

Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden"

Schlussbericht

IEA BCS Annex 31 „Energy Related Environmental Impact of Buildings“

Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz
Laboratorium für Technische Chemie

ETH Zürich

Mit Unterstützung des
Bundesamtes für Energie

März 2000

Impressum

Projekttitel: IEA CBS Annex 31, "Energy Related Environmental Impact of Buildings"

Titel Teilprojekt: **Schlussbericht**

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: Annick Lalive d'Epinay
Patrick Steinle
Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz
Laboratorium für Technische Chemie
Eidgenössische Technische Hochschule ETH
8092 Zürich

Bezug: EMPA ZEN
Überlandstrasse 129
8600 Dübendorf
Tel: 01/ 823 41 78
Tel: 01/ 823 42 78
<http://www.empa.ch/deutsch/zentren/zen/index.htm>

1. Auflage, März 2000

Zusammenfassung

Dieser Schlussbericht enthält eine Übersicht über die im nationalen Projekt „IEA Annex 31, Energy Related Environmental Impact of Buildings“ geleisteten Arbeiten. Alle Teilprojekte werden in Kurzfassungen wiedergegeben.

Es wurde ein Leitfaden zur Verwendung national und international verfügbarer Instrumente zur Bewertung von Gebäuden und Gebäudeentwürfen erstellt. Im Leitfaden wurden verschiedene Instrumente systematisch analysiert, an Fallbeispielen getestet und bezüglich ihres optimalen Einsatzzeitpunktes beurteilt.

Im Bereich der Ökobilanzmethodik wurden verschiedene Projekte durchgeführt. So konnte anhand einer Umfrage bei am Bau beteiligten Akteuren die Bekanntheit und Akzeptanz der Methode betrachtet werden. Eine Übersicht über den „State-of-the-Art“ in der Ökobilanzierung von Gebäuden wurde mit Hilfe der durch die Einbindung in das gleichnamige, internationale Projekt der Internationalen Energie Agentur (IEA) erstellten Kontakte erarbeitet. Auf der Basis dieser Erkenntnisse konnten für die Anwendung im Baubereich Empfehlungen zu Zieldefinition und Systemgrenzen bei Ökobilanzen gegeben werden. In einer Dissertation wurde die Eignung der Methode für die Entwurfsphase getestet. Es konnte gezeigt werden, dass sich Ökobilanzen insbesondere für Fragestellungen eignen, bei denen eine simultane Optimierung von Material- und Energiebedarf verlangt ist. Für Fragen in frühen Phasen des Entwurfs, wären Kennwerte notwendig. Die Erstellung solcher Kennwerte anhand vieler detaillierter und systematisch erfasster Gebäude wurde ebenfalls dokumentiert.

Im dritten Teil konnten für einige Prozesse und Bauprodukte methodische Fragen betrachtet und Daten erfasst werden. Bei Haustechnikanlagen konnte anhand grober Materialbilanzen festgestellt werden, dass sie massgebend an der Umweltbelastung eines Gebäudes beteiligt sind. Für Kunststoffe konnte in Zusammenarbeit mit der Kunststoffindustrie eine Analyse der Stoff- und Massenflüsse in der Schweiz erstellt werden. Für Sanierungsvorhaben wurden anhand eines Fallbeispiels methodische Fragen zur Behandlung des vorzeitigen Ersatzes und der Allokation behandelt. Für Entsorgungsprozesse von Baumaterialien konnten erstmals Ökoinventardaten generiert werden, die der Verwendung der Baumaterialien im Gebäude (in der Konstruktion) Rechnung tragen.

Das Projekt hat dazu beigetragen, die Ökobilanzierung im Bauwesen weiterzuentwickeln und hat anhand der Vergleiche und Analysen auch auf internationaler Ebene den Koordinationsbedarf aufgezeigt.

Summary

This final report contains an overview over all results of the national project „IEA Annex 31: Energy Related Environmental Impact of Buildings“. Extended abstracts for every project are given.

In the first phase of the project nationally and internationally available environmental assessment tools for buildings were compiled. Selection criteria for their application in the design process were identified. The usage of the tools was examined and documented with case studies.

Several methodological questions about the life cycle assessment methodology (LCA) were addressed: By means of a questionnaire it was assessed how well LCA is accepted by stakeholders in the building sector and how much is known about the methodology. The state-of-the-art methodology was summarised and different case studies were systematically compared. On the basis of these analyses recommendations concerning the goal and scope definition for use in LCA in the building sector were given. In a PhD project the applicability of LCA in early design phases was tested. It was shown that LCA is suitable for simultaneous optimisation of energy and material related aspects. For questions in the very early design phase, characteristic values are needed. The implementation of such characteristic values was tested and the need for a systematic assessment of a representative number of buildings to obtain such values was stated.

In the third part of the project building process and building material related data was developed. With the help of mass balances the relative importance of building control components on the environmental assessment of an entire building was identified. The use, disposal and stock of plastics in the Swiss building sector was analysed and characterised. By means of a case study, methodological questions about allocation rules, about early replacement and about the choice of electricity mixes for refurbishment and retrofitting situations were discussed. Inventory data of material specific disposal processes was elaborated. The data allows an assessment of the disposal phase for different scenarios depending on the use of the material in the construction.

The project contributed to an improvement of LCA methodology and data for the building sector and showed the necessary need for co-ordination on an international and on a national level.

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1	IEA BCS Annex 31 „Energy related environmental impact of buildings“	1
1.1	Ziele des Projektes	1
1.2	Rahmenbedingungen – Das internationale Projekt der Internationalen Energie Agentur	2
Kapitel 2	Überblick über international und national vorhandene Instrumente	5
2.1	Instrumente für ökologisches Bauen im Vergleich – ein Leitfaden für das Planungsteam.....	5
Kapitel 3	Methodische Aspekte der Ökobilanzierung	13
3.1	Architektur und Ökologie – Eine Studie über die in der Baubranche vorhandene Meinung zu umweltgerechten Bauweisen	13
3.2	Überblick über die Ökobilanzierung von Gebäuden – State of the Art	17
3.3	Funktionelle Einheit und Systemgrenzen	27
3.4	Die Umweltfreundlichkeit als eine Determinante des architektonischen Entwurfs.....	32
3.5	Bau-Umweltbelastungskennwerte zur Abschätzung der Umweltverträglichkeit von Gebäuden in frühen Planungsphasen.....	41
Kapitel 4	Daten und Methodisches zu Bauteilen und Bauprozessen.....	45
4.1	Umweltrelevanz der Haustechnik. Eine Entscheidungsgrundlage	45
4.2	Kunststoffe in der Schweizer Bauindustrie	49
4.3	Ökologische Sanierung von Bürobauten	53
4.4	Ökobilanzen der Entsorgung von Baumaterialien	57
Kapitel 5	Ausblick	62
Kapitel 6	Literatur	64
	Publikationsliste	65

Kapitel 1

IEA BCS Annex 31 „Energy related environmental impact of buildings“

Dieser Schlussbericht beinhaltet eine Zusammenstellung aller Projekte, die im Rahmen des nationalen Projekts mit dem Titel „IEA BCS Annex 31, Energy related environmental impact of buildings“ erfolgt sind.

Das Projekt ist im Bereich der Umweltanalyse von Gebäuden angesiedelt. Zu diesem Bereich gehören einerseits Instrumente, welche die Umweltbelastung von Gebäuden ausweisen, andererseits auch methodische Überlegungen zur Erfassung und Bewertung von Umweltbelastungen. Der Ausdruck „energy related“ wurde sehr breit gefasst, es fand keine Eingrenzung auf rein energetisch bedingte Umweltbelastungen statt.

Das Projekt wurde vom Bundesamt für Energie (BfE) finanziert und umfasste eine Vielzahl von kleineren und grösseren Teilprojekten. Die Resultate dieser Teilprojekte werden hier vorgestellt.

1.1 Ziele des Projektes

Es war das Ziel des Projektes, die Umweltverträglichkeit von Gebäuden anhand der Ökobilanz-Methodik zu bewerten, Zusammenhänge zu erkennen und Optimierungspotentiale zu identifizieren.

Dazu wurde einerseits das Ziel verfolgt, einen systematischen Überblick über in der Schweiz und im Ausland verfügbare Instrumente zu gewinnen. Die Vielfalt an Instrumenten ist gross und die unterschiedlichen methodischen Ansätze können zu verschiedenen Resultaten führen, was die Ent-

scheidungsträger¹ oftmals verwirrt. Es war daher ein Bedürfnis, einen systematischen Überblick zu erstellen. Anhand von Experten erarbeiteter Kriterien sollten 15 Instrumente aus einer umfassenden Übersicht über verfügbare Instrumente ausgewählt werden und bezüglich ihres optimalen Einsatzzeitpunktes im Planungsprozess ausgewertet werden. Für alle Instrumente sollte anhand der Untersuchung erkennbar werden, warum sie welche Resultate liefern und für welche Fragen sie geeignet sind.

Andererseits sollte die Ökobilanzmethodik anhand eines konkreten Fallbeispiels auf ihre Eignung geprüft werden, im architektonischen Entwurfsprozess angewendet werden zu können. Es sollten methodische Aspekte (funktionale Einheit und Systemgrenzen, frühe Planungsphase, Sanierungsmassnahmen) diskutiert und auch verschiedene Datensätze zu Bauteilen oder Bauprozessen (Entsorgungsprozesse, Metalle, Haustechnikanlagen) erarbeitet werden.

1.2 Rahmenbedingungen – Das internationale Projekt der Internationalen Energie Agentur

Das nationale Projekt ist im Rahmen eines international ausgeschriebenen Projektes der Internationalen Energie Agentur (IEA) entstanden.

Im Jahre 1995 wurde von der IEA im Bereich Building and Community Systems (BCS) ein Projekt lanciert mit dem Titel “IEA BCS Annex 31, Energy Related Environmental Impact of Buildings”. Am internationalen Projekt waren insgesamt 14 Länder beteiligt (siehe auch Abb. 1), darunter auch die Schweiz. Das Projekt konnte Ende 1999 abgeschlossen werden.

Die Mitarbeit der Schweiz am internationalen Projekt wurde durch das Bundesamt für Energie unterstützt. Das nationale Projekt stellte somit den aktiven Beitrag der Schweiz zum internationalen Projekt dar. Die Projektleitung lag bei der ETH in Zürich.

¹ Aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit wird bei Berufsbezeichnungen u.ä. immer die männliche Form gewählt. Es sind jedoch stets beide Geschlechter angesprochen.

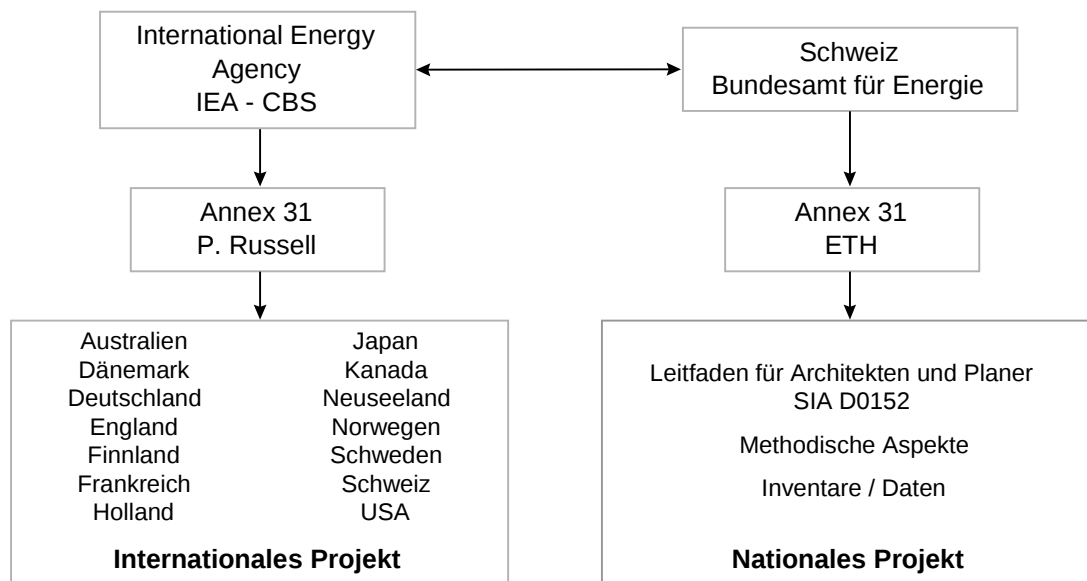


Abb. 1 Die Projektstruktur: Im linken Bereich ist das internationale Projekt dargestellt, das von der IEA lanciert wurde und bei welchem 14 Länder beteiligt waren. Die Schweiz hat auf der Ebene IEA - BfE eine Vereinbarung, dass bei diesem Annex mitgearbeitet wird. Die ETH war Projektleiterin des nationalen Projektes (rechte Seite). Das nationale Projekt verfolgte drei Ziele, zu denen in verschiedenen Projektteams Arbeiten gemacht wurden. Die Resultate der Arbeiten sind in diesem Schlussbericht zusammengefasst.

1.2.1 Ziele des internationalen Projektes

Das Ziel der internationalen Zusammenarbeit war es, den Forschern im Gebäudesektor Informationen über Methoden, Instrumente und Daten zu Umwelteinwirkungen auf lokaler, regionaler und globaler Ebene zur Verfügung zu stellen. Es ging in erster Linie darum, eine Übersicht über die internationalen Tätigkeiten im Bereich des umweltverträglichen Bauens – insbesondere was Planungsinstrumente und Methoden betrifft – zu gewinnen und anhand der Analyse des Bestehenden Empfehlungen für Neues zu geben.

1.2.2 Resultate des Projektes

Die internationale Zusammenarbeit hat es ermöglicht, sehr gute Kontakte zu verschiedenen Institutionen im Ausland zu knüpfen und Erkenntnisse auszutauschen. Besonders intensiv war die Zusammenarbeit mit der Bauhaus Universität Weimar (Herr Thomas Lützkendorf und Herr Karsten Tanz) und dem Institut für Industrielle Bauproduktion (ifib) der Universität

Karlsruhe (Herr Markus Koch). Gemeinsam wurde ein Vergleich der Planungsprozesse erstellt und die Analyse der Instrumente vorangetrieben. Mit der KTH Stockholm (Herr Wolfram Trinius) und dem Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), Marne-la-vallée, Paris (Frau Sylviane Nibel) wurde eine gemeinsame Publikation verfasst über die Typologie verschiedener Analyseinstrumente. Intensive Kontakte konnten auch zu Holland (w/e consultants, Herr Chiel Boonstra und Frau Marjo Knapen) und zu England (BRE, Herr Nigel Howard) geknüpft werden.

Diese Kontakte waren für das nationale Projekt äusserst fruchtbar. Vor allem die Übersicht über bestehende Instrumente, die Diskussion über Systemgrenzen und Funktionale Einheiten und die Anwendung der Ökobilanzmethodik im Entwurf konnten von der Zusammenarbeit profitieren.

Die zu erwartenden Resultate des internationalen Projektes betreffen vor allem die Übersicht über die Tätigkeiten in den einzelnen Ländern und die systematische Erfassung von verschiedenen Instrumenten zur Bewertung der Umweltverträglichkeit von Gebäuden. Die Resultate und die vollständige Liste mit den Kontaktadressen sind im Internet auf folgenden Seiten zu sehen:

<http://www.uni-weimar.de/SCC/PRO/>

<http://annex31doc.tce.rmit.edu.au/>.

Kapitel 2

Überblick über international und national vorhandene Instrumente

2.1 Instrumente für ökologisches Bauen im Vergleich – ein Leitfaden für das Planungsteam

Die Studie "Instrumente für ökologisches Bauen im Vergleich" wurde im Oktober 1998 als SIA-Dokumentation D0152 veröffentlicht. Ziel war es, die vorhandenen Grundlagen, Instrumente und Normen einer ökologischen Bauwirtschaft übersichtlich zusammenzufassen und vergleichbar zu machen. Dadurch kann die Sensibilisierung der Bauwirtschaft für ökologische Anliegen gestärkt und umweltschonendes Bauen gefördert werden.

2.1.1 Die Ausgangssituation: Viele ökologische Problemstellungen und zahlreiche Instrumente

Welche Tragstruktur soll zum Einsatz kommen? Ist eine Holzschnitzelfeuerung einer konventionellen Ölfeuerung vorzuziehen? Wie soll die Umgebung gestaltet werden? Ist ein Umkehrdach ökologischer als ein Warmdach? Wie soll mit Verbundmaterialien umgegangen werden? Welche Orientierung des Gebäudes ist vorzuziehen, etc. ...? Fragen über Fragen. Bei jedem Bauvorhaben, vom einfachen Unterhaltsanstrich über Umbauten bis hin zur kompletten Überbauung, müssen das Planungsteam und die Bauherrschaft unzählige Entscheidungen fällen, die oft weitreichende Auswirkungen auf die Umwelt haben.

Aber auch die Vielfalt an Instrumenten und Entscheidungshilfen, die dem Bauherrn die Wahl für die eine oder andere Alternative erleichtern

sollten, ist gross. Das Feld der Methoden reicht von umfassenden quantitativen bis hin zu qualitativen Methoden: Ökobilanzen, Nutzwertanalysen, Produktdeklarationen, Merkblätter nach Baukostenplan, Ökoinventare, Checklisten, usw..

2.1.2 Ziel der Publikation

Angesichts dieser Ausgangslage will die Publikation "Instrumente für ökologisches Bauen im Vergleich" eine Orientierungshilfe anbieten, indem sie einen systematischen Überblick gibt. Gleichzeitig soll sie dem ökologisch interessierten Planungsteam bei der Wahl des für die spezifische Fragestellung geeigneten Instrumentes als Ratgeber helfend beiseite stehen.

Einen systematischen Überblick bietet die Studie in dreifacher Hinsicht, nämlich über:

- die wichtigsten Wirkungen der Bautätigkeit auf die Umwelt
- die wichtigsten Fragestellungen im Planungs- und Bauprozess
- die Instrumente zur Beurteilung der ökologischen Auswirkungen der Bautätigkeiten.

Eine Ratgeberfunktion entwickelt SIA D0152 dadurch, dass sie den Benutzern anzeigt, für welche Probleme resp. anstehenden Entscheide welche Instrumente am ehesten geeignet sind, und welche Resultate dabei erwartet werden können.

