
Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden"

Funktionale Einheit und Systemgrenzen bei Ökobilanzen im Bauwesen

econcept

Zürich

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

Mit Unterstützung des
Bundesamtes für Energie

Februar 1998

Impressum

Projekttitel: IEA CBS Annex 31, "Energy Related Environmental Impact of Buildings"
Titel Teilprojekt: **Funktionale Einheit und Systemgrenzen bei Ökobilanzen 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: **econcept**
Wirtschafts- und Politikberatung in Ökonomie,
Ökologie und Infrastrukturentwicklung
Lavaterstrasse 66
8002 Zürich

Peter Koch
Benno Seiler
Walter Ott

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

1. Auflage, Februar 1998

Den folgenden ExpertInnen möchten wir an dieser Stelle für ihre wertvollen Beiträge und Stellungnahmen danken:

Theres Lahner, Dipl.-Ing., TU Wien, Österreich

Dr. Thomas Lützkendorf, Bauhaus-Universität Weimar, Deutschland

Daniel Peter, dipl. geogr., NDU HSG, Infras AG, Zürich

Christian Pohl, dipl. Natw. ETH

Dr. Klaus Richter, EMPA Dübendorf

Inhalt

1. Einleitung.....	1
2. Vorgehen.....	3
2.1 Auswahl der Fragestellungen	3
2.2 Formales Vorgehen.....	5
2.2.1 Beschreibung der Fragestellung	5
2.2.2 Funktionale Einheit.....	6
2.2.3 Systemgrenzen	7
2.2.4 Struktur der Diskussion in Kapitel 3	13
3. Darstellung anhand ausgewählter Fragestellungen	14
3.1 In welche Gebäudeart soll investiert werden?	14
3.1.1 Beschreibung der Fragestellung	14
3.1.2 Funktionale Einheit.....	14
3.1.3 Systemgrenzen	16
3.2 Vergleich zwischen Gebäuden gleicher Nutzungsart.....	18
3.2.1 Beschreibung der Fragestellung	18
3.2.2 Funktionale Einheit.....	18
3.2.3 Systemgrenzen	22
3.3 Neubau versus Umbau	23
3.3.1 Beschreibung der Fragestellung	23
3.3.2 Funktionale Einheit.....	24
3.3.3 Systemgrenzen	25
3.4 Gebäude und LCI: Weitere methodische Probleme.....	27
3.4.1 Einbezug von Gebäuden in Ökobilanzen	27
3.4.2 Vorzeitiger Nutzungswechsels	32
4. Schlussfolgerungen.....	34
Literatur	36

1. Einleitung

Bei der Erstellung einer Ökobilanz trifft man auf diverse methodische Probleme. Allgemeine methodische Lösungsansätze dazu werden in verschiedenen Leitfäden und Normenwerken ([Consoli 1993], [Lindfors 1995], [ISO 1997]) gegeben - einen guten Überblick über den aktuellen state of the art findet sich in [Frischknecht 1996].

Dieses Papier fokussiert auf die beiden wichtigen Fragestellungen 'funktionale Einheit' und 'Systemgrenzen', die sich während der Phase der 'goal and scope definition' stellen (vgl. dazu z.B. [Lindfors 1995]). Die Bedeutung dieser Fragestellungen sei hier nur kurz nochmals unterstrichen:

- Funktionale Einheit: Sobald Ökobilanzen zu Vergleichen hergezogen werden, muss sichergestellt sein, dass Gleiches mit Gleichem verglichen wird. Dabei wird Gleichheit gewährleistet, falls die Betrachtungsgegenstände die gleiche Funktion erfüllen. Dies erfordert eine präzise Definition der jeweiligen Funktion (vgl. z.B. [Fleischer & Schmidt 1996]).
- Systemgrenzen: Die Glaubwürdigkeit und Wissenschaftlichkeit jeder Ökobilanz steht und fällt mit der Wahl der Systemgrenzen, d.h. mit der Entscheidung, welche Aspekte resp. Teilprozesse entlang des Lebenszyklus in die Ökobilanz einfließen sollten.

Das Ziel der nachfolgenden Ausführungen ist es, für ausgewählte Ökobilanz-Anwendungen im Baubereich diese beiden methodischen Probleme zu diskutieren und in Abhängigkeit der Fragestellung gangbare Lösungsansätze anzubieten.

Aus der Vielzahl der möglichen Fragestellungen im Baubereich wurde das Schwergewicht auf das Einzelgebäude gelegt. Vernachlässigt werden somit mögliche Ökobilanz-Fragen bezüglich Siedlungen, Städten oder Regionen¹; daher fällt der ganze Komplex von Raumordnungs- und -planungsfragen weg. Aber auch Fragestellungen

1 Ein Versuch, das komplexe Zusammenspiel von Gebäuden zu Siedlungen, Städten und Regionen abzubilden, ist ansatzweise in [Howard 1997] auf der Ebene der funktionalen Einheiten vorgenommen worden (vgl. zu dieser Thematik auch [Regener 1997], wo eine Hierarchisierung von Gebäudebestand zu Prozessen skizziert wird).

bezüglich Gebäudeteilen wurden nicht berücksichtigt, u.a. deshalb, weil die Literatur über methodische Probleme bei Ökobilanzen von Bauteilen und/oder Bauprodukten bereits beachtlich gross ist (z.B. [SIA 1995], [Weibel 1995], [Le Téo 1996], [Jönsson 1995], um nur einige zu nennen).

Das Papier wurde im Rahmen des IEA-Annexes 31 "Energy related environmental impact of buildings" von der Schweizer Projektgruppe erarbeitet und anhand von Expertengesprächen vertieft. Es richtet sich an Ökobilanzierer und Ökobilanziererinnen.

Die folgenden ExpertInnen aus diesem Bereich haben zum Entwurf des Textes Stellung genommen:

Theres Lahner, Dipl.-Ing., Doktorandin, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Technische Universität Wien, Dissertation: Materialbewirtschaftung im Bauwesen, Teilbereich Wohnungsbau

Thomas Lützkendorf, Dr.-Ing., Lehrbeauftragter Bauökologie, Institut für ressourcenschonendes Bauen, Bauhaus-Universität Weimar

Daniel Peter, dipl. geogr., NDU HSG, Projektleiter im Bereich Ökobilanzen, Beratungsbüro Infrac AG, Zürich

Christian Pohl, dipl. natw. ETH, Doktorand, Abteilung für Umweltnaturwissenschaften, ETH Zürich, Dissertation: Auch zu präzisiert ist ungenau! Unsicherheitsanalyse in Ökobilanzen und Bewertungsalternativen zu "use many methods"

Klaus Richter, Dr., Abt. Holz, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA, Dübendorf

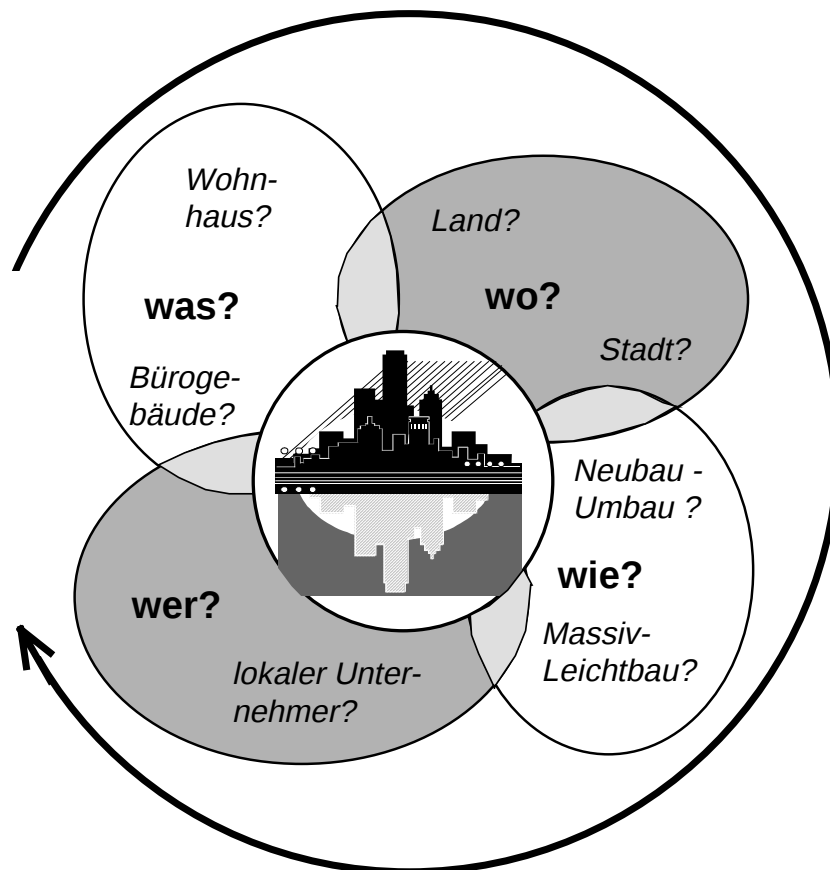
Die Anmerkungen dieser ExpertInnen wurden in die vorliegende Fassung des Textes soweit möglich integriert. Wo sich die Ansichten der ExpertInnen und der Autoren diametral gegenüberstehen oder wo sich die ExpertInnen gegenseitig widersprechen, wird dies im Text oder in Fussnoten erwähnt. Die Verantwortung für den vorliegenden Text liegt bei den Autoren.

2. Vorgehen

2.1 Auswahl der Fragestellungen

Die methodischen Überlegungen zu Systemgrenzen und funktionalen Einheiten werden anhand von ausgewählten Fragestellungen aus dem Bau- und Immobilienbereich dargestellt (vgl. Kap. 3). Das formale Vorgehen zur Herleitung von funktionaler Einheit und Systemgrenzen wird in Kap. 2.2 beschrieben.

Die Auswahl der Fragestellungen erfolgt ausgehend von den Fragestellungstypen, die in der folgenden Figur dargestellt werden:



Figur 1: Typen von Fragestellungen an Gebäude und Bauprozesse. Die logische Abfolge der Fragen geht von oben links im Uhrzeigersinn vor sich (im Normalfall). Im Folgenden werden lediglich die Bereiche "Was?" und "Wie?" behandelt (weisse Flächen).

