

Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden"

# Überblick über die Ökobilanzierung von Gebäuden

Raffael Pulli

ETH Zürich

Untersuchung im Rahmen des IEA BCS Annex 31:  
Energy Related Environmental Impact of Buildings

Mit Unterstützung des  
Bundesamtes für Energie

Juni 1998

---

## Impressum

Projekttitel: IEA CBS Annex 31, "Energy Related Environmental Impact of Buildings"  
Titel Teilprojekt: **Überblick über die Ökobilanzierung im Bauwesen**  
Auftraggeber: Bundesamt für Energie, BfE  
Projektleitung: Annick Lalive d'Epinay  
Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz  
Laboratorium für Technische Chemie  
Eidgenössische Technische Hochschule ETH  
8092 Zürich

Auftragnehmer: Raffael Pulli  
Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz  
Laboratorium für Technische Chemie  
Eidgenössische Technische Hochschule ETH  
8092 Zürich

Bezug: Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz  
Laboratorium für Technische Chemie  
Eidgenössische Technische Hochschule ETH  
8092 Zürich

1. Auflage, Juni 1998

# Inhalt

<b>1. Einführung .....</b>	<b>1</b>
1.1. Ausgangslage .....	1
1.2. Ziele .....	2
<b>2. Ökobilanzierung von Gebäuden.....</b>	<b>3</b>
2.1. Ökobilanzierung allgemein.....	3
2.2. Lebenszyklus von Gebäuden.....	5
2.3. Einsatzzeitpunkt und Gebäudestruktur .....	6
2.4. Wer befasst sich mit der Ökobilanzierung von Gebäuden? .....	7
2.5. Bestehende Ökobilanz-Tools.....	13
<b>3. Methodische Aspekte .....</b>	<b>18</b>
3.1. Goal and Scope Definition .....	18
3.2. Life Cycle Inventory Analysis .....	26
3.3. Life Cycle Impact Assessment .....	35
3.4. Life Cycle Interpretation .....	47
<b>4. Fallbeispiele.....</b>	<b>48</b>
4.1. Beschreibung der Fallbeispiele .....	48
4.2. Zusammenfassung .....	62
4.3. Konsequenzen .....	65
<b>5. Synthese .....</b>	<b>66</b>
5.1. Anwendung der Ökobilanz-Methodik für Gebäude .....	66
5.2. Gibt es ein Standard- oder Referenzgebäude? .....	68
5.3. Relevante Faktoren für umweltgerechtes Bauen .....	70
5.4. Zusammenfassung .....	72
<b>Anhang.....</b>	<b>75</b>
<b>Literatur .....</b>	<b>82</b>



# 1. Einführung

## 1.1. Ausgangslage

Die Internationale Energie Agentur IEA hat das Programm CBS Annex 31 lanciert, das die energiebezogenen Umweltauswirkungen von Gebäuden betrachten soll. Ziel ist, im Gebäudesektor Informationen über Methoden und Daten zu Umwelteinwirkungen von Gebäuden im Innenraumbereich sowie auf der lokalen, regionalen und globalen Ebene zur Verfügung zu stellen. Der aktive Beitrag der Schweiz zum IEA CBS Annex 31 stellt das vom Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) finanzierte Projekt "Energy related environmental impact of buildings" dar. Das Schweizer Projekt verfolgt das Ziel, mittels Weiterentwicklungen von Umweltanalysemethoden (z.B. Ökobilanz) eine ansatzweise gesamtheitliche Umweltanalyse eines Gebäudes im frühen Planungsstadium zu ermöglichen. Insbesondere sollen dort drei praxisrelevante Produkte erarbeitet werden:

- Ein Leitfaden für PlanerInnen und ArchitektInnen, in welchem ein kommentierter Überblick über international verfügbare Instrumente und Methoden gegeben wird (wurde bereits fertiggestellt).
- Richtlinien und Empfehlungen zur Ökobilanzierung im Bauwesen im Sinne einer Ökobilanz-basierten Arbeitshilfe für die Vorprojekt- und Vorstudienphase.
- Eine aktualisierte, erweiterte und international abgestützte Datenbank mit Inventardaten zu Baumaterialien, Bautechniken, Konstruktionsprozessen.

Innerhalb des Schweizer Projekts erfolgt die Dissertation "Umweltanalyse von Gebäuden, Grenzen und Möglichkeiten der Ökobilanz" von Annick Lalive d'Epinay, welche sich in den zweiten Themenkreis eingliedert.

Die Methode der Lebenszyklusanalyse ist vor allem für industrielle Produkte mit einer Lebensdauer von Wochen oder Monaten entwickelt worden. Gebäude verfügen jedoch über charakteristische Eigenschaften, über welche diese anderen Produkte nicht verfügen:

- Eine um einiges längere Lebenszeit. Die Nutzungsphase bewegt sich zwischen 50 und 100 Jahre und noch länger.
- Eine Nachfrage an Unterhalt, die um einiges grösser ist als der anfängliche Konstruktionsaufwand an Material und Energie.
- Eine spezifische Nachfrage an Energie und Materialien, die verglichen mit industriellen Produkten sehr hoch ist.
- Eine grosse Quantität an verschiedenen Techniken zur Produktion verschiedener Objekte mit gleicher Funktion.
- Eine sehr schwierige Voraussage von zukünftigem Gebrauch, Renovation und Endlagerung von Gebäuden.

- Eine grosse Abhängigkeit von der unmittelbaren Umgebung.
- Eine starke Abhängigkeit vom Benutzerverhalten.

All diese Besonderheiten müssen in einer Ökobilanz berücksichtigt werden, will man dieses Instrument im frühen Planungsprozess zur besseren Einschätzung möglicher Umwelteinwirkungen einsetzen.

## 1.2. Ziele

Ziel der vorliegenden Studie ist es, einen Überblick über bestehende Methoden und Problemfelder der Ökobilanzierung im Bauwesen, insbesondere für Gebäude, zu erstellen. Es soll als Grundlage für eine Stärken- und Schwächenanalyse der Ökobilanzierung im Bauwesen dienen und es ermöglichen, diejenigen Faktoren, welche durch eine Ökobilanz abgedeckt werden, definieren zu können. Weitere Faktoren, welche aus Expertensicht für ein umweltverträgliches Bauen relevant sind, werden durch einen Fragebogen erfasst.

Das Produkt ist eine dokumentierte Zusammenfassung der aktuellen Forschung und Anwendung der bauspezifischen Ökobilanzierung, also ein Grundlagenbericht, der vor allem der weiterführenden Arbeit innerhalb der Dissertation von Annick Lalive d'Épinay dienen soll. Dabei sind einerseits globale, d. h. allgemein gültige Vorgehensweisen, andererseits insbesondere für die Schweiz spezifische methodische Ergänzungen von grossem Interesse. Ebenfalls in die Betrachtung einbezogen werden Fallbeispiele von bereits durchgeführten Ökobilanzen.

So soll insbesondere folgenden Fragestellungen nachgegangen werden:

- Wer beschäftigt sich mit Ökobilanzierung von Gebäuden?
- Welche internationalen Projekte laufen zurzeit?
- Wie betreiben verschiedene Länder die Forschung und Anwendung der Erkenntnisse auf diesem Gebiet und wie unterscheiden sich diese Anstrengungen?
- Welche methodischen Regeln gelten zur Zeit und welche werden vorangetrieben?
- Welche methodischen Problemkreise werden bearbeitet, welche nicht?

## 2. Ökobilanzierung von Gebäuden

### 2.1. Ökobilanzierung allgemein

#### 2.1.1. Prinzipien der Ökobilanzierung

Die Prinzipien, welche einer Ökobilanzierung zugrunde liegen, basieren im wesentlichen auf denen, die in der Energiebilanzierung entwickelt worden sind. Grundlegendes Element der Methodik ist das System. Auch wenn in der Bauindustrie vor allem mit Produkten, d. h. mit einzelnen Materialien gebaut wird, ist doch das schlussendlich produzierte System, das Gebäude, von Interesse für die Analyse. Ein industrielles System, zu dem auch Gebäude gezählt werden können, kann definiert werden als eine Sammlung von Prozessen oder Handlungen, welche, wenn sie zusammengefügt werden, eine bestimmte Funktion erfüllen [Boustead 1997]. Die Bestimmung der Funktion ist ausserordentlich wichtig. Falls zwei verschiedene Systeme miteinander verglichen werden wollen, müssen sie die gleiche Funktion ausüben. Für den Baubereich bedeutet dies, dass nur Gebäude verglichen werden dürfen, die die gleiche Bestimmung haben (z. B. die Pflege von 500 Patientinnen mit den gleichen Pflegeleistungen). Schematisch kann jedes industrielle System wie in Abbildung 1 dargestellt werden.

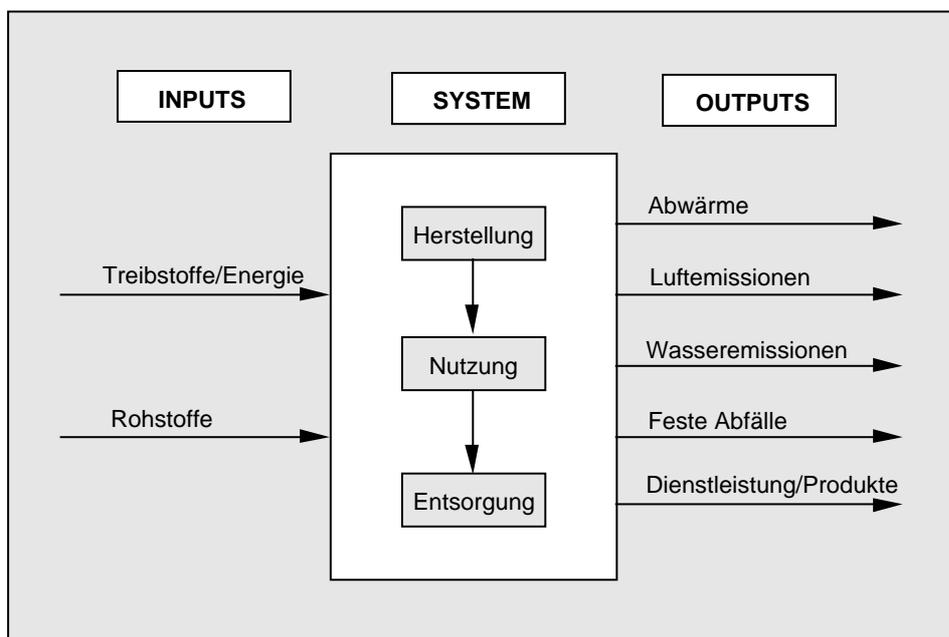


Abbildung 1: Eine Ökobilanzierung basiert auf der Untersuchung des Systems mit all seinen In- und Outputs.

Alle Prozesse sind in der Systembox eingelagert. Die Umrandung der Box wird als Systemgrenze bezeichnet und trennt das System von seiner Umgebung, der Systemumwelt. Die Umwelt

ausserhalb des Systems ist Quelle aller Inputs in das System und verhält sich auch als Senke für alle Outputs aus dem System.

### 2.1.2. Anwendungsgebiete von Ökobilanzen

Ökobilanzierungen sollen Informationen liefern, welche grob gesagt zu einer Verbesserung der Auswirkungen auf die Umwelt führen sollen. Ökobilanzierungen können etwa zu folgenden Zwecken durchgeführt werden [Nordic 1995]:

- Privater Sektor:
  - Identifizierung von Prozessen, Stoffen oder Systemen, welche die Hauptverursacher von Umweltbelastung sind.
  - Vergleich verschiedener Alternativen in einem Prozess mit dem Ziel, die Umweltbelastung zu minimieren.
  - Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl von Produkten oder Prozessen.
  - Erstellung einer Begleitung in der langfristigen strategischen Planung bezüglich Produkt-Design oder der Entwicklung von Materialien.
  - Evaluierung der Veränderung von bzw. der Wirkungen auf Ressourcen, die mit der Herstellung von Produkten zusammenhängen.
  - Hilfestellung für Produktdesigner zur Benützung von umweltgerechteren Materialien.
  - Vergleich von funktionell gleichen Produkten.
- Öffentlicher Sektor
  - Hilfe für die Entwicklung von langfristigen politischen Programmen bezüglich der Materialnutzung, Ressourcenerhaltung und Verminderung von Umweltbelastung und -risiken, die durch Materialien und Prozesse während ihres Lebenszyklus hervorgerufen werden.
  - Die Öffentlichkeit versehen mit Informationen über die Ressourcenverbräuche von Produkten oder Materialien.
  - Identifizierung von Wissenslücken und Forschungsprioritäten.
  - Information zur Verfügung stellen für Gesetze oder regulatorische Normen, welche den Gebrauch gewisser Produkte oder Materialien einschränken soll.
  - Hilfestellung bei der Erarbeitung von Labels.

### 2.1.3. Anwendungsgebiete von Ökobilanzen für Gebäude

Im Gebäudebereich können Ökobilanzen auf verschiedenen Ebenen eingesetzt werden. Sie dienen insbesondere:

- zur Identifizierung von umweltrelevanten Prozessen oder Phasen
- zum Vergleich verschiedener Techniken (Heizung, Dämmung etc.)
- zur Entscheidungsunterstützung bei der Wahl des Bauortes, der Wahl der einzusetzenden Materialien, der Wahl der einzusetzenden Haustechnik etc.

## 2.2. Lebenszyklus von Gebäuden

Der Lebenszyklus eines Gebäudes kann von verschiedenen Blickwinkeln aus betrachtet werden. Je nachdem, welche Sichtweise zum Zug kommt, erfolgt die Darstellung des Systems auf eine andere Weise (siehe auch Abbildung 2). Auch die verschiedenen Forschungsgruppen und Forschungsrichtungen verstehen unter dem Lebenszyklus eines Gebäudes unterschiedliches. Zumeist wird von der Energie- und Stoffflussanalyse ausgegangen. Dadurch werden im Lebenszyklus Phasen unterschieden, die auf unterschiedliche Materialflüsse zurückgehen. Andererseits wird ein Lebenszyklus aus dem in der Praxis angewendeten Planungsablauf entwickelt. Diese beiden Ansätze sind stark miteinander verknüpft, beschreiben jedoch sehr unterschiedliche Verfahrensweisen.

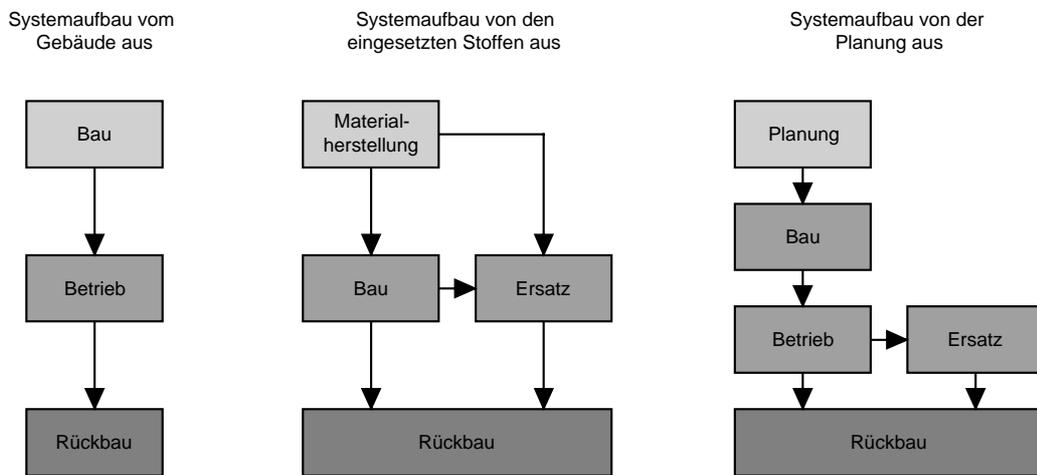


Abbildung 2: Je nach Sichtweise unterscheidet sich das zu betrachtende System.

- *Systemaufbau vom Gebäude aus:*

In dieser Sichtweise wird vom Gebäude als statisches Objekt ausgegangen, welches das System im wesentlichen in drei Phasen unterteilt: Bau-, Betriebs- und Rückbauphase. Die Bauphase beinhaltet alle vorgelagerten Prozesse der Baumaterialherstellung und Energiebereitstellung. Der Betrieb umfasst alle Tätigkeiten zwischen Bau- und Rückbauphase. Alle nutzungsabhängigen Verbräuche, aber auch alle Renovations-, Wartungs- und Ersatarbeiten gehören dazu. Zum Rückbau können alle Prozesse in der Entsorgungskette gezählt werden, d. h. Aufwendungen für das Recycling und alle Down-Stream-Prozesse.

- *Systemaufbau von den eingesetzten Stoffen aus:*

Betrachtet man das System von den eingesetzten Stoffen aus, kann dieses ein bisschen anders gestaltet werden. Die Herstellung der Baustoffe wird separat betrachtet. Wichtig sind dann die Bauphase sowie die Ersatzphase, wo auch wirklich etwas mit den Materialien geschieht, d. h. es entstehen Materialflüsse. Die Betriebsphase interessiert in dieser Sichtweise nicht weiter, weil hier kaum Materialien (für das Gebäude) vorkommen.

- *Systembetrachtung von der Planung aus:*

In dieser Sichtweise wird der Planungsprozess dem ganzen Bau vorangestellt. Auch wenn hier keine Material- oder Energieflüsse stattfinden, hat dieser Prozess infolge seiner Entscheidungsfunktion eine hohe Bedeutung. Für die Planung relevant ist auch die Aufteilung der Betriebs- und Ersatzphase. Heute wird im wesentlichen diese Form der Systembetrachtung eingesetzt, wenn auch mit einem sehr schwachen Einbezug des Planungsprozesses. Eine genauere Beschreibung des Planungsablaufs ist in [Koch 1998a] vorhanden.

### 2.3. Einsatzzeitpunkt und Gebäudestruktur

Probleme bei der Erstellung von Ökobilanzen von Gebäuden hängen eng mit dem Einsatzzeitpunkt der Untersuchung zusammen. Je früher eine Bilanzierung durchgeführt wird, umso weniger detaillierte Materialinformationen stehen zur Verfügung (siehe Abbildung 3). Dies führt zwangsläufig zu einem Dilemma, wenn die Bilanzierung ein weiterer Faktor in der Entscheidungsfindung bei einem Bauvorhaben sein soll. In der frühen Planungsphase z. B. werden erst strategische Entscheidungen über Standort, Verkehrslage, Grösse und Art des Gebäudes gefällt. Genaue Informationen über die tatsächlichen Mengen der benötigten Materialien liegen noch nicht vor. Dem Problem der unvollständigen bzw. eben gar nicht vorliegenden Angaben kann jedoch mit einer geeigneten Strukturierung des Gebäudeaufbaus entgegengekommen werden.

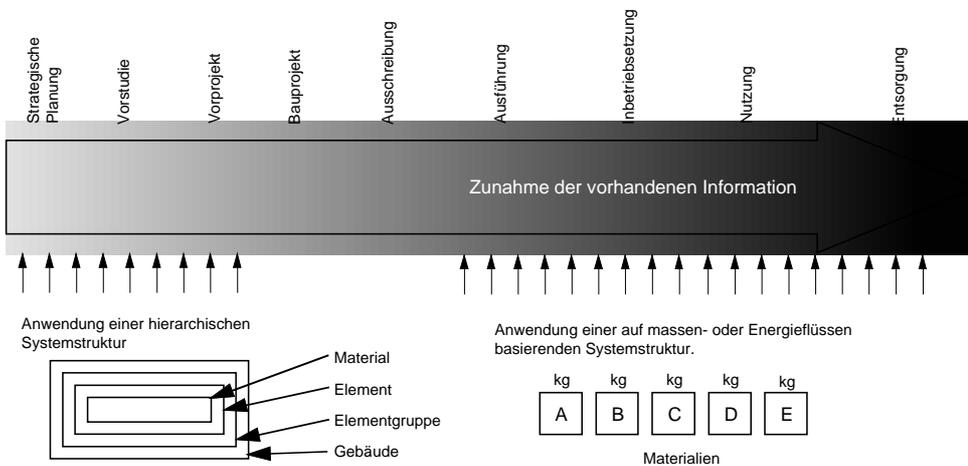


Abbildung 3: Strukturierung des untersuchten Systems nach Einsatzzeitpunkt der Ökobilanz.

Für eine Anwendung in der frühen Planungsphase wird von [Kohler 1994] eine hierarchische Struktur der zu bilanzierenden Gebäude vorgeschlagen. Diese Struktur ist gleich aufgebaut wie die vom CRB<sup>1</sup> entwickelte Systematik des Gebäudebeschriebes [CRB 1994]. Näheres dazu ist in Anhang 2 erläutert. Der Vorteil an dieser Systematik ist, dass durch die hierarchische Gliederung

<sup>1</sup> Centre de Rationalisation du Bâtiment

ein Gebäudemodell aus relativ wenigen Flächenangaben erstellt werden kann. Aus rein qualitativen Angaben zu den einzelnen Bestandteilen eines Gebäudes wie z. Bsp. m<sup>2</sup> Betondecke lässt sich so auf eine einfache Weise ein Gebäude modellieren.

Erst vom Zeitpunkt der fertigen Ausarbeitung des Bauprojektes aus kann eine Ökobilanz eines Gebäudes auf ziemlich genaue Materialangaben zurückgreifen.<sup>2</sup>

## 2.4. Wer befasst sich mit der Ökobilanzierung von Gebäuden?

Zur Zeit beschäftigen sich einige Forschungsgruppen mit der Ökobilanzierung von Gebäuden. Die meisten haben aber weniger zum Ziel, methodische Aspekte in der Lebenszyklusanalyse zu durchleuchten. Vielmehr wird ein grosses Gewicht auf die Entwicklung und die Einführung eigener Software für eine ökologische Bewertung von Neu- oder Umbauten gelegt.

Es ist klar, dass infolge der Grösse des Arbeitsgebietes in dieser Studie nicht alle Gruppen erfasst werden können. Dies würde einerseits den zeitlichen Rahmen der vorliegenden Studie sprengen. Andererseits sind viele Projekte auch nicht relevant für die vorliegende Studie (siehe Tabelle 1).

Betrachtungsebene	Baustoffe	Bauelemente	Gebäude
Funktionelle Einheit	kg Baustoff	m <sup>2</sup> Bauelement	m <sup>2</sup> Wohnfläche oder andere Nutzeinheit
Berücksichtigte Lebensphasen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohstoffgewinnung und Baustoffproduktion</li> <li>• Materialverwertung und Entsorgung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohstoffgewinnung und Baustoffproduktion</li> <li>• Instandhaltung des betrachteten Bauteils</li> <li>• Bauteil-Verwendung</li> <li>• Materialverwertung und Entsorgung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alle Phasen (idealerweise)</li> </ul>
Beispiele durchgeführter Studien	[Weibel 1995], [Fritsche 1994], [Frischknecht 1994]	[Richter 1996], [Steiger 1995]	[Kohler 1996], [Polster 1995]

*Tabelle 1: Ökobilanzen werden im Baubereich auf drei verschiedenen Ebenen durchgeführt. In dieser Studie soll nur auf die dritte Ebene, der Gebäudeebene eingegangen werden (Tabelle nach [Quack 1997])*

Das Augenmerk wird auf die europäische und insbesondere auch schweizerische Aktivität gelegt, amerikanische und kanadische Anstrengungen werden nicht weiter bearbeitet. Im Folgenden werden insbesondere jene Gruppen und Forschungsgebiete beschrieben, welche methodische

<sup>2</sup> Wobei auch hier noch einige Änderung während der Bauphase eintreten können und eine endgültige Materialzusammensetzung erst nach der fertigen Erstellung bekannt ist.

Weiterentwicklungen in der Ökobilanzierung von Gebäuden liefern. Die Arbeiten dieser Gruppen werden darauf in Kapitel 3 bezüglich der einzelnen Ökobilanzierungskomponenten untersucht. In Kapitel 4 folgt eine Zusammenstellung von Fallbeispielen.

#### 2.4.1. REGENER

Im Regener-Projekt<sup>3</sup> der Europäischen Kommission 'European Methodology for the Evaluation of Environmental Impacts of Buildings' waren ForscherInnen, ArchitektInnen und Bauleute aus fünf verschiedenen europäischen Ländern beteiligt (Ecole des Mines Paris, Universität Karlsruhe, WOON/ENERGIE (NL), SOFTECH (I), Technische Universität Helsinki, INERIS (F), DUMEZ (F), ebenfalls beteiligt Universität Colorado (USA)). Ziel des Projektes war, ein Tool auf der Basis der Lebenszyklusanalyse zu entwickeln, das Fachleuten helfen würde, Umweltauswirkungen im Bausektor zu erniedrigen. Näheres dazu ist im Anhang ersichtlich. Fünf Berichte wurden im Januar 1997 veröffentlicht:

- Der Zusammenfassungsteil (Introduction to Life Cycle Analysis of Buildings) gibt einen Überblick über die Umweltauswirkungen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer. Hier werden die Definitionen und im Projekt behandelten Konzepte kurz zusammengefasst.
- Der erste Teil (Environmental Assessment at the Local Level) nimmt eine Analyse des Design-Prozesses vor und untersucht die mögliche Verwendung der Ökobilanzierung.
- Im zweiten Teil (Application of the Life Cycle Analysis to Buildings) wird eine detaillierte Beschreibung der Projektergebnisse gegeben. Die Struktur von LCA wird beschrieben, bestehende LCA-Tools werden vorgestellt, es wird auf das Sammeln von bereits vorhandenen Daten eingegangen, ein eigenes Modell (EQUER) wird entwickelt und eine Vorgehensweise für die Auswirkungsanalyse wird vorgeschlagen.
- Im Teil 3 (The Integration of Environmental Assessment in the Building Design Process) wird ein Werkzeug für die Umsetzung der Lebenszyklusidee in der Planungsphase vorgestellt.
- Der vierte Teil 'Applications by Target Groups' spricht Akteure im Baubereich an. Für diese wird ein kurzer Leitfaden in der Anwendung von LCAs gegeben. Zwei Fallbeispiele werden im Rahmen einer Sensitivitätsstudie mit dem Programm EQUER untersucht.

Literatur aus dieser Forschungsgruppe:

- REGENER: European methodology for the evaluation of environmental impact of buildings: The Integration of Environmental Assessment in the Building Design Process, Final Report, European Commission, Directorate General XII for Science, Research and Development, Programme APAS, Brussels 1997

#### 2.4.2. ifib Universität Karlsruhe

Die Gruppe von N. Kohler am Institut für Industrielle Bauproduktion (ifib) der Universität Karlsruhe befasst sich in erster Linie mit Energie- und Stoffflussbilanzen von Gebäuden. Mit den ursprünglich

<sup>3</sup> Regener: Regional Planning for the Development of Renewable Energies

an der ETH Lausanne begonnenen Arbeiten [Kohler 1990], [Kohler 1991], [Kohler 1992a] und insbesondere „Energie- und Stoffflussbilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer“ [Kohler 1994] wurde die Grundlage für das Instrument OGIP/DATO<sup>4</sup> gelegt. Die verschiedenen Arbeiten und insbesondere OGIP/DATO bauen auf der vor allem in der Schweiz verbreiteten Elementkostengliederung des CRB (Centre de Rationalisation du Bâtiment) auf. Dabei werden die Daten für Gebäude modular zusammengestellt. Für den Bauprozess werden auf der untersten Stufe Sachbilanzen für Konstruktionsprodukte und Bauleistungen erstellt und mit Prozessdaten von vorgelagerten Stufen (z. B. Energiebereitstellung) verknüpft. Daraus können zunächst Leistungspositionen (z. B. Normpositionen), Elemente (z. B. Decken, Treppen, Balkone etc.) und schliesslich Elementgruppen (z. B. Rohbau, Installationen etc.) erstellt werden. Das Gebäude selbst wird als Aggregation aus diesen Elementen oder Elementgruppen dargestellt.

Literatur aus dieser Gruppe:

- Kohler N., Lützkendorf Th.: Energie- und Schadstoffbilanzen bei Niedrigenergiehäusern, Teil 1, Grundlagen, Zwischenbericht, EPFL Lausanne, 1990
- Kohler N., Lützkendorf Th., Holliger M.: Energie- und Schadstoffbilanzen im Bauwesen, EPFL Lausanne, Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, Lausanne 1991
- Kohler N., Holliger M., Lützkendorf Th.: Regeln zur Datenerfassung für Energie- und Stoffflussanalysen, Handbuch, Lausanne 1992
- Kohler N., Lützkendorf Th., Holliger M.: Methodische Grundlagen für Energie- und Stoffflussanalysen - Handbuch, Diskussionsbeitrag zum BEW-Projekt "Energie- und Stoffbilanzen von Bauteilen und Gebäuden", Koordinationsgruppe des Bundes für Energie- und Oekobilanzen, 1992
- Kohler N. et al.: "Energie- und Stoffflussbilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer", Schlussbericht Forschungsprojekt BEW, Karlsruhe 1994
- Kohler N. et al.: Baustoffdaten - Oekoinventare, TH Karlsruhe, ETH Zürich, Karlsruhe/Weimar/Zürich 1995
- Kohler et al.: OGIP/DATO - Optimierung von Gesamtenergieverbrauch, Umweltbelastung und Baukosten, Schlussbericht BEW Forschungsprojekt, Karlsruhe 1996
- Kohler et al.: KOBEEK - Methode zur kombinierten Berechnung von Energiebedarf, Umweltbelastung und Baukosten in frühen Planungsstadien, Schlussbericht Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Karlsruhe 1996
- Kohler, Klingele: Simulation von Energie und Stoffflüssen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer, Ifib Universität Karlsruhe, Karlsruhe 1996

### 2.4.3. SBI: Danish Building Research Institute

Das dänische Building Research Institute SBI (Statens Byggeforskningsinstitut) ist im dänischen Ministerium für Wohnen angesiedelt. Es arbeitet stark mit der Industrie zusammen und ist

<sup>4</sup> OGIP: Optimierung Gesamtenergieverbrauch, Umweltbelastung und Baukosten

verantwortlich für die Forschung im Bereich der Qualitätssicherung von Gebäuden, für die Ausarbeitung von gesetzlichen Vorschlägen sowie für Prozessanalysen in der Bauwirtschaft. Insgesamt sind 130 Personen am SBI beschäftigt. Innerhalb der Forschungsdivision Energie und Innenraumklima wurde 1990 ein Projekt zum Thema „Energy and Environmental Assessment for the Building Design“ in Angriff genommen [Dinesen 1994]. Diese erste Phase endete mit der Entwicklung eines Modelles zur Analyse des totalen Energiebedarfs und der daraus resultierenden Emissionen in die Atmosphäre [Dinesen 1997]. Das betrachtete Gebäude wird dabei wie bei [Kohler 1996b] in Elemente aufgeteilt, die entsprechend dem dänischen BC/SfB Gebäudeklassifikationssystem definiert sind. In Zukunft sollen weitere umweltrelevante Aspekte in das Modell fließen. So sollen insbesondere nichterneuerbare Energiequellen, Grundmaterialien, Treibhauseffekt, Versauerung und Gesundheitsaspekte einbezogen werden. Eine genauere Beschreibung des Projektes und der Resultate ist in Kapitel 4 ersichtlich.