2.1.3 Umweltwirkungen des Bauens

Die Tätigkeiten der Bauwirtschaft und insbesondere die Nutzung der Bauten durch die Bewohner führen sowohl auf lokaler, regionaler als auch globaler Ebene zu verschiedenen (z.T. ungewollten) ökologischen Wirkungen (vgl. dazu Abb. 2).

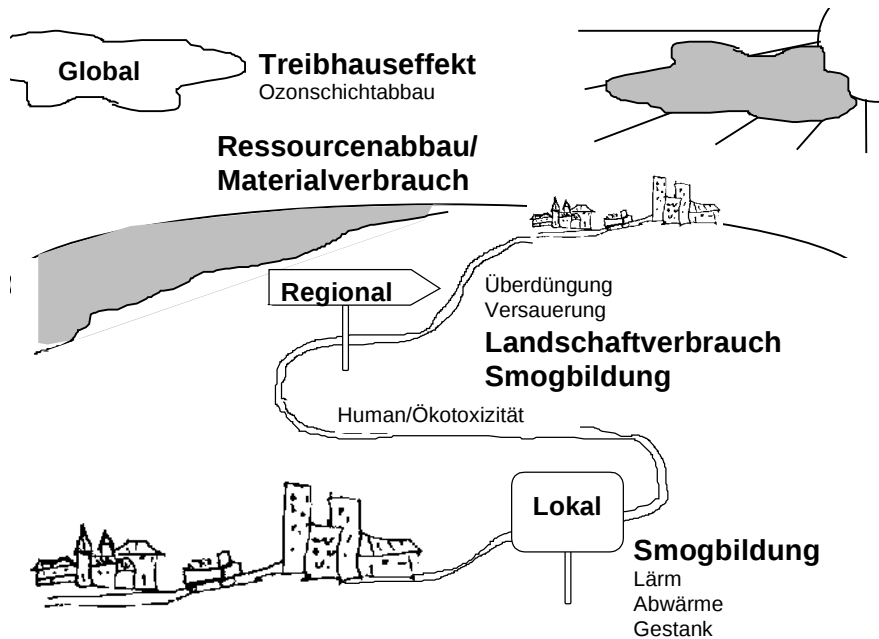


Abb. 2 Normalerweise werden in Ökobilanzen und Ökoinventaren die hier angeführten zwölf Umweltwirkungen unterschieden. Die Bautätigkeit hat massgeblichen Anteil an den fettgedruckten Wirkungen (Treibhauseffekt, Materialverbrauch, Landschaftsverbrauch, Smogbildung). Der Energieverbrauch figuriert in dieser Auflistung unter Ressourcenabbau

Für den Hochbau stehen die nachfolgenden im Vordergrund:

Materialverbrauch

Bei den Bautätigkeiten in der Schweiz gelangen alljährlich etwa 75 Millionen Tonnen Materialien zum Einsatz. Neben den damit verbundenen Transporten führt hier insbesondere die zukünftige Entsorgung zu ökologischen Konsequenzen (Stichworte: Rückbaufähigkeit, Verbundmaterialien).

Energieverbrauch

Energie wird sowohl während der Nutzung als auch indirekt bei der Erstellung der Bauten in grossem Ausmass benötigt: Um Raumwärme, Beleuchtung u. ä. m. bereitzustellen, setzen Haushalte, Dienstleistungsunternehmen, Gewerbe- und Industriebetriebe zusammen rund 52% des gesamten schweizerischen Endenergieverbrauches ein.

Flächenverbrauch

In der Schweiz wird jede Sekunde ein Quadratmeter Boden versiegelt. Diese Überbauungsrate blieb trotz des fortschrittlichen Raumplanungsgesetzes seit den späten achtziger Jahren unverändert.

Siedlungsstruktur und Verkehr

Die Zersiedelung und die Trennung von Arbeits- und Wohnwelt haben einen massgeblichen Einfluss auf die Verkehrsströme. Die damit verbunde-

nen Umweltwirkungen (Energieverbrauch, Lärm- und Luftbelastung) dürfen der Bauwirtschaft nur zu einem Teil angelastet werden. Insbesondere bei grossen Bauwerken (Dienstleistungs- und Einkaufszentren) sind die zusätzlich verursachten Pendlerströme auch von Gesetzes wegen (UVP) als direkte Auswirkungen zu betrachten.

Beitrag zum Treibhauseffekt und zur Smogbildung

Indirekt, vor allem über den Energieverbrauch, verursacht die Bauwirtschaft einen grossen Teil der gesamtschweizerischen CO₂-Emissionen und trägt so massgeblich zum Treibhauseffekt bei.

2.1.4 Wichtigste Entscheidungen im Planungs- und Bauprozess

Das Planungsteam und die Bauherrschaft müssen im Planungs- und Bauprozess eine Vielzahl von Einzelentscheiden fällen, die allesamt spezifische Auswirkungen auf die Umwelt haben. Um einen Überblick zu schaffen, wurden diese Einzelentscheide mit Hilfe des Modellplanungsprozess für Hochbauten (vgl. dazu SIA-Leistungsmodell 95) zusammengefasst. Dabei wurden die nachfolgenden Planungsphasen anhand konkreter Fragestellungen unterschieden:

- Investitionsanstoss, also die Frage, ob das Baubedürfnis z.B. als Umbau oder Neubau befriedigt werden soll
- Festlegung der Anforderungen an das Bauvorhaben. Dazu gehören Angaben zur Ausstattung, Komfortansprüchen, Energieverbrauchswerte etc.
- Standortwahl. Diese umfasst insbesondere die Lage des Bauvorhabens in Bezug zur übrigen Siedlungsstruktur und die Ausrichtung des Gebäudes.
- Gestalt und Raumkonzept. Darunter fallen Entscheide zur Gebäudeform und zur Raumorganisation (Ausscheidung der Nutzungszonen).
- Konstruktives System, also die Wahl der Tragstruktur und der Hauptbauteile (Festlegung der Gebäudehülle).
- Systemwahl Haustechnik, insbesondere die Fragen in Bezug auf Wärme- und Energieversorgung, Lüftung und Klima, Sanitäranlagen, Beleuchtung, Mess- und Steuertechnik.
- Umgebungsgestaltung. Diese umfasst z.B. die Einrichtung von Dauergrünanlagen, die Befriedigung der Parkplatznachfrage etc.
- Rückbaukonzept, d.h. Fragen betreffend Entsorgung und Rückbaufähigkeit der für das Bauvorhaben verwendeten Materialien.

- Materialwahl, d.h. die Frage, welche Materialien für die Innenausstattung und die nichttragenden Bauteile verwendet werden sollen.
- Produktewahl
- Baustellenorganisation, z.B.: Platz für Entsorgungscontainer für Bauabfällen u.ä.m.
- Beeinflussung des Benutzerverhalten durch Informationen über die ökologischen Auswirkungen des Gebäudes.

2.1.5 Überblick über die Instrumente

Aus einer Liste von gut 100 national und international vorhandenen Instrumenten hat ein Expertengremium aufgrund verschiedener Kriterien die folgenden fünfzehn Instrumente ausgewählt:

- SIA D0122 - Ökologische Aspekte des Bauens
- SIA D0123 - Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten
- SIA D0137 - Checklisten für energiegerechtes, ökologischen Planen und Bauen
- SIA 493 - Deklaration ökologischer Merkmale von Bauprodukten
- Ökoinventar Anstrichstoffe
- BKP - Ökologisch Bauen, Merkblätter nach Baukostenplan (der Stadt Zürich)
- E2000 Öko-Bau - Bewertungsformular Ökobau-Standard
- OGIP - Optimierung von Gesamtenergieverbrauch, Umweltbelastung und Baukosten (Softwarepaket)²
- ÖLB - Ökologie in Leistungsbeschreibungen (NPK)
- sowie sechs weitere Instrumente aus dem Ausland.

Bei der Wahl wurde darauf geachtet, dass sowohl Instrumente, welche die Umweltwirkungen quantitativ beschreiben (z.B. Ökoinventare), als auch Instrumente, welche die Wirkungen primär qualitativ umschreiben (z.B. Checklisten), untersucht wurden.

Alle fünfzehn Instrumente wurden mit Hilfe eines fixen Rasters ausführlich beschrieben. Diese Raster umfasst zum einen technische Aspekte wie

² Zur Zeit der Erstellung der Übersicht war die heutige OGIP Software des CRB noch nicht verfügbar, weshalb das Vorläufermodell der ETH Lausanne und Uni Karlsruhe betrachtet werden musste.

Bezugspunkt (Material, Bauteil, Gebäude, etc.), untersuchte Wirkungen (Ressourcenabbau, Smogbildung usw., vgl. dazu die Abb. 2), Datengrundlagen (Alter, Studien), Gültigkeitsbereiche (Schweiz, OECD, global), und verwendete Bewertungsmodelle. Darüber hinaus wurden auch Fragen zur Anwendung erfasst: Vorausgesetzte Kenntnisse der Benutzer, Praktikabilität, wichtigste Anwendungsbereiche, Bezugsadresse, etc..

Die systematische Beschreibung ermöglicht den direkten Vergleich der verschiedenen Instrumente. Zudem geben insbesondere die technischen Aspekte Hinweise darauf, was das entsprechende Instrument in der Beurteilung alles berücksichtigt. Dies ist wichtig, um die Resultate angemessen interpretieren zu können.

Es kann durchaus sein, dass der Benutzer widersprüchliche Resultate erhält, wenn er unterschiedliche Instrumente für eine bestimmte Fragestellung anwendet. Wie mit derartigen Fällen umgegangen werden kann, illustrieren die vier in der Dokumentation ausführlich beschriebenen Fallbeispiele (vgl. Tab. 1).

Tab. 1 Wenn Fragestellungen mit unterschiedlichen Instrumenten untersucht werden, können durchaus widersprüchliche Resultate herauskommen. So kehrt sich im angeführten Beispiel die Rangfolge von zwei Systemen zur Energieversorgung um. Der Grund für die konträre Beurteilung liegt darin, dass das erste Instrument (OGIP) auch globale Auswirkungen (CO₂ - Emissionen) berücksichtigt.

Instrument	Variante A: Holzschnitzel- feuerung	Variante B: Blockheizkraft- werk
OGIP	1.	2.
Standortemissionen (UVP)	2.	1.

2.1.6 Ratgeber: Wofür kann welches Instrument im Bau und Planungsprozess eingesetzt werden?

Eine Übersichtstabelle zeigt dem Benutzer an, welches Instrument für welche Fragestellungen eingesetzt werden kann (vgl. Tab. 2). Um diese "Schaltzentrale" für eine praktische Entscheidung im Bau und Planungsprozess nutzen zu können, muss der Benutzer festlegen, welcher Fragestellung die anstehende Entscheidung zuzuordnen ist. Wenn z.B. der Innenanstrich nach ökologischen Gesichtspunkten optimiert werden soll, so betrifft dies die Materialwahl in der Phase des Bauprojekts.

Tab. 2 Zuordnung der (schweizerischen) Instrumente zu den Fragestellungen.

		Instrumente								
Fragestellung		Ökoinventar Anstrichstoffe	Merklätter nach BKP	E2000 Öko-Bau	ÖLB	OGIP	SIA 493	SIA D0122	SIA D0123	SIA D0137
SP	Investitionsanstoss									
VS	Festlegung Anforderungen									
	Standortwahl									
VP	Gestalt + Raumkonzept									
	Konstruktives System									
	Systemwahl Haustechnik									
	Umgebungsgestaltung									
	Rückbaukonzept									
BP	Materialwahl									
	Gesamtgebäude									
RA	Produktewahl									
	Baustellenorganisation									
Nu	Benutzerverhalten									
Bestehende Gebäude										

Schwarze Felder: Instrument ist geeignet, graue Felder: Instrument ist nur bedingt geeignet zur Unterstützung der jeweils anstehenden Entscheidungen. Unterschiedene Planungsphasen: SP: Strategische Planung, VS: Vorstudie, VP: Vorprojekt, BP: Bauprojekt, RA: Realisierung, NU: Nutzung.

Betrachtet man Tabelle 2 näher, so zeigt sich deutlich, dass vor allem in der frühen Planungsphasen (Strategische Planung und Vorstudie) nur wenige Instrumente vorhanden sind, die eine ökologische Gesamtbeurteilung des geplanten Bauvorhabens zulassen.

Die wenigen Instrumente, die für Problemstellungen in der Phase der Vorstudie geeignet sind, sind vor allem qualitativer Art (etwa SIA D0122). Dies ist nicht überraschend, sind doch in diesen frühen Planungsphasen noch zu wenig spezifische Daten über das Bauwerk vorhanden, die eine quantitative Beurteilung erlauben würden.

Tabelle 2 zeigt zudem, dass qualitative Instrumente (etwa SIA D0122 oder D0137) Allrounder sind und dem versierten Benutzer wichtige Hinweise für beinahe alle Problembereiche geben können. Quantitative Instru-

mente sind dagegen viel stärker auf bestimmte Fragestellungen hin konzipiert.

2.1.7 Schlussbetrachtung

Die hier vorgestellte SIA-Dokumentation D0152 gibt einen Überblick über die Wichtigkeit ökologischer Fragestellungen in der Bauwirtschaft. Instrumente, die als Entscheidungshilfen für diese Fragestellungen konzipiert wurden, werden vergleichend beschrieben (Stand Ende 1997). Gleichzeitig übernimmt die Dokumentation eine Ratgeberfunktion, indem auf einfache Weise aufgezeigt wird, welche Instrumente zur Unterstützung anstehender Entscheidungen eingesetzt werden können.

Die Schweiz verfügt im internationalen Vergleich über eine umfangreiche Palette geeigneter Instrumente für die ökologische Beurteilung von Planungs- und Bauvorhaben. Im Bereich der ökologischen Grundlagendaten (Ökoinventare und/oder qualitative Materialcharakterisierungen) sind jedoch weiterhin Lücken zu schliessen; insbesondere, weil das Bauwesen durch stete Neuentwicklungen bezüglich angewandeter Verfahren, Materialien und Technologien geprägt ist.

Originalliteratur:

P. Koch, W. Ott, B. Seiler, A. Lalive d'Épinay, D. Gilgen und H. Gugerli, *Instrumente für ökologisches Bauen im Vergleich. Ein Leitfaden für das Planungsteam*. SIA Dokumentation SIA D0152. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1998.

Kapitel 3

Methodische Aspekte der Ökobilanzierung

3.1 Architektur und Ökologie – Eine Studie über die in der Baubranche vorhandene Meinung zu umweltgerechten Bauweisen

Die Arbeit ergründet, wie weit Umweltschutz im Bauen von Vertretern und Vertreterinnen der Baubranche als durchführbar betrachtet wird. Sind Architekten und Planerinnen offen für ökologische Bautechniken und werden diese als vereinbar mit anderen Elementen wie Ästhetik oder Benutzerfreundlichkeit angeschaut? Gesucht war auch eine Antwort auf die Frage, warum sich gerade in diesem Bereich ökologische Denk- und Handlungsweisen nur sehr langsam durchsetzen können.

3.1.1 Gewählte Methodik

Die Datenerhebung wurde mittels einer Umfrage durchgeführt. 258 Fragebogen wurden an Personen verschickt, die in der Baubranche tätig sind. Die Auswahl wurde so getroffen, dass eine (beruflich und bezüglich Ökologie-Kenntnisse) möglichst heterogene Gruppe angefragt wurde. 113 Fragebogen konnten für die Bewertung berücksichtigt werden, dies entspricht einer Rücklaufquote von 43 Prozent.

Die Umfrage ist nicht als repräsentativ für die Baubranche zu betrachten. Dazu ist die Stichprobe mit 113 Befragten zu klein. Zudem haben sich vor allem Personen an der Studie beteiligt, die sich für umweltschonendes Bau-

en interessieren. Das Ziel, Tendenzen im Umgang mit umweltfreundlichen Bauweisen aufzeigen zu können, ist dennoch realisierbar.

3.1.2 Charakterisierung der Befragten

Die befragte Gruppe setzte sich zu einem grossen Teil aus Personen zusammen, die aus den Bereichen Architektur (30%) und Ingenieurwissenschaften (23%) stammen. Verglichen mit der gesamtschweizerischen Baubranche waren Ökologieberater mit elf Prozent überdurchschnittlich, nicht professionelle private Bauherren mit 2% unterdurchschnittlich vertreten.

Bezüglich Aus- und Weiterbildung in Ökologie und Naturwissenschaften gaben sehr viele (41%) den Besuch von Tagungen und Seminaren oder (24%) den selbständigen Wissenserwerb an. Deutlich weniger genossen eine diesbezügliche Ausbildung an einer (Fach)-Hochschule (16 bzw. 3%).

Bei der Frage nach der Wichtigkeit von sechs Aspekten in der bisherigen Bautätigkeit der Befragten, ergab sich folgende (absteigende) Reihenfolge: Benutzerfreundlichkeit > Wirtschaftlichkeit > Technik > Gestaltung > Ökologie > Gesetz, wobei der erste Aspekt durchschnittlich mit 5.1, der letzte mit 3.6 bewertet wurde (Skala von 6 bis 1).

Die befragte Gruppe ist sehr für Umweltfragen sensibilisiert, haben sich doch 87% in irgendeiner Form auf diesem Gebiet weitergebildet. Es fällt auch auf, dass sich die Befragten in vielen Belangen einig sind, konnten durch die Untersuchung doch nur selten (und geringe) Diskrepanzen zwischen einzelnen Berufsgattungen aufgezeigt werden.

3.1.3 Bekanntheitsgrad wichtiger Fachbegriffe

Der Bekanntheitsgrad wichtiger Fachbegriffe aus dem Umweltbereich war allgemein recht hoch. Nur ein Begriff (die holländische Bewertungsmethode Öko-Indikator) rangierte im Bereich unbekannt bis vage bekannt, drei weitere Begriffe waren vage bekannt bis bekannt. Alle weiteren elf Fachbegriffe wurden als bekannt bis gut bekannt eingestuft. Allerdings fällt auf, dass allgemeine Umweltprobleme (z.B. Treibhauseffekt) generell besser bekannt waren als eher Ökobilanz-spezifische Begriffe (Umweltbelastungspunkte, verschiedene Toxizitätsparameter).

3.1.4 Umweltschonende Bauweisen

Was sind die primären Schutzgüter, und wie kann Umweltschutz in der Baubranche umgesetzt werden?

