)	81.890 t
R_{rec} [t/a]	Sekundäraluminium	80.000 t/a
$\sum L_{Nn}$ [t]	Gesamtes Sekundärlager	2.803.000 t
V_{rest} [t/a]	Verbrauch Rest	354.000 t/a
V_{bau} [t/a]	Verbrauch im Bauwesen	55.000 t/a
f_{rec}	Faktor zur Berücksichtigung der Rezyklierbarkeit im Lager	0,85
k'		2
$V[a]$	Verfügbarkeit	78
$Knappheit_{sclae}$ [a]	Berechnetes Scale- Up	64

In diesem Fall wird von einer Verdoppelung des Aluminiumverbrauchs in der Baubranche ausgegangen. Das Ergebnis zeigt, dass dadurch die Aluminium-Verfügbarkeit für Österreich von 78 auf 64 Jahre sinkt.

- b) in einem geschlossenen System (aufbauend auf den Indikator Eigenversorgung – siehe p.3.2.3); hierin wird gezeigt, ob und wie lange sich eine Region noch selbst versorgen kann, wenn weder Importe noch Exporte, sondern nur die eigenen Reserven und die Verbrauchsänderung in der Region berücksichtigt werden (Steigerung oder Stagnation des Verbrauchs in den ausschlaggebenden Industriebranchen).

$$K_{scale} [a] = \frac{L_{IR} + \sum L_{N_n} \cdot f_{rec} + L_P}{(\sum V_{rest} + k'_1 \cdot V_1 \dots + k'_n \cdot V_n) - R_{rec} - \Delta L}$$

Tabelle 4-18: Berechnungsbeispiel für Scale- Up von Holz (Region Österreich)

Quellen: Statistik Austria, Holzbilanz 1999 bis 2003; Bayerisches Landesamt für Umwelt: Sonderauswertung zur Abfallbilanz 2002 – Erfassung und Entsorgung von Altholz, 2003;

		Scale- Up 2011		Scale- Up 2016
		Mio fm (Stand 2003)	Mio fm	Mio fm
L_{IR} [fm]	Bestand	1094,73		
Δ L [fm]	Zuwachs (jährlich, Stand 2003)	31,4		
∑L_{Nn} [t]	Gesamtes Sekundärlager	k.A.	k.A.	k.A.
L_P	Lager in der Produktion	0	0	0
f_{rec}	Faktor zur Berücksichtigung der Rezyklierbarkeit im Lager	k.A.	k.A.	k.A.
V_{bau} [fm/a]	Verbrauch Bau	16,70	22,55	25,05
V_{en} [fm/a]	Verbrauch Energetisch	8,50	16,32	20,32
V_{rest} [fm/a]	Verbrauch Rest (Annahme: unverändert)	4,10		
k'bau	Verbrauchsfaktor Bau (Prognose, EMPA)	1,00	1,35	1,50
k'rest	Verbrauchsfaktor Energetisch (Prognose, interpoliert)	1,00	1,92	2,39
Kscale [a]	Selbstversorgung/Verfügbarkeit (regional, ohne Import)	Überschuss	78	53

Branchenberichte und Studien zeigen, dass im Holzhaushalt Österreichs der Verbrauch für energetische Nutzung und der Verbrauch im Bauwesen die ausschlaggebende Rolle spielen. Bei diesem Beispiel wurde der Verbrauch um die prognostizierten Faktoren in den beiden Bereiche Bau und Energie für die Jahre 2011 und 2016 angehoben. Die Ergebnisse zeigen, dass der jährliche Holzzuwachs diesen Mehrverbrauch nicht mehr ausgleichen kann und es somit zu einer Knappheit käme. In diesem Fall spiegelt der Indikator Scale- Up die begrenzte Verfügbarkeit von Holz wider.

4.2.2 Energieeffizienz

Neben der Materialeffizienz, ist die Energieeffizienz über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden der zweite Hauptaspekt in der allgemeinen Ressourceneffizienz im Bauwesen.

Die Energieeffizienz im Bauwesen kann andererseits anhand einigen etablierten Indikatoren betrachtet und bewertet werden: Energieverbrauch während des Gebäudebetriebes, graue Energie bei der Materialherstellung, Energieaufwand für Abbruch, Entsorgung und Recycling.

4.2.2.1 Energieverbrauch während des Gebäudebetriebes

4.2.2.1.1 Energiestandards

Der Energiebedarf während des Gebäudebetriebes ist durch verschiedene Energiekennzahlen definiert. In den letzten Jahrzehnten sind darauf basierend eine Reihe von Strategien und Standards entwickelt und umgesetzt worden, die als Ziel die Minimierung des Energiebedarfs und Energieverbrauchs während des Gebäudebetriebs haben. Im deutschsprachigen Raum sind diese ähnlich definiert und aufgebaut, weisen jedoch länderspezifische Unterschiede auf.

Folgende Abbildungen liefern eine Übersicht über die Entwicklung der Energiestandards in den letzten Jahrzehnten in a) Deutschland und b) Österreich:

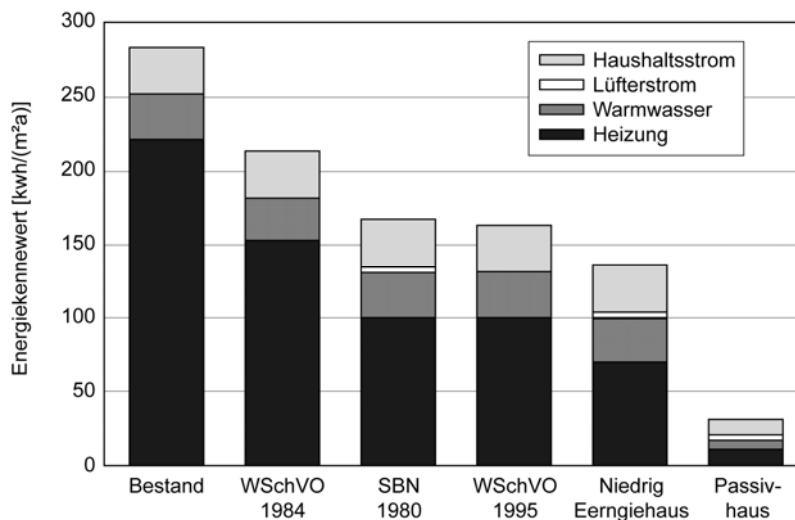


Abbildung 4-18: Vergleich von Energiekennwerten von Wohngebäuden in Deutschland. Quelle: (online, http://www.a1passivhaus.de/passivhaus_definition.htm)

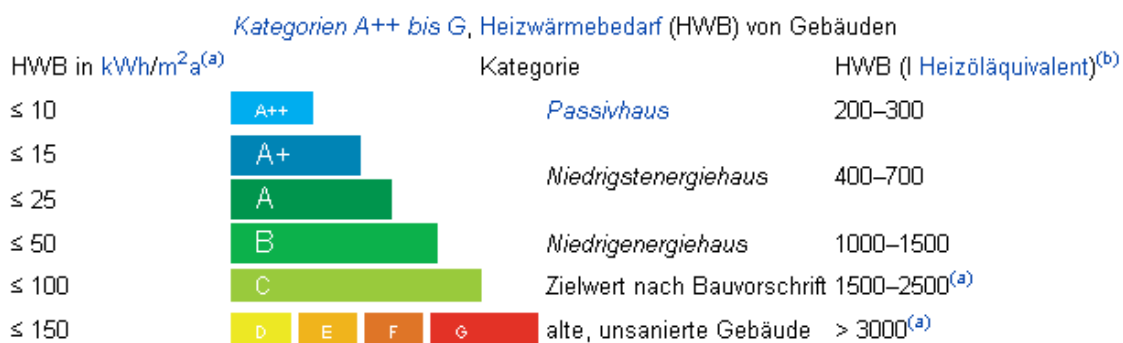


Abbildung 4-19: Energiestandards in Österreich nach ÖNORM H 5055 Energieausweis für Gebäude

Die zwei wichtigsten EnergieStandards für Neubauten aktuell sind das Niedrigenergiehaus und das Passivhaus. Als Faustregel für die Einstufung eines Gebäudes gilt der Heizwärmebedarf (HWB) in kWh/m²a. Ein Niedrigenergiehaus darf einen HWB größer als 50 kWh/m²a [ÖNORM H 5055] bzw. als 70 kWh/m²a (www.a1passivhaus.de), ein Passivhaus einen HWB größer als 15 kWh/m²a nicht aufweisen [PP-6,PP-8].

In Deutschland wird der Niedrigenergiehausstandard durch die Energieeinsparverordnung (EnEV) in der Novellierung vom 1. Oktober 2009 geregelt. Bei einem Niedrigenergiehaus muss der nach EnEV für das Gebäude maximal zulässige Primärenergiebedarf [Q_p (kWh/m²a)] um mindestens 20 % und der maximal zulässige spezifische (auf die Hüllfläche als wärmeübertragende Gebäude-Umfassungsfläche bezogene) Transmissionswärmeverlust

[H't (kWh/m²a)] (EnEV Anhang 1 Tabelle 1) um mindestens 30 % unterschritten werden. Die Gebäude müssen mit einer definierten Be- und Entlüftung (mechanischen Be- und Entlüftungsanlage) ausgerüstet werden.

Der Passivhaus-Energiestandard ist eine Weiterentwicklung des Niedrigenergiehaus-Standards und wird wie folgt definiert: „Ein Passivhaus ist ein Gebäude, in welchem die thermische Behaglichkeit (ISO 7730) allein durch Nachheizen oder Nachkühlen des Frischluftvolumenstroms, der für ausreichende Luftqualität (DIN 1946) erforderlich ist, gewährleistet werden kann – ohne dazu zusätzlich Umluft zu verwenden.“

Ein weiterer Passivhaus-Standard, der PPHP-Standard des Passivhaus Institutes (Qualitätsgeprüftes Passivhaus), definiert die Anforderungen an das Passivhaus wie folgt [PP-6]:

- Energiekennwert Heizwärme max. 15 kWh/(m²a) oder Heizwärmelast max. 10 W/m²
- Drucktestluftwechsel ist bei 50Pa Druckdifferenz kleiner als 0,6h⁻¹
- Energiekennwert der gesamten Primärenergie max. 120 kWh/(m²a) inkl. Haushaltsstrom

Für Nichtwohngebäude gilt zusätzlich [PP-8]

- Energiekennwert Nutzkälte max. 15 kWh/(m²a)
- sowie allfällige Sonderbedingungen für vom kühl-gemäßigtem Klima Europas abweichende Standortbedingungen und Sonderfälle der Gebäudenutzung

In Österreich sind die Standards für Niedrigenergiehaus und Passivhaus durch die ÖNORM H 5055 *Energieausweis für Gebäude* geregelt. Der Passivhaus-Energiestandard ist darüber hinaus in den aktuellen klima:aktiv Gebäudestandard übernommen. Der klima:aktiv Passivhaus-Energiestandard setzt zusätzlich bis ca. 60% auf den Anforderungen des PPHP-Standards auf. Somit gilt [pp-10]:

- Bedarf Heizung, Warmwasserbereitung sowie Hilfsstrom für Heizung und Lüftung (Heizenergiebedarf HEB und Raumluftechnikenergiebedarf RLTEB) ≤ 65 kWh/m²WNFa
- Heizwärmebedarf (HWB) ≤ 15 kWh/m²WNFa
- Luftdichtheit n₅₀ ≤ 0,6 h⁻¹
- Komfortlüftung optimiert (nach Vornorm ÖNORM H 6038 oder DIN 1946)

4.2.2.1.2 Bauweisen

Die technischen Möglichkeiten, um beide EnergieStandards zu erreichen- den Niedrigenergiehaus-Standard und den Passivhaus-Standard – sind in jeder üblichen Bauweise gegeben.

Die Bauweisen, die im privaten- und Gemeindewohnbau, am häufigsten vorkommen sind: Massivbauweise, Holzbauweise (oder Leichtbauweise) und die gemischte Holz-Massivbauweise.

Die Zweckmäßigkeit und die Vor- und Nachteile jeder dieser Bauweisen sind ein intensives Diskussionsthema und Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Studien und Publikationen über Praxiserfahrungen.

Die Leichtbauweise setzt sich vorwiegend im Bereich des privaten Wohnbaus bei Einfamilienhäusern durch und die Massiv- oder Holz-Massivbauweise bei größeren Wohnbauobjekten, Gewerbe- und Bürobauten.

Besonders bei größeren Objekten weist die Massiv- oder Holz-Massivbauweise deutliche Vorteile auf und ist in Fällen mit anspruchsvoller Ausführung sogar die einzige Bauweise, durch die die Anforderungen an den Energiestandards zu erreichen sind. Der Grund dafür ist die Speicherkapazität, die der Massivkern aufweist und somit wesentlich zu den Energiekennzahlen beiträgt.

Diese Unterschiede werden durch eine Studie über die Messergebnisse aus der Passivhausschule in Frankfurt - Riedberg belegt, wo Schulen in Passivbauweise verglichen werden. Die Schule in Massivbauweise weist verglichen mit der Schule in Leichtbauweise eine bessere Raumlufttemperatur über das Jahr auf, die durch die Pufferfunktion des Massivkerns erreicht wird [26].

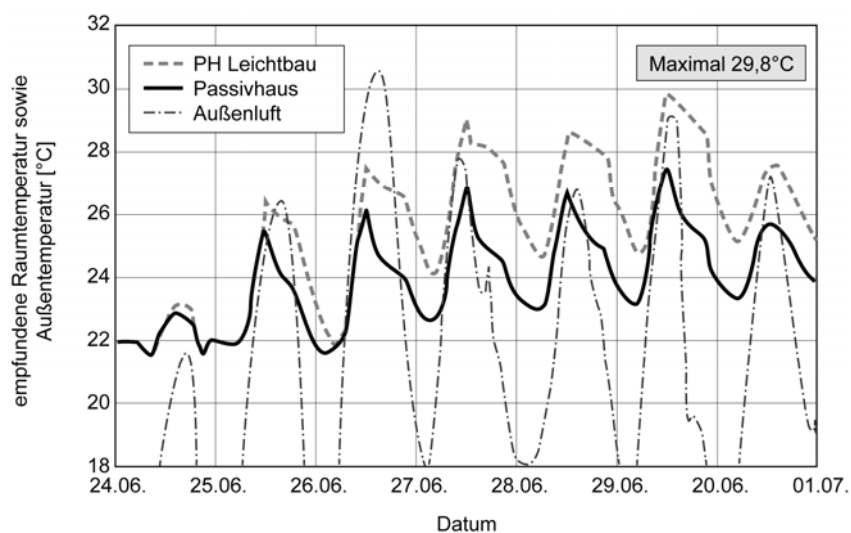


Abbildung 4-20: Vergleich der sommerlichen Raumtemperaturen beim Schulbau als Leichtbau (grau mit Kreisen) und als Massivbau (schwarz mit Rautensymbol), beides in Passivhaus-Standard: Unter sonst identischen Randbedingungen verhält sich der Massivbau ruhiger und erreicht nur geringere Temperaturen. Durch die zeitweise Belegung gibt es in Schulen eine hohe instationäre Wärmelast (Peper et al. 2007).

4.2.2.2 Graue Energie der Herstellung

Zahlreiche Beispiele aus der Praxis zeigen, dass Materialrecycling und der Einsatz von rezykliertem Material in der Herstellung von neuen Produkten eine signifikante Reduktion der Herstellungsenergie bewirken kann. Folgende Tabelle zeigt die Energieeinsparung in Prozent gegenüber der Herstellung aus Rohmaterial für einige Materialien.

Tabelle 4-19: Vergleich über die Energieeinsparung bei der Herstellung von Materialien aus Primärressourcen und recycelten Sekundärressourcen (Stauffer 1989)

	Herstellungsenergie für Herstellung an Rohmaterialien [mio Btu/t]	Energieeinsparung durch Herstellung aus Recyclingmaterial [%]
Aluminium	250	95
Kunststoffe	98	88
Zeitungspapier	29,8	34
Pappe	26,5	24
Glas	15,6	5

4.2.2.2.1 Analyse des Betonherstellungsprozesses

Um den Energieaufwand bei der Betonherstellung verfolgen zu können, ist es notwendig die energierelevanten Schritte des Produktionsprozesses von Beton zu kennen.

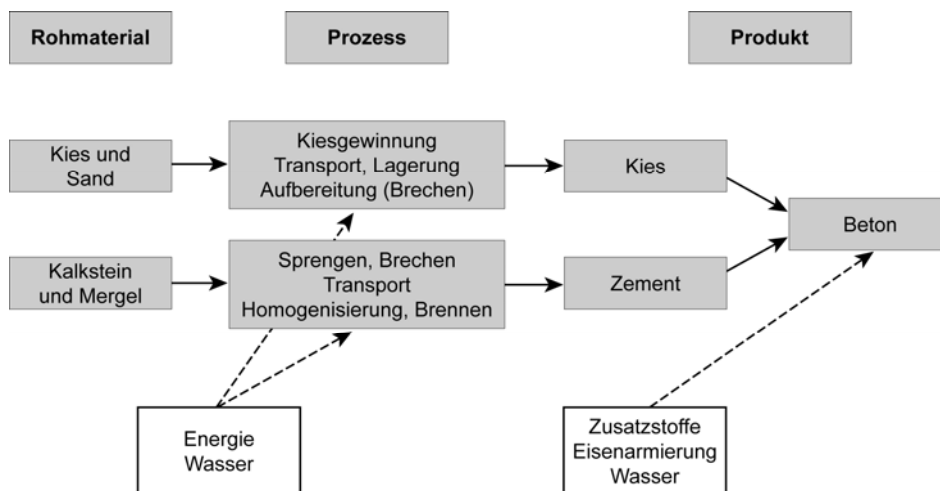


Abbildung 4-21: Übersicht über die wichtigsten Materialien und Prozesse bei der Betonherstellung (Güttinger, Kasser 2009)

Im Fall von Recyclingbeton, stehen in der oberen Prozessreihe: Abbruchmaterial als „Rohmaterial“, Brechen und Aufbereiten als „Prozesse“ und Betongranulat und Recyclingsand als „Produkt“. Der Energieaufwand für die Herstellung von Recyclingbeton ist somit eine Funktion der:

- Zementgehaltes und seine Graue Energie
- der Grauen Energie der Prozesse „Brechen und Aufbereiten“
- Zusatzstoffe und der entsprechenden Grauen Energie

Graue Energie in der Herstellung von Recyclingbeton

Studien über mineralische Baumaterialien und speziell über Recyclingbeton können auf den ersten Blick keinen energetischen Vorteil in der Produktion von Recyclingbeton gegenüber der Herstellung von Normalbeton aufweisen.

Tabelle 4-20 demonstriert die Ergebnisse aus dem Katalog „Graue Energie von Baustoffen“, erstellt von dem Büro für Umweltchemie in Zürich in Zusammenarbeit mit econum GmbH, die mit den Ergebnissen aus dem „Ökologischen Bauteilkatalog“ des Österreichischen Institut für Baubiologie- und Ökologie verifiziert wurden.

Tabelle 4-20: Katalog „Graue Energie der Baustoffe“: der ermittelte Energieaufwand für die Aufbereitung von Betongranular, Mischgranulat und Recyclingsand ist vergleichbar groß mit jenen für die Gewinnung und Aufbereitung von Primärzuschlag (Sand, Kies, Zement). (Umweltchemie, econum GmbH, online)

Bauteil	Material	Graue Energie	
Beton	Leichtbeton mit EPS	3.74	MJ/kg
	Betonfertigteile (2 Vol.-% Stahl)	1.85	MJ/kg
	Stahlbeton (2 Vol.-% Stahl)	1.55	MJ/kg
	Normalbeton / Recyclingbeton	0.85	MJ/kg

Diese Ergebnisse werden von Weil et al. [2006][30] bestätigt. Drei Recyclingbetonsorten werden zwei Primärbetonsorten gegenübergestellt. Die Bewertung des Herstellungsprozesses erfolgt anhand der Indikatoren:

- Verbrauch von mineralischen Rohstoffen (ohne Energieträger)
- kumulierter Energieaufwand (Graue Energie)
- Treibhauspotenzial.

Der Vergleich zeigt, dass nur eine der drei Recyclingbetonsorten (3) einen, dem Primärbeton (4) entsprechenden Energieaufwand aufweist bzw. einen niedrigeren Energieaufwand bedeutet als die Primärbetonsorte mit Naturschotter (5).

Die anderen beiden Recyclingbetonsorten (1,2) weisen eine wesentlich höhere Graue Energie auf als die Primärbetonsorten.

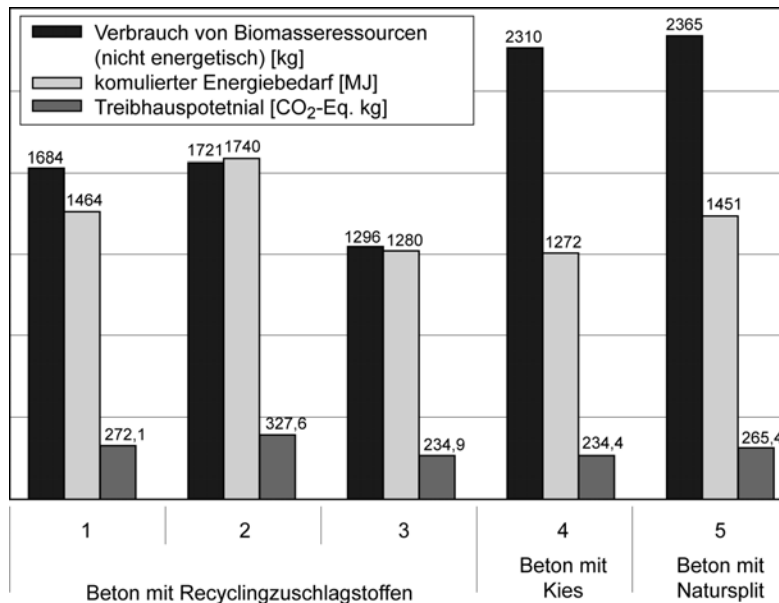


Abbildung 4-22: Vergleich der Ergebnisse aus der ökologischen Bewertung von Beton mit und ohne Recyclingbetongranulat (pro m³ Beton) (Weil et al. 2006)

4.2.3 Schlussfolgerungen über die Ressourceneffizienz im Bauwesen

Wie aus der Abbildung 4-22 ersichtlich, wirken sich unter dem Aspekt der Grauen Energie die Herstellung und der Einsatz von Recyclingbeton mit dem heutigen Stand der Technik negativ auf die allgemeine Ressourceneffizienz von Bauwerken aus. Wenn man aber den Energieaufwand während des Gebäudebetriebes betrachtet, kann sich ein positives Bild für den Recyclingbeton ergeben (siehe Punkt 4.2.2.1.2.).

Was aus Abbildung 4-22 noch ersichtlich ist und als Hypothese durch die Indikatoren der Materialeffizienz (Punkt 4.2.1) nachgewiesen wurde, leistet der Einsatz von Recyclingbaustoffen einen Beitrag zum stofflichen Recycling und zur Schonung von nichtenergetischen natürlichen Ressourcen im Bauwesen. Bei allen 3 Betonarten mit Recyclingzuschlagstoffen ist der Verbrauch von Biomasseressourcen deutlich geringe als bei der Herstellung von Beton mit Kies oder mit Natursplitt. Betrachtet man den kumulierten Energiebedarf sieht man, dass sich je nach Art des Recyclingbetons die Werte über jenen der Primärproduktion liegen. Ähnlich verhält sich der Indikator Treibhauspotential.

4.3 Analyse des klassischen Planungsprozesses und des Generierungsprozesses der materiellen Information im Bauwesen

Im folgenden Abschnitt werden im Bauwesen eingesetzte Instrumente zur Erfassung von Gebäuden vorgestellt und genauer beschrieben. Ein Merkmal der klassischen Planung ist, dass die materielle Information während unterschiedlicher Phasen und durch unterschiedliche Akteure generiert wird. Eine Zusammenfassung der Erkenntnisse ist im Teilbericht der Action 7.4 in Kapitel 3.2.1 zu finden.