Literatur aus dieser Gruppe:

- Dinesen, J., Traberg-Borup, S.: An Energy Life Cycle Assessment Model for Building Design, Danish Building Research Institute SBI, Denmark 1994
- Dinesen, J., Krogh, H., Traberg-Borup, S.: Life-Cycle-Based Building Design, SBI-Report 279, Denmark 1997

#### **2.4.4. Ecole des Mines Paris**

An der Ecole des Mines in Paris befasst sich die Gruppe um Bruno Peuportier am „Centre d’Énergétique“ mit der Ökobilanzierung von Gebäuden. Diese Gruppe war stark an der Realisierung des Regener-Projektes (siehe Kap. 2.3.1) beteiligt. In der Doktorarbeit von B. Polster [Polster 1995] wurde eine Umweltanalysemethode entwickelt, die auf der Lebenszyklusanalyse beruht und die Beschreibung verschiedener Gebäudetypen erlaubt. Ein darauf basierendes Simulationsprogramm (EQUER) errechnet die allgemeine Umweltbilanz eines Gebäudes.

Literatur aus dieser Gruppe:

- Polster B.: Contribution à l’étude de l’impact environnemental des bâtiments par analyse du cycle de vie, Thèse de Doctorat de l’Ecole des Mines de Paris, Paris 1996
- Polster B., Peuportier B. et al: Evaluation of the Environmental Quality of Buildings Towards A More Environmentally Conscious Design, Ecole des Mines, in Solar Energy, Vol. 57, No 3, pp 219-230, Elsevier Science Ltd, Great Britain 1996
- Peuportier B.: Respecter l’environnement au quotidien - La part des citoyens, Environnement & Technique, No. 170, Oktober 1997
- Peuportier B., Kohler, N., Boonstra C.: European Project Regener - Life Cycle Analysis of Buildings, Second International Conference Buildings and the Environment, June 1997, Paris 1997

### 2.4.5. CSTB Grenoble

Das CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment) ist ein staatlich geführtes Institut in Frankreich mit fünf Anstalten in Grenoble, Nantes, Marne-la-Vallée, Paris und Sophia-Antipolis. Insgesamt arbeiten rund 600 Personen an den fünf Orten. Das CSTB ist vergleichbar mit der EMPA in der Schweiz. Die Arbeitsgebiete lassen sich in vier Bereiche aufteilen. Die Forschung befasst sich insbesondere den Problemen der Erneuerung oder Renovation des bestehenden Gebäudeparks und mit neuen Entwicklungen in verschiedenen Baubereichen. Ein zweiter Zweig besteht in der Beratung von grossen Bauvorhaben. In einem dritten Bereich, der Evaluation, zertifiziert das CSTB Bauten und gibt technische Anweisungen heraus. Schlussendlich ist das CSTB auch für die Informationsverbreitung zuständig. Es gibt ein zweimonatlich erscheinendes Heft, das CSTB-Magazine, heraus, wo jeweils themenbezogen über die neusten Entwicklungen berichtet wird. Innerhalb des CSTB befasst sich die Arbeitsgruppe „Groupe de Travail Cycle de Vie“ mit baubezogenen Ökobilanzierungen. In der Doktorarbeit von Le Téno [Le Téno 1996] wird das Modell EQuity für die Evaluation und die Verbesserung der Umweltqualität von Bauprodukten vorgeschlagen. Das Modell basiert auf der klassischen Lebenszyklusanalyse.

Literatur aus dieser Gruppe:

- Le Téno: Développement d'un modèle d'aide à l'évaluation et à l'amélioration de la qualité environnementale des produits de construction, Thèse, Université de Savoie, CSTB, Paris 1996
- Contrat Plan Construction et Architecture: Evaluation de la qualité environnementale des bâtiments, Rapport final, Paris 1995
- Le Téno: Use of LCA for the Measurement of Building Products Environmental Quality, IEA Task 18, A4 - Environmental Impact, CSTB, Grenoble 1997

### 2.4.6. EPF Lausanne

An der EPF Lausanne beschäftigt sich das Laboratoire d'énergie solaire (LESO) bereits seit einiger Zeit neben der Forschungstätigkeit bezüglich der Solarenergienutzung mit ökologischen Aspekten im Baubereich. Niklaus Kohler war bis 1993 an der EPFL. Seit seinem Wegzug zur Universität Karlsruhe wird die Zusammenarbeit mit seiner Gruppe von der EPFL vorangetrieben. 1996 wurde zusammen mit dem Massachusetts Institute of Technology und der University of Tokyo das Projekt 'Sustainability in Buildings' gestartet. Im Rahmen der Vorbereitung für oben genanntes Projekt wurden zwei Diplomarbeiten im Bereich der Ökobilanzierung von Gebäuden geschrieben ([Ospelt 1995] und [Tschirner 1995]). Näheres dazu ist auch im Anhang ersichtlich. Verschiedene weitere Projekte werden in den Bereichen Umwelt-, Sozial- und Kostenauswirkungen von Gebäuden durchgeführt.

Literatur aus dieser Gruppe:

- Gay F.-B., Homem de Freitas J., Ospelt Ch., Rittmeyer P., Sindayigaya O.: Toward a Sustainability Indicator for Buildings (Workshop on Future of the Cities September 16-17, 1996

- MIT, Cambridge), LESO-EPFL Lausanne, Lausanne 1996
- Kohler N., Lützkendorf Th.: Energie- und Schadstoffbilanzen bei Niedrigenergiehäusern, Teil 1, Grundlagen, Zwischenbericht, EPFL Lausanne, 1990
  - Kohler N., Lützkendorf Th., Holliger M.: Energie- und Schadstoffbilanzen im Bauwesen, EPFL Lausanne, Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, Lausanne 1991
  - Kohler N., Holliger M., Lützkendorf Th.: Regeln zur Datenerfassung für Energie- und Stoffflussanalysen, Handbuch, Lausanne 1992
  - Ospelt Ch.: Der direkte und der indirekte Energieverbrauch der Haushalte in der Schweiz - Konzept zur Berechnung unter Verwendung der Input-Output-Analyse, Semesterarbeit in der Gruppe für Energieanalysen ETHZ, Zürich 1995
  - Ospelt Ch.: Ökobilanz von Gebäuden: Methodik und Anwendung - Unter besonderer Betrachtung von Rohbau und Heizungsanlage, Diplomarbeit an der EPFL Lausanne, Lausanne 1995
  - Tschirner B.: Démarche pratique pour l'établissement de l'ecobilan d'un bâtiment, Diplomarbeit an der EPF Lausanne, Lausanne 1995

#### **2.4.7. Econcept Zürich**

Im Rahmen des schweizer Beitrages zum Annex 31 der IEA hat die Wirtschafts- und Politikberatungsfirma econcept zwei Berichte erstellt. Einerseits werden in einem anwenderorientierten Leitfaden verschiedenste Instrumente für eine ökologische Optimierung von Hochbauten vorgestellt. Hier wird Architektinnen und Planern eine Stütze gegeben, wann sie wo im Planungsablauf welches Instrument einsetzen könnten. Dabei handelt es sich nicht ausschliesslich um Ökobilanz-Methoden.

In einer zweiten Studie wurde auf methodische Aspekte der Zieldefinition in der Ökobilanzierung eingegangen. Das sogenannte Methodikpapier gibt Anleitung zu einer Wahl von geeigneten funktionalen Einheiten und Systemgrenzen bei Ökobilanzen im Bauwesen.

Literatur aus dieser Gruppe:

- Koch P., Seiler B.: Umweltauswirkungen von Hochbauprojekten, Instrumente zur Beurteilung ökologischer Auswirkungen des Planungs- und Bauprozesses, Leitfaden für das Planungsteam, Econcept KG, Zürich 1998
- Koch P., Seiler B.: Funktionale Einheiten und Systemgrenzen - Methodikpapier, Econcept KG, Zürich 1998

#### **2.4.8. Weitere Forschungsgruppen oder -projekte**

Neben den oben genannten Gruppen existiert eine grosse Anzahl an weiteren Forschungseinrichtungen oder Projekten. Zu erwähnen wäre hier insbesondere das Centre for Environmental Assessment of Product and Material System der Chalmers University of Technology

in Göteborg sowie der international ablaufende IEA-Annex 31, welche sich zum Teil mit methodischen Aspekten der Ökobilanzierung von Gebäuden befassen. Des weiteren arbeiten auch noch weitere Gruppen in diesem Feld, jedoch nicht zur Hauptsache mit methodischer Ausrichtung. Beispiele hierfür sind das Institut für Wohnbau der RWTH Aachen (Dissertation von Dietlinde Quack), die EMPA (vor allem Inventarerhebungen) oder das Projekt DIANE Öko-Bau.

## 2.5. Bestehende Ökobilanz-Tools

Wie bereits erwähnt sind sehr viele Programme auf dem Markt oder zumindest in Bearbeitung, die sich mit der Bewertung der von Umweltbelastungen durch Gebäude befassen. Neben der reinen Ökobilanzierung werden vor allem auch Kostenfragen einbezogen. Eine Auswahl und Beurteilung der vorhandenen Tools durchzuführen, ist wegen der grossen Anzahl sehr schwierig. In der Folge werden insbesondere diejenigen Programme beschrieben, die im Regener-Projekt der Europäischen Kommission als relevant betrachtet werden. Weitere Instrumente für die Beurteilung von Umweltwirkungen von Gebäuden sowie teilweise auch deren Anwendung werden in [Koch 1998a] ausführlich beschrieben.

### 2.5.1. Optimize

Optimize ist eine kanadische Methode zur Abschätzung des Energieverbrauchs während des Lebenszyklus eines Hauses und der daraus folgenden Umwelteinwirkungen. Diese Software wurde 1991 durch das Canada Mortgage and Housing Corporation ausgearbeitet. Es werden alle aufgewendeten Energien ausser dem Energieverbrauch während der Gebrauchsphase abgeschätzt. Dazu bracht man nur die Quantitäten der verwendeten Baumaterialien in das Programm einzugeben. Die Energieintensitäten von 58 Baumaterialien wurden unter Bezug der kanadischen Input-Output-Tabellen generiert. Unter Berücksichtigung der Lebensdauer des Gebäudes können auch Life Cycle Costs analysiert werden. Aufgrund der verbrauchten Energie werden die Emissionen in die Umwelt (sowohl Innen- als auch Aussenraum) von CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, VOC, CFC, Partikeln und Schwermetalle abgeschätzt.

Optimize ist demzufolge auf die Auswirkungen durch den Energieverbrauch beschränkt. Weitere Auswirkungen von benutzten Materialien werden nicht berücksichtigt. Die Energieintensitäten basieren auf kanadischen Verhältnissen und müssten demzufolge für schweizerische Verhältnisse angepasst werden. Optimize kann erst in einem späteren Verlauf der Planungsphase eingesetzt werden. Weil für die Berechnungen Quantitäten von Materialien bekannt sein müssen, ist das Instrument für die Vorstudien- und Vorprojektphase kaum geeignet.

Literatur:

- OPTIMIZE, Méthode servant à évaluer l'énergie intrinsèque du cycle de vie d'une habitation et son impact sur l'environnement, Division de recherche Société canadienne d'hypothèques et de logement, CCIH, Ottawa, K1A 0P7 Canada 1991

### 2.5.2. Die ECO-Methoden

Die ECO-Methoden stammen aus Forschungsprojekten aus der Schweiz und Deutschland (Kohler 1994). Aufgrund von Standardkostenberechnungen und Energiebedarfsabschätzungen werden Lebenszyklusanalysen durchgeführt. Entsprechend dem Planungsablauf wird ein dreistufiger Ablauf von unterschiedlichen Werkzeugen vorgeschlagen (ECOPT, ECOPRO, ECOREAL). Je nach abzubildender Phase und zu erreichenden Adressaten kann ein anderes Werkzeug gewählt werden. Die drei Werkzeuge oder Modelle beruhen insbesondere auf der Verknüpfung mit dem Ökoinventar für Energiesysteme, den Aggregationskoeffizienten der CML-Methodik, den Gebäudebeschreibungen des CRB-EKG und der Deutschen DIN 276 aufgrund der Gliederung in Elementen und den Energiebedarfsberechnungen für Konstruktionsprozesse aufgrund des CEN-Standardes.

Literatur:

- Kohler et al: OGIP/DATO - Optimierung von Gesamtenergieverbrauch, Umweltbelastung und Baukosten, Schlussbericht BEW Forschungsprojekt, Karlsruhe 1996

#### a) ECOPT

Dieses Tool ist an PlanerInnen und Bauherren adressiert. Mit dem Programm können alternative Lösungen für eine frühe Entscheidung simuliert werden und Zielrichtungen für das weitere Design vorgegeben werden. So können Umwelteinwirkungen, Kosten und Energiebedarfe für Neubauten, Umbauten oder Lösungen basierend auf der Umnutzung bereits existierender Gebäude an anderen Orten verglichen werden. Die generelle Frage ist, ob ein neues Gebäude benötigt wird oder ob ein bestehendes umfunktioniert werden soll. Der Ausstattungsgrad, das Level der Performance (Mindestwerte, Zielwerte oder beste Technologien) und der Anteil an Neubau, Umbau und Unterhalt kann gewählt werden. Ebenso können Auswirkungen durch das Benutzen wie Transport oder anderen Aktivitäten abgeschätzt werden. ECOPT hat also zwei Funktionen. Einerseits können unterschiedliche Alternativen simuliert werden, andererseits können Zielwerte für eine weitere Planung gesetzt werden. Als Input werden gefragt:

- Oberflächentypus, Level der Ausrüstung und Quantität
- Level der Performance des Gebäudes
- Anzahl der Benutzer und Transportdistanzen
- Prozentualer Anteil der Neukonstruktion sowie vorgezogene Renovationen

Outputgrößen sind pro m<sup>2</sup>:

- Massenflüsse
- Energieflüsse
- GWP
- Acidification
- direkte finanzielle Kosten
- Externe Kosten
- Human Toxicology

- Bodenversiegelung

Innerhalb der Modellierung werden drei Lebenszyklusphasen, Bau und Renovation, Instandhaltung sowie Benützung des Gebäudes abgebildet. Das Programm läuft unter Excel 5.

#### **b) ECOPRO**

Dieses Tool ist an ArchitektInnen und Ingenieure gerichtet, sobald ein erstes Design stattgefunden hat. Es liefert Hilfe bei Entscheidungen in der Materialwahl und funktionalen oder bautechnischen Lösungen. Das Gebäude wird im Programm aus verschiedenen Elementgruppen aufgebaut. Ziel ist, unterschiedliche Design-Alternativen auf das Erreichen vorher bestimmter Zielwerte zu beurteilen und zu bestimmen, welche Elemente für eine mögliche Verfehlung dieser Werte verantwortlich sind. Input- und Outputgrößen sind analog zu ECOPT.

#### **c) ECOREAL**

Dieses Tool ist an die Konstruktion adressiert. Die gleichen Klassifikationselemente wie in ECOPT und ECOPRO werden benutzt. Dieses Tool stellt aber keine LCA mehr dar, sondern ein qualitatives Risk Assessment. Die zentrale Frage lautet, wie gebaut werden soll. Als Inputgrößen werden vor allem Risikoabschätzungen durch Baumaterialien und -prozesse benötigt. Der Output des Programms ist eine Risikobeschreibung. Dieses Tool ist jedoch erst in Bearbeitung.

### **2.5.3. ECO-QUANTUM**

Eco-Quantum ist ein Programm, das Elemente aus der Produktökobilanzierung mit den Resultaten einer Projektarbeit über Umweltindikatoren des Environmental Council for the Construction Industry (MBB) verbindet. Es behandelt die gesamte Lebensdauer von der Wiege bis zur Bahre eines Gebäudes. Folgende Phasen werden betrachtet: Rohmaterialgewinnung, Herstellung von Baumaterialien, Konstruktion, Gebrauch und Unterhalt, Renovationen oder Umnutzung und Abbruch und Wiedergebrauch der Komponenten und Materialien des Gebäudes.

Eco-Quantum ist in drei Teilen strukturiert:

- Input der Gebäudedaten (Module 1, 2 und 3): Alle Angaben über Konstruktion, Unterhalt und Abbruch werden eingegeben.
- Berechnungsteil (Module 4 bis 14): In den Modulen 4 bis 6 werden die Konstruktionsangaben in Kilogramm oder MJ konvertiert. In den Modulen 7 bis 14 werden Material und Energiebedarf in Umwelteffekte umgerechnet, dies mit Hilfe von Konvertierungsfaktoren.
- Output mit den Berechnungsergebnissen (Module 15 bis 21): Die Resultate können in diesen Modulen in verschiedenen Arten und Abhängigkeiten dargestellt werden.

Literatur:

- W/E Consultants Sustainable Building: Eco-Quantum - Development of LCA based Tools for Buildings, Gouda, Netherlands 1996

#### 2.5.4. EQUER

Das Modell EQUER (Evaluation de la qualité environnementale des bâtiments) wurde von der Ecole des Mines de Paris entwickelt. Es sollte ein Simulationsprogramm entwickelt werden, das den Vergleich von alternativen Designs ermöglichen soll. Die verschiedenen Phasen im Lebenszyklus in diesem Tool sind die Fabrikation der Komponenten, die Konstruktion, der Gebrauch, die Renovation und die Erneuerung von Komponenten, der Abbruch und die Behandlung der gebrauchten Komponenten.

In EQUER werden nur die Auswirkungen auf die äussere Umwelt, nicht aber auf die Innenraumbelastung betrachtet. Als Inputgrössen werden benötigt:

- Gebäudedaten bezüglich Materialwahl und -mengen, Komponenten, Ausstattung
- Benutzerdaten bezüglich Anzahl Personen, Benutzerverhalten, Temperaturhöhe, Ventilation, Abfall, Warm- und Kaltwasserverbrauch
- Standortdaten bezüglich genauem Standort, Sonnenexposition, Abfallmanagement, Abwasserreinigungsmöglichkeiten, Transporte der BenutzerInnen.

Im Resultatteil werden sogenannte Ecoprofile ausgegeben, die in Form eines Netzdiagrammes acht Outputgrössen darstellen. Outputgrössen sind Global Warming, Energy, Acidification, Smog, Eutrophication, Water, Radioactive Waste, Other Waste.

Das Programm wurde im Rahmen der Dissertation von B. Polster 'Contribution à l'étude de l'impact environnemental des bâtiments par analyse de cycle de vie' an der Ecole des Mines de Paris entwickelt. Es bedarf noch einer weiteren Validierung, bevor es kommerziell genutzt werden kann.

Literatur:

- Polster B.: Contribution a l'étude de l'impact environnemental des bâtiments par analyse du cycle de vie, Thèse de doctorat an der Ecole des Mines de Paris, Paris 1995

#### 2.5.5. Environmental Preference Methode (EPM)

Die Environmental Preference Methode wurde 1991 von Woon/Energie entwickelt. EPM kann als eine Kombination globaler Analyse und Problemanalyse betrachtet werden. So sind neben quantitativen Mengenangaben auch qualitative Informationen zugelassen. Die Methode folgt der LCA-Struktur, indem sie den gesamten Lebenszyklus von der Rohmaterialgewinnung bis zur Entsorgung einschliesst. Sie vergleicht Materialien oder Produkte und ordnet sie nach einer ökologischen Präferenz. Das Resultat ist somit nicht eine absolute Aussage, sondern eine relative Liste. Wie in der LCA-Methodik wird in vier Schritten vorgegangen: Zielsetzung, Inventar, Klassifikation und Evaluation. Der erste Schritt, die Zielsetzung, besteht in einer Auslegeordnung sämtlicher Alternativen in Materialwahl und der Definition der funktionalen Einheit. Der zweite Schritt, das Ökoinventar, beinhaltet die Inventarisierung sämtlicher Umweltauswirkungen auf

quantitativer oder qualitativer Basis aller Varianten. Im dritten Schritt, der Klassifikation, werden die Umweltauswirkungen fünf verschiedenen Kategorien zugewiesen: Ressourcen, Energie, Emissionen, Schäden und Abfall. Drei weitere Kategorien werden hinzugefügt: Wiederverwendbarkeit, Reparierbarkeit und Lebensdauer. Alle Varianten werden nun bezüglich diesen insgesamt 8 Kategorien eingestuft, indem ein +, 0 und - verteilt werden oder ein x-Zeichen, falls der Effekt sehr gross ist. Das Resultat aus diesem Schritt ist somit eine Matrix-Tabelle. Im vierten und letzten Schritt, der Evaluation, wird die ökologische Präferenz der möglichen Varianten bestimmt. Es gibt aber keine vorgeschriebene Gewichtung. Subjektive Entscheidungen müssen hier noch getroffen werden.

Literatur:

- Boonstra C.: Selection of Environmentally Friendly Materials for Ecolonia, Journies Techniques Evaluation de l'impact environnemental des bâtiments, Sophia-Antipolis, 14-15 September 1993

### **2.5.6. Life-cycle-based Building Design**

Das dänische Gebäudeforschungsinstitut SBI hat 1997 aufgrund der Resultate des Forschungsprojektes „Energy and Environmental Analysis of Buildings“ ein Computer-Programm entwickelt. Damit können die gesamten Energieverbräuche während der Lebensdauer von Gebäudeelementen oder Gebäuden berechnet daraus die energiebezogenen Ressourcenverbräuche und Atmosphärenemissionen bestimmt werden.

Literatur:

- Dinesen J., Krogh H., Traberg-Borup S.: Life-Cycle-Based Building Design, SBI Report 279, SBI, Denmark 1997

### **2.5.7. Weitere Ökobilanz-Tools**

In der SIA-Studie SIA D0152 (Umweltauswirkungen von Hochbauprojekten) [Koch 1998a] werden verschiedenste weitere Instrumente für die Beurteilung von ökologischen Auswirkungen von Gebäuden während des Planungs- und Bauprozesses vorgestellt.

## 3. Methodische Aspekte

Dieses Kapitel soll die methodischen Aspekte der jeweiligen Forschungsarbeiten durchleuchten. Da ein Überblick über den Stand der Ökobilanzierung im Bereich des Bauwesens (insbesondere für Gebäude) gegeben werden soll, wird ganz pragmatisch gemäss den in [ISO 1995], [Consoli 1993] oder [Nordic 1995] beschriebenen Vorgehen für die Erstellung einer Ökobilanz vorgegangen. So werden die verschiedenen Arbeiten zuerst auf ihre Vorschläge und Vorgehensweisen in der Goal and Scope Definition untersucht. Anschliessend wird auf die Schwierigkeiten und die Empfehlungen in der Inventarerstellung eingegangen. Wie die Forschungsinstitute die Bewertung durchführen, wird in Kapitel 3.3 beschrieben. Nur kurz betrachtet wird der vierte Schritt in der Ökobilanzierung, die Interpretationsphase.

Generell werden die Ergebnisse oder Vorschläge derjenigen Arbeiten näher beschrieben, die sich zu den betrachteten Themen auch wirklich äussern. Andere werden, wenn überhaupt, nur kurz erwähnt.

### 3.1. Goal and Scope Definition

Die Definition von Ziel und Rahmen (Goal and Scope) ist wahrscheinlich der kritischste Teil einer Ökobilanz [Nordic 1995]. Es gilt hier, möglichst klar den Zweck der zu durchführenden Studie darzulegen. Die meisten Ökobilanzierungen sind fallabhängige Studien. Da es nur wenige generell anwendbare Vorschriften gibt, müssen einige Entscheidungen getroffen werden, um die Durchführung der Studie den Zielen anzupassen. Insbesondere bei der Benutzung von computerunterstützten Werkzeugen sind Anpassungen notwendig, da diese oft mit Durchschnittswerten arbeiten, welche vom untersuchten Fall unabhängig sind. Die Resultate sind gänzlich davon abhängig, wie anfänglich die Systemfunktionen und die funktionale Einheit gewählt werden. Insbesondere zu diesen beiden Punkten ist innerhalb des Projektes 'Energy Related Environmental Impact of Buildings' bereits ein Methodikpapier erarbeitet worden [Koch 1998]. Datensammlung und Auswertungen sind wiederum abhängig von der Wahl der Bewertungsmethode. Zu Beginn der Ökobilanzierung müssen einige Entscheidungen gefällt oder Definitionen gemacht werden: Zweck und vorgesehene Anwendung, die Funktion des untersuchten Systems und die funktionale Einheit, die untersuchten Produktgruppen und gewählte Alternativen, die Systemgrenzen, die erforderte Datenqualität und die Validierung bzw. die kritische Durchsicht. Diese Aspekte werden für die in Kapitel 2 beschriebenen Forschungsrichtungen im Folgenden genauer unter die Lupe genommen.

### 3.1.1. Zweck und vorgesehene Anwendung der Studie

Es ist von höchster Wichtigkeit, den Zweck und vor allem auch die vorgesehene Anwendung der durchgeführten Ökobilanz klar zu definieren [Nordic 1995]. Es genügt dabei nicht, zu beschreiben, was in der Arbeit durchgeführt wird (wie z. B. 'es sollen die Umweltauswirkungen von verschiedenen Isolationsmaterialien verglichen werden'), sondern die Absicht dahinter muss deutlich hervorkommen (wie z. B. 'Die Resultate der Ökobilanzierung sollen der Firma XY dazu dienen, aus den untersuchten Isolationsmaterialien diejenigen auszusuchen, die die Umweltperformance eines zu bauenden Gebäudes durch ihren Einsatz bedeutend verbessern.'). Nur so können während der Studie eingeführte Annahmen verständlich dargelegt werden. Schlussendlich sollten die Gründe, weshalb die Ökobilanz durchgeführt wird, die Entscheidungen, die von der Studie abgeleitet werden sollen, die AdressatInnen, die die Resultate weiterverwenden sollen, die Systemfunktionen, von der aus die Ökobilanz erstellt wird und allfällige Abweichungen von anfänglichen Plänen diskutiert und dokumentiert werden.

#### *ifib Universität Karlsruhe*

Bei der Arbeit von [Kohler 1994] handelt es sich nicht um eine eigentliche Ökobilanz, sondern um ein eigen konzipiertes Bewertungsverfahren von Energie- und Stoffflussbilanzen, welche mit einzelnen Elementen der Ökobilanzierung durchzogen ist. Demzufolge werden auch nicht explizit Vorschläge zur Zweckbestimmung gemacht. Indirekt wird aber dieser Punkt angesprochen, indem ein Vorschlag für ein vereinfachtes dreistufiges Vorgehensmodell gemacht wird. Je nach Ebene der Bilanzierung, d. h. vor dem Planungsbeginn, im Vorprojekt/Projekt sowie während der Bauablaufplanung, stehen unterschiedliche Probleme an. Dadurch müssen verschiedene Fragen beantwortet werden (siehe Abbildung 4). Es ist demzufolge bereits in der sehr frühen Entscheidungsphase wichtig, den Zweck des Bauvorhabens und somit auch den Zweck der Bilanzierung zu bestimmen.

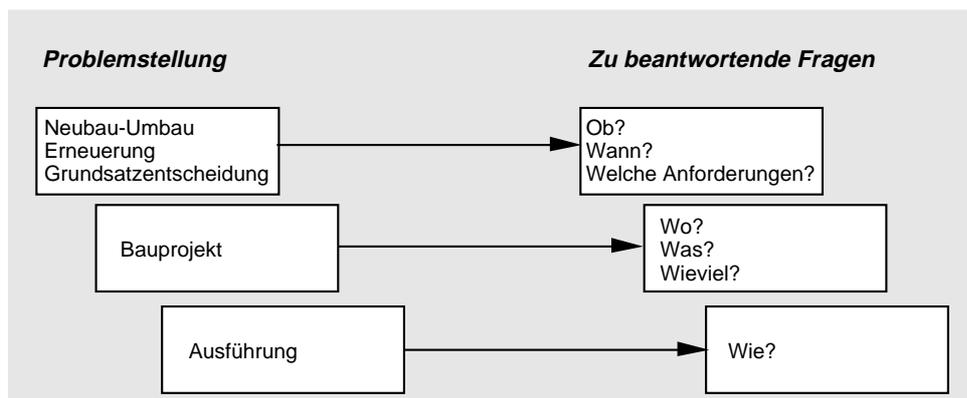


Abbildung 4: Die Problemfelder führen zu verschiedenen Fragestellungen [Kohler 1994].