Die Befragten geben dem schonenden Umgang mit Energie und Ressourcen sowie der Innenraumqualität den Vorrang vor den etwas abstrakteren Schutzziele „Boden“ oder „Landschaftsbild“. Bei der Umsetzung wurde die Wichtigkeit der integralen Planung, Verwendung natürlicher, langlebiger Materialien und des Recyclings betont; als Massnahmen zum Energiesparen wurde, nebst dem Einsatz erneuerbarer Energie und guter Dämmung, insbesondere auch eine Verhaltens- und Anspruchsänderung der Gebäudebenutzer gefordert.

Gibt es einen zwingenden Zusammenhang zwischen ökologischem Bauen und typischen gestalterischen Elementen, bzw. gar einen Stilzwang („Jute statt Plastik“) für umweltschonende Gebäude?

Hier sehen die Befragten einerseits durchaus Ökobau-Spezifika wie einfache Volumengestaltung, spezielle Materialwahl, Sonnenkollektoren und begrünte Dächer, wehren sich andererseits aber entschieden gegen den behaupteten „Stilzwang“.

Eine weitere Frage ging auf die Umwelt-Relevanz der Entscheide in den verschiedenen Planungsphasen ein. Die Befragten bewerteten dabei insbesondere die frühen Planungsstadien als wichtig (Abb. 3).

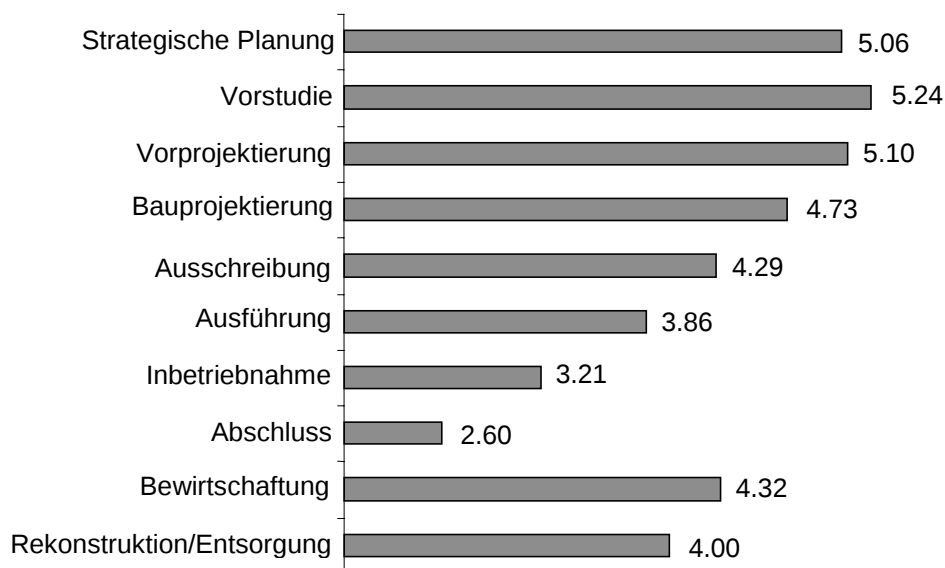


Abb. 3 Gewichtung des Einflusses der verschiedenen Planungsphasen auf eine umweltgerechte Bauweise. Die Bewertung reicht von klein (1) bis zu gross (6). Die Planungsprozesse sind nach SIA LM'95 aufgeteilt. Die Angaben entsprechen den Mittelwerten.

Befragt, ob umweltschonende Bauentscheide zwingend teurer seien als konventionelle, antworteten 22% mit ja, 74% mit nein. Diese Ansicht der Befragten deckt sich nicht mit der Meinung ihres beruflichen Umfelds, wurden

doch als häufigst gehörte Begründung gegen ökologische Entscheide gerade die Kosten (38%, gefolgt von “zu kompliziert“, 19%) erwähnt.

3.1.5 Fazit

Generell kann aus dieser Befragung gefolgert werden, dass sich die ökologisch interessierten Bauleute branchenübergreifend in weiten Belangen einig sind über zu berücksichtigende Schutzziele, konkrete umweltschonende Massnahmen und die Wichtigkeit der frühen Planungsphasen, sowie darüber, dass umweltschonende Gebäude nicht zwingend auf den ersten Blick als solche erkennbar und auch nicht teurer als andere sein müssen, auch wenn ihnen dieses Image anhaftet. Oft gewünscht wurden auch einfache Instrumente zur Umweltanalyse, möglichst verbunden mit deren obligatorischer Anwendung.

Währenddem einige der Befragten ökologische Gesichtspunkte konsequent in ihre Arbeit einbeziehen, sind andere dazu zwar willens, fühlen sich aber nicht in der Lage, solange die Rahmenbedingungen (gesellschaftliche Akzeptanz, politischer Durchsetzungswille) nicht geändert werden. Hierzu wurde oft betont, dass auch ein grosser Informationsbedarf besteht – bei Bauherren und Wettbewerbjurys, aber auch bei vielen Architekten und Planern. Selbstredend sollte diese Information anwendungsorientiert und möglichst widerspruchsfrei sein!

Originalliteratur

A. Lalive d'Épinay, A. Müller, und R. Pulli, *Architektur und Ökologie – Eine Studie über die in der Baubranche vorhandene Meinung zu umweltgerechten Bauweisen*. ETH Zürich, Laboratorium für technische Chemie, Professur für Sicherheit und Umweltschutz in der Chemie, Universitätsstrasse 31, 8092 Zürich, 1999

3.2 Überblick über die Ökobilanzierung von Gebäuden – State of the Art

Die Studie gibt einen Überblick über bestehende Methoden und Problemfelder der Ökobilanzierung im Bauwesen. Erstellt wurde eine Zusammenfassung des aktuellen Stands der Forschung und Anwendung, wobei nur Projekte zur Ökobilanzierung auf Gebäudeebene berücksichtigt wurden. Untersuchungen auf Material- oder Bauelementebene werden nicht betrachtet. In die Studie einbezogen wurden Fallbeispiele von bereits durchgeführten Ökobilanzen.

Es wurde insbesondere folgenden Fragestellungen nachgegangen:

- Wer beschäftigt sich mit Ökobilanzierung von Gebäuden?
- Wie betreiben verschiedene Akteure 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?

3.2.1 Methodik

Die Studie beruht grösstenteils auf einem Literaturstudium, dementsprechend kann sie auch als umfassendes Review der auf diesem Gebiet vorhandenen Publikationen betrachtet werden. Ergänzend wurden Interviews mit den Akteuren durchgeführt und die Informatik-basierten Ökobilanz-Instrumente analysiert.

3.2.2 Ökobilanzierung von Gebäuden

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

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

Ein Gebäude kann auf der Materialebene als Prozess der Erstellung, Erneuerung und des abschliessenden Rückbaus verstanden werden. Häufig erfolgt dabei eine Untergliederung des Gebäudes in Elementgruppen und Elemente, die ihrerseits aus verschiedenen Materialien bestehen und verschiedene Fertigungs- und Einbauschritte verlangen. Viele der in der Studie erfassten Ökobilanz-Instrumente basieren auf dieser Gliederung. Auf der Planungsebene wird das Gebäude eher als Prozess verstanden, mit sich immer mehr konkretisierenden Planungsstufen. Ein wichtiges Kriterium ist daher auch der Einsatzzeitpunkt einer Umweltanalysemethode. Die meisten der erfassten Ökobilanz-Instrumente benötigen aus methodischen Gründen detaillierte Materialangaben und sind daher erst im weit fortgeschrittenen Planungsstadium einsetzbar. Einige Forschungsgruppen sind bestrebt, den Einsatzzeitrahmen zu erweitern.

3.2.3 Akteure und Instrumente

Zur Zeit beschäftigen sich einige Forschungsgruppen mit der Ökobilanzierung von Gebäuden. Die meisten befassen sich weniger mit methodischen Aspekten, sondern eher mit der Ausarbeitung praxistauglicher Software zur Bewertung von Neu- oder Umbauten.

Im Regener-Projekt der Europäischen Kommission sind Forscher und Architekten aus fünf europäischen Ländern beteiligt. Diese publizierten im Januar 1997 einen fünfteiligen Bericht (Regener 1997)

- Introduction to Life Cycle Analysis of Buildings, mit Definitionen und Konzepten
- Environmental Assessment at the Local Level analysiert den Planungsprozess und untersucht die mögliche Anwendung der Ökobilanzierung
- Application of the Life Cycle Analysis to Buildings stellt bestehende LCA-Tools und die Eigenentwicklung EQUER vor.
- The Integration of Environmental Assessment in the Building Design Process enthält Überlegungen zur Berücksichtigung möglichst aller umweltrelevanter Entscheidungen im Planungsprozess (Raumplanung, Baubedarf, Transport, Benutzerverhalten, Entsorgung), diese Aspekte wurden nur teilweise in EQUER berücksichtigt.
- Applications by Target Groups dient Planern und Architekten als Leitfaden für die Anwendung von LCAs, enthält auch zwei mit EQUER untersuchte Beispiele.

EQUER (Evaluation de la qualité environnementale des bâtiments) wurde an der Ecole des Mines de Paris von der Gruppe um B. Peuportier entwickelt.

Das Programm soll insbesondere der Optimierung von Gebäuden im Planungsstadium dienen. Eingegeben werden Gebäudedaten (Materialwahl und –mengen, Aufbau der Gebäudehülle, Ausstattung), Benutzerdaten (Wasser- und Stromverbrauch, Abfallrecycling, Mobilität) sowie Standortdaten (Klima, Sonnenexposition, Abwasseranschluss etc.). Als Resultat werden sogenannte Ecoprofile erstellt, die in einem Netzdiagramm Angaben machen zu Primärenergieverbrauch, Treibhauseffekt, Versauerung, Smog, Überdüngung, Wasserverbrauch sowie (radioaktivem) Abfall.

Die Gruppe von Prof. Kohler am Institut für industrielle Bauproduktion (ifib) der Universität Karlsruhe arbeitet seit längerem (ursprünglich an der ETH Lausanne) an Ökobilanzierungsinstrumenten (OGIP³ sowie „Eco-Familie“). Diese basieren auf der Elementkostengliederung des Centre de Rationalisation du Bâtiment in Zürich sowie (ebenso wie EQUER) auf den Ökoinventaren für Energiesysteme und für Baustoffe (ETH Zürich). Die Verarbeitung der Sachbilanzdaten erfolgt aufgrund der CML-Methodik. (Heijungs et al. 1992). Das erste Instrument, ECOPT, richtet sich an Planer und Bauherren und soll bei der ökologischen Optimierung des Baubedarfs (Neubau, Umnutzung, Standort) eingesetzt werden. Ist ein erster Bauentwurf erfolgt, können weitere Optimierungen mit ECOPRO angegangen werden. Eingegeben wird ein Gebäude gegliedert nach (energierelevanten) Bauwerksteilen (Berechnung des Betriebsenergiebedarfs) sowie ergänzenden Berechnungselementen. Das Programm erstellt aufgrund der sogenannten Normpositionen (Basiseinheiten für die Gebäudeerstellung), die mit Energie- und Stoffflussdaten ergänzt wurden, eine dem Ecoprofile von EQUER entsprechende Angabe über Massen- und Energieflüsse, Treibhauseffekt, Versauerung, direkte und externe Kosten, Humantoxizität und Bodenversiegelung. Als drittes (geplantes) Instrument soll ECOREAL eine qualitative Risikoabschätzung zu den verwendeten Baumaterialien und –prozessen liefern.

Das dänische Bauforschungsinstitut SBI hat ein Modell entwickelt, das den totalen Energiebedarf eines Gebäudes sowie die daraus resultierenden Emissionen in die Atmosphäre ermittelt. Das Gebäude wird dabei nach dem dänischen Gebäudeklassifikationssystem in Elemente unterteilt. Dieses Modell soll zur umfassenden Ökobilanz mit Ermittlung von Primärenergie- und Ressourcenverbrauch, Treibhauseffekt, Versauerung und Gesundheitsbeeinträchtigungen ausgebaut werden.

Die holländische Bauberatungsfirma Woon/Energie (W/E) Consultants hat schon 1991 eine LCA-basierte Gebäudebewertungsmethode (Environ-

³ Es handelt sich hier um eine erste Version von OGIP, die bei Prof. Kohler in Lausanne entwickelt wurde. OGIP wurde später vom CRB weiterentwickelt und heute liegt eine Beta-Version der Software vor (www.ogip.ch).

mental Preference Method, EPM) entwickelt, die insbesondere auf den Vergleich von Alternativen ausgelegt ist, und als Resultat für acht Umweltkategorien (Ressourcen, Energie, Emissionen, Schäden, Abfall, Wiederverwendbarkeit, Reparierbarkeit und Lebensdauer) die Varianten qualitativ (+, - oder 0) wertet. Mit ECO-QUANTUM wurde ebenfalls ein softwarebasiertes Ökobilanz-Instrument entwickelt, das aus detaillierten Gebäudedaten eine umfassende Ökobilanz nach CML-Kriterien erstellt.

Eine Ökobilanzierungs-Arbeitsgruppe des CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment) in Grenoble beschäftigt sich intensiv mit Umweltaspekten auf verschiedenen Stufen (Gebäudepark, Einzelgebäude, Bauprodukte). Zur Optimierung der Umweltqualität von letzteren wurde das Programm EQuity, basierend auf LCA, entwickelt.

Das Laboratoire d'énergie solaire (EPF Lausanne) beschäftigt sich seit längerer Zeit mit ökologischen Aspekten im Baubereich, bis 1993 unter Prof. Kohler, seit 1996 in Zusammenarbeit mit dem Massachusetts Institute of Technology und der Universität Tokyo (Sustainability in Buildings).

3.2.4 Methodische Aspekte

Die Überlegungen die in den oben genannten Projekten zu wichtigen methodischen Aspekten der Ökobilanzierung von Gebäuden gemacht wurden, wurden systematisch erfasst, um Übereinstimmungen, Diskrepanzen und Trends festzustellen.

Bei der Definition von Ziel und Rahmen betont insbesondere das ifib die Wichtigkeit der Beachtung folgender Punkte: Ansichten, Interessen und Motive der Beteiligten, zeitliche und räumliche Rahmenbedingungen, Bewertungsgegenstand, Grad der Konkretheit, erreichter Informationsstand sowie Verfügbarkeit und Akzeptanz von Bewertungsmethoden. Die oben erwähnten Bewertungsmethoden zielen meist auf die Minimierung der Umweltwirkung von Gebäuden. Sehr wichtig ist dabei die Wahl der funktionalen Einheit und die Setzung der Systemgrenzen, die je nach Fragestellung verschieden gewählt werden. Als funktionale Einheiten werden der gesamte Gebäudebestand eines Gebiets, einzelne Gebäude (etwa beim Vergleich zwischen Bauwerken mit der gleichen Funktion), Nutzfläche pro Zeiteinheit (bei deutlich verschiedenen Objekten), ein Bauelement (m²) oder ein Baustoff (in kg) als sinnvoll erachtet.

Die Systemgrenzen bei der Betrachtung einzelner Gebäude werden von den meisten Akteuren dem Lebenszyklusansatz entsprechend weit gesetzt. Beim Bau wird die vorgelagerte Herstellung aller Komponenten berücksichtigt, die unterschiedliche Lebensdauer (und somit Erneuerungsrate) der einzelnen Gebäudeteile wird ebenfalls einbezogen, Unterhaltsarbeiten und

Betriebsenergieaufwand (inkl. Energieherstellung) werden im Ökoinventar vollständig erfasst. Häufig nicht einbezogen wird die Infrastruktur (Gas-, Elektrizitäts-, Wasser-, Abwasser- und Strassenanschluss) und der induzierte Verkehr. Bei der Entsorgung der Gebäudeteile am Ende der Lebensdauer werden bisher nur die energetischen Aufwendungen berücksichtigt, nicht aber entsorgungsbedingte Emissionen und der Deponieraumbedarf.

Die Datenerhebung (Material- und Energiebilanz) wird von den beschriebenen Instrumenten ähnlich gehandhabt. Zur Verknüpfung mit Energie- und Stoffflussdaten wird ausser beim SBI immer auf die Ökoinventare für Energiesysteme sowie auf diejenigen für Baustoffe zurückgegriffen.

Aus dem Ökoinventar werden anschliessend die Umweltwirkungen, eingeteilt in verschiedene Wirkungskategorien, ermittelt. Tabelle 3 zeigt, welche der Wirkungsklassen in den verschiedenen Studien berücksichtigt werden. Am häufigsten berücksichtigt werden Energieverbrauch, Treibhauseffekt, Versauerung und Sommersmog. Ebenfalls in Tab. 3 aufgeführt sind die Bewertungsmethoden, nach denen die ermittelten Ökoinventare (nach Charakterisierung und Normalisierung entsprechend der jeweiligen Methode) evaluiert werden. Die meisten Arbeiten verwenden die CML-Methodik sowie eine Energieflussanalyse.

Tab. 3 Übersicht über die gewählten Wirkungsklassen und Bewertungsmethoden in den verschiedenen Studien. (w: In Form von kritischem Wasservolumen, l: in Form von kritischem Luftvolumen, u: kumuliert in UBP)

Wirkungsklassen (nach CML, ergänzt)	ifib (Kohler 1994)	OGIP (Kohler et al. 1996)	SBI (Dinesen und Traberg-Borup 1994)	EPFL (Ospelt 1995; Tschirner 1995)	Ecole des Mines (Polster 1995)
Ressourcen					
abiotische Ressourcen	x, u	x, u			x
biotische Ressourcen	u	x, u			
Flächenverbrauch				x	
Energieverbrauch	x, u	x, u	x	x	x
Belastungen					
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			
Gestank					x
Weitere Kriterien					
Kosten	x	x			
Externe Kosten	x				
Ersatzrate	x	x			
Abfälle	x				x
Süßwasserverbrauch					x
Verwendete Bewertungsmethoden					
CML	x	x		x	x
BUWAL	x	x			
Kritische Volumina	x				
Kosten	x	x		x	
Energieflussanalyse/Eigene	x		x	x	x

Die Interpretation der Resultate hängt stark ab von der Datenqualität und -repräsentativität (Übertragbarkeit auf andere Objekte und Standorte). Vereinzelt wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt, es wurden jedoch keine systematisch-methodischen Angaben gemacht zur Wichtigkeit der verschiedenen Faktoren.