4.3.1. Begriffe und Definitionen

Im BVergG (Bundesvergabegesetz) werden die Hauptbegriffe des Vergabewesens wie folgt definiert (Gast, G., Czernich, D.2004):

- **Bauwerk** – Das Bauwerk ist das Ergebnis einer Gesamtheit von Tief- und Hochbauarbeiten, das seinem Wesen nach eine wirtschaftliche oder technische Funktion erfüllen soll. Es umfasst daher das Erstellen eines funktionsfähigen Ganzen (Gebäude, Straße etc.), das bis zur letzten Ausbau- und Installationsphase vollendet ist
- **Bauftrag** – darunter versteht man entgeltliche Verträge mit folgenden Vertragsgegenständen
 - Ausführung oder gleichzeitige Planung und Ausführung von Bauvorhaben
 - Ausführung eines Bauwerks
 - Erbringung einer Bauleistung durch Dritte gem. dem öffentlichen Auftraggeber
- **Bauvorhaben** – Das Bauvorhaben ist der umfassendste Begriff in der Aufzählung, der neben der Erstellung eines Bauwerkes auch andere Bauleistungen berücksichtigt (Umbauten, Instandsetzungen etc.). Ein Bauauftrag ist daher auch die Ausführung von einem so definiertem Bauvorhaben, oder seine gleichzeitige Planung und Ausführung

4.3.2. Vergabe - Gesetzliche Grundlagen

Die Vergabe, Vertragsgestaltung und Abwicklung von Bauprojekten in Österreich wird im Wesentlichen durch folgende rechtliche Instrumente geregelt:

- Das Bundesvergabegesetz (BVergG)
- Landesvergabegesetze
- Die Verdingungsnormen (Önormen/Enormen)
- Technische Normen (Önormen/Enormen)

Mit dem Inkrafttreten des Bundesvergabegesetzes am 1.7.2003 wurden die bis dahin geltenden Landesvergabegesetze außer Kraft gesetzt. Nach diesem Datum verblieben den Ländern nur die Regelungen des Verfahrens der Vergabenachprüfung. Diese lauten wie folgt (Gast,G., Czernich, D.2004):

- Burgenländisches Vergabe-Nachprüfungsgesetz
- Kärntner Vergaberechtschutzgesetz
- NÖ Vergabe- Nachprüfungsgesetz
- OÖ Vergabe- Nachprüfungsgesetz
- Salzburger Vergabekontrollgesetz
- Steiermärkisches Vergabe-Nachprüfungsgesetz
- Tiroler Vergabenachprüfungsgesetz
- Vorarlberger Vergabenachprüfungsgesetz
- Wiener Vergaberechtschutzgesetz

Ein weiteres Instrument für die Regelung der Abwicklung von Bauvorhaben sind die Normen. Die Normen sind qualifizierte Empfehlungen, deren Anwendung im Prinzip freiwillig ist. Jedoch sind sie eine wesentliche Voraussetzung für die Lösung technischer und wirtschaftlicher Aufgaben. In besonderen Fällen können sie durch den Gesetzgeber als verbindlich erklärt werden. In diesen Fällen ist ihre Einhaltung zwingend. Sie stellen den Stand der Technik dar und bilden generell die Basis für geordnete Abläufe in allen Bereichen der Technik und Wirtschaft. (www.on-norm.at)

Im Kontext der Untersuchung der Generierung der materiellen Information (MI) im Planungsprozess sind die Normen des Verdingungswesens entscheidend. Diese regeln die Vergabe und Vertragsabwicklung von immateriellen und materiellen Leistungen und besonders von Bauleistungen. Die Leitnorm für die inhaltliche Gestaltung von Bauaufträgen ist die ÖN B 2110 „Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm“. Weiterhin sind folgende Normen zu berücksichtigen (Schwarz,H., Reckerzügl, W.:2007):

Verfahrensnormen:

- A 2050, A 2051 – Vergabe von Aufträgen
- B 2061 – Preisermittlung von Bauleistungen
- B 2062 – Aufbau standardisierte Leistungsbeschreibungen
- B 2063 – Ausschreibung, Angebot und Zuschlag

Vertragsnormen:

- B 2110 – Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen
- B 2114 – Vertragsbestimmungen bei automationsgestützter Abrechnung von Bauleistungen

Übersicht über die ÖNORMEN des Verdingungswesens

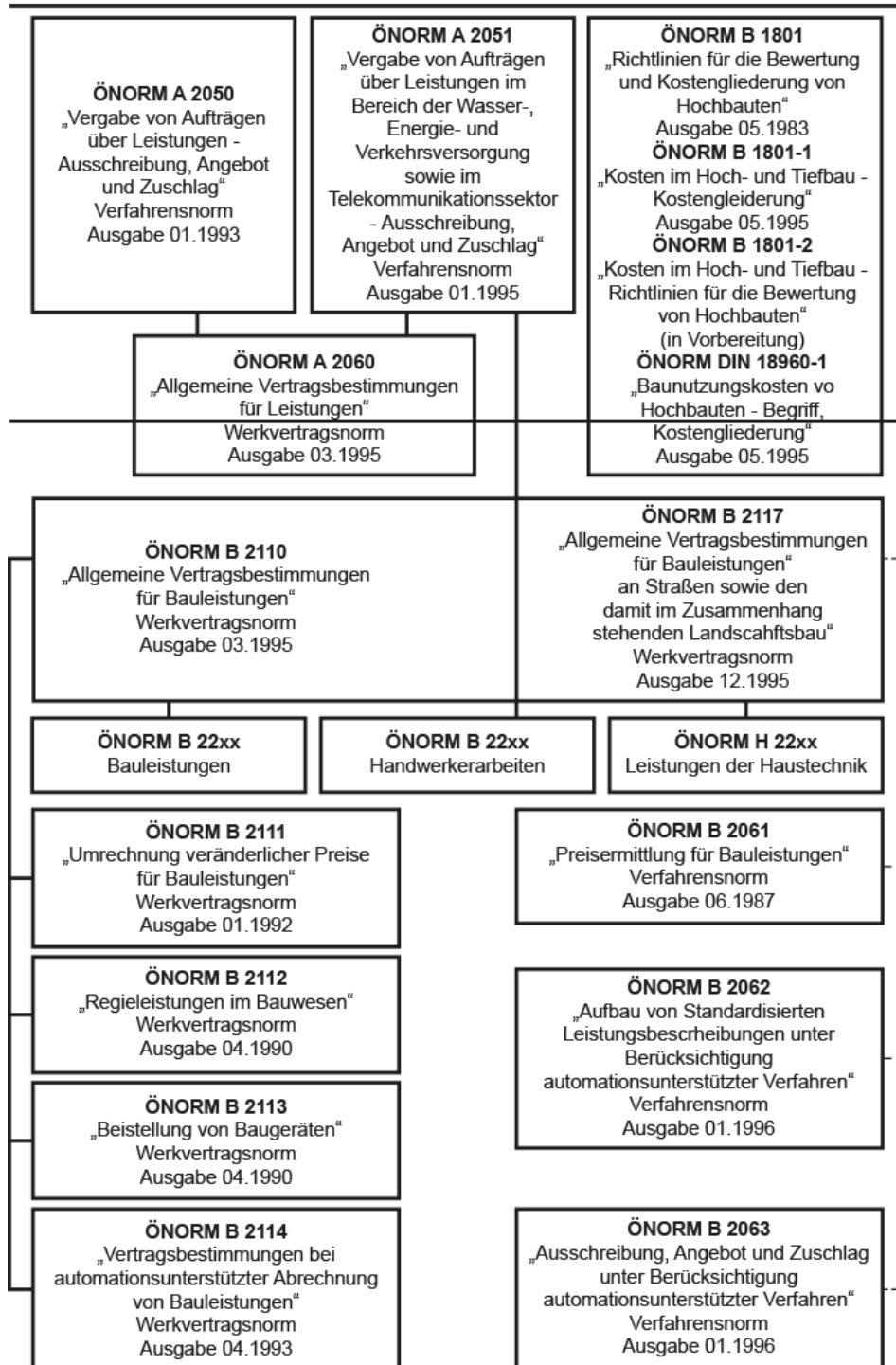


Abbildung 4-23: Übersicht über die ÖNORM-en des Vertrags- und Verdingungswesens .
Quelle: (Schwarz,H., Reckerzügl, W.2007)

Die oben genannten Normen definieren die Struktur der Vergabe und Abwicklung im Detail und decken somit die Umstände und Bedingungen ab, bei denen die materielle Information generiert wird (wer, wie, wann etc.). Im Folgenden werden diese näher betrachtet.

4.3.3. Vertrag

Als erste Rahmenbedingung für die Generierung der MI ist die Vertragsart zu nennen. Die MI gehört zwar nicht zu den Schwerpunkten des Vertrages, doch sie lässt sich indirekt in ihrer Form, Qualität und Detailliertheit aus dem Vertrag ableiten (Schwarz,H., Reckerzügl, W.:2007).

4.3.3.1. Einheitspreisvertrag

Voraussetzung für diese Vertragsform ist eine sehr genaue Kenntnis der zu erbringenden Leistung in Art und Güte und/oder zumindest eine ungefähre Kenntnis des Umfangs. Als Grundelement dient der Einheitspreis einer Leistung, ausgedrückt in Stück, Zeit, Masse etc. Die Summe von bestimmten Einheitspreisen ergibt den Positionspreis, die Summe aller Positionspreise ergibt den Gesamtpreis. Auf diesem aufbauend wird die Auftragssumme gebildet (Schwarz,H., Reckerzügl, W.:2007).

Die Preisbildung anhand der Einheiten setzt eine sehr detaillierte Aufschlüsselung von Leistung und damit für den Materialverbrauch voraus. Die MI wäre in diesem Fall gut dokumentiert (LV, Pläne).

4.3.3.2. Pauschalvertrag

Voraussetzungen für diese Vertragsform sind genau bekannte Art und Güte sowie der Umfang der Leistungen. Es wird ein Pauschalpreis über das ganze Bauvorhaben verhandelt, der unverändert bleibt, auch bei einer erheblichen Unter- oder Überschreitung der Kosten (Schwarz,H., Reckerzügl, W.:2007).

In diesem Fall gibt es verschiedene Möglichkeiten der Dokumentation.

4.3.3.3. Mengengarantievertrag

In diesem Fall verpflichtet sich der Auftragnehmer das Bauvorhaben auszuführen, wobei auch bei voraussichtlichen Mengenüberschreitungen eine vereinbarte Vertragssumme eingehalten werden soll. Bei einer Mengenverminderung folgt auch eine Verminderung des Entgeltes. Die Abrechnung erfolgt nach Einheitspreisen mit IST-Massen (Schwarz,H., Reckerzügl, W.:2007).

4.3.3.4. Regiepreisvertrag

Bei dem Regievertrag sind die Art, Güte und der Umfang der Leistung oder die Umstände, unter denen sie zu erbringen sind, nicht genau erfassbar. Die Abrechnung erfolgt daher nicht nach Leistung, sondern nach tatsächlichem Aufwand (Arbeitsstunden, Materialverbrauch). Außer diesen Hauptformen werden in Abhängigkeit von den Besonderheiten des Bauvorhabens öfters Mischformen verwendet bei denen die genaue Erfassung der MI als Teil der Abrechnung oder Kostenermittlung mehr oder weniger möglich sein kann.

4.3.4. Die Leistungsbeschreibung

Die Leistungsbeschreibung ist eine schriftliche, eindeutige, widerspruchsfreie Beschreibung der Produkte und Dienstleistungen, die im Rahmen eines Projektes erbracht werden sollen. Sie ist Grundlage für die Vereinbarung zwischen Auftragnehmer und Auftraggeber, für die anschließende Realisierung und stellt eine verbindliche Aufgabenstellung des geplanten Projektziels für beide Seiten dar. Die Leistungsbeschreibung muss präzise und vollständig sowie transparent sein und auch die für zum Zeitpunkt der Vertragserstellung Abwesenden nachvollziehbar. Sie kann von Kunden als Teil eines Angebotsdokuments angegeben werden (Gast,G., Czernich, D.2004).

Sie soll alle technischen Spezifikationen enthalten und gegebenenfalls durch Pläne, Zeichnungen, Modelle, Muster etc. ergänzt werden(Gast,G., Czernich, D.2004).

Die Leistungsbeschreibung besteht aus der Baubeschreibung und dem Leistungsverzeichnis, die später detaillierter betrachtet werden.

Unabhängig von ihrer Art soll die Leistungsbeschreibung folgenden Anforderungen entsprechen (Schwarz,H., Reckerzügl, W.:2007):

- Eindeutigkeit, Vollständigkeit, Neutralität
- Gleichzeitige Verwendbarkeit für Angebot und Vertrag
- Gewährleistung der Vergleichbarkeit der Angebote
- Ermittelbarkeit der Preise ohne umfangreiche Vorarbeiten und Übernahme nicht kalkulierbarer Risiken
- Alle Umstände und besondere Anforderungen sollen aufgeführt sein
- Mögliche Folgekosten sollen identifizierbar sein

Es werden die folgenden Formen der Leistungsbeschreibung unterschieden.

4.3.4.1. Konstruktive Leistungsbeschreibung

Die konstruktive Leistungsbeschreibung ist eine exakte Beschreibung der gewünschten Leistung, die durch die Positionen eines Leistungsverzeichnisses mit Angabe der entsprechenden Positionsmengen aufgegliedert wird (Schwarz,H., Reckerzügl, W.:2007). Bei einer konstruktiven Leistungsbeschreibung muss der Auftraggeber die Leistungen so eindeutig, vollständig und neutral beschreiben, dass eine Vergleichbarkeit der Angebote gewährleistet ist (Offterdinger, D.: 2006). Die Planung und die Ausführung liegen daher nicht in einer Hand.

4.3.4.2. Funktionale Leistungsbeschreibung

Die funktionale Leistungsbeschreibung enthält keine näheren konstruktiven Angaben, sowie keine Angaben über die zu verwendeten Materialien. Anstelle einer detaillierten Planung, die die konstruktive Leistungsbeschreibung begleitet, enthält die funktionale Leistungsbeschreibung nur Entwurfsgrundlagen. Für die detaillierte Planung ist später der Auftragnehmer verantwortlich. Somit obliegen Planung und Ausführung der gleichen Seite (Schwarz,H., Reckerzügl, W.:2007).

4.3.4.3. Standardisierte Leistungsbeschreibung

Laut ÖNORM B2062 ist eine standardisierte Leistungsbeschreibung eine „Sammlung von Texten zur Beschreibung von standardisierten Leistungen, und zwar für rechtliche und technische Bestimmungen (Vertragsbestimmungen) und für Positionen eines künftigen Leistungsverzeichnisses. Diese Sammlung umfasst die Leistungen für ein bestimmtes Sachgebiet in seiner Gesamtheit oder in Bezug auf Teilgebiete“.

Die StLB enthält also exakte, einmal durchdachte Leistungsbeschreibungen in Abstimmung mit den geltenden Normen und mit einer vollständigen Beschreibung von Nebenleistungen. Der Inhalt und der Leistungsumfang einer Position sind immer gleich, daher sind keine eigenen Formulierungen notwendig (Schwarz,H., Reckerzügl, W.:2007).

Wie oben schon erwähnt besteht die Leistungsbeschreibung aus den zwei Teilen der Baubeschreibung und dem Leistungsverzeichnis.

Baubeschreibung

Die Baubeschreibung enthält (Schwarz,H., Reckerzügl, W.:2007):

- **Allgemeine Beschreibung der Bauleistung** – Art, Zweck, Nutzung, Konzept der Bauleistung
- **Beschreibung des Standorts und der Umgebung** – Baustelle und Umgebungsbedingungen, Anlagen auf der Baustelle, Infrastruktur, Bewuchs etc.
- **Festlegung zur Ausführung der Bauleistung (vor allem bei konstruktiver LB)** – Baudurchführung, bauliche und ausführungstechnische Vorgaben, Besonderheiten und besondere Erfordernisse

- **Beschreibung konstruktiver od. sonstiger Merkmale der Bauleistung** (fast ausschließlich bei konstruktiver LB) – durch Pläne, Muster, Berechnungen (konstr. Aufbau, statische oder bauphysikalische Angaben & Berechnungen, Ausstattung)
- **Leistungsdarstellungen** – Planunterlagen (Lagepläne, Übersichtspläne, Konstruktionspläne, Grundeinlösepläne, Bauablaufpläne etc.)

4.3.5. Leistungsverzeichnis

In der ÖNORM B 2063 werden der Informationsgehalt und der Aufbau des Leistungsverzeichnisses geregelt. Es gibt keine Regelung über den materiellen Inhalt der Positionen. Der standardisierte Aufbau des Leistungsverzeichnisses sieht folgendermaßen aus:

- Hauptgruppen
- Obergruppen
- Leistungsgruppen, Unterleistungsgruppen (1.Rang)
- Unterleistungsgruppen (2.Rang)
- Positionen
 - Einheitspreis & Positionsmengen
 - Preisanteile Lohn & Sonstiges

Das Leistungsverzeichnis enthält weiter das Datum der Preisbasis, den Bezug zu der standardisierten LB, LV-Positionsnummern, Positionstexte, Mengen und Mengeneinheiten. Mit dem Leistungsverzeichnis und der konstruktiven Leistungsbeschreibung wird die MI unter Umständen noch in der Ausschreibungsphase dokumentiert. Jedoch kommt es oft vor, dass während der Ausführungsphase der Leistungsumfang signifikant verändert wird. Daher ist diese Dokumentationsform nicht per se geeignet und verlässlich, um die materielle Zusammensetzung eines fertiggestellten Bauwerks zu ermitteln

4.3.6. Die Akteure

Bei jedem Bauvorhaben sind eine Reihe Beteiligter vertreten. Die Merkmale der Akteure sowie ihre Beziehungen und ihr Zusammenwirken bestimmen und beeinflussen signifikant den Planungsprozess.

Bauwerke sind einzigartige Produkte. Eine Massenproduktion ist nur bedingt möglich und die Beteiligten, die Prozesse und die Abläufe sind somit bei jedem Bauwerk einzigartig.

Allerdings lassen sich die Beteiligten in einige Hauptgruppen untergliedern, welche bei allen Bauvorhaben mehr oder weniger stark ausgeprägt vertreten sind.

Tabelle 4-21: Übersicht über die Beteiligten am Planungs- und Bauprozess. Quelle: Achammer, Stöcher, 2005

Bezeichnung	Bedeutung	Funktionen und Aufgaben
Grundeigentümer (bzw. Liegenschaftseigentümer)	Sie sind im Hauptbuch des Grundbuches als Besitzer einer Liegenschaft eingetragen, die aus einem oder mehreren Grundstücken bestehen kann	Der Grundeigentümer haftet dem Bauherrn gegenüber für die Eignung des Grundstückes als Bauplatz; den Behörden gegenüber für die bewilligungs-konforme Nutzung der Liegenschaft und für die Entsprechung der gesetzlichen Vorschriften. Eine Bau-führung ist nur mit seiner Zustimmung möglich.
Bauherr (als Auftraggeber bzw. Bauwerber)	Rechtspersönlichkeit; sie trifft die Behörden als Bauwerber und die Planer und Ausführer als Auftraggeber, primärer Projektmanager.	Verantwortlich für die termingerechte Fertigstellung und Beauftragung der Planer; Verantwortlich für die Erbringung aller Vorleistungen, damit die Planer und Ausführer, die Leistungen, für die sie beauftragt wurden rechtzeitig erbringen können; diese Leistungen bezahlen
Bauträger	Bauträger ist die Rechtsperson, die sich durch den Erwerb einer Immobilie bestimmte Rechte aneignet wie z.B. Baurecht, Bestandsrecht und sonstige Nutzungsrechte an das Bauwerk	Im Regelfall erwerben Bauträger Grundstücke, auf die Wohnbauten gebaut werden. Diese werden öfters noch vor Baubeginn an die Nutzer verkauft (Mitfinanzierung). Der Vorteil für den Nutzer ist es, dass er das Bauwerk schlüsselfertig bekommt, der Nachteil, dass er bei der Planung und Ausführung nicht mitwirken kann.
Betreiber	Person oder Einrichtung, die für den Bauwerkserhalt und interner Ablauf verantwortlich ist	Es wird zwischen technischen und kaufmännischen Betreibern unterschieden; der Begriff <i>Facility Management</i> umfasst beide Funktionen im weitesten Sinne
Benutzer	Alle, die ein Nutzungsrecht auf das Bauwerk haben – Eigentümer, Leasingkunden, Mieter etc.	Fall im Planungsprozess eingebunden, müssen sie rechtzeitig ihre Anforderungen bekanntgeben; der Behörde gegenüber verpflichten sie sich auf widmungsgemäße Nutzung des Bauwerkes
Anlieger und Anrainer	Als Anrainer bezeichnet man die Eigentümer von Grundstücken, die eine gemeinsame Seite oder zumindest Ecke mit der zu bebauender Liegenschaft haben; Anlieger sind die Eigentümer von Grundstücken, die an öffentlichen Verkehrsflächen angrenzen	Anlieger und Anrainer haben einen Anspruch auf Information über das laufende Projekt und Projektphasen, sowie einen Anspruchsrecht bei Streitigkeiten
Planverfasser	Planverfasser sind Ziviltechniker (Architekten und Ingenieurkonsulenten) sowie Befugte des Baugewerbes (Baumeister und Inhaber techn. Büros)	

Ziviltechniker Baumeister		Die Planverfasser sind verpflichtet, bei der Planung Baugesetze, Verordnungen und Normen zu berücksichtigen und dem Bauherrn gegenüber sind sie verpflichtet, die Planung auftragsgemäß durchzuführen und die Warnpflicht wahrzunehmen
Inhaber technischer Büros		
Behörden		Die Behörden sind für die ordnungsgemäße Anwendung der Gesetze verantwortlich und begleiten durch den ganzen Planungs- und Bauprozess, angefangen von allen mit dem Standort verbundenen Fragen über Bauart, Infrastrukturan schlüsse, Altlasten etc. Die Behörden üben auch eine Kontrollfunktion während des gesamten Planungs- und Bauprozesses aus.
Auftragnehmer	Generalplaner	Die Generalplanung beinhaltet alle Architekten-, Ingenieur- und Fachplanungen. Somit trägt er die volle Verantwortung für die gesamte Planleistung und tritt als einziger Vertragspartner auf Planerseite dem Auftraggeber gegenüber. Der Generalplaner vergibt die einzelnen Planleistungen an die Spartenplaner.
	Gesamtplaner	Der Gesamtplaner trägt ähnlich wie der Generalplaner die volle Verantwortung für die gesamte Planleistung und tritt als einziger Vertragspartner auf Planerseite dem Auftraggeber gegenüber. Der Unterschied zu dem Generalplaner ist, dass der Gesamtplaner auch die gesamte Planleistung übernimmt, ohne sie gesamt oder Teile davon an Spartenplaner weiterzugeben.
Auftragnehmer	Generalunternehmer	Übernimmt keine planerischen Leistungen sondern übergibt diese an Fachplaner außerhalb des Generalunternehmers. Die Bauleistungen erbringt er selbst oder übergibt Teile an Subunternehmer.
	Totalunternehmer	Der Unterschied zu dem Generalunternehmer ist, dass der Totalunternehmer auch Teile oder die gesamte Planungsleistung übernimmt.

4.3.7. Die Generierung und die Dokumentierung der materiellen Information

Die materielle Information wird in unterschiedlichem Ausmaß während der Ausschreibungsphase, der Planungsphase, aber auch während der Ausführungsphase generiert und entsprechend dokumentiert.

Sie wird dadurch beeinflusst, um welchen Auftraggeber und welche Auftragsart es sich beim Objekt handelt (öffentliche oder Sektorenauftraggeber), und in welchem Bereich der Umfang des Objektes liegt (unter oder über dem Schwellenbereich).

Die Vertragsform spielt insofern eine Rolle, als dass sie vor allem die Art der Dokumentation der materiellen Information vorbestimmen kann. So ist z.B. beim Einheitspreisvertrag jede Position genau ermittelt und von beiden Seiten (Auftraggeber und Auftragnehmer) in ihrer Richtigkeit überprüft. Anders ist es beim Regiepreisvertrag. Dort kann im Voraus der Umfang nicht ausreichend genau bestimmt und daher in einem Leistungsverzeichnis beschrieben werden. In diesem Fall wird die materielle Information durch die tatsächlich erbrachten Leistungen bestimmt und durch Massenermittlungen und Massenauszüge dokumentiert.

Die Leistungsbeschreibung ist ein wichtiger Teil des Vertrages und kann in zwei verschiedenen Formen vorkommen. Erstens gibt die funktionelle Leistungsbeschreibung nur die gewünschte Funktion des Objektes an. Die eigentliche Generierung und Dokumentierung der materiellen Information erfolgt erst später und liegt zur Gänze auf der Seite des Auftraggebers. Zweitens enthält die konstruktive Leistungsbeschreibung dagegen die gesamte materielle Information der zu erbringenden Leistung (aufgegliedert bis zu den einzelnen Positionen). Allerdings jedoch kommt eine signifikante Änderung der Leistung und daher der materiellen Information im Laufe der Bauphase nicht selten vor, wodurch eine Ermittlung der materiellen Zusammensetzung eines fertiggestellten Bauwerks anhand der Leistungsverzeichnisse der Ausschreibung nicht möglich ist.

Je nachdem ob und zu welchem Ausmaß der Bauherr an der Planung beteiligt ist, und welche Art von Auftragnehmer mit der Planung und Ausführung beauftragt ist, kann die Generierung der materiellen Information in einer Hand konzentriert sein oder in den Händen jedes einzelnen Subunternehmers oder Einzelunternehmers.

Ein weiterer Faktor, der sich konkret auf die Form der Dokumentation der MI auswirkt, sind die Planungsstandards in den einzelnen Gewerken. So sind zum Beispiel für die nachträgliche Ermittlung der MI aufgrund von Planunterlagen keine zusätzlichen Kenntnisse erforderlich, wenn es sich um Rohbau oder Haustechnikpläne handelt. Gewisse zusätzliche Kenntnisse über einzelne Elemente oder Systeme im Ausbau, sowie gute Kenntnisse in der Elektrotechnik sind dort erforderlich, wo in den Bauplänen zwar Informationen über Trassen und Spannungen enthalten sind aber keine detaillierte Information über die exakten Leitungen. Unabhängig von Auftraggeber, Vertragsart, Vergabe und Auftragnehmer ist eine signifikante Änderung der materiellen Information im Laufe der Bauarbeiten nicht auszuschließen. Die

höchste Detailliertheit und Genauigkeit der materiellen Information in der Dokumentation findet sich im Moment der Übergabe des fertiggestellten Bauwerks. Daher ist es sinnvoll, wenn in dieser letzten Phase der Ausführung Maßnahmen eingeführt werden um die materielle Information zu Zwecken der Dokumentation zu gewinnen. Die Information über die materielle Zusammensetzung des Bauwerks kann später einer eventuellen Einschließung des Bauwerks als Sekundärlagerstätte für Ressourcen dienen.

4.4 Zusammenstellung von Design for Recycling Ansätzen verschiedener Produktionsbranchen

4.4.1 Einleitung

In folgendem Kapitel wird das Produktdesign als Maßnahme betrachtet, um die Ressourceneffizienz und den Ressourcenverbrauch schon in der Designphase des Produktes beeinflussen zu können und somit eine Kreislaufführung der Ressourcen zu ermöglichen.

Einerseits werden die Entwicklung und der Einsatz der verschiedenen Design-Ansätze in der Forschung und der Praxis verfolgt und Best Practice Beispiele aus den Industriebranchen betrachtet, in denen diese Ansätze am weitesten entwickelt und am besten in den standardisierten Produktdesignprozess integriert sind.

Andererseits zeigt ein Überblick, inwieweit Design-Ansätze im Bauwesen aktuell eingesetzt werden, welche Potenziale und Defizite dabei zu erkennen sind und welche zusätzlichen Rahmenbedingungen zu schaffen wären, damit die Produkte des Bauwesens bereits in der Planungsphase auf Ressourceneffizienz und-Kreislauf möglichst gut optimiert werden.

Hierfür werden unter anderem Methoden, Verfahren und Rahmenbedingungen von anderen Industrien übernommen oder den Besonderheiten des Bauwesens entsprechend angepasst.

Eine Gegenüberstellung der Methoden und Verfahren der Best-Practice Beispiele aus anderen Industriebranchen und dem aktuellen Stand im Bauwesen soll die Zweckmäßigkeit und Übertragbarkeit von Methoden in das Bauwesen überprüft werden.

4.4.2 Design for X

Mit der aufstrebenden Thematik der Ressourcenverknappung (Meadows1972, Curran 2006) in den 60er und 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts, rückt die LCA-Methode immer mehr in den Vordergrund. Dieser Denkwandel fand auch in der Industrie seinen Ausdruck, wo Produktdesign in dieser Zeit zum ersten Mal als Maßnahme zur Steigerung der Ressourceneffizienz angewandt wurde. Durch die Einführung des Eco-Designs in den 70er und 80er Jahren wurden erste Schritte unternommen, um Probleme bei neuen Produkten zu vermeiden, welche zuvor durch die LCA-Methode definiert und evaluiert wurden.

Die wandelnden Technologien und steigenden Anforderungen an Ressourceneffizienz und Ressourcennutzung verlangen dementsprechend effizientere Designmethoden. Die Notwendigkeit der Rückführung von Materialien in einen Kreislauf wird auch politisch untermauert (EU Richtlinien für die Rücknahme von alten Elektrogeräten und Altfahrzeuge)). Dadurch ent-

stehen weitere Ansätze, die immer konkreter werden und sich an immer spezifischere Aufgaben aus dem Produktlebenszyklus richten.

Der Sammelbegriff „Design for X“ umfasst alle Design-Ansätze, die sich auf unterschiedliche konstruktive und ressourcenspezifische Aufgaben im Produktdesign konzentrieren und einzeln oder (meistens) kombiniert im Designprozess angewendet werden und wurden.

4.4.2.1 Eco-Design

In der Vergangenheit war Produktdesign primär auf die traditionellen, meist technischen Produktparameter konzentriert. Umweltauswirkungen blieben damit außerhalb des Betrachtungsraumes und wurden erst später, nach dem Endpunkt des Produktlebenszyklus (in der Entsorgungsphase), berücksichtigt. (American Plastic Council 1999)

Das aufstrebende soziale Bewusstsein und die Verantwortung gegenüber der Umwelt rückten die Umweltaspekte immer mehr in den Vordergrund des Designprozesses [6], wo gezielt eingesetzte Maßnahmen die effektivste Form darstellen um den Lebenszyklus positiv zu beeinflussen.

Eco-Design, oft auch als Life-Cycle-Design (Tan, Culaba, online, Karlsson and Luttrupp 2006) oder Design for Environment (Calcott et al. 2005, Donnelly et al. 2006) bezeichnet, ist ein Produkt-Design-Ansatz der auf das gesamte Produkt (in Gegensatz z.B. zu Design for Dissassembly, wo der Fokus lediglich auf die Bestandteilen und ihre Trennbarkeit gelegt oder beim Design for Recycling, wo Materialien und ihre Eigenschaften im Fokus stehen) und dessen mögliche Umweltauswirkungen ausgerichtet ist. Das Hauptziel ist, die verursachten Umweltbelastungen und den Ressourcenverbrauch (energetisch, sowie nicht energetisch) über den gesamten Lebenszyklus des Produktes möglichst gering zu halten (Goedkoop 1995, Karlsson et al. 2006, Luttrupp et al. 2006). Die in der Designphase berücksichtigten Umweltkriterien können verschiedenste Umweltschutzprinzipien vertreten. In dem Fall von Eco-Design (oder Design for Environment: DFE) werden die Prinzipien und Wirkungskategorien, die im Rahmen einer LCA evaluiert werden, befolgt. Die relevanten Umweltkriterien werden kontinuierlich neu definiert und berücksichtigen dabei auch nationale Prioritäten sowie die Prioritäten und Besonderheiten des Herstellers und des Produktes. Das Ergebnis ist eine breite Palette von Eco-Design-Tools, die an die Anforderungen und Bedürfnisse des Anwenders angepasst werden.