Ausgehend von den Resultaten in [Kohler 1994] wird in der Studie „OGIP/DATO“ [Kohler 1996b] auf verschiedene Bewertungsaufgaben verwiesen. Kohler geht davon aus, dass „im Bauwesen die

durch die Gesellschaft zu formulierenden Anforderungen an Bauwerke jeweils durch eine Anzahl verschiedener Lösungen zur Umsetzung der benötigten Gebrauchswerte in eine bauliche Realität realisierbar sind“. Es sollten deshalb die Bewertung der Einzellösung hinsichtlich der Einhaltung vorgegebener Ziele, die Bewertung der Einzellösung hinsichtlich des Verhältnisses von Aufwand und Ergebnis sowie die Bewertung einer Menge von Einzellösungen mit dem Ziel der Einordnung in eine Rangfolge und der Auswahl der „günstigsten“ Lösung durchgeführt werden. Daraus folgen sieben Faktoren, die die Bewertung dieser Lösungen beeinflussen und demzufolge innerhalb der Zieldefinition betrachtet werden sollten:

- Ansichten, Interessen und Motive der am Bau Beteiligten (PlanerInnen, Bauherr, NutzerInnen etc.)
- zeitliche Rahmenbedingungen (zeitpunktbezogen, zeitraumbezogen etc.)
- räumliche Rahmenbedingungen (global, kontinental, regional, lokal, punktuell etc.)
- Bewertungsgegenstand (Baustoff, Element, Gebäude, Dienstleistung „Wohnen“ etc.)
- Grad der Konkretheit (Einzelfall, generalisierende Aussage etc.)
- erreichter Informationsstand
- Verfügbarkeit, Handhabbarkeit und Akzeptanz von Bewertungsmethoden

### ***Danish Building Research Institute***

Ziel des Projektes „Energy Life Cycle Assessment Model for Building Design“ [Dinesen 1994] war die Erfassung des totalen Energiebedarfs und der dadurch resultierenden Emissionen durch Gebäude. Dies wurde in [Dinesen 1997] in Form eines Computerprogrammes verfeinert. Es werden keine Vorschläge zur Zweckbestimmung gemacht. Erklärtes Ziel ist jedoch die Identifizierung aller signifikanten Energieverbräuche.

### ***EPF Lausanne***

Weder in [Ospelt 1995] noch in [Tschirner 1995] werden methodische Empfehlungen zur Zweckbestimmung gegeben. Ziel der jeweiligen Studien war die Weiterentwicklung der Ökobilanzmethodik für Gebäude.

### ***Ecole des Mines de Paris***

Ausgegangen wurde in [Polster 1995] von der Annahme, dass die Hauptentscheidungen bezüglich der Umweltauswirkungen eines Gebäudes in der Planung desselben getroffen werden. In der Dissertation wird deshalb ein Werkzeug entwickelt, das in dieser Phase eine Hilfestellung einnehmen soll und den Akteuren darauf eine Evaluation der Umweltauswirkungen ihrer Entscheidungen liefert. Die bereitgestellte Software soll dem Vergleich von verschiedenen Varianten innerhalb desselben Projektes sowie dem Vergleich von verschiedenen Projekten dienen.

### 3.1.2. Funktionale Einheit

Die funktionale Einheit widerspiegelt die Funktion des Systems, sie ist sozusagen ein Mass für die Funktion, die das System liefert [Nordic 1995]. Alle Daten werden in Bezug auf die funktionale Einheit wiedergegeben. Die Definition der funktionalen Einheit muss drei Aspekte einbeziehen:

- Die Effizienz des Produktes (z. Bsp. Anzahl m<sup>2</sup> gestrichene Wand pro kg Farbe)
- Die Dauerhaftigkeit oder Lebensdauer des Produktes (z. Bsp. Anzahl Jahre, bevor neu gestrichen werden muss)
- Der erforderte Qualitätsstandard, falls nötig (z. Bsp. Rostschutzstärke)

#### ***ifib Univerität Karlsruhe***

Die funktionale Einheit wird in [Kohler 1994] je nach Fragestellung auf unterschiedlich ausgelegte Stufen bezogen:

- Baustoffe: Es erfolgt eine stufenkumulierte Bilanz eines Baustoffes, z. B. kg Ziegelsteine einer bestimmten Dichte.
- Bauelemente im Sinne der Elementkonstengliederung: Jedes Element umfasst alle notwendigen Baustoffe und Bauleistungen, um eine Elementeinheit (z. B. einen m<sup>2</sup> Doppelmauerwerk) zu erstellen. Einem Bauelement werden folgende Eigenschaften zugewiesen: Bezugsmenge, Lebensdauer des Elements, Investitionskosten des Elementes und davon abgeleitet Unterhalts- und Erneuerungskosten, Energiekennwerte, Schichten mit Mengen pro Bezugseinheiten, Lebensdauer der Schicht, Verlustfaktor der Schicht, Abfallkategorie der Schicht.
- Gebäude während ihrer Lebensdauer: Folgende Gebäudeeigenschaften sind dabei von Bedeutung: Gebäudetyp (Aufteilung der Flächen nach Nutzung), Nutzungsdaten (z.B. interne Lasten, Behaglichkeitsanforderungen), Gebäudeklimadaten (Standort), allgemeine Bezugsgrößen, die sich auf die Umgebung beziehen (z. B. Grundstücksfläche, Versiegelung des Bodens), Standort (mittlere Transportdistanz der NutzerInnen oder BesucherInnen), Lebensdauer des Gebäudes, voraussichtliche Nutzungsdauer.
- Gebäudebestände: Der gesamte Gebäudebestand, d. h. die Gesamtheit der Gebäude, wird als funktionale Einheit genommen.

Die Wahl der funktionalen Einheit in OGIP/DATO [Kohler 1996b] basiert auf [Kohler 1994]. Folgende Möglichkeiten zur Festlegung und Beschreibung des Untersuchungsgegenstandes werden dort vorgeschlagen:

- Gebäudebestand
- Stadt
- Gebäude
- Nutzfläche pro Zeiteinheit (z. B. m<sup>2</sup> Nutzfläche eines Schulhauses für Mittelschule während eines Jahres)

- Elementfläche (z. B.  $m^2$  Fenster während der Lebensdauer des Fensters, es kann sich auch um Erneuerungs- resp. Unterhaltselemente handeln)
- Bauleistung (z. B. Einbringen von  $1 m^3$  Beton in eine Schalung, es kann sich auch um Erneuerungs- resp. Unterhaltsleistungen handeln)
- Nutzungs- bzw. Dienstleistung (z. B. Bereitstellung von  $1 m^3$  Warmwasser mit 55 Grad, diese Nutzleistungen können sowohl den Gebäudebetrieb wie auch die Gebäudenutzung im weitesten Sinn betreffen)

### ***Ecole des Mines de Paris***

In der Arbeit von [Polster 1995] werden je nach anstehendem Problem zwei verschiedene funktionale Einheiten empfohlen. Sollen zwei Varianten innerhalb des gleichen Projektes verglichen werden, wird vom gesamten Gebäude als funktionale Einheit ausgegangen. Dabei beinhaltet sind das Gebäude und dessen Umgebung. Die andere funktionale Einheit wird benutzt, wenn zwei verschiedene Projekte miteinander verglichen werden sollen, sei dies zum Beispiel, um eine Wahl zwischen zwei Standorten zu fällen. Dann werden die Resultate in Bezug zu einem  $m^2$  nutzbare Fläche angegeben. Unter der nutzbaren Fläche wird z. Bsp. für Wohnhäuser die bewohnbare Fläche (ohne Parkplätze, Keller, Wintergärten etc.) verstanden. Weiter muss unter der funktionalen Einheit die Gebäudeart<sup>5</sup>, deren durchschnittliche Lebensdauer<sup>6</sup> sowie das angestrebte Komfortniveau angegeben werden<sup>7</sup>.

### ***Econcept Zürich***

In [Koch 1998b] wird ganz eng vom Zweck des vorgesehenen Bauvorhabens ausgegangen. Die funktionalen Einheiten stehen stark in Beziehung zum Bedürfnis, das befriedigt werden soll. Sie werden aufgrund von Fragestellungen, die im Verlauf des Planungsprozesses auftauchen, abgeleitet. Je nach Vorhaben werden für eine Ökobilanzierung ganz verschiedene funktionale Einheiten vorgeschlagen. In Tabelle 2 werden solche Fragestellungen jeweils mit einem Beispiel illustriert.

---

<sup>5</sup> Es wird unterschieden zwischen Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser, Büros, Lagerhäuser, Industriegebäude, Schulgebäude, Sport- und Kultursäle, Spitäler, Hotels.

<sup>6</sup> Einfamilienhäuser: 100 Jahre; Mehrfamilienhäuser: 100 Jahre; Büros: 50 Jahre; Lagerhäuser: 50 Jahre; Industriegebäude: 30 Jahre; Schulgebäude: 100 Jahre; Sport- und Kultursäle: k. A.; Spitäler: 100 Jahre; Hotels: 100 Jahre.

<sup>7</sup> Angaben zu Maximaltemperatur innerhalb des Gebäudes im Sommer, Minimaltemperatur im Winter, Akustik, Luftqualität und visueller Komfort.

Fragestellung	Abgeleitete funktionale Einheit
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>In welche Gebäudeart soll investiert werden?</b> Eine ökologisch bewusste Investorin sucht eine Investitionsmöglichkeit im Immobiliensektor. Zwei unterschiedliche Projekte an verschiedenen Standorten liegen vor. Einerseits handelt es sich um ein Wohnbauprojekt, andererseits um ein Dienstleistungsgebäude.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Netto-Ertrag</b> Die Funktionsdefinition des Systems legt eine Ertragsgrösse als Vergleichsmassstab nahe. Dieser werden die jährlichen Umweltbelastungen gegenüber gestellt. Dazu werden die Bauaufwendungen durch die erwartete Lebensdauer geteilt und die jährlichen Betriebskosten dazu addiert.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Vergleich zwischen Gebäuden gleicher Nutzungsart</b> Eine Liegenschaftsbesitzerin besitzt zwei verschieden grosse Mehrfamilienhäuser an unterschiedlichen Standorten mit unterschiedlichen Ausbauniveaus. Welches ist das umweltverträglichere?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Personenäquivalente mal Jahr bei Qualitätsstandard x</b> Die Funktion des Systems liegt in der Befriedigung eines Wohnbedürfnisses. Personenäquivalente bezeichnet die Anzahl Personen, die in einer Wohnung oder einem Gebäude Unterkunft finden.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Neubau versus Umbau</b> Ein Gebäude mit schlechter Bausubstanz und hohem spezifischem Energieverbrauch muss saniert werden. Als Alternative für die Bauherrschaft kommt ein Neubau an der gleichen Stelle in Frage der bei entsprechender Bauweise kostengünstig erstellt werden kann. Wie sieht der ökologische Vergleich aus?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche mal Jahr bei Qualitätsstandard x</b> Die beiden Varianten Umbau und Neubau weisen unterschiedliche Lebensdauern auf, so dass der Zeitfaktor integriert wird. Der Qualitätsstandard wird von der maschinellen Ausrüstung, der Ausstattung der Nasszellen, der Qualität des Innenausbaus und dem Vorhandensein von Aussenraum oder Balkonen abhängig gemacht.</li> </ul>

*Tabelle 2: Je nach Fragestellung, die mit einer Ökobilanz beantwortet werden soll, muss eine andere funktionale Einheit beigezogen werden (Quelle: [Koch 1998]).*

### **Weitere Arbeiten**

Die Arbeiten an der EFP Lausanne sind vom Aufbau her ähnlich, verwenden aber unterschiedliche funktionale Einheiten. In [Ospelt 1995] werden die Resultate in Bezug auf die Fläche von 1 m<sup>2</sup> pro Jahr ausgewiesen. Währenddessen fällt in [Tschirner 1995] die Wahl der funktionalen Einheit auf das gesamte Gebäude. Die Arbeiten vom Danish Building Research Institute geben keine eigentliche funktionale Einheit an. Hier werden alle Flüsse aufaddiert und schlussendlich pro Gebäude angegeben.

### **3.1.3. Systemanalyse und Datenquellen**

Ausserordentlich wichtig für das Ausgehen der Ökobilanz ist neben der Wahl der funktionalen Einheit auch die Betrachtung des Systems und die Wahl der Systemgrenzen. Je nachdem, welche Prozesse ins System genommen bzw. aus dem System ausgeschieden werden, kann sich das Resultat enorm ändern. Bereits in der Goal and Scope Definition müssen deshalb dazu Gedanken gemacht werden. Ohne eine genaue Vorstellung des Systems und seiner Funktion kann keine Aussage über die Wahl der funktionalen Einheit gemacht werden (siehe dazu auch Kapitel 2.2 und

2.3). Die verschiedenen Systeme und deren -grenzen werden in Kapitel 3.2.1 ausführlich dargestellt.

Die in den verschiedenen Studien verwendeten Datenquellen werden im Kapitel 3.2.2 beschrieben.

### 3.1.4. Zusammenfassung

Studie	ifib Universität Karlsruhe [Kohler 1994]	[Kohler 1996]	Danish Building Research Institute	EPF Lausanne	Ecole des Mines de Paris	Econcept
<b>Zweck und vorgesehene Anwendung</b>	Beantworten der Fragen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ob?</li> <li>• wann?</li> <li>• welche Anforderungen</li> <li>• wo?</li> <li>• was?</li> <li>• wieviel?</li> <li>• wie?</li> </ul>	Beantworten der Fragen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sichten, Interessen und Motive der am Bau Beteiligten (PlanerInnen, Bauherr, NutzerInnen ...)</li> <li>• zeitliche Rahmenbedingungen (zeitpunktbezogen, zeitraumbezogen)</li> <li>• räumliche Rahmenbedingungen (global, kontinental, regional, lokal, punktuell ect)</li> <li>• Bewertungsgegenstand (Baustoff, Element, Gebäude, Dienstleistung „Wohnen“ etc)</li> <li>• Grad der Konkretheit (Einzelfall, generalisierende Aussage etc.)</li> <li>• erreichter Informationsstand</li> <li>• Verfügbarkeit, Handhabbarkeit und Akzeptanz von Bewertungsmethoden</li> </ul>	keine methodischen Angaben	keine methodischen Weiterentwicklungen	keine methodischen Weiterentwicklungen	Starke Abhängigkeit von der Entscheidungssituation: Beantworten der Frage: Welches Bedürfnis soll befriedigt werden?
<b>Wahl der funktionalen Einheit</b>	Unterschiedlich je nach betrachteten Stufe: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baustoffe mit bestimmten physischen Eigenschaft</li> <li>• Bauelemente mit Eigenschaften (Bezugsmenge, Lebensdauer, Kosten, Abfallkategorie etc.)</li> <li>• Gebäude während ihrer Lebensdauer (mit Gebäudetyp, Nutzungsart, Klima und Umgebungsdaten, Lebensdauer)</li> <li>• Gebäudebestand</li> </ul>	Unterschiedlich je nach betrachteter Stufe: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebäudebestand</li> <li>• Stadt</li> <li>• Gebäude</li> <li>• Nutzfläche pro Zeiteinheit</li> <li>• Elementfläche</li> <li>• Bauleistung</li> <li>• Nutzungs- und Dienstleistung</li> </ul>	Gesamtes Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 m<sup>2</sup> pro Jahr in [Ospelt 1995]</li> <li>• Gesamtes Gebäude in [Tschirmer 1995]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesamtes Gebäude, falls Vergleich von zwei Varianten des gleichen Projektes</li> <li>• m<sup>2</sup> nutzbare Fläche, falls Vergleich zweier verschiedener Projekte</li> </ul> <p>zusätzlich: Definition von Gebäudeart, durchschn. Lebensdauer und angestrebtes Komfortniveau</p>	Je nach Bauvorhaben bzw. daraus abgeleiteten Fragestellung verschieden: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Netto-Ertrag</li> <li>• Personenäquivalente mal Jahr bei Qualitätsstandard x</li> <li>• m2 Energiebezugsfläche mal Jahr bei Qualitätsstandard x</li> </ul>

Tabelle 3: Zusammenführung der Angaben zu Goal and Scope Definition.

## 3.2. Life Cycle Inventory Analysis

Das Ökoinventar (engl. Life Cycle Inventory) umfasst eine detaillierte Beschreibung des Systems (mit Funktion und Grenzen), die Durchführung der Datensammlung und die darauf zu erstellenden Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalysen.

### 3.2.1. Systembeschreibung

Ziel der Systembeschreibung ist einerseits die Sicherstellung der vollständigen Bestimmung des untersuchten Systems. Andererseits sollen dadurch alle Lebenszyklusphasen, die für die Zielsetzung der Studie relevant sind, identifiziert und in einem für die vorgesehene Verwendung der Resultate angemessenen Detaillierungsgrad einbezogen werden [Nordic 1995].

Bevor zur Datenerhebung übergegangen wird, müssen alle Systeme und Subsysteme, die in die Betrachtung fließen, auf ihre Bedeutung hin untersucht werden. Dies kann ein iterativer Prozess sein, der womöglich mit der Verwendung von weiteren Methoden wie Screening, Benchmarking etc. verbunden wird. Im Allgemeinen ist die Darstellung aller involvierten Systeme als Fließdiagramme verbreitet. Es ist empfohlen, darauf die Inventardaten gemäss diesen Fließdiagrammen zu ermitteln und wiederzugeben.

#### *ifib Universität Karlsruhe*

Durch die Verwendung der Elementkostengliederung (siehe auch Anhang 2) kann der Aufbau des untersuchten Systems in der Studie [Kohler 1994] sehr flexibel gestaltet werden. Sämtliche Prozesse von der Baustoffherstellung bis zur Entsorgung werden berücksichtigt (siehe Abbildung 5). Es wird somit von einem Lebenszyklusansatz ausgegangen.

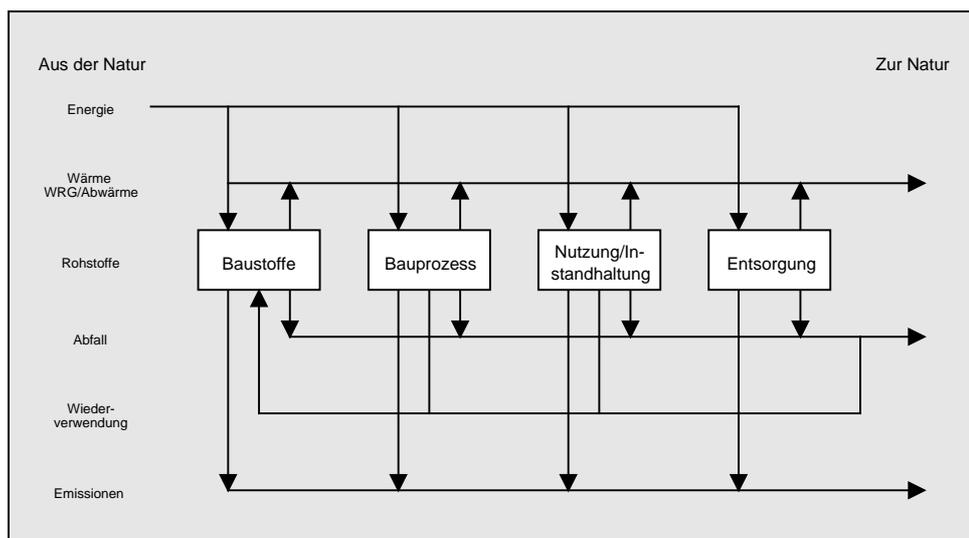


Abbildung 5: Systemanalyse in [Kohler 1994].

Die Systemgrenzen werden in [Kohler 1994] je nach betrachteter funktionaler Einheit anders gelegt:

- **Baustoffe:** Die Systemgrenzen umfassen in diesem Fall sämtliche energetischen und stofflichen Vorstufen der Herstellungs- und Transportprozesse. Nutzung und Entsorgung werden in dieser Phase nicht berücksichtigt, da sie oft nicht mit dem Baustoff an sich, sondern mit dessen Verwendung zusammenhängen.
- **Bauelemente:** Da die Elemente aus Baustoffen zusammengesetzt werden, umfassen die Systemgrenzen ebenfalls alle vorgelagerten Herstellungs- und Transportprozesse. Die Nutzung und die Entsorgung fließen hier ebenfalls ins System ein, obwohl die Nutzungszeit von Bauelementen oft nicht ausschliesslich durch die eigene Lebensdauer bestimmt wird, sondern durch die Lebensdauer einzelner Inhaltsbaustoffe.<sup>8</sup>
- **Gebäude während ihrer Lebensdauer:** Das betrachtete System kann aus vier Lebensdauerphasen aufgebaut werden. Bei der Gebäudeerstellung wird Bezug genommen auf die vorgelagerten Prozesse aller Elemente sowie auf die auf dem Bauplatz durchgeführten Prozesse. Die Phase der Gebäudeerneuerung setzt sich zusammen aus sämtlichen Inputs während der Lebensdauer des Gebäudes, d. h. Ersatz der Schichten und Elemente nach dem Ablauf der jeweiligen Lebensdauer. Hier sind auch sämtliche Entsorgungsvorgänge während dieser Zeit enthalten. Die Gebäudenutzung setzt sich aus dem Energieaufwand für Heizung, Lüftung, Warmwasser etc. sowie Wasserverbrauch und Verbrauch weiterer Stoffe zusammen. Die Gebäudeentsorgung schlussendlich beinhaltet die Entsorgung aller Materialmengen, die am Ende der Lebensdauer des Gebäudes effektiv im Gebäude sind.
- **Gebäudebestände:** Hier wird der gesamte Gebäudebestand ohne die Infrastruktur erfasst.<sup>9</sup> Im Grunde genommen ist dies eine aufkumulierte Bilanzierung einzelner Gebäude.

Die Darstellung des Systems in „OGIP/DATO“ [Kohler 1996b] erfolgt in analoger Weise wie in „Energie- und Stoffflussbilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer“. OGIP/DATO verfolgt ebenfalls das Ziel, mit Hilfe der Elementenmethodik die Energie- und Stoffflüsse, welche durch ein Gebäude hervorgerufen werden, darzustellen. Dadurch wird impliziert, dass sämtliche vorgelagerten Prozesse in den Bilanzierungsraum fallen. Mit zunehmendem Grad der Komplexität im Aufbau (Baustoff - Element - Elementgruppe etc.) wird auch der Bezugsraum grösser. Während für Baustoffe nur bis zum Fabrikator bilanziert wird, wird bei Elementen das System auf Nutzung und Entsorgung aufgeweitet. Eine besondere Wichtigkeit wird neben der räumlichen Abgrenzung (Untersuchung auf globaler, regionaler, nationaler, lokaler oder punktuellen Ebene) der zeitlichen Abgrenzung zugewiesen. Ein Betrachtungszeitraum muss explizit festgelegt werden.

<sup>8</sup> So hängt z. B. die Lebensdauer einer Betondecke im wesentlichen vom Zustand der Armierung ab. Die Decke wird bei schlechter Armierungsqualität abgerissen, auch wenn der Beton seine Zwecke noch erfüllt.

<sup>9</sup> Es erfolgt keine Angabe, warum die Infrastruktur nicht dem Gebäudebestand zugeordnet werden soll. Eine Diplomarbeit an der EPFL hat versucht, die Infrastruktur zu integrieren (siehe Kapitel c: Fallbeispiele).

### **Danish Building Research Institute**

In [Dinesen 1994] und [Dinesen 1997] wird vom Lebenszyklusansatz ausgegangen. Der Lebenszyklus eines Gebäudes wird aufgeteilt in drei Phasen, welche sich wiederum aus verschiedenen Prozessen zusammensetzen:

**Bauphase:** Die *Herstellung von Baumaterialien* beinhaltet eine grosse Zahl an weiteren Subprozessen wie z. B. die Extraktion von mineralischen Grundstoffen, die Herstellung von Hilfsstoffen oder der Transport. Der *Bauprozess* setzt sich aus allen Energieverbräuchen zusammen, die auf dem Baugelände stattfinden. Eine genaue Zuordnung ist schwierig, für die wichtigsten Bautätigkeiten wurden jedoch die genauen Verbräuche erhoben. Der Bauprozess beinhaltet das Zusammenführen von Baumaterialien zu Elementen, welche dann zusammen das Gebäude ergeben. Den verschiedenen Elementen wurde eine Lebensdauer zugeordnet, welche indirekt angibt, wieviele Male sie während der Lebensdauer des gesamten Gebäudes ersetzt werden müssen.

**Nutzung:** Unter der *Benützung* ist die Energiebelieferung für Heizung, Warmwasser, Beleuchtung, Elektrizität für Haustechnik wie Ventilation oder Elektrizität für Haushaltsgeräte gemeint. Weil bereits Methoden zur Abschätzung dieser Verbräuche vorliegen, wurde hier kein neues Werkzeug erschaffen. Im *Unterhalt* des Gebäudes ist neben der allgemeinen Pflege auch die Erneuerung von zu ersetzenden Elementen enthalten. Das Modell behandelt die Erneuerung in einer vereinfachten Weise. Die Anzahl der Erneuerungen wird entsprechend der individuellen Lebensdauer der Elemente und der gesamten Lebensdauer des Gebäudes berechnet.

**Entsorgung:** Im *Abbruch* sind weitere energieverbrauchende Prozesse wie der Rückbau oder die Transporte der Abbruchteile in Sortierungs- bzw. Verbrennungs- oder Deponierungsanlagen enthalten. Wird im *Recyclingprozess* Material als Energiequelle (in der Kehrichtverbrennungsanlage) oder sogar als wiederverwendbares Material für neue Bauten eingesetzt, erfolgt eine Energiegutschrift. Kann das Material nicht mehr wiederverwendet werden, bleibt nur noch die *Deponierung* übrig. Im Modell wurden nur die Energieverbräuche der Transporte in die Deponien berücksichtigt. In einer weiteren Phase sollen auch die Downstreamprozesse einbezogen werden.

Die Systemgrenzen werden sehr weit gefasst. Von der Baustoffherstellung über die Haustechnik bis hin zur Entsorgung werden alle Phasen und Prozesse einbezogen. Nicht in das betrachtete System fallen Infrastruktur und induzierter Verkehr.

### **EPF Lausanne**

Sowohl in [Ospelt 1995] als auch in [Tschirner 1995] wird vom gesamten Lebenszyklus

ausgegangen. Das Leben eines Gebäudes wird dabei in die vier Phasen Bau, Erneuerung, Betrieb und Rückbau aufgeteilt:

- Bau:** Die gesamte Erstellung des Gebäudes umfasst die vorgelagerte Herstellung aller Materialien. Diese Phase endet mit der Nutzung des Gebäudes.
- Erneuerung:** Nicht alle Teile eines Gebäudes haben dieselbe Lebensdauer und müssen deshalb vorzeitig erneuert werden.
- Betrieb:** Unter die Betriebsphase fällt die Zeit, während der das Gebäude genutzt wird. Damit verbunden sind alle Unterhaltsarbeiten (Reinigung, Kühlung, Heizung etc.) und die damit verbundenen Energie- und Stoffflüsse.
- Rückbau:** Am Ende der Gesamtlebensdauer eines Gebäudes werden sämtliche Elemente unabhängig von ihrem Zustand entsorgt. Für Teile mit kürzerer Lebensdauer fällt der Rückbau in die Erneuerungsphase.

Die Systemgrenzen werden auch hier weit gesteckt, um dem Lebenszyklusansatz gerecht zu werden. Alle Phasen und Prozesse, die mit dem Bau und dem Betrieb eines Gebäudes zusammenhängen, werden einbezogen. Nicht in die Betrachtung fallen jedoch die Infrastruktur, ein grosser Teil des Rückbaus sowie der induzierte Verkehr.

### ***Ecole des Mines de Paris***

Der Lebenszyklus eines Gebäudes wird in [Polster 1995] in sechs Phasen unterteilt. Es wird unterschieden zwischen Phasen, die standortbezogen im oder beim Gebäude ablaufen (siehe Abbildung 6) und Phasen, die nicht standortbezogen ausserhalb des Gebäudes stattfinden.

- Materialherstellung:** In diese Phase fallen alle Prozesse, die mit der Herstellung und dem Transport der Baumaterialien, der Infrastruktur, der Strom- und Wasserbereitstellung zusammenhängen.
- Konstruktion:** Bei der Konstruktion werden alle Prozesse berücksichtigt, die mit dem unmittelbaren Bau des Gebäudes und der umliegenden Flächen zu tun haben. Nicht einbezogen werden hier jedoch Wasser- und Stromerschliessungen, da diese einen sehr kleinen Einfluss haben.
- Nutzung:** In der Nutzungsphase werden gebäudespezifische Effekte (z. B. Klimatisierung) und benutzerspezifische Effekte (z. B. der individuelle Energieverbrauch) unterschieden.
- Renovation:** Die Renovationsphase deckt in etwa die gleiche Zeitperiode wie die Nutzungsphase ab. In die Renovationsphase fallen grössere Gebäudeerneuerungen, welche nicht zur individuellen Innenausstattung gezählt werden können.

**Abbruch, Rückbau:** Infolge der langen Lebensdauer von Gebäuden wird bei dieser Phase von der heutigen Technologie ausgegangen. Zukünftige Technologien können nur schlecht abgeschätzt werden.

**Abfallbehandlung:** Diese Phase umfasst Prozesse des Recyclings, der Behandlung in KVA's und der Deponierung. Sie läuft parallel zu allen anderen Phasen über die gesamte Lebensdauer des Gebäudes ab. Angewandt werden nur heutige Technologien.

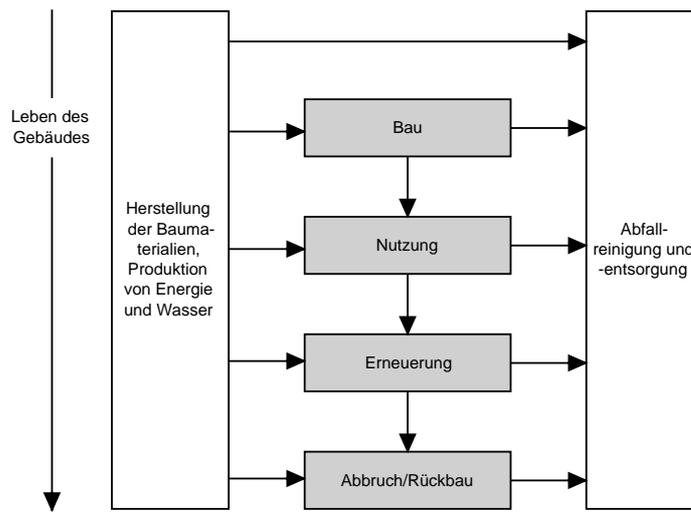


Abbildung 6: Systemdarstellung in [Polster 1995].