3.2.5 Fallbeispiele

Einige Fallbeispiele von Gebäude-Ökobilanzen wurden erfasst (Tab. 4). Dabei zeigte sich insbesondere, dass viele mit grossen methodischen Unsicherheiten und einem generellen, qualitativen und quantitativen Datenmangel behaftet sind. Der Vergleich zwischen den Bilanzen wird durch die je nach Zielsetzung verschiedene Setzung der Systemgrenzen und Wahl der funktionellen Einheit erschwert bis verunmöglicht. Generell fällt auf, dass von allen Gebäudephasen zwar die Nutzung meist die grössten Umweltwirkungen zeitigt, jedoch kaum dermassen dominant ist, dass auf die (viel aufwendigere) Erfassung der Herstellung, Erneuerung und Entsorgung verzichtet werden könnte. Das Überwiegen der Erneuerungsphase bei den mit ECOPRO bilanzierten Gebäuden ist auf einen Datenfehler zurückzuführen.

Tab. 4 Zusammenfassung der verschiedenen Fallbeispiele.

Fallbeispiel	Art der Bilanz, Instrument	Relevante Phasen im Lebenslauf	Betrachtete Wirkungskategorien
Hebel Haus (Hebel 1995; Wanger 1995))	Energiebilanz über die Lebensdauer eines einzelnen Hauses	Nutzungsphase überwiegt	Energieverbrauch
Ingenieur Schule beider Basel (Bringolf et al. 1997)	Vergleich verschiedener Dämmvarianten für ein Doppeleinfamilienhaus (ECOPRO)	Nutzung überwiegt beim Energieverbrauch, Neubau beim Stofffluss, Erneuerung bei ODP, Versauerung, UBP und Kosten	Totaler Stofffluss Fluss an nicht erneuerbaren Energie Ozonzerstörungspotential Versauerung UBP Kosten
Fallstudie Quack (Quack 1998)	Vergleich von 5 Niedrigenergiehäuser gegenüber einem Referenzhaus (ECOPRO)	Erneuerungsphase überwiegt deutlich (wird das Element Innenwände vernachlässigt, weniger deutlich)	bis anhin UBP Treibhauseffekt Abfälle
SBI (Dinesen und Traberg-Borup 1994)	Vergleich von drei Häusern mit unterschiedlichem Energieniveau	Beim Standard- und Niedrigenergiehaus überwiegt die Nutzungsphase, beim Experimentalhaus die Erstellung	Energieverbrauch
ifib Universität Karlsruhe (Kohler 1994)	Vergleich 100 verschiedener Gebäude (ECOPRO)	Nutzungs- und Erneuerungsphase überwiegen	Wasserbedarf Energiebedarf Abfälle total Recycling Kritisches Luftvolumen Kritisches Wasservolumen UBP Treibhauseffekt Versauerung Photochem. Oxidation finanzielle Kosten Externe Kosten
Sulzer Escher – Wyss-Areal (Scholz et al. 1995)	Vergleich verschiedener Varianten einer Arealüberbauung (SIMAPRO)	Nutzungsphase ist für über 50% der Umweltbeeinträchtigungen verantwortlich	Humantoxizität Abiot. Ressourcenverbr. Ökotoxizität Versauerung Eutrophierung Ozonschichtabbau Treibhauseffekt Photochem. Oxidation Flächenverbrauch Radioaktive Emissionen

3.2.6 Folgerungen

Bei Ökobilanzen von Gebäuden ergeben sich einige Besonderheiten:

- Gebäude sind (in der Regel) Einzelanfertigungen, die eine ganz bestimmte Aufgabe (Anbieten eines geschützten Innenraums) an einem bestimmten Ort und während einer bestimmten Zeit zu erfüllen haben. Ihre Umweltwirkung ist stark standort-, ausrichtungs- und benutzerabhängig. Deshalb ist auch die Bestimmung eines Referenz- oder Durchschnittsgebäudes schwierig.
- Gebäude haben eine lange Lebensdauer. Daraus ergeben sich Unsicherheiten bezüglich des Umgangs mit dem Gebäude als Ressourcenspeicher, sowie mit der anzunehmenden Technologie für Erneuerung und Rückbau (mögliches Recycling am Ende der Lebensdauer schon bei Erstellung berücksichtigen?).
- Gebäude haben einen Standort, sind unterschiedlichen klimatischen Bedingungen ausgesetzt und verschieden gut erschliess- und erreichbar. Insbesondere der letzte Punkt wird in Ökobilanzen bisher kaum betrachtet.
- Gebäude führen zu Innenraumbelastung – ein sehr wichtiger Punkt für die menschliche Gesundheit, der in Ökobilanzen kaum berücksichtigt wird.
- Gebäude verfügen über eine subjektive Ästhetik. Die gestalterischen Aspekte können natürlich nicht bilanziert werden, sollen aber auch nicht als unvereinbar mit umweltschonendem Bauen erachtet werden.

Zum Vergleich der Umweltwirkungen eines Gebäudes kann ein Referenzgebäude herangezogen werden, wie es die Regener-Studie vorschlägt. Statt eines wären wohl eher eine möglichst grosse Anzahl Referenzgebäude wünschenswert, so dass jeder Neubau mit einem (bezüglich Klima, Ausbaustandard, Lebensdauer) ähnlichen Gebäude verglichen werden könnte.

Aufgrund der analysierten Methoden und Fallbeispiele lässt sich zwar ein gewisser Konsens über zu berücksichtigende Wirkungskategorien ablesen. Häufig benutzt und in der Baubranche gut bekannt sind Treibhauseffekt, Ozonschichtgefährdung und Energieverbrauch, gefolgt von Sommersmog, Überdüngung und Versauerung. Geringe Übereinstimmung besteht in der Frage, ob und wenn ja welche vollaggregierende Methode benutzt werden soll. Welche Faktoren für umweltschonendes Bauen besonders relevant sind lässt sich aufgrund der bisher geringen Stichprobenmenge und der Heterogenität der Resultate schwer bestimmen, so dass in naher Zukunft wohl

noch keine gezielte Vereinfachungen der Methodik vorgenommen werden können.

Originalliteratur

R. Pulli, *Überblick über die Ökobilanzierung von Gebäuden – State of the Art*. ETH Zürich, Laboratorium für Technische Chemie, Professur für Sicherheit und Umweltschutz in der Chemie, Universitätsstrasse 31, 8092 Zürich, 1998.

3.3 Funktionelle Einheit und Systemgrenzen

Ökobilanzen von Gebäuden werfen viele verschiedene methodische Probleme auf. Dieser Beitrag untersucht die erste Phase der Ökobilanzierung: die Definition der funktionalen Einheit und der Systemgrenzen. Das Ziel des Beitrags ist es, anhand konkreter Entscheidungssituationen, in welchen Ökobilanzen angewendet werden können, einige generelle Regeln zu etablieren. Die Resultate wurden von verschiedenen Experten begutachtet und ihre Meinungen flossen in den Beitrag ein.

3.3.1 Vorgehen

Die verschiedenen Entscheidungssituationen wurden anhand des Schweizerischen standardisierten Planungsprozesses von Gebäuden (nach SIA LM'95) ausgesucht. Dabei wurden für Ökobilanzen untypische Fragen nicht berücksichtigt (z.B. Wo soll ich bauen; diese Frage wird eher mit einer Umweltverträglichkeitsprüfung als mit einer Ökobilanz beurteilt). Die Auswahl der Entscheidungssituationen ist exemplarisch und nicht vollständig.

- In welche Gebäudeart soll investiert werden?
- Welches von zwei Gebäuden gleicher Nutzungsart ist das umweltschonendere?
- Soll ein bestimmtes Gebäude umgebaut oder abgerissen und neu aufgebaut werden? Welche Variante hat die bessere Ökobilanz?
- Wie sollen Gebäude in anders motivierte Ökobilanzen einbezogen werden?
- Wie geht man in Ökobilanzen mit einem vorzeitigen Nutzungswechsels eines Gebäudes um?

Die funktionale Einheit eines Systems soll nach (Lindfors et al. 1995) definiert werden. Dort wird empfohlen, kaskadenartig über die Festlegung des Ziels der Ökobilanz die Funktion des betrachteten Systems und danach die folgerichtige funktionale Einheit herzuleiten. Dabei sollten immer folgende drei Kriterien erfüllt werden:

- Die Effizienz des Systems
- Die Lebensdauer des Systems
- Einen Qualitätsaspekt des Systems

Die Ziehung der Systemgrenzen umfasst ein weites Gebiet. Wiederum nach Lindfors et al. (1995) sollen folgende Kriterien berücksichtigt werden: zeitliche Systemgrenzen, geographische Systemgrenzen, Systemgrenzen zwischen Techno- und Biosphäre, Lebenszyklussystemgrenzen (Abschneidekriterien beim Prozessbaum).

Zur Definition Systemgrenzen und um dem Anspruch der möglichen Verallgemeinerung gerecht zu werden, wurde ein sogenanntes „socio-economic whole system“ nach Tillman (1994) definiert (siehe Abb. 4)

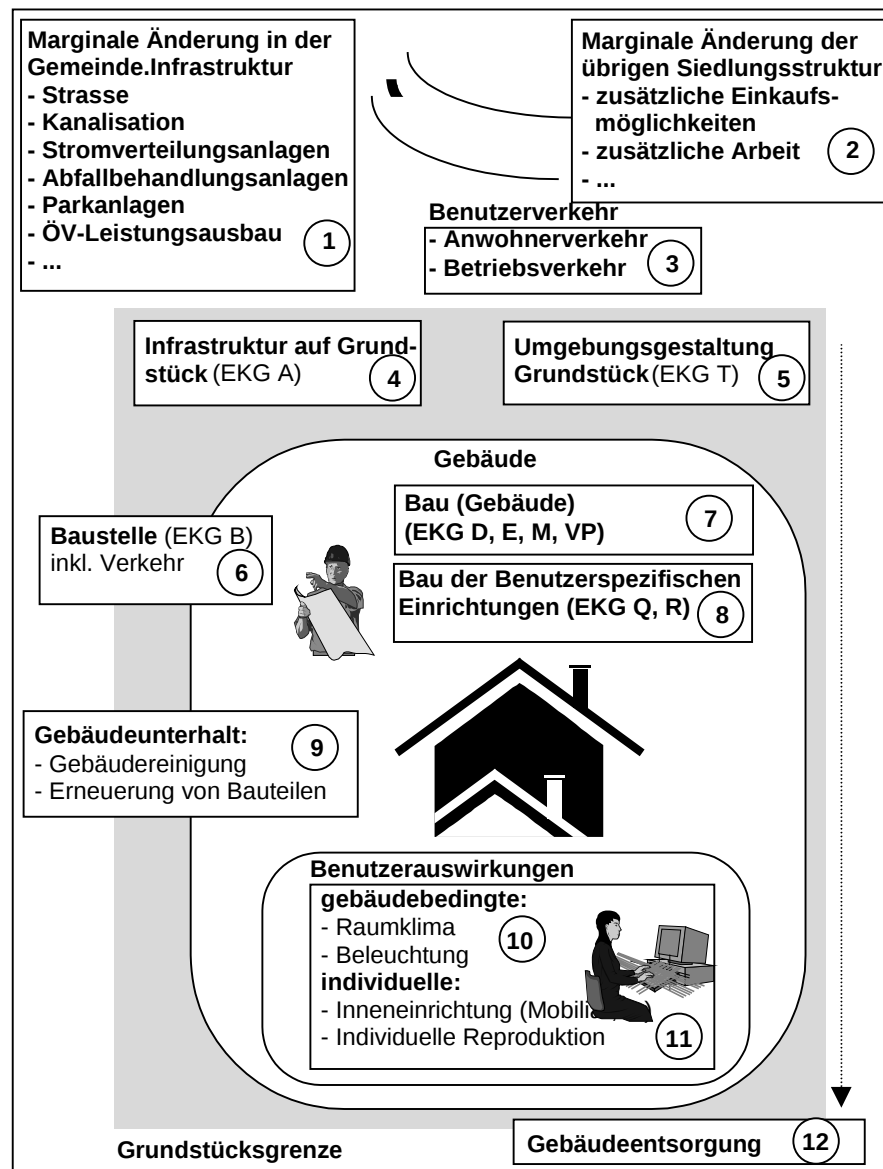


Abb. 4 Maximale Systemgrenzen im Sinne eines 'socio-economic whole system' (Tillman 1994). Die Systemgrenzen definieren die betrachteten Teilsysteme. Der gestrichelte Pfeil auf der Seite symbolisiert die Zeitachse, die sich zwischen Bau und Entsorgung aufspannt.

So konnten die maximalen Systemgrenzen so weit als möglich gefasst werden. Auch marginale Veränderungen der Infrastruktur könnten auf diese Weise in die Ökobilanz einbezogen werden. Für die einzelnen Entscheidungssituationen wurden nun modularartig die einzelnen Prozesse entweder einbezogen oder weggelassen.

Ob ein Prozess in die Systemgrenzen eingeschlossen werden soll oder nicht wurde anhand der Relevanz dieses Prozesses für die konkrete Entscheidungssituation und die Funktion entschieden.

3.3.2 Resultate

Die zusammengefassten Resultate sind in Tab. 5 aufgelistet.

Tab. 5 Zusammengefasste Resultate

Entscheidungssituation	Funktionelle Einheit	Systemgrenzen		Begründung
		Teil-systeme	Einbe-zug?	
In welche Gebäudart soll investiert werden?	Netto-Ertrag	1	ev.	falls das Projekt aufgrund seiner Grösse Änderungen in diesem Bereich bedingt ja; sonst: nein
		2	ev.	vgl. oben
		3	nein	falls sich die Projekte in diesem Punkt deutlich unterscheiden, dann: ja
		4, 5, 6, 7	ja	
		8	nein	ist vom Investor nicht beeinflussbar
		9, 10	ja	
		11	nein	ist vom Investor nicht beeinflussbar
		12	ja	

Entscheidungssituation	Funktionelle Einheit	Systemgrenzen Teil-systeme	Einbezug?	Begründung
Welches von zwei Gebäuden gleicher Nutzungsart ist das umweltschonendere?	$P_{\text{aq}} * a$ bei Qualitätsstandard x wobei x die Werte 'mässiger', 'mittlerer' und 'gehobener' Qualitätsstandard annehmen kann	1, 2, 3	nein	nicht Fragestellung
		4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	ja	
		11	nein	nicht Fragestellung
		12	ja	
Soll ein bestimmtes Gebäude umgebaut oder abgerissen und neu aufgebaut werden? Welche Variante hat die bessere Ökobilanz?	$m^2 \text{ EBF}^4 * a$ bei Qualitätsstandard x	1,2,3	nein	nicht vorhanden (1, 2) oder nicht relevant (3)
		4,5,6,7	ja	
		8	nein	nicht Teil der Frage
		9,10	ja	
		11	nein	nicht Teil der Frage
Wie sollen Gebäude in anders motivierte Ökobilanzen einbezogen werden?	Wohnen: $m^2 \text{ EBF} * a$	1,2,3	nein	ev. Teil der Hauptbilanz
		4,5,6,7	ja	
	Industriebauten: $m^3 * a$	8	nein	Teil der Hauptbilanz
		9	ja	
		10,11	nein	Teil der Hauptbilanz
		12	ja	
Wie geht man in Ökobilanzen mit einem vorzeitigen Nutzungswechsels eines Gebäudes um?	Da Bilanzen selten im Nachhinein erstellt werden, muss immer mit einer theoretischen Lebensdauer gerechnet werden. Wird ein Gebäude nun vorzeitig umgenutzt, so entstehen "versunkene Belastungen", die nirgends mehr erscheinen. Bei der Bilanzierung eines neuen Nutzers in einem vorher anders genutzten Gebäude handelt es sich als immer um eine Art closed looped Recycling und eine Allokation der Aufwendungen zwischen verschiedenen Stufen ist notwendig.			

3.3.3 Schlussfolgerungen

Im Planungsprozess eines Gebäudes treten immer wieder Entscheidungssituationen auf, bei welchen die Ökobilanz unterstützend angewendet werden kann. Für ein paar ausgewählte Situationen wurden die Systemgrenzen und die Funktionelle Einheit hergeleitet und eine Methode etabliert.

⁴ EBF = Energiebezugsfläche

Die Methode geht für die Definition der Systemgrenzen von einem socio-economic whole system aus, das modular aufgebaut ist und bei welchem je nach Situation die nicht relevanten Teilprozesse weggelassen werden können. Es hat sich gezeigt, dass die Definition der Systemgrenzen meist problemlos möglich war.

Die Definition der funktionellen Einheit ist schwieriger und immer von der konkreten Situation abhängig. Verallgemeinernd kann gesagt werden, dass das Vorgehen nach Lindfors et al. (1995) mit der Berücksichtigung von Effizienz, Lebensdauer und Qualität des Systems eine gute Möglichkeit bildet, die funktionelle Einheit systematisch zu definieren.

Originalliteratur

Koch, P., Seiler, B., Ott, W., *Funktionale Einheit und Systemgrenzen bei Ökobilanzen im Bauwesen*. Econcept, Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz, Laboratorium für Technische Chemie, Universitätsstrasse 31, 8092 Zürich, Februar, 1998

3.4 Die Umweltfreundlichkeit als eine Determinante des architektonischen Entwurfs

3.4.1 Umfeld

Gebäude belasten die Umwelt über ihren gesamten Lebenszyklus: Bei der Herstellung, in der Nutzungsphase und bei der Entsorgung verursachen sie einen hohen Ressourcen- und Energieverbrauch. Zum Beispiel konnte in einer Studie für Deutschland (alte Bundesländer) gezeigt werden, dass der Input in den Bausektor (Hochbau und Tiefbau: Wohn- und Geschäftshäuser, öffentliche Gebäude, Industriebauten, Strassen, Abwassereinrichtungen, Brücken, Unterführungen, Freizeitanlagen, Pipelines; ausgenommen sind alle Mobilien wie z.B. Möbel) 575 Mio. Tonnen Material pro Jahr beträgt. Der jährliche Output aus dem Bausektor beziffert sich auf 65 Mio. Tonnen pro Jahr, was zu einer jährlichen Lagervergrößerung von ca. 510 Mio. Tonnen Material beiträgt. Das anthropogene Lager im Bausektor wird in dieser Studie auf 18 Milliarden Tonnen geschätzt (Griesshammer und Buchert 1996)

Um eine nachhaltige Entwicklung gewährleisten zu können, muss das umweltgerechte Bauen systematisch gefördert werden. So sollte die Umweltanalyse von Gebäuden in jeden Entwurfsprozess als eine der Determinanten einfließen. Um dieser Anforderung genügen zu können, braucht es geeignete Instrumente für Planer und Architekten.