Eine Übersicht über aktuelle Eco-Design Tools bietet Luttrupp, wobei nach Produktspezifik, nach Lebenszyklusphase, nach Region und nach Tools, die sich strikt an die LCA als Basis halten sowie nach einer ausgesuchten Beispielskategorie kategorisiert wurde. Im Rahmen der zitierten Studie wurden jene Tools betrachtet, die einen besonderen Fokus auf den Aspekt der Ressourcennutzung und deren Rückführung in den Kreislauf legen.

Tabelle 4-22: Beispiele für Eco-Design-Tools nach Produktspezifika (Luttropp 2006)

Eco-Design Tool	Produkte	Entwickler
Philips Eco-Design Leitfaden	Elektrischen und elektronische Geräte	Philips; Cramer, Stevens
Volvo Umweltrichtlinie für Designer	Automobile	Volvo
Elektrischer und Elektronischer praktischer Eco-Design Leitfaden	Elektrischen und elektronische Geräte	Rodrigo, Castells
Die Umweltkode der Praxis (The environmental code of practice)	Boote	British Marine Industry

Tabelle 4-23: Beispiele für Eco-Design – Tools nach der betrachteten Lebenszyklusphase und der Entwicklungsregion (Luttropp 2006)

Eco-Design Tool	Lebenszyklusphase	Region
Nordic Guideline of LCA	Das gesamte Lebenszyklus	Dänemark
Miljöanpassad Produktutveckling	Das gesamte Lebenszyklus; Fokus auf dem schwedischen LCA-Tool „Environmental Priority System“	Schweden
„Automotiv interiors“	Recyclingphase	USA
Recyclinggerecht Konstruieren mit Kunststoffen	Recyclingphase von Kunststoffprodukten	Deutschland

Werden die Schwerpunkte der betrachteten Eco-Design-Tools mit den ursprünglichen Fassungen der LCA verglichen, ist die Wandlung der relevanten Umweltkriterien im Laufe der Zeit schnell zu erkennen. Besonders deutlich wird dieser Wandel bei einem Vergleich des „Eco-Design Manual Guide for designers“ von 1995, welcher das Ergebnis des „The Eco-indicator 95“ Forschungsvorhabens der niederländischen Forschung und Industrie ist, mit den Entwicklungen des „End-of-Life Ecodesign“ der letzten Jahren. So kann man zum Beispiel erkennen, dass in früheren EcoDesign – Konzepten der Schwerpunkt bei energetischen Ressourcen lag, und Materialeffizienz wie auch Recycling lediglich als Zusatz einbezogen wurden. Dagegen sind materialrelevante Fragen (Trennbarkeit, Recycling etc.) in den aktuellen Konzepten von Luttropp in sieben von zehn Hauptprinzipien des Eco-Designs vertreten.

Tabelle 4-24: Gegenüberstellung eco-indicator 95 (Goedkoop 1995) vs. Prinzipien des Eco-Design nach Lutttropp (Lutttropp 2006).

Eco-Design Indikatoren nach dem Eco-Indicator 95	Eco-Design Prinzipien nach Lutttropp
Verwertungsprozesse	Keine toxische Stoffe verwenden; wenn diese explicit notwendig, sollen für ihren Abbau/Verwertung geschlossene Kreisläufe verwendet werden
Prozesse der Materialherstellung	Die Materialien mit dem kleinsten gewicht wählen
Transport	Transport optimieren
Energie	Ressourcen und Energieverbrauch in der Herstellungsphase minimieren;
Abfallbehandlung und Recycling	Ressourcen und Energieverbrauch in der Nutzungsphase minimieren;
Ozonschichtzerstörung	Upgrade und Reparaturprozesse optimieren und fördern
Schwermetalle	Produkte sollen möglichst langlebig sein
Karzinogene Stoffe	In hochqualitativen Materialien investieren, um Instandhaltung zu minimieren und ein möglichst langes Leben der Produkte zu ermöglichen
Sommer und Wintersmog	Design for Demontage und Design for Recycling – Maßnahmen anwenden
Pestizide	Demontage und Rezyklierbarkeit durch die Verwendung von weniger, einfacher, unbehandelter Materialien optimieren
Treibhauseffekt	Möglichst wenige Verbindungsarten und Anzahl; lösliche Verbindungen
Versäuerung	
Eutrophierung	

Die Umweltkriterien und Ziele, die im Produktdesign zu berücksichtigen sind, nehmen nicht nur zu, sondern werden auch immer konkreter und detaillierter definiert. Eine der Folgen ist die Abspaltung und Entwicklung neuer Design-Ansätze, deren Fokus auf einem konkreten

Ziel liegt. Diese werden in Anbetracht der Prioritäten und Besonderheiten des konkreten Produktes und Herstellers sehr oft ergänzend zum EcoDesign angewandt.

4.4.2.2 Design for Assembly: DFA (Design für Herstellung)

DFA ist eine Design-Richtung, die sich aus einem Satz von Maßnahmen bedient, deren Endziel die möglichst einfache und kostengünstige Herstellung und Montage von Produkten ist. Weitere Ziele sind die Verbesserung der Bedienbarkeit, der Verlässlichkeit und der Qualität der Produkte über den gesamten Lebenszyklus (Kim 1997).

Folgende Abbildung demonstriert die Unterschiede nach der Anwendung dieses Design-Ansatzes: das neugestaltete Produkt hat weniger Bestandteile und deren Montage ist einfacher, wodurch auch signifikante Einsparungen in den Montage- und Erhaltungskosten erreicht werden können (Kim 1997).

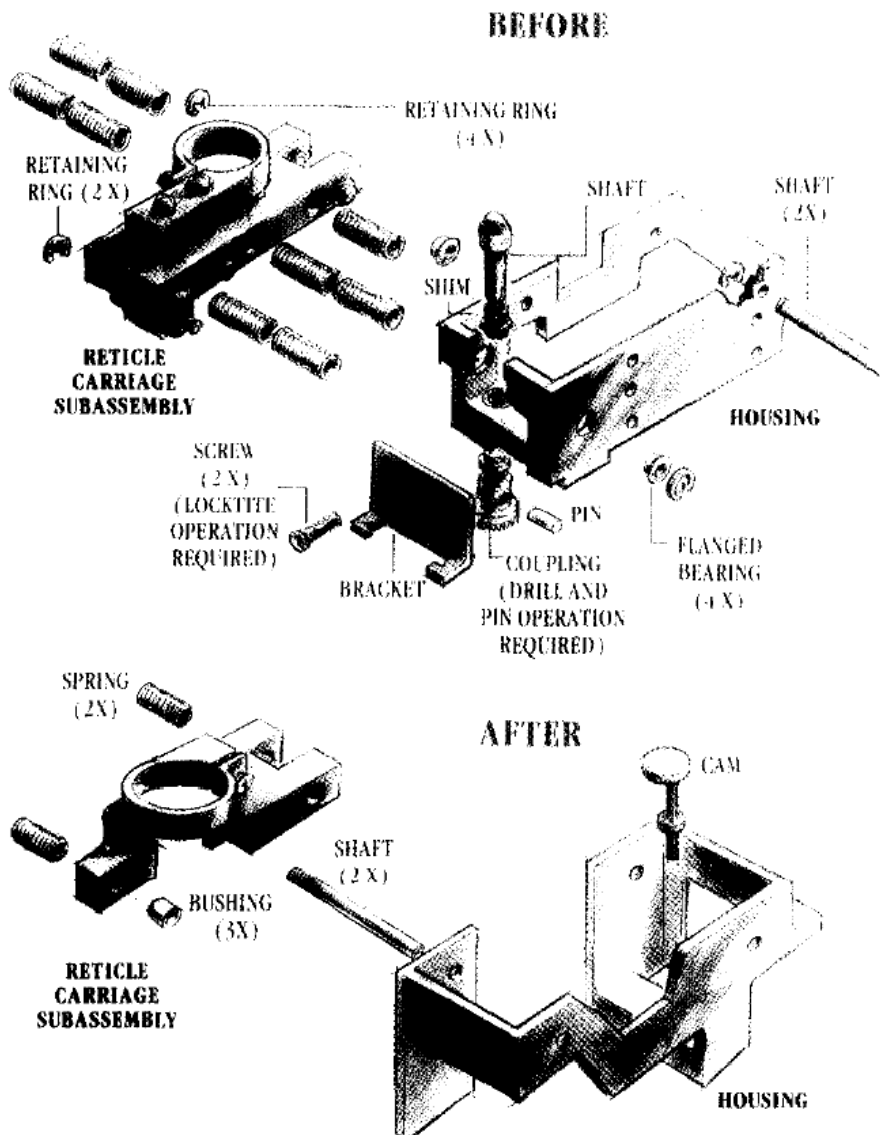


Abbildung 4-24: Produktgestaltung von „Texas Instruments – Defense System and Electronic Groups“ vor und nach der Optimierung mit DFA. (Kim 1997).

Die Hauptprinzipien von DFA können wie folgt zusammengefasst werden (www.makeitfrom.com, Dieter 2000):

- Minimierung der Anzahl der Bestandteile.
- Vermeidung von Rotationen bei der Montage. Als beste Montageoption gilt jene, bei der immer von der gleichen Seite montiert wird, angefangen bei Teilen, die am tiefsten liegen, bis zu den höchstgelegenen Teilen. Das ist besonders in Fällen entscheidend, in denen die Montage maschinell erfolgt. Sollte die Montage durch Rotation erfolgen, um einen Teil von einer sonst unzugänglichen Richtung einzufügen, könnte diese verlängerte Montagezeiten und eventuell zusätzliche Verbindungen bedeuten.
- Falsche Montage soll vermieden werden. Falls eine spezifische Orientierung eines Teiles notwendig ist, um die Funktionalität des Produktes zu gewährleisten, darf die Möglichkeit nicht bestehen, die Montage in die falsche Richtung durchzuführen. Somit wird ein unverzügliches Feedback geliefert und die Orientierung des Teiles kann im Fall der Fälle sofort korrigiert werden. Eine falsche Montagerichtung in späteren Phasen festzustellen ist mit zusätzlichen Kosten und Zeitverlusten verbunden.
- Der Einbau und das Einfügen von Teilen sollen durch den Einsatz von Führungen, Lenkungen und Ähnlichem so leicht wie möglich erfolgen. Diese erlauben, dass Teile schneller montiert werden und verringern die Notwendigkeit, explizit auf Genauigkeit bei der Montage zu achten, was für beide – die Maschine und deren Operator, von Vorteil ist. Des Weiteren kann Symmetrie im Design genutzt werden, um die richtige Montage von Teilen aus verschiedenen Richtungen zu ermöglichen.
- Toleranzen in den Maßstäben sollen erlaubt sein, so dass Montagen unterschiedlicher Variationen und Kombinationen der Dimensionen (innerhalb der Grenzmaßstäbe des Produktes) der Bestandteilen erfolgreich durchgeführt werden können (Dieter 2000).

4.4.2.3 Design for Dissassembly: DfD (Design für Demontage)

DfD ist ein relativ neues Design-Konzept aus den 90er Jahren des vorigen Jahrhunderts und hat sich als wichtige Ergänzung zum Design for Environment entwickelt. DfD ist aber darüber hinaus als Bestandteil jedes „Design for X“-Konzeptes zu verstehen, dessen Ziel die optimale allgemeine Materialkonservierung und Effizienz ist (Guy et al. 2005), (Blessing 2004).

In Zeiten, in denen die produzierenden Industrien einen immer stärkeren Fokus auf das Management des Endstadiums des Lebenszyklus ihrer Produkte legen, ist DfD eine aufstrebende Thematik. Diese Notwendigkeit ist einerseits von den anwachsenden Problemen getrieben, verbunden mit der Entsorgung von Konsumgütern und dem daraus resultierenden Deponieraumbedarf, andererseits von dem Verlust der darin enthaltenen materiellen und energetischen Ressourcen.

Die Arbeiten zur Einschränkung der Abfallproduktion und der Umweltverschmutzung in Europa z.B. endeten in einer Hervorhebung einer „Erweiterten Produzentenverantwortung“ in der Form der Richtlinie 2000/53/EC des EU-Parlaments für Entsorgung von Altfahrzeugen und Deutschlands Altfahrzeug-Gesetz von 2002. Die „erweiterte Produzentenverantwortung“ ist definiert als „...das Übertragen der Verantwortung für den gesamten Lebenszyklus eines Produktes auf den Hersteller, insbesondere für die Rücknahme, das Recycling und die Entsorgung des Produktes“ (Toffel, 2002). Kurz gefasst heißt das, dass diejenigen, die mit dem Produktentwurf beauftragt sind, den gesamten Produktlebenszyklus inklusive Entsorgung, Wiederverwendung oder Recycling mit einbeziehen müssen und dabei ein Produkt mit maximalem wirtschaftlichen Profit bei minimalem Risiko entwerfen müssen.

Die Hauptpunkte der 2000/53/EC Richtlinie in jenem Teil, der sich auf erweiterte Produzentenverantwortung bezieht, besagen:

- Minimierung und Kontrolle gefährlicher Materialien
- Die Einführung von Maßnahmen, durch welche die Komponenten wieder in die Design- und Herstellungsphasen eingeführt werden, wird gefordert. Dies kann durch Rückbau, Wiederverwendung und Recycling geschehen.
- Zertifizierung eines Rückbau-Accountings
- Anwendung von Standards zur Kodierung von Komponenten und Materialien
- Definierung und Bekanntmachung von Rückbauinformationen über einen korrekten und umweltfreundlichen Handhabungsprozess am Ende des Lebenszyklus
Definition von messbaren Zielen gültig für die durchschnittliche Materialmenge pro Gewichtseinheit, die von einem Produkt/Fahrzeug zurück zu gewinnen ist [(Directive 2000/53/EC of the European Parliament, 2006).

Diese Richtlinien wurden in der Umsetzung von DfD-Tools für die Praxis weiter konkretisiert bzw. ergänzt (Fleischmann 1997, Vezolli et al. 2008):

- Vermeidung von toxischen oder auf anderer Weise gefährlichen Materialien
- Eine Protokollierung, was geschehen soll, nachdem das Produkt rückgebaut wurde: sind die einzelnen Bestandteile rezyklierbar bzw. wiederverwendbar? Rechtfertigt der Wert des selektiv rückgebauten Restprodukts die Kosten für den Rückbau?
- Permanente Verbindungen sind zu vermeiden. Klemmen, Halterungen und trennbare Verbindungen sowie Anschlüsse sind überall zu verwenden, wo es möglich ist.
- Die Halterungen so weit als möglich standardisieren; außergewöhnliche oder maßgeschneiderte Halterungen sind zu vermeiden
- Alle Halterungen/Verbindungen sollen leicht zugänglich sein
- Protokollierung der Auswirkungen der Nutzung: auch verbrauchte oder korrodierte Teile sollen leicht trennbar sein. Beschädigte Einzelteile oder einzelne Verbindungen dürfen die Trennbarkeit oder Rückbaubarkeit des gesamten Produktes nicht beeinträchtigen
- Definieren Festhalten der Verantwortlichen für den Rückbau: es soll gewährleistet werden, dass sie alle notwendigen Informationen zur Verfügung haben, um den rei-

bungslosen Rückbau durchführen zu können. So z.B. können die Materialien eines konkreten Bestandteiles, direkt auf diesem vermerkt werden.

- Sollten im Rückbauprozess Teile abgebrochen werden, so ist eine vorbestimmte Schwachstelle vorzusehen und zu markieren, so dass das Brechen kontrolliert und sicher erfolgen kann. Das gleiche gilt, wenn Teile abgeschnitten werden sollen.
- Weitere Faktoren wie das Minimieren der Anzahl der Produktbestandteile und klare Montagehinweise wirken sich auf die Effektivität des Rückbaus aus.

4.4.2.4 Design for maintenance: DfM (Design für Wartung)

Der Schwerpunkt bei diesem Design-Ansatz liegt darin, Produkte so zu gestalten, dass geplante und unerwartete Wartungsarbeiten mit einem möglichst kleinen Zeit- und Kostenaufwand durchgeführt werden können.

In einer SEMATECH –Studie wurden die wichtigsten Störfaktoren für die reibungslose Durchführung einer Wartung untersucht und gewichtet:

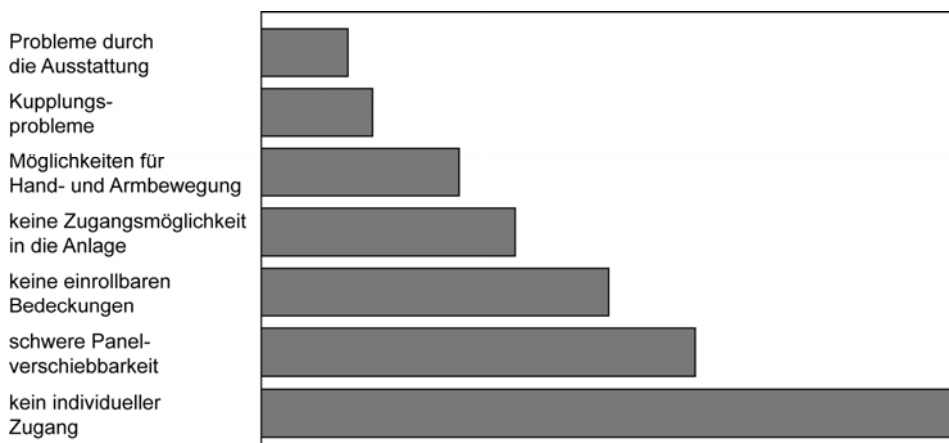


Abbildung 4-25: Pareto-Diagramm der betrachteten Störfaktoren, die die längsten zusätzlichen Wartungsarbeiten verursachen (Miller 1998)

Bei der Gestaltung eines Produktes zum Zwecke der optimalen Wartung soll daher Folgendes beachtet werden:

- Einbetten von Prozessen um Probleme und ihre Quellen genau zu diagnostizieren.
- Wartungsbedarf feststellen und reduzieren: interne, eingeschlossene Stellen, an denen sich Schmutz und Abfall ansammeln können, sollen identifiziert werden. Zusätzlich sollen konstruktive Wege integriert werden, damit Schmutz und Abfall aus den geschlossenen Bereichen zu beweglichen Anschlüssen transportiert werden. Es sind hierbei sowohl die Häufigkeit als auch der Umfang einer Wartung zu berücksichtigen.

- Bereiche, die eine häufige Wartung brauchen, sollen leicht zugänglich sein. In Kombination mit einem effektiven Design for Dissassembly können die Wartungszeiten wesentlich verkürzt werden.
- Teile und Mechanismen, die häufige eine Wartung brauchen, sollen leicht zugänglich sein: so z.B. soll die einfache, regelmäßige Instandhaltung mit minimalem Rückbaubedarf erfolgen (möglichst keinem)
- Modulare Teile sind zu bevorzugen, um eine rasche Instandhaltung zu ermöglichen
- Eine Instandhaltung vor Ort soll möglich sein und ist so weit als möglich einem Abtransportieren und Instandhalten an einem anderen Ort vorzuziehen

4.4.2.5 Design for Minimum Parts

Ein nicht existierender Teil verursacht keine Herstellungs-, Montage-, Lager-, Reinigung-, Wartungs-, Reparatur- und Servicekosten (Dieter 2000). Die Reduktion der Bestandteile eines Produktes ist gewöhnlich nur in der Designphase möglich und kann am effektivsten vor der Herstellung aller Teile vorgenommen werden.

Nachdem die verzichtbaren Teile identifiziert wurden wird in einem nächsten Schritt untersucht, wie diese zu entfernen sind: durch aggregieren, Änderungen an der Konstruktion und Form, wählen anderer Verbindungsmöglichkeiten etc. (Dieter 1997, 2000).

Teile, die mit diesem Ansatz nicht entfernt werden dürfen und können, sind essentiell. Der Überprüfungsprozess zum Identifizieren essentieller Teile ist in folgenden Schritten aufgebaut:

- Muss der Teil aus einem anderen Material wie die umgebenden Komponenten hergestellt werden? Ist das der Fall, ist der Teil als „wesentlich“ zu bezeichnen. Bei solchen Teilen können Material, Form und Konstruktion wegen bestimmten spezifischen Anforderungen oft nicht geändert werden (z.B. elektrische- oder Wärmeleitfähigkeit)
- Ist dieser Teil notwendig, damit die Montage von anderen Teilen möglich ist? Ein typisches Hindernis bei der Reduktion der Bestandteile, ist die überhöhte Komplexität der restlichen Teile. Die Entwurfsentwicklung solcher Fälle setzt die Entwicklung und Bewertung von Konzepten voraus, die den Prozess der sekundären Montage (ohne und mit dem Teil, der als wesentlich erkannt wurde) untersuchen.
- Ist die Bewegung des Teils abhängig von einem anderen? Auch in dem Fall, wenn die Bewegung vordefiniert ist, ist es möglich, den Teil mit anderen Teilen zu aggregieren, die sich unabhängig von dieser vorbestimmten Bewegung bewegen.
- Verbindungselemente sind das häufigste Ziel dieses Design-Ansatzes. Es wird z.B. als erstes geprüft, ob Schrauben durch Schnappverbindungen und Haken ersetzt werden können. Kann man bestimmte Verbindungselemente nicht entfernen, wird überprüft, ob manche davon durch solche, mit standardisierter einheitlicher Größe ersetzt werden können, was Kosten reduziert und den Prozess der Montage wesentlich vereinfacht. (Dieter 1997, 2000).

4.4.2.6 Design for Safety: DfS (Design für Sicherheit)

Die Hauptziele, die durch diesen Design-Ansatz verfolgt werden, können wie folgt zusammengefasst werden (Smith 1997), (Kardos 1997):

- Erkennen von potenziellen Gefahren für die Nutzer. Ein typisches Tool dafür wäre FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)
- Durch das Design sollen möglichst alle Risiken berücksichtigt und aus dem Produkt „gelöst“ werden
- Durch eine Kombination von Sicherheitsmaßnahmen, Warnungen und Trainings soll die Wahrscheinlichkeit, dass dem Nutzer Schaden zugefügt wird, möglichst gering gehalten werden.
- Alle existierenden und anwendbaren Sicherheitsstandards sollen in dem Design berücksichtigt werden.

4.4.2.7 Design for Recycling

Das Hauptziel von Design for Recycling besteht darin, den Kreislauf von Materialien nach dem Ende des Lebenszyklus von Produkten, durch Wiederverwendung/- Verwertung zu schließen [22]. In Bezug auf Recycling betrachten Kriwet, Zussman und Seliger (1995) drei Kreisläufe im Lebenszyklus eines Produktes:

- Recycling von Produktionsabfällen – Verwertung von Abfällen aus der Herstellungsphase durch Tätigkeiten wie z.B. Injizieren, Formgeben, Lochen und Stanzen
- Recycling während der Nutzphase – durchgehende Nutzung des Produktes nach Reparaturen oder Umbau
- Recycling nach der Nutzungsphase – Recycling nach dem Eintreten des Endes des Produktlebenszyklus, worauf sich Design For Recycling hauptsächlich bezieht

Während dieser drei Kreisläufe kommen verschiedene Recycling-Formen vor: wenn die Form des Produktes erhalten bleibt, spricht man von Wiederverwertung. Wenn jedoch nur die Materialien weiter verwendet werden, nachdem die ursprüngliche Form des Produktes gelöst wurde, handelt es sich um Verwertung.

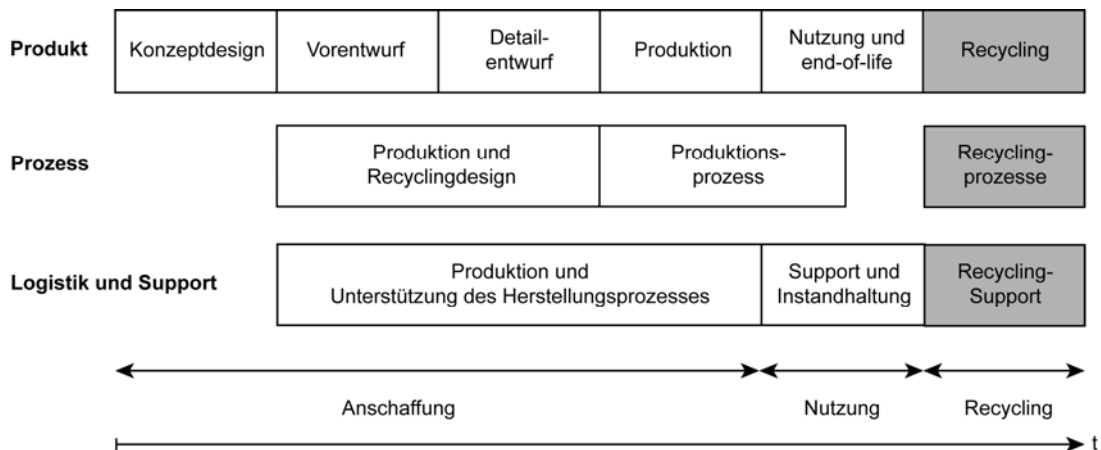


Abbildung 4-26: Systemlebenszyklus (Kriwet et al. 1995)

Am Ende des Lebenszyklus von komplexen Produkten gehen dem eigentlichen Recycling verschiedene vorbereitende Rückgewinnungsprozesse voraus (siehe Abbildung 4-26). Im Fall elektronischer Produkte sind dies im Wesentlichen zwei Prozesse:

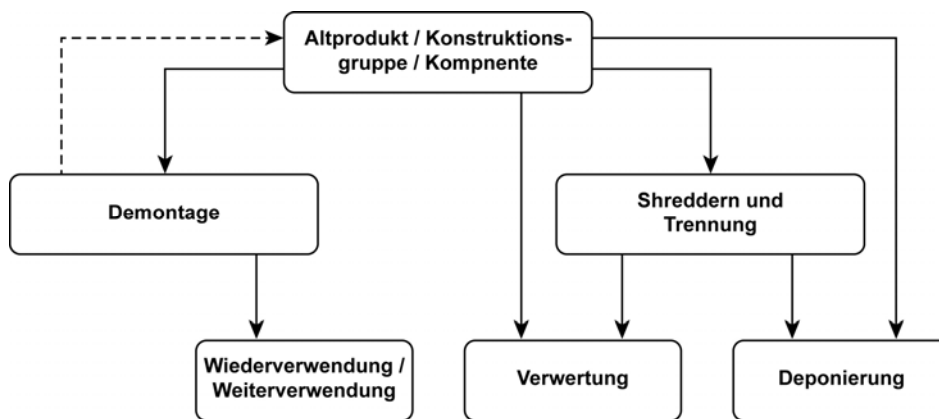


Abbildung 4-27: Recycling-Ablauf (Kriwet et al. 1995)

- Demontage – Zerlegung in Bestandteilen und Komponenten, die ihre ursprüngliche Form behalten
- Trennen und Zerkleinern – Zerlegung in Teilchen unterschiedlicher Form, aber geregelter Größe

4.4.2.7.1 Das Recycling-Netzwerk

Als Recycling-Netzwerk wird die Organisation von Beteiligten, Zusammenhängen und Abläufen bezeichnet, dessen Ziel es ist, die für das Recycling relevanten Informationen aus jeder Lebenszyklusphase zur Verfügung zu stellen. Dieses Netzwerk ist für Designer von besonderer Bedeutung. Dadurch wird es ihnen ermöglicht, die relevanten Informationen über ein konkretes Design-Konzept vorzustellen und zu kommunizieren (Kriwet et al. 1995). In diesem Netzwerk übernehmen die Designer die Rolle eines „Servers“, der das gesamte Netzwerk steuert und die anderen Beteiligten mit Daten und Bewertungen der verschiedenen de-

signrelevanten Entscheidungen beliefert. (Zussman et al. 1994). Dies ermöglicht einerseits den Austausch von umwelt- und profitrelevanten Informationen und andererseits den Zugang zu Datenbanken mit Informationen über Normung, Materialien, Recycling-Prozessen und der Produktgeschichte. Entstehen Konflikte auf einer Ebene der Planungsphase (z.B. Materialeignung für Recycling) können diese im Rahmen des Netzwerkes durch Diskussionen zwischen den betroffenen Seiten geklärt werden.