Es wird zum Ziel gesetzt, möglichst alle Auswirkungen durch den Bau eines Gebäudes zu erfassen. Deshalb wird das betrachtete System sehr weit gefasst. Alle Prozesse inklusive Baustoffherstellung und Nutzung werden in die Bilanzierung einbezogen. Dazu gehört auch der Transport, der mit der täglichen Arbeit während der Nutzungsphase verbunden ist. Die Systemgrenzen werden in (Material-)Fluxgrenzen und Infrastrukturgrenzen gegliedert. Bei der Baustoffherstellung werden nur die Material- und Energieverbräuche einbezogen. Alle indirekt zusammenhängenden Effekte (Infrastruktur, Gebäude, Werkzeugherstellung etc.) werden ausgeklammert. Nicht einberechnet werden Infrastrukturen wie die Strom-, Wasser- oder Gaserschließung, weil sie für alle Gebäude als gleich erachtet werden.

### **Econcept Zürich**

Das System für Gebäude wird in [Koch 1998b] im Sinne eines 'socio-economic whole system' beschrieben. Verschiedenste Teilsysteme für eine Ökobilanz werden hierfür integriert. In diesem Ansatz wird vom Gebäude als Teil eines übergeordneten Gesellschaftssystems und nicht von einer naturwissenschaftlichen, auf Massenflüssen bestehende Sichtweise ausgegangen. Tabelle 4 zeigt,

welche Teilsysteme bei den jeweiligen Fragestellungen einbezogen werden und wie sich so die Systemgrenzen definieren lassen.

Teilsysteme	Einbezug bei Fragestellung		
	In welche Gebäudeart soll investiert werden?	Vergleich Gebäude gleicher Nutzungsart	Neubau versus Umbau
Änderung in Gemeindeinfrastruktur	ev. (bei grossen Projekten)	nein	nein (nicht vorhanden)
Änderung der Siedlungsstruktur	ev.	nein	nein (nicht vorhanden)
Benutzerverkehr	nein (falls Projekte deutlich anders: ja)	nein (nicht Fragestellung)	nein (nicht relevant)
Infrastruktur auf Grundstück	ja	ja	ja
Umgebungsgestaltung	ja	ja	ja
Baustelle	ja	ja	ja
Bau (Gebäude)	ja	ja	ja
Bau Einrichtungen	nein (vom Investor nicht beeinflussbar)	ja	nein (nicht Fragestellung)
Gebäudeunterhalt	ja	ja	ja
Gebäudebedingte Benutzerauswirkungen	ja	ja	ja
Individuelle Benutzerauswirkungen	nein (vom Investor nicht beeinflussbar)	nein (nicht Fragestellung)	nein (nicht Fragestellung)
Gebäudeentsorgung	ja	ja	ja

*Tabelle 4: Je nach Fragestellung, die mit einer Ökobilanz beantwortet werden soll, müssen auch andere Systemgrenzen gelegt werden.*

### 3.2.2. Datensammlung und Berechnungsvorgehen

Das Zusammentragen von Daten ist der arbeitsintensivste Schritt in einer Ökobilanz. Die meisten Daten können in Anbetracht der oft nur knapp zur Verfügung stehenden Zeit nicht vor Ort erhoben, sondern müssen abgeschätzt werden [Nordic 1995]. Folgende Datenquellen können in Betracht gezogen werden:

- Direkte Messungen der Prozesse
- Interviews mit Experten
- Literaturdaten
- Theoretische Modelle wie Design-Modelle in der chemischen Verfahrenstechnik
- Datensammlungen und Ökobilanzsoftware
- Vorgeschriebene maximale Emissionswerte
- Abschätzungen basierend auf ähnlichen Prozessen

Es muss insbesondere auch die Frage geklärt werden, ob durchschnittliche Daten (z. B. aus bestehenden Ökoinventaren) verwendet werden sollen, oder ob so eine Verfälschung der Situation

eintreffen könnte und deshalb spezifische Daten nötig sind. Weiter ist die Deklaration der Datenqualität ausserordentlich wichtig, v. a. in Bezug auf die Auswertung.

### ***ifib Universität Karlsruhe***

In [Kohler 1994] bestehen bezüglich der verwendeten Datenquellen Unterschiede, je nachdem welche Stufe eines Gebäudes betrachtet wird:

- **Baustoffe:** Aus Gründen der Vergleichbarkeit werden sämtliche Vorstufen mit Werten aus einem Satz von Standarddaten wie dem Ökoinventar von Energiesysteme [Frischknecht 1994] und dem Ökoinventar von Verpackungen [BUWAL 1990].
- **Bauelemente:** Die Bauelemente werden aus Baustoffen zusammengesetzt. Demzufolge werden elementspezifische Daten und allgemeine Daten aus den verschiedenen Ökoinventaren benötigt.
- **Gebäude während ihrer Lebensdauer:** Grundlage sind statistische Werte für Kosten, Energieverbrauch und teilweise Umweltbelastung bestehender vergleichbarer Gebäude. Betrachtet werden müssen hier vor allem der Gebäudetyp, die Nutzungsdaten, die Gebäudeklimadaten, Bezugsgrössen, Standort sowie die voraussichtliche Nutzungsdauer.
- **Gebäudebestände:** Verwendet werden Datenbestände aus statistischen Ämtern oder Gebäudeversicherungen zur vorhandenen Anzahl der Gebäude mit ihrer Funktion, Baujahr, Grösse und Lage. Dazu ergänzend müssen Abschätzungen über den Zustand der bestehenden Gebäude sowie Statistiken über Bautätigkeit, Baustoffproduktion und Abfallaufkommen erhoben werden.

In OGIP/DATO [Kohler 1996b] werden zwei Gruppen von Grunddaten unterschieden. Einerseits wird für Daten für die Bereitstellung von Energie, Transport- und Entsorgungsprozesse auf die Ökoinventare von Energiesystemen [Frischknecht 1995] zurückgegriffen. Die Daten für die Baustoffherstellung und die Bauprozesse wurden zusammen mit dem Projekt 'Ökoinventare für Baustoffe' [Weibel 1995] ermittelt. Die Berechnung der vorgelagerten Prozesse erfolgt aber auch hier aufgrund der verbesserten Vergleichbarkeit unter Verwendung der Ökoinventare für Energiesysteme.

### ***Danish Building Research Institute***

Die verwendeten Daten in [Dinesen 1994] oder [Dinesen 1997] widerspiegeln im wesentlichen dänische Verhältnisse. Die Daten über Bauelemente werden gemäss dem Dänischen BC/SfB Klassifikationssystem gegliedert. Zur Zeit erfolgt eine ausgedehnte Erfassung von materialspezifischen Energie- und Ökoinventardaten.

### ***EPF Lausanne***

Wie in [Kohler 1996] wird auch in [Ospelt 1995] und [Tschirner 1995] auf die Elementkostengliederung (EKG) zurückgegriffen. Die sogenannten Teilelemente, die eine typische funktionale Eigenschaft besitzen, werden unabhängig vom betrachteten Gebäude bilanziert.

Ausgehend von diesen Teilelementen kann die Bilanz für ein konkretes Gebäude erstellt werden. Die Methode wurde an einem konkreten Gebäude erprobt, und zwar schwerpunktmässig für den Rohbau und die Heizungsanlage. Sowohl in [Ospelt 1995] als auch in [Tschirner 1995] dienen die Daten aus den 'Ökoinventare für Energiesysteme' [Frischknecht 1994] als Berechnungsgrundlage.

### ***Ecole des Mines de Paris***

Als Datenbasis werden im wesentlichen Ökoinventare aus der Schweiz und Deutschland benutzt. Es werden keine eigenen Daten erhoben. Für Baumaterialien kommt die Datensammlung in 'Ökoinventare für Energiesysteme', [Frischknecht 1994] zur Anwendung. Für die Nutzungsphase werden die Inventare [BUWAL 1990], [Frischknecht 1994] und [Fritsche 1994] eingesetzt. Daten für den Unterhalt und Renovation eines Gebäudes stammen von [Kohler 1991]. Für die Entsorgung wird auf [ADEME 1994] zurückgegriffen.

### 3.2.3. Zusammenfassung

Studie	ifib Universität Karlsruhe [Kohler 1994] und [Kohler 1996b]	Danish Building Research Institute	EPF Lausanne	Ecole des Mines de Paris	Econcept
<b>System- beschreibung</b>	Aufteilung des Lebenszyklus in vier Hauptprozesse: Baustoffe, Bauprozesse, Nutzung und Instandhaltung, Entsorgung. Aufbau des Gebäudes entsprechend dem EKG.	Aufteilung des Lebenszyklus in drei Hauptphasen: Bauphase, Nutzung, Entsorgung	Aufteilung des Lebenszyklus in vier Hauptphasen: Bau, Erneuerung, Betrieb und Rückbau.	Aufteilung des Lebenszyklus in sechs Hauptphasen: Materialherstellung, Konstruktion, Nutzung und Rückbau sowie Abfallbehandlung.	Aufstellung des Lebenszyklus ausgehend von einem sozioökonomischen Gesamtsystems.
<b>Sytemgrenzen</b>	Systemgrenzen unterschiedlich je nach funktionaler Einheit: <ul style="list-style-type: none"> <li>Baustoffe: Alle Prozesse bis zum Fabrikator</li> <li>Bauelemente: Alle Prozesse von der Wiege bis zur Bahre inkl. vorgelagerte Prozesse</li> <li>Gebäude: Alle Prozesse</li> <li>Gebäudebestand: Alle Prozesse ohne Einbezug der Infrastruktur</li> </ul>	Systemgrenze ist sehr weit gefasst. Alle Phasen und Prozesse ausgenommen Infrastruktur sind beinhaltet.	Nicht betrachtet wird die Infrastruktur, ein grosser Teil des Rückbaus sowie induzierter Verkehr.	Systemgrenzen nach Materialgrenzen und Infrastrukturgrenzen gegliedert. Nicht erfasst werden Infrastruktur bei der Materialherstellung und Gas-, Wasser- und Stromerschliessung bei der Infrastruktur des Gebäudes.	Je nach Fragestellung werden Teilsysteme eingebunden oder nicht.
<b>Datensammlung und Berechnungsvorgehen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Daten für Elemente aus Elementenkatalog,</li> <li>geometrische Daten und Konstruktionsbeschreibungen aus realen Gebäudebeschreibungen</li> <li>Baustoffe: Sämtliche vorgelagerten Prozesse mit verschiedenen Ökoinventaren</li> <li>Bauelemente: Herstellungsdaten, vorgelagerte Prozesse mit Ökoinventare</li> <li>Gebäude: Herstellungs-, Nutzungs- und Entsorgungsprozesse, alle vorgelagerten Prozesse mit Ökoinventaren</li> </ul> Gebäudebestand: Summe aller Gebäudedaten	Als Datengrundlage dienen spezifisch Dänische Daten gemäss der Gliederung des Dänischen Klassifikationsschema sowie eigene Materialdatenbanken.	Daten werden gemäss der Elementkostengliederung strukturiert. Neben den gebäudespezifischen Daten werden Daten aus [Frischknecht 1994] verwendet.	Baumaterialien: [Frischknecht 1994] Nutzung: [BUWAL 1990], [Frischknecht 1994], [Fritsche 1994] Unterhalt/Renovation: [Kohler 1991] Entsorgung: [ADAME 1994]	nicht behandelt

Tabelle 5: Zusammenführung der Ergebnisse aus der Inventarerstellung.

### 3.3. Life Cycle Impact Assessment

Die verursachten Emissionen und Ressourcenverbräuche werden in diesem Schritt der Ökobilanz bewertet. Dazu wurden mehrere Methoden entwickelt, die verschiedene Hintergründe haben. Das Vorgehen der Bewertung wird heute gemäss [Consoli 1993] oder [Nordic 1995] in vier Schritte eingeteilt, die Klassifizierung, die Charakterisierung, die Normalisierung und die Evaluation, wobei nicht alle Bewertungsmethoden diesem Schema folgen.

#### 3.3.1. Klassifizierung

Im ersten Schritt des LCIA werden die In- und Outputs des Systems verschiedenen impact categories (Wirkungsklassen) zugewiesen, welche auf der erwarteten Auswirkungsart auf die Umwelt basieren. Sehr relevant für die spätere Aussage ist die Wahl der zu betrachtenden Auswirkungsklassen. Diese Wahl wird mit jeder Bewertungsmethode ein bisschen anders ausfallen. Insgesamt kann von drei generellen Klassen ausgegangen werden. Diese drei Hauptklassen sind Ressourcen, Auswirkungen auf den Menschen, ökologische Auswirkungen. Sie können in weitere spezifischere Kategorien aufgeteilt werden. Einige Punkte sind bei der Auswahl der Auswirkungskategorien zu beachten. Es muss Vollständigkeit angestrebt werden. Die Liste muss die relevanten Umweltprobleme abdecken und spezifische Systemprobleme ebenfalls einbeziehen. Weiter muss aber infolge der Praktikabilität auf eine allzu grosse Kategorienanzahl verzichtet werden. Damit keine Doppelbewertungen stattfinden, sollten die Kategorien voneinander unabhängig sein. In [Consoli 1993] bzw. [Nordic 1995] wird eine Standardliste von Wirkungskategorien gegeben:

	<b>Consoli 1993</b>	<b>Nordic 1995</b>
<b>Ressourcen</b>	Nicht erneuerbare Ressourcen Erneuerbare Ressourcen Landverbrauch	Energie und Materialien Wasser Land (inkl. Gewässer)
<b>Humangesundheit</b>		Toxikol. Wirkungen (exkl. Arbeitsumgeb.) Nichttoxikol. Wirkungen (exkl. Arbeitsumg.) Wirkungen in Arbeitsumgebung
<b>Umweltauswirkungen</b>	Treibhauseffekt Ozonschichtabbau Toxische Effekte (Human und Ökol.) Versauerung Eutrophierung Photooxidationentwicklung Abwärme Abfälle Strahlung	Treibhauseffekt Ozonschichtabbau Versauerung Eutrophierung Photooxidationentwicklung Ökotoxikologische Wirkungen Lebensraumveränderungen / Wirkungen auf die Biodiversität

Austrocknung	
Landschaftsverstückelung	
Lärm	
Gestank	

*Tabelle 6: Vergleich der verschiedenen Umweltauswirkungskategorien in zwei Standardwerken über die Ökobilanz.*

Im Verlauf dieses Kapitels werden die verwendeten Wirkungskategorien untersucht. Die Aussage, welche Wirkungsklassen für das Bauwesen benutzt werden und welche noch nötig wären, ist von grosser Wichtigkeit. Je nachdem sind gewisse Bewertungsmethoden deshalb nicht oder nur bedingt anwendbar.

### **ifib Universität Karlsruhe**

In den Simulationsberechnungen in [Kohler 1994] wird ein Gemisch von verschiedenen Faktoren verwendet, das die Umweltauswirkungen von Gebäuden darstellen soll. Einerseits werden der Ressourcenverbrauch und die anfallenden Abfallflüsse mit vier resp. sechs Indikatoren in Rechnung genommen. Anfallende Kosten werden mit Hilfe von zwei Indikatoren betrachtet. Daneben werden als weitere Indikatoren auch aggregierende Bewertungsmethoden aufgeführt. Hier kann nicht von einer Umweltwirkungskategorie gesprochen werden. Hinter den Umweltbelastungspunkten z. B. steht ein gesamtes weiteres Klassifizierungsvorgehen<sup>10</sup>.

<b>Ressourcenverbrauch</b>	<b>Aggregierte Emissionen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Wasseraufwand (m<sup>3</sup>)</li> <li>Energieaufwand (GJ)</li> <li>Totale Stoffflüsse (=Abfälle total) (kg)</li> <li>Recycling (kg)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kritisches Wasservolumen (m<sup>3</sup>)</li> <li>Kritisches Luftvolumen (m<sup>3</sup>)</li> <li>Umweltbelastungspunkte (UBP)</li> <li>Treibhauseffekt (kg)</li> <li>Säurebildung (kg)</li> <li>Photochemische Oxidationsbildung (kg)</li> </ul>
<b>Abfallflüsse</b>	<b>Kosten</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Abfälle in Inertstoffdeponie (kg)</li> <li>Abfälle in Reststoffdeponie (kg)</li> <li>Abfälle in Reaktordeponie (kg)</li> <li>Abfälle in Kehrrechtverbrennungsanlage (kg)</li> <li>Abfälle in Sonderabfallverbrennungsanlagen (kg)</li> <li>Bauabfälle, die an Ort und Stelle unkontrolliert in die Natur gehen (kg)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>finanzielle Kosten (sFr)</li> <li>Externe Kosten (sFr) für Gasemissionen von CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOC und SO<sub>2</sub></li> </ul>

*Tabelle 7: Gewählte Kategorien in [Kohler 1994]*

Die Autoren haben des weiteren die Korrelationen zwischen den verschiedenen Umwelteinwirkungen und den angewendeten Bewertungsmethoden untersucht. Die Kriterien Treibhauseffekt und Versauerung werden für den Bausektor als sehr relevant erachtet. Als

<sup>10</sup> Emissionen werden in die Umweltbelastungsbereiche Luft, Wasser, Boden und Abfall eingeteilt.

Schlussfolgerung der Studie wird vorgeschlagen, folgende Bewertungsmethoden bzw. Wirkungskategorien zu übernehmen und teilweise zu verbessern:

Mediumorientierte Methoden:

- Luftbelastung: kritisches Luftvolumen
- Wasserbelastung: kritisches Wasservolumen
- Bodenbelastung: Säurebildungspotential

Ressourcenverbrauch:

- Energieäquivalent
- Gesamter Abfallfluss (= gesamter Massenfluss)
- Recyclingrate

Gesamtbelastung:

- Externe Kosten
- Sonderabfälle

Auch in [Kohler 1996] wird in der Schlussbewertung nicht eine einzelne hochaggregierte Zahl gebildet. Vielmehr wird auch hier eine Kombination mehrerer Bewertungsmethoden angestrebt. Für die Klassifikation werden demzufolge unterschiedliche Wirkungskategorien berücksichtigt. Neben den rein naturwissenschaftlichen Indikatoren werden auch Kostenelemente in die Bewertung einbezogen. Ausgewählt wurden die Bewertungskriterien in Tabelle 8.

Umweltbelastungen (teilweise CML-Kriterien)	Ressourcen:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Treibhauseffekt GWP</li> <li>• Photochemische Oxidation</li> <li>• Versauerung NP</li> <li>• Humantoxikologische Belastung HCA, HCW, HCS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gesamter Stofffluss pro Jahr</li> <li>• mittlere Ersatzrate von Bauteilen über 100 Jahre</li> <li>• Gesamtenergieaufwand pro Jahr</li> <li>• nicht erneuerbarer Gesamtenergieaufwand pro Jahr</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ökotoxikologische Belastung ECA</li> <li>• Umweltbelastungspunkte UBP</li> </ul>	<p><b>Kosten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investitionskosten</li> <li>• Erneuerungs-, Unterhalts- und Betriebskosten</li> </ul>

Tabelle 8: Gewählte Kategorien in [Kohler 1996a]

Die Methode OGIP wird im Moment weiterentwickelt. In Zukunft sollen insbesondere auch die externen Kosten einbezogen werden.

### **Danish Building Research Institute**

In [Dinesen 1997] wird als einzige Umweltwirkungskategorie der Energieverbrauch in die Betrachtung gezogen. Aus den Angaben über den Verbrauch von fossilen Ressourcen wie Kohle,

Erdöl und Erdgas werden die damit verbundenen Emissionen von CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> berechnet. Alle weiteren Auswirkungskategorien sind in der derzeitigen Fassung nicht einbezogen. Dies wird sich mit dem Ausbau des zugrundeliegenden Programmes ändern, so dass noch weitere Kategorien dazu kommen werden.

### **EPF Lausanne**

Ausgehend von den Arbeiten von Kohler ([Kohler 1994]) werden in den beiden Studien der EPFL insgesamt sechs Auswirkungskategorien als Ausdruck der Umweltbelastung eines Gebäudes gewählt (Tabelle 9). Weiteren Auswirkungskategorien werden in den beiden Studien nicht erfasst.

Verwendete Wirkungskategorien	
• Treibhauseffekt: GWP (kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> a)	• Anteil erneuerbare Primärenergie: PEI <sub>ern</sub> (MJ/m <sup>2</sup> a)
• Versauerungspotential: AP (g SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> a)	• Photochemische Oxidation: Psmog (g Ethylen/m <sup>2</sup> a)
• Totaler Primärenergieverbrauch: PEI (MJ/m <sup>2</sup> a)	• Flächenverbrauch: Fläche (Fläche/m <sup>2</sup> a)

Tabelle 9: Gewählte Kategorien in [Ospelt 1995] und [Tschirner 1995].

### **Ecole des Mines de Paris**

Die Arbeit von [Polster 1995] greift im wesentlichen auf die CML-Methode zurück (vgl. auch Anhang 4). Dabei wird aber die Liste der Wirkungskategorien für Gebäude angepasst. Einerseits werden Themen integriert, die eine besondere Bedeutung für den Bausektor besitzen, andererseits werden jene, die nicht relevant sind, ausgeklammert. In einer ersten Runde sind so 18 Auswirkungsklassen bestimmt worden, die darauf auf die 12 relevantesten beschränkt wurden (siehe Tabelle 10).

Verwendete Wirkungskategorien	
• Kumulierter Energiebedarf	• Photochemische Oxidation
• Treibhauseffekt	• Gestank
• Versauerung	• Radioaktive Abfälle
• Eutrophierung	• Reststoffe (Abfälle)
• Ökotoxizität Wasser	• Süßwasserverbrauch
• Humantoxizität	• Abiotischer Ressourcenverbrauch

Tabelle 10: Gewählte Kategorien in [Polster 1995]

### **Übersicht über die gewählten Wirkungskategorien**

Tabelle 11 zeigt, welche der heute verwendeten Wirkungsklassen (CML, Eco-Indicator 95, Nordic, SETAC etc.) in den verschiedenen Studien berücksichtigt werden.

Wirkungsklassen (nach CML, ergänzt)	ifib [Kohler 1994]	[Kohler 1996]	SBI [Dinesen 1994]	EPFL [Ospelt 1995], [Tschirner 95]	Ecole des Mines [Polster 1995]
<b>Ressourcen</b>					
abiotische Ressourcen	x, u	x, u			x
biotische Ressourcen	u	x, u			
Flächenverbrauch				x	
Energieverbrauch	x, u	x, u	x	x	x
<b>Belastungen</b>					
Treibhauseffekt	x, u	x, u		x	x
Ozonschichtzerstörung	u	u			
Humantoxikologie	u	x, u			x
Sommersmog	l, u	u		x	
Wintersmog	l, u	u			
Kanzerogene					
Ökotoxikologie	u	x, u			x
Versauerung	x, u	x, u		x	x
Photochem. Oxidantien	x, u	x, u		x	x
Eutrophierung	w, u	u			x
Schwermetalle	w, u	u			
Strahlung					
Abwärme					
Berufliche Gesundheit					
Lärm					
Gestank					x
<b>Störungen</b>					
Physische Ökosystem- Beeinträchtigungen					
Landschaftsbild					
<b>Weitere Kriterien</b>					
Kosten	x	x			
Externe Kosten	x				
Ersatzrate	x	x			
Abfälle	x				x
Süßwasserverbrauch					x

Tabelle 11: Übersicht über die gewählten Wirkungsklassen in den verschiedenen Studien. (w: In Form von kritischem Wasservolumen, l: in Form von kritischem Luftvolumen, u: kumuliert in UBP)

Am häufigsten berücksichtigt werden die „Energieverbrauch“, „Treibhauseffekt“, „Versauerung“ und „Photochemische Oxidantien“.

### **3.3.2. Charakterisierung**

In jeder Auswirkungskategorie werden die verschiedenen Schadstoffe entsprechend ihrem Wirkungspotential durch Verrechnung auf eine Referenzsubstanz zusammengefasst. Dies geschieht normalerweise durch die Multiplikation der verbrauchten oder emittierten Menge der zu bewertenden Substanz mit einem jeweiligen Gewichtungsfaktor.

#### ***ifib Universität Karlsruhe***

Die grenzwertorientierte Betrachtung des kritischen Wasservolumens basiert in [Kohler 1994] auf der Arbeit von Schaltegger und Sturm [Schaltegger 1992]. Hier wird die Summe gebildet aus den Verhältnissen der Emissionen mit den jeweiligen politisch festgelegten Grenzwerten. Nachteil dieser Methode ist jedoch, dass nur für eine beschränkte Anzahl von Emissionen überhaupt Grenzwerte definiert sind und diese von Land zu Land verschieden sind. Die stoffflussorientierte Methode der Umweltbelastungspunkte UBP [BUWAL 1990] bestimmt die ökologische Schädlichkeit über das Verhältnis zwischen kritischen (d. h. von der Natur noch aufnehmbaren) und gegenwärtigen Stoffflüssen. Eine Unterteilung der Bewertung in die vier Schritte (Klassifizierung, Charakterisierung, Normalisierung und Evaluation) ist in der Methode nicht vorgesehen. Die Bewertung erfolgt in einem Schritt. Durch die Definition des kritischen Flusses wird eine Klassifizierung und Charakterisierung zusammen vorgenommen. Bei der effektorientierten CML-Methode [Heijungs 1992a] werden Gewichtungsfaktoren eingesetzt, die angeben, wie stark der Einfluss einer Substanz in Bezug zu einer Referenzsubstanz innerhalb einer Auswirkungsklasse ist. Für die monetäre Bestimmung der externen Kosten wird die Charakterisierung durch die Multiplikation der Emissionen mit den jeweilig anfallenden Kosten pro Einheit erreicht. Bei den Abfällen erfolgt insofern eine Charakterisierung, als dass alle Abfälle der verschiedenen Klassen mit gleichem Gewichtungsfaktor (=1) behandelt werden.

Die Charakterisierung in [Kohler 1996b] erfolgt weitgehend gemäss den CML-Charakterisierungsfaktoren [Heijungs 1992a]. Bei den Umweltbelastungspunkten wird nach den Anleitungen von [BUWAL 1990] vorgegangen. Eigene Charakterisierungsfaktoren für weitere Stoffe oder Kategorien wurden nicht berechnet.

#### ***Danish Building Research Institute***

Da in [Dinesen 1994] nur die Energieverbräuche errechnet werden, beschränkt sich die Charakterisierung auf eine Gewichtung mit dem Faktor 1. Alle anfallenden Energieaufwendungen werden aufsummiert.

#### ***EPF Lausanne***

Da es sich bei den in [Ospelt 1995] und [Tschirner 1995] verwendeten Auswirkungskategorien im wesentlichen um CML-Kategorien handelt, werden auch die CML-Charakterisierungsfaktoren benutzt [Heijungs 1992a].

### ***Ecole des Mines de Paris***

Die Charakterisierung der verschiedenen erfassten Emissionen erfolgt gemäss den CML-Charakterisierungsfaktoren [Heijungs 1992a]. Bei den Klassen Abfall und Frischwasserverbrauch werden andere Faktoren verwendet. Die Gewichtung der verschiedenen Abfälle wird anhand der jeweiligen Entsorgungsgebühren durchgeführt [ADEME 1995]. In der Wirkungsklasse Frischwasserverbrauch erfolgt die Gewichtung mit dem Faktor 1, d. h. aller Wasserverbrauch wird aufsummiert.

### **3.3.3. Normalisierung**

Für gewisse Bewertungsmethoden wird zwischen der Charakterisierung und der Evaluation die Normalisierung eingesetzt. Die Gesamtwirkung kann pro Kategorie ins Verhältnis zu den gesamten regionalen oder globalen Einwirkungen gesetzt werden. So wird der Anteil des untersuchten Produkts an den verschiedenen weltweiten bzw. regionalen Wirkungen bestimmt. Zwei Vorgehensweisen können unterschieden werden. Die globale Normalisation wird von [Heijungs 1992] angestrebt. In ihrem Charakterisierungsmodell wurde eine globale Skala entwickelt, so dass auch eine globale Normalisierung angewandt werden muss. Analog werden in [Goedkoop 1995] die Daten auf die Emissionen und Verbräuche in Europa und in [BUWAL 1990] auf die Schweiz normalisiert. Andererseits kann aber auch als zusätzlicher Normalisierungsschritt auf eine Person in der untersuchten Zone normalisiert werden. Indem die bereits normalisierten Daten durch die Anzahl Personen geteilt werden, erreicht man eine personen-äquivalente Normalisierung.

Zwei grosse Probleme entstehen beim Einsatz der Normalisierung. Einerseits fehlen viele Daten. Andererseits wird es bei einem kleineren untersuchten Gebiet schwierig, ausserhalb dieses Gebietes anfallende Emissionen zu berücksichtigen.

### ***ifib Universität Karlsruhe***

Die Normalisierung der Daten, die in [Kohler 1994] nach CML klassifiziert und charakterisiert worden sind, erfolgt anhand des klassischen CML-Vorgehens [Heijungs 1992a]. Zusätzlich wird eine Normalisierung bezüglich einem Quadratmeter Energiebezugsfläche vorgenommen. Gleich verhält es sich in [Kohler 1996a]

### ***Danish Building Research Institute***

In dieser Studie erfolgt keine Normalisierung. Die Resultate werden alle als Totalsumme angegeben.

### ***EPF Lausanne***

Die Normalisierung erfolgt gemäss einer CML-Methodik. Die Resultate aus der Charakterisierung jeder Wirkungskategorie werden zusätzlich noch durch den Mittelwert aller verwendeten Konstruktionen (sog. Normierungsfaktoren) sowie durch die bewohnbare Fläche dividiert.

Normierungsfaktoren:

- Treibhauseffekt: 0.9 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>a
- Versauerungspotential: 3.9 g SO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>a
- Totaler Primärenergieverbrauch: 11.9 MJ/m<sup>2</sup>a
- Anteil erneuerbare Primärenergie: 1.2 MJ/m<sup>2</sup>a
- Photochemische Oxidation: 3.4 g Ethylen/m<sup>2</sup>a
- Flächenverbrauch: Fläche 1.9 dm/m<sup>2</sup>a

Dies ermöglicht eine genormte Darstellung der Resultate verschiedener Konstruktionen in einer Graphik.