Die vorliegende Arbeit geht von den Arbeitshypothesen aus, dass umweltgerechtes Bauen eine Frage des sinnvollen und sparsamen Umgangs mit Material und Energie ist. Zudem wird angenommen, dass Ökobilanzen sich grundsätzlich eignen, verschiedene Aspekte (wie z.B. Material und Energie) miteinander vergleichen kann.

3.4.2 Beziehung von Gebäude, Umwelt und Entwurf

Geeignete Instrumente müssen den komplexen Zusammenhängen zwischen Gebäude, Umwelt und Entwurf (Planungsprozess) gerecht werden (Abb. 5).

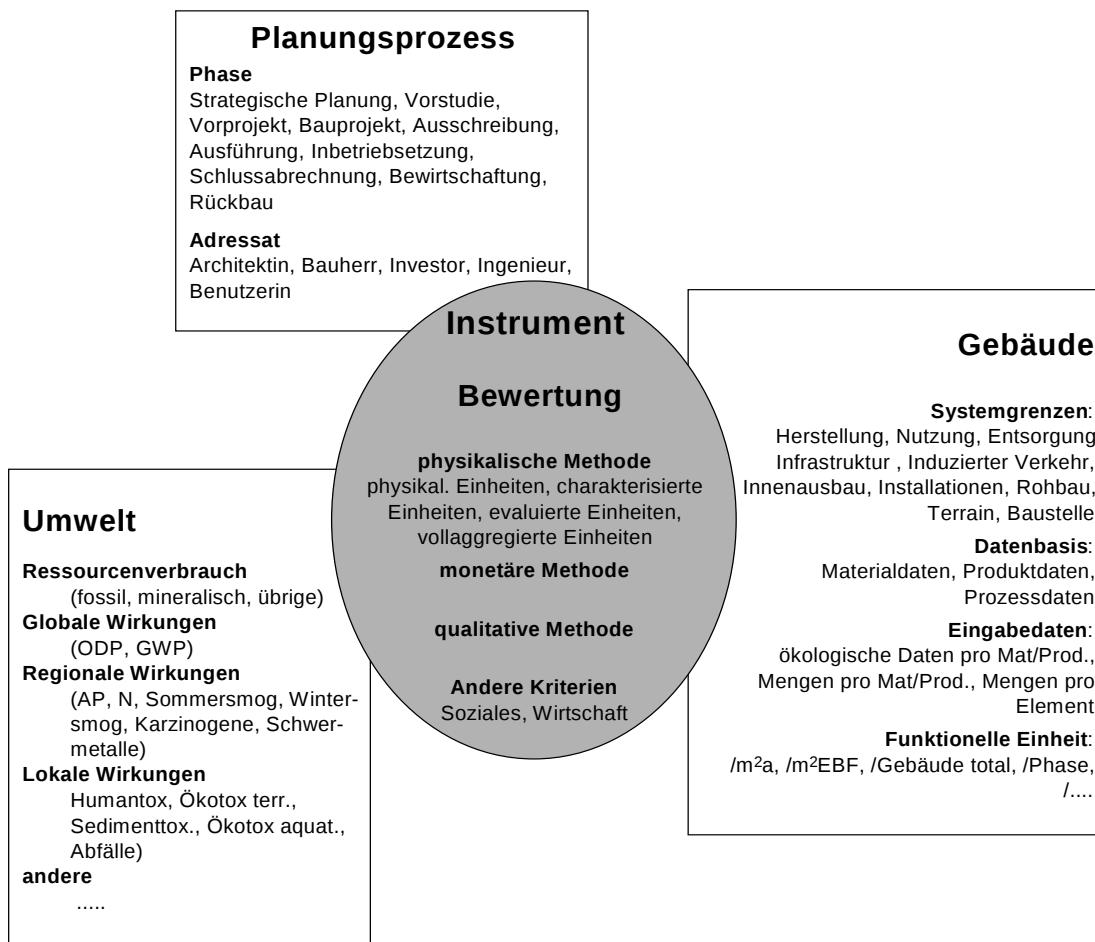


Abb. 5 Die drei Pole „Umwelt, Planungsprozess, Gebäude“, die in einem Instrument berücksichtigt werden müssen. In den Boxen sind Stichworte angegeben, mit welchen die Pole charakterisiert werden können. Die Unterschiede der Instrumente und insbesondere der durch die Instrumente generierten Resultate rühren teilweise daher, dass sie sich an unterschiedliche Akteure zu einem unterschiedlichen Planungszeitpunkt wenden, eine „andere Umwelt“ abbilden und das Gebäude unterschiedlich betrachten.

Das Gebäude, auch technisches System genannt, zeichnet sich durch seine Multifunktionalität, seinen Unikatcharakter, seinen Standortbezug und seine lange Lebensdauer aus. Bei der Bewertung eines Gebäudes muss diesen Charaktereigenschaften Rechnung getragen werden, was sich in der Modellierung des technischen Systems niederschlägt. Zum Beispiel werden für die Abbildung der langen Lebensdauer Annahmen zu Funktionsdauer der Bauteile und Szenarien bezüglich Entsorgung benötigt.

Nicht alle Instrumente betrachten dieselben Umweltaspekte. Die Umwelt, auf die ein Gebäude Einfluss nimmt, kann wie folgt beschrieben werden:

- gesunde und komfortable Innenraumqualität
- Ressourcenverbrauch
- Luft-, Wasser- und Bodenverschmutzung
- Abfallaufkommen während aller Phasen des Lebenszyklus‘
- Belästigungen wie Lärm, Schatten, etc.
- (räumliche, architektonische, physikalische, klimatische) Beziehung des Gebäudes mit seiner näheren Umgebung

Es werden sehr unterschiedliche „Umwelten“ und insbesondere Umweltbelastungen angesprochen. In den verschiedenen Planungsphasen sind jeweils unterschiedliche Umweltbelastungen relevant. Zum Beispiel wird die Innenraumqualität neben den generellen Entscheidungen bezüglich Energiehaushalt und Lüftung vor allem in der Phase der Produktwahl bestimmt.

Ein Instrument sollte sich immer an einen bestimmten Akteur im Planungsprozess wenden. Dabei stellt sich die Aufgabe, sich der Sprache des Akteurs zu bedienen und die verlangten Inputgrößen an den Stand des Projektfortschrittes anzupassen.

Die Ökobilanz ist eine mögliche Methode, die Umweltbelastung von Gebäuden zu bewerten. Die Arbeit ging folgenden Fragen nach: Eignet sich die Ökobilanzmethodik für die Umweltanalyse von Gebäuden? Wie kann die Ökobilanz im Entwurf, also in den frühen Planungsphasen angewendet werden? Ist sie notwendig oder reichen auch andere Indikatoren? Wird sie der durch Gebäude beeinträchtigten Umwelt gerecht? Welche Anpassungen oder Ergänzungen wären notwendig und sind diese sinnvoll?

3.4.3 Ökobilanz des Fallbeispiels „Stahlrain“

Mit Hilfe des in dieser Arbeit entwickelten Instruments *EcoCheck* konnte ein konkretes Fallbeispiel (Bürogebäude „Stahlrain“) öko-bilanziert werden. Das Gebäude zeichnet sich durch eine ansprechende Architektur und durch einen niedrigen Energiebedarf in der Nutzungsphase aus (siehe Tab. 6).

Tab. 6 Energie- und Stromverbrauch aus den Jahren 1996 und 1997 (gemessene Daten der Metron AG)

Energiequelle	1996	1997	Durchschnitt
Photovoltaik	10'300 kWh	11'000 kWh	
Strom ab Netz Bezug CH	92'300 kWh	87'300 kWh	
Gas	138'680 kWh	115'346 kWh	
Öl	20'000 kWh	17'000 kWh	
Sonne (Warmwasser)	4'500 kWh	4'500 kWh	
Energiekennzahl Wärme ¹⁾	190 MJ/m ² a	160 MJ/m ² a	175 MJ/m ² a
Energiekennzahl Elektrizität ¹⁾	120 MJ/m ² a	115 MJ/m ² a	117.5 MJ/m ² a

¹⁾ Energiebezugsfläche „Stahlrain“ Südflügel: 3088 m²

Die Resultate der Ökobilanz zeigen (Abb. 6), dass für Gebäude mit niedrigem Energiebedarf (und nur dann!) die Herstellungs- und Entsorgungsphase ebenso relevante Beiträge zur Umweltbelastung des gesamten Gebäudes über eine Lebensdauer von 80 Jahren ausmachen wie die Nutzungsphase (in UBP: 22% und 35%; in Öko-Indikator 95: 41% und 30%). Es wird ersichtlich, dass die Umweltbelastungspunkte vor allem die Entsorgung und energiebedingten Emissionen stark gewichten. Beim Öko-Indikator 95 wird die Herstellung der Metalle wegen der starken Gewichtung der Schwermetalle als sehr relevant eingestuft. Die Studie hat gezeigt, dass sich die Ökobilanz durchaus für ein Erfassen der Umweltbelastung durch Gebäude eignet, dass sie jedoch sehr aufwendig und kompliziert durchzuführen ist.

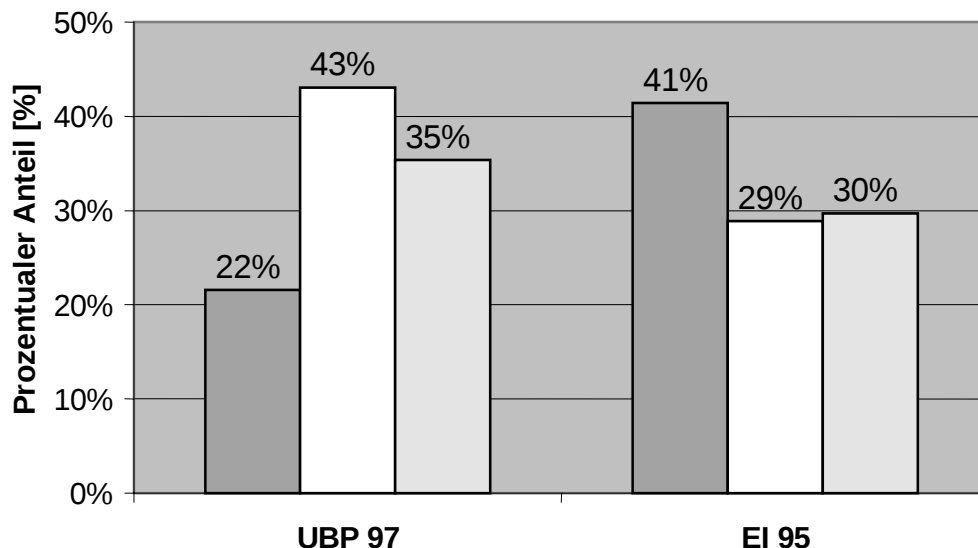


Abb. 6 Prozentualer Beitrag der Phasen des Gebäudelebenszyklus' zum Gesamtergebnis, links in UBP 97, rechts in EI 95-Punkten

■ : Herstellung □ : Nutzung □ : Entsorgung

3.4.4 Die Ökobilanz in der frühen Planungsphase

Um die Tauglichkeit der Methode im Entwurf zu testen, wurden drei Fragestellungen aus den frühen Planungsphasen simuliert: die Frage nach der Form des Baukörpers, jene nach der Wahl der Hauptbaumaterialien und die Frage der Dämmdicke der Fassade.

A) Form des Baukörpers

Es wurde folgender Frage nachgegangen: Kann das Hüllflächen/Volumenverhältnis mit Hilfe von Ökoinventaren ein Indikator sein für die Umweltbelastung eines Gebäudes?

Es wurden verschiedene Simulationen durchgeführt: Das Gebäudevolumen wurde stets konstant angenommen, die Gebäudeformen wurden variiert. Im ersten Schritt wurde der Energieverbrauch mit der einfachen Annahme eines durchschnittlichen k-Wertes berechnet. Im zweiten Schritt wurde das Modell mit dem Zusatz ergänzt, der der unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeit der Bauteile Rechnung tragen sollte. Daraus wurde ersichtlich, dass sich die Umweltbelastung nicht so direkt vom einfachen Indikator Hüllfläche/Volumen ableiten lässt. Andere Kriterien wie Funktion, Energiestandard, Ausrichtung, etc. sind massgebender an der Umweltbelastung beteiligt als die Gebäudeform alleine.

B) Wahl der Hauptbaumaterialien

Die Frage lautet, ob anhand einfacher Materialabschätzungen für verschiedene Konstruktionen mit Hilfe von Ökoinventardaten eine solide Aussage über die Umweltverträglichkeit eines Gebäudes gemacht werden kann.

Sechs verschiedene Varianten wurden simuliert, drei als Holzkonstruktionen, drei als Betonkonstruktionen. Eine der drei Konstruktionen entsprach jeweils einer detaillierten Aufnahme einer moderner Konstruktionsweise (Beton = „Stahlrain“ Original), eine war eine grobe Materialschätzung pro m² Element und die dritte war eine „verschlechterte“ Konstruktion, d.h. beim Betonbau wurde der Stahlanteil erhöht, beim Holzbau wurde generell mehr Material und insbesondere umweltbelastendere Dämmungsmaterialien verwendet.

Die Resultate haben gezeigt, dass für die Hauptbauteile anhand Ökobilanzen nur teilweise einfache Abschätzungen der Umweltbelastung des geplanten Gebäudes gemacht werden können. Vor allem für komplizierte Konstruktionen wie z.B. die Holzkonstruktionen sind die groben Abschätzungen jedoch sehr unsicher. Es würden hier für eine einfache Bewertung der Umweltverträglichkeit Kennwerte benötigt. Die Kennwerte müssten

sich auf ganze Konstruktive Konzepte beziehen, damit sie Folgeauswirkungen in anderen Elementgruppen ebenfalls berücksichtigen können.

C) Wahl der Dämmungsstärke der Fassade

Folgende Frage wurde untersucht: Gibt es einen Punkt, wo sich eine noch dickere Dämmschicht der Gebäudehülle (ohne Veränderung der physikalischen Eigenschaften der Fenster) bezüglich der Energieeinsparung gar nicht mehr lohnt?

Für die Simulation dieser Fragestellung wurden zwölf verschiedene Varianten des Fallbeispiels „Stahlrain“ gebildet, sechs mit den Originalmaterialien und sechs mit alternativen Materialien. Die sechs Szenarien unterscheiden sich jeweils durch die unterschiedliche Dicke der Dämmschicht: die Dämmstärke beträgt von 0.5 bis 10 mal die Originaldicke (Faktoren 0.5, 1, 1.5, 2, 5, 10).

Für den hier verwendeten Fall hat sich dabei gezeigt, dass das Optimum im Bereich der heutigen bis doppelt so dicken Dämmdicken liegt. Die Lage des Optimums ist natürlich stark beeinflusst von den gewählten Energiesystemen (bei umweltschädigenden Systemen verschiebt sich das Optimum in dickere Dämmbereiche) und von den eingesetzten Materialien (bei umweltschädigenden Materialien verschiebt sich das Optimum in dünnere Dämmbereiche). Die Ökobilanz hat sich für diese Fragestellung als eine geeignete Methode erwiesen, da sie eine simultane Optimierung von Energie- und Materialaufwand ermöglicht.

Die Ergebnisse der Simulationen haben gezeigt, dass sich die Ökobilanzmethodik dort besonders gut eignen, wo detaillierte Informationen über ein Gebäude verfügbar sind. Sie eignet sich besonders gut für Fragestellungen einer simultanen Optimierung verschiedener Aspekte (z.B. Material und Energie). Für die Abschätzung der Umweltbelastung der Hauptbaumaterialien und insbesondere für die Belastung durch die Gebäudeform wären jedoch Kennwerte notwendig, die einen *top-down*-Ansatz (analog zur Kostenrechnung) ermöglichen würden.

Zudem wurde festgestellt, dass sich die Ökobilanz wegen der Berücksichtigung der Entsorgungsprozesse (die ihrerseits nicht mit einem Energieaufwand korreliert sind) besser eignet zur Abbildung von Gebäuden als andere, einfache Indikatoren wie z.B. Primärenergiebedarf. Wird jedoch nur die Herstellung und die Nutzung betrachtet, so sind die Resultate einer Ökobilanz mit den Resultaten einer Energiebilanz vergleichbar.

Daraus kann gefolgert werden, dass die Ökobilanz den stofflichen Aspekten der Materialien noch zu wenig Rechnung trägt. Da dies am Le-

benszyklusansatz liegt (Integration aller Emissionen und Verbräuche über den gesamten Lebenszyklus, somit Vernachlässigung von Ort und Zeit), müssen diese lokalen Aspekte als separate Kriterien ausgewiesen werden. Solche Kriterien könnten die Innenraumbelastung, die Belastung der Gewässer in der Bau- oder in der Nutzungsphase oder die Ressourcenintensität sein.

3.4.5 Ein Bau-Umweltbelastungs-Kennwerte-Katalog (BUKK)

Ein Kennwerte-Katalog zur Ermöglichung eines *top-down*-Ansatz, genannt BUKK, wurde im folgenden skizziert (Details dazu siehe auch nächstes Kapitel 3.5). Mehrere europäische Studien konnten miteinander verglichen werden. Die Gebäude unterscheiden sich stark voneinander: Gewisse Studien weisen in den Kategorien Versauerung und Überdüngung fünfmal höhere Belastungen auf als der „Stahlrain“ (pro m²a), in den Kategorien Primärenergie und Treibhauseffekt ca. dreimal höhere. Andere Gebäude schneiden deutlich besser ab als der „Stahlrain“ (halb so grosse Belastungen in den Kategorien Treibhauseffekt, Sommersmog, Versauerung und Überdüngung).