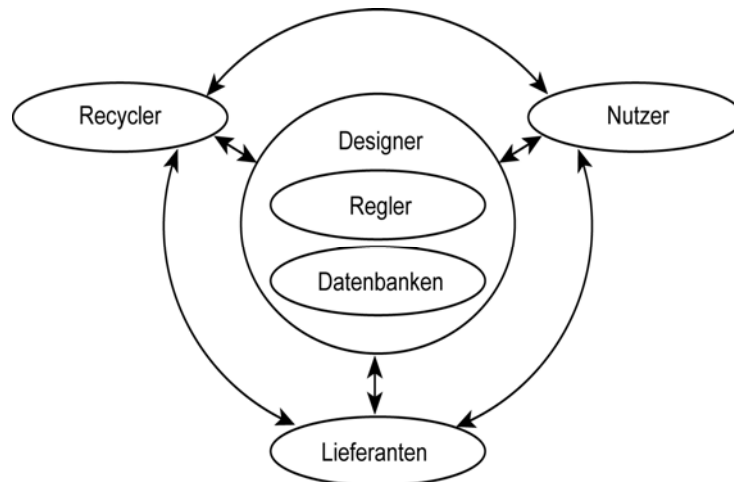


Abbildung 4-28: das Recycling-Netzwerk (Kriwet et al. 1995)

Die Umfang und Kooperation in solch einem Netzwerk kann wesentlich zur Effizienz von Design for Recycling beitragen. Die Designer können zusätzlich die Entsorger und die Betreiber von Recyclinganlagen mit recyclingrelevanten Produkt- und Materialinformationen versorgen. Ein nächster Schritt wäre, dass Designer einen direkten Einfluss auf den Materialkreislauf ausüben können, indem sie von ihren Lieferanten fordern, rezyklierte Materialien von Entsorgern zu übernehmen (Kriwet et al. 1995).

Kriwet (Kriwet et al. 1995). und Zusmann (Zussman et al. 1994). definieren die Informationsflüsse zwischen den Beteiligten im Netzwerk wie folgt:

Designer/Entsorger:

- Entsorgungswege, Transport und Lagerung der Produkte nach der Nutzungsphase
- Vorhandene Recyclingtechnologien
- Märkte für die Materialien
- Informationen über die Materialeigenschaften in Hinsicht optimierter Sortierung und Trennung
- Informationen in Bezug auf die Erkennung von wiederverwendbaren Elementen, Wertstoffen, gefährlichen Stoffen, sowie Informationen in Bezug auf den optimalen Ablauf: z.B. Pläne für effizienteren Abbau

Designer/ Verbraucher:

- Verfolgung der Produkte anhand der Instandhaltungs- und Reparaturmeldungen über die gesamte Nutzungsphase. Hier ist es von besonderer Bedeutung, den Austausch

von Teilen zu dokumentieren. Diese Dokumentation würde die Unsicherheiten bei der Produktverwertung am Ende des Lebenszyklus wesentlich verringern

Designer / Lieferant:

- Konkretisierung der Verwendung von rezyklierten Materialien für neue Teile oder der Wiederverwendung von ganzen Komponenten
- Materialmärkte
- Eigenschaften / Qualität der rezyklierten Materialien sowie Verlässlichkeit

4.4.2.7.2 Design-For-Recycling in der Planungsphase von Produkten:

Anforderungen an den DfR-Prozess können nicht in einem allgemeinen Algorithmus zusammengefasst werden, da sie äußerst industrie- und produktspezifisch sind. Daher werden Leitfäden erstellt, die leicht anwendbar, anpassbar und bewertbar sein sollen. Eine mögliche Strukturierung der Kriterien sieht wie folgt aus: (Zussman et al 1994, Pneuili et al. 1994, Kriwet et al. 1995):

1. Anforderungen an die Einzelteile:

- Gefährliche oder auf andere Weise umweltbelastende Materialien sind zu vermeiden
- Materialien und Komponenten, die mit den standardisierten Recyclingprozessen nicht zu recyceln sind, sollen vermieden werden
- Es sind Materialien zu wählen, die einfach zu verwerten sind
- Die Wiederverwendung von recyklierten Materialien soll gefördert werden

2. Anforderungen an die Bauelementengruppen aus dem gleichen Konstruktionsbereich:

- Materialien aus dem festgelegten Recycling-Cluster, die leicht zu verwerten sind, sind zu bevorzugen
- Elementengruppen aus recyklierten Materialien sind vorzuziehen

3. Kriterien in Bezug auf Rückbauprozesse:

- Es sind Verbindungen zu verwenden, die leicht zu lösen sind, vor allem zwischen Elementengruppen aus untereinander nicht kompatiblen Materialien
- Die Verbindungen sollen leicht zugänglich sein
- Es sind Verbindungen zu verwenden, die keine speziellen Instrumente für die Montage voraussetzen
- Die Verbindungselemente sollen vor Korrosion und Abnutzung geschützt werden
- Der Einsatz von Demontagetechniken, die Brechen und Schneiden voraussetzen, sind zu vermeiden

4. Kriterien in Bezug auf das gesamte Produkt

- die Materialvielfalt im Produkt soll möglichst klein gehalten werden
- die Vielfalt und die Anzahl der Verbindungen soll möglichst klein gehalten werden
- Elemente und Verbindungen, die gefährlich sein können, sollen leicht zugänglich sein
- Nicht standardisierte Verbindungen zwischen Elementen sollen vermieden werden

5. Kriterien in Bezug auf Logistik

- Die recyclingrelevante Information soll zur Verfügung gestellt werden: materielle Zusammensetzung, Rückbauabläufe, verfügbare Optionen für Recycling, etc.
- im Design sollte berücksichtigt werden, dass das Produkt nach Abnutzung leicht transportiert werden kann, z.B. durch die Möglichkeit, Konstruktionsgruppen vor Ort vor dem Transport einfach zu demontieren
- Die Verbraucher sollten aufgefordert werden, den Recyclingprozess zu unterstützen

Eine andere Zusammenfassung der Design-for-Recycling Kriterien bieten Fleischmann (Fleischmann 1997) und Vezzoli und Manzini (Vezzoli und Manzini 2008):

- Der Designer sollte die Recycling-Optionen, den gesetzlichen Rahmen, sowie die Anforderungen jedes Einflussbereiches, bei denen das Produkt vermarktet wird, gut kennen. Des Weiteren kann die Kenntnis über existierende Sammel- und Recyclingwege für die konkrete Produktart die Arbeit des Designers wesentlich erleichtern.
- Es soll festgestellt werden, wie verworfene Produkte gesammelt und rezykliert werden. Allgemeine Gemeindeprogramme akzeptieren oft nur eine begrenzte Liste von Produktarten. Bei anderen Produkten besteht eine Rücknahmepflicht seitens des Herstellers. Der Designer darf sich nicht darauf verlassen, dass sich jemand zu einem späteren Zeitpunkt um das Recycling kümmern wird, außer dies ist explicit festgelegt und Wissen über den Ablauf des Recyclings ist vorhanden dazu.
- Es soll eine zulässige Nachnutzung jedes zu rezyklierenden Materials identifiziert werden. Es gibt Materialien, die unendlich oft rezykliert werden können, während andere nur im Downcycling rezyklierbar sind. Es ist auch der Fall nicht außer Acht zu lassen, dass ein Material gut rezyklierbar ist, aber dennoch nicht gesammelt und rezykliert wird, weil kein Bedarf/ keine Vermarktungsmöglichkeiten für das Rezyklat besteht. Alle diese Faktoren sollen berücksichtigt werden und wenn nötig, soll die Materialwahl für das Produkt modifiziert werden.
- Toxische und gefährliche Materialien sollen identifiziert und vermieden werden. Falls das nicht möglich ist, soll eine Entsorgungsrichtlinie für das Ende des Lebenszyklus erstellt und mit dem Produkt mitgeliefert werden.
- Es soll sichergestellt werden, dass alle rezyklierbaren Teile ohne zusätzliche Kosten rückgebaut werden können. In diesem Sinne sollten die Kriterien von DfD angewendet werden.
- Reparatur oder Upgrade der Produkte sollte möglich sein.

Alle oben aufgelisteten Regeln beeinflussen die Effizienz des Recycling-Prozesses. Sie sollen daher in die Phase des Konzeptdesigns integriert werden und den technischen Anforderungen, sowie den Anforderungen für Instandhaltung gleichgestellt werden.

Die oben betrachteten Design-Ansätze können sowohl für sich alleine als auch, wie in den meisten Fällen, einander ergänzend angewandt werden. So sind zum Beispiel Produkte, die nach DfE entworfen werden, sehr oft simultan nach den Richtlinien des DfD und Design for

Security oder Design for Maintenance konzipiert. DfR hat auch eine Prioritätsrolle, da die Ziele von DfE aktuell in Richtung eines geschlossenen Materialkreislaufs gehen. Kosteneffektives Recycling ist ohne effektives DfD und daraus folgender effektiver Trennung und Sammlung schwer denkbar. (American Plastic Council 1999).

4.4.3 Best Practice: Beispiele aus der Elektronik- und der Automobilindustrie

Design als Maßnahme zur Optimierung der Ressourceneffizienz und des Ressourcenkreislaufs in Produkten wird in der Industrie seit den frühen 1990er angewendet. Die Mehrheit der Methoden, die dabei implementiert werden, waren und sind immer noch heuristische Methoden oder „Faustregeln“ (Masanet und Horvath, 2007; DANjou et al. 1995, American Plastic Council 1999, Graser und Hock 1996) . Zu diesen gehören alle DfX - Richtlinien wie z.B. jene, dass möglichst keine unlöslichen Verbindungen und inkompatiblen Materialien in einem Produkt vorkommen dürfen (Design for Demolition) oder Elementengruppen in einem Produkt kombiniert werden dürfen (Design for Recycling) (Masanet und Horvath, 2007). Spätestens seit der Einführung der EU-Regelwerke für die Rücknahme von Produkten der automotiven und der elektronischen Industrie, verliert die Implementierung von DfX-Ansätzen den freiwilligen Charakter und wird zu einem verpflichtenden Teil der Business Strategie. Um die neugesetzten Ziele zu erreichen reichen die heuristischen Methoden oft nicht mehr aus (Masanet und Horvath, 2007).

Jene Industrien, die von den europäischen Direktiven betroffen sind, bieten mittlerweile komplexe Konzepte für den Einsatz von Design for X-Ansätzen. Dadurch wird eine präzise Modellierung der Design-Prozesse ermöglicht und die Kreislauffähigkeit der Materialien in einem konkreten Produkt, sowie weitere Parameter (Kosten, Montage, Demontagezeit etc.) beeinflusst.

Die relevanten Ziele der DfX-Ansätze und Kombinationen, mit denen diese erreicht werden, sind produkt- und industriespezifisch. Es gibt jedoch Gemeinsamkeiten und Grundvoraussetzungen, die bei jedem der Konzepte zu beobachten sind. So ist das detaillierte qualitative und quantitative Wissen über die genaue Materialzusammensetzung von Produkten die Basis für jedes weitere Design-relevante Vorgehen zur Ressourceneffizienzoptimierung. Darauf aufbauend werden Design-Konzepte entwickelt, die möglichst material-, energie- und kosteneffiziente Produkte als Ergebnis liefern sollen.

Folgend sind Beispiele für solche Design-Konzepte aus der Praxis der Elektro- und Automobilindustrie vorgestellt: ein Konzept basiert auf 50 Produkten der elektronischen Industrie und eines betrachtet, die Ressourceneffizienzoptimierung bei Fahrzeugen am Ende des Lebenszyklus (End-of-Life Vehicles: ELV), das von der europäischen Automobilindustrie in die Produktion für die Zwecke der Ressourceneffizienzmodellierung und Bewertung übernommen wurde.

4.4.3.1 Elektronische Erzeugnisse

In diesem Ansatz (Shih et al. 2006) (case-based reasoning: CBR) wird die Best-Practice Erfahrung aus über 50 Produkte der elektronischen Industrie synthetisiert. Darauf aufbauend wurde eine zweiphasige Strategie für Ressourceneffizienz entwickelt und anhand des Indikators Kosteneffizienz als Funktion der Demontagezeit und Rückgewinnung bewertet.

Diese Strategie wurde dann exemplarisch bei weiteren Fallbeispiele getestet und mit den besten Ergebnissen aus der Industrie und ELDA (end-of-life design adviser) verglichen. Dieser Ansatz wurde als Basis mit einbezogen, um die Wirtschaftlichkeit vom Recycling verschiedener elektronischer Produkten in Taiwan zu ermitteln. Die vorgestellten Modelle und die daraus resultierenden Ergebnissen wurden mit Experten aus der Industrie verifiziert. Diese Verifizierung war notwendig, weil die Ergebnisse später der Regierung als Entscheidungsbasis dienen sollen, um für Industrien und Produkte, bei denen die Prozesse der Ressourcenrückgewinnung nicht kostendeckend sind, zusätzliche Subsidien einzuführen.

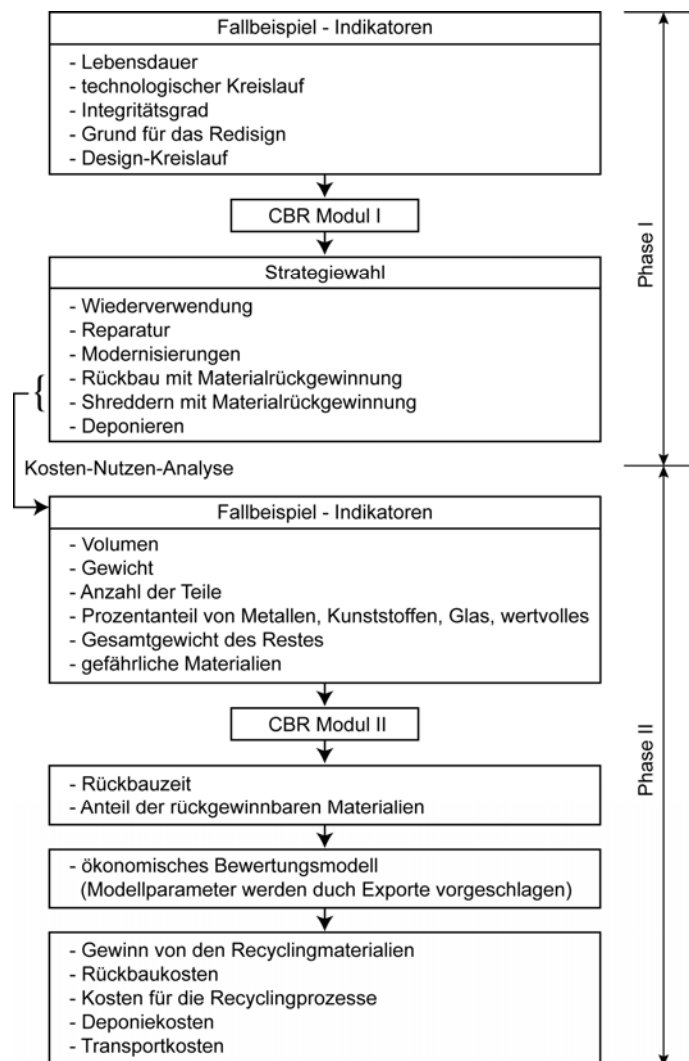


Abbildung 4-29: Flussdiagramm des CBR-Ansatzes (Shih et al. 2006)

Phase 1: Es werden Recycling- und Entsorgungsstrategien aus 50 Fallbeispiele aus der ROSE-Datenbank (Rose 2000) evaluiert. Die berücksichtigten Strategien sind unter anderem: Wiederverwendung, Modernisierung und Upgrade, Demontage mit Materialrückgewinnung, Shreddern mit Materialrückgewinnung und Deponierung.

Eine detaillierte Auflistung der Indikatoren für die Ermittlung der optimalen Recyclingstrategie (die erste Eingangsgröße im Flussdiagramm), kann Tabelle 4-25 entnommen werden.

Tabelle 4-25: CBR-Indikatoren für die Bestimmung der Design-Strategien (Shih et al.2006)

Indikatoren	Definition
Nutzungsdauer	Nutzungsdauer ist die Zeitdauer von der Anschaffung bis zu dem Zeitpunkt, wenn Produkte ihre Funktionen nicht mehr erfüllen können. Ein Computer hat z.B. eine Nutzungsdauer von ca. 7-10 Jahre.
Technologischer Kreislauf	Mit technologischem Kreislauf wird die Zeitspanne bezeichnet, in der das Produkt als hoch-innovativ bezeichnet werden kann, bis eine neuere Technologie

Indikatoren	Definition
	überholt.
Integrationsstufe	Die Integrationsstufe bezeichnet die Wechselwirkungen zwischen Modulen und Funktionen. Wenn ein Modul viele einzigartige Funktionen erfüllt, so ist die Integrationsstufe hoch.
Anzahl der Teile	Die Anzahl der Teile ist die Zahl der Komponente im Produkt, die für die Verwertung vom EOL relevant sind.
Gründe für die Neugestaltung	<p>Der Grund für die Neugestaltung ist von den Anforderungen der Käufer, abhängig, sowie von dem Verhalten der Wettbewerber und dmr technologischen Fortschritt. Es existieren folgende Kategorien:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Originelles Design • Evolutionäres Design: Funktionsverbesserungen oder Änderungen im Aussehen • Funktionsänderung
Design-Zyklus	Mit Design-Zyklus wird die Zeitspanne zwischen zwei Neugestaltungen des Produktes von dem Design-Team bezeichnet. Ein Auto hat zum Beispiel ein Design-Zyklus von 2-4 Jahre

Phase 2.: In dieser Phase wird eine Kosten/Nutzen- Analyse durchgeführt.

- a) Es werden Demontagemethoden und Abläufe untersucht. Die CBR Methode von Shich et al. bietet eine Methode für die Evaluierung von Demontagezeiten und Gewichtsprozenten der zu demontierenden Teile, die für ein optimales Zeit/ Leistung - Verhältnis erforderlich sind. Des Weiteren wird die Demontagezeit als Hauptparameter verwendet, um die Demontageskosten zu ermitteln. Die Phase 1 und der erste Schritt aus Phase 2 können als selbständiges Optimierungskonzept für die Bewirtschaftung der Materialien und ihr Rückführung in einen Kreislauf betrachtet werden.

Tabelle 4-26: CBR-Indikatoren für die Bestimmung der Demontage (CBR II) (Shih et al.2006)

Index	Definition	Spanne	Einheit
Volumen	Volumen des gesamten EOL-Produktes	0-500.000	cm ³
Gewicht	Gewicht des gesamten EOL-Produktes	0-200	kg
Anzahl der Teile	Anzahl aller Teile im Produkt	0-1.000	-
Gewichtsprozent der Hauptmaterialien	Gewichtsprozent von Kunststoffen, Metallen und Glas	0-100	%
Gewicht der Edelmetalle	Gewicht von Au, Ag, Pd	0-100	%
Gewicht des Gehäuses	Gewicht des gesamten Gehäuses unter der Annahme, dass es komplett demontiert und recycelt wird	0-100	%
Gewicht der gefährlichen Materialien	Gewicht aller Materialien, die eine gesonderte Verwertung und Behandlung brauchen	0-100	%

- b) Basierend auf die Indikatoren vom ersten Schritt der Phase 2, werden Kostenpositionen definiert. Es wird eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt. Die sagt darüber aus, ob die Ressourcenrückgewinnungsstrategie, die in den ersten zwei Schritten als optimal aus der Sicht der Ressourceneffizienz gewählt wurde, auch kosteneffektiv ist. Folgende Abbildung zeigt das Flussdiagramm der Kosten-Nutzen-Analyse

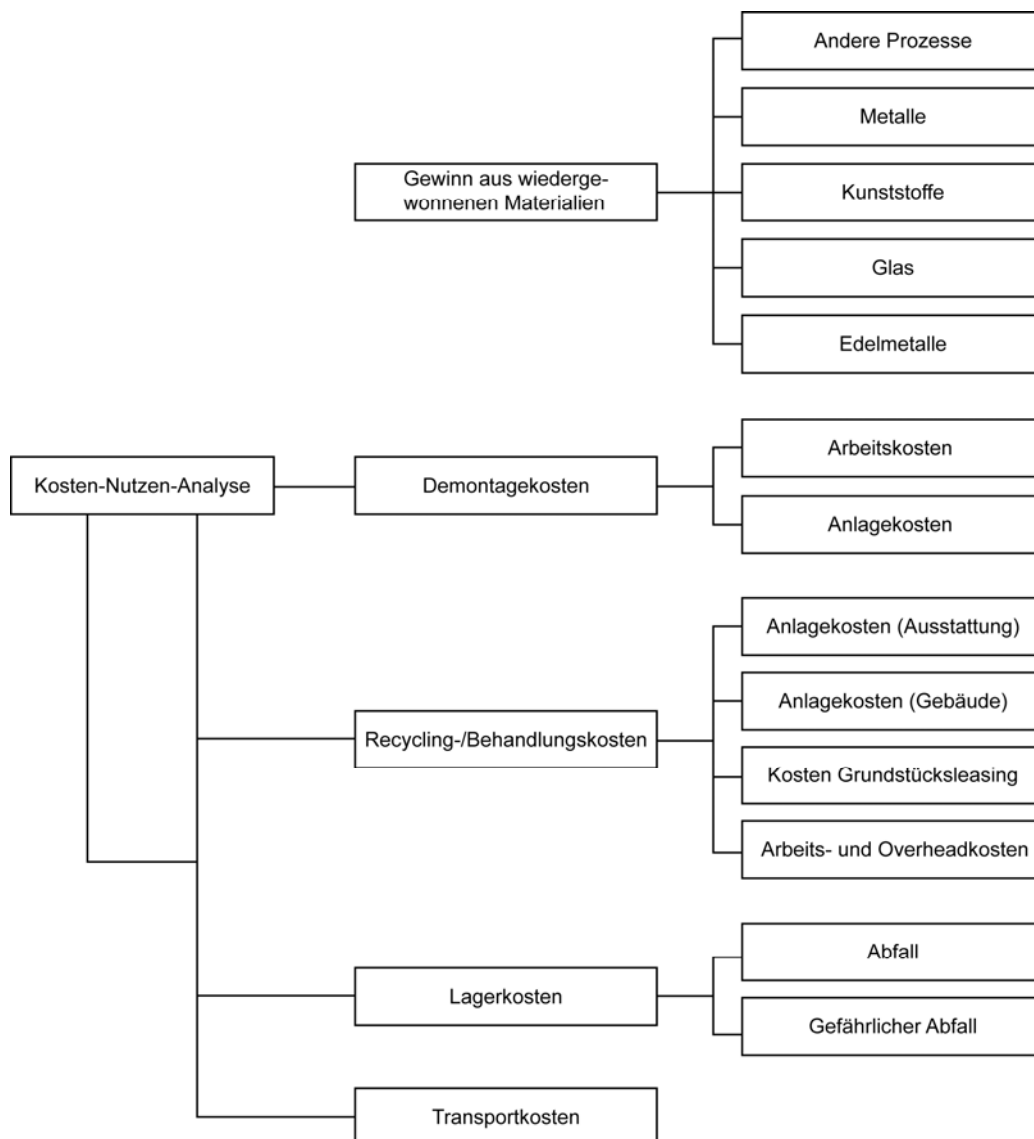


Abbildung 4-30: Kosten-Nutzen Struktur in dem Modell für die Validierung der Wirtschaftlichkeit. Es werden die Demontagekosten, die Kosten für die recyclingrelevanten Prozesse, die Deponiekosten, die Transportkosten und den erwarteten Gewinn aus dem Recycling berücksichtigt (Shih et al. 2006).

4.4.3.1.1 Fallbeispiele

Der CBR-Ansatz wurde bei fünf weiteren Produkten angewendet (Computer, Telefon, FAX-Gerät, Audiosystem, Fernseher). Für jedes der Produkte wurde mittels des CBR-Ansatzes eine optimale aus der Sicht der Ressourceneffizienz Strategie für Materialrückgewinnung jeweils für die Phase 1 und den ersten Schritt aus Phase 2 bestimmt.

Die Ergebnisse wurden anschließend mit den, in der Rose-Datenbank (basierend auf den Prozessen in der Industrie) und von ELDA vorgeschlagenen Lösungen verglichen. Die Zusammenfassung der Ergebnisse kann der Tabelle 4-27 entnommen werden, wobei die Zah-

len in der Klammer (max. 1) die Übereinstimmung der CBR-Ergebnisse mit den Lösungen von ELDA darstellen.

Tabelle 4-27: Ergebnisse der EOL-Strategien von der Phase CBR I (Shih et al.2006)

Neue Fallbeispiele	Die drei ähnlichsten Beispiele und die entsprechenden Strategien			CBR - Ergebnisse	Beste Industriestrategie	ELDA Prognose
Computer	3(0,920) Videoprojektor	3(0,892) handy	4(0,876) Radio	3	3	3
Telephone	3(0,981) DVD	3(0,924) Videoprojektor	3(0,906) Netzwerkeserver	3	3	3
Audio Anlage	3(0,932) CD-Brenner	3(0,928) CRT Bildschirm	2(0,927) Fx	3	5	3
Fax	3(0,989) LCD Bildschirm	3(0,964) CD-Brenner	3(0,960) CRT Bildschirm	3	2	3
Fernseher	4(0,879) Radio	5(0,878) Waschmaschine	3(0,867) Laserdrucker	4	4	4

Anm: die Zahl steht für die gewählte Strategie:(1) Wiederverwendung, (2) Instandhaltung, (3) Modernisierung, (4) Recycling mit Demontage (5) Recycling ohne Demontage, (6) Deponierung.

Bei der Demontage-Methode aus Schritt 1 der zweiten Phase des CBR-Ansatzes wurden optimalen Rückgewinnungsmethoden vorgeschlagen und Demontagezeiten sowie der Gewichtsanteil des Materials ermittelt. Als Vergleich für die Ergebnisse wurden auch in diesem Schritt Referenzprodukte mit einbezogen.

Die folgende Tabelle bietet eine Übersicht über die gewählten Strategien für die Phasen 1 und 2, den Grad der Übereinstimmung mit den Referenzprodukten aus der Industrie und die Ergebnissen aus der Demontage-Methode.