### ***Ecole des Mines de Paris***

Auch hier erfolgt eine Normalisierung der Daten gemäss der CML-Methodik. Der Wasserverbrauch und die Abfälle werden jedoch nicht normalisiert.

### **3.3.4. Evaluation**

Der vierten Schritt des Life Cycle Impact Assessments wird Evaluation genannt. Hier wird eine Vollaggregation, d. h. eine gegenseitige Gewichtung der einzelnen Wirkungskategorien vorgenommen. Neben naturwissenschaftlichen Grundlagen spielen in diesem Schritt vor allem gesellschaftspolitische Ansichten eine Rolle. Wie die einzelnen, rein naturwissenschaftlich errechneten Wirkungskategorien gegeneinander gewichtet werden, hängt stark vom jeweils zugewiesenen Wichtigkeitsgrad ab.

Der Evaluationsschritt kann als optional betrachtet werden.<sup>11</sup> Falls aber eine Vollaggregation durchgeführt wird, sollten verschiedene Methoden benutzt werden, weil diese auf verschiedenen Bereichen ihre jeweiligen Schwerpunkte setzen.

### ***ifib Universität Karlsruhe***

Da die CML-Methodik keine Vollaggregation der verschiedenen Auswirkungsklassen vorsieht, wird hier auch keine vorgenommen. Hingegen wird bei der Berechnung der Umweltbelastungspunkte gemäss der Methodik eine Aggregation durchgeführt. Die Werte für die verschiedenen Umweltklassen (Luft, Wasser, Boden und Abfall) werden alle gleich stark gewichtet. Für die Kosten erfolgt die Vollaggregation ebenfalls durch eine Gewichtung der verschiedenen Kostenelemente, d. h. alle Kosten werden aufsummiert.

---

<sup>11</sup> Laut ISO 14040 darf er gar nicht durchgeführt werden.

In OGIP/DATO wird mit Ausnahme der Umweltbelastungspunkte und innerhalb des Gesamtenergieverbrauchs keine Vollaggregation der verschiedenen Wirkungsklassen vorgenommen.

### **Weitere Arbeiten**

Weder in [Ospelt 1995], [Tschirren 1995], [Dinesen 1994] noch [Polster 1995] erfolgt eine Vollaggregationen der gewählten Wirkungsklassen. Vielmehr wird in allen Arbeiten den Benutzern oder Anwendern die Entscheidung über die Wichtigkeit der einzelnen Klassen zu fällen.

### **3.3.5. Verwendete Bewertungsmethoden**

In sind die verwendeten Bewertungsmethoden ersichtlich. Die auswirkungsorientierte Bewertung nach CML-Methodik wird am häufigsten verwendet.

<b>Verwendete Bewertungsmethoden</b>	<b>ifib [Kohler 1994]</b>	<b>[Kohler 1996]</b>	<b>SBI [Dinesen 1994]</b>	<b>EPFL [Ospelt 1995], [Tschirner 95]</b>	<b>Ecole des Mines [Polster 1995]</b>
CML	x	x		x	x
BUWAL	x	x			
Kritische Volumina	x				
Kosten	x	x		x	
Energieflussanalyse/Eigene	x		x	x	x

*Tabelle 12: Die meisten Arbeiten verwenden die CML-Bewertungsmethode.*

### **3.3.6. Zeitproblematik**

#### **Einbezug der Lebensdauer:**

Der Faktor Zeit wird in den meisten Studien so berücksichtigt, dass für alle Elemente ermittelt wird, wie oft sie oder ein Teil davon während der Lebensdauer ersetzt werden müssen. Daraufhin werden alle Angaben auf m<sup>2</sup> und Jahr umgerechnet.

#### **Einbezug des Recyclings:**

Nicht abschliessend geklärt ist der Umgang mit zukünftigen Technologien. Besonders bei der Berücksichtigung von Recycling können neue Techniken mit einer gewissen Relevanz verbunden sein. Das Reziklieren von Baumaterialien wird in Ökobilanzen heute als Entlastung von Abfall- und Deponievolumen betrachtet. Es ist aber äusserst fragwürdig, ob das Verhalten von BewohnerInnen und BauunternehmerInnen auf so grosse Zeit hinaus (50 bis 100 Jahre) vorausgesagt werden kann. Dazu wurde von T. Lützkendorf ein Papier verfasst, in dem er ein Vorschlag zur Ermittlung eines Recycling-Potentials bei der Beschreibung und Bewertung von Gebäudeentwürfen unterbreitet [Lützkendorf 1997]. Ausgegangen wird dort von der Annahme, dass die Situation von kurzlebigen Konsumgütern nicht auf langlebige Produkte wie Gebäude oder Bauwerke übertragen werden kann. Bei kurzlebigen Produkten wird ein rückgewinnbarer Anteil im Sinne einer Gutschrift

mit abmindernder Wirkung eingerechnet. Die Langlebigkeit von Gebäuden führt jedoch dazu, dass ein späteres Recycling nicht unbedingt eine abmindernde Wirkung auf den heute zu treibenden Erstaufwand hat. Die Verrechnung des Recycling würde zu einer Verfälschung des realen zeitabhängigen Energie- und Materialflusses führen. Im Unterschied zu Geldeinheiten ist nämlich die Diskontierung von Energie- und Ressourcenverbrauch im Sinne einer Vergleichbarmachung von Effekten zu unterschiedlichen Zeitpunkten methodisch nicht geregelt.

Das Recycling-Potential soll als Sonderinformation neben der durchgeführten Ökobilanz angegeben werden. Es darf aber nicht mit abmindernder Wirkung mit dem Aufwand an Energie, Stoffen und resultierenden Umweltwirkungen in den übrigen Phasen des Lebenszyklusses von Gebäuden verrechnet werden. Das Ermitteln des Recycling-Potentials hat den Sinn, insbesondere PlanerInnen die Auswirkungen von Entscheidungen zu Material, Konstruktion und Bauweise bezüglich einer quantifizierbaren Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit aufzuzeigen. Der Recycling-Effekt tritt mit der Materialwahl noch nicht automatisch ein, sondern hängt vom realen Verhalten zum Zeitpunkt des Rückbaus und der Entsorgung ab.

Das Recycling-Potential wird mittels Szenarienbildung ermittelt. Dazu muss für verschiedene Fälle (Rückbau, Abriss mit nachgelagerter Materialtrennung, Abriss ohne Materialtrennung etc.) geprüft werden, wieviel des Stoffeinsatzes rückgewonnen bzw. durch die Vermeidung eines Abrisses erspart und wieviel der Energie durch Weiternutzung bzw. durch Vermeidung von Herstellungsprozessen für Neuprodukte gewonnen bzw. erspart werden kann.

### **3.3.7. Standortgebundenheit**

Durch die Benutzung der auswirkungsorientierten CML-Methodik, die vor allem globale Effekte in ihre Betrachtung zieht, kann in [Kohler 1994] oder [Kohler 1996a] nicht von einer standortgebundenen Berechnung gesprochen werden. Dem Aspekt der Standortgebundenheit wird jedoch insofern Rechnung getragen, als für die Ermittlung der Energieverbräuche während der Nutzungsphase auf klimatische Einflüsse eingegangen wird.

### 3.3.8. Zusammenfassung

Studie	ifib Universität Karlsruhe [Kohler 1994]	[Kohler 1996a]	SBI [Dinesen 1994]	EPF Lausanne [Ospelt 1995] [Tschirren 95]	Ecole des Mines de Paris [Polster 1995]
Klassifizierung	<p>Ressourcenverbrauch</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Wasseraufwand (kg)</li> <li>Energieäquivalent</li> <li>Gesamter Stofffluss</li> </ul> <p>Abfallflüsse</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Abfälle in Inertstoffdeponie</li> <li>Abfälle in Reststoffdeponie</li> <li>Abfälle in Reaktordeponie</li> <li>Abfälle in KVA</li> <li>Sonderabfälle</li> <li>Rezyklierte Bauabfälle</li> <li>Bauabfälle, die an Ort und Stelle unkontrolliert in die Natur gehen (kg)</li> </ul> <p>Aggregierte Emissionen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kritisches Wasservolumen</li> <li>Umweltbelastungspunkte</li> <li>Treibhauseffekt</li> <li>Säurebildung</li> <li>Photochem. Oxidationspot.</li> </ul> <p>Kosten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>finanzielle Kosten</li> <li>Externe Kosten für Emissionen von CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOC und SO<sub>x</sub></li> </ul>	<p>Ressourcen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>gesamter Stofffluss</li> <li>mittlere Ersatzrate von Bauteilen</li> <li>Gesamtenergieaufwand</li> <li>nicht erneuerbarer Gesamtenergieaufwand</li> </ul> <p>Umweltbelastungen (teilweise basierend auf CML-Kriterien)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Treibhauseffekt GWP</li> <li>Photochem. Oxidation POCP</li> <li>Versauerung NP</li> <li>Humantoxikologische Belastung HCA, HCW, HCS</li> <li>Ökotoxikologische Belastung ECA</li> <li>Umweltbelastungspunkte UBP</li> </ul> <p>Kosten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Investitionskosten</li> <li>Erneuerungskosten, Unterhaltskosten, Betriebskosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Totaler Energiebedarf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Treibhauseffekt</li> <li>Versauerungspotential</li> <li>Totaler Primärenergieverbrauch</li> <li>Anteil erneuerbare Primärenergie</li> <li>Photochemisches Oxidationspotential</li> <li>Flächenverbrauch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kumulierter Energiebedarf</li> <li>Treibhauseffekt</li> <li>Versauerung</li> <li>Eutrophierung</li> <li>Ökotoxizität</li> <li>Humantoxizität</li> <li>Photochemische Oxidation</li> <li>Gestank</li> <li>Radioaktive Abfälle</li> <li>Reststoffe</li> <li>Frischwasserverbrauch</li> <li>Abiotischer Ressourcenverbrauch</li> </ul>
Charakterisierung	gemäss den Gewichtungsfaktoren von CML, der BUWAL-Methode, der Methode der kritischen Volumina oder Kostensummierung	gemäss den Gewichtungsfaktoren von CML, der BUWAL-Methode oder der Kostensummierung	Aufsummierung der Energieverbräuche	Gemäss Gewichtungsfaktoren der CML-Methodik	Gemäss Gewichtungsfaktoren der CML-Methodik, Abfall gemäss Entsorgungskosten, Wasserverbrauch aufsummiert
Normalisierung	gemäss den Normalisierungsfaktoren von CML, der BUWAL-Methode oder der Methode der kritischen Volumina Weitere Normalisierung bezüglich m <sup>2</sup> Energiebezugsfläche	gemäss den Normalisierungsfaktoren von CML oder der BUWAL-Methode Weitere Normalisierung bezüglich m <sup>2</sup> Energiebezugsfläche	keine Normalisierung	gemäss CML-Methodik Weitere Normalisierung bezüglich Mittelwert aller verwendeten Konstruktionen und bewohnbarer Fläche	gemäss CML-Methodik

Studie	ifib Universität Karlsruhe [Kohler 1994]	[Kohler 1996a]	SBI [Dinesen 1994]	EPF Lausanne [Ospelt 1995] [Tschirren 95]	Ecole des Mines de Paris [Polster 1995]
Evaluation	CML sieht keine Aggregation vor BUWAL-Daten werden vollaggregiert, Kosten ebenfalls	CML sieht keine Aggregation vor BUWAL-Daten werden Vollaggregiert, Kosten ebenfalls	keine Aggregation verschiedener Wirkungsklassen möglich	CML sieht keine Vollaggregation vor	CML sieht keine Vollaggregation vor
Verwendete Bewertungs- methoden	CML BUWAL 133 Kritische Volumina Kostenbewertung	CML BUWAL 133 Kostenbewertung	keine	CML Kostenbewertung	CML Abfall- und Wasserbewertung

Table 13: Zusammenfassung der Resultate des Life Cycle Impact Assessments.

### 3.4. Life Cycle Interpretation

Die Resultate einer Ökobilanzierung hängen von den Systemgrenzen, der gewählten Methode, der zur Verfügung stehenden Daten und der getroffenen Annahmen ab. Bevor eine Aussage gemacht wird, müssen diese Einflüsse gebührend berücksichtigt werden. Insofern sollte zumindest eine Sensitivitätsanalyse der Resultate bezüglich der Änderung bestimmter Daten oder Faktoren durchgeführt werden. Dies kann geschehen, indem verschiedene Szenarien durchgerechnet werden.

Eine Abklärung über die Repräsentativität des betrachteten Systems ist sicherlich von hohem Wert. In einer Ökobilanz wird an sich nicht ein Produkt, sondern das System, das den Lebenszyklus eines Produktes beschreibt, untersucht. Wenn Schlüsse aus diesem Lebenszyklus gezogen werden möchten, muss das System diesen auch adäquat beschreiben. Werden gewisse Phasen nicht berücksichtigt, dann muss gezeigt werden, dass diese Phasen keinen Einfluss auf das Resultat haben. Dies kann getan werden, indem z. B. worst case Szenarien eingeführt werden.

Fragen in Zusammenhang mit der Qualität der verwendeten Daten sind ebenfalls von hoher Relevanz für die Inventarerstellung und deren Bewertung. Die Fehler können teilweise recht hoch sein. Deshalb ist zu prüfen, ob die Schlussfolgerungen auch nach Einbezug der Unsicherheiten noch ihre Gültigkeit aufweisen. Gekoppelt mit der Frage nach der Datenqualität ist die Frage der Datenrepräsentativität. So ist es wichtig zu wissen, ob standortspezifische Daten auf andere Standorte übertragen werden dürfen.

In den untersuchten Studien wurden vereinzelt Sensibilitätsanalysen durchgeführt. [Polster 1995] untersucht z. B. den Einfluss unterschiedlicher Inventardaten auf die Herstellung von Beton, den Einfluss verschiedener Transportdistanzen oder auch den Einfluss unterschiedlicher Elektrizitätsinventare. Es wurden jedoch keine methodischen Angaben gemacht. D. h. es werden keine Vorschläge geliefert, welche Faktoren von grosser Wichtigkeit sind und demzufolge einer Sensibilitätsanalyse unterzogen werden müssten.

## 4. Fallbeispiele

### 4.1. Beschreibung der Fallbeispiele

Bis anhin wurden nur wenige Ökobilanzen für ganze Gebäude durchgeführt. Die meisten theoretischen Arbeiten oder methodischen Modellentwicklungen sind aber anhand von Fallbeispielen durchgeführt worden. Im Folgenden werden Fallbeispiele beschrieben, die unterschiedliche Systeme bilanzieren. Der Betrachtungsrahmen wird von Fall zu Fall ausgeweitet. Während sich das erste Fallbeispiel, das Hebel Haus, mit dem Lebenszyklus eines einzelnen Hauses beschäftigt, werden im Fallbeispiel der Ingenieur Schule beider Basel verschiedene Ausbauprodukte eines Gebäudes beschrieben. Die Fallstudien der Doktorarbeit Quack, des Danish Building Research Institute sowie der EPF Lausanne und des ifib der Universität Karlsruhe befassen sich darauf mit dem Vergleich verschiedener Gebäude. Zum Schluss wird ein Fallbeispiel über den Vergleich von Überbaumöglichkeiten gesamter Areale gegeben.

#### 4.1.1. Hebel Haus Terra 108

##### **Ziele**

Die Hebel Unternehmensgruppe ist ein weltweit tätiges Bauunternehmen. Es bietet insbesondere Fertighäuser aus vorgefertigten Porenbeton-Bauteilen an. 1995 wurde für ein solches Fertighaus eine Ökobilanz erstellt [Hebel 1995]. Diese soll insbesondere die Vorteile des Materials Porenbeton aufzeigen. In Planung ist die Ökobilanz eines Wirtschaftsgebäudes. Dieses Projekt ist jedoch mangels Finanzen vorübergehend stillgelegt.

##### **Fallbeschreibung**

Die Ökobilanz bezieht sich auf das Hebel Haus Terra 108. Dieses stammt aus einem Einfamilienhausprogramm in unterschiedlichen Ausbaustufen und ist ein komplett ausbaufertiges Haus mit rund 108 m<sup>2</sup> Wohnfläche. Die durch das Haus bebaute Fläche beträgt 94.5 m<sup>2</sup>, das beheizte Gebäudevolumen beträgt gut 489 m<sup>3</sup>. Deckenplatten, Dachplatten, Aussenwände, Innenwände und Treppenelemente sind aus Porenbeton gefertigt.

##### **Annahmen**

Bei der erstellten Ökobilanz handelt es sich vielmehr um eine Energiebilanz, die jedoch den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes abdeckt. So werden die Grundstoffgewinnung und -herstellung, die Herstellung der Bauteile, Lagerung und Verarbeitung der Baumaterialien, die Gebäudenutzung, die Instandhaltung und Umbau, der Abbruch und die Wiederverwendung sowie alle dazwischen liegenden Transporte betrachtet. Der individuelle Ausbau mit Elektro-, Heizungs-, Sanitärinstallationen und -geräten sowie Oberflächenbelägen (Tapeten, Fliesen, Böden) wurde nicht einbezogen, weil es sich um ein Fertigbauhaus handelt und nach Angabe der Ersteller der Bilanz die individuellen Wünsche der Bauherren sehr unterschiedlich sind.

### Methodik

Als Methode wird die Energie- und Stoffbilanzierung angewendet. Die weiteren Umweltwirkungen werden nur qualitativ erfasst und beschrieben. Die Datenerfassung erfolgt im Porenbetonwerk Alzenau. Sämtliche Material- und Energieflüsse werden untersucht und aufsummiert. Die Herstellung des Porenbetons wird dabei sehr genau bilanziert. Die Material- und Energieverbräuche werden hier in Abhängigkeit der Rohdichte des Porenbetons angegeben.

### Resultate

Die Resultate der Energieberechnungen sind in Tabelle 14 ersichtlich. Die Angaben für Instandhaltung/Umbau und Abbruch/Wiederverwertung sind generelle Erfahrungswerte. Der Energieverbrauch in der Nutzungsphase wird anhand von k-Werten und Wärmebedarf errechnet. Die Ersteller der Bilanz empfehlen, die Nutzungsphase zwar zu erfassen, aber nicht unmittelbar durch Hochrechnung in die Vergleiche der Material- und Energieaufwände der jeweiligen Bauprodukte einzubeziehen.<sup>12</sup> Neben den Material- und Energieaufwendungen werden auch Umweltwirkungen erfasst.<sup>13</sup> Die Beschreibung der Wirkungen erfolgt aber nur in einer verbal-argumentativer Form und im wesentlichen für die Porenbetonbauteile. Die Autoren sind sehr skeptisch gegenüber formalisierten Bewertungsmethoden.

Phase	Energiebedarf [kWh]	in %
Grundstoffgewinnung und -herstellung	52'018	39 %
Transporte/Lieferung	952	1 %
Herstellung der Porenbeton-Bauteile und Lagerung	20'312	15 %
Transport und Verkehr zur Baustelle Material	2'767	2 %
Transport und Verkehr zur Baustelle Personal	3'013	2 %
Verarbeitung von Porenbeton-Bauteile	2'765	2 %
Herstellung, Lieferung und Montage von Nicht-Porenbeton-Bauteile	43'783	33 %
Gebäudenutzung (nur Heizung)	10'273 pro Jahr	-
Instandhaltung/Umbau	2'000	1 %
Abbruch/Wiederverwertung	6'000	5 %

Tabelle 14: Energiebedarf beim Fertighaus Terra 108.

Geht man von einer Nutzungsdauer von 50 Jahren aus, übertrifft die Nutzungsphase im Energieverbrauch die anderen Phasen bei weitem. Für die Erstellung des Gebäudes werden insgesamt 125'610 kWh veranschlagt. Der Energieverbrauch in der Nutzung (bei 50 Jahren) beträgt 513'650 kWh, was einen rund viermal höheren Beitrag darstellt. Sehr tief sind hingegen die Energieverbräuche für die Instandhaltung und den Abbruch. Zu beachten ist allerdings, dass diese Phasen sich nur auf das Rohgebäude beziehen und nicht auf die gesamte Ausstattung.

<sup>12</sup> Der Energie- und Materialverbrauch in der Nutzungsphase wird als sehr individuell eingestuft.

<sup>13</sup> Ressourcenverbrauch, Flächenverbrauch, Treibhauseffekt, Ozonabbau, Versauerung, Eutrophierung, Humantoxizität, Schädigung von Organismen und Ökosystem, Bildung von Photooxidantien, Lärmbelastung, Geruchsbelastung, Erschütterungen und optisch negative Wirkungen.

### **Aussagekraft**

Während für alle anderen Lebensphasen totale Angaben über den Energiebedarf gemacht werden, wird für die Nutzungsphase nur der Bedarf pro Jahr angegeben. Es soll damit gezeigt werden, dass keine allgemein gültige Erfahrungswerte für die Nutzungszeit eines Hauses vorhanden sind. Da es sich bei der Nutzungs- und Erneuerungsphasen um Schätzwerte handelt, müssen diese Vergleiche mit Vorsicht angestellt werden. Die Erneuerungsphase wird tendentiell zu tief bewertet. Der gegebene Erfahrungswert wird in den anderen untersuchten Studien nicht bestätigt. Es kann höchstens angenommen werden, dass sich diese Zahl nur auf die Porenbetonbauteile bezieht. Ebenfalls kann kaum eine Aussage über die Umweltwirkungen gemacht werden. Auch hier beschränken sich die qualitativen Beschreibungen im wesentlichen auf die Porenbetonbauteile oder das Porenbetonwerk. Alle anderen Bauteile (welche immerhin 33% des Energieverbrauchs ausmachen), werden infolge Datenmangels nicht bewertet.

Insgesamt muss diese Studie als unvollständig betrachtet werden. Die Energieverbrauchszahlen können zu Vergleichen aber herangezogen werden. Nicht plausibel erscheint die Angabe zu Instandhaltung/Umbau, insbesondere wenn von einer (von den Erstellern angegebenen) theoretisch möglichen Nutzungszeit von 100 Jahren ausgegangen wird.

## **4.1.2. Ingenieur Schule beider Basel**

### **Ziele**

Im Rahmen einer Semesterarbeit im Nachdiplomstudium Energie der Ingenieur Schule beider Basel wurde durch drei Studenten ein Doppelfamilienhaus untersucht [Bringolf 1996]. Dabei sollten vor allem verschiedene Dämmvarianten betrachtet werden. Die Elemente im Dämmperimeter wurden durch unterschiedliche Wand-, Fenster- und Dachkonstruktionen ersetzt. Anhand dieses konkreten Beispiels sollten die grundsätzlichen Parameter für ökologisches Bauen definiert werden.

### **Fallbeschreibung**

Das betrachtete Objekt ist ein 1995 erstelltes Doppelfamilienhaus, befindet sich im oberen Fricktal (AG) und verfügt über eine Energiebezugsfläche von insgesamt 307 m<sup>2</sup>. Das Gebäude ist ein Massivbau mit Zweischalenmauerwerk und Betondecken. Die weiteren Varianten werden virtuell aufgebaut.

### **Annahmen**

Neben der Referenzbauweise mit Zweischalenmauerwerk (mit einer angenommenen Lebensdauer von 50 Jahren) handelt es sich bei den anderen Varianten um ein Einsteinmauerwerk aus Backstein (100 Jahre), ein Einsteinmauerwerk aus Porenbeton (100 Jahre), ein KS-Mauerwerk mit

Polystyrol­dämmung aussen (25 Jahre), ein KS-Mauerwerk mit hinterlüfteter Metallfassade (50 Jahre) und eine Holzkonstruktion in Ständerbauweise (50 Jahre). Diese neu erstellten Varianten wurden wiederum so manipuliert, dass die einzelnen Konstruktionen drei verschiedene Dämmstandards aufweisen: Standard mit einer Energiekennzahl von 215 MJ/m<sup>2</sup>a, gut mit 145 MJ/m<sup>2</sup>a und optimal mit 105 MJ/m<sup>2</sup>a. Die Wärmeerzeugung wurde jeweils durch eine Wärmepumpe angenommen.

### **Methodik**

Die Berechnungen wurden mit dem Programm ECOPRO durchgeführt [Kohler 1994]. Die im Programm zugrunde liegenden Bewertungsmethoden sind bereits in Kapitel 3 erwähnt worden.

### **Resultate**

Die Resultate können in ECOPRO absolut oder als Vergleich verschiedener Gebäudevarianten ausgegeben werden. Sie umfassen 18 Kategorien, welche sich in die Gruppen Kosten, Stoffflüsse, Energieflüsse und Umweltwirkungen gliedern. In diesem Fallbeispiel wurden die Kosten, der totale Stofffluss, der Fluss an nicht erneuerbarer Energie, das Ozonerstörungspotential ODP, die Versauerung sowie die aufaggregierten Umweltbelastungspunkte UBP betrachtet. Für einige Parameter wie GWP (Global Warming Potential) oder für die Daten bezüglich der Entsorgung muss noch mit Vorsicht vorgegangen werden, da sie im Programm noch nicht fehlerlos berechnet werden.<sup>14</sup> Insgesamt schneidet keine Konstruktionsvariante in irgend einem umweltrelevanten Parameter besser ab als die Holz­ständerbauweise:

- Kosten: Die Analyse ergab, dass die Art der Fassadenkonstruktion bei gleichem Dämmstandard die Gesamtkosten kaum beeinflussen. Unabhängig von Konstruktion und Dämmung trägt die Erneuerung rund 75% zu den Kosten bei, 20% werden durch den Neubau verursacht und nur 5% entfallen auf die Nutzung.
- Stofffluss: Die leichte Holzkonstruktion liegt um 10% unter den Werten der Massivkonstruktionen. Zwei Drittel des Flusses entfallen auf den Neubau, ein Drittel auf die Erneuerung.
- Bedarf an nicht erneuerbaren Energie: Der Bedarf an nicht erneuerbarer Energie ändert mit unterschiedlicher Dämmung. Je nach Dämmstärke sinkt der Anteil der Nutzung am Gesamtbedarf von anfänglich 60% (standard) auf 50% (gut) bzw. 45% (optimal). Der Rest entfällt zu gleichen Teilen auf Neubau und Erneuerung. Die Holzkonstruktion liegt um 5% bis 10% unter den Massivkonstruktionen. Das polystyrolgedämmte KS-Mauerwerk zeigt gegenüber der Holzkonstruktion einen um 30% bis 45% höheren Energiebedarf.
- Ozonerstörungspotential: Im Vergleich zum KS-Mauerwerk mit Aussendämmung in Polystyrol entsteht durch die Holzkonstruktion eine um 50% und durch die restlichen

<sup>14</sup> Bei Ecopro handelt es sich nach wie vor um einen Prototyp.

Massivkonstruktionen eine um 40% niedrigere Belastung. Der Anteil der Nutzungsphase beträgt je nach Dämmstandard zwischen 20% und 25%.

- Versauerung: Gegenüber den anderen Varianten schneidet die Holzkonstruktion um rund 40% tiefer ab. Der grösste Anteil ruft mit 70% die Erneuerung hervor, auf Neubau und Nutzung entfallen je 15%.
- Umweltbelastungspunkte: Der Holzbau liegt wiederum rund 40% bis 50% unter den anderen Varianten. Der Anteil der Erneuerung beträgt 80%, Neubau und Nutzung tragen je 10% zur Gesamtbelastung bei.

### **Aussagekraft**

Die vorliegende Studie kommt zum Schluss, dass Holzkonstruktionen gegenüber den anderen Konstruktionstypen für bedeutend niedrigere Umweltbelastungen sorgen. Die Nutzungsphase überwiegt nur in der Kategorie Energiebedarf. Die Kategorie Stofffluss wird durch die Neubauphase bestimmt. Erstaunlich hohe Anteile weist die Erneuerung auf. Sie ist hauptverantwortlich für die grössten Anteile in den Kategorien Kosten, Ozonzerstörungspotential, Versauerung und UBP. Dieses Resultat steht im Gegensatz zu [Kohler 1994] da, wo neben den finanziellen Kosten und den Abfällen in keiner Kategorie die Erneuerungsphase überwiegt. Insgesamt müssen die Resultate dieser Studie eher mit Vorsicht genossen werden.

### **4.1.3. Fallstudie Quack**

#### **Ziele**

Im Rahmen einer Doktorarbeit am Graduiertenkolleg „Interdisziplinäre Strategien zum Schutz der Umwelt“ an der RWTH Aachen wird von Dietlinde Quack eine vergleichende Ökobilanz verschiedener Niedrigenergiehäuser durchgeführt. Als Instrument wird dabei das Programm Ecopro benutzt.

#### **Fallbeschreibung**

In Heidenheim (D) wurden fünf verschiedene Niedrigenergiehäuser und ein konventionelles Wohnhaus nebeneinander erstellt. Ziel dieses Demonstrationsprojektes war, die Gebäude hinsichtlich Heizenergieverbrauch und Baukosten miteinander zu vergleichen. Daraus sollte gezeigt werden, dass es mit heutigem Know-how und dem Stand der Technik möglich ist, Wohngebäude zu erstellen, die deutlich weniger Heizenergie verbrauchen. Die Niedrigenergiehäuser unterscheiden sich weder vom Grundriss noch vom äusserlichen Erscheinungsbild her wesentlich vom Referenzgebäude. Grosse Unterschiede finden sich jedoch bei der Dämmung und der verwendeten Haustechnik.

Beim Referenzhaus mit einer beheizbaren Wohnfläche von 177 m<sup>2</sup> sind die Aussenwände aus Leichtziegel gebaut. Das Dach ist eine Holzkonstruktion und die Decken bestehen aus Stahlbeton. Das Haus A (176 m<sup>2</sup>) ist aus Kalksandstein mit einer Mineralfaseraussendämmung gebaut. Dach und Decken sind gleich zusammengesetzt wie das Referenzhaus. Die Aussenwände von Haus B

(178 m<sup>2</sup>) sind aus Leichtbetonschalungsstein (mit einer Kerndämmung aus Polystyrol). Dach und Decken sind wiederum gleich wie beim Referenzhaus. Das Haus C (200 m<sup>2</sup>) ist ein Porenbetonhaus. Aussenwände, Dach, Decken und Innenwände bestehen aus Porenbeton. Haus D ist ein Holzhaus. Die Aussenwände bestehen aus einem Holzständerbau mit einer Mineralwolleddämmung. Dach und Decken sind ebenfalls aus Holz konstruiert. Das Haus E (185 m<sup>2</sup>) schlussendlich ist wieder ein reiner Porenbetonbau.