Neben den tatsächlichen, gebäudespezifischen Unterschieden wirkt sich die methodische Inkonsistenz sehr stark auf die Resultate aus (unterschiedliche Datengrundlage, unterschiedliche Systemgrenzen, unterschiedliche Erneuerungszyklen, etc.). Diese müssten demnach zur Bildung verlässlicher Kennwerte ausgeglichen und eliminiert werden. Bei den hier verfügbaren Daten bezüglich der Umweltbelastung einzelner Elementgruppen beträgt die Standardabweichung im Verhältnis zum Mittelwert zwischen 34% und 153%. Damit wird ein sehr grosses Problem der Ökobilanz ersichtlich: die unsichere Datenlage und der grosse Einfluss der Wahl der Ausgangslage schlagen sich so stark im Resultat nieder, dass die Resultate kaum vergleichbar sind. Dies betrifft natürlich auch die allgemeine Vertrauenswürdigkeit der Resultate.

3.4.6 Die offene Frage der Ressourcenbewertung

Die Frage, ob die Ökobilanz der Umwelt, die durch ein Gebäude beeinträchtigt wird, gerecht wird, wurde in Anbetracht des hohen Ressourcenverbrauches beleuchtet. Es wurde ein Vorschlag gemacht, wie mit einem Ressourcenindex RI die Ressourcenentnahme, die Lagerung von Ressourcen im Gebäude und die bei Abbruch erfolgende Ressourcenrückgabe abgebildet werden könnte. Mit der Einführung von Zinsen zur Beurteilung der

Lagerung lehnt sich der Vorschlag an ökonomische Modelle des Kreditgeschäfts.

Ein solcher Ressourcenindex drückt eine erweiterte Knappheit einer Ressource aus. Erweitert im Sinne einer den Anspruch anderer Menschen und Generationen berücksichtigenden Knappheit. Im Gegensatz zur herkömmlichen Ökobilanz, wo die Ressourcenknappheit nur bei Entzug gewichtet wird, macht der Ressourcenindex über die Lebensdauer des Gebäudes inklusive die Entsorgungsmöglichkeiten eine Aussage. Der Ressourcenindex ist als eine Ergänzung der Ökobilanz zu verstehen.

3.4.7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Arbeit zeigt, dass sich Ökobilanzen durchaus für die Bewertung der Umweltverträglichkeit von Gebäuden eignen. Es müssen jedoch schon sehr detaillierte Angaben zum Gebäude verfügbar sein und die Erfassung des Gebäudes aufgrund seiner detaillierten Zusammensetzung (*bottom-up* Ansatz) ist sehr aufwendig. Der Vorteil der Ökobilanzen gegenüber anderen Methoden liegt darin, dass sie den ganzen Lebenszyklus betrachten, in der Bewertung der Umwelt relativ umfassend sind und dass sie eine simultane Optimierung verschiedener Aspekte ermöglichen.

Die Ökobilanzen werden jedoch der Umwelt, die durch ein Gebäude beeinträchtigt wird, nicht in allen Punkten gerecht. Städtebauliche Aspekte, die Innenraumqualität, lokale Effekte und die Ressourcenbeanspruchung können nicht integriert werden. Diese Aspekte müssten in Form von separaten Indikatoren ausgewiesen werden. Der in der Arbeit vorgeschlagene Ressourcenindex ist ein erster Vorschlag für einen solchen Zusatzindikator.

Für die Anwendung der Methode im Entwurf sind sowohl für die Ökobilanzresultate als auch für allfällige zusätzliche Indikatoren Kennwerte notwendig. Die Bezugsgrößen der Kennwerte müssen vom Entwurfsprozess bestimmt werden. In dieser Arbeit wurde der Vorschlag untersucht, sich an der Kostenstrukturierung des CRB zu orientieren. Dieser Vorschlag müsste noch weiter studiert und mit anderen Möglichkeiten anhand konkreter Entwurfssituationen verglichen werden.

Weiter besteht ein grosser Bedarf, die Ökobilanz für die Bewertung von Gebäuden zu vereinfachen. Dazu bräuchte es einerseits stark verbesserte und mit Qualitätsangaben versehene Datensätze zu den Baumaterialien und Bauprozessen (insbesondere Metalle, Anstriche, Baustellenprozesse, etc.). Andererseits muss die Methode zuerst soweit angeglichen werden, dass anhand vieler damit erfasster Gebäude die wichtigsten Indikatoren ermittelt werden können.

Originalliteratur:

A. Lalive d'Epinay, *Die Umweltverträglichkeit als eine Determinante des architektonischen Entwurfs*. Dissertation ETH Nr. 13610, Abteilung für Umweltwissenschaften, ETH Zürich, März, 2000

3.5 Bau-Umweltbelastungskennwerte zur Abschätzung der Umweltverträglichkeit von Gebäuden in frühen Planungsphasen

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um ein Teilprojekt, das im Rahmen der Dissertation „Umweltfreundlichkeit als eine der Determinanten des Entwurfs“ erarbeitet wurde. Die Resultate wurden in die Dissertation integriert. Der Bericht zu diesem Teilprojekt ist separat erhältlich, weshalb hier ebenfalls eine kurze Zusammenfassung wiedergegeben wird.

In der Arbeit wurde ergründet, inwiefern ein Bau-Umweltbelastungskennwerte-Katalog (BUKK) in Analogie zum Baukostenkennwertkatalog des CRB bei der Erfassung und Optimierung der Umweltfreundlichkeit von Gebäuden hilfreich wäre. Anhand mehrerer Fallbeispiele aus den Bereichen Wohnen, Büro und Schulen wurde ein erster Entwurf eines BUKK entwickelt. Damit konnte einerseits das Fallbeispiel „Stahlrain“ der Dissertation in einen grösseren Rahmen gesetzt werden und andererseits wurde erkannt, wie ein BUKK aufgebaut und organisiert sein muss.

Die Grundidee ist jene, die auch in OGIP⁵ verfolgt wird: In späten Projektierungsphasen sind detaillierte Ökobilanzen aufgrund eines „bottom-up“-Ansatzes machbar. In den frühen Phasen sind diese Informationen jedoch noch nicht erhältlich, weshalb sich ein „top-down“-Ansatz anbietet. Dort werden Richtwerte anhand von detailliert erfassten Gebäuden ermittelt, die für die Planung neuer Gebäude verwendet werden können. Ein solcher Ansatz ist sinnvoll, da keine falsche Genauigkeit durch unsichere Hochrechnungen vorgespiegelt wird und der Vergleich mit BUKK-Daten einfach durchführbar ist.

3.5.1 Methode

Es wurden anhand verschiedener Kontakte und Literaturquellen vollständige Ökobilanzen von Gebäuden gesucht, analysiert und so weit möglich vereinheitlicht. Die Auswertung erfolgte separat für Büro/Schulgebäude und Wohngebäude.

3.5.2 Resultate

Wohngebäude. Betrachtet man die totale Umweltbelastung, die durch acht verschiedene Wohngebäude in den Wirkungskategorien Treibhauseffekt, Versauerung, Überdüngung und Primärenergiebedarf verursacht wird, so

⁵ siehe www.ogip.ch

lassen sich diese grob in zwei Gruppen einteilen: jene ohne Umweltverträglichkeitsanspruch (UVA) und jene mit. Bei jenen Häusern mit einem UVA wurde insbesondere darauf geachtet, den Betriebsenergiebedarf während der Nutzungsphase tief zu halten, was sich in der Gesamtbilanz sehr stark auswirkt. Dafür werden bei diesen Häusern die Phasen Herstellung (und falls einbezogen die Entsorgung) relevant.

Bei allen Gebäuden sind die Decken und Wände stark an der Umweltbelastung beteiligt. Dies ist auf den massenmässig grossen Beitrag dieser Elemente zurückzuführen.

Bürogebäude/Schulen. Bei den untersuchten neun Büro- und zwei Schulgebäuden war die Heterogenität der Resultate bedeutend grösser als bei den Wohngebäuden. Die Unterschiede sind nur teilweise auf die Gebäude zurückzuführen. Es besteht wiederum eine Korrelation der Umweltbelastung mit dem UVA. Konnte in der Nutzungsphase der Betriebsenergiebedarf gesenkt werden, so wirkt sich dies auf die gesamte Bilanz in den betrachteten Wirkungskategorien positiv aus. Bei den Baumaterialien ist es schwieriger, gebäudespezifische Unterschiede festzumachen. Die methodischen Differenzen schlagen hier durch. Einige Gebäude schneiden sehr gut ab, was auf ihren geringen Erfassungsgrad (wenig berücksichtigte Materialien) zurückzuführen ist. Bei einer anderen Gruppe sind die Aufwendungen für die Erneuerung dominant, woraus abzulesen ist, dass dort viel kleinere Erneuerungszyklen angenommen wurden als in den anderen Beispiele. Zudem ist nicht bei allen Gebäudebilanzen die Entsorgung emissionsseitig aufgenommen, meist werden nur die Anzahl kg Abfall in Deponie ausgewiesen, was zu einer Unterschätzung der Entsorgungsphase führt. Diese Unterschätzung wirkt sich auch auf die Bewertung einzelner Gebäudekomponenten aus, denn in der Entsorgung sind häufig die inerten Stoffe weniger problematisch als z.B. gewisse Farben, Metalle und Gipse.

Die Öko-Inventare der Herstellung der Materialien wurden länderspezifisch erhoben. Dies äussert sich vor allem in den Kategorien wie Versauerung, Überdüngung und Sommersmogbildung, die wegen der vielen Kohlekraftwerke deutlich höhere Werte ausweisen als die teilweise mit Schweizer Strom berechneten Schweizer Baumaterialien.

3.5.3 Diskussion

Mit einem BUKK lassen sich die Umweltauswirkungen verschiedener Konstruktionen und Gebäudevarianten schon in den frühen Planungsphasen abschätzen. Die Richtwerte müssen anhand genügend vieler Gebäude auf einheitliche Art erhoben werden. Um den BUKK anwenden zu können,

müssen die Richtwerte mit beschreibenden Informationen bezüglich der Gebäude ergänzt werden. Zu diesen Informationen zählen

- die Funktion
- die Typologie
- der Konstruktionsbeschrieb
- der Ausbaustandard
- der Umweltverträglichkeitsanspruch
- der Standort
- das Baujahr
- die Energiekennzahl Wärme [MJ]/m²a]
- die Energiekennzahl Elektrizität [MJ]/m²a]
- die Energiebezugsfläche [m²]
- der Erfassungsgrad

Der in dieser Arbeit erstellte BUKK ist provisorisch und beruht noch auf einer zu geringen Datenmenge. Die Unterschiede in den Resultaten sind sehr gross und haben diverse Gründe. Einerseits sind es reelle Unterschiede, die durch den Bau und den Betrieb der Gebäude verursacht werden. Zum Beispiel wirkt sich eine Senkung des Betriebsenergieaufwandes immer positiv auf die Bilanz aus. Diese Senkung kann durch bauliche Massnahmen erreicht werden, falls schon in der Planung diesem Anspruch Rechnung getragen wird. Bei der Wahl der Materialien sind die Unterschiede, die durch bauliche Massnahmen erfolgen, weniger klar auszumachen, da dort die methodischen Unsicherheiten noch stärker ins Gewicht fallen.

Die methodischen Unsicherheiten betreffen

- die ungleiche Ziehung der Systemgrenzen
- die ungleiche Behandlung der Entsorgungsphase
- die ungleiche Definition von Erneuerungszyklen
- die teilweise noch verfochtene Bewertung von Holz mit CO₂-Gutschriften, ohne dass die Entsorgung diese Gutschrift wieder neutralisiert
- die Behandlung des Recyclings

Diese müssen durch eine standardisierte Vorgehensweise eliminiert werden. Nur schon indem alle Gebäude mit demselben Instrument erhoben werden, kann hier eine erste Vereinheitlichung der Methodik erfolgen.

Originalliteratur

P. Steinle, A. Lalive d'Epinay, *Bau-Umweltbelastungskennwerte zur Abschätzung der Umweltverträglichkeit von Gebäuden in frühen Planungsphasen*. ETH Zürich, Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz, Laboratorium für Technische Chemie, Universitätsstrasse 31, 8092 Zürich, 1999

Kapitel 4

Daten und Methodisches zu Bauteilen und Bauprozessen

4.1 Umweltrelevanz der Haustechnik. Eine Entscheidungsgrundlage

Die Studie untersucht die Relevanz von Haustechnik in Bezug auf die Umweltwirkungen von Gebäuden. Darunter werden für einmal nicht die positiven Auswirkungen einer intelligenten Heiz- und Klimatechnik verstanden, sondern es soll die Belastung der Umwelt durch die Herstellung, den Einbau, Betrieb und die Entsorgung von Haustechnik-Komponenten in Gebäuden abgeschätzt werden. Damit wird auf eine wichtige Lücke in der Ökobilanzierung von Gebäuden hingewiesen. Aufgrund begrenzter Mittel mussten viele Haustechnik-Komponenten von der Untersuchung ausgeschlossen werden, von den verbleibenden wurde anhand zweier Fallbeispiele eine Massenbilanz der Produkte erstellt, ohne vor- und nachgelagerte Herstellungs-, Nutzungs- und Entsorgungsprozesse zu berücksichtigen. Aufgrund von Vergleichen und theoretischer Überlegungen weist die Studie dennoch die Relevanz der Haustechnikkomponenten für die Gesamt-Umweltwirkung eines Gebäudes nach.

4.1.1 Methodik

Die Studie beruht einerseits auf dem Studium der vorhandenen Literatur, andererseits wurden die Haustechnikkomponenten zweier Bauprojekte in einer Materialbilanz erfasst. Aufgrund dieser Bilanz wurden der Energiebedarf und die Umweltwirkungen der Haustechnik ermittelt und im Vergleich mit

der Herstellung und dem Betrieb der entsprechenden Gebäude bewertet. Ergänzend wurden Interviews mit Haustechnik-Herstellern und –Fachleuten durchgeführt, um sicherzugehen, dass alle relevanten Haustechnikkomponenten erfasst wurden.

4.1.2 Untersuchungsobjekte

Untersucht wurden Haustechnikkomponenten, die eindeutig dem jeweiligen Gebäude zuordenbar sind, d.h. ohne den Anschluss an die externe Infrastruktur. Nicht berücksichtigt wurden zudem Komponenten, die dem Rohbau angerechnet werden können (z.B. Kamin), sowie solche, deren Ausgestaltung stark benutzerabhängig ist (sanitäre Installationen). Die Armaturen, Regeleinrichtungen und elektrischen Installationen wurden aufgrund ihrer Komplexität vernachlässigt oder, wo möglich, aufgrund der teilweise gleichen Materialzusammensetzung den bilanzierten Komponenten zugerechnet. Weitere Ausschlussgründe waren:

- Es bestehen schon Ökoinventardaten (Sonnenkollektoren, Wärmepumpen, Photovoltaik).
- Die Komponente wird weder heute noch in Zukunft in Wohn- und Dienstleistungsgebäuden verwendet (z.B. Nasswäscher).
- Die Komponente kommt sehr selten zur Anwendung oder ist für das Funktionieren der Anlage von geringer Bedeutung.
- Die Komponente ist aufgrund einer groben Abschätzung im Vergleich mit anderen Komponenten der selben Materialzusammensetzung vernachlässigbar oder diesen zurechenbar.

Die aufgrund dieser Ausschlusskriterien ausgewählten Komponenten, sind in Tab. 7 aufgeführt, gegliedert nach Haustechnik-Gewerken.

Tab. 7 Ausgewählte Komponenten je Gewerk

Heizung	Lüftung	Klima	Sanitär	Elektro
Heizkessel inkl. Gasbrenner und Expansionsgefäß	Monobloc	Kältemaschine	Wassererwärmer	Kabel
Pumpen	Ventilatoren	Umluftkühlgerät	Pumpen	Rohre
Leitungen	Kanäle	Rückkühlsystem	Leitungen	Kanäle
Dämmung	Rohre	Dämmung	Dämmung	Fundamente
Heizkörper	Dämmung		Filter	
Fussbodenheizung				

Die in Tab. 7 aufgelisteten Komponenten wurden bei zwei Bauprojekten (eine Wohnüberbauung und ein Dienstleistungsgebäude) erfasst. Aufgrund von Herstellerangaben und Expertenwissen konnte auf Komponenten- und Gewerkeebene eine Materialbilanz (in kg) und – durch die Verknüpfung mit Daten von Kasser und Pöll (Kasser und Pöll 1995) – eine Bilanz der Herstellungsenergie (in MJ) erstellt werden. Die durch die Haustechnik bewirkten Emissionen in die Umwelt wurden durch Verknüpfung der Materialbilanz mit den Ökoinventaren für Energiesysteme (Frischknecht et al. 1996) berechnet. Somit handelt es sich nicht um vollständige Bilanzen im Sinne einer Lebenszyklusanalyse, sondern nur um eine Materialbilanz, die mit Werten der grauen Energie pro Material und mit aggregierten Umweltindikatoren pro Material ergänzt wurde.

Bei der Massenbilanz zeigte sich, dass bei beiden Fallbeispielen die Reihenfolge der Wichtigkeit der einzelnen Komponenten ungefähr die selbe ist. Allerdings weist das Dienstleistungsgebäude ausser bei der Heizung einen deutlich höheren Installationsgrad auf, was sich sowohl in der Massenbilanz (pro m² Energiebezugsfläche) als auch in der Bilanz der Herstellungsenergie ausdrückt. Insbesondere die Lüftung und die (bei der Wohnüberbauung nicht vorhandene) Kälteanlage tragen zum Unterschied bei.

Sowohl bezüglich Masse als auch bezüglich Herstellungsenergie sind die Leitungen (inkl. Kanäle und Rohre) die bedeutendste Komponentengruppe der Haustechnik. Dabei kann die Materialwahl in einzelnen Bereichen grosse Unterschiede verursachen (z.B. PE versus Gusseisenrohre).

Zur Abschätzung der Relevanz der Haustechnik bezüglich der Umweltwirkung des Gesamtgebäudes wurden Vergleiche mit dessen Massen-, Energie- und Umweltbilanz gemacht. Dabei zeigte sich, dass

- der Anteil der Haustechnik-Masse an der gesamten Gebäudemasse unter Berücksichtigung der Lebensdauer der einzelnen Komponenten zwischen 1% (Wohnüberbauung) und 2.3% (Bürogebäude) liegt, eine Größenordnung, die mit Literaturwerten belegt werden konnte;
- aufgrund der speziellen, energieintensiven Materialien die Haustechnik 15 – 30% der Herstellungsenergie des Gesamtgebäudes ausmacht, jedoch nur 2.3 – 5% der Betriebsenergie (bei einer Energiekennzahl von ca. 500 MJ/m²a und angenommener Lebensdauer von 80 Jahren);
- die Umweltbelastung durch die Herstellung der Haustechnikkomponenten, ausgedrückt in Ecoindikatorpunkten (Goedkoop 1995), 28 – 64% der Umweltbelastung durch die Betriebsphase der Gebäude ausmacht.