Tabelle 4-28: Ergebnisse aus der Demontage von Beispielsprodukten (Shih et al.2006)

Referenzbeispiele		Handy	Betriebskühlschrank	LCD Bildschirm	Telefon
Ergebnisse aus CBR I	Ähnlichstes Beispiel (CBR I)	Videoprojektor	Kühlschrank	FAX	DVD
	empfohlene Strategie	3	4	3	3
	Ähnlichkeitsgrad	0,9479	0,9748	0,9897	0,9812
Ergebnisse aus CBR II	Ähnlichstes Beispiel (CBR II)	Mouse	Kühlschrank	Notebook	Laserdrucker-Kassette
	Ähnlichkeitsgrad	0.9564	0,9217	0,9191	0,9695
	Gewichtsprozente, die demontiert wurden (%)	33,21	49,5	71,14	91,5
	Demontagezeit (s)	137	2536	112	286

Tabelle 4-29: Ergebnisse aus der Kosten-Nutzen-Analyse für die Fallbeispiele (Shih et al. 2006)

Fallbeispiel		handy	LCD Bildschirm	Telefon
Gewinn von rückgewonnenen Materialien	für das Beispiel	0,0783	1,1239	0,9750
	Metal	0,2361	10,0663	2,8613
	Kunststoffe	0,0122	43992	0
	Glass	0,0029	1,1009	0
	Edelmetalle	27,3698	0	0
	Zwischensumme	27,6933	166903	3,8363
Demontagekosten	Arbeitskosten	2,8442	4,7310	3,6139
	Anlage	0,0022	0,3770	0,1514
	Zwischensumme	2,8464	5,1080	3,7653
Recycling- Kosten	Ausstattung	0,1096	1,2627	0,1218
	Anlage	0,1265	3,3724	0,9134
	Land	0,1600	4,2665	1,1552
	Arbeitsand overhead	0,9902	14,8043	6,7283
	Zwischensumme	1,3863	35,7102	8,8976
Deponiekosten	reguläre	0,0363	1,8589	0,2239
	gefährliche	0,0216	0,0029	0
	Zwischensumme	0,0579	1,8618	0,2239
Transportkosten		0,1678	3,1968	1,2121
Total Kosten-Profit		+23 NT dollars	-17 NT dollars	-10 NT dollars

Die Kosten-Nutzen-Analyse für die ausgewählten Strategien zeigte, dass nur in einem der analysierten Fälle die Recyclingprozesse kostendeckend waren (siehe Tabelle). Die Verifizierung mit der Industrie bestätigte die Ergebnisse. Für diese Fälle sollten weitere Vorgehensweisen mit staatlichen Subsidien überlegt werden.

4.4.3.2 Die Automotive Industrie

Die Automobilindustrie hat eine der längsten Geschichten in der Anwendung von Design for X- Ansätzen. Mit dem Inkrafttreten der EU Direktiven nach 2003, war das Erreichen der neu-gesetzten Ziele durch heuristische Methoden nicht mehr möglich.

Die Richtlinie 2000/53/EC regelt die Verwendung einer Reihe von Materialien und die entsprechenden minimalen Wiederverwendungs- und Recyclingraten, welche bei der Entsorgung alter Fahrzeugen (end-of-life vehicles:ELV) zu erzielen sind (EU Richtlinie 2000/53/EC):

- nach Juli 2003 dürfen Fahrzeuge Blei, Cadmium, Mercury oder hexavalentes Chrom nicht mehr enthalten (Ausnahmen sind im Annex der Richtlinie beschrieben sind)
- nach Januar 2006
- sollen alle Fahrzeuge, die nach 1980 hergestellt wurden, zu 85% wiederverwendet werden (Recycling von mindestens 80% Massenanteil)
- sollen alle Fahrzeuge, die vor 1980 hergestellt wurden, zu 75% wiederverwendet werden (Recycling von mindestens 70% Massenanteil)
- nach Januar 2015 sollen Wiederverwendung und Materialrückgewinnung 95% erreichen (Recyclingrate von mindestens 85% Massenanteil)
- Die Verwendung von gefährlichen Stoffen in neuen Fahrzeugen vermieden werden
- Die Demontage soll möglichst einfach erfolgen, so dass Wiederverwendung, Recycling und Materialrückgewinnung gefördert werden
- Es sollen vermehrt Recyclingmaterialien in neuen Fahrzeugen verwendet werden, um den Recyclingmarkt zu fördern

Das führte dazu, dass neue, tiefgreifende Ansätze entwickelt, getestet und implementiert wurden, welche die Optimierung der Recycling-Effizienz bis auf die Elementebene erstrecken.

Die lange Tradition der Anwendung von heuristischen Methoden sowie die zum Teil standardisierte Bauweise und begrenzte Materialvielfalt, haben wesentlich dazu beigetragen, dass eine gut fundierte Wissensbasis über die materielle Zusammensetzung von Fahrzeugen besteht. Diese liefert unter anderem Ignatenko (Ignatenko et al., 2006) mit einer gewichteten grafischen Darstellung von Kfz am Ende ihres Lebenszyklus (End-of-Life-Vehicles: ELV).

Mit dem Design Wheel wird darüber hinaus eine Gewichtung der Materialien aus der Sicht der Rezyklierbarkeit vorgeschlagen. Der Grad der Rezyklierbarkeit ist dabei als eine Funktion des Freiheitsgrades (die Trennbarkeit) und der Reinheit des Materials nach dem Shredder-Prozess darstellbar.

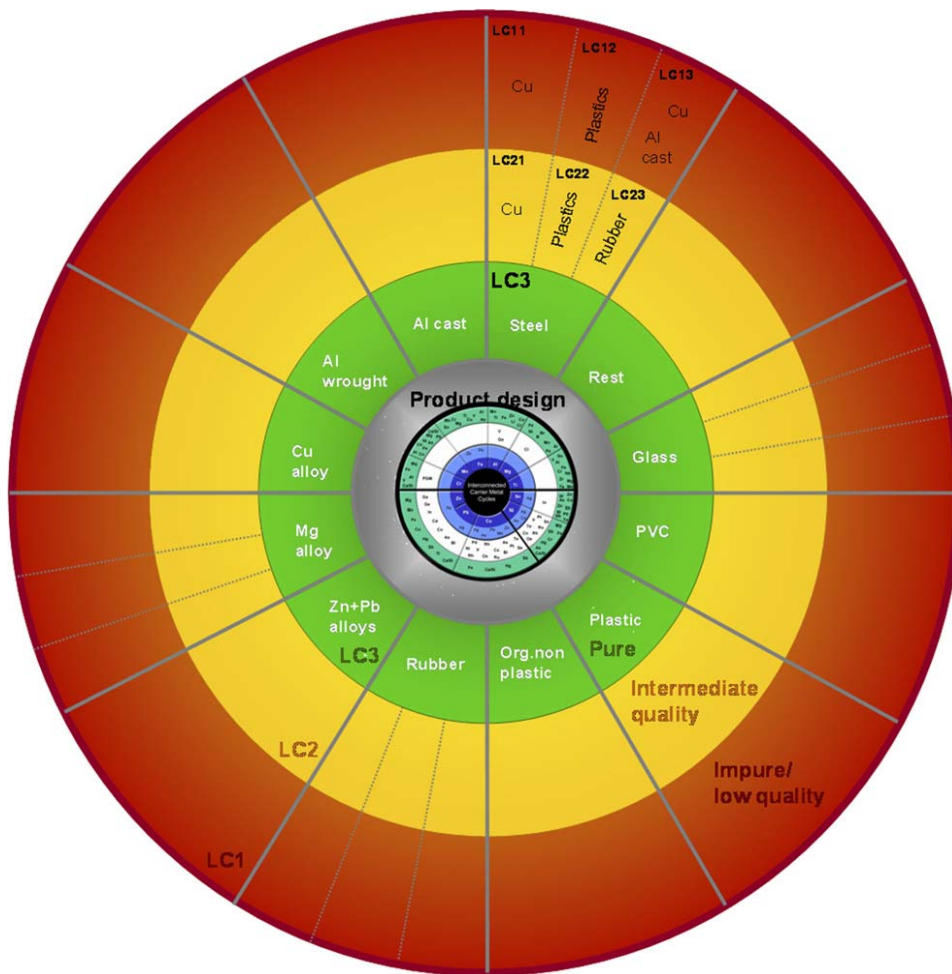


Abbildung 4-31: Das Design-Wheel nach Schaik demonstriert die Zusammenhänge zwischen Produktdesign, Trennbarkeit und Recyclingqualität (Schaik, Reuter, 2007).

Auf dieser Basis wird weiter ein Modell für das Prozesssystem der ELVs aufgebaut, mit dem die Grenzen der Ressourcenrückgewinnung untersucht werden. Dieses Modell wurde von der Europäischen Automobilindustrie in der Design-Praxis zur Kalkulation der Recyclingeffizienz ins Design übernommen. (Schaik, Reuter, 2007).

Die Hauptbestandteile des Modells sind wie folgt (Ignatenko et al., 2006):

- Massenbilanzgleichungen, die Rückgewinnungsfaktoren für jedes Material und chemisches Element und die Teilchengröße bzw. den Trennbarkeitsgrad jeder Einheitsoperation berücksichtigen
- Rückgewinnungsfaktoren für jede Einheitsoperation, Mineralien, Teilchengröße, chemische Elemente und chemische Komponenten
- Strukturparameter für die Überwachung, Bewertung und Optimierung der Szenarien
- Übertragung der physikalischen Beschreibung der Massenflüsse in chemischen Flüssen mit zugeordneten energetischen Werten

- Anforderungen an die Qualität und den Energiewert der Materialflüsse für die verschiedenen Einheitsoperationen
- Objektive Funktionen, Optimierung und Bewertung der Szenarien (Bewertungskriterien sind z.B. Material- und Energierückgewinnungsgrad und Energieeffizienz, Betriebskosten und Umwelteinflüsse)

4.4.3.2.1 Methode:

Die Vorgehensweise erfolgt in vier Hauptschritten:

- Physikalische und chemische Beschreibung der Materialflüsse
 - physische Trennung
 - metallurgischer Prozess und
 - thermische Behandlung
1. Physikalische und chemische Beschreibung

1.1 Physikalische Beschreibung: Mineralien, Teilchengröße, Trennbarkeitsklassen und chemische Elemente

Der Materialinput in das System ist definiert als die Masse in kg nach dem Shreddern des zu verwertenden Fahrzeugs, deren qualitative und quantitative Zusammensetzung nach Material- und Mineraliengehalt charakterisiert wird (die Charakterisierung erfolgt nach Tabelle 4-31). Die Ermittlung der Zusammensetzung ist dabei eine Funktion der Teilchengröße (Größenklassen von 1 bis 5) und des Trennungsgrades (in Klassen von 1 bis 5) für jeden Massenfluss. Die Elementarzusammensetzung der Mineralien ist definiert durch korrespondierende Elemente (von Al bis Zn) und die Elementarzusammensetzung der verschiedenen Trennungsklassen für die verschiedenen Materialien ist anhand einer Kompositionsmatrix definiert (Tabelle 4-31).

Tabelle 4-30: Durchschnittliches Gummigehalt in ELV (Ignatenko et al.2006)

Material	Zusammensetzung	Chemische Formel	kg	%
Reifen			27,9	78,2
Bestehend aus:	Naturkautschuk	$[-C_{77}H_{139}S-]_n$	3,14	11,3
	Butadien	$[-C_{79}H_{118}S-]_n$	9,42	33,8
	Styren- Butadien Gummi	$[-C_{81}H_{95}S-]_n$	9,42	33,8
	Schwarzkohle	C	9,77	35
	mineralische Öle		5,50	19,7
innere Röhre	Butylen Gummi	$[-C_{77}H_{139}S-]_n$	0,1	0,3
Andere	Naturkautschuk	$[-C_{77}H_{139}S-]_n$	7,7	21,6

Tabelle 4-31: Charakterisierung der Mineralien und Elementen in ELV (Ignatenko et al.2006)

Mineral	Enthalten in folgenden Gütern	Repräsentative chemische Formel
A - Aluguß	gegossenes Aluminium	Al
B – Alu bearbeitet	bearbeitetes Aluminium	Al
C - Kupfer	Kupfer	Cu
D - Glas	Glas	SiO ₂
E - Magnesium	Magnesium	Mg
F – andere organische Stoffe	Textilien und Fasern, Holz	Zellulose [-C ₆ H ₁₀ O ₅ -] _n
G - Kunststoffe	nicht-chlorierte Kunststoffteile (PP, PE, ABS, PC, etc.)	Polypropylene [-C ₃ H ₆ -] _n
H – polychlorierte Kunststoffe	chlorierte Kunststoffteile und Anstriche vor allem PVC	PVC [-C ₂ H ₃ Cl-] _n
I - Rest	Güter nicht in anderen Mineralien enthalten	SiO ₂
J - Gummi	Gummitteile wie Reifen, Tubennenseiten, Matten, etc.	Berechnete Formel [-C ₇₈ H ₁₂₉ S-] _n
K - Stahl	Stahl	Fe
L - Zink	Zink	Zn

1.2 Chemische Beschreibung

Die chemische Beschreibung ist auf die Hauptprozessen ausgerichtet, die in der Verwertung von alten Fahrzeugen zum Einsatz kommen: der metallurgische Prozess und die thermische Verwertung. Beide Prozesse setzen eine genaue chemische Analyse voraus, die Auskunft über Legierungen, Oxidationsstufen, Zusätze etc. liefern soll. Die Ermittlung der chemischen Zusammensetzung erfolgt nach einer getrennten chemischen Matrix.

Diese Vorgehensweise erlaubt, dass beide die chemischen und die physikalischen Eigenschaften der Materialflüsse im System mit diesem Modell evaluiert werden können, sowohl für die Mineralien, als auch für die Elemente. Um das zu erreichen, sollen beide Matrizen: die Matrix Teilchengröße/Trennung und die Matrix der elementaren - und chemischen Zusammensetzung, parallel angewendet werden.

Tabelle 4-32: Beispiele für das Gehalt an schweren und alkalischen Metallen in Kunststoffen und für kunststoffhaltige Abfälle (Ignatenko et al.2006)

	PVC [6]	PU [6]	Rubber [6]	ASR [6]	ASR [7]	ASR [8]	ASR [9]
Zn	19 ppm	39 ppm	1,9%	1,2%	0,9%	6,1%	n/a
CU	14 ppm	-	105 ppm	1,6%	1,1%	7,1%	2,6%
Pb		450 ppm	56 ppm	0,14%	0,5%	0,7%	1,1%
Ba	1,5 %	0,9%		0,5%	0,6%		
Ca					4%		
Mg					0,9%		0,8%
K + Na					1%		
Cd					61 ppm	80 ppm	85 ppm
Cr					1200 ppm	660 ppm	1800 ppm
Hg					2,1 ppm		
Sn					67 ppm		400 ppm

1.3 Ermittlung der Komponenten mit organischem Anteilen

Die Vielfalt der organischen Polymere macht ihre Klassifizierung anhand der genauen chemischen Zusammensetzung unmöglich. Daher wird die Organik als Kombination von vier verschiedenen organischen Elementen dargestellt (Tabelle 4-33). Die organischen Komponenten können weitere chemische Verunreinigungen enthalten (z.B. aus verschiedenen Polymerzusatzstoffen, Farben, Alkalien, Schwermetalle, Halogene, Phosphor etc.). Diese Verunreinigungen beeinflussen die chemischen Transformationsprozesse und daher die Qualität des Endproduktes, daher werden sie bei der Optimierung des Prozesses berücksichtigt.

Tabelle 4-33: Beispiel für die Verteilung der chemischen Zusammensetzung von organischen Elementen (Basis für die Matrix der chemischen Zusammensetzung) (Ignatenko et al., 2006)

Gut	Hauptkomponente				Zusätze							
	$[-C_3H_6-]_n$	$[-C_2H_3Cl-]_n$	$[-C_{78}H_{129}S-]_n$	$[-C_6H_{10}O_5-]_n$	Cl(S)	ZnO	Sb ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
Kunststoff	0,9	-	-	-	0,01	0,01	0,05	0,01	0	0,01	0	0
Chlorierte Kunststoffe	-	0,6	-	-	0,02	0,05	0,05	0,2	0,01	0,01	0,01	0,04
Gummi	-	-	0,7	-	0,02	0,1	0	0,05	0	0	0,02	0,1
Andere org. Stoffe	-	-	-	0,95	0,02	0	0	0	0,01	0,01	0	0

2. Physische Trennung

Für die physische Trennung wird eine Massenbilanz erstellt, anhand derer die Materialflüsse zwischen den einzelnen Einheitsoperationen bestimmt werden (für Mineralien, Elemente) in Abhängigkeit von Teilchengrößenklassen und Trennungsklassen) zwischen den einzelnen Einheitsoperationen.

3. Metallurgischer Prozess

Die Qualität der Materialflüsse, die in den metallurgischen Prozess einfließen, bestimmt die Effizienz dieses Prozesses (Rückgewinnungsrad verschiedener chemischer Komponenten). Die Massenbilanz der relevanten Metalle wird anhand von Rückgewinnungsfaktoren für jede chemische Komponente des Metalls ermittelt. Um die zahlreichen Input-Flüsse der physikalischen Trennung zu einem einzigen Fluss in den metallurgischen oder den thermischen Verwertungsprozess zu vereinen, werden Transferschritte definiert. Diese Transferschritte sind eine Übersetzung der physikalischen Beschreibung der Flüsse, basiert auf Mineralienklassen, Teilchengrößenklassen und Trennungsklassen, in eine chemische Beschreibung der Flüsse, basiert auf chemischen Komponenten als Funktion der Elementzusammensetzung der Flüsse.

4. Thermische Verwertung

Für die Zwecke der thermischen Verwertung ist es notwendig, das Verhalten des zu verbrennenden Abfalls gut zu kennen. Dieses kann in Abhängigkeit von chemischen und physikalischen Eigenschaften, sowie von Temperatur, Oxidations- und Massenreduktionsprozessen, stark schwanken.

Für die Analyse des Abfallverhaltens wird eine Untersuchung des organischen (CO₂ und H₂O) und des anorganischen Anteils durchgeführt (metallische und nichtmetallische Anteile in der Asche und dem Filterkuchen).

Für den Prozess der thermischen Verwertung werden Energie- und Massenbilanzen erstellt.

In einem nächsten Schritt wird zuerst die thermische Verwertung modelliert. Für die Verifizierung und die Optimierung des Prozesses werden vier Tools angewendet. Die Kriterien für die Wahl der Tools sind 1) die verlässliche Berechnung von Massenflüssen und 2) die verifizierte Anwendbarkeit in der Industrie.

Hier wird einer der vier Modellierungstools für die thermischen Prozesse vorgestellt. Der EBARA TwinRec berücksichtigt eine kombinierte thermische Verwertung durch Vergasung und Verbrennung. Folgende Abbildung demonstriert der Ablauf in dem Prozess. In den darauffolgenden Tabellen wird verfolgt, welche Komponenten werden in welcher Phase des Prozesses verwertet (Tabelle 4-34), und welcher Einfluss die Abfallzusammensetzung auf den Output aufweist (Tabelle 4-35)

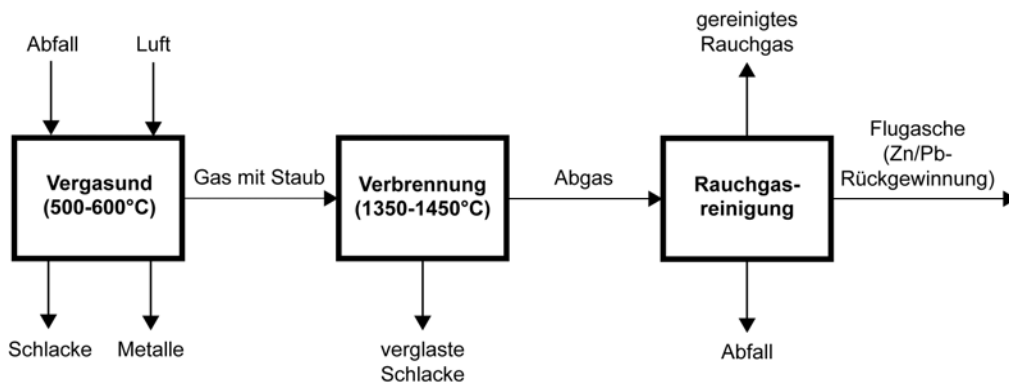


Abbildung 4-32: Modellierung anhand des EBARA TwinRec thermischen Prozesses (Ignatenko et al., 2006)

Tabelle 4-34: Metallische Zusammensetzung des Outputs aus dem thermischen Prozess (Ignatenko et al., 2006)

Input Metall	EBARA TwinRec	
	Vergasung (550°C)	Verbrennung (1400°C)
Al	fest(Al, Al ₂ O ₃)	Schlacke
Ba	fest (BaCl ₂)	Gas (BaCl ₂)
Ca	fest (CaCl ₂)	Gas (CaCl ₂)
Cd	fest (CdCl ₂)	Gas (mainly Cd)
Co	fest (CoCl ₂)	Gas (CoCl ₂)
Cr	Fest Oxide oder Metalle	Schlacke
Cu	fest Cu	Vorwiegend Schlacke
Fe	fest (Fe)	Schlacke (Fe, FeO)
Hg	Gas Hg or HgCl ₂	Gas Hg or HgCl ₂
K	fest	Gas (KCl)
Mg	fest	Schlacke
Na	fest	Gas (NaCl)
Ni	fest	Schlacke
Pb	(Gas/flüssig) PbCl ₂	Gas PbCl ₂
Sb	Feststoff	Schlacke
Sn	Gas SnCl ₂	Gas (SnCl ₂)
Zn	Gas (teilweise flüssig) ZnCl ₂	Gas (ZnCl ₂)

Tabelle 4-35: Einfluss der Abfallkomponenten auf den Output aus dem thermischen Prozess (Ignatenko et al., 2006)

Abfallanteil	Fe	FeO	Al	Al ₂ O ₃	Cu	SiO ₂	Zn	Ca	PP	PVC	Gummi	Fasern	H ₂ O
Produkt													
Rauchgas								neutral	Gut	schlecht	schlecht	Gut	Gut
Schlacke	Gut	neutral	Gut	neutral	Gut	schlecht	neutral	neutral	neutral	neutral	neutral	neutral	
Fe-Fraktion	neutral												
Cu-Fraktion					neutral								
Al-Fraktion			neutral										
Hitze	schlecht	schlecht	schlecht	schlecht	schlecht	schlecht							schlecht
Asche					schlecht		neutral	schlecht		neutral			
Schwermetallkonzentration	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut		schlecht		schlecht	schlecht	schlecht	schlecht	
Prozessabfall	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut	schlecht		Gut	schlecht	schlecht	Gut	
Materialrückgewinnung	neutral	Gut	neutral	Gut	neutral	neutral	neutral	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut	schlecht
Energierückgewinnung	schlecht	schlecht	schlecht	schlecht	schlecht	schlecht	Gut	Gut	neutral	neutral	neutral	neutral	schlecht

Gut
 schlecht
 neutral

Mit den Ergebnissen aus der Modellierung der thermischen Verwertung werden Beispiel-Szenarien definiert, anhand deren die gesamte Rezyklierbarkeit und Materialrückgewinnung weiter modelliert werden.

Die von Schaik betrachteten Szenarien sind:

- Szenario 1: Optimierung des Prozess-Flusses für Fahrzeuge am Ende des Lebenszyklus ohne Einschränkungen in der thermischen Verwertung
- Szenario 2: Optimierung des Prozess-Flusses für Fahrzeuge am Ende des Lebenszyklus mit Einschränkung in der thermischen Verwertung von 10% (entspricht der EU-Direktive für Entsorgung von Fahrzeuge am Ende des Lebenszyklus)
- Szenario 3: Maximale Material- und Metallrückgewinnung mit Einschränkung in der thermischen Verwertung von 10% (entspricht der EU-Direktive für Entsorgung von Fahrzeuge am Ende des Lebenszyklus)
- Szenario 4: Minimaler Abfall, ohne Einschränkungen in der thermischen Verwertung
- Szenario 5: Maximale Aluminiumrückgewinnung mit Einschränkung in der thermischen Verwertung von 10%

Szenarien	1	2	3	4	5
α (physisch getrennte Metalle- hohe Priorität)	100	100	10	1	100
β (physisch getrennte Metalle- niedrige Priorität)	1	1	10	1	10
γ (Materialrückgewinnung)	1	1	100	1	10
δ (Abfallproduktion)	1	1	100	100	10
ε (Nutzung von Metallen in Legierungen)	10	10	10	1	10
κ (Energierückgewinnung)	1	1	10	1	10

Tabelle 4-36: Objektive Gewichtung der Zielfunktion für die ausgewählten Szenarien (Ignatenko et al., 2006)

4.4.3.2 Ergebnisse

Der Material- und Energierückgewinnungsgrad, sowie der Abfallaufkommen für die einzelnen Szenarien nach jedem der vier Schritte, können folgender Tabelle entnommen werden.

Tabelle 4-37: Rückgewinnungsgrad für die ausgewählten Szenarien (Ignatenko et al., 2006)

Szenarien	1	2	3	4	5
<i>Gesamtrückgewinnung</i>	0,95	0,91	0,91	0,97	0,88
<i>Metallrückgewinnung</i>	0,74	0,74	0,72	0,63	0,73
Physische Trennung	0,73	0,74	0,72	0,63	0,72
Thermische Verwertung	0,003	0,001	0	0	0,01
<i>Materialrückgewinnung</i>	0,11	0,11	0,14	0,24	0,12
Kunststoffe	0,02	0,03	0,05	0,02	0,04
Silikate	0,004	0,05	0,05	0,03	0,05
aus der thermischen Verwertung	0,05	0,03	0,05	0,19	0,03
<i>Energierückgewinnung</i>	0,1	0,07	0,05	0,1	0,04
<i>Zn-reicher Staub (aus der thermischen Verwertung)</i>	0,003	0,002	0,002	0,005	0,002
<i>Abfall</i>	0,06	0,09	0,09	0,03	0,12
Physische Verarbeitung	0,01	0,03	0,05	0,002	0,06
Metallurgische Prozesse	0,05	0,05	0,05	0,03	0,05
Thermische Prozesse	0,001	0,001	0	0	0,01

4.4.4 Design for X für das Bauwesen

Ein Überblick über die geschichtliche und technologische Entwicklung in der Elektronik- und Automobilindustrie lässt Defizite und Potenziale in der Bauwirtschaft erkennen, die zu berücksichtigen bzw. zu bewältigen sind, damit der Einsatz von Design-Maßnahmen in der

Bauplanung zur Steigerung der Ressourceneffizienz führen kann. Weitere Information dazu findet sich im Teilbericht der Action 7.4.

4.4.4.1 Notwendige Rahmenbedingungen für die Implementierung von Design for X – Ansätze im Bauwesen

4.4.4.1.1 Technische Rahmenbedingungen

4.4.4.1.1.1 Detailliertes Wissen über die materielle Zusammensetzung der Produkte

Ein Blick auf die Entwicklung von Design als Instrument zur Optimierung der Ressourceneffizienz im Materialkreislauf stellt die erste Voraussetzung für die Implementierbarkeit und die Entwicklung aller dieser Ansätze dar. Hierzu gehören allgemeine, heuristische Leitfäden und Regelkataloge (Punkt 4.4.2: Design for X) sowie genaue analytische Methoden, mit denen die Rezyklierbarkeit bis auf die Elementarebene modelliert und optimiert werden kann (siehe Fallbeispiel Automobilindustrie). Das Wissen über die genaue materielle und stoffliche Zusammensetzung der Produkte ist die Basis für Optimierungseingriffe jeglicher Art.

Es ist davon auszugehen, dass sich dieses Wissen parallel zur Weiterentwicklung der Design-Ansätze entwickelte und der Notwendigkeit einer größeren Detailliertheit und der Erfassung von tieferen Ebenen in der Materialstruktur (von Bauteilebene durch die Materialebene bis zu der Elementarebene) folgte.

Dabei umfasst dieses Wissen nicht nur die Kenntnisse über die materielle und stoffliche Zusammensetzung von allen Teilen, die in einem Produkt integriert sind (Hauptteile, Verbindungselemente etc.), sondern auch jene über ihre Verhältnisse zueinander (lösliche und unlösliche Verbindungen, Verklebungen, Beschichtungen, Rotationen etc.).

Dieses genaue Wissen in der Planungsphase fehlt im Bauwesen noch, obwohl zahlreiche Forschungsprojekte und Studien im Bereich Baurestmassen, sowie Berichte von Abbruchunternehmen und Recyclinganlagenbetreibern diese Lücken bereits zu füllen versuchen. So ist es zum Teil möglich, eine Abschätzung zu machen, welche Materialien und Stoffe in welchem Produkt oder Bauweise zu erwarten wären.