Im Standardplanungsfall gemäss [SIA 1996A] steht die Entscheidung, ob und was gebaut werden soll, also z.B. Bürogebäude oder Wohnhaus, am Anfang des Bauprozesses. Ist der Entscheid gefällt, wird nach dem optimalen Standort (wo?) Ausschau gehalten. Der nächste Schritt ist die Definition der Art und Weise, wie das Gebäude erstellt werden soll (Gestalt, Materialfragen etc.). Am Schluss wird dann entschieden werden, welcher Unternehmer die Arbeiten durchführen können (wer?).

Von dieser Standard-Entscheidungsabfolge, basierend auf der Entscheidungssituation bei einem Neubau, sind selbstverständlich etliche Abweichungen möglich. Sie spannt jedoch grundsätzlich das Feld der möglichen Fragestellungen auf.

Um den Aufwand zu beschränken werden in Kapitel 3 lediglich die folgenden Fragestellungen bearbeitet:

Fragestellungstyp: Was?

- In welche Gebäudeart soll investiert werden? (vgl. Kap. 3.1)

Fragestellungstyp: Wie?

- Welches von zwei Gebäuden gleicher Nutzungsart ist das ökologischere? (vgl. Kap. 3.2)
- Soll ein bestimmtes Gebäude umgebaut oder abgerissen und neu aufgebaut werden? Welche Variante hat die bessere Ökobilanz? (vgl. Kap. 3.3)

Weitere Fragestellungen:

- Wie sollen Gebäude in anders motivierte Ökobilanzen einbezogen werden? (vgl. Kap. 3.4.1)
- Wie geht man in Ökobilanzen mit einem vorzeitigen Nutzungswechsels eines Gebäudes um? (vgl. Kap. 3.4.2)

Mit dieser Auswahl werden keine Fragen aus den Bereichen "Wo?" und "Wer?" bearbeitet. Die Fragen der Standortwahl ("Wo?") sind keine primären Ökobilanzfragen, da eine Ökobilanz nur beschränkt

lokale Betrachtungen erlaubt². Die Umweltbelastungen werden entlang des Lebenszykluses aus unterschiedlichen Regionen aufaggregiert. Diese globale, integrale Sichtweise ist für die Standortwahlfrage weniger geeignet. Die lokale Problematik, die hier vor allem interessiert, lässt sich besser mit einer UVP angehen.

Das "Wer?", also die Wahl des Unternehmers, berührt keine gebäuderelevanten Methodikfragen. Aus diesem Grund werden keine Fragen aus diesem Bereich behandelt.

Das Weglassen dieser Fragestellungstypen soll jedoch keinesfalls deren inhaltliche Relevanz im Bereich "Bauen und Ökologie" in Frage stellen. Der Fokus des vorliegenden Papiers liegt lediglich an einer anderen (mehr methodischen) Stelle.

2.2 Formales Vorgehen

Dieses Kapitel beschreibt das formale Vorgehen bei der Herleitung der funktionalen Einheit und der Systemgrenzen. Es lehnt sich an die Systematik von [Lindfors 1995] an und wird als Struktur für Kap. 3 verwendet.

2.2.1 Beschreibung der Fragestellung

Um eine funktionale Einheit überhaupt herleiten zu können, muss zuerst die allgemeine Fragestellung konkretisiert werden. Auf allgemein-abstrakter Ebene lässt sich kein brauchbarer Vergleichsmassstab definieren; dies lässt sich am Beispiel der Fragestellung "Vergleich von Gebäuden gleicher Nutzungsart" (vgl. Kap. 3.2) zeigen: Die allgemeine Formulierung dieser Fragestellung gilt z.B. für Wohn- und Dienstleistungsbauten. Eine aussagekräftige funktionale Einheit lässt sich aber nur für jeweils eine Nutzungsart (z.B. Wohnbauten)

2 Ein zur Zeit an der ETH in der Gruppe Sicherheit und Umwelt laufende Arbeit aus dem Bereich Abfallbehandlung (Ecological assessment of thermal waste treatment technologies) könnte hier neue Erkenntnisse liefern. (s. ESU-Info 1/97). Die Umweltauswirkungen aus den eventuellen zusätzlichen Transportwegen lassen sich jedoch bereits heute mit Ökobilanzen beschreiben.

festlegen, da die Funktionen der einzelnen Nutzungsarten nicht die gleichen sind und folgerichtig auch die funktionalen Einheiten nicht die gleichen sein können. Wäre dem nicht so, und die funktionale Einheit wäre dieselbe (z.B. m^2 Fläche), so kann man strenggenommen auf die Unterscheidung der Nutzungskategorien verzichten.

2.2.2 Funktionale Einheit

Basierend auf der Funktion des Systems wird die funktionale Einheit hergeleitet. Diese Herleitung stützt sich auf die Empfehlungen ab, die [Lindfors 1995] für die Phase der 'goal and scope definition' einer Ökobilanz gibt: Kaskadenartig wird über die Festlegung des Ziels der Ökobilanz die Funktion des betrachteten Systems und hernach die folgerichtige funktionale Einheit hergeleitet. Die funktionale Einheit sollte dabei immer mindestens folgende drei Aspekte abdecken:

- Die Effizienz des Systems
[Lindfors 1995] nennt ein Beispiel aus einer Ökobilanz von Anstrichen: Ausgiebigkeit: m^2 deckend streichbare Fläche pro kg Farbstoff. Bei Wohngebäuden wäre dies etwa: Beherbergte Personen je m^2 Wohnfläche.
- Die Lebensdauer
z.B. Zeitdauer, bis ein Neuanstrich notwendig ist; oder die Nutzungsdauer des Gebäudes.
- Einen Qualitätsaspekt
z.B. ein gewisses Mass an Korrosionsschutz, das ein (Industrie-) Farbanstrich bietet. Bei Gebäuden käme z.B. der Qualitätsstandard des Innenausbaus in Betracht.

In der funktionalen Einheit der betrachteten Systeme muss in erster Linie die Hauptfunktion abgebildet werden. Der Umgang mit multifunktionalen Systemen, die ja in der Realität vorherrschen, ist in [Lindfors 1995] beschrieben: Die Problematik kann gelöst werden, indem entweder dem einem System die fehlende Funktion 'virtuell' hinzugefügt wird, oder vom anderen System jene Teilsysteme, die die zusätzliche Funktion erbringen, abgezogen werden.

Der Problematik von multifunktionalen Systemen begegnet man bei Gebäude-Ökobilanzvergleichen auf Schritt und Tritt. Kurz angesprochen wird dies z.B. im Kapitel 3.2 am Beispiel der Tiefgarage: Um-

fasst das eine der betrachteten Gebäude eine Tiefgarage, das zweite Gebäude aber weder Tiefgarage noch eigene Parkplätze auf dem Grundstück, so muss für einen korrekten Vergleich das zweite Gebäude um eine äquivalente Garage erweitert werden³. Ähnliches liesse sich am Beispiel Kantine und Dienstleistungsgebäude zeigen.

2.2.3 Systemgrenzen

Fokus auf Systemgrenzen im engeren Sinne

Systemgrenzen müssen bei Ökobilanzen in mannigfacher Hinsicht gezogen werden, vorab (vgl. dazu [Lindfors 1995]):

- zeitliche Systemgrenzen
- geographische Systemgrenzen
- Systemgrenzen zwischen Techno- und Biosphäre
- Wahl der betrachteten Impacts (Impact assessment boundaries)
- und die eigentlichen Lebenszyklussystemgrenzen (im Sinne des Prozessbaumes)

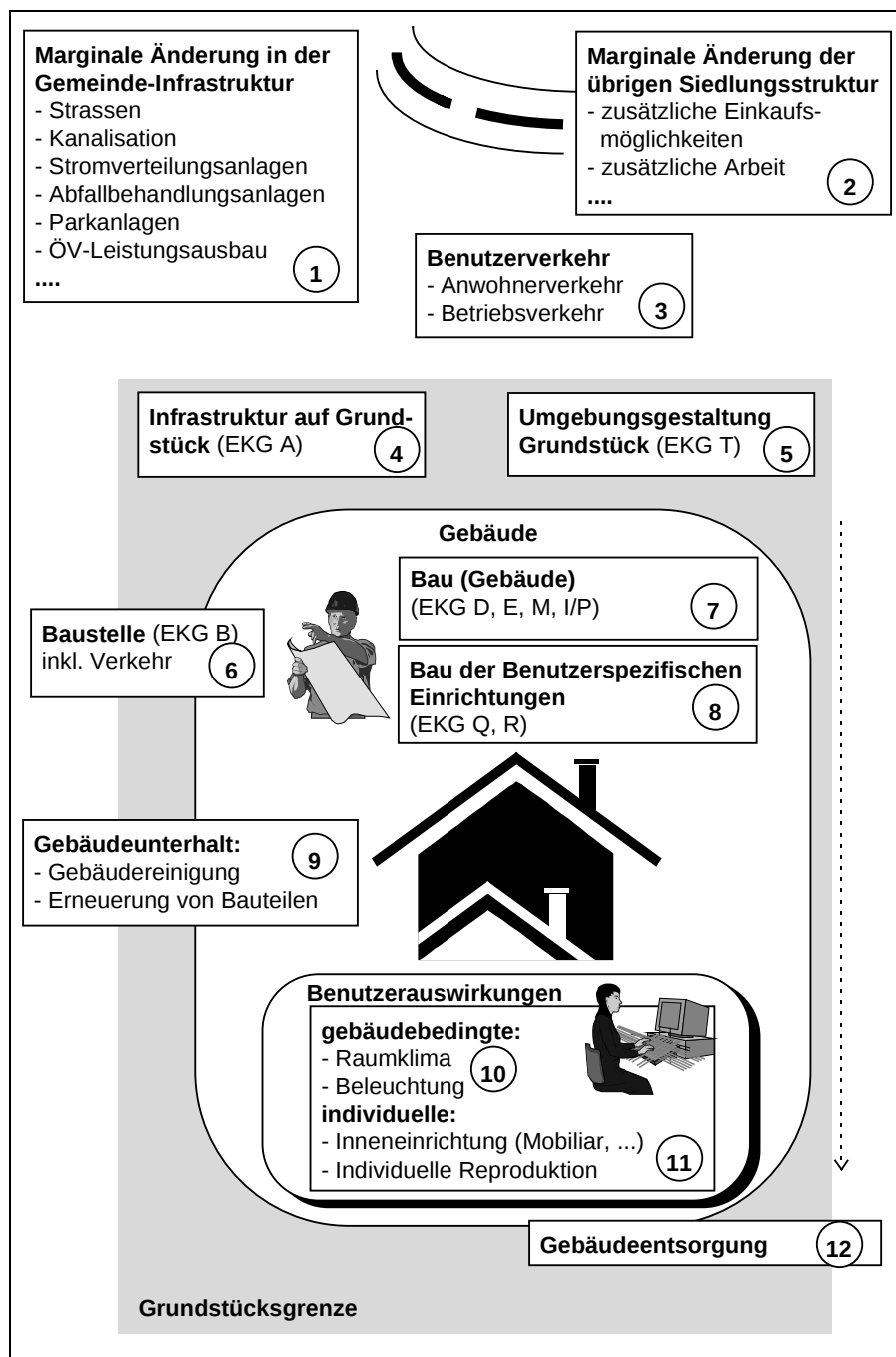
In diesem Papier wird vor allem auf die letzte Art, die 'Lebenszyklussystemgrenzen', eingegangen. Teilweise werden aber auch zeitliche Systemgrenzen diskutiert (vgl. z.B. Kapitel 3.3).