Diese Werte weisen darauf hin, dass durch umfassendere Betrachtung der Umwelteinflüsse die Haustechnik an Bedeutung gewinnt.

4.1.3 Folgerungen

Die Studie weist nach, dass die Umweltwirkungen der Haustechnik im Vergleich mit den Umweltwirkungen des Gesamtgebäudes nicht vernachlässigt werden darf. Dieser Nachweis gelingt, obwohl viele Haustechnikkomponenten sowie deren Produktion vor- und nachgelagerte Phasen nicht berücksichtigt wurden. Hier ist anzunehmen, dass eine solche Erweiterung, insbesondere unter Einbezug auch der stofflichen Entsorgung, die Wichtigkeit der Haustechnik noch deutlicher aufzeigt.

Die Studie enthält bereits Hinweise auf - bezüglich Material- und Energiebedarf - besonders relevante Komponenten und Gewerke. Es wird empfohlen, anhand dieser Hinweise die Ökoinventare für Haustechnikkomponenten systematisch zu erweitern.

Originalliteratur

Th. Baumann, L. Itschner, *Umweltrelevanz der Haustechnik. Eine Entscheidungsgrundlage*. ETH Zürich, Laboratorium für Technische Chemie, Professur für Sicherheit und Umweltschutz in der Chemie, Universitätsstrasse 31, 8092 Zürich, 1998. ISBN 3-906734-04-8

4.2 Kunststoffe in der Schweizer Bauindustrie

Die Arbeit hat zum Ziel, die Kunststoffströme in der Schweizer Bauindustrie quantitativ und qualitativ zu erfassen. Der jährliche Verbrauch und das jährlich anfallende Abfallaufkommen werden erfasst. Zudem wird untersucht, welcher Kunststoff in welchen Produkten zur Anwendung kommt.

Kunststoffe sind technische Werkstoffe, die durch Polymerisationsprozesse hergestellt werden. Das Rohmaterial besteht aus Destillationsfraktionen von Erdöl und Erdgas. Der Anteil an Kunststoffen in Gebäuden beträgt zur Zeit massenmässig ca. 0.5%, ist aber stetig zunehmend.

4.2.1 Untersuchungsgebiet

Die Studie beschränkt sich auf die Untersuchung des Hochbaus. Die wichtigsten Anwendungen von Kunststoffen im Hochbau sind in der folgenden Tab. 8 aufgeführt.

Tab. 8 Prozentuale Verteilung verschiedener Kunststoff-Produktekategorien nach Lebensdauer

Lebensdauer in Jahren	<2	2-5	5-10	10-20	20-40	>40
Produkt						
Rohre	0	1	1	3	20	75
Fenster	0	0	1	2	32	65
Dämmstoffe	2	0	0	10	50	38
Dichtungsbahnen	5	0	10	25	40	20
Profile	3	0	5	30	50	12
Einbaumöbel	1	0	25	49	20	5
Bodenbeläge (ohne Teppiche)	5	2	20	68	5	0
Wandbezüge	2	8	50	30	10	0

Verschiedenen Kunststofftypen sind auf dem Markt erhältlich. Gesamthaft macht PVC mit 53% den grössten Teil aller Kunststofftypen aus. PE mit 14%, gefolgt von PP mit 6%, PUR mit 8% und EPS mit 7% sind auch häufig vertreten.

4.2.2 Methode

Die Stoffflussanalyse wurde anhand von Literaturstudien, Gesprächen und Interviews bei Kunststoffherstellern erstellt. Sie unterscheidet sich von einer klassischen Stoffflussanalyse vor allem darin, als dass sie eine Produktpalette und nicht ein chemisches Element untersucht. Um auch Aussagen über

die Umweltverträglichkeit der Kunststoffprodukte machen zu können, wurde teilweise auf vorhandene Ökobilanzen zurückgegriffen. Diese wurden mit äquivalenten Produkten aus anderen Materialien verglichen.

4.2.3 Kunststoffverbrauch

In der Schweiz wurden 1995 gemäss APME (1995) 458'000 Tonnen Kunststoffe verbraucht. Die Bauindustrie hat mit 20% des Gesamtverbrauchs den zweitgrössten Anteil (hinter den Verpackungen). Folgende Tab. 9 fasst den Kunststoffverbrauch der Schweizer Bauindustrie zusammen.

Tab. 9 Kunststoffverbrauch 1995 in der Schweizer Bauindustrie nach Produkt und Kunststoff

Produkt	Kunststoff	Schweiz 1995	
		Menge (t/a)	Anteil (%)
Rohre	PVC	24'985	21.87
	HD-PE	6'411	5.61
	LD-PE	1'654	1.45
	PP	2'275	1.99
	ABS	244	0.21
	total	35'570	31.13
Fenster	PVC	11'280	9.87
	total	11'280	9.87
Dämmstoffe	EPS	8'272	7.24
	XPS	2'632	2.3
	PUR	8'723	7.64
	total	19'627	17.18
Wandbezüge	PVC	1'372	1.2
	total	1'372	1.2
Bodenbeläge fiber	PP	3'910	3.42
	PA	3'271	2.86
	Acrylics	132	0.12
	PET	395	0.35
non-fiber	PVC	5'283	4.62
	PU-Schaum	902	0.79
	total	13'893	12.16
Dichtungsbahnen	PE	2'933	2.57
	PVC	2'068	1.81
	total	5'001	4.38
Profile	PVC	5'452	4.77
	total	5'452	4.77
Kabel	PVC	6'937	6.07
	PE	4'230	3.70
	total	11'167	9.77

Produkt	Kunststoff	Schweiz 1995	
		Menge (t/a)	Anteil (%)
Einbaumöbel	PS	2'933	2.57
	PMMA	1'316	1.15
	PC	1'410	1.23
	PA	282	0.25
	POM	75	0.07
	UP	1'598	1.40
	Amino	376	0.33
	total	7'990	6.99
Andere		2'895	2.53
Total		114'248	100.00

4.2.4 Kunststoffabfälle

Tab. 10 Entwicklung des Kunststoff-Abfallaufkommens in der Schweizer Bauindustrie bis 2010.

Produkt	Abfall pro Jahr (t)			Wachstumsrate (%/Jahr)	
	1995	2000	2010	95/00	00/10
Boden- und Wandbeläge	13'541	14'091	18'214	0.8	2.6
Rohre	2'210	5'499	8'705	20.0	4.7
Dämmstoffe	1'615	2'542	7'686	9.5	11.7
Profile	2'096	3'051	4'648	7.8	4.3
Dichtungsbahnen	1'671	2'377	4'257	7.3	6.0
Fenster	113	226	1'224	14.9	18.4
Einbaumöbel	425	542	765	5.0	3.5
Kabel	3'031	3'446	4'542	2.6	2.8
Total	24'702	31'774	50'041	5.2	4.8

Zur Zeit fällt bedeutend weniger Kunststoffabfall aus dem Hochbau an, als eingebaut wird. Das Bauwerk Schweiz stellt also ein grosses Zwischenlager an Kunststoffen dar. Das künftige Abfallaufkommen wird steigen. Es werden auch Produkte, die unterdessen aus Umweltschutzgründen verboten sind, entsorgt werden müssen, was zu einer erhöhten Belastung der Umwelt führen wird (siehe Tab. 10)

Daher ist es wichtig, die verschiedenen Entsorgungswege für Kunststoffe zu kennen und den optimalen zu beschreiten. Die Deponierung von Kunststoffen ist in der Schweiz nicht mehr erlaubt. Brennbare Abfälle müssen verbrannt werden. Daraus lässt sich zudem noch Energie gewinnen.

Der gebräuchlichste Weg ist also die Verbrennungsanlage. Teilweise werden Kunststoffe aber auch in Zementwerken entsorgt, wo sie als Brennstoff benutzt werden können. Will man jedoch in Zukunft eine nachhaltige Entwicklung fördern, so müssen unbedingt die Recyclingmöglichkeiten verbessert werden. Dies fordert schon die Hersteller von Kunststoffen, die schon in dieser Phase ein Recyclingpotential zu eröffnen haben.

4.2.5 Fazit

Kunststoffe finden eine Anwendung in Rohren, Fenstern, Dämmstoffen, Wand- und Bodenbelägen, Dichtungsbahnen, Profilen, Kabel und anderem. Den grössten Anteil haben Produkte aus PVC (53%) und PE (14%).

Nur rund 26'000 t dieser Kunststoffe werden jährlich zu Abfall, was auf das grosse Materialzwischenlager im Bauwerk Schweiz hinweist. Das Abfallaufkommen wird sich aber in den nächsten 10 Jahren beinahe verdoppeln. Einige der „alten“ Produkte haben noch Inhaltsstoffe (Cadmium, FCKW) mit grossem Umweltgefährdungspotential. Die sachgerechte Entsorgung dieser Abfälle wird eine wichtige Rolle spielen.

Originalliteratur

K. Schneeberger, *Kunststoffe in der Schweizer Bauindustrie*. Eine Studie im Rahmen des IEA BCS Annex 31, durchgeführt bei der DOW Europe S.A., Horgen, ETH Zürich, Laboratorium für Technische Chemie, Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz, Universitätsstrasse 31, 8092 Zürich, 1999

4.3 Ökologische Sanierung von Bürobauten

Das Projekt befasste sich mit den methodischen Aspekten der Ökobilanzierung von Büro-Sanierungsvorhaben.

4.3.1 Bürobauten und Sanierung

Der überwiegende Anteil von Bürogebäuden ist seit dem Zweiten Weltkrieg als Folge der markanten Ausbreitung des Dienstleistungssektors entstanden. Bürobauten sind im Vergleich zu Wohnbauten intensive Elektrizitätsverbraucher, wobei grosse Unterschiede zwischen leicht, mittel und hochtechnisierten Objekten bestehen. Bürobauten weisen zudem sehr unterschiedliche Ausbaustandards auf, was auch in den Kosten sichtbar ist. Heute hat sich die Anzahl der Arbeitsplätze im Dienstleistungssektor stabilisiert, bei sinkendem Flächenbedarf pro Arbeitsplatz (Verdichtung). Insgesamt ist in den nächsten Jahren nur noch ein selektives Flächenwachstum von Bürogebäuden an attraktiven Standorten zu erwarten. Umso wichtiger wird deshalb die Sanierung der bestehenden Bürobauten.

4.3.2 Nachhaltigkeit des Prozesses Büroarbeit

Nachhaltigkeit ist heute ein viel zitiertes „Plastikwort“. Die „strenge Nachhaltigkeit“ geht davon aus, dass ausschliesslich erneuerbare Energie sowie nachwachsende Rohstoffe verwendet werden. Die Anwendung dieser Definition auf den Prozess „Büroarbeit“ zeigt ein deutliches Manko an erneuerbarer Energie. Dieses könnte zum Beispiel mit dem Zubau dezentraler Sonnenenergienutzung ausgeglichen werden.

4.3.3 Ökologische Sanierung von Bürobauten

Ausgangspunkt für die Sanierungstypologie von Bürobauten waren aktuelle Beispiele von Sanierungsprojekten aus der Schweiz. Die Sanierungstypologie ist nach den verschiedenen Generationen von Bürogebäuden sowie der Sanierungstiefe (Einzelmassnahme bis Ersatzneubau) aufgebaut. Anhand eines Kataloges von energetischen und ökologischen Sanierungsmassnahmen wurden drei Fragestellungen bestimmt, welche in methodischer und baulicher Hinsicht vertieft bearbeitet wurden. Die Relevanz der Ergebnisse wurde jeweils am Fallbeispiel eines aktuellen Sanierungsprojektes aufgezeigt.

Fragestellung 1: Allokation von Infrastrukturaufwand bei bereits erfolgter Belastungen

Die Umwelteinwirkungen (Emissionen, Ressourcenentnahmen) der Herstellung der Infrastruktur sind bereits erfolgt. Soll das Gebäude ökologisch "gratis" weitergegeben werden können? Für strategische Fragestellungen betreffend Sanierung oder Neubau wurde ein Ansatz zur Allokation des Infrastrukturaufwandes entwickelt, der an einem fiktiven Beispiel erläutert wird.

Bei der Sanierung von Bauteilen geht es um Einzelmassnahmen, für welche die energetische resp. ökologische Rückzahldauer (Differenz des Aufwands der Sanierungs- resp. Neubau-Variante minus heutige Situation dividiert durch die Differenz des jährlichen Betriebsaufwands) eine Entscheidungsgrundlage liefern kann. Die Herleitung zeigt, dass die Herstellungs- und Entsorgungsaufwände des bestehenden Bauteils nicht entscheidungsrelevant sind. Für Fragen des vorzeitigen Ersatzes sind somit lediglich die neu und zusätzlich auftretenden oder reduzierten Aufwände und Emissionen zu berücksichtigen.

Beim Umgang mit unsicherer Information (z.B. zukünftige Entsorgung von Bauteilen, Abbruch vor Erreichen der Nutzungszeit) werden Ansätze zur Berücksichtigung der persönlichen Haltung des Entscheidungsträgers (risikofreudig, -neutral, -scheu) dargestellt und anhand der Fenster-/ Fassadensanierung am Fallbeispiel erläutert. Es zeigt sich, dass vor allem die nach der Methode der ökologischen Knappheit ermittelte Rückzahldauer stark durch Recycling-Gutschriften beeinflusst wird.

Fragestellung 2: Wahl des richtigen Ersatzzeitpunktes

Wie lange soll man angesichts zukünftiger technischer Verbesserungen mit einer Sanierungsmassnahme für eine insgesamt für die Umwelt bessere Lösung zuwarten? Zur Untersuchung dieser Fragestellung ist das Fenster wegen der ausgeprägten technologischen Entwicklung, welche in den letzten beiden Jahrzehnten stattgefunden hat, besonders geeignet. Für den Fensterersatz über die Gebäudenutzungsdauer wurden Szenarien entwickelt und mit verschiedenen Indikatoren (Primärenergie nicht erneuerbar, Umweltbelastungspunkte '97, Eco-Indicator+) untersucht. Vorzeitiger Ersatz eines Fensters lohnt sich im Vergleich mit den üblichen Sanierungszyklen höchstens, falls die Verglasung bei technologischen Verbesserungen dem Stand der Technik mehrmals angepasst wird.

Fragestellung 3: Energieträger (Strommix)

Wesentlich ausgeprägter als im Wohnungsbau ist der Elektrizitätsverbrauch eine entscheidende Grösse in der Ökobilanz von Bürobauten. Bei Bauplanungsprozessen handelt es sich grundsätzlich um entscheidorientierte Analysen, bei denen Strommodelle mit marginaler Produktion eingesetzt werden können. Die Konsequenzen für Planungsentscheide werden anhand des Fallbeispiels aufgezeigt.

4.3.4 Nachhaltigkeit und Sanierung von Bürobauten

Trotz der unscharfen Definitionen zeigen alle Kriterien, dass die Erreichung der ressourcenorientierten Nachhaltigkeit eine grosse Herausforderung darstellt.

Erste Priorität liegt bei der energetischen Verbesserung. Die Senkung des Betriebsenergieaufwandes ist massgebend an der Verbesserung der Umweltfreundlichkeit eines Bürogebäudes beteiligt. Dieses Sanierungsvorhaben ist jederzeit entsprechend dem Stand der Technik auszuführen, denn eine nachträgliche weitere Verbesserung ist sehr aufwendig. Ein vorzeitiger Ersatz zahlt sich energetisch eher aus als nach ökologischen Indikatoren. Deshalb sind sowohl die energetische als auch die ökologische Rückzahldauer zu prüfen.

Erkenntnisse zu methodischen Fragen bei Ökobilanzen

Im Hinblick auf Entscheide betreffend Sanierung oder Neubau wird eine Allokation der Umwelteinwirkungen der Handlungsalternativen auf das zu sanierende Objekt nach Nutzfläche und Marktpreis aufgezeigt. Für Fragen des vorzeitigen Ersatzes müssen die Herstellungs- und Entsorgungsaufwände des bestehenden Bauteils nicht berücksichtigt werden, sondern nur die neu und zusätzlich auftretenden Emissionen.

Bei unsicherer Information wird für Ökobilanzen im Bauwesen eine risikoscheue Haltung empfohlen. Das heisst, es sollen keine Recycling-Gutschriften für allfällige zukünftige Verwertung angenommen werden, für zukünftige Prozesse soll der heutige Stand der Technik angewendet und für die Nutzungsdauer die ökonomische Amortisationszeit eingesetzt werden.

Für Entscheidungssituationen in der Bauplanung ist die Anwendung marginaler Strommixe angebracht. Entsprechende Standarddatensätze werden benötigt.

Zwischen energetischen (nicht erneuerbare Primärenergie) und ökologischen Umweltbelastungs-Indikatoren (hier UBP '97, Eco-Indicator 95rf) bestehen systematische Unterschiede. Generell wird bei den ökologischen Indikatoren die Herstellung der Baustoffe stärker gewichtet.

4.3.5 Problemstellungen für zukünftige Forschungsvorhaben

Zukünftige Forschungsvorhaben sollten Lösungen betreffend reparieren, erneuern, „flicken“ untersuchen. Dazu sind auch harmonisierte Sachbilanzen von Baustoffen notwendig. Die Sachbilanzen beinhalten nicht nur die Herstellung der Materialien sondern auch Daten zu Rückbau, Verwertungs- und Entsorgungsprozessen.

Originalliteratur

A. Binz, R. Frischknecht, D. Gilgen, H. Gugerli, G. Lehmann, *Ökologische Sanierung von Bürobauten*. ETH Zürich, Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz. Zu beziehen bei ZEN, Zentrum für Energie und Nachhaltigkeit, Dübendorf, 1999

4.4 Ökobilanzen der Entsorgung von Baumaterialien

Die ökologische Beurteilung von Baumaterialien, Konstruktionen oder Gebäuden konzentriert sich meist auf die Herstellungs- und Gebrauchsphase. Die Entsorgung wird dabei vernachlässigt oder in kg Abfall ausgedrückt. Die Studie setzte sich zum Ziel, spezifische Ökoinventare der Entsorgung von Baumaterialien zu erstellen. Dabei musste dem Umstand Rechnung getragen werden, dass Baumaterialien am Ende des Lebenszyklus¹ eines Gebäudes je nach Konstruktion unterschiedlich entsorgt werden müssen. Die Studie zeigt, dass die Vernachlässigung der Entsorgung nicht generell gerechtfertigt ist.