### **Annahmen**

Da das Programm Ecopro nicht alle Elementtypen abdeckt, die in den Fallbeispielen vorkommen, müssen gewisse Annahmen getroffen werden. Fehlende Elemente werden durch externe Daten ergänzt. Gewisse Elemente können gar nicht abgeschätzt werden, da keine externen Daten vorhanden sind. Hier erfolgt eine Unterschätzung der Ergebnisse.

### **Methodik**

Die Berechnungen werden mit dem Programm Ecopro durchgeführt (siehe auch Kapitel 3).

### **Resultate**

Die Resultate werden in [Quack 1998] in Bezug zur funktionalen Einheit „Bereitstellung von beheiztem Wohnraum und erwärmtem Brauchwasser über 80 Jahre für eine beheizbare Wohnfläche von 180 m<sup>2</sup>“ ausgewiesen.<sup>15</sup> Die Umweltwirkungen der Gebäudevarianten werden durch einen Vergleich der Umweltbelastungspunkte, der effektorientierten Kriterien, der Stoffflüsse und der Abfallkategorien beurteilt. Nachstehend wird nur auf die Umweltbelastungspunkte eingegangen.

Die Gesamtsumme der Umweltbelastungspunkte liegt zwischen 500 und 578 Mio UBP. Umgerechnet auf die Energiebezugsfläche und ein Jahr bewegen sich die Gebäude zwischen 31,64 und 39,53 x 10<sup>3</sup> UBP/m<sup>2</sup>a.<sup>16</sup> Die Neubauphase macht dabei für alle Varianten zwischen 17% und 19% der Belastung aus. Hauptanteil der Umweltbelastung ist die Erneuerungsphase, welche mit 74% bis 78% zu Buche schlägt. Geradezu vernachlässigbar ist die Entsorgungsphase, wo die Belastung bei allen Varianten weniger als 1% ausmacht. Die Nutzung ist schliesslich für 5% bis 9% verantwortlich.<sup>17</sup> Ausschlaggebend für den hohen Anteil der Erneuerungsphase ist die Erneuerung der Innenwände, d. h. insbesondere die Erneuerung des Verputzes und des Anstrichs der Innenwände.<sup>18</sup>

---

<sup>15</sup> In [Quack 1998] ist eine ausführliche Beschreibung der funktionalen Einheit zu finden.

<sup>16</sup> Damit liegen sie im Bereich der von [Kohler 1994] angegebenen Spannweite von 17,19 bis 79,52 x 10<sup>3</sup> UBP/m<sup>2</sup>a für Gebäude mit einer Lebensdauer von 80 Jahren.

<sup>17</sup> Eine Ausnahme bildet hier das Gebäude D, dessen eine Hälfte mit Strom geheizt wird. Die Umweltbelastung verschiebt sich hier zulasten der Nutzungsphase, welche für über 19% der Belastung zuständig ist.

<sup>18</sup> Insgesamt machen die Umweltauswirkungen des Elementes „innerer Wandputz, Mineralputz mit Dispersionsfarbe“ ca. 50% der gesamten Umweltbelastung aus.

**Aussagekraft**

Die Umweltauswirkungen der Erneuerungsphase werden als mit Abstand relevantesten beurteilt. Es ist jedoch nicht ganz klar, ob es sich bei der starken Bewertung der Innenwände nicht um einen Fehler in der Datengrundlage handelt. Aus diesem Resultat heraus wird vorgeschlagen, mehr Gewicht auf die Wahl einer langlebigen Konstruktion mit geringen und wenig belastendem Erneuerungsaufwand zu legen als auf die Wahl eines besonders guten Energiestandards.

Insgesamt sollten die erhaltenen Resultate nochmals überprüft werden. Der Anteil der Erneuerungsphase an der Gesamtbelastung erscheint auf den ersten Blick zu hoch. Die Aufteilung der Gesamtbelastung auf die verschiedenen Lebensphasen eines Gebäudes verhält sich aber auch in anderen Studien, welche mit dem Programm Ecopro arbeiten, ähnlich. Es müsste deshalb nachgeprüft werden, ob nicht im Programm ein Fehler in der Bewertung der Erneuerungsphase enthalten ist.

**4.1.4. Fallstudie SBI****Ziele**

Ziel des Projektes „An Energy Life Cycle Assessment Model for Building Design“ des Danish Building Research Institute SBI war, ein Modell für die Analyse des totalen Energiebedarfs von Gebäuden und der daraus resultierenden Emissionen in die Atmosphäre zu entwickeln. Es startete aus zwei Gründen mit energetischen Betrachtungen. Erstens weil vor allem die Verbrennung von nicht erneuerbaren Energieträger zu hohen SO<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>-Emissionen führt. Zweitens, weil rund 50% des gesamten dänischen Energiebedarfes durch Aktivitäten, die im Zusammenhang mit Gebäuden stehen (Herstellung von Baumaterialien, Nutzung oder auch Abruch) hervorgerufen werden. In Zukunft soll neben der reinen Energiebilanzierung auch die Untersuchung weiterer Umweltwirkungen vorangetrieben werden.

**Fallbeschreibung**

Mit dem Modell wurden Beispielrechnungen für drei Gebäudetypen durchgeführt. Untersucht wurden ein Gebäude, das nach den Dänischen Gebäudevorschriften BR82 aufgestellt wurde, ein Niedrigenergiehaus und ein Experimentalgebäude. Genaue Angaben dazu sind nur im dänischen Bericht erhältlich. Der Lebenszyklus der Gebäude wird aufgeteilt in drei Phasen, welche sich wiederum aus verschiedenen Prozessen zusammensetzen: Bauphase (mit Materialherstellung, Bauprozess), Nutzung (mit Benützung, Unterhalt) und Entsorgung (mit Abbruch, Recycling, Deponierung).

Die Herstellung von Baumaterialien beinhaltet eine grosse Zahl an weiteren Subprozessen wie z. B. die Extraktion von mineralischen Grundstoffen, die Herstellung von Hilfsstoffen oder den Transport.

Der Bauprozess setzt sich aus allen Energieverbräuchen zusammen, die auf dem Baugelände stattfinden. Eine genaue Zuordnung ist schwierig, für die wichtigsten Bautätigkeiten wurden jedoch die genauen Verbräuche erhoben. Der Bauprozess beinhaltet das Zusammenführen von Baumaterialien zu Elementen, welche dann zusammen das Gebäude ergeben. Den verschiedenen Elementen wurde eine Lebensdauer zugeordnet, welche indirekt angibt, wieviele Male sie während der Lebensdauer des gesamten Gebäudes ersetzt werden müssen.

Unter der Benutzung ist die Energiebelieferung für Heizung, Warmwasser, Beleuchtung, Elektrizität für Haustechnik wie Ventilation oder Elektrizität für Haushaltsgeräte gemeint. Weil bereits Methoden zur Abschätzung dieser Verbräuche vorliegen, wurde hier kein neues Werkzeug erschaffen.

Im Unterhalt des Gebäudes ist neben der allgemeinen Pflege auch die Erneuerung von zu ersetzenden Elementen enthalten. Das Modell behandelt die Erneuerung in einer vereinfachten Weise. Die Anzahl der Erneuerungen wird entsprechend der individuellen Lebensdauer der Elemente und der gesamten Lebensdauer des Gebäudes berechnet.

Im Abbruch sind weitere energieverbrauchende Prozesse wie der Rückbau oder die Transporte der Abbruchteile in Sortierungs- bzw. Verbrennungs- oder Deponierungsanlagen enthalten.

Wird im Recyclingprozess Material als Energiequelle (in der Kehrlichtverbrennungsanlage) oder sogar als wiederverwendbares Material für neue Bauten eingesetzt, erfolgt eine Energiegutschrift.

Kann das Material nicht mehr wiederverwendet werden, bleibt nur noch die Deponierung übrig. Im Modell wurden nur die Energieverbräuche der Transporte in die Deponien berücksichtigt. In einer weiteren Phase sollen auch die Downstreamprozesse einbezogen werden.

### **Annahmen**

Im entwickelten Modell werden nur CO<sub>2</sub>- und SO<sub>2</sub>-Emissionen betrachtet, weil diese volumenmässig am meisten emittiert werden und gleichzeitig am Treibhauseffekt und an der Versauerung beteiligt sind. Die Berechnung ist sehr einfach. Die Emissionen werden mittels Umrechnungsfaktoren aus den kumulierten Energieverbräuchen berechnet.

Das Modell benutzt ein Masterfile, das aus einer Datenbank und 24 Formularen (welche in drei Gruppen gegliedert sind) besteht. Die erste Formulargruppe wird für die Berechnung von Materialmengen für die Erstellung, die Erneuerung oder das Recycling eingesetzt. Das Gebäude wird dabei in Elemente aufgeteilt. Die Elemente werden entsprechend dem Dänischen BC/SfB Gebäudeklassifikationssystem definiert. Die zweite Gruppe bezieht sich auf die Berechnung des Energiebedarfes der Materialherstellung und die Prozesse im Zusammenhang mit Bau und Abbruch des Gebäudes. Die berechneten Mengen aus der ersten Gruppe werden mit Energieverbrauchsfaktoren multipliziert, um so den totalen Energiebedarf zu erhalten. Die dritte Gruppe schliesslich dient dazu, aus den Energieverbräuchen die Emissionen zu berechnen.

### **Methodik**

Für die Modellberechnungen werden sämtliche Energieverbräuche aufsummiert.

## Resultate

Die Verteilung der totalen Energieverbräuche ist in Abbildung 7 ersichtlich. Die Resultate sind überraschend. Beim Gebäude, welches nach der dänischen Norm BR82 gebaut worden ist, gehen 95% des Energieverbrauchs zulasten der Nutzungsphase. Beim Niedrigenergiegebäude sind es noch 80%, während beim Experimentalgebäude die Nutzung (55%) durch die Erstellung mit 76% übertroffen wird. Im Modell wird angenommen, dass während der Abbruchsphase Energie rückgewonnen wird. Dieser Anteil wird als negativer Beitrag gewichtet.

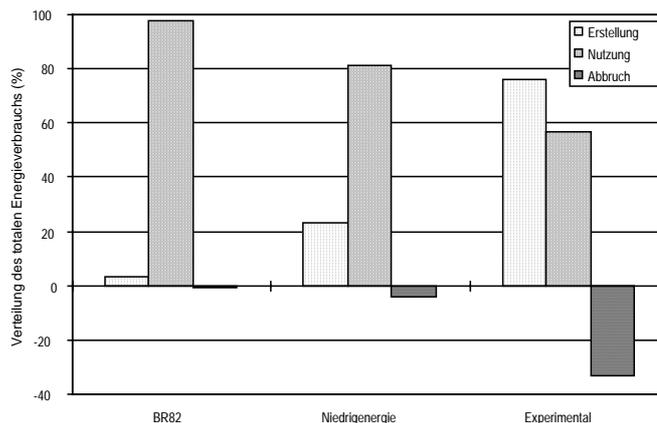


Abbildung 7: Die Verteilung der Energieverbräuche ändert sich bei den Niedrigenergiehäusern stark zulasten der Erstellungsphase.

In Zukunft sollen weitere Aspekte in das Modell fließen. So sollen insbesondere nichterneuerbare Energiequellen, Grundmaterialien, Treibhauseffekt, Versauerung und ökologische Gesundheit einbezogen werden.

## Aussagekraft

Beim vorliegenden Fallbeispiel führt der Abbruch immer zu einem negativen Energiebedarf. Es ist fraglich, ob die Ausbeute an eingesparter Energie durch Recycling und der Gewinn an Verbrennungsenergie höher ist als der Energieverbrauch, der durch den gesamten Abbruch, den Transport und die Bereitstellung der jeweiligen Entsorgungstechniken wie Deponierung oder Sortierung verursacht wird. Die Interpretation der Resultate ist ausserordentlich schwierig zu erstellen. Ausserdem ist die Voraussagbarkeit des Recyclings nicht unbedingt gegeben. Die Modellierung wird die Energierückgewinnung bzw. deren Vermeidung durch Recycling tendentiell zu hoch gewichtet. Dies führt zu einer Verzerrung der Resultate im Sinne einer Erniedrigung des tatsächlichen Energieverbrauchs und der daraus resultierenden Emissionen.

### 4.1.5. Fallstudie EPF Lausanne und ifib Universität Karlsruhe

#### Ziele

In der Studie [Kohler 1994] sollte die dort entwickelte Elementenmethode validiert werden. Dazu wurden verschiedene Gebäude aus dem Wohn-, Dienstleistungs- und Industriebereich gemäss der Elementenmethode strukturiert und bezüglich ihrer Umweltbelastung bewertet.

### **Fallbeschreibung**

Rund 100 Gebäude (Wohn-, Dienstleistungs- oder Industriebauten) wurden in [Kohler 1994] untersucht und mit dem Programm ECOPRO die daraus folgenden Umweltwirkungen simuliert. Einzelne Gebäude stammen aus Projekten des IP BAU und der ÖBU. Diese Gebäude wurden dann in alternative Bautechniken modifiziert. Ausserdem wurden die Gebäude virtuell teilweise energetisch verbessert.

### **Annahmen**

Es wurde von einer Lebensdauer von 80 Jahren für die gesamten Gebäude ausgegangen. Elemente oder Elementgruppen, die nicht so lange funktionsfähig sind, werden ersetzt. Die Energie- und Stoffflüsse, die mit diesen Prozessen zusammenhängen, werden der Erneuerungsphase zugeordnet.

### **Methodik**

Der Vergleich wurde mit dem Programm ECOPRO erstellt. Damit kann eine Bilanzierung bezüglich 18 Kategorien vorgenommen werden. Die Kategorien, welche die Umweltbelastung widerspiegeln, sind im wesentlichen aus der CML-Methodik abgeleitet. Betrachtet werden ausserdem noch Umweltbelastungspunkte [BUWAL 1990] sowie kritische Luft- und Wasservolumina [Schaltegger 1992].

### **Resultate**

In Abbildung 8 sind die Resultate der Simulation über alle Gebäude hinweg dargestellt. Die Nutzungsphase überwiegt dabei in den meisten untersuchten Kriterien. In der Kategorie Abfälle sind diejenigen Phasen wichtig, wo die Stoffflüsse hoch sind. Es sind dies insbesondere die Erneuerungs- und die Entsorgungsphase. Für die Kategorie Recycling gilt, dass vor allem während der Herstellungsphase (Wiederbenutzung von Schalungsbretter etc.) und der Erneuerungsphase (Wiederbenutzung von ausgewechselten Elementen) ein hohes Recyclingpotential vorliegt. Es wird davon ausgegangen, dass am Ende der Lebenszeit vom Gebäude nicht mehr viel rezykliert wird.

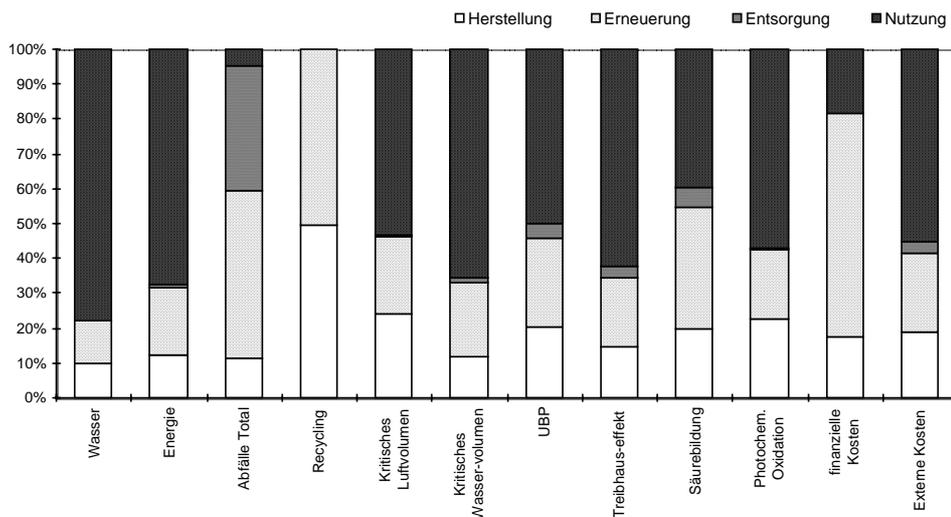


Abbildung 8: Anteile der vier Lebenszyklusphasen pro Kriterium. Untersucht wurden dazu rund 100 verschiedenen Gebäude. (Quelle: [Kohler 1994])

Die Bewertungskriterien Energie, kritisches Wasservolumen, photochemische Oxidation und externe Kosten weisen eine ähnliche Verteilung auf. Die Herstellungsphase veranschlagt 15-20%, die Erneuerungsphase ebenfalls 15-20%, die Nutzungsphase rund 65% und die Entsorgungsphase gut 5% der jeweiligen Belastungen. Interessant ist, wie die externen Kosten im Gegensatz zu den Finanzierungskosten mit der Umweltbelastung korrelieren. Durch Verbesserungen im Bereich Haustechnik und der Bauweisen wird sich mit der Zeit eine Verlagerung zur Herstellungsphase ergeben.

Als weiteres Resultat wurden über alle Gebäude hinweg Mittelwerte der Belastungen errechnet. Die Angaben (Tabelle 15) sind jährliche Werte pro Energiebezugsfläche inklusive Nutzungsphase, unter der Annahme einer Lebensdauer von 80 Jahren. Diese Daten können als Referenz benutzt werden, auch wenn sich die verschiedenen Nutzungsarten unterscheiden werden.

Belastungen total pro Jahr	Einheit	Mittelwert	Anteil in %			
			Herstellung	Erneuerung	Entsorgung	Nutzung
Wasserbedarf	[t/m <sup>2</sup> ]	140.24	15	10	0	75
Energieaufwand	[GJ/m <sup>2</sup> ]	1.40	20	15	0	65
Abfälle Total	[kg/m <sup>2</sup> ]	53.29	27	56	11	7
Recycling	[kg/m <sup>2</sup> ]	2.61	66	34	0	0
Kritisches Luftvolumen	[Mm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	180.56	37	16	0	47
Kritisches Wasservolumen	[1000 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	0.12	19	17	0	64
Umweltbelastungspunkte	[1000 UBp/m <sup>2</sup> ]	43.23	33	20	1	47
Treibhauseffekt	[kg/m <sup>2</sup> ]	67.45	23	16	1	60
Säurebildungspotential	[kg/m <sup>2</sup> ]	0.37	32	28	1	39
Photochemisches Oxydationspotential	[kg/m <sup>2</sup> ]	1.25	35	15	0	50
Direkte Abfälle auf Baustelle	[kg/m <sup>2</sup> ]	0.39	64	36	0	0
Finanzielle Kosten	[sFr91/m <sup>2</sup> ]	194.94	29	52	0	20
Externe Kosten	[sFr91/m <sup>2</sup> ]	33.58	30	18	1	52

Tabelle 15: Mittelwerte der Bewertungskriterien und Stoffflüsse (Die Summen der Anteile können infolge Rundungsfehler über 100% liegen).

### **Aussagekraft**

Durch die Benutzung des sehr modularen Aufbaus der Gebäude mittels Elementenmethode kann die Gebäudesimulation sehr flexibel gestaltet werden. Dies hat enorme Vorteile, denn so kann insbesondere in der frühen Planungsphase leicht die direkte Auswirkung einer Materialwahl sichtbar gemacht werden. Erstaunlich ist jedoch der hohe Anteil der Erneuerungsphase.

## **4.1.6. Fallstudie Sulzer - Escher Wyss-Areal**

### **Ziele**

In der Fallstudie „Sulzer Escher-Wyss“, welche im Rahmen des Studienganges Umweltnaturwissenschaften an der ETH Zürich 1995 durchgeführt worden ist, wurden vier Varianten einer Industrieüberbauung mit einer Ökobilanz hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen untersucht [Scholz 1995]. Durch die ökologische Bewertung sollte eine weitere Entscheidungshilfe für die Gestaltung des Areals angeboten werden. Im Gegensatz zu den bis anhin untersuchten Studien geht es hier nicht nur um ein Gebäude, sondern um ein ganzes Areal.

### **Fallbeschreibung**

Das Industrieareal Sulzer Escher-Wyss (SEW) befindet sich mitten in Zürich im Kreis 5, knapp 1600 Meter nordwestlich des Hauptbahnhofes. Durch die Verlagerung der industriellen Tätigkeit in andere Produktionsstätten wurde eine grosse Fläche für eine neue Nutzung freigegeben. Die Stadt Zürich und die Eignerin des Industrieareals einigten sich in der Folge auf einen privaten Gestaltungsplan, welche die Grobnutzung definiert.

Drei der untersuchten Varianten stammen von Architekturstudierenden der ETH Zürich. Sie wurden innerhalb einer Semesterarbeit konzipiert. Die vierte Variante wurde im Auftrag der Eignerin von einem Architekturbüro erarbeitet. Die Varianten wurden bezüglich ihrer Hauptnutzung benannt nach: Grünraumvariante (viele Grünflächen führen zu einer Vernetzung dieser mit dem nahegelegenen Ökosystem des Flusses Limmat), Variante Kunsthochschule (ein grosser Teil der Umnutzung soll zugunsten einer Kunsthochschule gestaltet werden), Variante WerkStadt (breite Nutzungsverflechtung von Wohnen, Industrie, Kunst und Gewerbe) sowie die durch das Architekturbüro skizzierte Variante Industrienähe Nutzung (Förderung industrieller Tätigkeiten). Problematisch für die durchgeführte Ökobilanzierung ist, dass die Varianten nicht bis ins letzte Detail durchprojektiert worden sind. Verschiedene Annahmen schränken die Aussagekraft beträchtlich ein (siehe auch [Scholz 1995]).

### **Annahmen**

Die Systembeschreibung erfolgt in [Scholz 1995] aufgrund der Angaben aus der Entwurfsphase.

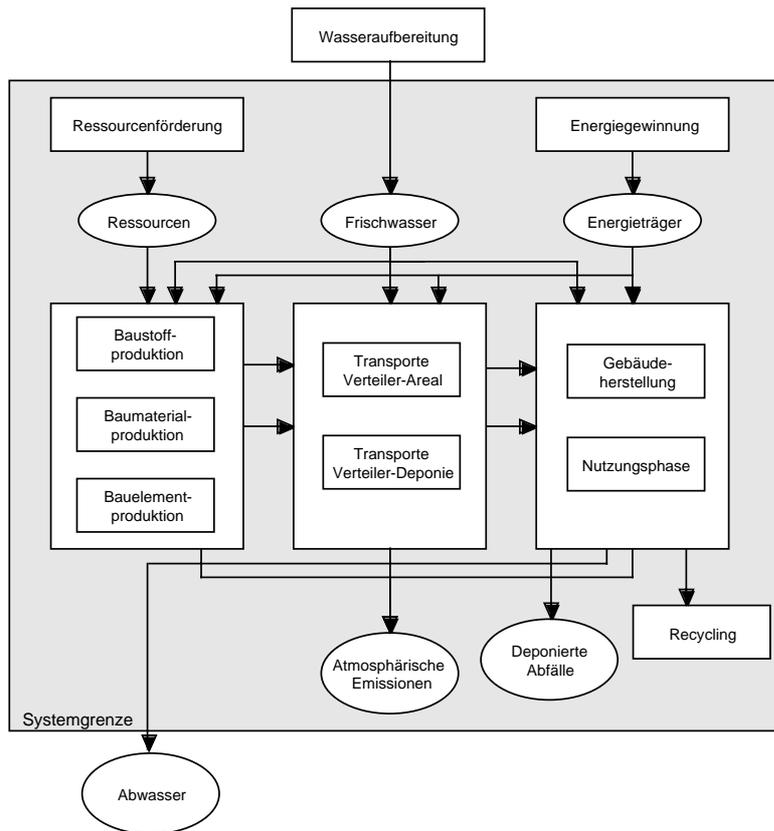


Abbildung 9: System und Systemgrenzen in [Scholz 1995].

Die Systemgrenzen wurden unter der Berücksichtigung der nur kurzen Bearbeitungszeit folgendermassen festgelegt: Gesamter Lebenszyklus der Umnutzung (Neubauen und Renovationen) über 80 Jahre. Verschiedene Aspekte mussten aber vernachlässigt werden: Altlastensanierung, Planungsaufwand, Baustellenbetrieb, gesamter Innenausbau, Wasserverbrauch, Abwasserreinigung, Infrastruktur, Verkehr und Hygiene während der Nutzungsphase.

Die Daten wurden im wesentlichen hinsichtlich der Variantenbeschreibung erhoben. Ein Datensatz eines Architekturbüros gab Auskunft über die Anzahl und Grösse der Bauteile je m<sup>2</sup> Nutzfläche, die SIA-Norm 380/1 über den Verbrauch während der Betriebsphase. Mit Hilfe der SIA-Dokumentation D0123 wurden die Menge und Art der Baustoffe je Bauteil abgeschätzt. Die Datenbank des Programmes SimaPro wurde benutzt für die Bereitstellung von Rohstoff-, Energie- und Transportdaten bezogen auf die Baumaterialien.

### Methodik

In [Scholz 1995] wurde mit Hilfe des Programmes SimaPro 2.1 die Methode der auswirkungsorientierten Klassifizierung nach CML [Heijungs 1992a] verwendet. Es soll hier nicht auf die detaillierten Ergebnisse eingegangen werden. Eine Schlussbewertung der vier Varianten wird nicht vorgenommen, weil die CML-Methode keine Vollaggregation bietet.

## Resultate

Die Resultate werden anhand einer Variante, der Grünraumvariante, dargestellt. Auffallend ist, dass für alle Kategorien mehr als 50% der Umweltbeeinträchtigungen während der Nutzungsphase entstehen. Diese wurde wie erwähnt auf 80 Jahre bestimmt.

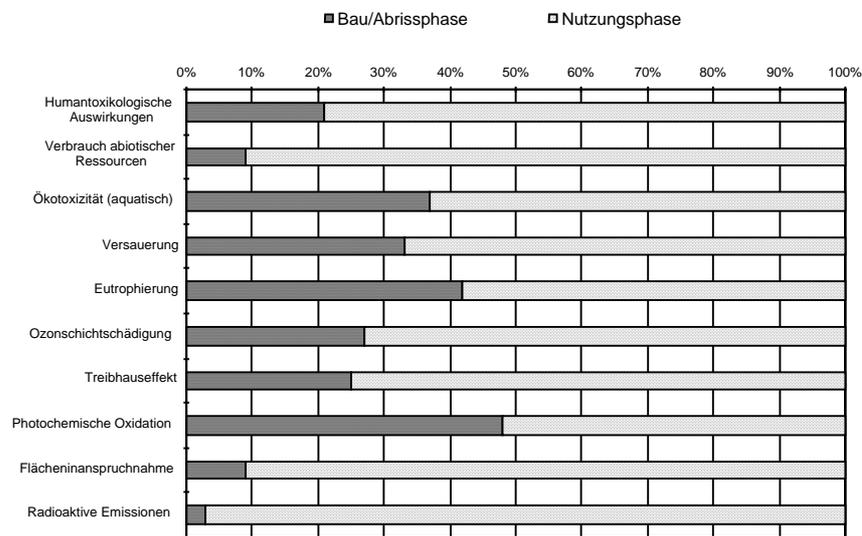


Abbildung 10: Aufteilung von Bau-Abriss und Nutzungsphase für die Grünraumvariante.

- Bei der Berechnung der Humantoxizität fallen einige Schadstoffe ins Gewicht. Die wesentlichsten sind Stickoxide und Schwefeldioxid, welche bei der Verbrennung von nichterneuerbaren Energieträgern anfallen.
- Für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen ist Wasser, insbesondere als Verwendung von Kühlwasser in Kernkraftwerken, verantwortlich.
- Die aquatische Ökotoxizität entsteht durch Emission von Schwermetallen sowie durch Öl- und Phenolverluste. Diese Emissionen sind den Bau- und Siedlungsabfällen zuzuschreiben.
- Für die Versauerung sind Stick- und Schwefeloxide verantwortlich. Diese Emissionen entstehen hauptsächlich während der Zementherstellung, der Verfeuerung von Holzschnitzeln sowie dem Verbrauch von Diesel für Lastwagen, Baumaschinen und Aggregatoren.
- Die obigen Stickoxide tragen auch wesentlich zur Eutrophierung bei. Hier ist besonders die Bau/Abrissphase relevant.
- Das Potential zur Ozonschichtschädigung wird verursacht durch HCFC-22-Emissionen bei Wärmepumpen und Halonemissionen als Flammenschutz.
- Hauptverantwortlich beim Treibhauspotential sind CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Zementherstellung, in der Backsteinherstellung und im Verbrauch fossiler Energieträger.
- Der Löwenanteil bei der Bildung photochemischer Oxidantien machen die flüchtigen organischen Kohlenwasserstoffe aus, die bei der Abfackelung in der Öl- und

Gasförderung und dem Dieserverbrauch entstehen. Knapp 50% der Emissionen werden durch die Bauphase gebildet.

- Die Flächeninanspruchnahme wird neben dem Kiesabbau und dem Deponieren hauptsächlich durch die Stromgewinnung hervorgerufen.
- Die radioaktiven Emissionen können durch den hohen Stromverbrauch und den dazu erforderlichen Brennelementen hauptsächlich der Nutzungsphase zugeschrieben werden.

Auffallend im Vergleich ist laut den Autoren, dass die Unterschiede zwischen den vier Varianten ziemlich klein sind. Die Varianten behalten bei jeder Wirkungskategorie dieselbe Reihenfolge ein. Dies ist zu einem guten Teil dem zuzuschreiben, dass für alle Varianten die gleichen Annahmen bezüglich der Art der verwendeten Baumaterialien gemacht wurden. Deshalb wird die Menge der verbauten Materialien ausschlaggebend.