Maximalsystem

Die Systemgrenzen sind zwar für die einzelnen Fragestellungen unterschiedlich zu ziehen, sie werden aber immer innerhalb desselben Gesamtsystems oder Maximalsystems "Gebäude/Bauwerk" gezogen.

Das Gebäude/Bauwerk-System gemäss Figur 2 umfasst drei grosse Bereiche: Das Gebäude selbst inklusive dem Bauprozess, die (zusätzliche) Infrastruktur ausserhalb des Baugrundstückes und die Benutzerauswirkungen im weitesten Sinne.

3 Die Systemerweiterung wurde von einem Experten als heikel bezeichnet. Er schlägt vor, nur zu bilanzieren, was wirklich existiert, und die unterschiedliche Funktion dann in der Bewertung zu berücksichtigen.



Figur 2: Maximale Systemgrenzen im Sinne eines 'socio-economic whole system' [Tillman 1994] und wichtigste Teilsysteme einer Gebäude-Ökobilanz. Die Systemgrenzen entscheiden, welche Teilsysteme betrachtet werden. Der gestrichelte Pfeil auf der Seite des Gesamtsystems Gebäude symbolisiert die Zeitachse, die sich zwischen Bau und Entsorgung aufspannt.

Dieses Maximalsystem wurde so umfangreich wie möglich gefasst; deshalb sind im Sinne eines 'socio-economic whole system' [Tillman 1994] auch marginale Änderungen in der Gesamtnachfrage der Gesellschaft aufgeführt, welche durch das eigentliche, in Betracht stehende System⁴ "Gebäude/Bauwerk" ausgelöst werden können (vgl. Teilsystem ② in Figur 2). Je nach Grösse des Bauwerkes und je nach Standort kann auch das Teilsystem ①, Änderungen in der Gemeindeinfrastruktur⁵, relevant werden [Nibel 1997]. Die Auswirkungen können z.B. mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse grob abgeschätzt werden; ob dieses Teilsystem im Detail berücksichtigt werden soll, kann dann aufgrund von Cut-off-Regeln bestimmt werden (siehe unten).

Es kann gleich an dieser Stelle festgehalten werden, dass die beiden Teilsysteme ① und ② bei allen zu untersuchenden Fragestellungen meist ausgeschlossen werden können. Ein Einzelgebäude - der Fokus der nachfolgenden Betrachtungen - hat nur im Ausnahmefall derart weitreichende Konsequenzen.

Hauptsystemgrenze für die nachfolgenden Fragestellungen ist fast immer die Grundstücksgrenze - darin steht im Zentrum das Gebäude selbst (Teilsysteme ⑥ bis ⑨).

Die Benutzerauswirkungen wurden in drei Hauptkategorien unterteilt: Ausserhalb der Grundstücksgrenze kann davon der Benutzerverkehr (Teilsystem ③) relevant werden. Hier unterscheiden wir mit 'Anwohnerverkehr' den Verkehr, der durch Bewohner von Wohnbauten verursacht wird, und mit 'Betriebsverkehr' jenen, den Kunden, Lieferanten und Angestellte von Dienstleistungs-, Verwaltungs- und Industriebauten auslösen würden.

Im Gebäude/Bauwerk selbst ist der Benutzer durch zwei, deutlich unterscheidbare 'Aktivitäten' bemerkbar, die im folgenden methodisch auch anders behandelt werden müssen: Einerseits die allgemeinen, gebäudebedingten Benutzerauswirkungen durch die Gebäudenutzung und andererseits die individuellen Benutzerauswirkungen im engeren Sinne. Die allgemeinen, gebäudebedingten Benutzer-

4 In der Terminologie von [Tillman 1994]: 'technological whole system'

5 Dabei handelt es sich häufig um sprunghafte Änderungen (z.B. Neubau oder Kapazitätserweiterung einer ARA). Wie diese den Verursachern angelastet werden, stellt ebenfalls ein methodisches Problem dar. Dieses wird jedoch hier nicht weiter ausgeführt.

auswirkungen, das Teilsystem ⑩, sind unabdingbar und kausal mit dem Gebäude verknüpft, auch wenn das tatsächliche Ausmass z.B. der verbrauchten Raumwärme ganz klar vom Benutzer selbst gesteuert wird. Werden die Aufwendungen dieses Teilsystems in eine Ökobilanz aufgenommen, so sollen dabei standardisierte Planungswerte⁶ verwendet werden und nicht die effektiven Werte des bereits genutzten Gebäudes. Letzteres ist stark von den jeweiligen Nutzern abhängig und würde dazu führen, dass man eher die Nutzer bilanziert als das Gebäude selbst.

Die individuellen Benutzerauswirkungen, das Teilsystem ⑪, haben eigentlich nichts mit dem Gebäude zu tun: die individuelle Reproduktion - d.h. die Verpflegung und die Erholung und alle damit verknüpften Stoff- und Energieflüsse, Ver- und Entsorgungsprozesse - finden normalerweise in dem betrachteten Gebäude statt. Sie sind jedoch nicht unabdingbar mit ihm verbunden⁷ und deshalb ganz klar dem Benutzer zuzuordnen. Zu diesem Teilsystem gehören beispielsweise bei Dienstleistungs-, Gewerbe- und Handelsbauten auch die "Arbeitshilfen" und "Zentralen Dienste" nach SIA 380/4 [SIA 1995]. In den nachfolgenden Fragestellungen wird dieses Teilsystem kaum in Betracht fallen - bei einer Lifestyle-Studie würde es jedoch ein Herzstück des Systems bilden (vgl. dazu z.B. [Frischknecht 1996]).

Ein Experte macht darauf aufmerksam, dass die Interdependenz der Teilsysteme ⑩ und ⑪ eine sinnvolle Trennung problematisch mache: *"In die zu erstellende Bilanz gehen neben äusseren auch innere Gewinne ein. Innere Gewinne resultieren aus Abwärme von Personen und Geräten. Während die Gewinne dem Haus angerechnet werden, wird der damit verbundene Aufwand (i.d.R. Strom für Licht, Kochen, Geräte) i.d.R. erst bei einer dienstleistungsorientierten Bewertung von Bauwerken erfasst. Aber innere Gewinne sind meist Verluste "auf der anderen Seite!"*

6 Die Verwendung von Planungswerten findet grundsätzlich Zustimmung unter den ExpertInnen. Ein Experte macht jedoch darauf aufmerksam, dass dies lediglich eine unter mehreren Möglichkeiten sei. Auch tatsächliche Durchschnittswerte und Minimum-Maximum Betrachtungen seien denkbar.

7 Die individuelle Reproduktion findet oft in anderen Bauwerken, aber auch unter freiem Himmel statt: Verpflegung kann in Restaurants oder bei einem Picknick eingenommen werden, Opernhausbesuche oder Spaziergänge im Wald können je nach Interessenslage ein Erholungspotential anbieten.

Die übrigen Teilsysteme in Figur 2 sind weitgehend selbsterklärend. Es wurde versucht, die Nummernvergabe der zeitlich logischen Abfolge von Bau - Nutzung/Unterhalt - Entsorgung anzupassen.

Feingliederung Teilsysteme Gebäude

Innerhalb der Teilsysteme Gebäude (④ bis ⑨) wird die Elementkostengliederung (EKG) des CRB verwendet [CRB 1991], um anhand dieses Gebäudemodells zu definieren, was innerhalb und was ausserhalb des Systems ist. Die Hauptpositionen des EKG-Raster sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Die Elementgruppen V bis X umfassen mit den Baunebenkosten und den Honoraren den Planungsaufwand für das Bauwerk. Der Planungsaufwand (verstanden als 'Büroarbeit' und dem damit verbundenen Energie- und Stoffverbrauch) wurde dem Teilsystem ⑥, der Baustelle, zugewiesen. Es sind zur Zeit keine Angaben darüber bekannt, wie gross der Anteil des Planungsaufwandes an der Gesamt-Ökobilanz ist. Im Normalfall wird er wohl vernachlässigbar sein⁸. Die Elementgruppen A und T umfassen das Grundstück. Das eigentliche Gebäude wird durch die Gruppen D, E und M beschrieben. Die EKG-Position I umfasst die Haustechnik für Wohnbauten; die Position P wird bei Gewerbe- und Industriebauten benötigt. Q und R werden dem Innenausbau zugeordnet.

8 Obwohl es auch Bauvorhaben gibt, deren Planungsaufwand immens ist: vgl. z.B. das 10-Jahre-Planungsbauvorhaben EUROGATE.