Die zwei Hauptprobleme dieser Wissensbasis sind, dass:

- sie zeitverschoben sind (d.h. Studien die aktuell durchgeführt werden, erfassen Bauweisen von vor ca. einem halben Jahrhundert) und daher keine Aussage über die aktuellen Bauweisen und Baumaterialien machen können.
- diesem Wissen die Bauchemiebranche gegenüber steht, die eine der Industriebranchen ist, die sich am dynamischsten und am rasantesten entwickelt und ständig neue Materialien und Stoffe, mit einer komplett neuen Zusammensetzung produziert.

Des Weiteren zeigen Studien über Design for X aus den elektronischen und der Automobilindustrie, dass Ressourceneffizienz und Materialkreislauf am stärksten und effizientesten durch Maßnahmen im Design- und Planungsprozess zu beeinflussen sind. D.h. die materielle Information sollte in diesem Punkt bereits vorhanden und bekannt sein.

Diese Wissenslücke im Bauwesen sollte durch die Einführung von geeigneten Tools überbrückt werden, welche die in der Planungsphase generierter materieller Information in geeigneter Form erfassen und dokumentieren (materieller Gebäudepass). Diese Tools sollten den Besonderheiten der Bauwerke als Hauptprodukte des Bauwesens angepasst sein und die Abläufe und Prozesse der Bauplanung berücksichtigen.

Ein Konzept für ein Gebäudepass-Tool wird in Action 7, Punkt 7.4 angeboten. Es beinhaltet ein Strukturmodell des Tools, sowie eine Untersuchung der Rahmenbedingungen für die Implementierbarkeit des Tools in die Baupraxis. Außerdem wurden Fallbeispiele erfasst und dokumentiert, um die Anwendbarkeit und die weiteren notwendigen Entwicklungs- und Implementierungsschritte zu ermitteln.

4.4.4.1.1.2 Standards für die Planungsprozesse

Einige der Vorteile, die die Produkte der Elektronischen- und der Automotiven-Industrie den Bauwerken gegenüber aufweisen, sind der kleinere Umfang der Produkte und die standardisierten Produktions- und Design-Prozesse. Über das Design eines Produktes entscheidet bei kleinen, unkomplizierten Produkten ein Verantwortlicher, der über das notwendige Wissen in allen Aspekten (konstruktiv, materiell etc.) verfügt, oder bei großen, aufwendigen Produkten Teams von Designern. In beiden Fällen wird die gesamte Information gleichzeitig generiert und aktualisiert und in einem standardisierten (meistens CAD) Modell zusammengefasst. Die auf diesem Weg generierte Information gilt für alle Produkte aus der gleichen Serie.

Bauwerke im Hochbau dagegen sind einzigartige Produkte (mit der Ausnahme von Fertigteilhäusern und manchen Industriebauten). Die materielle Information für jedes Objekt wird in der Planungsphase neu generiert, liegt im Regelfall in verschiedenen Händen für jedes Gewerk und wird in verschiedenen Standards und Dokumentationsformen zusammengefasst. Um die materielle Information einheitlich zu erfassen und zu dokumentieren und sie damit als Wissensbasis für Optimierungsprozesse anbieten zu können, wären einheitliche Standards für die Dokumentierung sinnvoll. Diese sollen den Dokumentationsumfang und die Parameter regeln, aber auch das Einfließen der Information in eine Zentralstelle, die diese während der gesamten Planung auf Aktualität, Vollständigkeit und Handhabbarkeit überprüft. Diese Stelle könnte physisch (Stabstelle des Prozessmanagements) oder virtuell (Projektmanagement-Software) und mit CAD-Systemen verknüpft sein, welche die materielle Information in dem notwendigen Umfang automatisch erfassen und in einen einheitlichen Standard übersetzen.

Das Thema der Standardisierung bzw. der Bestimmung der notwendigen Rahmenbedingungen für die Erfassung und Dokumentierung der materiellen Information in einem materiellen Gebäudepass, wird näher im Punkt 7.4 der Action 7 diskutiert.

4.4.4.1.2 Politische Rahmenbedingungen

Der entscheidende Umbruch in der Entwicklung und Implementierung von Design for X Ansätzen in der elektronischen und der Automobilindustrie ist mit dem Verabschieden der EU-Richtlinien für Entsorgung und Rücknahme von alten Elektroerzeugnisse und Altfahrzeuge gekommen (RL 2002/95/EG, RL 2000/53/EG). Mit den Recycling- und Wiederverwendungsquoten, die in diesen Richtlinien festgelegt wurden, ist der Einsatz von Ressourceneffizienzoptimierungsmaßnahmen im Design-Prozess verpflichtend geworden. Die heuristischen Richtlinien und Leitfäden, die bis dahin zum Erreichen der intern festgelegten Ziele der Ressourcenschonung auf freiwilliger Basis durchgeführt wurden, waren ab diesem Zeitpunkt unzureichend und den neudefinierten Zielen nicht mehr angemessen. Somit entstand der Bedarf, Rezyklierbarkeits- und Wiederverwendungsgrad genauer modellieren und optimieren zu können. Der politische Eingriff ist bei diesen Industrien das Instrument, mit dem die relevanten Faktoren der Ressourceneffizienz vor den wirtschaftlichen gestellt werden und Materialien im Kreislauf geführt werden können, auch wenn der Gesamtprozess nicht kostendeckend ist (Siehe Fallbeispiel 1).

Ohne das gleiche politische Regelwerk für das Bauwesen, ist nicht zu erwarten, dass die Produzentenverantwortung und die Entwicklung von Designansätzen für Ressourcenoptimierung die notwendige Tiefe und den Umfang erreichen können.

Diese Richtlinien können unter anderem folgendes regeln:

- Mindestquoten sowohl für das Recycling, aber auch für die Wiederverwendung von mineralischen Baurestmassen
- Mindestquoten für stoffliches Recycling für alle Materialien
- Den Einsatz von Materialien, Verbindungsarten und Konstruktionen verbieten, welche die Möglichkeiten, einen selektiven Abbau durchzuführen, Materialien zu rezyklieren und sie wieder in den Kreislauf zurückzuführen, stark einschränken

4.4.4.2 Katalog mit heuristischen Design for Recycling Maßnahmen für das Bauwesen

Viele der Design-for-X- Ansätze und Maßnahmen der Elektronik- und Automobilindustrie können direkt oder modifiziert auf das Bauwesen übertragen werden und somit auf ähnliche Art und Weise zur Ressourceneffizienzoptimierung und zur Rückführung der Materialien in einen Kreislauf beitragen.

Es wurde ein Leitfaden aus Design for Demolition (Rückbau) und Design for Recycling Regeln erstellt, da diese zwei Design-Ansätze einen direkten und außerdem den größten Einfluss auf die allgemeine Rezyklierbarkeit und Kreislauffähigkeit von Konstruktionen und Materialien haben.

Tabelle 4-38: Heuristische Design for Recycling Maßnahmen für das Bauwesen

Wirkungskategorie	Maßnahme
Rückbau	Standardisierte Abläufe für einen selektiven Rückbau sollen in der Planung berücksichtigt und gefördert werden
	Möglichst eine einzige Bauweise im Gesamtgebäude, Kombinationen von Bauweisen sind zu vermeiden, da verschiedene Abbauprozesse
	Modulare Bauweise: Elemente mit ähnlicher Funktion, Lebensdauer und materieller Zusammensetzung aggregieren
	Module, Fertigteile und fertige Produkte verwenden Alle Anforderungen, die an Materialien und Verbindungen der vom Planer entworfenen Konstruktionen gestellt werden, sollen von den Fertigteilen und Produkten erfüllt werden (die in diesem Katalog gelisteten Maßnahmen und Anforderungen) Fertigteile und Produkte verwenden, für die eine Rücknahmemöglichkeit seitens des Hersteller besteht
	Verbundkonstruktionen (Konstruktionen mit integrierten Funktionen) mit unlöslichen Verbindung zwischen den Elementen sind zu vermeiden (z.B. Kühldecken mit flächenverklebtem und integriertem Kühlregister, Wärmedämmverbundsysteme)
	Elemente und Konstruktionen so planen und einbauen, dass Wiederverwendung möglich
	Elemente und Konstruktionen mit der kürzesten Lebensdauer (mehrmaliger Austausch während der Gebäudelebenszyklus) möglichst leicht zugänglich und leicht austauschbar machen; Lebensdauer und Alter-Kennzeichnung einführen
	Verbindungsanzahl und –Vielfalt minimieren, chemische Verbindungen vermeiden (Verkleben), Flächenverbindungen sollen ausgeschlossen werden, leicht lösliche Verbindungen Möglichst nur standardisierte Verbindungen verwenden
Recycling	Materialvielfalt reduzieren
	Verbundmaterialien (Kompositmaterialien) vermeiden
	Rezyklierte Materialien verwenden
	Möglichst keine gefährlichen Materialien verwenden. Falls unvermeidlich, sollen diese gekennzeichnet und leicht ausbaubar und trennbar sein
	Materialkennzeichnung einführen (Material-Labeling)
	Schlecht rezyklierbare Materialien vermeiden
	Schlecht kompatible Materialien in der selben Konstruktion vermeiden
	Sekundärbeschichtungen sind zu vermeiden Es sollten möglichst nur solche Beschichtungen verwendet werden, die die Rezyklierbarkeit der Materialien nicht beeinträchtigen

5 Schlussfolgerungen

Die Kenntnis des Materialverbrauchs, die Bewertungsindikatoren und Methoden für die Ressourceneffizienz, die Analyse des klassischen Planungs- und Generierungsprozesses der materiellen Information im Bauwesen sowie die Zusammenstellung von Design for Recycling Ansätzen sind die vier Schritte, um eine Prognose der materiellen Zusammensetzung zukünftiger Baurestmassen zu ermöglichen. Sie bieten somit die Wissensgrundlage, um die Generierung der materiellen Information im anthropogenen Gebäudelager heute und in den nächsten Jahrzehnten besser zu verstehen und die Hauptprobleme der Baurestmassenbewirtschaftung, die damit verbunden sind, zu erkennen.

Mit der Analyse der Baumaterialien der Gegenwart und der Zukunft kann ein Überblick über die Materialflüsse heute und in den nächsten Jahrzehnten geliefert werden, jedoch besteht derzeit das Problem der mangelnden Datenlage des Baumaterialienverbrauchs und dessen Zusammensetzung. Somit ist es kaum möglich den Verbrauch an österreichischen Bauprodukten vollständig zu erfassen. Nichts desto trotz lässt sich eine signifikante Veränderung der Bauweisen und der materiellen Zusammensetzung in den letzten Jahren im Gebäudelager erkennen. Die größte Fraktion an zukünftigen Baurestmassen wird der Betonabbruch ausmachen, da eine Analyse hervorbrachte, dass ein Großteil der heutigen Gebäude bis zu 87% aus Beton besteht. Im Bereich des Verbrauchs neuer Materialien nimmt die Kategorie der Verbundkunststoffe beträchtlich zu. Dieser Trend ist in der Hinsicht negativ zu beurteilen, als das diese Kunststoffe kaum recyklierbar sind und nur thermisch verwertet werden können oder deponiert werden müssen. Neue Materialien stellen nur einen geringen Anteil an der Gesamtmenge verbauter Materialien dar, können jedoch den Prozess des selektiven Abbaus wesentlich beeinträchtigen. Darüber hinaus können sie die Rezyklierbarkeit von anderen Materialien oder ganzen Konstruktionen stark einschränken, falls ihr Einbau und ihre Verbindungsarten keine einfache Trennung vor Ort erlaubt.

Nach dem Schritt der Erfassung des Verbrauchs und der Zusammensetzung von Baurestmassen, der zeigt, dass derzeit noch keine geschlossene Kreislaufwirtschaft (No Waste Materials) im Bauwesen besteht, ist das Thema Rezyklierbarkeit und Kreislauffähigkeit der zweite wichtige Schritt zu einer Prognose zukünftiger Baurestmassen. Die Aufteilung in die Aspekte Materialeffizienz und Energieeffizienz bringt die Wichtigkeit der Materialkreisläufe zur Geltung und bietet eine neue Fassung der gesamten Ressourceneffizienz im Bauwesen, bestehend aus den zwei gleichgestellten Betrachtungspunkten – Material und Energie. Durch die analytisch hergeleiteten und an Fallbeispielen getesteten Indikatoren der Materialeffizienz, nämlich Verfügbarkeit, Rezyklierbarkeit, Eigenversorgung und Scale Up, werden wichtige Punkte angesprochen, die bei den meisten Systemen für eine Bewertung der Umweltauswirkungen ausgelassen werden. So wird zum Beispiel demonstriert, dass das erzeugte anthropogene Materiallager in manchen Fällen um das Vielfache die vorhandenen natürlichen Lagerstätten übersteigt. Auch wird in diesem Schritt ersichtlich, welche Bedeutung die stoffliche Rezyklierbarkeit von Materialien mittel- bis langfristig haben kann. So können auch nachwachsende Stoffe, die aktuell im Überschuss bestehen, in den nächsten Jahr-

zehnten knapp werden, wenn sie stofflich unzureichend rezykliert werden. Das Gesamtthema Ressourceneffizienz beinhaltet auch die Energieeffizienz im Bauwesen, welches schon heute einer Reihe von Maßnahmen und Richtlinien im Bauwesen unterliegt. Der Energieverbrauch während des Gebäudebetriebes ist beispielsweise durch Energiestandards definiert. Die zwei wichtigsten Energiestandards für Neubauten sind aktuell das Niedrigenergiehaus und das Passivhaus. Im Bereich des Energieverbrauches bei der Materialherstellung zeigt sich z.B., dass sich besonders unter dem Aspekt der Herstellungsenergie (Graue Energie) die Herstellung und der Einsatz von Recyclingbeton mit dem heutigen Stand der Technik negativ auf die allgemeine Ressourceneffizienz von Bauwerken auswirken. Wenn man aber den Energieaufwand während des Gebäudebetriebes betrachtet, kann sich wiederum ein positives Bild für den Recyclingbeton ergeben. Der kumulierte Energiebedarf für die Herstellung von Recyclingbeton liegt unter jenem der Primärproduktion. Weitere Aspekte der Energieeffizienz sind der Energieaufwand für den Abbruch sowie die Entsorgung und das Recycling.

Der dritte Schritt, die Analyse des klassischen Planungsprozesses im Bauwesen, erfasst die Bauplanung und ihre Abläufe und hebt die Faktoren hervor, die bei der Generierung der materiellen Information im Bauwesen entscheidend sind. Die materielle Information wird in unterschiedlichem Ausmaß während der Ausschreibungsphase, der Planungsphase, aber auch während der Ausführungsphase generiert und entsprechend dokumentiert. Die Vertragsform spielt so gesehen eine Rolle, als dass sie vor allem die Art der Dokumentation der materiellen Information vorbestimmen kann. So ist z.B. beim Einheitspreisvertrag jede Position genau ermittelt. Anders ist es beim Regiepreisvertrag. Dort kann im Voraus der Umfang nicht ausreichend genau bestimmt und daher in einem Leistungsverzeichnis beschrieben werden. Eine signifikante Änderung der Leistung und daher der materiellen Information kommt im Laufe der Bauphase selten vor, wodurch eine Ermittlung der materiellen Zusammensetzung eines fertiggestellten Bauwerks anhand der Leistungsverzeichnisse der Ausschreibung nicht möglich ist. Die höchste Detailliertheit und Genauigkeit der materiellen Information in der Dokumentation findet sich somit im Moment der Übergabe des fertiggestellten Bauwerks. Daher ist es sinnvoll, wenn in dieser letzten Phase der Ausführung Maßnahmen eingeführt werden, um die materielle Information zu Zwecken der Dokumentation zu gewinnen. Die Ergebnisse aus diesem Schritt sind ausschlaggebend für die Entwicklung eines Gebäudepasskonzeptes, da sie jene Rahmenbedingungen definieren, die für die Implementierung des Konzeptes notwendig sind.

Der letzte Schritt zeigt den aktuellen Stand des Wissens und der Technik bei Design-for-Recycling Ansätzen auf, welche als Ziel eine optimierte Ressourceneffizienz in Produkten haben. Als Referenz werden die elektronische und die Automobilindustrie in Betracht gezogen, da in diesen Branchen entsprechende Prozesse weit fortgeschritten sind, im Bauwesen dieser Ansatz jedoch noch nicht etabliert ist. Das Hauptziel ist, die verursachten Umweltbelastungen und den Ressourcenverbrauch (energetisch, sowie nicht energetisch) über den gesamten Produktlebenszyklus möglichst gering zu halten. Das Problem dabei ist, dass Bauwerke im Hochbau Unikate sind. Das heißt, dass die materielle Information für jedes Objekt in der Planungsphase neu generiert wird und in verschiedenen Standards und Dokumentationsformen zusammengefasst wird. Auf diesen Erkenntnissen aufbauend werden

Rahmenbedingungen vorgeschlagen, so dass die Einführung von Design for Recycling Ansätzen auch in der Bauplanung gefördert werden kann. Solche Rahmenbedingungen wären z.B. einheitliche Standards sowie eine einheitliche Dokumentation. Zusätzlich sind die politischen Rahmenbedingungen für die Etablierung von Design for Recycling-Ansätzen für Bauwerke noch nicht gegeben. Ohne ein politisches Regelwerk für das Bauwesen wie beispielsweise Mindestquoten für Recycling und Wiederverwendung sowie das Verbot des Einsatzes von bestimmten Materialien, Verbindungsarten oder Konstruktionen ist nicht zu erwarten, dass die Produzentenverantwortung und die Entwicklung von Designansätzen für Ressourcenoptimierung die notwendige Tiefe und den Umfang erreichen können. Um Design-for Recycling Ansätze auf das Bauwesen übertragen zu können, wurde ein Maßnahmenkatalog kreiert, basierend auf der Best Practice der Referenzindustrien, der die Rezyklierbarkeit und die Kreislauffähigkeit von Baumaterialien direkt in der Planungsphase fördern soll. Dieser lässt sich in die Wirkungskategorien Rückbau und Recycling trennen, in denen jeweils verschiedene Maßnahmen beschrieben werden, wie etwa die Reduktion der Materialvielfalt, die Vermeidung von Verbundmaterialien oder die Einführung von Materialkennzeichnung.

Schlussendlich ist zusammenzufassen, dass die erläuterten vier Schritte notwendig sind, um Voraussetzungen für eine Prognose der materiellen Zusammensetzung zukünftiger Baurestmassen als Grundlage zur langfristigen, zielorientierten Bewirtschaftung von Baurestmassen zu schaffen. Zahlreiche Probleme und Hindernisse bestehen noch, die jedoch durch zukünftige Regulierungen und Maßnahmensetzungen verringert werden können, um in Zukunft eine nachhaltige Nutzung von Baurestmassen zu ermöglichen.

6 Literatur

- 1) ACHAMMER, Ch., STÖCHER, H.(2005): Bauen in Österreich, Birkhäuser, Basel
AIGINGER, K., BAYER, K., STANKOVSKY, J., VOLK, E. (1986): Die Entwicklung der österreichischen Aluminiumindustrie, WIFO (Hrsg.), Monatsbericht 10/1986
ANGERER, G., MOHRING, A., MARSCHIEDER-WEIDEMANN, F., WIETSCHEL, M. (2010): Kupfer für Zukunftstechnologien – Nachfrage und Angebot unter besonderer Berücksichtigung der Elektromobilität; Fraunhofer, Karlsruhe
- 2) ARNDT, M.(2000): Kreislaufwirtschaft im Baubereich: Steuerung zukünftiger Stoffströme am Beispiel von Gips, Dissertation eingereicht an der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
- 3) BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (2003) Hrsg.: Sonderauswertung zur Abfallbilanz 2002 – Erfassung und Entsorgung von Altholz
- 4) BACCINI, P., BRUNNER, P.H. (1991): Metabolism of the Anthroposphere, Springer – Verlag, Berlin
- 5) BAUER, J.; ZORMAIER, F.; BORCHERT, H.; BURGER, F. (2006): Energieholzmarkt in Bayern. LWF Wissen Nr. 53, 67 S.
BLESSING, L. (2004): Environmental Design, Department of Manufacturing Engineering, University of Malta
- 6) BLUM, A. (2001): „Building Passport“– A Tool for Quality, Environmental Awareness and Performance in the Building Sector, In: OECD/IEA Joint Workshop on the Design of Sustainable Building Policies – Summary and Conclusion and Contributed Papers. Part 2., Paris
- 7) BMLFUW Hrsg. (2003): Bauwerk Österreich – Endbericht, BMLFUW Gesellschaft für umfassende Analysen GmbH, Wien, 2003
- 8) BMLFUW Hrsg. (2006): Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006
- 9) BRUNNER, P.H.(2004): Von der Abfallwirtschaft zum Ressourcenmanagement, Synthesenbericht über Projekte zur Ausrichtung der österreichischen Abfallwirtschaft nach stofflichen Gesichtspunkten im Auftrag von BMLFUW, Wien
- 10) BMLFUW Hrsg.(2003): Beitrag der Abfallwirtschaft zum Aluminiumhaushalt Österreichs, Endbericht, BMLFUW Gesellschaft für umfassende Analysen GmbH, UV&P - Umweltmanagement-Verfahrenstechnik Neubacher & Partner GmbH
- 11) BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN Hrsg. (2001): Leitfaden nachhaltiges Bauen
- 12) BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ARBEIT Hrsg.(2005): Standardisierte Leistungsbeschreibung LB-Hochbau, Version 17, 04/2005
- 13) BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ARBEIT Hrsg. (2005): Standardisierte Leistungsbeschreibung LB-Haustechnik, Version 07, 04/2005
- 14) PESTALOZZI, Ch. (2003): eco-devis, Ökologische Leistungsbeschreibungen, Forschungsprogramm – Rationelle Energienutzung in Gebäuden REN, Bundesamt für Energie, Bern (Hrsg.)
- 15) BMWA (2005): Österreichisches Montanhandbuch 2005. Bundesministerium für Arbeit und Wirtschaft (Hrsg.), Wien.

- 16) CALCOTT, P., WALLS, M.(2005): Waste, recycling and "Design for Environment": Roles for markets and policy instruments, in Resource and Energy Economics, Vol. 27, 4, 287-305
- 17) CHENG, A., CHEN, C., CHEN, C. (2008): A fuzzy multiple criteria comparison of technology forecasting methods for prediction the new materials development, Technology Forecasting & Social Change 75, S. 131 – 141
- 18) CROWTHER, Ph. (2002): DESIGN FOR BUILDABILITY AND THE DECONSTRUCTION CONSEQUENCES, Proceedings of the CIB Task Group 39 – Deconstruction Meeting, CIB Publication 272
- 19) CURRAN, M.A.(2006): Life Cycle Assesment: Principles and Practice, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, Ohio, U.S. Environmental Protection Agency
- 20) DIETER, G. E. (1997): Design for Manufacturability, ASM Handbook: Materials Selection and Design, CRC Press
- 21) DIETER, G. E. (2000): Engineering Design: A Materials and Processing Approach; McGraw Hill Higher Education; 3rd edition
- 22) Das Land Steiermark, FA 17A-Energiewirtschaft und allgemeine technische Angelegenheiten Hrsg. (2007): Glas im Bauwesen. Technische Grundlagen zur Sicherheitsfragen bei Glas im Bauwesen
- 23) DEHN, F., KÖNIG, G., MARZAHN, G. (2003): Konstruktionswerkstoffe im Bauwesen, Ernst&Sohn, Berlin
- 24) DONNELLY K., BECKETT-FURNELL, Z., OKRASINSKI, T., HOLMAN, S. (2006): Eco-Design implemented trough a product-based environmental management system, Journal of Cleaner Production, Vol 14, 15-16, 1357-1367
- 25) EISELE, J., KLOFT, E. Hg. (2002): Hochhaus Atlas, Callwey
- 26) HOFFMANN, C., JACOBS, F. (2007): Recyclingbeton aus Beton- und Mischabbruchgranulat, Sachstandbericht, EMPA (Hrsg.)
- 27) ERBREICH, M. (2004): Die Aufbereitung und Wiederverwendung von Altholz von Mitteldichten Faserplatten (MDF), Dissertation eingereicht an der Universität Hamburg
- 28) EU Kommission, EU Directive 2002/96/EC, 2003
- 29) European Parliament, Directive 2000/53/EC on end-of-life vehicles, 2000
- 30) Fachverband der Holzindustrie Österreichs (Hg.): Branchenbericht 2004/2005
- 31) Fachverband der Holzindustrie Österreichs (Hg.): Branchenbericht 2005/2006
- 32) Fachverband der Holzindustrie Österreichs (Hg.): Branchenbericht 2006/2007
- 33) Fachverband der Stein- und keramischen Industrie (Hg.): Jahresbericht 2005, 2006
- 34) Fachverband der Stein- und keramischen Industrie (Hg.): Jahresbericht 2006, 2007
- 35) Fachverband der Stein- und keramischen Industrie (Hg.): Jahresbericht 2007, 2008
- 36) FLEISHMANN, S. T. (1997): Tools for Environmentally Responsible Design, Materials Selection and Design, ASM Handbook, Vol. 20, ASM International
- 37) GOEDKOOP, M. (1995): The Eco-Indicator 95, PRe Consultants
- 38) FRONDEL, M., SCHMIDT, Ch. (2007): Von der baldigen Erschöpfung der Rohstoffe und anderen Märchen, in: RWI: Positionen Nr. 19
- 39) GAST, G., CZERNICH, D. (2004): Vergaberecht leicht gemacht, Redline Wirtschaft, Wien

- 40) GUY, B., CIARIMBOLI, N. (2005): Design for Dissassembly in the Built environment: a Guide to Close-Loop Design in Building, Hammer Center for Community Design, The Pennsylvania State University, City of Seattle, Resource Venture, Inc.
- 41) GUIRRERO, R. (1994): New materials and related recovery and /or recycling problems, Ressources, Conservation and Recycling,10, S. 123- 136
- 42) GÜTTINGER, H., KASSER, U. (2009): Forum Chriesbach: Graue Energie und Stromverbrauch gleichbedeutend, Bau- & Energiemarkt: Graue Energie im Eawag Gebäude Dübendorf
- 43) HANL, K. (2002): Bundesvergabegesetz 2002, NWV Neuer Wissenschaftlicher Verlag, Wien
- 44) HASELSTEINER, E.(2007): PROJEKT(T)RAUM_HAUS_ZUKUNFT, Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Hrsg.)
- 45) IBO GmbH Hrsg. (2004): Ökopass – Der IBO-Gebäudepass in der Praxis, in: IBO Magazin 4/04, S.4-6
- 46) IBO GmbH Hrsg. (2006): Der OI3 - Index, in: IBO Magazin 2/06, S.3-7
- 47) IGNATENKO, O., SCHAIK, v.A., REUTER, M.A. (2008): Recycling system flexibility: the fundamental solution to achieve high energy and material recovery quotas, Journal of Cleaner Production, Volume 16, Issue 4, Pages 432-449
- 48) JAMES, R. (2000): New materials from theory: trends in the development of active materials, International Journal of Science and Structures 37, S. 239-250
- 49) KARDOS, G. (1997): Risk and Hazard Analysis in Design , ASM Handbook: Materials Selection and Design, CRC Press
- 50) KARLSSON, R., LUTTROPP, C. (2006): EcoDesign: what's happening? An overview of the subject area of EcoDesign and of the papers in this special issue, Journal of Cleaner Production, Vol. 14, 1291-1298
- 51) KALT, G. (2009): Perspektiven für die energetische Holznutzung bis 2050 unter Berücksichtigung der stofflichen Verwertung
- 52) KIM, G.J. (1997): Case-based design for assembly, Computer-Aided Dwgn., Vol 29, 17, 476-506
- 53) KOHLER, N.(1998): Grundlagenlagen zur Bewertung kreislaufgerechter, nachhaltiger Baustoffe, Bauteile und Bauwerke, Vortrag im Rahmen von 20. Aachener Baustofftag, 03/1998,
- 54) KONRADT, O. (2006): Methodology Development towards a Label for Environmental, Social and Economic Buildings (LEnSE)
- 55) KRIWET, A., ZUSSMAN, E., SELIGER G. (1995): Systematic integration of design-for-recycling into product design, International Journal of Production Economics, Vo. 1, 1, 15-22
- 56) KALUSCHE, W. (2002): Projektmanagement für Bauherr und Planer, R. Oldenburg Verlag München, München
- KRAMER, H. (1973): Die Situation der österreichischen Aluminiumindustrie und die Aussichten bis 1976, WIFO (Hrsg.), Monatbericht 4/1973
- 57) KRIWET, A., ZUSSMAN, E., SELIGER, G. (1995): Systematic integration of design-for-recycling into product design, International Journal of Production Economics, Vol 38, 1