### **Aussagekraft**

Wesentliche Unterschiede in der ökologischen Verträglichkeit sollten sich nebst Bauvolumen und -fläche aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Baumaterialien, Konstruktionsweisen und Installationen ergeben. Dies ist aber im vorliegenden Beispiel nicht gegeben. Für alle Varianten wurden die identischen Baumaterialien und Konstruktionsweisen angenommen, die Installationen sogar vernachlässigt.

Im weiteren müssen die Resultate kritisch betrachtet werden, da während der Nutzungszeit keine Erneuerungen vorgesehen sind. So verfälscht sich das Bild ein bisschen zu Ungunsten der Nutzungsphase.

## **4.2. Zusammenfassung**

In Tabelle 16 ist eine Zusammenfassung der oben beschriebenen Fallbeispiele ersichtlich. In allen Fallbeispielen zeigt sich sehr stark, dass die Ökobilanzierung von Gebäuden ein neueres Feld ist. Viele Unsicherheiten und Datenmängel, kombiniert mit der langen Lebensdauer der Gebäude und der daraus resultierenden unsicheren Vorhersagbarkeit von Renovationsausmass und Rückbaubelastung, widerspiegeln sich in der Aussagekraft der einzelnen Fallstudien. Die meisten Resultate sind dementsprechend mit grossen Unsicherheiten behaftet. Tendenzen sind dennoch herauskristallisierbar, auch wenn es zu teilweise stark divergierenden Aussagen kommt.

Fallbeispiel	Art der Bilanz	Relevante Phasen im Lebenslauf	Betrachtete Wirkungskategorien
Hebel Haus	Energiebilanz über die Lebensdauer eines einzelnen Hauses	Nutzungsphase überwiegt	Energieverbrauch
Ingenieur Schule beider Basel	Vergleich verschiedener Dämmvarianten für ein Doppelfamilienhaus	Nutzung überwiegt beim Energieverbrauch, Neubau beim Stofffluss, Erneuerung bei ODP, Versauerung, UBP und Kosten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Totaler Stofffluss</li> <li>• Fluss an nicht erneuerbaren Energie</li> <li>• Ozonzerstörungs-potential</li> <li>• Versauerung</li> <li>• Umweltbelastungspunkte</li> <li>• Kosten</li> </ul>
Fallstudie Quack	Vergleich von 5 Niedrigenergiehäuser gegenüber einem Referenzhaus	Erneuerungsphase überwiegt deutlich (wird das Element Innenwände vernachlässigt, weniger deutlich)	bis anhin <ul style="list-style-type: none"> <li>• UBP</li> <li>• Treibhauseffekt</li> <li>• Abfälle</li> </ul>
SIB	Vergleich von drei Häusern mit unterschiedlichem Energieniveau	Beim Standard- und beim Niedrigenergiehaus überwiegt die Nutzungsphase, beim Experimentalhaus die Erstellung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energieverbrauch</li> </ul>
ifib Universität Karlsruhe	Vergleich 100 verschiedener Gebäude	Nutzungs- und Erneuerungsphase überwiegen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserbedarf</li> <li>• Energiebedarf</li> <li>• Abfälle total</li> <li>• Recycling</li> <li>• Kritisches Luftvolumen</li> <li>• Kritisches Wasservolumen</li> <li>• UBP</li> <li>• Treibhauseffekt</li> <li>• Versauerung</li> <li>• Photochem. Oxidation</li> <li>• finanzielle Kosten</li> <li>• Externe Kosten</li> </ul>
Sulzer Escher - Wyss-Areal	Vergleich verschiedener Varianten einer Arealüberbauung	Nutzungsphase ist für über 50% der Umweltbeeinträchtigungen verantwortlich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Humantoxizität</li> <li>• Abiot. Ressourcenverbr.</li> <li>• Ökotoxizität</li> <li>• Versauerung</li> <li>• Eutrophierung</li> <li>• Ozonschichtabbau</li> <li>• Treibhauseffekt</li> <li>• Photochem. Oxidation</li> <li>• Flächenverbrauch</li> <li>• Radioaktive Emissionen</li> </ul>

Tabelle 16: Zusammenfassung der Resultate aus den verschiedenen Fallstudien.

Bemerkenswert ist, dass keine Lebensphase identifiziert werden kann, welche in allen Fallstudien die relevanteste ist. Bei denjenigen Studien, welche das Programm Ecopro als Datengrundlage und Berechnungsmodell verwenden, gilt im Durchschnitt die Erneuerungsphase als die Lebensphase mit dem höchsten Anteil an Umweltbelastung. Im Gegensatz dazu wird bei den anderen Fallstudien der Nutzungsphase die höchste Umweltbelastung zugewiesen. Dies ist in folgender Tabelle ersichtlich:

Fallstudie	Wirkungskategorie	Herstellung und Bau	Nutzung	Erneuerung	Abbruch
Hebel	Energieverbrauch	13%	86%	0.2%	0.6%
Ingenieur Schule beider Basel	UBP	10%	10%	80%	-
	Versauerung	15%	15%	70%	-
Quack	UBP	17% - 19%	5% - 9%	74% - 78%	< 1%
SBI	Energieverbrauch	5% (Standard)	96%	in	-1%
		22% (N-energ.)	80%	Herstellung/Bau	-2%
		76% (Exper.)	55%	enthalten	-31%
ifib Universität Karlsruhe	Wasserbedarf, Energiebedarf, Krit. Wasservolumen, Treibhauseffekt	15% - 25%	60% - 75%	10% - 20%	<1%
	Krit. Luftvolumen, UBP, Versauerung, Photochem. Oxidations-potential, Externe Kosten	30% - 40%	40% - 50%	15% - 20%	1%
	Recycling, Direkte Abfälle auf Baustelle	64% - 66%	0	34% - 36%	0
	Abfälle total	27%	7%	56%	11%
	Finanzielle Kosten	29%	20%	52%	0
SEW-Areal	Radioaktivität, Verbrauch abiot. Ressourcen	4% - 10%	90% - 96%	in Herstellung/Bau enthalten	nicht betrachtet
	Humantox., Treibhauseffekt, Ozonschichtzerstörungspot.	21% - 27%	73% - 79%	in Herstellung/Bau enthalten	nicht betrachtet
	Ökotoxikologie, Versauerung, Eutrophierung	33% - 41%	59% - 67%	in Herstellung/Bau enthalten	nicht betrachtet
	Photochem. Oxidationspotential	48%	52%	in Herstellung/Bau enthalten	nicht betrachtet
Referenzhaus Regener	Abfall	7.4%	29.9%	2.4%	60.3%
	Ozonschichtzerstörungs-potential	20.8%	77.4%	1.8%	0%
	Ökotoxikologie	47.3%	51.8%	0%	0.9%
	Energieverbrauch, Wasserverbrauch, Ressourcenverbrauch, Radioaktive Abfälle, Treibhauseffekt, Versauerung, Eutrophierung, Humantoxikologie, Geruch	0% - 8%	90% - 100%	0% - 2%	0% - 1%

Tabelle 17: Anteile der Lebensphasen in den verschiedenen Fallstudien (Summen über 100% können sich infolge Rundungsfehler ergeben).

Diese Inkonsistenz muss in weiteren Arbeiten geklärt werden. Es ist von grosser Wichtigkeit zu wissen, ob eine relevanteste Lebensphase für Gebäude identifiziert werden kann, auf welche das

Augenmerk in einer Ökobilanzierung gelegt werden soll. Ist dies nicht der Fall, kann keine vereinfachte Bilanzierung durchgeführt werden und jedes Gebäude muss für sich betrachtet werden. Im Extremfall kann sogar der Sinn einer Ökobilanz für Gebäude in Frage gestellt werden. Dies, wenn die Nutzungsphase deutlich als am umweltbelastendsten identifiziert wird. Eine akribische Erfassung aller Baumaterialien und deren Datenerhebung wird dann absolut überflüssig.

### 4.3. Konsequenzen

Aus den untersuchten Fallbeispielen ergeben sich folgende (nicht abschliessende) Konsequenzen für die Ökobilanzierung von Gebäuden.

- Wie auch auf theoretischer Ebene liegt bei den Fallbeispielen kein Konsens über die zu verwendende funktionale Einheit vor. Einerseits ist dies nicht weiter erstaunlich. Jede Ökobilanz verfolgt ihren eigenen Zweck und verfügt demzufolge über eine sehr spezifische Bezugsgrösse. Andererseits ist dieses Erkenntnis auch mit Problemen verbunden. Es ist kaum möglich, einen Vergleich von Gebäuden über verschiedene Studien hinweg durchzuführen.
- Ausgehend von den Fallbeispielen ist es nicht möglich, die relevanteste Phase im Lebenszyklus eines Gebäudes zu bestimmen. Je nach verwendetem Modell wird entweder die Nutzung oder die Erneuerungsphase als wichtigste Umweltbelastung identifiziert. Ein direkter Vergleich zwischen den untersuchten Fallbeispielen ist jedoch nur schwer anzustellen, da die Erneuerungsphase, wie sie in Ecopro eingesetzt wird, in anderen Studien der Erstellungs- oder Bauphase zugeordnet und nicht separat ausgewiesen wird. Eine Vereinheitlichung des Systemaufbaus sollte deshalb angestrebt werden.
- Ein weiterer zu berücksichtigender Punkt ist die unzulängliche Datenlage. Obwohl bereits verschiedene Ökoinventare verfügbar sind, gibt es im Baubereich nach wie vor Hunderte von Materialien, über deren Umweltwirkungen wenig bis nichts bekannt ist. Insbesondere bei den Chemikalien und der Haustechnik ist ein Handlungsbedarf gegeben. Vertiefende Arbeiten sind hier jedoch im Gange.

## 5. Synthese

### 5.1. Anwendung der Ökobilanz-Methodik für Gebäude

Bei Ökobilanzen von Gebäuden ergeben sich einige Besonderheiten. Dies ist in den vorhergehenden Kapiteln ersichtlich (siehe auch [Quack 1997]). Die Systemdarstellung und die Bewertung unterscheidet sich gegenüber anderen Produkten in einigen Punkten. Wie schon mehrmals erwähnt, ist bei Gebäuden die Lebensdauer sehr lang. Gebäude sind oftmals Unikate. Sie sind stark abhängig von der Umgebung, sowohl klimatisch als auch erschliessungstechnisch. Ausserdem treten bei Gebäuden im Gegensatz zu den meisten anderen Produkten Innenraumbelastungen auf. Nachfolgend sollen die einzelnen Punkte besprochen und auf deren Folgerungen eingegangen werden.

#### ***Gebäude sind Einzelanfertigungen***

Gebäude sind in der Regel Unikate. Sie haben eine ganz bestimmte Aufgabe an einem bestimmten Ort während einer bestimmten Zeit zu erfüllen. Demzufolge sind sie kaum zu vergleichen mit anderen Produkten, die oft in grosser Anzahl gefertigt werden. Bei Gebäuden muss eine Vielzahl von Faktoren berücksichtigt werden. Neben der eigentlichen Herstellung beeinflussen auch der Standort, das Klima oder das BenutzerInnenverhalten die Umweltwirkungen, die von einem Gebäude aus resultieren. Ein genau gleich gebautes Haus kann infolge einer anderen Ausrichtung (z. B. ost-west statt nord-süd) an einem klimatisch unterschiedlichem Ort zu einer viel höheren Belastung führen. Die Berechnung eines Referenzgebäudes oder „Durchschnittgebäudes“ ist deshalb eher schwierig durchzuführen (siehe unten).

#### ***Gebäude haben eine lange Lebensdauer***

Die Gewichtung der Lebensdauer fällt bei Gebäuden deutlich anders aus als bei den meisten kurzlebigen Produkten. Vor allem bei Verpackungen oder sonstigen Einweg-Produkten ist die Bedeutung der Nutzungsphase eher klein. Bei Gebäuden hingegen erhält die Nutzungsphase ein grösseres und für manche Wirkungskategorien das zentrale Gewicht. Dies ist teilweise auch in den vorangehenden Fallstudien in Kapitel 4 der Fall.

Problematisch sind Annahmen über die Rückbauphase. Durch die lange Lebensdauer ist eine zuverlässige Prognose praktisch unmöglich. Momentan wird so vorgegangen, dass Recycling und Rückbau entsprechend der heute praktizierten Verfahren einberechnet werden. Die unsichere Vorhersage über die Entwicklung der Technik auf diesem Gebiet innerhalb der nächsten 50 bis 100 Jahren führt zur Frage, inwieweit z. B. Recycling überhaupt in eine Ökobilanz einberechnet werden soll. [Lützkendorf 1997] schlägt dazu die Ermittlung eines „Recycling-Potentials“ vor, welches separat zur Ökobilanz aufgeführt wird (siehe auch Kapitel 3.3.6).

#### ***Gebäude haben einen Standort***

Der Standort hat einen zentralen Einfluss auf die Umweltwirkungen, welche von einem Gebäude ausgehen. Viel machen die klimatischen Bedingungen aus. Ein Gebäude gleicher Bauart kann an Standorten verschiedener Klimazonen zu ganz unterschiedlichen Energieverbräuchen in der Nutzungsphase führen. Je nach vorherrschendem Klima am Standort des Gebäudes werden auch andere Materialien für eine gute Beständigkeit benötigt. Wird ein Gebäude an einem niederschlagsreichen, feuchten Standort aufgestellt, werden die einzelnen Elemente zumeist eine kürzere Lebensdauer aufweisen als an trockeren Standorten.

Ebenfalls eng verknüpft mit dem Standort ist die Erschliessung des Gebäudes. Schon beim Bauen macht sich die Erschliessung, durch öffentlichen und privaten Verkehr stark bemerkbar. Je nach Standort müssen Baumaterialien über grosse Distanzen hinweg transportiert werden und verursachen deshalb rein durch den Transport hohe Umweltbelastungen. Grosse Bedeutung hat die Erschliessung aber vor allem in der Nutzungsphase. Der Verkehr, der durch die NutzerInnen des Gebäudes hervorgerufen wird, ist von hoher Relevanz für die Umweltwirkungen des Gebäudes. Der induzierte Verkehr wird im Moment kaum berücksichtigt. Einen Ansatz zur Einberechnung von Infrastruktur und induziertem Verkehr ist in der Studie von [Cretton 1997] zu finden.

Der Einbezug des Standortes in Ökobilanzen ist methodisch nicht abschliessend geklärt. Eigentlich ist in der Methode der Ökobilanz eine Berücksichtigung des Standortes nur indirekt möglich. Bei lebenszyklusbezogenen Instrumenten sollen Informationen über alle Lebensphasen gesammelt werden. Für jeden Prozess und jede Umweltwirkung die Standortbedingungen zu berücksichtigen, wäre sehr aufwendig. So sind auch die Umweltwirkungen, die betrachtet werden, meist von globaler oder zumindest regionaler Bedeutung. Weiteres zur Divergenz von standortspezifischen Fragen und Lebenszyklusansätzen ist [Hofstetter 1996] zu entnehmen. Die Problematik des Standortbezuges ist in den untersuchten Studien zumeist über den durch das vorliegende Klima erwartete Energieverbrauch in der Nutzungsphase erfasst.

Die Diskussion um den Standortbezug ist nach wie vor nicht abgeschlossen. Sie bietet sich gut für weitere Untersuchungen an.

### ***Gebäude führen zu Innenraumbelastung***

Ähnlich gelagert wie die Problematik um den Standort ist auch die Problematik um die Innenraumbelastung. Interessanterweise wird in keiner Studie genauer auf diese eingegangen. Da in der Ökobilanz die Emissionen neben der Standortunabhängigkeit auch zeitunabhängig betrachtet werden, resultieren nur Totalemissionen. Somit können auch keine Konzentrationen festgelegt werden. In einer an der SETAC-Konferenz in Bordeaux 1998 vorgestellten Studie kommt Åsa Jönsson von der Chalmers University of Technology in Göteborg im wesentlichen aus diesen Gründen zum Schluss, die Innenraumbelastung getrennt neben einer Ökobilanz zu ermitteln und zu dokumentieren.

### ***Gebäude verfügen über eine (subjektive) Ästhetik***

Neben rein naturwissenschaftlichen Aspekten wird in den vorliegenden Studien zum Teil der Versuch gemacht, die Kosten der Gebäude in die Bilanzierungen einzubeziehen. Insbesondere die Höhe der externen Kosten gelten dabei als Indikator für eine umweltgerechtere Lösung. Neben den Kosten sind aber auch noch andere Wertempfindungen eng mit Gebäuden gekoppelt. Wichtiges Element ist hier die Ästhetik des Gebäudes. Der Einbezug dieses sehr subjektiven Elementes in eine Ökobilanz steht ausser Diskussion. Dass es neben der Bilanzierung auch in die Entscheidungsfindung Einlass finden muss, ist jedoch von hoher Wichtigkeit. Nach wie vor werden ökologischer gebauten Häusern zum Teil eine niedrige Ästhetik vorgeworfen. Ob dies wirklich so ist, muss nachgeprüft werden. Die Dissertation von A. Lalive wird sich mit diesem Thema befassen.

## **5.2. Gibt es ein Standard- oder Referenzgebäude?**

Sollen zwei verschiedene Gebäude miteinander verglichen werden, um z. Bsp. eine Entscheidung für eine Investition herbeizuführen, kann zu einer vergleichenden Ökobilanz gegriffen werden. Entscheidend ist dabei die sorgfältige und adäquate Wahl einer funktionalen Einheit. Eine Bilanzierung des gesamten Lebenszyklus' eines Gebäudes wird angestrebt, wenn die Umweltperformance verbessert werden soll. Hier werden die relevantesten Phasen oder Prozesse identifiziert, die Umweltwirkungen der verschiedenen Phasen gegeneinander gewichtet und daraus Verbesserungsvorschläge ausgearbeitet. Wird aber von der Frage ausgegangen, wie gut oder schlecht ein Gebäude effektiv bezüglich dessen Umweltwirkungen ist, d. h. wie gut es im Verhältnis zum Durchschnitt steht, ist ein Standard- oder Referenzgebäude vonnöten.

Natürlich ist es ausgesprochen fragwürdig, ein Durchschnittsgebäude zu definieren. Es kann nur bedingt von einer durchschnittlichen Grösse, Belegung oder Inneneinrichtung, kaum von einer durchschnittlichen Lebensdauer, Nutzungsart oder Bauweise, und schon gar nicht von einer durchschnittlichen Infrastruktur oder einer durchschnittlichen klimatischen Umgebung ausgegangen werden.

Trotzdem soll nachfolgend das Referenzhaus aus [Regener 1997] beschrieben werden. Entgegen den anderen untersuchten Studien, wo das Referenzgebäude zumeist eine mögliche oder eine tatsächlich existierende Variante des untersuchten Gebäudes ist, wird in der Studie [Polster 1995] ein virtuelles Gebäude entworfen und das Benutzerverhalten abgeschätzt. In [Regener 1997] wird dieses Gebäude daraufhin als Standardgebäude vorgeschlagen. Bei einer Untersuchung eines Gebäudes sollten die resultierenden Umweltwirkungen in Verhältnis zu den Umweltwirkungen dieses Referenzgebäudes gesetzt werden. So kann eine Bewertung der Umweltperformance durchgeführt werden. Für das Benutzerverhalten im Referenzgebäude in [Regener 1997] wird von den Annahmen in Tabelle 18 ausgegangen. Das Gebäude selbst besteht aus Beton, isoliert wird es mit Mineralwolle.

• 4-Personenhaus	• Wasserverbrauch: 40 l Warmwasser/Person /Tag, 100 l Kaltwasser/Person/Tag	• Gasverbrauch für Kochen: 700 Wh/Tag und Person
• Lebensdauer = 80 Jahre	• Wassernetzeffizienz = 80%	• Elektrizitätsverbrauch: 700Wh/Tag und Person
• Fläche: 110 m <sup>2</sup> plus 20 m <sup>2</sup> Garage	• Heizung und Warmwasser mit Gas	• Abfall: 1 kg/Tag und Person, 20% gesammeltes Altpapier, 40% gesammeltes Altglas, Abfallverbrennung ohne Wärmerückgewinnung

*Tabelle 18: Annahmen für das Referenzgebäude. Die genauen Ausmasse des Referenzgebäudes sind in [Regener 1997] beschrieben.*

Mit dem Programm EQUER [Polster 1995] wurden aus den obigen Annahmen die Umweltauswirkungen berechnet. Weitere Referenzgebäude für Schulen, Spitäler etc. könnten so auch bestimmt werden.

Impact	Einheit	Konstruktion	Nutzung	Renovation	Abbruch
Energie	GJ	335.1	13'223.2	46.4	12.4
Wasser	m <sup>3</sup>	282.7	22'323.4	0.1	5.5
Ressourcen	E-9	0.0	89.7	0.0	0.0
Abfall	teq	20.0	81.3	6.6	164.2
Radioakt. Abfall	dm <sup>3</sup>	0.3	24.7	0.0	0.0
GWP 100	CO <sub>2</sub>	26.5	454.4	2.2	0.8
Versauerung	kg SO <sub>2</sub>	161.8	1'888.7	30.4	8.4
Eutrophierung	kg PO <sub>4</sub>	18.6	229.9	3.8	1.3
Ökotoxikologie	m <sup>3</sup>	528'713.4	578'303.9	225.5	10'123.4
Humantoxikologie	kg	22.6	2'367.5	127.1	12.0
ODP	kg	25.8	95.8	2.2	0.0
Geruch	Mm <sup>3</sup>	4.9	27'054.0	0.0	0.9

*Tabelle 19: Umweltauswirkungen des Referenzgebäudes aus Regener.*

Natürlich ist es von Bedeutung, welche Annahmen für das Referenzgebäude benutzt werden. Werden aber alle weiteren Untersuchungen mit dem Referenzgebäude verglichen, ist der Einfluss der Annahmen nicht mehr so hoch. Die Frage, die dann bleibt ist, wie hoch der Referenzzustand sein soll, d. h. wo der "Nullpunkt" liegen soll.

Ein weiterer interessanter Punkt in der Diskussion um Referenz- bzw. auch Durchschnittgebäude ist die Eingliederung von Gebäuden in andere Ökobilanzen. Oft sollten Gebäude nämlich als Infrastruktur in die Bilanzierung von verschiedenen Produkten oder Prozessen einbezogen werden (wie z. Bsp. Bahnhöfe, Lagerhallen etc.). Hier wären Durchschnittswerte gefragt. D. h. es müssten Durchschnittszusammensetzungen berechnet werden, welche je nach Grösse der einzubettenden Gebäude hochmultipliziert werden könnten.

## 5.3. Relevante Faktoren für umweltgerechtes Bauen

### 5.3.1. Aus methodischer Sicht

In Kapitel 3.3 sind die Studien mit teilweise methodischem Inhalt auf die benutzten Wirkungskategorien untersucht worden. Schon bei der Betrachtung einer relativ kleinen Anzahl an Studien kann wie in [Regener 1997] die Schlussfolgerung gezogen werden, dass momentan keine einheitliche Betrachtungsweise der Umweltwirkungen von Gebäuden vorhanden ist.

Während die Potentiale zum Treibhauseffekt, zur Versauerung und zur Bildung photochemischer Oxidantien sowie der Energieverbrauch ziemlich einheitlich in die Betrachtung einbezogen werden, sind die weiteren Wirkungskategorien nicht in allen Studien vertreten.

Aus diesem Mangel an Konsens ist es schwierig, aus methodischer Sicht die relevanten Faktoren für umweltgerechtes Bauen zu identifizieren. Es kann nicht abschliessend bestimmt werden, dass die Hauptbelastungen durch den Energieverbrauch herrühren, nur weil z. B. in einer Studie der Energieverbrauch und das Treibhauspotential betrachtet werden.

Auch kann keine Lebensphase als die absolut relevanteste bestimmt werden. Dies hat zur Folge, dass nach dem Stand des Wissens, vielleicht mit Ausnahme der Entsorgung, keine Phasen vernachlässigt werden dürfen.

### 5.3.2. Aus Sicht der Fallbeispiele

Wie im methodischen Teil ist auch bei den Fallbeispielen kein Konsens über die zu verwendenden Wirkungskategorien ersichtlich. Während einige Studien sich vor allem auf die Erfassung der Energieverbräuche limitieren, berücksichtigen andere sämtliche Wirkungskategorien, wie sie von der CML-Methodik vorgeschlagen werden. Dies ist im Kapitel 4.2 in der Tabelle 17 gut ersichtlich.

Auch ist es kaum möglich, die relevanteste Phase zu bestimmen. Zwar stimmen für einzelne Wirkungskategorien die wichtigste Lebensphase über verschiedene Studien hinweg überein. Doch schwankt das Ausmass, d. h. der Anteil der bestimmten Phase an der Gesamtbelastung, teilweise so stark, dass eine genaue Aussage sehr relativiert wird. Zum Beispiel kann für den Energie- und Wasserverbrauch die Nutzungsphase am wichtigsten taxiert werden. Der Anteil liegt jedoch zwischen 60% und 100% der Gesamtbelastung.

Übereinstimmungen können auch für die Radioaktiven Abfälle, Ökotoxikologie und Ozonschichtzerstörungspotential gefunden werden. Keine Übereinstimmungen liegen jedoch für die restlichen Wirkungsklassen vor. Insbesondere bei den Umweltbelastungspunkten werden völlig andere Phasen am relevantesten gewichtet. Insofern werden auch bei den Fallbeispielen die Erkenntnisse aus den methodischen Studien gestützt.

### 5.3.3. Aus Sicht der ExpertInnen

Die Dissertation von Annick Lalive hat unter anderem das Ziel, die umweltrelevanten Faktoren im Bauwesen zu bestimmen. Dazu wurden mittels eines Fragebogens ExpertInnen aus dem Bauwesen zu verschiedenen Punkten in Bezug zu ökologischem Bauen befragt. Eine Frage umfasste dabei die Kenntnisse der AkteurInnen über die Ökobilanzierung, insbesondere über die verschiedenen Wirkungskategorien und vollaggregierenden Bewertungsmethoden:

**Fragestellung:**

Das Planungsinstrument, mit welchem ich zur Zeit arbeite, basiert auf der Ökobilanzmethodik. Dort werden die Auswirkungen auf die Umwelt mit den unten aufgelisteten Begriffen benannt. Welche dieser Begriffen kennen Sie, welche sind Ihnen unbekannt oder nur vage bekannt?

**Wirkungen:**

Ozonabbau, Treibhauseffekt, Sommersmog, Wintersmog, Versauerung, Überdüngung, Bedarf an nichterneuerbaren energetischen Ressourcen, Bedarf an erneuerbaren, energetischen Ressourcen, Abwärme, Radioaktive Strahlung, Ökotoxizität, Humantoxizität, Externe Kosten, Umweltbelastungspunkte, Eco-Indicator 95

Abbildung 11 zeigt, dass die Kenntnisse über die Wirkungskategorien und Bewertungsmethoden in fünf Bereiche eingeteilt werden können. Als durchgehend gut bekannt können die Wirkungskategorien Abwärme und Treibhauseffekt gelten. Als bekannt bis gut bekannt bei den Fachleuten dürfen die Wirkungskategorien nichterneuerbare energetische Ressourcen, erneuerbare energetische Ressourcen, Ozonschichtabbau, Sommersmog und Radioaktivität gelten. Bekannt sind Überdüngung, Wintersmog, externe Kosten und Versauerung. Die Bewertungsmethode UBP mit den Umweltbelastungspunkten, die Ökotoxizität sowie die Humantoxizität sind vage bekannt bis bekannt. Einzig die Bewertungsmethode Eco-Indicator 95 ist fast nicht bekannt.

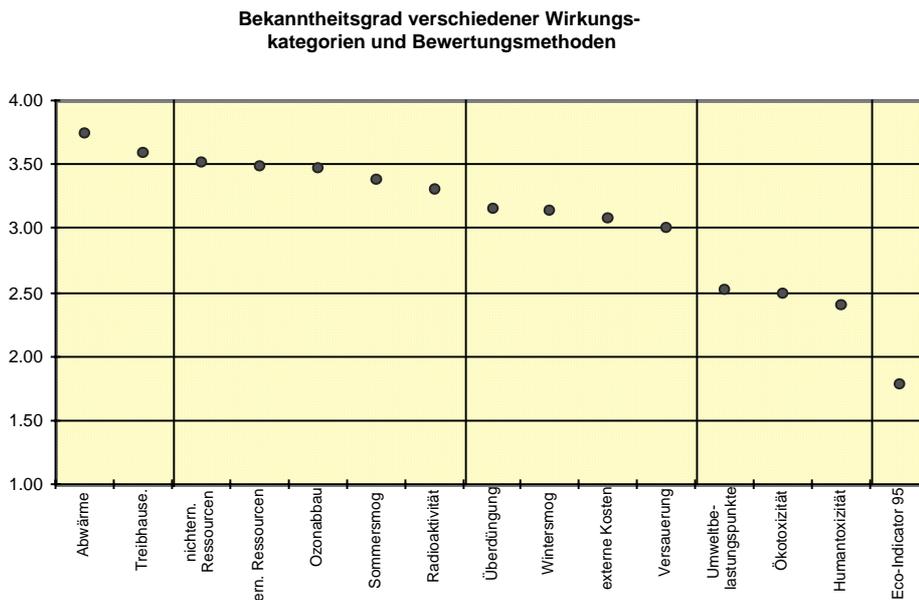


Abbildung 11 Deutlich am bekanntesten ist die Wirkungsklasse Abwärme. Legende: 1: unbekannt, 2: vage bekannt (Ich habe schon davon gehört, kann aber niemandem erklären, was es ist.), 3: bekannt (Ich weiss so ungefähr, was es ist.), 4: gut bekannt (Ich kann jemandem genau erklären, was es ist).

Hierbei handelt es sich um eine relativ einfache Einteilung der Kenntnisse der AkteurInnen im Bauwesen. Es ist jedoch feststellbar, dass offensichtlich eine Lücke zwischen den bekannten und den in der Theorie verwendeten Wirkungskategorien besteht.