EKG-Pos.	Bezeichnet	Teilsystem
A	Grundstück	④
B	Bauvorbereitung	⑥
C	Allgemeines zum Rohbau Gebäude	⑥
D	Rohbau Gebäude bis Oberkante Bodenplatte	⑦
E	Rohbau Gebäude oberhalb Bodenplatte	⑦
I	Installationen und Transportanlagen (Haustech- nik)	⑦
M	Ausbau Gebäude	⑦
P	Bauliche Betriebseinrichtung (Benutzeraspekt)	⑦
Q	Betriebsausrüstung (DL/Industriebauten)	⑧
R	Ausstattung	⑧
T	Umgebung	⑨
V-X	Baunebenkosten, Honorare	⑥

Tabelle 1: Verwendete EKG-Elementgruppen (nur EKG-Gruppen des Hochbaus)

Systematische Ein- und Ausschlusskriterien

Für die Festlegung der Systemgrenzen stehen gemäss [Lindfors 1995] allgemein betrachtet drei systematische Vorgehensweisen zur Verfügung:

- **Systemische Überlegung**
Der Ein- oder Ausschluss basiert auf der Frage, ob das Teilsystem dem Ziel der Fragestellung dient oder ob es allenfalls die Aussage verwässert.
- **Up-Stream Cut-Offs**
Der Ausschluss gewisser Teilsysteme/Vorleistungen geschieht aufgrund von der Relevanz der Teilsysteme für das Gesamtsystem. Diese wird meistens durch den Anteil am totalen Massenfluss beurteilt.
- **Red-Flag Classification**
Teilsysteme, die gewisse, vorher bestimmte Kriterien erfüllen, werden durch eine Markierung in das System aufgenommen, egal, ob ihr Massenfluss relevant ist oder nicht. Die Kriterien können z.B. rote Listen sein (vgl. [Lindfors 1995]).

Von diesen drei allgemeinen Vorgehensweisen kann im nachfolgenden nur die erste angewandt werden. Up-Stream Cut-Off, basierend auf Massenflüssen, setzt genaue Kenntnisse des zu bilanzierenden Objekts voraus - und mit der Angabe 'Mehrfamilienhaus' ist bei weitem noch nicht bestimmt, wie gross der Anteil des Systems Bodenbeläge (EKG M3) oder etwa der Anteil des Materials Linoleum sein wird. In ähnlicher Weise ist Red-Flag Classification ohne Produktkenntnisse nicht möglich, da Red-Flags traditionellerweise vor allem auf der Ebene Stoffe verwendet werden.

Mit diesen beiden Ausschluss- resp. Einschlusskriterien müssen die nachfolgend definierten Systemgrenzen bei der Anwendung der Fragestellung auf ein konkretes Gebäude/Planungsvorhaben allenfalls noch stärker eingeschränkt werden.

2.2.4 Struktur der Diskussion in Kapitel 3

Basierend auf den vorgängigen Überlegungen und Einschränkungen strukturieren wir die Darstellung der ausgewählten Fragestellungen in Kapitel 3 nach folgendem Raster:

1. Beschreibung der Fragestellung
2. Funktionale Einheit
 - Ziel
 - Funktion des betrachteten Systems
 - Funktionale Einheit
3. Systemgrenzen
 - Maximalsystem
 - Systemische Überlegungen

3. Darstellung anhand ausgewählter Fragestellungen

3.1 In welche Gebäudeart soll investiert werden?

3.1.1 Beschreibung der Fragestellung

Ein ökologisch bewusster Investor sucht eine Investitionsmöglichkeit im Immobiliensektor in der Höhe ca. 20 Mio. Franken. Ihm liegen zwei unterschiedliche Projekte an verschiedenen Standorten vor, die Investitionskapital benötigen. Es handelt sich dabei z.B. um ein grösseres Wohnbauprojekt auf der einen Seite und um ein Dienstleistungsgebäude auf der anderen. Beide Projekte sind relativ weit ausgearbeitet, brauchen zur Realisierung aber noch einen zahlungskräftigen Investor.

Selbstredend beachtet der potentielle Investor für seine Entscheidungsfindung die zu erzielende Rendite. Er möchte aber auch eine möglichst umweltverträgliche Investition tätigen⁹. Mit Hilfe einer Ökobilanz will er deshalb abklären, welches der beiden Projekte bei möglichst hoher Rendite die geringsten Umweltbelastungen zur Folge hat.

3.1.2 Funktionale Einheit

Ziel

Das Ziel der hier betrachteten Ökobilanz ist es, eine Grundlage für einen ökologisch bewussten Investitionsentscheid im Immobiliensektor zu liefern.

Funktion des betrachteten Systems

Die Funktion des für die Ökobilanz relevanten Systems ist es, für die in die Immobilie investierte Summe möglichst hohe Erträge bei gerin-

⁹ Man kann sich als Investor beispielsweise einen umweltbewussten institutionellen Anleger vorstellen.

ger Umweltbelastung zu erwirtschaften. Ob diese Erträge mit Wohnungen oder Büros erzielt werden, ist für den Investor sekundär. Aus diesem Grund wird die Funktion des Systems streng über das zu erwirtschaftende Geld definiert.

Funktionale Einheit

Diese Funktionsdefinition des Systems legt primär eine Ertragsgrösse als Vergleichsmassstab der Umweltbelastungen und somit als funktionale Einheit nahe. Denkbar wäre auch eine andere "Geldgrösse": die Investitionssumme. Dies würde aber bedeuten, dass man die primäre Funktion des Systems darin sieht, Gelder zu investieren, und nicht, Erträge zu erwirtschaften. Die Definition über die Erträge hat den Vorteil, dass sie das Vorhandensein eines Bedürfnisses für das Investitionsobjekt in die Kalkulation miteinbezieht.

Der prinzipielle Entscheid zugunsten einer Ertragsgrösse als funktionale Einheit beantwortet aber die Frage noch nicht, ob die Rendite in Prozent der Investitionssumme oder der Netto-Ertrag in Franken verwendet werden soll. In [Scholz 1996] wird zu diesem Zweck die Nettorendite verwendet. Die Betrachtung der Renditeprozente kann allerdings unter Umständen zu Resultaten führen, die aus Sicht der Umwelt nicht gewollt sein können. Dies geschieht dann, wenn die beiden zu vergleichenden Projekte sich in ihrer Grösse (bezogen auf das Investitionsvolumen) unterscheiden. Das folgende fiktive Beispiel soll dies erläutern:

Es werden zwei Projekte gleicher Rendite (5%) aber unterschiedlicher Investitionssumme und Umweltbelastungen betrachtet. Das kleinere Projekt benötigt eine um 20% kleinere Investitionssumme, führt aber lediglich zu 5% geringeren Umweltbelastungen. Pro Renditeprozentpunkt schneidet das kleinere Projekt in diesem Fall besser ab, pro Franken Investition oder Netto-Ertrag aber schlechter (vgl. Tabelle 2).

	Projekt 1	Projekt 2
Investition [Mio. Fr.]	20	16
Rendite [% p.a.]	5	5
Netto-Ertrag [kFr./a]	1'000	800
Umweltbelastung [Mio. UBP/a]	200	190
Umw.bel. pro Rendite [UBP/%]	40 Mio.	38 Mio.
Umw.bel. pro Ertrag [UBP/Fr.]	200	237

Tabelle 2: Illustrationsbeispiel zur Diskussion der funktionalen Einheit beim Vergleich zweier Investitionen im Immobilienbereich. Die Zahlenwerte sind rein illustrativ zu verstehen.

Geht man nun davon aus, dass der Investor bei der Wahl des kleineren Projektes zu einem späteren Zeitpunkt mit dem Rest des vorhandenen Investitionskapitals weitere Investitionen tätigt, die ebenfalls Umweltbelastungen zur Folge haben werden, so kommt man zum Schluss, dass die Nettorendite aus Sicht der Umwelt nicht die geeignete funktionale Einheit sein kann.

Wir schlagen deshalb vor, für diese Fragestellung den Netto-Ertrag in Franken pro Jahr als Vergleichsgrösse zu verwenden. Dieser werden die, ebenfalls jährlichen, Umweltbelastungen gegenüber gestellt. Dazu werden die Bauaufwendungen durch die erwartete Lebensdauer geteilt und die jährlichen Betriebsaufwendungen dazu addiert. Dies führt zu folgender funktionalen Einheit:

Funktionale Einheit:	Netto-Ertrag
----------------------	--------------

3.1.3 Systemgrenzen

Die Systemgrenzen sind in dieser Frage grundsätzlich bei der Grundstücksgrenze zu ziehen. Allerdings muss bei grossen Investitionsprojekten darauf geachtet werden, ob das betrachtete Projekt nicht auch Veränderungen ausserhalb des Grundstücks bedingt. In diesem Fall, also falls beispielsweise die Kapazitäten der Gemeinde-Infrastruktur ausgebaut werden müssen, müssen die Änderungen ebenfalls in die Bilanz eingezogen werden (siehe [Nibel 1997]).

Die individuellen Benutzerauswirkungen, vorab die Inneneinrichtungen oder die Aufwendungen zur individuellen Reproduktion (Vergnü-

gen, Freizeit etc.) sind vom Investor der Immobilie nicht beeinflussbar und somit nicht Teil der Fragestellung. Sie bleiben daher ausgeklammert.

Der Benutzerverkehr soll nur dann einbezogen werden, wenn die beiden betrachteten Projekte sich in diesem Punkt offensichtlich klar unterscheiden (siehe dazu auch [EPA 1993]). Im hier beschriebenen Fall eines Vergleichs zwischen einem Wohn- und einem Bürogebäude sollte dies nicht der Fall sein. Würde der Vergleich aber zwischen einem Bürogebäude in der Stadt und einem Einkaufszentrum in der Agglomeration geführt, müsste der ausgelöste Verkehr abgeschätzt und einbezogen werden.

Die folgende Tabelle zeigt die Übersicht über die Systemgrenzen in Anlehnung an Figur 2.

Teilsysteme	Einbezug?	Begründung/Bemerkungen
1 Änderung in Gemeinde-Infrastruktur	ev.	falls das Projekt aufgrund seiner Grösse Änderungen in diesem Bereich bedingt ja; sonst: nein
2 Änd. Siedlungsstruktur	ev.	vgl. oben
3 Benutzerverkehr	nein	falls sich die Projekte in diesem Punkt deutlich unterscheiden, dann: ja
4 Infrastruktur auf Grundstück	ja	
5 Umgebungsgestaltung	ja	
6 Baustelle	ja	
7 Bau (Gebäude)	ja	
8 Bau Einrichtungen	nein	ist vom Investor nicht beeinflussbar
9 Gebäudeunterhalt	ja	
10 Gebäudebedingte Benutzerauswirkungen	ja	
11 Individuelle Benutzerauswirkungen	nein	ist vom Investor nicht beeinflussbar
12 Gebäudeentsorgung	ja	

Tabelle 3: Systemgrenzen für die Fragestellung "In welche Gebäudart soll investiert werden?" (vgl. Figur 2)

3.2 Vergleich zwischen Gebäuden gleicher Nutzungsart

3.2.1 Beschreibung der Fragestellung

Bei dieser Fragestellung handelt es sich um einen klassischen Vergleich: Man betrachtet zwei oder mehrere vergleichbare Produkte und ermittelt das ökologischere.