Verschiedene, in der Schweiz häufig verwendete Baumaterialien und ihre möglichen Entsorgungswege wurden betrachtet. Dabei konnte unterschieden werden zwischen Erstellungsabfällen (Abfällen, die bei der Erstellung eines Gebäudes auftreten), Renovationsabfällen (Abfällen, die bei Renovationen von Gebäuden auftreten) und Abbruchabfällen (Abfällen, die beim Abbruch von Gebäuden auftreten). Die drei Situationen unterscheiden sich vor allem in der Organisation der Baustelle: Während bei Erstellung und Abriss meist relativ viel Platz vorhanden ist und demnach mehrere Mulden aufgestellt werden können (die Abfälle werden somit schon vorsortiert), so liegt bei Renovationen meist Platzmangel vor, was sich darin äussert, dass meistens nur eine Mulde benutzt wird.

Die folgende Abb. 7 zeigt die betrachteten Entsorgungswege und die Systemgrenzen der Bilanz auf. Als funktionelle Einheit wurde „kg entsorgtes Material“ gewählt.

In der Studie wurden Entsorgungsinventare von rund 50 Materialien erarbeitet. Neben dem Energieverbrauch wurden auch die ökologischen Wirkungen von direkt oder indirekt entstehenden Schadstoffen materialspezifisch berücksichtigt. Die Systemgrenze der Bilanz erstreckt sich dabei von den Aufwendungen auf der Baustelle (z.B. Abbruchenergie), Transporten, Aufwendungen in einer Sortieranlage bis zur letztendlichen Entsorgung in einer Kehrlichtverbrennungsanlage, Inertstoffdeponie, Reaktordeponie oder Sonderabfallverbrennungsanlage. Da in der Schweiz rund 46% der brennbaren Abfälle illegal entsorgt werden (Buwal 1996), wird als Variante auch deren wilde Verbrennung in einem offenen Feuer bilanziert. Die Bilanzierung der Beseitigungsprozesse wie KVA und Reaktordeponie erfolgt mit Hilfe eines an der ETH entwickelten Modells (Zimmermann et al. 1996). materialspezifisch, d.h. die spezifische Zusammensetzung der einzelnen Baumaterialien wird berücksichtigt. Die Daten gelten nur für die Situation in der Schweiz.

(siehe Tab. 11). Dies kann insbesondere bei Baustoffen der Fall sein, welche in der Herstellung eine relativ geringe Belastung aufweisen. Um einen Eindruck der Relevanz der verschiedenen Baustoffe zu erhalten, wird auch die Entsorgung eines synthetischen Durchschnittshauses betrachtet.

Tab. 11 Vergleich der Entsorgung vs. Herstellung von Baumaterialien. Die angegebenen Zahlen entsprechen Belastung Entsorgung ÷ Belastung Herstellung. Ein Wert von >1 bedeutet, dass die Entsorgung belastender ist als die Herstellung (**Fettdruck**); ein Wert von <1 bedeutet die Entsorgung weniger belastend ist als die Herstellung. Kursive Werte bedeuten, dass die Entsorgung zwar untergeordnet ist, aber mehr als 10% der Herstellung ausmachen.

	Eco-indicator 95+	Umweltbelastungs- punkte	Bedarf energetischer Ressourcen
	Zahlen sind Ausdruck des Verhältnis Entsorgung ÷ Herstellung eines kg Material		
Einschicht Glattputz	86.3	76.8	0.554
Gipskartonplatte	84.5	63.9	0.548
Betonkies	5.97	8.11	3.46
Schnittholz kant-	1.79	3.86	0.0108
Spanplatte	1.35	5.46	0.0079
Innenputz mineralisch	0.624	3.36	0.505
Aussenputz organisch	0.42	2.73	0.136
Bitumendichtungsbahn	0.385	0.779	0.0151
Armierungsstahl	0.38	0.449	0.187
Karton (Verpackungs-)	0.33	0.704	0.00922
Backstein	0.255	3.93	0.117
Baustahl	0.103	0.427	0.0645
PE-Dichtungsbahn	0.0944	0.41	0.00375
PE (LD)	0.0903	0.269	0.00216
PUR-Hartschaum	0.0891	0.196	0.0056
Dampfbremse flammschutz	0.0731	0.174	0.00469
Polystyrol EPS	0.069	0.229	0.00453
PVC-Dichtungsbahn	0.0483	0.528	0.0418
PVC schlagfest	0.0321	0.428	0.056
Beton pc150	0.0214	12.3	0.0176
Zementmoertel	0.007	3.66	0.00516
Steinwolle	0.0069	0.61	0.000484
Glas (Flach-) unbeschichtet	0.00186	0.994	0.000567

Die Studie zeigt, dass die Entsorgung von Baumaterialien bei weitem nicht vernachlässigbar ist, manchmal sogar ein dominanter Beitrag ist. Gewisse Baumaterialien erzeugen in der Entsorgung grössere Belastungen als in der Herstellung. Ein wichtiges Resultat ist die Feststellung, dass Gipsprodukte sehr grosse Belastungen durch Schwefelwasserstoffemissionen erzeugen können, falls sie in Reaktordeponien zusammen mit Biomasse entsorgt werden. Auch bei Abfällen, die als relativ unproblematisch eingestuft werden, wie z.B. Beton, ist die Berücksichtigung der Abbruchenergie wichtig für eine vollständige Beurteilung. Auch wenn lediglich der Primärenergieaufwand

(«graue Energie») zu einer Beurteilung herangezogen wird, ist der Entsorgungsaufwand nicht vernachlässigbar.

Daneben werden in der Studie noch einige methodische Aspekte der Ökobilanz diskutiert. So findet sich eine Zusammenstellung, wie mit Wiederverwendung und -verwertung in Ökobilanzen im Bauwesen umgegangen werden kann, wie Recyclingprozesse zu vergleichen sind und wie in der vorliegenden Arbeit verwertende Prozesse inventarisiert wurden.

Originalliteratur:

G. Doka, *Ökoinventar der Entsorgungsprozesse von Baumaterialien – Grundlagen zur Integration der Entsorgung in Ökobilanzen von Gebäuden*. Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz, Laboratorium für Technische Chemie, ETH Zürich. Zu beziehen bei: Empa ZEN, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf. Februar, 2000

Kapitel 5

Ausblick

Das nationale Projekt IEA BCS Annex 31 „Energy related environmental impact of buildings“ hat einen Beitrag zur Methodik und Anwendung von Ökobilanzen im Baubereich geleistet.

Die grosse Vielfalt an Instrumenten, die im Baubereich den Planern zur Verfügung stehen, konnte im Leitfaden strukturiert und dargestellt werden. Der Leitfaden gibt einen Überblick über vorhandene Instrumente und hilft, für ausgesuchte Fragestellungen das optimale Instrument auszuwählen. Da jedoch ständig neue Instrumente entwickelt oder die alten kontinuierlich verbessert werden, wird der Leitfaden bald nicht mehr auf dem aktuellsten Stand sein. Seine allgemeineren Aussagen zu Ökologie und Bauen und die Methodik, wie Instrumente analysiert und systematisch beschrieben werden können, bleiben jedoch gültig.

Im methodischen Bereich konnte der Stand der Forschung aufgearbeitet werden. Anhand eines konkreten Fallbeispiels wurde die Methodik geprüft und ihre Eignung für die frühen Planungsphasen analysiert. Der Vergleich mit anderen europäischen Ökobilanzstudien hat gezeigt, dass die Erstellung eines Bau-Umweltbelastungs-Kennwerte-Katalogs (BUKK) zur Abschätzung der Umweltbelastung von Gebäuden in frühen Planungsphasen machbar ist. Er hat auch gezeigt, dass stets noch viele methodische Unterschiede vorhanden sind. Um Ergebnisse vergleichbar zu machen, bedarf es einer Harmonisierung der Daten und der Gebäudemodellierung. Die Gebäudemodellierung beinhaltet die Definition des Lebenszyklus⁴, der einzelnen Phasen, der Lebensdauer des Gebäudes und der Funktionsdauer der Elemente und Materialien. Auf Bewertungsebene ist für die Anwendung im Baubereich eine vollaggregierende Methode sicher begrüssenswert. Dem gegenüber steht der Wunsch nach Transparenz in der Entscheidungsfin-

dung. Es würde sich demnach lohnen, eine vollaggregierende Methode auszuwählen, in welcher die einzelnen Wirkungskategorien noch eingesehen werden können und die – wie zum Beispiel der Eco-Indicator 99 – ein graphisches Mittel zur Auswertung der Robustheit der Daten beinhaltet.

Im Datenbereich konnten in diesem Projekt für haustechnische Anlagen erste Abschätzungen gemacht werden. Dabei wurde nachgewiesen, dass die Haustechnik massgebend an der Umweltbelastung eines Gebäudes beteiligt ist. Hier besteht immer noch der Bedarf an genauen, vollständig inventarisierten Daten. Für die Entsorgungsprozesse im Baubereich konnten neue Daten geliefert werden. Der Einbezug dieser Daten verändert das Resultat einer Gebäude-Ökobilanz massiv. Auch hier gilt jedoch, dass diese Daten keine abschliessende Gültigkeit aufweisen. Sie sind als erster Versuch zu interpretieren, das grosse Loch im Bereich der Entsorgungsdaten zu schliessen. Weitere Untersuchungen sind jedoch unerlässlich.

Im methodischen Bereich konnten insbesondere für Sanierungsmassnahmen Empfehlungen zu Allokation, zum vorzeitigen Ersatz und zur Frage „marginaler oder durchschnittlicher Strommix“ abgegeben werden.

Es besteht generell ein sehr grosses Bedürfnis an detailliert und einheitlich erfassten Datensätzen zu Baumaterialien und Bauprozessen (Metalle, Farben, Baustellenprozesse). Die Datenqualität ist generell eher ungenügend und die Angabe von Vertrauensbereichen wäre sehr begrüssenswert.

Im Rahmen laufender Projekte in der Schweiz und im Ausland besteht weiterhin Bedarf, die Methodik gebäudespezifisch anzugleichen. Zudem ist es wichtig, für die Erstellung eines umfassenden BUKKs möglichst viele Gebäude vollständig zu bilanzieren.

Kapitel 6

Literatur

- APME 1995 *Information system on plastics in the building and construction sector and in the construction and demolition waste in Western Europe.* SOFRES Conseil, a report for APME, Januar, 1995
- Buwal 1996 Buwal, *Abfallstatistik 1994*, Umwelt-Materialien Nr. 52, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 1996
- Dinesen und Traberg-Borup 1994 Dinesen, J., Traberg-Borup, S. *An Energy Life Cycle Assessment Model for Building Design*, Danish Building Research Institute SBI, Denmark 1994
- Bringolf et al. 1997 Bringolf, M., Erb, M. und Fahner M., *Ökologische Bewertung von Gebäuden*. Diplomarbeit Nachdiplomstudium Energie, Fachhochschule beider Basel, Muttensz, 1997
- Frischknecht et al. 1996 Frischknecht, R., Bollens, U., Bosshart, S., Ciot, M., Ciseri, L., Doka, G., Dones, R., et al. *Ökoinventare von Energiesystemen. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz*. 3. Auflage. Bundesamt für Energie, Bern, 1996.
- Griesshammer und Buchert 1996 R. Griesshammer und M. Buchert, *Nachhaltige Entwicklung und Stoffstrommanagement am Beispiel Bau*. Öko-Institut e.V. Freiburg, Darmstadt 1996
- Goedkoop 1995 Goedkoop, M. *The Eco-Indicator 95*. Final Report, Bericht Nr. 9523. Pre Consultants, Bergstraat 6, 3811 NH Amersfoort, NL, 1995
- Hebel 1995 Hebel AG, *Die erste Ökobilanz für ein Haus – Unser Baustoff im Gefüge der Umwelt*. Hebel Mitteilung, Fürstentfeldbruck, 1995
- Heijungs et al. 1992 Heijungs, R., Guinée, J., Lankreijer, R. M., de Haes, H. A. U. und Wegener-Sleeswijk, A. *Environmental life cycle assessment of products – Guide*. Novem, rivm, CML, Leiden, NL, 1992

- Kasser und Pöll 1995 Kasser, U. und Pöll, M. *Graue Energie von Baustoffen*. Büro für Umweltchemie, Hottingerstr. 32, 8032 Zürich, 1995
- Kohler 1994 Kohler N. *Energie- und Stoffflussbilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer*. Schlussbericht Forschungsprojekt BEW, Karlsruhe 1994
- Kohler et al. 1996 Kohler, N., Barth, B., Bieber, H., Eiermann, O., Haida, A., Heitz, S., Hermann, M., Klingele, M., Koch, M., Kukul, E., Holliger, M., Frischknecht, R., Stritz, A., Weibel, Th., Goeggel, H. P. und Sachs, S., *OGIP/DATO - Optimierung von Gesamtenergieverbrauch, Umweltbelastung und Baukosten*. Schlussbericht BEW Forschungsprojekt, Karlsruhe 1996
- Lindfors et al. 1995 L.-G. Lindfors, K. Christiansen, L. Hoffman, Y. Virtanen, V. Juntilla, O.-J. Hanssen und A. Ronning. *Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment*, Nord 1995:20, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 1995
- Ospelt 1995 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 1998 Quack, D., *Ökobilanzen von Wohngebäuden, Ein Fallbeispiel: Vergleich von sechs Doppelhäusern unterschiedlicher Ausführung*. Zwischenbericht, RWTH Aachen, 1998
- Regener 1997 *European methodology for the evaluation of environmental impact of buildings – Regener project final report*. 1997. European commission, directorate general XII for science, research and development, programme APAS.
- Scholz et al. 1995 Scholz, R., Bösch, S., Koller, T., Mieg, H.A. und Stünzi, J., *Industriereal Sulzer-Escher-Wyss, Umwelt und Bauen: Wertschöpfung durch Umnutzung*. UNS-Fallstudie 95, vdf Hochschulverlag ETH Zürich, Zürich, 1995
- Tillman 1994 A.-M. Tillman, Choice of system boundaries in life cycle assessment. In: *Journal of Cleaner Production*, Volume 2, Nr. 1, pp 21 - 29, Elsevier Science, 1994
- Tschirner 1995 Tschirner B. *Démarche pratique pour l'établissement de l'écobilan d'un bâtiment*. Diplomarbeit an der EPF Lausanne, Lausanne 1995
- Wanger 1995 Wanger S. *Ökologie und Ökonomie mit Hebel Porenbeton - Ökobilanz für das Hebel Haus "Terra 108"*. Porenbetonwerk Alzenau, München, 1995
- Zimmermann et al. 1996 Zimmermann, P., Doka, G., Huber, F., Labhardt, A., Ménard, M., *Ökoinventare von Entsorgungsprozessen*. ETH Zürich, Bezug bei ENET; Bern, August, 1996

Publikationsliste

zusätzlich zu den vorne erwähnten Berichten erschienene Publikationen:

Vorträge/Posters

- Gugerli et al. 1998 H. Gugerli, P. Koch, A. Lalive d'Epinay, D. Gilgen, B. Seiler, Ökologie im Hochbau, Planungsinstrumente unter der Lupe. In: *10. Schweizerisches Status-Seminar 1998*. KWH-EMPA Dübendorf, ETH Zürich, 10. September 1998
- Koch et al. 1999 P. Koch, A. Lalive d'Epinay, H. Gugerli, Instrumente für ökologisches Bauen im Vergleich. In: *Schweizer Ingenieur und Architekt*, Nr.. 27/28, 13. Juli 1999, Seiten 615 - 617, SIA, Zürich, 199
- Lalive et al. 1997a A. Lalive d'Epinay, P. Koch, B. Seiler, H. Gugerli, R. Frischknecht, An Analysis of Tools for the Assessment of Environmental Impacts of Buildings, in: Proceedings of the second international conference *Buildings and Environment*, 9.-12. Juni 1997, Paris, Vol. 1, pp. 97-104
- Lalive et al. 1997b A. Lalive d'Epinay, M. Scheringer, K. Hungerbühler, An Analysis of Tools for the Assessment of Environmental Impacts of Buildings, in: Proceedings Ecoinfoma 97 *Information and Communication in Environmental and Health Issues*, München, 6.-9. Oktober 1997, pp. 387-393
- Lalive et al. 1998 A. Lalive d'Epinay, H. Giger, M. Scheringer, K. Hungerbühler, *Life Cycle Assessment of an Office Building in Switzerland A Comparison of Tools*, 6th SETAC-Europe Case study symposium, Brüssel, 2. Dezember 1998
- Lalive et al. 1999 A. Lalive d'Epinay, M. Scheringer, K. Hungerbühler, Life Cycle Assessment of Buildings in Early Design Phases –The Influence of Material-Related Issues, in: *Quality of Life and Environment in Cultured Landscapes*, SETAC Europe 9th annual meeting, 25. – 29. Mai, Leipzig, pp. 80-81

- Pulli et al. 1998 R. Pulli, A. Lalive d'Épinay, M. Scheringer, K. Hungerbühler, Life Cycle Assessment in the building sector: state of the art. In: *Interfaces in Environmental Chemistry and Toxicology: from the global to the molecular level*. 8th Annual Meeting of SETAC-Europe, 14. – 18. April 1998, Bordeaux, pp. 325

Publikationen

- Lalive et al. 1999a A. Lalive d'Épinay, D. Quack, P. Koch, J. Kreissig, G. Doka, H. Gugerli, S. Heitz, P. Burkhardt, S. Lehmann, P. Rittmeyer, W. Kienzler, *Ökologische Bewertung von Gebäuden zwischen Forschung und Praxis*. Begleitende Unterlagen zum 11. Diskussionsforum Ökobilanzen vom 1. November 99 an der ETH Zürich, Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz, Laboratorium für Technische Chemie, Universitätsstrasse 31, 8092 Zürich, 1999
- Trinius et al. 1999 W. Trinius, A. Lalive d'Épinay, S. Nibel, *A Typology of Tools*, Building Research and Information – The International Journal of Research, Development, Demonstration and Innovation, eingereicht.