Die befragten AkteurInnen stehen in der Bauplanung und -durchführung vor Entscheidungen mit "ökologischer" Tragweite und stellen somit die eigentlichen AdressatInnen einer Ökobilanz von Gebäuden dar. Falls keine Vollaggregation der einzelnen Wirkungsklassen erfolgen soll, d. h. falls eine Gewichtung der betrachteten Wirkungsklassen durch die EntscheidungsträgerInnen durchgeführt werden soll, müssen diese auch viel bekannter sein. Ansonsten sind die AkteurInnen sicherlich überfordert. Der Nutzen einer Ökobilanz für die Entscheidungsfindung schwindet dann sicherlich sehr stark.

## 5.4. Zusammenfassung

Werden die Erkenntnisse aus methodischer Sicht, aus der Sicht der Fallbeispiele und aus der Sicht der befragten Experten zusammengeführt, ergibt sich ein Raster mit einer Einteilung der Wirkungsklassen (siehe Abbildung 12). Aufgeführt in diesem Raster sind insbesondere diejenigen Wirkungsklassen, welche in der Befragung untersucht worden sind. Diese können eingeteilt werden in sehr gut bekannt, bekannt und mässig bekannt. In einer zweiten Achse erfolgt eine

Einteilung bezüglich der Häufigkeit der Benutzung in den methodischen Arbeiten und den Fallbeispielen.

oft benutzt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Humantoxizität</li> <li>• Ökotoxizität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sommersmog</li> <li>• Eutrophierung</li> <li>• Versauerung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Treibhauseffekt</li> <li>• Ozonschicht- abbaupotential</li> <li>• Energieverbrauch</li> </ul>
selten benutzt		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wintersmog</li> <li>• Radioaktivität</li> <li>• Externe Kosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abwärme</li> </ul>
	mässig bekannt	bekannt	sehr gut bekannt

Abbildung 12: Einteilung der im Fragebogen erwähnten Wirkungsklassen bezüglich ihrer Bekanntheit und ihrer Benutzung.

Aus Abbildung 12 folgt, dass gewisse Divergenzen vorhanden sind. Einerseits setzen ExpertInnen ihnen bekannte Wirkungskategorien wie Abwärme oder Wintersmog, Radioaktivität und externe Kosten nur selten ein. Andererseits werden in den Studien Wirkungskategorien wie Human- und Ökotoxizitäten oft benutzt, welche den Fachleuten aber nur mässig bekannt sind.

Hier zeigt sich somit eine weitere Schwierigkeit. Neben der Tatsache, dass in der Ökobilanz-Fachwelt kein Konsens über die zu verwendenden Wirkungsklassen herrscht, stellt sich die Frage, ob die benutzten Klassen in der Bauwelt denn überhaupt bekannt sind.

**Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass...**

¥ sich eine ganze Reihe von Instituten und Forschungsgruppen mit der Ökobilanzierung von Gebäuden beschäftigen. Als führend in Europa können die Ergebnisse des ifib Karlsruhe sowie die Anstrengungen der Ecole des Mines in Paris betrachtet werden. Die Erkenntnisse dieser Gruppen sind erheblich in die Regener-Studie eingeflossen.

- ¥ verschiedene internationale Projekte im Baubereich bearbeitet werden. Zu nennen ist hier insbesondere das 1997 abgeschlossene Regener-Projekt, welches sich um die Entwicklung einer europäischen LCA-Methodik für Gebäude bemüht hat. Die Ergebnisse basieren jedoch zum grössten Teil auf den Arbeiten von [Kohler 1994] und [Polster 1995]. Die Ökobilanzierung von Gebäuden wird auch im internationalen Projekt IEA-Annex 31 sowie in der SETAC<sup>19</sup> Working Group LCA in the Building Industry bearbeitet.
- ¥ die verschiedenen Arbeiten in den meisten Fällen sehr länderspezifisch sind. Die Datenstrukturen und -erhebungen bauen oft auf nationalen Systemen auf (wie z. B. die schweizerische Elementenkostengliederung). Daraus folgt, dass die Übertragung vieler Daten in andere Studien problematisch werden kann. Hier muss mit grosser Vorsicht die jeweilige Grundlage konsultiert werden.
- ¥ heutzutage keine einheitliche methodische Regeln für die Ökobilanzierung von Gebäuden gelten. Auch wenn sich die meisten untersuchten Arbeiten grundsätzlich an die Vorgaben zur Durchführung einer Ökobilanz, wie sie etwa die SETAC oder die Nordic ausgearbeitet haben, halten, fliessen dennoch methodische Weiterentwicklungen oder Ergänzungen wie z. B. externe Kosten ein. Eine Aussage, welche Aspekte, d. h. welche Wirkungen für Gebäude typisch sind, kann jedoch nicht gemacht werden.
- ¥ die Hauptanstrengungen in der Methodenentwicklung momentan in der möglichst einfachen Modellierung von Gebäuden liegt. Dies mutet ein bisschen seltsam an, wenn zumindest in der Hälfte der Studien davon ausgegangen wird, dass die Nutzungsphase die Hauptbelastung darstellt. Es stellt sich die Frage, ob nicht mehr Gewicht auf einen besseren Einbezug der Simulation des NutzerInnenverhaltens oder der Erneuerungstätigkeit gelegt werden müsste.

---

<sup>19</sup> Society of Environmental Toxicology and Chemistry

**Anhang**

## Anhang 1: Beschreibung verschiedener Projekte

### 1. Regener

Im Regener-Bericht wird festgestellt, dass die allgemeine Ökobilanzmethodik auf Gebäude angepasst werden muss, weil diese folgende Eigenschaften haben:

- Gebäude haben die längste Lebenszeit von industriell produzierten Gütern
- Kosten und Energieverbrauch während der Gebrauchsphase übersteigt die anfänglichen Investitionen um einiges
- Komplizierte Verhältnisse herrschen zwischen den Initial- und den laufenden Kosten, die ganz von der Gebrauchsart, Unterhaltstrategien, Dauerhaftigkeit der Gebäude abhängen
- Vergleiche zwischen Gebäuden sind wegen ihrer Spezifitäten schwierig anzustellen
- Sehr viele Akteure sind während der Lebenszeit eines Gebäudes beteiligt.

Es ist deshalb nicht zulässig, nur alle einzelnen Materialien und Komponenten zu betrachten. Ausschliesslich ganze Gebäude bilden eine kohärente funktionale Einheit.

In der Betrachtung von Gebäuden existieren aber nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische Ansätze wie das Modell 'Life Cycle Costs'. Die Idee der LCC-Analyse wurde durch das US Secretary of Defense entwickelt und besteht darin, die Summe aller Kosten während der Lebensphase eines Produktes zu betrachten. Vor allem schwedische und britische Forschungsgruppen haben diese Modellrechnungen etabliert. Grosses Problem bei allen bisherigen Ergebnissen ist jedoch, dass die externen Kosten in keiner Art und Weise integriert worden sind.

Wenn mit einer LCA verschiedene Produkte miteinander verglichen werden sollen, ist es sehr wichtig, dass diese Produkte auch die gleiche Funktion ausüben. Die funktionale Einheit muss dementsprechend dem Analyseziel entsprechen. In der Wahl der funktionale Einheit wird vorgeschlagen, dass generell nur ganze Gebäude als funktionale Einheiten genommen werden sollen. Bei einem Vergleich von verschiedenen Gebäuden kann eine Einheit Wohnfläche ( $1 \text{ m}^2$ ) als funktionale Einheit benutzt werden. Für bestimmte Typen von Gebäuden wie Spitäler, Schulen, Hotel etc. ist es je nachdem auch sinnvoll, andere funktionale Einheiten wie Zimmer, Betten, Laborplätze etc. zu verwenden.

Die Definition eines Gebäudesystems beinhaltet das Gebäude selbst, den Standort, die Gebäudeherstellung, den Unterhalt und die Nutzung. Ein Gebäude kann generell als eine Überlagerung von verschiedenen Flüssen (physikalische, informelle und finanzielle) und Aktivitäten bezeichnet werden. All diese Flüsse und die damit verknüpften Prozesse sind zeitgebunden. Die Betrachtungsperioden müssen explizit angegeben werden. Als mögliche Zeitperioden kommen in Frage:

- 1 bis 3 Jahre: Design und Bau des Gebäudes
- 3 bis 5 Jahre: Kurzfristiger Unterhalt und Nutzung
- 10 bis 15 Jahre: Mittelfristige Nutzung und Teilersatz
- 30 bis 50 Jahre: Langfristige Nutzung und Gesamtrenovation
- 80 bis 120 Jahre: Geschätzte Lebensdauer für gängige Gebäude
- über 150 Jahre: Geschätzte Lebensdauer für Monumente

Im Rahmen des Regener-Projektes wurde durch die Ecole de Mines de Paris beschlossen, ein Modell eines Gebäudes und all der dazugehörenden Elemente zu strukturieren, das die objektorientierte Berechnung eines Inventars erlaubt. Die Objekte werden beschrieben, indem Angaben zu den technischen Elementen des Gebäudes (Materialien, Komponenten etc.), den Prozessen (Transport, Energieverbrauch, Wasserverbrauch, Abfallverwertung, etc.), dem Standort (Innenraumqualität etc.) und den Umweltindikatoren (Inventare, Energie- und Wasserfluxe, etc.) geliefert werden. Das Modell ist in einigen Bereichen wie der Konstruktion (wo nur die Materialherstellung und deren Zusammenführung berechnet wird) oder dem Abbruch noch nicht voll ausgereift und wird in einer weiteren Phase ausgebaut.

Wirkungsbilanzen von Gebäuden:

Die Betrachtung von Umweltauswirkungen von Gebäuden ist ein Hauptanliegen des Regener-Projektes. Gemäss ISO 14040 hat man, wenn man die LCA-Technik für die Bestimmung der Umweltauswirkungen von Gebäuden benutzt, verschiedene Schritte zu durchlaufen:

- Aufstellen eines Inventars von relevanten Inputs und Outputs ins und aus dem System (Sachbilanz)
- Auswertung der potentiellen Auswirkungen in die Umwelt, die von diesen In- und Outputs ausgehen (Wirkungsbilanz). Die Inventardaten werden verschiedenen Wirkungskategorien zugewiesen (Klassifikation) und in Auswirkungen umgerechnet (Charakterisierung). Anschliessend folgt, falls nötig und aussagekräftig, eine Aggregation der Resultate der Charakterisierungsphase (Valuation).
- Interpretation der Resultate der Sach- und Wirkungsbilanz in Bezug auf die Ziele der Studie.

Innerhalb der verschiedenen Methoden für die Bestimmung von Umweltauswirkungen von Gebäuden können verschiedene Umweltindikatoren definiert werden. Diese Indikatoren können zwei Kategorien zugeteilt werden, der Aussenumwelt (Verbrauch von Materialressourcen, Luftverschmutzung, Wasser- und Bodenverschmutzung, Abfallproduktion, Toxizität) oder Innumwelt (Gesundheit, Komfort). Einige Methoden schlagen vor, beide Kategorien in die Betrachtung zu ziehen, die Lebenszyklusanalyse impliziert aber einen globalen Ansatz. Demzufolge werden innenraumbezogene Auswirkungen nicht betrachtet. Ausserdem werden die Auswirkungen als standort- und mediumunabhängig behandelt, d. h. die Inventardaten werden auch nicht als Konzentrationen gehandelt.

Wird die LCA-Methodik für Gebäude angewandt, müssen die oben genannten Indikatoren so gewählt werden, dass sie die Auswirkungen eines Gebäudes in angemessener Weise abzubilden vermögen. Durch Regener werden vorgeschlagen:

- Verbrauch von natürlichen Ressourcen:
  - Wasserverbrauch in m<sup>3</sup>
  - Primärenergieverbrauch
  - Elektrizitätsverbrauch in kWh
  - Landverbrauch in m<sup>2</sup>/Jahr
- Globale Verunreinigung:
  - Treibhauseffekt GWP in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente
  - Ozonschichtabbau ODP in kg CFC-11-Äquivalente
- Wasser- und Bodenverschmutzung:
  - Versauerungspotential AP in kg SO<sub>2</sub>-Äquivalente
  - Eutrophierung NP in kg Phosphat-Äquivalente
- Abfall:
  - Radioaktiver Abfall
  - Inerter Abfall
  - Gefährlicher Abfall
- Human- und Ökotoxizität:
  - Kanzerogene Substanzen in PAH-Äquivalente
  - Schwermetall in Wasser und Boden in Pb-Äquivalente
  - Winter Smog in SO<sub>2</sub>-Äquivalente
  - Sommersmog in Ethylen-Äquivalente

Für die Normalisierung der Resultate können zwei Vorgehensweisen in Betracht gezogen werden: Einerseits kann wie in Eco-Indicator 95 eine Normalisierung anhand der Einwohner der Niederlande oder Europas vorgenommen werden. Diese Vorgehensweise erlaubt ein Vergleich der Umweltauswirkungen, die ein Gebäude gegenüber anderen industriellen Aktivitäten vorweist. Andererseits kann aber auch anhand eines Referenzgebäudes eine Normalisierung vorgenommen werden. In Regener wird ein solches Referenzgebäude vorgeschlagen.

Die Valuation ist derjenige Schritt in der Ökobilanzierung, in dem die Relevanz der verschiedenen Wirkungskategorien gegeneinander gewichtet wird. Für den Baubereich muss eine Hierarchisierung der anstehenden Umweltprobleme vorgenommen werden:

- Höchste Priorität: Ozonabbau
- Mittlere Priorität: Versauerung, Ressourcenabbau
- Tiefe Priorität: Innenraumqualität, Chemikalien am Arbeitsplatz

Solche hierarchischen Problemstrukturierungen können z. B. bei der Materialauswahl helfen. Da auf europäischer Ebene kein Konsens erreicht wurde, kann von Regener kein eindeutiges Vorgehen vorgeschlagen werden.

## **2. ifib Karlsruhe**

In der Studie „Energie- und Stoffflussbilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer“ [Kohler 1994] werden anhand einer modular aufgebauten Gebäudestruktur einhundert verschiedene Gebäude detailliert erfasst und bezüglich mehreren Bewertungskriterien beurteilt. Jedes Gebäude wurde nach der Elementenmethode strukturiert. Die Elementdaten stammen aus dem Elementenkatalog, die geometrischen Daten und die Konstruktionsbeschreibungen sind den realen Gebäudebeschreibungen entnommen. Daraus wird ein planungsprozessorientiertes, mehrstufiges Bewertungsverfahren vorgeschlagen, das mehrere aggregierte Bewertungsverfahren und charakteristische Stoffflüsse als sogenannt 'paralleles Sichten' des gesamten Problems verwendet.

Im Rahmen der Projekte „Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten“ und OGIP/DATO wurden Baumaterialien für die Schweiz bilanziert. Parallel dazu wurden deutsche Daten im Rahmen des Projektes „KOBEEK“ erhoben.

## **3. EPF Lausanne**

In [Ospelt 1995b] wird eine Methode geschildert, die es erlauben soll, in einer frühen Phase der Gebäudeplanung Abschätzungen über die Auswirkung von Entscheidungen auf die Umwelt machen zu können. Dafür wird das Gebäude hierarchisch gegliedert und wie in [Kohler 1996a] wird auch auf die schweizerische Elementkostengliederung (EKG) zurückgegriffen.

Die EKG des CRB (Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung) wurde zur mengen- und kostenmässigen Darstellung und Analyse von Bauprojekten entwickelt. Angewandt wird sie vor allem in der Planungs- und der Realisierungsphase. Die funktionale Gliederung ermöglicht es, die EKG für ein ökologisches Gebäudeinventar zu übernehmen. Die EKG ist das Grundgerüst der sogenannten Elementenmethode (CRB 1995). Die Gliederung ist hierarchisch strukturiert. Die EKG wird durch einen zweistelligen Code beschrieben. Die erste Ziffer, ein Buchstabe, definiert die sogenannten Elementgruppen. Die zweite Ziffer, eine Zahl, bezeichnet das Element. Die Gliederung berücksichtigt sowohl Kriterien der Funktion als auch der physischen Abgrenzung von Bauwerksteilen. Die weitere Gliederung der Elemente erfolgt nach dem Berechnungselementenkatalog BEK (CRB 1994).

Die sogenannten Teilelemente, die eine typische funktionale Eigenschaft besitzen, werden unabhängig vom betrachteten Gebäude bilanziert. Ausgehend von diesen Teilelementen kann die Bilanz für ein konkretes Gebäude erstellt werden. Die Methode wurde an einem konkreten Gebäude erprobt, und zwar schwerpunktmässig für den Rohbau und die Heizungsanlage. Die Planung war bereits weit fortgeschritten, zum Zeitpunkt der Studie wurde bereits mit dem Bau begonnen. Das inventarisierte Objekt ist Teil einer geplanten und mittlerweile auch gebauten Siedlung mit neun Mehrfamilienhäusern in Bulle im Kanton Freiburg. Die bilanzierte Einheit ist ein

Mehrfamilienhaus mit elf Wohnungen. Neben dem geplanten Gebäude (Standard) wurden mögliche alternative Varianten betrachtet.

In [Tschirmer 1995] wurde ebenfalls versucht, einen praktisch handhabbaren Ansatz für die Ökobilanzierung eines Gebäudes auszuarbeiten. Auf der Grundlage von Bauplänen wurde für eine Gruppe von Wohnhäusern eine detaillierte Gebäudeanalyse vorgenommen. Besonderes Gewicht wurde auf die Betrachtung der Aussenhülle des Gebäudes gelegt. Es konnten diejenigen Abschnitte identifiziert werden, bei denen eine exakte Rechnung unerlässlich ist und jene, bei denen eine gröbere Abschätzung genügt.

## Anhang 2: EKG-Systematik

Die EKG des CRB (Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung) wurde zur mengen- und kostenmässigen Darstellung und Analyse von Bauprojekten entwickelt. Angewandt wird sie vor allem in der Planungs- und der Realisierungsphase. Die funktionale Gliederung ermöglicht es, die EKG für ein ökologisches Gebäudeinventar zu übernehmen. Die EKG ist das Grundgerüst der sogenannten Elementenmethode (CRB 1995). Die Gliederung ist hierarchisch strukturiert. Die EKG wird durch einen zweistelligen Code beschrieben. Die erste Ziffer, ein Buchstabe, definiert die sogenannten Elementgruppen. Die zweite Ziffer, eine Zahl, bezeichnet das Element. Die Gliederung berücksichtigt sowohl Kriterien der Funktion als auch der physischen Abgrenzung von Bauwerksteilen. Die weitere Gliederung der Elemente erfolgt nach dem Berechnungselementenkatalog BEK (CRB 1994).

Elementgruppen können sein:

- A Grundstück
  - A1 Ver- und Entsorgung des Grundstücks
  - A2 Erschliessung des Grundstücks
- B Bauvorbereitung
  - B0 Gemeinsame Baustelleneinrichtung

etc.

## Literatur

- [ADEME 1994] ADEME: Collection, traitement et stockage des déchets ménagers - Etats des techniques, 1994
- [Boustead 1997] Boustead I.: Eco-Profiles of the European Plastics Industry, Report 14: Polymethyl Methacrylate, APME, Brussels 1997
- [BUWAL 1990] BUWAL: Methodik für Ökobilanzen auf der Basis ökologischer Optimierung, Schriftenreihe Umwelt Nr. 133, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern 1990
- [Christophersen 1993] Christophersen E., Dinesen J., Nielsen P.: Life Cycle based Building Design, Proceedings 3rd Symposium Building Physics in the Nordic Countries, Copenhagen 1993
- [Consoli 1993] Consoli F. et al: Guidelines for Life-Cycle-Assessment: A Code of Practice, SETAC, Brussels 1993
- [CRB 1994] CRB: Berechnungselementenkatalog BEK 94, CRB, Zürich 1994
- [Cretton 1997] Cretton P.: Influence du plan quartier sur les reseaux et les impacts environnementaux, Master europeen en architecture et developpement durable, Institut de technique du bâtiment de l'EPFL, Lausanne 1997
- [CSTB 1995] Contrat Plan Construction et Architecture: Evaluation de la qualité environnementale des bâtiments, Rapport final, Paris 1995
- [Dinesen1994] Dinesen, J., Traberg-Borup, S.: An Energy Life Cycle Assessment Model for Building Design, Danish Building Research Institute SBI, Denmark 1994
- [Dinesen 1997] Dinesen, J., Krogh, H., Traberg-Borup, S.: Life-Cycle-Based Building Design, SBI-Report 279, Denmark 1997
- [Fossdal 1995] Fossdal S.: Energy Consumption and Environmental Impact of Buildings in Norway: Life Cycle Assessment, International Energy Agency - Energy Conservation News, Issue 22, 1995
- [Frischknecht 1994] Frischknecht et al: Ökoinventare für Energiesysteme, Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz, 1. Auflage, Zürich 1994
- [Frischknecht 1995] Frischknecht et al: Ökoinventare von Energiesystemen, Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz, 3. Auflage, Zürich 1995
- [Fritsche 1994] Fritsche et al: TEMIS, Total Emission Model for Integrated Systems, Version 2.0, Manual, Öko-Institut, 1994
- [Gay 1996] Gay F.-B., Homem de Freitas J., Ospelt Ch., Rittmeyer P., Sindayigaya O.: Toward a Sustainability Indicator for Buildings (Workshop on Future of the Cities September 16-17, 1996 MIT, Cambridge), LESO-EPFL Lausanne, Lausanne 1996

- [Goedkoop 1995] Goedkoop M.: The Eco-Indicator 95, NOH Report No. 9523, Amersfoort 1995
- [Hebel 1995] Hebel AG: Die 1. Ökobilanz für ein Haus - Unser Baustoff im Gefüge der Umwelt, Hebel Mitteilung, Fürstfeldbruck 1995
- [Heijungs 1992a] Heijungs R., Guinée J., Lankreijer R. M., de Haes H. A. U., Wegener-Sleeswijk A.: Environmental life cycle assessment of products - Guide, Novem, rivm, CML, Leiden 1992
- [Heijungs 1992b] Heijungs R., Guinée J., Lankreijer R. M., de Haes H. A. U., Wegener-Sleeswijk A.: Environmental life cycle assessment of products - Backgrounds, Novem, rivm, CML, Leiden 1992
- [Hofstetter 1996] Hofstetter P.: Der Spagat zwischen standortspezifischen Fragen und Lebenszyklus-Ansätzen, Tagungsband Ökobilanzen im Städtebau; Konzepte für umweltorientierte Bewertungsverfahren, IBO Wien, Wien 1996
- [INFRAS 1995] INFRAS: Ökoinventar Transporte - Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Transportsystemen und den Einbezug von Transportsystemen in Ökobilanzen, INFRAS, Zürich 1995
- [INFRAS 1996] Nachhaltigkeit des Bauens in der Schweiz, Ein Diskussionsbeitrag, Koordinationsgruppe des Bundes für Energie- und Ökobilanzen, Zürich 1996
- [ISO 1995] Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and guidelines, ISO/TC 207/SC 5N 54/CD 14040, Synthesised revised draft 14040, AFNOR 1995
- [Koch 1998a] Koch P., Seiler B.: Umweltauswirkungen von Hochbauprojekten, Instrumente zur Beurteilung ökologischer Auswirkungen des Planungs- und Bauprozesses, Leitfaden für das Planungsteam, Econcept KG, Zürich 1998
- [Koch 1998b] Koch P., Seiler B.: Funktionale Einheiten und Systemgrenzen - Methodikpapier, Econcept KG, Zürich 1998
- [Kohler 1990] Kohler N., Lützkendorf Th.: Energie- und Schadstoffbilanzen bei Niedrigenergiehäusern, Teil 1, Grundlagen, Zwischenbericht, EPFL Lausanne, 1990
- [Kohler 1991] Kohler N., Lützkendorf Th., Holliger M.: Energie- und Schadstoffbilanzen im Bauwesen, EPFL Lausanne, Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, Lausanne 1991
- [Kohler 1992a] Kohler N., Holliger M., Lützkendorf Th.: Regeln zur Datenerfassung für Energie- und Stoffflussanalysen, Handbuch, Lausanne 1992
- [Kohler 1992b] Kohler N., Lützkendorf Th., Holliger M.: Methodische Grundlagen für Energie- und Stoffflussanalysen - Handbuch, Diskussionsbeitrag zum BEW-Projekt "Energie- und Stoffbilanzen von Bauteilen und Gebäuden", Koordinationsgruppe des Bundes für Energie- und Oekobilanzen, 1992

- [Kohler 1994] Kohler N. et al.: "Energie- und Stoffflussbilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer", Schlussbericht Forschungsprojekt BEW, Karlsruhe 1994
- [Kohler 1995] Kohler N. et al: Baustoffdaten - Oekoinventare, TH Karlsruhe, ETH Zürich, Karlsruhe/Weimar/Zürich 1995
- [Kohler 1996a] Kohler et al: OGIP/DATO - Optimierung von Gesamtenergieverbrauch, Umweltbelastung und Baukosten, Schlussbericht BEW Forschungsprojekt, Karlsruhe 1996
- [Kohler 1996b] Kohler et al: KOBEEK - Methode zur kombinierten Berechnung von Energiebedarf, Umweltbelastung und Baukosten in frühen Planungsstadien, Schlussbericht Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Karlsruhe 1996
- [Le Téo 1996] Le Téo: Développement d'un modèle d'aide à l'évaluation et à l'amélioration de la qualité environnementale des produits de construction, Thèse, Université de Savoie, CSTB, Paris 1996
- [Le Téo 1997] Le Téo: Use of LCA for the Measurement of Building Products Environmental Quality, IEA Task 18, A4 - Environmental Impact, CSTB, Grenoble 1997
- [Lützkendorf 1997] Lützkendorf T.: Vorschlag zur Ermittlung und Interpretation eines Recycling-Potentials bei der Beschreibung und Bewertung von Gebäudeentwürfen, Zuarbeit zum Teilthema „Untersuchung von Berechnungsmethoden zur Sachbilanz“, IEA-Annex 31, Entwurf, Institut für ressourcenschonendes Bauen, Bauhaus-Universität Weimar, Weimar 1997
- [Nordic 1995] Lindfors L.-G., Christiansen K., Hoffman L., Virtanen Y., Juntilla V., Hanssen O.-J., Ronning A. et. al.: Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment, Arhus, 1995
- [Ospelt 1995a] Ospelt Ch.: Der direkte und der indirekte Energieverbrauch der Haushalte in der Schweiz - Konzept zur Berechnung unter Verwendung der Input-Output-Analyse, Semesterarbeit in der Gruppe für Energieanalysen ETHZ, Zürich 1995
- [Ospelt 1995b] Ospelt Ch.: Ökobilanz von Gebäuden: Methodik und Anwendung - Unter besonderer Betrachtung von Rohbau und Heizungsanlage, EPFL Lausanne, Lausanne 1995
- [Polster 1995] Polster B.: Contribution a l'étude de l'impact environnemental des bâtiments par analyse du cycle de vie, Thèse de doctorat an der Ecole des Mines de Paris, Paris 1995
- [Quack 1997] Quack D.: Komplexe Zusammenhänge - Ökobilanzen von Gebäuden liefern wichtige Informationen für die Bauplanung, Müllmagazin 2/1997, 1997
- [Quack 1998] Quack D.: Ökobilanzen von Wohngebäuden – Ein Fallbeispiel: Vergleich von sechs Doppelhäusern unterschiedlicher Ausführung, Fallbeispiel in der Dissertation D. Quack, Dissertation in Bearbeitung, Aachen 1998

- [REGENER 1997a] European methodology for the evaluation of environmental impact of buildings: Introduction to Life Cycle Analysis of Buildings, Final Report Part 1, European Commission, Directorate General XII for Science, Research and Development, Programme APAS, 1997
- [REGENER 1997b] European methodology for the evaluation of environmental impact of buildings: Applications of the Life Cycle Analysis to Buildings, Final Report Part 2, European Commission, Directorate General XII for Science, Research and Development, Programme APAS, 1997
- [REGENER 1997c] European methodology for the evaluation of environmental impact of buildings: The Integration of Environmental Assessment in the Building Design Process, Final Report Part 3, European Commission, Directorate General XII for Science, Research and Development, Programme APAS, 1997
- [Richter 1996] Richter K.: Ökobilanz von Fenstern, in: Fassade, Schweizerische Metallunion, S. 17 - 23, Zürich 1996
- [Schaltegger 1992] Schaltegger S., Sturm A.: Ökologieorientierte Entscheidungen in Unternehmen, Ökologisches Rechnungswesen statt Ökobilanzierung: Notwendigkeit, Kriterien, Konzepte, Schriftenreihe des Instituts für Betriebswirtschaft, Wirtschaftswissenschaftliches Zentrum der Universität Basel, Band 27, Verlag Paul Haupt Bern, Bern 1992
- [Scholz 1995] Scholz R., Bösch S., Koller T., Mieg H. A., Stünzi J.: Industrieareal Sulzer-Escher Wyss, Umwelt und Bauen: Wertschöpfung durch Umnutzung, UNS-Fallstudie 95, vdf Hochschulverlag ETH Zürich, Zürich 1995
- [Steiger 1995] Steiger P. et al: Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich 1995
- [Tillman 1994] Tillman A.-M. et al.: Choice of system boundaries in life cycle assessment, in : Journal of Cleaner Production, 1994 Vol. 2 Number 1 pp 21 - 29, 1994
- [Tschirner 1995] Tschirner B.: Démarche pratique pour l'établissement de l'ecobilan d'un bâtiment, Diplomarbeit an der EPF Lausanne, Lausanne 1995
- [Weibel 1995] Weibel T., Stritz A.: Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baumaterialien - Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Hochbaukonstruktionen, Institut für Energietechnik, ETH Zürich, Zürich 1995
- [Zimmermann 1996] Zimmermann P., Doka G., Huber F., Labhardt A., Ménard M.: Ökoinventar von Entsorgungsprozessen, Grundlagen zur Integration der Entsorgung in Ökobilanzen, Gruppe Energie-Stoffe-Umwelt der ETH Zürich, ENET, Zürich 1996