Den nachfolgenden Ausführungen liegt das folgende Szenario zugrunde: Ein Liegenschaftsbesitzer besitzt zwei Mehrfamilienhäuser (MFH), ein Dreifamilien-MFH und ein Achtfamilien-MFH an unterschiedlichen Standorten und mit unterschiedlichen Ausbauniveaus. Er möchte nun überprüfen lassen, welches dieser beiden Mehrfamilienhäuser das umweltverträglichere ist.

3.2.2 Funktionale Einheit

Ziel

Das Ziel eines solchen Vorhabens besteht in einem ökologischen Vergleich von Wohngebäuden mit Hilfe einer Ökobilanz.

Funktion des betrachteten Systems

Im weitesten Sinne ist die Funktion des Systems die Befriedigung eines Wohnbedürfnisses. Mit dem Begriff 'Wohnbedürfnis' wird zweierlei impliziert: Erstens, dass es durch eine oder mehrere Personen ausgeübt wird, und zweitens, dass dieses Bedürfnis je nach ausübender Person unterschiedlich geartet ist, d.h. dass es mit unterschiedlich hohen Ansprüchen verknüpft ist. Die präzise Formulierung der Funktion lautet somit: Beherbergung einer bestimmten Anzahl Personen bei einem bestimmten Qualitätsniveau.

Funktionale Einheit

Daraus lässt sich eine funktionale Einheit ableiten, die mit "Personenäquivalente mal Jahr bei Qualitätsstandard x" bezeichnet werden kann. Also:

Funktionale Einheit:	$P_{\text{äq}} \cdot a$	bei Qualitätsstandard x
wobei	x die Werte 'mässiger', 'mittlerer' und 'gehobener' Qualitätsstandard annehmen kann (vgl. Tabelle 4) .	

'Personenäquivalente' bezeichnet dabei die Anzahl Personen, die in einer Wohnung oder einem Gebäude Unterkunft finden könnten. Diese Personenanzahl lässt sich durch die Formel, die oft von Baugenossenschaften¹⁰ verwendet wird, berechnen: Anzahl Zimmer minus eins gleich Anzahl Personen - nur bei Einzimmerwohnungen entspricht die Anzahl Zimmer der Anzahl Personen. So hätte ein Gebäude mit 10 Vierzimmer-Wohnungen 30 "Personenäquivalente". Dasselbe Gebäude mit 20 Zweizimmer-Wohnungen jedoch nur 20 "Personenäquivalente". Um die Personenäquivalente korrekt zu bestimmen, muss natürlich auch der schwammige Begriff 'Zimmer' genauer festgelegt werden. Dies wird durch die Bestimmung der Mindestfläche eines als bewohnbar erachteten Raumes erreicht. Gegen oben muss die Fläche eines Raumes nicht begrenzt werden: Hat eine Person in ihrem Zimmer mehr Fläche zur Verfügung, so ist dies ein Luxus, dessen Umweltauswirkungen sich direkt in der Ökobilanz niederschlagen werden. In Übereinstimmung mit der aktuellen Gesetzespraxis¹¹ ist ein Raum von mindestens 8 m² als Zimmer aufzufassen.

Integraler Bestandteil dieser funktionalen Einheit bildet die Ergänzung bei 'Qualitätsstandard x '. Dieser Qualitätsstandard muss näher definiert werden, um eine objektive Vergleichsgrösse zu erhalten. Wir schlagen einen semiquantitativen Indikator für den Qualitätsstandard im Sinne von 'mässig', 'mittel' und 'gehoben' vor¹². Die Definitions-

10 auch z.B. auch von der Liegenschaftenverwaltung der Stadt Zürich

11 Diese Frage ist zur Zeit noch in den kantonalen Baugesetz geregelt. In [econcept 1997b] wird jedoch vorgeschlagen, diese Regelung im Sinne der Bau-Effizienz aufzugeben, und sie dem Markt zu überlassen. Bei dem aktuellen Leerwohnungsbestand werden es Vermieter schwer haben, Wohnungen mit kleinen (oder zu kleinen Zimmern) zu überhöhten Preisen abzusetzen.

12 Ein vollquantitatives Mass wäre auf den ersten Blick der für die Wohnung/Haus verlangte Mietzins. Dieser wird jedoch hier nicht als Qualitätsindikator vorgeschlagen, da die Lage des Gebäudes ein wesentlicher Bestimmungsfaktor der Mietzinshöhe ist. Für den Zusammenhang der Wohnlage und des Mietzinses gibt es vielerlei Belege: z.B. die Untersuchungen über Mietzinse und Lärmbelastung durch Strassen (z.B. [Pommerehne 1991], [Itten 1990]). Oder die markanten Unterschiede in den Mietzinsen in peripheren, ländlichen Gebieten und städtischen Zentrumsgebieten.

kriterien für diese drei Prädikate können der Tabelle 4 entnommen werden¹³:

Kriterium	A gehoben	B mittel	C mässig
<i>Punkte</i>	<i>10</i>	<i>5</i>	<i>1</i>
maschinelle Ausrüstung	Waschmaschine und Geschirrspüler	Waschmaschine oder Geschirrspüler	keines von beiden
Ausstattung Nasszellen	mehrere Nasszellen (z.B. separate Dusche)	1 Nasszelle und separates WC	WC und Nasszelle zusammen
Qualität Innenausbau (z.B. innere Verputze, Bodenbeläge, Automatisierung etc.)	Boden-, Wand- und Deckenverkleidungen Bauliche Luxuseinrichtungen (z.B. Cheminée) vorhanden	Innen nur verputzt Keine baulichen Luxuseinrichtungen	Innen unverputzt Keine baulichen Luxuseinrichtungen
Aussenraum/Balkone	zugänglicher Aussenraum (Garten)	Balkone	keine benutzbaren Aussenräume

Tabelle 4: Vorschlag für einen Qualitätsstandard-Indikator im Wohnbausektor. Definitionskriterien für die Prädikate 'gemässigt', 'mittel' und 'gehoben'.

Das Prädikat für den Qualitätsstandard wird basierend auf der Summe der gewichteten Einzelkriterien vergeben:

mässig:	4 - 13 Punkte	(4*C bis 1*A + 3*C)
mittel:	16 - 22 Punkte	(Mindestens 2 * B)
gehoben:	25 - 40 Punkte	(Mindestens 2 * A)

In die Definitionskriterien für den Qualitätsstandard wurden bewusst keine raumklimatischen Komfortaspekte aufgenommen: Die Einhaltung eines bestimmten Raumklimas oder Energiekennzahlen im Sinne von [SIA 1991], wie es z.B. [Polster 1996] oder [Quack 1997] als Teil der funktionalen Einheit vorschlagen, sind unserer Ansicht nach nicht Bestimmungsfaktoren der Qualität. Ein angenehmes und ak-

¹³ ExpertInnen und Autoren sind sich einig, dass die Inhalte der einzelnen Kriterien für eine tatsächliche Implementierung noch besser ausgearbeitet werden müssten.

zeptables Raumklima ist eher eine Minimalanforderung an eine moderne Wohnung. Die erzielbaren Energiekennzahlen geben zwar sicherlich Auskunft über die Qualität der Bauweise: Eine schlecht isolierte Gebäudehülle beeinträchtigt aber den daraus entstehenden Komfort für den Benutzer nur bedingt, hat er doch die Möglichkeit diesem Nachteil, z.B. mit stärkerem Heizen entgegenzuwirken.¹⁴

Der ermittelte Qualitätsstandard eines Gebäudes soll lediglich qualitativ in die Bilanz einbezogen werden und bei der Interpretation der Bewertung helfen. Er soll jedoch nicht rechnerisch (als Faktor) in die Bilanz einbezogen werden.¹⁵

Der Vorschlag 'Personenäquivalente' als Massstab für die funktionale Einheit anzuwenden, bedarf der Erläuterung. Naheliegender als eine derartige konstruierte Grösse wäre z.B. ein Flächenmass (vgl. z.B. [Polster 1996]). Es sind vor allem zwei Gründe, welche den Ausschlag für die Grösse 'Personenäquivalente' geben¹⁶:

- a) die starke Übereinstimmung mit der oben definierten Funktion
- b) der Umstand, dass über die Personenäquivalente die Zimmergrösse in den Vergleichsmassstab einfliesst. Die funktionale Einheit soll Qualitätsaspekte mitberücksichtigen [Lindfors 1995]. Im Baubereich ist Qualität im engeren Sinne (also die Qualität der techni-

14 In diesem Punkt widerspricht ein Experte grundsätzlich. Er hält die Beschränkung auf den Qualitätsstandard des Innenausbau für nicht statthaft und schlägt vor, die Beschreibung der Qualität von Gebäuden am Raster der Europäischen Bauprodukterichtlinie zu orientieren. Dieser umfasst die folgenden Punkte:

1. Standsicherheit
2. Brandschutz
3. Gesundheit, Hygiene und Umweltschutz
4. Nutzungssicherheit
5. Baulicher Schallschutz
6. Wärmeschutz und Energieeinsparung

15 Unter den ExpertInnen, die grundsätzlich mit dem Qualitätsstandard in dieser Form einverstanden sind, gibt es hier gegensätzliche Meinungen: Auf der einen Seite steht die Ansicht (die auch die Autoren teilen), dass der Einbezug eines solchen Standards zwar wichtig sei, aber nur qualitativ als Hilfe bei der Bewertung und nicht quantitativ als Faktor, der in die Bilanz eingerechnet wird. Auf der anderen Seite gibt es aber auch die Meinung, dass, wenn ein solcher Standard geschaffen wird, dieser auch in die Berechnungen einfließen soll. Auf diese Weise könnten dann Gebäude verschiedenen Standards direkt miteinander verglichen werden.