- 58) KSKB Kantonalverband Steine, Kies, Beton Hrsg. (2000): Rohstoffe aus der Region, für die Region - natürlich, Kantonale Rohstoffstatistik 2000
- 59) KSKB Kantonalverband Steine, Kies, Beton Hrsg. (2003): Rohstoffe aus der Region, für die Region - natürlich, Kantonale Rohstoffstatistik 2003
- 60) KÜMMERL, J.: Rezyklieren von Leichtbeton, IWB Jahresbericht, 1996-1997, S. 42 – 46
- 61) LAHNER, Th. (1995): Zusammenfassung der Reihenhausanlage Eichgraben, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, TU Wien
- 62) LANGEN, W., SCHIFFERS, K.-H. (2005): Bauplanung und Bauausführung, Werner Verlag, Darmstadt
- 63) LICHTENSTEIGER, T. Hrsg. (2006): Bauwerke als Ressourcennutzer und Ressourcenspender, VDF
- 64) LUTTROPP C., LAGERSTEDT J. (2006): EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development, Journal of Cleaner Production, Vol. 14, 1396-1408
- 65) LÜTZKENDORF, T.: Von der Ökobilanzierung zur integrierten Lebenszyklusanalyse – Wege zur Verknüpfung von Umweltfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit in der Planung, Universität Karlsruhe, 19. MOE-Tagung 2002
- 66) MAINE, E., ASCHBY, M. (2002): An investment methodology for materials, Materials and Design 23, S. 297 – 306
- 67) MASANET, E., HORVATH, A., (2007): Assessing the benefits of design for recycling for plastics in electronics: A case study of computer enclosures, Materials and Design, Vol. 28, 1801–1811
- 68) MEADOWS, D., MEADOWS, D., RANDERS, J., BEHRENS III, W. (1972): The Limits to Growth, Universe Books
- 69) MILLER, D.P. (1998): The Effects of Ergonomic Stressors on Process Tool Maintenance and Utilization, SEMATECH Technology Transfer Report 98023456A-ENG
- 70) MÖBIUS, A. (2005): Neue Perspektiven zur Verwertung von Recycling-Betonsand: Produktideen und erste Ergebnisse, Bauhaus Universität Weimar, Vortrag im Rahmen der Konferenz „Ausgezeichnete Gebäude“, Wien
- 71) MÜLLER, C. (2002): Nachhaltiger Konsum braucht Eigenproduktion: Das Allgäuer Zentrum für Eigenversorgung, In: Sherhorn: Gerhard/Weber, Christoph (Hrsg.): nachhaltiger Konsum. Auf dem Weg zur gesellschaftlichen Verankerung, S. 91-97, ökom Verlag, München
- 72) NOVATLANITS, EMPA, EAWAG (Hrsg.): Baustoffmanagement 21, Schlussbericht, 2004
- 73) ÖNORM A 2050 „Vergabe von Aufträgen über Leistungen - Ausschreibung, Angebot, Zuschlag - Verfahrensnorm“, Stand: 2006
- 74) ÖNORM A 2051 „Vergabe von Aufträgen über Leistungen im Bereich Wasser-, Energie- und Verkehrsversorgung - Ausschreibung, Angebot und Zuschlag - Verfahrensnorm“, Stand: 2006
- 75) ÖNORM B 2063 „Ausschreibung, Angebot und Zuschlag unter Berücksichtigung automationsgestützter Verfahren - Verfahrensnorm“, Stand: 2006
- 76) ÖNORM B 2110: „Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm“
- 77) ÖNORM B 2114: „Vertragsbestimmungen bei automationsunterstützter Abrechnung von Bauleistungen – Werkvertragsnorm“

- 78) PEPPER, S., KAH, O., PFLUGER, R, SCHNEIDERS, J. (2007): Passivhausschule Frankfurt Riedenberg: Messtechnische Untersuchungen und Analyse, Endbericht, Passivhausinstitut Dr. Wolfgang Feist, Hrsg: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Deutsche Bundesstiftung Umwelt
- 79) PRO:HOLZ AUSTRIA GMBH Hrsg. (2005): Die österreichische Forst- und Holzwirtschaft in Daten & Zahlen
- 80) PNEULI, Y., ZUSSMAN, E., KRIWET ,A., SELIGER G. (1994): Evaluating product end-of life value and improving it by redesign, DF 15, Department of Assembly Technology, IWF, TU Berlin
- 81) PREISIG, H. (2002): Massiv- oder Leichtbauweise?, SIA(Hg.),, in: tec21, Nr. 42
- 82) PULLI, R. (1998): Überblick über die Ökobilanzierungen von Gebäuden, Endbericht, Untersuchungen im Rahmen des IEA BCS Annex 31: Energy Related Environmental Impact on Buildings, ETH Zürich
- 83) ROSE, CM. (2000): Design for environment: a method for formulating product end-of-life strategies, PhD Dissertation, Department of Mechanical Engineering, Stanford University, Stanford
- 84) SCHACHERMAYER, E.; GLENCK, E.; LAHNER, T.; JEREB, W.; LEITNER, E.; BRUNNER, P. H. (2000): Bauwesen – Abfallstrategien in der Steiermark, Band 3: LAUF - Lageraufbau im Bauwesen, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abt. Abfallwirtschaft, TU Wien, Wien
- 85) SCHAİK,V.A., REUTER, M.A. (2007): The use of fuzzy rule models to link automotive design to recycling rate calculation, Minerals Engineering, Vol.20, 875–890
- 86) SCHNEIDER, M., RUBLI S. (2007): Ressourcenmodell mineralischer Baustoffe auf der Ebene Stadt Zürich, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, Tiefbauamt der Stadt Zürich
- 87) SCHOLZ, W., KNOBLAUCH H. (2007): Baustoffkenntnis, 16. Auflage, Werner Verlag, Köln
- 88) SCHWARZ, H., RECKERZÜGL, W. (2007): Management und Abwicklung von Bauprojekten, Skriptum
- 89) SHIH L.-Hs., CHANG, Y.-S., LIN, Y.-T. (2006): Intelligent evaluation approach for electronic product recycling via case-based reasoning, Advanced Engineering Informatics, Vol. 37, 2, 5558-5563
- 90) SMITH, Ch. O. (1997): Safety in Design, ASM Handbook: Materials Selection and Design, CRC Press
- 91) SRINIVAS,S., Sutz, J. (2006): Economical Development and Innovation: Problem-Solving in Scarcity Conditions, Center for International Development at Harvard University
- 92) STADT ZÜRICH (2005), Amt für Hochbauten, Hochbaudepartement (Hrsg.): Städtische Hochbauten in ökologisch sinnvoller Ausführung mit Recycling – Beton, Zürich
- 93) STATISTIK AUSTRIA (Hrsg.): Gebäude- und Wohnzählung – 2001, Bearbeitungsstand 2007, Statistik Austria, 2007
- 94) STATISTIK AUSTRIA (Hrsg.): Wohnbautätigkeit – Bewilligungen und Fertigstellung 2002 und Wohnbaukosten 2001., Statistik Austria, 2004
- 95) STATISTIK AUSTRIA (Hrsg.): Konjunkturstatistik im Produzierendem Bereich, Band 2 – Produktionsergebnisse nach ÖCPA 2002 und ÖPRODCOM - 2005 , Statistik Austria, 2006

- 96) STATISTIK AUSTRIA (Hrsg.): Konjunkturstatistik im Produzierendem Bereich, Band 2 – Produktionsergebnisse nach ÖCPA 2002 und ÖPRODCOM – 2006, Statistik Austria, 2007
- 97) STATISTIK AUSTRIA (Hrsg.): Konjunkturstatistik im Produzierendem Bereich, Band 2 – Produktionsergebnisse nach ÖCPA 2002 und ÖPRODCOM -2007, Statistik Austria, 2008
- 98) STATISTIK AUSTRIA (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch 2008, Bauwesen, S. 387-393 , Statistik Austria, 2009
- 99) STATISTIK AUSTRIA (Hrsg.), Petrovic, B.: Holzbilanz 1999 bis 2003, Statistik Austria, 2004
- 100) STAUFFER, R. F. (1989): Energy Savings from Recycling. Resource Recycling., vol.7, 7
- 101) TOFFEL, M.: End-of-Life product Recovery: Drivers, Prior Research and Future Directions, Haas School of Business, University of California – Berkeley, 2002
- 102) THORMARK, C. (2006): The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building, in: Building an Environment 41, S. 1019 - 1026
- 103) WILLKOMM, W. (1990): Recyclinggerechtes Konstruieren im Hochbau, Verlag TÜV Rheinland, Köln
- 104) UMWELT ZENTRUM DORTHMUND GMBH (1995), EU-SM Entsorgungs- und Umweltsysteme Mittelstand des Bundesverbandes mittelständische Wirtschaft GmbH: Vermeidung und Verwertung von Baurestmassen und Wiederverwertung von Bauteilen
- 105) U.S. GEOLOGICAL SURVEY (2009), Mineral Commodity Summaries, January 2009
- 106) VEZZOLI, C., MANZINI, E. (2008): Design for Environmental Sustainability, Springer
- 107) WEBER-BLASCHKE, G., FAULTSTRICH, M. (2005): Analyse, Bewertung und Management von Roh- und baustoffströmen in Bayern, F 237, Lehrstuhl für Technologie und Biogener Rohstoffe, Technische Universität München
- 108) WEIL, M., JESKE, U., SCHECEK, L. (2006): Closed-loop recycling of construction and demolition waste in Germany in view of stricter environmental threshold values, Waste Management & Research, Vol. 24, 197-206
- 109) KAISER, C. (2007): Das Bedürfnisfeld Bauen und Wohnen – Status Quo, Perspektiven und Handlungsbedarf aus Sicht einer nachhaltigen Ressourcenpolitik, Wuppertaler Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH (Hrsg.) Düsseldorf, 2007
- 110) ZUSSMAN, E., KRIWET, A., SELIGER, G. (1994): Dissassembly orientated Assessment Methodology to Support Design for Recycling, Annals of the CIRP, Vol. 14, 1

Internetquellen

- 111) DEPLAZES, A. (2009): Baustofflabel Gebäude/eco-bau, EMPA (Hrsg.) <http://www.stadt-zuerich.ch>; letzter Zugriff: 30.09.2009
- 112) EMPA (Hg.): Schließung von Stoffkreisläufen - vom frommen Wunsch zur dringenden Notwendigkeit, http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/71720/---/l=1; letzter Zugriff 30.09.2009
- 113) HALTERMANN, I., PFEIL, F.: Raw Material Scarcity as a Risk of Conflict and an Impediment to Development?, Workshop Documentation, BASK conference centre, Berlin 2006,

- http://www.sefbonn.org/download/veranstaltungen/2006/2006_fws_ressourcen_dokumentation_en.pdf, letzter Zugriff: 30.09.2009
- 114) SCHACHENMANN, M.: Auswirkungen der Biomasse auf der Warenströme – wer nimmt wem der Rohstoff weg?, in: Holz 03, Papierholz –Austria GmbH (Hg.), 2003, <http://www.papierholz-austria.at/co.hdl/1/1782/Biomasse%20und%20Warenstr%C3%B6me%204.11.2003.pdf>, letzter Zugriff: 30.09.2009
- 115) TAN, R. R., CULABA, A. B.: Environmental Life-Cycle Assessment: A Tool for Public and Corporate Policy Development, online unter: www.lcacenter.org/library/pdf/PSME2002a.pdf, letzter Zugriff: 14.10.2010
- 116) THE PARLIAMENTARY OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY Hrsg. (2008): Smart Materials and Systems, www.parliament.uk/parliamentary_offices/post/pubs2008.cfm
- 117) WWF (Hg.): Building Towards Sustainability: Performance and progress among the UK's leading house-builders, Executive summary, <http://www.wwf.org.uk/filelibrary/pdf/bts.pdf>, letzter Zugriff: 30.09.2009
- 118) http://www.a1passivhaus.de/passivhaus_definition.htm, letzter Zugriff: 14.11.2010
<http://www.statistik.bayern.de/statistik/bautaetigkeit/>, letzter Zugriff: 16.02.2011
- 119) minerals.usgs.gov, letzter Zugriff: 24.02.2011

7 Anhang

1. Interviewfragebögen
2. Protokolle der geführten Gespräche

1. Fragebögen

1.1 Themenvorschlag:

Baumaterialien und Bauplanung: Status Quo und Entwicklungstrends

Teil 1: Aktueller Materialeinsatz

1 A: In welchem Verhältnis stehen der Materialeinsatz des Hoch- und der des Tiefbaus?
(Schätzung)

2 A: Welche sind wichtige Materialien und welche sind die wichtigsten Materialien aus Ihrer Sicht?

3 A: Welche sind die heute am häufigsten verwendeten Materialien im Hochbau?

4 A: Wie hat sich aus Ihrer Sicht der Materialeinsatz in den letzten Jahrzehnten qualitativ geändert? (welche Materialien werden vermehrt und welche weniger eingesetzt)

5 A: Welche neue/innovative Materialien werden aktuell eingesetzt und in welchen Bereichen?

6 A: Welche neue/innovative Materialien werden zukünftig vermehrt eingesetzt werden?

Teil 2: Planungsprozess

2 A: Wenn es um die möglichst umfassende Dokumentation und Erhaltung der Materiellen Information geht, welcher Fall ist Ihrer Meinung nach am meisten und am wenigsten günstig?

- Leistungsbeschreibung

- Zu Planer: Generalplaner, Einzelplaner, anderes
- Zu Unternehmer: Generalunternehmer, Totalunternehmer, Einzelunternehmer, anderes
- Andere Organisationsstruktur:.....

2 B: Gibt es Bereiche, in denen ausschließlich eine der aufgezählten Planungsstruktur auftritt?

- Klassisch mit klassischer Reihenfolge: Investor – Architekt – Planer – Unternehmer – Nutzer
- Integral: Integraler Planungsprozess, wo alle Beteiligten über den gesamten Lebenszyklus (von dem Investor zu dem Endnutzer) beteiligt sind.

2 C: Welche Planungsstrukturen werden Ihrer Meinung nach derzeit und in Zukunft vorwiegend eingesetzt?

2 D: In welchen Baubereichen wären aus Ihrer Sicht Softwaretools der integralen Planung (z.B. BIM) sinnvoll und in welchen Bereichen nicht?

Teil 3: Materialkreislauf

3 A: Ist der spätere recyclinggerechte Abbruch des Gebäudes während der Planung ein Faktor und inwieweit?

3 B: Kennen Sie Objekte bei denen konkrete Maßnahmen in dieser Richtung umgesetzt wurden?

3 C: Kennen Sie Objekte bei denen Änderungen am ursprünglichen Konzept des Bauwerkes vorgenommen wurden, um später das Recycling nach dem Abbruch zu fördern?

1.2 Themenvorschlag:

Materialeffizienz und Planungsprozesse bei EnergyBase

Teil 1: Materialeffizienz

1 A: War Materialeffizienz ein relevantes Thema während der Planungsphase? Bei welchen Aspekten wurde sie berücksichtigt?

- Auf Materialebene:
 - Wahl der Baumaterialien unter Berücksichtigung der Rezyklierbarkeit?
 - Wahl der Baumaterialien in Bezug auf den Energiebedarf (z.B. in der Produktion)
 - Wahl der Baumaterialien unter der Berücksichtigung von anderen ökologischen Aspekten?
 - Wurden Verbundmaterialien angewendet?

- Auf Konstruktions- und Elementebene:
 - Gibt es Verbundkonstruktionen? Sind verschiedenen Lebensdauer und Nutzungsdauer der Materialien in den Konstruktionen berücksichtigt?
 - Gibt es Unterschiede zwischen der geplanten Nutzungsdauer des Gebäudes und der Lebensdauer der Konstruktionen und falls ja, wie wurden diese berücksichtigt?

1 B: Gebäudebewertung:

- Ist eine Bewertung des Gebäudes angestrebt?
- In welchen Aspekten?
- Zu welchem Zeitpunkt wurde die Bewertung durchgeführt?
- Falls ein konkretes Bewertungssystem ausgewählt wurde, welche waren die Argumente für die Wahl desselben?

Teil 2: Planungsprozess

2 A: Was trifft bei diesem Vorhaben zu?

- Zu Planer: Generalplaner, Einzelplaner, anderes
- Zu Unternehmer: Generalunternehmer, Totalunternehmer, Einzelunternehmer, anderes
- Andere Organisationsstruktur:.....

2 B: Wie würden Sie den Planungs- und Ausführungsprozess beschreiben?

- Klassisch mit klassischer Reihenfolge: Investor – Architekt – Planer – Unternehmer – Nutzer
- Integral: Integraler Planungsprozess, wo alle Beteiligten über den gesamten Lebenszyklus (von dem Investor zu dem Endnutzer) beteiligt sind

2 C: Was war entscheidend für diese Organisation des Planungsprozesses?

2 D: Sind Softwaretools der integralen Planung (z.B. BIM) zum Einsatz gekommen?

2 E: Wäre der Einsatz von BIM für dieses Konkrete Vorhaben von Vorteil gewesen?

Teil 3: Materialkreislauf

3 A: Ist der spätere recyclinggerechte Abbruch des Gebäudes während der Planung ein Faktor gewesen?

3 B: Haben Sie konkrete Maßnahmen in diesem Kontext eingesetzt und welche?

3 C: Sind Änderungen am ursprünglichen Konzept des Bauwerkes vorgenommen worden, um später das Recycling nach dem Abbruch zu fördern?

1.3 Themenvorschlag:

Chemikalienmanagement - System von BauXund

1 An wie vielen Objekten wurde bis jetzt das Chemikalienmanagement - System angewendet, und aus welchem Bereich stammen diese Gebäude (Wohnbau, Büro etc.)?

2 Gibt es Unterschiede zwischen dem Portfolio und dem Chemikalienmanagement, welches im Fall des EnergyBase - Gebäudes angewendet wurde, und falls ja, welche sind die Gründe dafür?

3 Aus welchen Prozessen und Schritten besteht die Vorgehensweise bei der Durchführung?

4 Welche Kriterien und Indikatoren werden im Chemikalienmanagementsystem berücksichtigt?

5 Wie ist das System strukturiert (Ebenen, Unterebenen etc.)?

6 Wird zwischen Materialebene und Konstruktionsebene unterschieden?

7 Wie ist die angewendete Software aufgebaut?

8 Welche Stoff- und Materialinformationen beinhalten die Produktdatenblätter?

- Welche Informationen sind obligatorisch beinhaltet?
- Welche Informationen sind optional beinhaltet?
- Norm/Standard für die Produktdatenblätter?

9 Wie erfolgt der Informationstransfer von den Produktdatenblättern in das Chemikalienmanagementsystem?

10 Wie vollständig werden dadurch Stoffe und Materialien dokumentiert?

2. Gesprächsprotokolle

Interviewprotokoll:

Materialeffizienz und Planungsprozesse bei EnergyBase

Ort: Ebendorferstraße 2,
1010 Wien

Anwesend:

DI Gregor Rauhs, Projektmanager, Wirtschaftsförderungsfonds
DI Stanimira Markova, TU Wien
DI Julia Flath, RMA

Datum: 17.05.2010

Dauer: 14:00 – 15:00

Vorstellung des Interviewpartners:

DI Gregor Rauhs hat das Projekt EnergyBase von Anfang an - von den ersten Projektüberlegungen bis zur Realisierung und Inbetriebnahme als Vertreter des Bauherren in den Bereichen Projektmanagement und Projektleitung - betreut.

Teil 1: Materialeffizienz

Bei EnergyBase wurde ein sehr genaues Chemikalienmanagement durchgeführt. Damit wurde die Firma Bauxund beauftragt. Für sämtliche Materialien, vor allem im Innenausbaubereich, mussten die Produktdatenblätter von den Herstellern vor Verarbeitung an die Örtliche Bauaufsicht übergeben werden. Die örtliche Bauaufsicht hat sie an das Chemikalienmanagement weitergeleitet. Das Chemikalienmanagement hat dann diese Produkte überprüft und freigegeben bzw. wenn sie nicht freigegeben wurden, entsprechende Alternativen vorgeschlagen. Es wurde ein zusammenfassendes Endgutachten von seitens des Chemikalienmanagements mit Luftqualitätsmessungen erstellt, die das ganze nochmals bestätigt haben. Die Dokumentation samt der einzelnen Produktblättern sollten bei der Firma Bauxund vorliegen und zu jedem Zeitpunkt wieder abrufbar sein.

In Bezug auf Materialeffizienz war die Fassade das Hauptthema, es wurde bewusst auf eine Holzriegelfassade gegangen. Es handelt sich dabei um eine Holzkonstruktion aus unbehandeltem Holz, wo die brandschutztechnischen Anforderungen durch die Konstruktionsweise

und nicht durch das Behandeln mit zusätzlichen Mitteln eingehalten werden. Dadurch ist die stoffliche Recyclierbarkeit gegeben. Die Wärmedämmung ist innen integriert, ohne verklebt zu werden. Die Bestandteile der Konstruktion sind sehr leicht voneinander zu trennen und können daher sortenrein verarbeitet werden, ganz im Gegenteil zu dem konventionellen Aufbau, wo die Wärmedämmung auf einer Ziegel- oder Betonwand flächenbündig aufgeklebt wird und nachher nicht mehr getrennt werden kann.

Die Entscheidung für diese Fassadenkonstruktion über mehrere Geschosse, die energetisch und materialbezogen effizient ist, war eine bewusste und keine solche, die sich im Ablauf der Planung ergeben hat, obwohl die Ausführung von solch einer Fassade, vor allem aus brandtechnischen Gründen, nicht einfach ist und mit höheren Investitionskosten verbunden ist. Damit verbunden waren auch spezielle Nachweise der Baubehörde vorzulegen, die von der Holzforschung Austria entsprechend geprüft und dokumentiert wurden.

Der Zugang zum Thema Materialeffizienz ist bei der Planung und dem Umgang mit Materialien zum Ausdruck gekommen: ein Beispiel ist die Außenfassade, wo Faserzementplatten als Wetterschutz vorgesehen wurden, wo das Schnittmuster dahingehend optimiert werden musste, um den Verschnitt zu reduzieren. Somit sind bei der Fassade 4% Verschnitt erreicht. Zum Vergleich bei Standardfassaden beträgt der Verschnitt 30% - 40%. Bei 2000 m² Fläche wäre das eine beträchtliche Menge, die produziert und gleich entsorgt werden müsste.

Bei der Geschoßdecke handelt es sich um keine klassische Kühldecke, sondern um eine konventionelle Betondecke, die mit Bauteilaktivierung versehen ist. Es ist davon auszugehen, dass die Trennung der Schläuche von dem Stahlbeton kein Problem sein sollte, da die Schläuche keine bündige Verbindung mit dem Beton haben sollten.

Die vorgesehene Nutzungsdauer des Gebäudes beträgt 50 Jahre, grundsätzlich sollten die Konstruktionen länger als die Nutzungsdauer des Gebäudes halten, gewisse Instandhaltung ist Voraussetzung. Das Thema über Unterschiede in Nutz- und Lebensdauer bei Bauwerken, Konstruktion und Material wurde nicht explizit betrachtet. Dadurch dass bei diesem Bauwerk keine klassischen Verbundkonstruktionen eingesetzt wurden, sollte es auch zu keinen Problemen wegen Unterschieden in der Nutz- und Lebensdauer kommen.

Das Gebäude wurde nach Fertigstellung TQ-Zertifiziert. Zu dem Zeitpunkt als das Gebäude fertiggestellt wurde, war das eine der damals wenigen möglichen Zertifizierungsvarianten auf dem österreichischen Markt. Internationale Bewertungstools sind aus Kostengründen nicht in Betracht gezogen worden. Eine Zertifizierung ist in diesem Fall eine Feststellung was gemacht wurde, in der Verwertung gibt es kein des weiteren Nutzen daraus. Im Vorfeld war eine Zertifizierung nicht geplant. Neben TQ als ganzheitliche Gebäudezertifizierung wurde auch eine Passivhauszertifizierung gemacht.

Teil 2: Planungsprozess

Grundsätzlich wurde das ganze seitens des Wirtschaftsförderungsfonds als Bauherr und Projektleiter gemanagt und organisiert, vom Planungsprozess wurden mit der Planung durchgehend Einzelplaner beauftragt, mit einigen Sonderkonsulenten. Für den Rohbau gab es ein Totalunternehmer, für HKL-S (Haus-, Kühl-, Lüftungssysteme) gab es gesonderte Unternehmen.

Integral war die Planung insofern, dass einige Konsulenten vom Anfang an bei der Planung dabei waren, wie z.B. der Konsulent für das Energiekonzept, der Haustechnikplaner, der Bauphysiker, der Facility Manager, die vom Vorentwurf an schon zusammengearbeitet haben.

Es wäre nicht möglich, diese Leistung vor allem in der gleichen Zeit zu liefern, wenn der Weg der klassischen Planung gegangen worden wäre, weil das ein vielfacher Aufwand bedeuten würde, wenn der Architekt seinen Entwurf abschließen sollte und erst dann die Abstimmungen mit den Spezialisten gemacht hätte. Das würde dann bedeuten, einen kompletten Schritt zurück zu gehen. Wenn in der Planung solche breitgefächerte Ziele verfolgt werden, ist das parallele Planen oder anders gesagt das Miteinander-Planen von mehreren Konsulenten sicherlich das sinnvollere.

Der Einsatz von Building Information Modelling-Systeme klingt interessant und spannend, man sollte sich anschauen, wie gut es in der Praxis und in Detail funktionieren würde, weil die Planung von einem Gebäude wie EnergyBase mit einer enormen Detailliertheit verbunden ist.

Teil 3: Materialkreislauf

Rezyklierbarkeit und Materialkreislauf wurden grundsätzlich immer bei gewissen Entscheidungen von wesentlichen Elementen als Argument mitbedacht, ohne dass eine Abbruchbilanz durchgeführt worden wäre (Beispiel: die Fassade, wo das Thema Recycling ein zusätzlicher Grund war, diese Konstruktion zu wählen).

Interviewprotokoll:

Baumaterialien und Bauplanung: Status Quo und Entwicklungstrends

Ort: TU Wien, Institut für Hochbau und Technologie,,
Karlsplatz 13, 1040 Wien

Anwesend:
DI Dr. Sinan Korjenic, Senior Researcher
DI Stanimira Markova, TU Wien

Datum: 07.06.2010

Dauer: 10:00 – 11:00

Teil 1: Aktueller Materialeinsatz

Ohne genaue statistische Daten zu kennen, liegt das Verhältnis der im Tiefbau eingesetzten Materialien zu den im Hochbau eingesetzten bei 50 % zu 50 %. Die Begründung: im Hochbau sind die Bauwerke nicht so groß wie im Tiefbau, dafür sind sie aber von einer signifikant größeren Anzahl. Diese geschätzte Relation bezieht sich aber vor allem auf Beton. Betrachtet man Ziegelsteine wäre diese Relation ganz anders, da Ziegel vorwiegend im Hochbau eingesetzt werden, da wird von einem Verhältnis von 80 % (Hochbau) zu 20% (Tiefbau) ausgegangen. Das nächste wesentliche Material sind die Wärmedämmstoffe, bei denen auch von einem 80% (Hochbau) zu 20% (Tiefbau) auszugehen ist.