16 Ein Experte merkt an, dass mit der funktionalen Einheit der Personenäquivalente eher die Dienstleistung (der "Wohnwert") als das Gebäude selbst bewertet würde. Er schlägt vor, zunächst ein Flächen- oder Volumenmass auf der Ebene Haus zu verwenden und dieses dann in einem zweiten Schritt auf die BewohnerInnen umzurechnen.

schen Ausführung) zumindest national durch Gesetzgebung und Branchenvereinbarungen mehr oder weniger genormt. Hingegen bestehen bei Wohnbauten deutliche qualitative Unterschiede in der Ausstattung (Wohnungsgrösse, Einrichtungsgegenstände, etc.). Durch die Zimmergrösse wird ein wesentlicher Bestimmungsfaktor dieser Qualität im Sinne von Komfort/Luxus direkt in die funktionale Einheit einbezogen.

3.2.3 Systemgrenzen

Die Systemgrenzen basierend auf dem Maximalsystem lassen sich wie folgt ziehen:

Teilsysteme	Einbezug?	Begründung/Bemerkungen
1 Änderung in Gemeinde-Infrastruktur	nein	
2 Änd. Siedlungsstruktur	nein	
3 Benutzerverkehr	nein	nicht Fragestellung
4 Infrastruktur auf Grundstück	ja	
5 Umgebungsgestaltung	ja	
6 Baustelle	ja	
7 Bau (Gebäude)	ja	
8 Bau Einrichtungen	ja	
9 Gebäudeunterhalt	ja	
10 Gebäudebedingte Benutzerauswirkungen	ja	
11 Individuelle Benutzerauswirkungen	nein	nicht Fragestellung
12 Gebäudeentsorgung	ja	

Tabelle 5: Bei der Fragestellung "Vergleich zwischen Gebäuden gleicher Nutzungsart" zu berücksichtigende Teilsysteme (vgl. Figur 2)

Marginale Änderungen in der Gemeindeinfrastruktur würden nur bei geplanten Gebäuden in Betracht kommen. Gemäss Fragestellung (vgl. Kapitel 3.2.1) handelt es sich jedoch um bestehende Gebäude.

Innerhalb der Grundstücksgrenzen sind die Infrastrukturen einzubeziehen, weil dabei unterschiedlichste Konzeptionen realisiert werden: z.B. getrennte Brauch- und Trinkwasserleitungen, Tiefgaragen u. Garagen¹⁷ oder Parkplätze auf dem Grundstück, Stromproduktion aus Solaranlagen etc.

Das Gebäude selbst ist in all seinen Facetten (Teilsystem 6 bis und mit 9) zu berücksichtigen. Die Benutzerauswirkungen ist auf den Gebäudeaspekt zu beschränken (also Teilsystem 10). Benutzerindividuelle Stromverbräuche (z.B. Elektrizität für Unterhaltungselektronik) sind auszuschliessen. Ebenso ist Mobiliar oder etwa die Entsorgung der vom Benutzer verursachten Haushaltsabfälle nicht einzuschliessen (im Gegensatz zu [Polster 1996]), da sonst Zielsetzungen vermischt werden: Im ersten Fall würde man wiederum eher eine Lifestyle-Studie vornehmen - und der zweite Fall wäre mehr eine Ökobilanz der Gemeinde(siedlungs)politik (die im Beispiel die Frage 'KVA oder Deponie' betreffe).

3.3 Neubau versus Umbau

3.3.1 Beschreibung der Fragestellung

Bei jedem Gebäude stellt sich früher oder später die Frage, was ökologisch und ökonomisch sinnvoller ist, die Renovation der alten Bausubstanz oder deren Abbruch und Neuaufbau.

Moderne Neubauten erreichen heute deutlich tiefere Energieverbrauchswerte pro m² Energiebezugsfläche (EBF) als Altbauten oder renovierte Gebäude¹⁸. Es ist durchaus möglich, dass diese zusätzli-

17 Dass die Frage der Tiefgarage relevant sein kann zeigt z.B. [Cole 1996]: Er vergleicht den kumulierten Energieverbrauch (KEV) des gesamten Lebenszyklus' von Bürogebäuden mit und ohne Tiefgarage. Gemäss dieser Untersuchung führt eine Tiefgarage zu einem rund 10% höheren Gesamtenergieverbrauch - der Mehrverbrauch rührt massgeblich von der Betriebsphase (Lüftung) her. Beim Bau des Gebäudes ist der KEV rund 7% (0.3 GJ/m²) höher. Auch wenn die Studie aus Ökobilanz-Sicht keinen korrekten Vergleich durchführt (dem Gebäude ohne Tiefgarage wird die entsprechend Anzahl ebenerdiger Parkplätze nicht angelastet), gibt sie dennoch einen Hinweis bezüglich der Relevanz der Frage.

18 Dies zeigen z.B. schon die brancheninternen Normen. So schreibt [SIA 1991] z.B. bei der Energiekennzahl Raumheizung E_H für Mehrfamilienhäuser folgende Werte vor: Renoviert 400 MJ/m² (Sollwert) Neubau 280 MJ/m² (Zielwert).

che Einsparung an Betriebsenergie (über die Lebensdauer betrachtet) den ökologischen Mehraufwand des Neubaus rechtfertigt - erst recht, wenn man berücksichtigt, dass die Renovation auch nicht ohne Umweltauswirkungen von statten geht.

Die Fragestellung "Neubau oder Umbau" soll am Beispiel eines Wohngebäudes aus den 60er Jahren dargestellt werden. Die Bausubstanz ist von schlechter Qualität, der spezifische Energieverbrauch aus heutiger Sicht unzeitgemäss hoch. Für die Bauherrschaft ist klar, dass das Gebäude zumindest saniert werden muss. Als Alternative kommt ein Neubau an der gleichen Stelle in Frage, der heute bei entsprechender Bauweise kostengünstig erstellt werden könnte. Es soll hier aufgezeigt werden, wie ein ökologischer Vergleich dieser beiden Varianten mittels einer Ökobilanzierung geführt werden sollte.

3.3.2 Funktionale Einheit

Ziel

Das Ziel der hier betrachteten Ökobilanz ist es, für den Entscheid Umbau oder Neubau eine Entscheidungsgrundlage aus ökologischer Sicht zu liefern.

Funktion des betrachteten Systems

Die Funktion des Systems ist die Aufrechterhaltung und Modernisierung von Wohnraum bei geringerer ökologischer Belastung.

Funktionale Einheit

Als Mass für den Wohnraum schlagen wir vor, die Energiebezugsfläche (EBF) zu verwenden, da es sich um eine in der Planung gebräuchliche Einheit handelt. Die EBF hat gegenüber anderen Flächenmassen wie z.B. der Bruttogeschossfläche (BGF) den Vorteil, dass sie sich enger auf den primären Nutzen des Gebäudes (Zuverfügungstellung von Wohnraum) und damit auf die Funktion des betrachteten Systems bezieht. Die BGF würde diesen Fokus verwässern, indem sie zusätzliche Nebenflächen wie Keller, Garagen, Ausstertreppen etc. beinhaltet.

Da die beiden Varianten Umbau und Neubau unterschiedliche Lebensdauern aufweisen, ist es hier besonders wichtig, den Zeitfaktor in die funktionale Einheit zu integrieren (Zur Problematik der unterschiedlichen Lebensdauern vgl. auch Kap. 3.4.2). Auch in Bezug auf den Standard der Wohnungen können sich Umbau und Neubau unterscheiden. Dieser kann in dieser Fragestellung analog zur Fragestellung "Vergleich zwischen Gebäuden gleicher Nutzung" (Kap. 3.2) miteinbezogen werden.

Als funktionale Einheit für die Frage "Umbau oder Neubau" schlagen wir demnach "m² EBF mal Jahr" vor.

Funktionale Einheit:	m ² EBF * a bei Qualitätsstandard x (vgl. Kap. 3.2)
----------------------	---

3.3.3 Systemgrenzen

Die Eingrenzung des Systems hat in dieser Fragestellung zwei unterschiedliche Bereiche. Einerseits gilt es, wie bei den anderen Fragestellungen, festzulegen, welche Teilsysteme in die Bilanz einbezogen werden sollen. Andererseits stellt sich hier auch die Frage der zeitlichen Abgrenzung, d.h. die Frage, welche Lebensphasen der Systeme "Umbau" und "Neubau" werden in den Vergleich einbezogen.

Abgrenzung der Teilsysteme

Die Teilsysteme 1 und 2 können hier ganz weggelassen werden. Es ist nicht anzunehmen, dass der Neubau in diesem Beispiel soviel grösser werden kann, dass Kapazitätsanpassungen an der Gemeinde-Infrastruktur oder zusätzliche Einkaufsmöglichkeiten etc. notwendig werden. Auch der induzierte Benutzerverkehr, hier die Transporte der BewohnerInnen, kann weggelassen werden. Er wird durch den Entscheid "Umbau oder Neubau" höchstens marginal verändert.

Die benutzerspezifischen Teilsysteme 8 und 11 hängen nicht zwingend mit dem betrachteten Entscheid zusammen. Sie gehören demnach nicht zur Fragestellung.

Auch hier gibt die folgende Tabelle einen Überblick über die vorgeschlagene Systemabgrenzung.

Teilsysteme	Einbezug?	Begründung/Bemerkungen
1 Änderung in Gemeinde-Infrastruktur	nein	nicht vorhanden
2 Änd. Siedlungsstruktur	nein	nicht vorhanden
3 Benutzerverkehr	nein	nicht relevant
4 Infrastruktur auf Grundstück	ja	
5 Umgebungsgestaltung	ja	
6 Baustelle	ja	
7 Bau (Gebäude)	ja	
8 Bau Einrichtungen	nein	nicht Teil der Fragestellung
9 Gebäudeunterhalt	ja	
10 Gebäudebedingte Benutzerauswirkungen	ja	
11 Individuelle Benutzerauswirkungen	nein	nicht Teil der Fragestellung
12 Gebäudeentsorgung	ja	

Tabelle 6: Systemgrenzen der Fragestellung "Umbau oder Neubau" (vgl. Figur 2)

Zeitliche Abgrenzung

Wie erwähnt ist neben der Abgrenzung der Teilsysteme in dieser Fragestellung auch die zeitliche Abgrenzung der beiden betrachteten Varianten von Bedeutung. Wir schlagen vor, den schon vorhandenen Bau nicht in das System zu integrieren und dessen Aufwendungen wie versunkene Kosten zu behandeln. Dadurch beginnt die Bilanzierung entscheidungs- und zukunftsorientiert einerseits bei der Herstellung des Neubaus und andererseits beim Umbauprozess. Danach soll bei beiden Varianten die ganze Lebensdauer bis zur Entsorgung betrachtet werden. Durch die Tatsache, dass als funktionale Einheit "Fläche mal Jahr" verwendet wird, werden die Aufwendungen für Baustelle, Bau und Entsorgung durch die Lebensdauer dividiert und können mit anderen jährlichen erhobenen Aufwendungen wie z.B. für Wärme und Licht verrechnet werden.

Die Systeme der beiden Varianten umfassen demnach folgende zeitlichen Aspekte:

Neubau: Abbruch des bestehenden Gebäudes

+ Bauprozess Neubau

+ Unterhalt

+ Abbruch des Neubaus

= Total Neubau

Diese Summe wird durch die Lebensdauer des Neubaus geteilt und zu den jährlichen Aufwendungen der Nutzung addiert.

Umbau: Umbau des bestehenden Gebäudes

+ Unterhalt

+ Abbruch des umgebauten Gebäudes

= Total Umbau

Diese Summe wird durch die Lebensdauer des Umbaus geteilt und zu den jährlichen Aufwendungen der Nutzung addiert.

3.4 Gebäude und LCI: Weitere methodische Probleme

Die folgenden beiden Fragestellungen weichen deutlich von den anderen oben ausgeführten ab und lassen sich nicht nach dem selben Schema bearbeiten.

3.4.1 Einbezug von Gebäuden in Ökobilanzen

In Produkt- oder Unternehmensökobilanzen gilt es oft, den Gebäudemark¹⁹, der als Infrastruktur z.B. für den Produktionsprozess dient, zu integrieren. Dabei ist die effektive Bilanzierung der Gebäude eines Unternehmens sicherlich der genaueste Weg. Häufig sind dazu aber weder die Zeit noch die Daten vorhanden. Es geht in der Folge vor allem um diesen Fall, also um die Frage, wie können die Gebäude mit ausreichender Genauigkeit in eine Bilanz integriert werden, ohne dass man sie eigens bilanzieren muss. Es wird also eine Systematik

¹⁹ Im Sinne von mehreren Gebäuden.

für einen "Standarddatensatz Gebäude" vorgeschlagen²⁰. Zudem werden die funktionale Einheit und die Systemgrenzen dieser Datensätze beschrieben.

Solche Standarddatensätze können gerade auch dann hilfreich sein, wenn ohne grossen Aufwand die Relevanz der Gebäude in der Gesamtbilanz eruiert werden soll. Davon ausgehend kann dann entschieden werden, ob es nötig ist, die tatsächlichen Gebäude effektiv zu bilanzieren oder nicht.

Systematik für einen Gebäudedatensatz

Um eine ausreichende Genauigkeit beim Einbezug von Gebäuden in eine Ökobilanz mit Standarddaten zu gewährleisten, ist es sinnvoll, die Datensätze resp. die Gebäude nach deren **Ausführungsart** zu differenzieren, da die Tragstruktur und die Aussenwände den Massenfluss eines Gebäudes massgeblich bestimmen. Unterschieden wird daher primär Massiv- und Leichtbauweise.

Die Massivbauweise lässt sich zusätzlich in betonierte und gemauerte Gebäude einteilen. In der Leichtbauweise sind verschiedene Skelettbauweisen aufzuführen und bezüglich ihrer Abdeckungsmaterialien zu charakterisieren. Dabei gelangen vorab Holz, Glas, Beton/Stahlbeton und reiner Stahl zum Einsatz (letzteres fast nur in Industriebauten). Hinzu kommen als Leichtbauweisen noch reine Holzbauten (v.a. Wohnbereich, aber auch Dienstleistungsbauten, vgl. Forstingenieurschule Lyss) und Porenbetonbauten.²¹

Gewisse dieser Ausführungsarten werden bevorzugt oder gar ausschliesslich für bestimmte Nutzungsarten verwendet. Deshalb werden die Standard-Datensätze zusätzlich noch nach **Gebäudetyp** unterschieden. Die Zahl der möglichen Gebäudetypen ist gross, insbesondere wenn man auch alle Mischnutzungen betrachten würde. Die möglichen Gebäudetypen lassen sich durch folgende pragmatische Kriterien auf eine handhabbare Anzahl reduzieren:

20 Von der Seite der ExpertInnen kommt der Einwand, dass Standarddatensätze bei langlebigen Gütern wie Gebäuden aufgrund des raschen Technologiewechsels (z.B. neue Bauchemikalien) problematisch seien.

21 Bei der sich heute abzeichnenden stärkeren Verbreitung von Bauten in Elementbauweise müssen auch für solche Standarddatensätze geschaffen werden.

- a) nur 'reine' Gebäudenutzungen betrachten (keine Mischnutzungen)
- b) nur jene Nutzungsarten verwenden, die den Grossteil des Gebäudebestandes ausmachen.

Bei einer solchen Einschränkung bleiben folgende Gebäudetypen übrig:

- Wohnbauten
- Bürogebäude, Verwaltungsgebäude
- Einkaufszentren, Gewerbehäuser
- Industriehallen, Lagergebäude

Damit ist sicherlich nicht der gesamte mögliche 'Gebäudepark' abgedeckt, insbesondere im Bereich Freizeit/Kultur gibt es noch eine Vielzahl hier nicht erwähnter Gebäudetypen; diese können aber teilweise von den obengenannten Gebäudetypen abgedeckt werden (z.B. könnte ein Schulhaus vereinfachend als Verwaltungsgebäude bilanziert werden, etc.).

Diese Überlegungen führen zu der in Tabelle 7 vorgeschlagenen Gebäudesystematik:

Sektor	Gebäudetyp	Ausführung
Wohnen	Wohnbauten	Massivbau (Beton) Massivbau (Backstein) Holzbau (Stahl)Betonskelettbau Porenbetonbau
Dienstleistung	Bürogebäude Verwaltungsgebäude	Massivbau (Beton) Massivbau (Backstein) (Stahl)Betonskelettbau Holzbau Glasskelettbau Porenbetonbau
	Einkaufszentren, Gewerbehäuser	Massivbau (Beton) Massivbau (Backstein) (Stahl)Betonskelettbau Holzbau Glasskelettbau Porenbetonbau
Industrie	Industriehalle	Massivbau (Beton) Massivbau (Backstein) (Stahl)Betonskelettbau Holzbau Stahlbau Porenbetonbau

Tabelle 7: Vorschlag einer Gebäudesystematik²²

Die Systematik basiert teilweise auf [Kohler 1994].

Funktionale Einheit

Die funktionale Einheit der Standarddaten soll eine einfache Integration in die Ökobilanz ermöglichen und die Funktion der Gebäude widerspiegeln.

Dem Anspruch der einfachen Integration in eine Ökobilanz werden Flächen- und Raummasse (m^2 oder m^3) am ehesten gerecht. Die zur Verfügung stehende Fläche oder der umbaute Raum eines Gebäudes sind meist bekannt oder ohne grossen Aufwand in Erfahrung zu bringen.

22 Hierzu zwei Anmerkungen von Experten
 1. Einbezug der Stockwerkzahl als zusätzliches Kriterium sollte geprüft werden.
 2. Wärmedämmende Wandbaustoffe aus Ziegeln, Leichtbeton oder Porenbeton würden sich kaum unterscheiden. Die Systematik sollte nach der Bauweise erfolgen. Diese ist der Komplex aus Hauptbaustoffen, Konstruktionsprinzip und Technologie der Errichtung.

Diese Masse werden auch der Funktion eines Gebäudes innerhalb z.B. einer Unternehmensbilanz gerecht, nämlich der Zurverfügungstellung von Arbeitsfläche oder -raum. Innerhalb der oben vorgeschlagenen Systematik (vgl. Tabelle 7) müssen verschiedene funktionale Einheiten je nach Gebäudetyp verwendet werden.

Bei den Sektoren Wohnen und Dienstleistung ist in erster Linie Fläche gefragt. Die funktionale Einheit wäre demnach " m^2 EBF mal Jahr"²³.

Funktionale Einheit:	$\text{m}^2 \text{ EBF} * a$
----------------------	------------------------------

Die Industriebauten sind unter Umständen stark vom Volumen bestimmt (z.B. Lager- oder Produktionshallen). Aus diesem Grund ist hier die Verwendung der Einheit " m^3 mal Jahr" von Vorteil.

Funktionale Einheit:	$\text{m}^3 * a$
----------------------	------------------

Systemgrenzen

Die Systemgrenzen für die Gebäude-Standarddatensätze müssen im Vergleich zu anderen Fragestellungen enger gesetzt werden. Die bilanzierten Gebäude sollen als Infrastruktur in eine übergeordnete Ökobilanz integriert werden können. Also sollten sie keine Aufwendungen enthalten, die schon in der Hauptbilanz vorhanden sein sollten. Dies betrifft vor allem die Aufwendungen für Wärme und Licht oder die benutzerspezifischen Auswirkungen²⁴, also die Teilsysteme 3, 10 und 11.

Die Abgrenzung der Teilsysteme schlagen wir wie folgt vor:

23 Im Bereich Wohnen wäre in Anlehnung an die Ausführungen in Kap. 3.2 prinzipiell auch die funktionale Einheit "Personenäquivalente * Jahr" möglich. Für Standarddatensätze ziehen wir aber das einfachere und gängigere Flächenmass als funktionale Einheit vor.

24 Aus diesem Grund verzichteten wir auch darauf, funktionale Einheiten wie z.B. "Dienstleistungsarbeitsplatz" zu verwenden. Diese würden den Einbezug genau dieser Aufwendungen bedingen.

Teilsysteme	Einbezug?	Begründung/Bemerkungen
1 Änderung in Gemeinde-Infrastruktur	nein	
2 Änd. Siedlungsstruktur	nein	
3 Benutzerverkehr	nein	ev. Teil der Hauptbilanz
4 Infrastruktur auf Grundstück	ja	
5 Umgebungsgestaltung	ja	
6 Baustelle	ja	
7 Bau	ja	
8 Bau Einrichtungen	nein	Teil der Hauptbilanz
9 Gebäudeunterhalt	ja	
10 Gebäudenutzung	nein	Teil der Hauptbilanz
11 Benutzerauswirk. i.e.S.	nein	Teil der Hauptbilanz
12 Gebäudeentsorgung	ja	

Tabelle 8: Systemgrenzen für Gebäude-Standarddatensätze (vgl. Figur 2)

3.4.2 Vorzeitiger Nutzungswechsels

In dieser Problemstellung wird lediglich die Frage der adäquaten zeitlichen Abgrenzung der Systeme betrachtet.