Die am häufigsten verwendeten Materialien im Hochbau sind Stahlbeton und Beton. Der Ziegel ist im Laufe der letzten hundert Jahren sehr stark in seinem Einsatz zurückgegangen, vor allem aus wirtschaftlichen Gründen. Das nächste Material, das zu nennen wäre, wäre Holz.

Die wichtigsten wären wieder diese drei: an erster Stelle Stahlbeton, Ziegelsteine und Holz. Dazu kommt ein viertes Material, das wären die Wärmedämmstoffe, die in den letzten Jahren zunehmend angewendet werden, die Dicke nimmt zu und beträgt derweil die gleiche Dicke, die für die Statik notwendig ist: das heißt, wenn eine 25 cm dicke Betonwand konstruktiv notwendig ist, sind auch ca. 25 cm Wärmedämmstoffe notwendig, um die energetisch festgelegten Zahlen erreichen zu können.

In Bezug auf die Zeitreihen in dem Materialeinsatz im Rahmen der letzten hundert Jahren: am Anfang des letzten Jahrhunderts gab es z.B. keinen Stahlbeton noch, es wurde dann erst der Eisenbeton entwickelt und eingesetzt, damals wurden ausschließlich Ziegel und Holz verwendet (Gründerzeiten). Der erste Platz der Ziegel ist heute von dem Beton besetzt. In

der letzten Zeit kann man eine Wiederaufnahme der Holzverwendung im Bauwesen beobachten, wobei mittlerweile sogar mehrstöckige Bauten ausgeführt werden. Obwohl es nicht davon auszugehen ist, dass Holz den Stahlbeton oder den Ziegel verdrängen kann. Ein weiteres wichtiges Material wäre Stahl: einmal als Bewehrung im Stahlbeton, und ein zweites Mal als Konstruktionsmaterial für reine Stahlkonstruktionen und Verbundkonstruktionen. Zusammenfassend kann man die Materialien, die heutzutage für die Hochbaukonstruktionen angewendet werden wie folgt aufteilen: Stahlbeton 40%, Ziegel 30%, Stahl 15% und Holz 15%. Der prozentuelle Anteil vom Stahl in einem m³ Stahlbeton ist je nach Stahlbetonklasse 5%-10%. Im Verbund beträgt der prozentuelle Anteil vom Stahl 10%-30%. Um im Allgemeinen, ohne den konstruktiven Zweck gesondert zu betrachten, ist die Gesamtmasse der eingesetzten Wärmedämmstoffe vergleichbar mit der Gesamtmenge des Betons, dabei sind Polystyrol und Mineralwolle (Steinwolle) die am meisten angewendeten. Es ist zu erwähnen, dass bei den verschiedenen Außenwandausführungen (Beton, Ziegel oder Holz) verschiedene Dicken von Wärmedämmung notwendig sind. So wäre z.B. bei einer 20 cm dicke StB Wand mindestens 16 cm Wärmedämmung notwendig, bei Ziegel bei gleicher Wanddicke wären 10 cm Wärmedämmung notwendig. Die gleiche Konstruktion aus Holz ausgeführt würde noch kleinere Wärmedämmdicken brauchen, ca. 8 cm.

Neue Materialien kommen in Einzelfällen in Einsatz, ihre Verwendung ist gering und es ist nicht davon auszugehen, dass sie massenhaft in Verwendung kommen werden. Das betrifft vor allem die Baumaterialien, die auf der Baustelle verarbeitet werden sollten (Standardisierung). Es ist davon auszugehen, dass der prozentuelle Anteil der neuen Materialien unter 10% von der Gesamtmenge der verbrauchten Materialien im Bauwesen liegt. Des Weiteren ist es nicht davon auszugehen, dass diese Materialien massenhaft in Verwendung kommen werden, jedenfalls nicht in der nahen Zukunft (die nächsten 10 bis 15 Jahren) aus verschiedenen konstruktiv-technischen (Verarbeitung auf der Baustelle, Schulung), wirtschaftlichen (Kosten) und anderen Gründen.

Teil 2: Planungsprozess

Man kann annehmen, dass die Größe des Bauwerks keine Auswirkung auf die Qualität der Dokumentierung der materiellen Information hat, da jedes Projekt erst nach Erteilung einer Baubewilligung ausgeführt werden kann, diese Baubewilligung anhand der eingereichten Plänen erteilt wird und nach Fertigstellung alle Pläne bei der Baupolizei zu übergeben sind, wo sie fristlos aufbewahrt werden. Es ist nicht davon auszugehen, dass große Unterschiede zwischen den für die Baubewilligung eingereichten Plänen und den tatsächlichen Bestand existieren könnten, weil während des Ausführungsprozesses seitens der Baubehörden mehrere ungemeldete Kontrollen durchgeführt werden und jede Abweichung von den bewilligten Plänen einen Baustopp bedeuten könnte.

Was die Wahl – klassische oder integrative Planung betrifft: die Planung von großen, komplizierten Objekten ist mittlerweile nur im Rahmen der integralen Planung möglich. Der Aufwand und das spezifische Wissen sind mittlerweile so breit gefächert, dass ohne intensive Kommunikation keine hochqualitative Leistung in kurzen Zeiten zu erbringen wäre.

Es ist davon auszugehen, dass diese Tendenz langsam sich auch über kleinere Planungsbüros und zu planende Objekte verbreiten wird, da kein Büro sich mittlerweile leisten kann, sich ausschließlich auf einen Bereich zu konzentrieren (z.B. nur Statik oder Bauphysik).

Die Tools der integralen Planung wie die Building Information Modelling (BIM) sind jedenfalls im Aufmarsch. Es ist aber zu erwarten, dass der Übergang zu diesen Systemen eher langsam verlaufen wird, da dieser Prozess mit sehr viel Kosten und intensivem Schulungsbedarf verbunden ist.

Es kann trotzdem angenommen werden, dass im Laufe der Jahre diese Programme, die anfangs nur für große Bauvorhaben sinnvoll sind, in der Zukunft auch für kleinere Objekte angewendet werden.

Teil 3: Materialkreislauf

Die Frage über den recyclinggerechten Abbruch nach Ende des Lebenszyklus stellt sich in der Planung heutzutage im Allgemeinen nicht. Um das signifikant verändern zu können, soll der Gesetzgeber unbedingt klare Anforderungen stellen und regulativ vorschreiben, dass jeder Planer in der Planungsphase sich auch das überlegen muss, wie später das Bauwerk zu rezyklieren ist.

Interviewprotokoll:

Chemikalienmanagement von BauXund (und am Beispiel EnergyBase) Materialeffizienz und Planungsprozesse

Ort: bauXund Forschung und Beratung GmbH
Ungargasse 64-66,
1030 Wien

Anwesend:
DI Dr. Thomas Belazzi MAS, Geschäftsführer
DI Stanimira Markova, TU Wien

Datum: 14.06.2010

Dauer: 10:00 – 11:30

Materialeffizienz und Planungsprozess im Kontext zum Chemikalienmanagement von BauXund:

Ein Teil des Tätigkeitsgebietes von BauXund sind die bauökologischen Begleitungen, wobei gleichzeitig 60-70 Projekte bearbeitet werden (aktueller Stand). Der Einstieg in die Projekte passiert gewöhnlich auf zwei Art: entweder wird BauXund in der Planungsphase vom Bauherrn i mit einbezogen, dann kann auch die Baustoffauswahl beeinflusst werden. Oder die Firma wird bei der Ausschreibung oder knapp vor der Ausschreibung unterstützend aktiv, wenn die Fragen der Bauökologie geklärt werden müssen (Beispiel: emissionsarme Farben auch dem BVerGG konform ausschreiben).

Im Fall von EnergyBase wurde BauXund mit den Fragen zur Bauökologie zu einer späteren Phase beauftragt und hat detailliert an der Ausschreibung des Innenausbau gearbeitet und die Materialien, die bereits in der Ausführung verbaut waren, auf Konformität geprüft.

Wegen der Komplexität der Vergabesituation (getrennte Generalunternehmer für Haustechnik und Rest mit zahlreichen Subunternehmern und bereits abgeschlossenen Ausschreibungen für die Gewerke), wurden die bereits vorhandenen Ausschreibungen mit den Kriterien aus den Kriterienkatalogen von BauXund nachträglich verglichen und falls nötig ergänzt. Dabei sind Änderungen in den Ausschreibungen tatsächlich als notwendig erkannt und vorgenommen worden, ohne dass zusätzliche Kosten für das Gesamtprojekt entstanden sind. Wegen des späten Zeitpunktes, zu dem BauXund in das Vorhaben involviert wurde, wurde bei diesem Projekt eine komplette Begleitung und Unterstützung in allen Tätigkeitsbereichen, die die Kompetenzfelder von bauXund umfassen, nicht durchgeführt. Von EnergyBase wurde bauXund mit dem Chemikalienmanagement beauftragt, das, besonders im Bereich Innenausbau, komplett durchgeführt wurde. Die späte Integration von BauXund verursachte keine

Abweichungen und Änderungen der festgelegten Methodik des Chemikalienmanagements: die bauökologischen Kriterien und der Arbeitsablauf (vor Arbeitsbeginn Produkte und Chemikalien melden) von bauXund wurden kommuniziert, berücksichtigt und in der weiteren Begleitung auf ihre Einhaltung hin kontrolliert.

Das Chemikalienmanagement ist bis zu dem Zeitpunkt des Gespräches bei mehr als 200 Objekte angewandt worden.

Zu dem genauen Ablauf (Ablaufdiagramm aus der Studie: Belazzi, T.: Chemikalienmanagement: Schadstoffminimierung am Bau für Klimaschutz und gute Luft, Kopie von Dr. Belazzi zur Verfügung gestellt): spätestens 14 Tage vor Arbeitsbeginn soll eine Produkterklärung (eigenes Formular von BauXund) ausgefüllt werden. Je nach Auftrag werden nur Chemikalien oder Produkte und Chemikalien aufgelistet. In der Produkterklärung werden die Marke und Produktart aufgelistet. Diese erste Liste ist eine Art Vorschlagliste, die der Professionist macht, diese wird seitens BauXund auf Einzelproduktbasis geprüft. BauXund hat eine eigene Produktdatenbank, die demensprechend laufend aktualisiert wird (da jede neue Baustelle neue Produkte mit sich bringt). Die Produkte werden aufgrund von Produktdatenblättern und Herstellerangaben geprüft. Je nach Produkt ist dann die Beurteilung an sich unterschiedlich aufwendig, je nachdem ob die Chemikalien, auf die geprüft wird, im technischen Datenblatt und/oder im Sicherheitsdatenblatt vermerkt sind. Falls das nicht der Fall ist, wird der Hersteller kontaktiert und von ihm eine schriftliche Bestätigung verlangt, durch die das Produkt freigegeben wird. Selbstständige Analysen seitens bauXund sind dabei nicht vorgesehen. Wenn Widersprüche offensichtlich sind z.B. im Datenblatt steht, dass das Produkt lösemittelfrei ist, aber im Sicherheitsdatenblatt ein Lösemittel angeführt ist, soll explizit nachgefragt werden. Die Datenblätter beinhalten unterschiedliche Informationen, je nachdem ob es sich um Produkte oder Chemikalien handelt. Für Chemikalien sollen sog. Sicherheitsdatenblätter erstellt werden, für welche es eine EU-weite Verordnung gibt und die unabhängig vom Herkunftsland des Produktes dieselben 16 Punkte in der richtigen und gleichen Anordnung beinhalten sollen.. Bei Produkten gibt es einerseits die EPD (EU-Produktdatenblätter), die sehr umfangreich sind und zum Teil auch die gesamten Ökobilanzdaten für ein konkretes Produkt beinhalten. Produktdatenblätter sind aber nicht genormt und können daher nur Text oder nur Graphiken und Bilder beinhalten sowie Information über Verarbeitung, Entsorgung.

Für die Bewertung selbst spielen verschiedene Rahmenbedingungen eine Rolle, vor allem der Bauherr und dessen bauökologisches Interesse. Dem Bauherrn werden je nach Projekt die Maßnahmen empfohlen und er entscheidet letztendlich, inwieweit diese umgesetzt werden. So z.B. kann der Bauherr bestimmen, ob und welche Chemikalien oder Produkte er vermeiden möchte (z.B. einen emissionsgeprüften Teppich). Dann wird eine Analyse von den Gewerken gemacht, die beim Projektvorhaben mitwirken, wobei Professionisten, gewünschte Bauweisen sowie mögliche Produkte und Chemikalien nach verschiedenen Kriterien geprüft werden (z.B. im Fall Raumluftqualität wären sie unter anderem auf potenzielle Schadstoffe, Schadstoffgehalt und Konzentration geprüft, wenn Schadstoffe vorkommen: Alternativen vorschlagen). Des Weiteren wird der Ablauf des Bauprozesses kontrolliert: es dürfen auf der Baustelle keine anderen außer der freigegebenen Produkten verwendet werden. Wenn es um die Überprüfung von Produkten geht, muss anders vorgegangen werden, die Ausgangsüberlegungen sind aber die gleichen: es wird überlegt welche Schadstoffe oder unerwünschte Stoffe im Produkt enthalten sein könnten.

Die Vorgehensweise kann, je nach dem Zeitpunkt der Miteinbeziehung von bauXund in das Bauvorhaben, wie folgt zusammengefasst werden: bei Integration bei der Ausschreibung ist die direkte Mitgestaltung der zu verwendeten Produkt/Chemikalienpalette möglich; falls Bau-

Xund später in der Planung einbezogen wird, muss bei jedem von den relevanten Gewerken die Produktpalette dem Kriterienkatalog von bauXund gegenübergestellt werden und überprüft werden, ob sich Konflikte ergeben und wie diese zu lösen wären.

Im Fall, dass die Beratung von bauXund von Anfang an in das Bauvorhaben mit einbezogen wird und der Bauherr eine vollständige Beurteilung und Erfassung des Bauvorhabens haben möchte, heißt das jedoch nicht, dass alle Materialien und Chemikalien komplett erfasst und dokumentiert sind. Der Fokus fällt ausschließlich auf Chemikalien und Produkte, bei denen erwartet wird, dass sie bedenklich sein können (daher sind z.B. Betonzuschlagstoffe nicht berücksichtigt, da sie für die Bewertung uninteressant sind). Es gibt hauptsächlich drei Richtungen, auf die hin überprüft und beraten wird: Umweltschutz, Raumluftqualität und Arbeitnehmerschutz. Der genaue Ablauf des Chemikalienmanagements wird dabei genau dokumentiert, d.h. alle relevanten Informationen zu einem konkreten Produkt werden in der Datenbank registriert und bewertet und außerdem die Vollständigkeit, der zu verwendeten Produktliste in jedem relevanten Gewerk, geprüft. Dadurch soll gewährleistet werden, dass wirklich alle Produkte in allen relevanten Gewerken, die bedenklich sein können, überprüft worden sind. Diese von bauXund freigegebene Liste, samt der projektbezogenen Korrespondenz, ist dann eine Vertrags- und Arbeitsgrundlage.

Ein erfolgreiches Chemikalienmanagement ist aber nur dann möglich wenn alle vier Beteiligungsgruppen rechtzeitig mit einbezogen werden: der Bauherr als entscheidender Faktor über den Umfang, der Berater (bauXund), der Produkthersteller und der Ausführende auf der Baustelle.

Es gibt Ausnahmefälle: es wird ein Bauvorhaben diskutiert, bei dem auf einen ökologischeren Beton umgestiegen wird. Das wird durch ein verändertes Rezept erreicht mit anderen Zuschlagstoffen. Der Prozess wird von bauXund begleitet und beraten, daher existieren für diesen Fall auch Mengenangaben. Kurz zusammengefasst: man kann unendlich weiter in die Tiefe der qualitativen und quantitativen Erfassung gehen, das wird aber ausschließlich vom Bauherrn bestimmt.

Von den Produktdatenblättern oder Sicherheitsdatenblättern her kann jedoch keine genaue Aussage über die genaue Stoffzusammensetzung, weder qualitativ noch quantitativ, gemacht werden. Es werden nur die Substanzen vermerkt, deren Bekanntgabe verpflichtend ist. Die genaue Produktrezeptur wird aus Wettbewerbsgründen nicht angegeben.

Interviewprotokoll:

Baumaterialien und Bauplanung: Status Quo und Entwicklungstrends

Ort: Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement

Anwesend: O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hans Georg Jodl
DI Stanimira Markova, TU Wien

Datum: 15.06.2010

Dauer: 14:00 – 15:00

Teil 1: Aktueller Materialeinsatz

SM: Als langjähriger Bauleiter bei PORR und später als Geschäftsführer einiger der größten Bauvorhaben Österreichs, haben Sie einen Überblick sowohl über den Hoch-, aber vor allem über den Tiefbau. In diesem Zusammenhang würde ich Sie um eine Schätzung bitten, in welchem Verhältnis aus Ihrer Sicht der Materialeinsatz im Hochbau zu dem im Tiefbau steht? Wie würde z.B. dieses Verhältnis am Beispiel Beton aussehen?

HGJ: Geschätzt ist davon auszugehen, dass im Hochbau der größere Anteil des verbauten Betons ist. Im Tiefbau findet man zwar die größeren Massen pro Baustelle, aber in geringerer Anzahl. Daher geschätzt 60% im Hochbau und 40% im Tiefbau.

Was die konstruktiven Baustoffe betrifft, ist Beton sicherlich der Hauptbaustoff mit 80%-85% Anteil des gesamten Materialeinsatzes im Bauwesen, Stahl sollte bei ca. 10% liegen und der Rest wäre Mauerwerk und Stein.

Sollten noch dazu die Kunst-, Dämm- und Holzstoffe berücksichtigt werden, so sind Dämmstoffe besonders bei Betonbauten - bei einer Relation von 25 cm Wandstärke Beton mit 10 cm Dämmstoffschicht, aber nur im Hochbau und bei den oberirdischen Teilen. Um diese Materialien bereinigt, würde Beton zurück auf 60% - 65% gehen, Stahl bliebe bei 10%-15% und in ähnlichem Ausmaß liegen Dämmstoffe (10%-15%) und Holz als verbleibender Konstruktivbaustoff macht nicht mehr als 5%. Die Kunststoffe, die im Bauwerk bleiben, alle Abdichtungen, Bitumenbahnen etc., sind mengenmäßig sicherlich nicht so ausschlaggebend, aber flächenmäßig ist etwa von einer Größenordnung wie bei Dämmstoffen auszugehen (2-3%). Was die qualitative Veränderung des Materialeinsatzes in den letzten Jahrzehnten betrifft, so gibt es Baustoffe, bei denen man sich eine vermehrte Verwendung wünschen würde (Holz), wo diesbezüglich aber keine langfristige Tendenz zu beobachten ist. Vor allem weil Holz sehr unterschiedliche Qualitäten aufweisen kann, weil es kompliziert in der Ausführung ist,

der Brandschutz ist als Frage nicht gelöst und wird nicht gelöst werden. Daher für Einfamilienhäuser und im Leichtbau – ja, aber nicht im großen Einsatz. Holz ist gut, aber hat Grenzen.

Sonst ist im Hochbau eine Entwicklung weg von Ziegel und hin zu Beton zu beobachten, da Beton ein geradezu idealer Baustoff aus der Sicht des Bauingenieurs ist: formbar, rezyklierbar, sauber, einfach zu verarbeiten und einzubauen. Ziegel geht deutlich zurück. Vor allem beim Sozialwohnbau und öffentlichen Bau wird ausschließlich Beton eingesetzt.

Beton ist auch aus einem anderen Grund angestiegen und zwar wegen dem verstärkten Einsatz im Tiefbau, v.a. im Bereich Infrastruktur, die fast ausschließlich mit Beton und nur bedingt mit Stahl bewältigt werden.

Kunststoffe im Bau, vor allem in den Einsatzgebieten Fenster und Tür, gehen aktuell eher zurück, da sie schwer rezyklierbar sind.

Neue Materialien, die zu erwarten sind, sind weiterentwickelte Kompositmaterialien, die einer Reihe Vorteile mit sich bringen: Dauerhaftigkeit, Belastbarkeit, schnell und einfach einzubauen. Beton wird sicherlich weiter verwendet werden, vor allem wegen des Aufmarschs der Bionik in den Strukturen und den immer schlankeren Konstruktionen, Vorspannung etc., die nur mit Beton zu bewältigen sind. Beton steht nicht am Ende, sondern ganz am Anfang seiner Entwicklung.

Das bedeutet aber auch eine neue Entwicklung im Bereich Bauchemie. Moderner Beton ohne Bauchemie ist nicht denkbar. Die komplexe Struktur der neuen Betonarten wird mit sehr wenig Wasser, sehr viel Zement und äußerst feinkörnigen und großflächigen Zuschlagsstoffen erreicht. Die Präzision in der Herstellung nimmt zu und die Bandbreite der Ungenauigkeiten ist auch gering: Abweichungen in den Sieblinien etc. werden immer kleiner.

D.h. zusammengefasst: als Zukunftsmaterialien sind Beton und die Kompositbaustoffe zu betrachten.

Teil 2: Planungsprozess

Die Tendenz im Bauwesen geht deutlich in Richtung Generalplaner/Generalunternehmer aus Gründen der ungeteilten Verantwortung dem Auftraggeber gegenüber. Des weiteren ist die Größe des Auftraggebers, ein institutioneller oder großer privater oder öffentlicher Auftraggeber, eine bessere Voraussetzung für die Vollständigkeit und Erhaltung der material-einsatzbezogenen Information. Dieser große Investor, unabhängig davon ob öffentlich oder privat, wird auch wegen der späteren Erhaltung seines Bauwerks, interessiert sein, den Bestand möglichst sauber dokumentiert zu bekommen. Das ist natürlich, wenn diese Verantwortung der „Datensammlung“ einem verantwortet ist, leichter zu bewerkstelligen. Die moderne EDV-Softwares ermöglichen zum großem Teil auch diesen Datenaustausch: in bezug auf Planänderungen usw., die dann auch ein Teil des Bestandes sind. Interessiert dran wäre aber nur der große Auftraggeber, es wäre auch ungeschickt, wenn ein großer Investor das in einer oder anderen Form nicht tun würde. Diese vollständige Erfassung würde durch den Einsatz eines Generalplaners oder Generalunternehmers natürlich sehr erleichtert.

Die Art der Leistungsbeschreibung – ob konstruktiv oder funktional – ist nicht ausschlaggebend, was die spätere Datenverfügbarkeit und Datenqualität betrifft, vielmehr ist der Investor, der Bauherr wichtig und wie er die Ausschreibung macht. So z.B. kann der Investor auch bei einer funktionalen Ausschreibung eine lückenlose Dokumentation sämtlichen Bauvorgänge, Abläufe und vor allem Materialien verlangen. Kurz gefasst, die Qualität der Dokumentation als Ergebnis, ist nicht von der Art der Leistungsbeschreibung abhängig, sondern liegt ausschließlich in der Hand des Bauherren: wenn er das nicht verlangt, bekommt er es nicht. Dabei geht es nicht um die technische Möglichkeiten das zu tun, es geht darum, dass es explicit verlangt wird. Aber dahinten muss ein Interpretationskonzept stehen, sonst ist diese gewaltige Datenmenge nicht zu bewältigen und nichts wert. D.h. wieder, was der Bauherr braucht und wie er das ausschreibt.

Was Technologien wie Building Information Modellings betrifft, es ist davon auszugehen, dass diese Tools in der Zukunft immer mehr in Einsatz kommen. Es kommt aber vielmehr drauf an, dass die alle Beteiligten auf einer Plattform zusammen agieren und simultan arbeiten. Das ist aber auch ohne BIM-Technologien bei sehr vielen guten Firmen der Fall, wo diese Art von Kommunikation und Zusammenarbeit in den Projekten intern so geregelt ist.

Die Tätigkeiten jedes Beteiligten werden sich nicht ändern, was sich ändert und ausschlaggebend wird, ist zu welchem Zeitpunkt jeder der Beteiligten seine Leistung einspeist. Es kommt auf das Organisationsmodell. Es gibt gewisse Reihenfolge die erhalten bleibt: der Konstrukteur kann nicht vor dem Architekt seine Arbeit leisten. Aber die Randgebiete außerhalb der drei Kerngebiete (Design Statik, Konstruktion), das kann vorgezogen werden, um Effizienz zu erzeugen. In diese Richtung läuft auch die gesamte Entwicklung: dass das alles irgendwann in ein zentrales Organisationsmodell passiert. Das wird aber nur bei großen Vorhaben passieren. Bei kleinen Objekten wie Einfamilienhäuser, wird das nicht zu erwarten sein. Bei kleinen Bauvorhaben wird der klassische Prozess auch weiter erhalten bleiben, weil die Integrität auch Komplexität der Steuerung und Administration heißt und Verantwortliche für diese Steuerung. Vor allem, bei großen Vorhaben ist diese Integrität nicht nur währen der Planung und Ausführung, sonder auch weiter während des Betriebs, im Sinne einer Lebenszyklusbetrachtung, gegeben und muss weiter verwaltet werden.

Teil 3: Materialkreislauf

Recycling ist ein kritisches und sehr wichtiges Thema. Der kritische Punkt in der Frage (Frage 3 A: Ist der spätere recyclinggerechte Abbruch des Gebäudes im Moment während der Planung ein Faktor und inwieweit?) ist das Wort „im Moment“. Die Frage ist generell unbedingt mit „JA“ zu beantworten, nur „im Moment“ ist die Einschränkung. Dazu muss noch gesagt werden, dass die technische Möglichkeit nur dann gegeben ist und es nur dann sinnvoll ist, wenn das noch am Anfang, in der Planung berücksichtigt ist. Es ist sehr wichtig, die Lebenszyklusbetrachtung nicht aus der Sicht zu verlieren: ein Beispiel wären die Kunststofffenster, die in der Anschaffung billiger sind, aber 1/3 vom Lebensdauer eines Holz-Alu oder Alu-Fenster haben und danach nicht rezyklierbar sind. Bei einem billigen Produkt in der Anschaffung hat das Thema Recycling keinen einen Platz. Es ist die richtige Philosophie entscheidend: nicht die Anschaffungskosten, sondern die Kosten über das gesamte Lebenszyklus betrachten. Diese Philosophie wird im Bauwesen auch stark propagiert, vor allem politisch. Das Problem im Bauwesen: wer soll der Träger dieser Philosophie sein? Das Bauunternehmen und der Planer haben kein selbstinitiiertes Interesse daran. Der Bauherr hätte es, nur dadurch werden Kosten verursacht die im Moment budgetär, politisch etc. derzeit nur schwer durchzubringen sind. Daher, so die persönliche Meinung, sind weniger an Nachhaltigkeit interessiert, als man glaubt. Aber damit das Umdenken stattfindet, sind die Investoren, auch die Medien maßgebend, Institutionen wie Konsumentenschutz und Grünbewegungen, NGOs, die Druck machen und erkennen wo die Verbesserungspotenziale und Bedürfnisse sind.

Als Beispiel für Bauherren oder Objekte, die sich in dieser Richtung entwickeln, kann die Gemeinde Wien mit der Initiative „Ökokauf“ erwähnt werden, wo die Gemeinde Wien sukzessive, eine ökologisch durchdachte Baumaßnahmen aller unter Berücksichtigung der Folgen der Baumaßnahmen wählen. Ein Beispiel daraus ist die MA 29 und MA 30 im Tief- und Grundbau angehalten sind, ökologisch vertretbare Materialien als dauerhafte Einbaumaterialien zu wählen.

Des Weiteren sind Studien initiiert worden, bei denen nachgewiesen werden konnte, welche die Vorteile von einer Lebenszyklusbetrachtung und Einsatz von Maßnahmen für Nachhaltigkeit im Bauwesen sind, auch mit Auswirkung auf die zu verursachende Kosten. Diese Studien wurden am Beispiel Sozialwohnbau durchgeführt, wo die Prozesse und Abläufe besonders kritisch verfolgt werden.