Grundsätzlich können zwei Arten vorzeitigen Nutzungswechsels unterschieden werden:

1. Tatsächlicher Nutzungswechsel: z.B. eine Industriebetrieb zieht aus, im Gebäude entstehen Büros, Ateliers oder Wohnungen.
Frage: Wie geht man damit in einer Unternehmens- oder Produktbilanz um? Was wird dem bisherigen und was dem neuen Nutzer angelastet?
2. Vorzeitiger Abbruch und Neubau (oder vorzeitiger Umbau)
Frage: Was wird dem bisherigen und was dem neuen Bau angelastet? (vgl. auch Kap. 0)

Die zeitlichen Systemabgrenzungen lassen sich für beide Arten mit den selben Begründungen durchführen. Für den bestehenden Teil des jeweiligen Systems (also der bisherige Nutzer oder das alte Gebäude) gilt folgendes:

Da die Bilanzierung im Normalfall nicht im nachhinein, sondern vor oder während der Nutzung geschieht, kann die tatsächliche Nutzungsdauer nicht verwendet werden. Diese ist immer nur a posteriori bekannt, nicht aber a priori. Aus diesem Grund muss eine zum vornherein festlegbare Grösse, also die theoretische Lebensdauer (z.B. nach AFB²⁵ Liste) angewandt werden. Mit diesem Ansatz entstehen allerdings bei einem vorzeitigen Wechsel "versunkene" Belastungen, die in keiner Bilanz erscheinen.

Bei der Bilanzierung eines neuen Nutzers in einem vorher anders genutzten Gebäude handelt es sich eigentlich um eine Art closed-loop Recycling und eine Allokation der Aufwendungen zwischen den verschiedenen Stufen ist nicht notwendig [ISO 1997]. Auch wenn Gebäude nicht unendlich weiter genutzt und wiederverwendet werden können, ist das Ende doch nicht voraussehbar. Heute noch wird in Gebäuden aus dem 15. Jahrhundert gewohnt oder gearbeitet. Dies spricht dafür, die Umnutzung oder Renovation von Gebäuden nicht zum vornherein als Kaskadenrecycling zu bezeichnen. Wir schlagen deshalb vor, dem neuen Nutzer lediglich die Aufwendungen für den Umbau zu belasten.

Mit der gleichen Begründung soll auch bei einem vorzeitigen Umbau oder Neubau eines Gebäudes, dem neuen (oder erneuerten) Bau lediglich die Aufwendungen für Umbau oder Neubau angelastet werden (vgl. auch Kap. 0). Die noch nicht abgeschriebenen Aufwendungen aus dem Bau des alten Gebäudes werden als versunkene Kosten betrachtet.

25 AFB: Amt für Bundesbauten

4. Schlussfolgerungen

Im vorliegenden Diskussionspapier wurden für ausgewählte wichtige Fragestellungen im Bereich Ökobilanzen im Bauwesen, die funktionalen Einheiten und die Systemgrenzen hergeleitet. Dabei lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

1. Es stellte sich heraus, dass das Bestimmen einer präzisen und praktikablen funktionalen Einheit schwieriger ist als die Festlegung der adäquaten Systemgrenzen²⁶. Der enge Bezug der funktionalen Einheit zur eigentlichen Funktion des betrachteten Systems zwingt einem erstens meist zur Integration des Nutzers in die funktionale Einheit und zweitens bedingt er eine unterschiedliche Festlegung für beinahe jeden Einzelfall. Dieses Problem kommt bei Ökobilanzen von Gebäuden deutlich stärker zum Tragen als bei anderen Produktökobilanzen. So liegt es bei der Produktion von grafischen Papieren nahe, die Menge produzierten Papiers als funktionale Einheit zu verwenden; dies ist schliesslich die Funktion des betrachteten Systems. Bei den Fragestellungen rund um das Gebäude steht jedoch meist der Verwendungszweck in irgendeiner Form im Zentrum der Fragestellung. Das Gebäude selbst hat jeweils nur eine Art Hilfsfunktion inne. Dadurch ist es meist nicht möglich, die funktionale Einheit in Analogie zum obigen Beispiel der Papierproduktion einfach als Kubatur Gebäude zu definieren.
2. Die Arbeit zeigt, dass mit dem gewählten Vorgehen (vgl. Kap. 2.2), das sich an [Lindfors 1995] orientiert, vernünftige funktionale Einheiten ableiten lassen. Nur muss dies für jede Fragestellung wieder neu gemacht werden. Allgemein gültige Regeln können nicht abgeleitet werden. Allerdings können die funktionalen Einheiten der hier beschriebenen Fragestellungen als Anhaltspunkte für andere typähnliche Fragestellungen als Grundlage dienen.
3. Auch die vorgeschlagenen Systemgrenzen sind unseres Erachtens praktikabel und korrekt. Sie müssen jedoch ebenfalls in je-

26 Dies hat sich auch in den Expertengesprächen bestätigt, wo die funktionale Einheit jeweils deutlich mehr Angriffspunkte für eine Diskussion lieferte als die Systemgrenzen.

dem Einzelfall überprüft werden. Insbesondere gilt es, sie mit den Cut-off- und den Redflag-Regeln bei Bedarf zu erweitern oder einzuengen. Als Grundlage zur Systemabgrenzung lässt sich aber das hier beschriebene Maximalsystem (vgl. Figur 2) gut verwenden.

Literatur

- [Cole 1996] Life-Cycle Energy Use in Office Buildings, in: Building and Environment, Vol. 34, No. 4, p. 307 - 317, 1996
- [Consoli 1993] Consoli, F. et al.: Guidelines for Life-Cycle Assessment: A Code of Practice, SETAC 1993
- [CRB 1991] CRB, EKG Elementkostengliederung 1991, SN 506502, Zürich 1991
- [Dinesen 1994] An Energy Life-Cycle Assessment Model for Building Design, Danish Building Research Institute, 1994?
- [econcept 1997a] Ökologische Instrumente im Planungs- und Bauprozess, Anwendungsorientierter Leitfa-den, Entwurf, im Rahmen IEA Annex 31, 1997
- [econcept 1997b] Kostensenkungen bei Planungs-, Erschlies-sungs- und Bewilligungsverfahren, Zwischen-bericht, im Auftrag des Bundesamtes für Konjunkturfragen, 1997
- [EPA 1993] Life-Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles, EPA/600/R-92/245 United States Environmental Protection Agency, Wa-shington DC
- [Fleischer & Schmidt 1996] Fleischer, G. und Schmidt, W.-P.: Func-tional Unit for Systems Using Natural Raw Materials, in: International Journal of Life Cy-cle Assessment, Vol.1 No.1 1996, S. 23-27, ecomed publishers, Landsberg (D)
- [Frischknecht 1996] Goal and Scope Definition and Inventory Analysis, Theme report, draft, European Net-work für Strategic Life-Cycle Assessment Re-search and Development, LCA Net

- [Howard 1997] Howard, N.: Technical system, Draft, May 1997.
- [ISO 1997] Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Définition de l'objectif et du champ d'étude et analyse de l'inventaire, ISO/TC 207/SC 5, ICS 13.020
- [Iten 1990]: Die mikroökonomische Bewertung von Veränderungen der Umweltqualität, dargestellt am Beispiel der Stadt Zürich, Schriftenreihe des Instituts für empirische Wirtschaftsforschung, Uni Zürich, Zürich 1990.
- [Jönsson 1995] Jönsson, Asa: Life Cycle Assessment of Flooring Materials, a case study and methodological considerations, technical environmental planning report 1995:3, Göteborg 1995.
- [Kohler 1994] BEW, BUWAL, AfB, BfK. Energie- und Stoffflussbilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer, Schlussbericht, Karlsruhe 1994
- [Le Téno 1996]: Le Téno, J. F., Chevalier, J. L.: Environmental Design of building product: solutions to LCA boundary problems, in: A Critical Review of the Application of Advanced Technologies in Architecture, Civil and Urban Engineering, pp. 625-635, 1996.
- [Lindfords 1995] Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment, Nord 1995:20, Nordic Council of Ministers, Copenhagen
- [Nibel 1997] Context and Scope, Proposition of draft for IEA Annex 31, CSTB France
- [Polster 1996] Polster, B. et al.: Evaluation of the Environmental Quality of Buildings towards a more Environmentally Conscious Design, in: Solar Energy, Vol. 57, No. 3, p. 219 - 230, 1996

- [Pommerehne 1991]: Pommerehne W., Römer A. U.: Ansätze zur Erfassung der Präferenzen öffentlicher Güter, Universität des Saarlandes, Saarbrücken 1991
- [Quack 1997] Quack, D.: Komplexe Zusammenhänge, Ökobilanzen von Gebäuden liefern wichtige Informationen für die Bauplanung, in: Müllmagazin 2/1997
- [Regener 1997] Environmental Impact of Building, Application of the Life Cycle Analysis to Buildings, Detailed Description and review, EC DG XII, Regener Project, Final Report, 1997
- [Scholz 1996]: ETHZ, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften, Industriearial Sulzer-Escher Wyss, UNS-Fallstudie 1995, Zürich 1996
- [SIA 1991] Schweizerischer Ingenieur und Architekten-Verein: Energie im Hochbau. Empfehlung SIA 380/1, Zürich 1988 (Leitfaden: SIA D 080, Zürich 1991),
- [SIA 1995] SIA D0123: Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten, Stand 1995, Zürich, 1995.
- [SIA 1996a] SIA V112/1, Leistungsmodell 95, Phasengliederung, Leistungsmodule, Zürich 1996
- [SIA 1996b] Schweizerischer Ingenieur und Architekten-Verein: Elektrische Energie im Hochbau, Empfehlung SIA 380/4, Zürich 1995 (Leitfaden: SIA D 0131, Zürich 1996).
- [Tillman 1994]: Tillman, A.-M. et al.: Choice of system boundaries in life cycle assessment, in: Journal of Cleaner Production, 1994 Volume 2 Number 1, pp 21 - 29, 1994.

- [Weibel 1995] Weibel, T., Stritz, A.: Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baumaterialien, Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Hochbaukonstruktionen, ESU-Reihe Nr. 1/95, Zürich, September 1995.