

**IÖR-Schriften / Band 31**

**Karin Gruhler, Clemens Deilmann**

**Ökobilanzierung im Kontext  
planerischer Interessen –  
Bewertungsverfahren für  
Bauprodukte**

Autoren: Karin Gruhler  
Clemens Deilmann  
Mitarbeit: Andreas Blum  
Ruth Böhm  
Textverarbeitung: Bärbel Hänsel  
Fotonachweis: Titelbild: Karin Gruhler

Herausgeber:  
Institut für ökologische Raumentwicklung e. V.  
Direktor Prof. Dr. Bernhard Müller  
Weberplatz 1  
D-01217 Dresden  
Tel.: (0351) 46790  
Fax: (0351) 4679212  
E-Mail: Raumentwicklung@POP3.tu-dresden.de  
Homepage: <http://www.tu-dresden.de/ioer>

©1999 IÖR

## Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| Tabellenverzeichnis  | VI        |
| Abbildungsverzeichnis  | VII       |
| <b>Einleitung</b>  | <b>1</b>  |
| <b>A Bestimmung eines spezifischen Bilanzansatzes – methodische Untersuchungen zu Bilanzmodellen</b> | <b>5</b>  |
| <b>1 Stoffstrombetrachtungen und Ökobilanz – Zusammenhänge</b>                                       | <b>7</b>  |
| 1.1 Stoffstrombetrachtungen – Antwort auf das Umdenken in der Umweltpolitik                          | 7         |
| 1.2 Stoffstrommanagement – Einordnung der Ökobilanz  | 7         |
| <b>2 Unterschiedliche Bilanzmodelle im Rahmen von Stoffstrombetrachtungen – Methodendiskussion</b>   | <b>11</b> |
| 2.1 Ökobilanzen als Synonym für die Analyse und Bewertung von Stoff- und Energieflüssen              | 11        |
| 2.2 Unterschiedliche Bilanzmodelle im Rahmen von Stoffstrombetrachtungen                             | 12        |
| 2.3 Auswertung der dargestellten Modelle   | 22        |
| <b>3 Produkt- und Betriebs-Ökobilanzen – Detailuntersuchungen</b>                                    | <b>25</b> |
| 3.1 Ökobilanzen – allgemeine Definition  | 25        |
| 3.2 Produkt-Ökobilanzen nach ISO-Norm  | 25        |
| 3.2.1 Festlegung des Zieles und des Untersuchungsrahmens   | 28        |
| 3.2.2 Sachbilanz   | 29        |
| 3.2.3 Wirkungsabschätzung  | 29        |
| 3.2.4 Auswertung   | 30        |
| 3.3 Betriebs-Ökobilanzen   | 30        |
| 3.4 Produkt- und Betriebs-Ökobilanz im Vergleich   | 32        |
| <b>4 Spezifischer Bilanzansatz für Bauteile</b>  | <b>34</b> |
| 4.1 Betrachtungsgegenstand Bauteil – Besonderheiten  | 34        |
| 4.2 Bestimmung eines spezifischen Bilanzansatzes für Bauteile  | 35        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>B</b> | <b>Eingrenzung eines spezifischen Bilanzrahmens – methodische Untersuchungen zu Betrachtungsinhalten und -grenzen</b> | <b>39</b>  |
| 1        | <b>Problembereiche im Rahmen der Produkt-Ökobilanz</b>  | <b>41</b>  |
| 1.1      | Zieldefinition  | 41         |
| 1.1.1    | Funktionale Äquivalenz  | 42         |
| 1.1.2    | Untersuchungsrahmen   | 45         |
| 1.2      | Sachbilanz  | 52         |
| 1.2.1    | Input- und Outputgrößen in der Sachbilanz   | 52         |
| 1.2.2    | Methodische und datenbezogene Probleme  | 54         |
| 2        | <b>Spezifik des Bauteiles Außenwand im Kontext planerischer Interessen und Ziele</b>                                  | <b>58</b>  |
| 2.1      | Anforderungen an das Bauteil Außenwand  | 58         |
| 2.2      | Anforderungen an das Bauen – gesetzliche Bestimmungen, Verordnungen und Vorschriften                                  | 59         |
| 2.3      | Interessen und Ziele der Akteursgruppe Planer   | 60         |
| 2.4      | Eingrenzung eines spezifischen Bilanzrahmens für das Bauteil Außenwand  | 65         |
| 3        | <b>Beschreibung des spezifischen Bilanzrahmens</b>  | <b>69</b>  |
| 3.1      | Lebenswegphasen   | 69         |
| 3.2      | Lebenswegkriterien  | 71         |
| 3.2.1    | Funktionale Anforderungen   | 72         |
| 3.2.2    | Ökologische Anforderungen   | 75         |
| 3.2.3    | Ökonomische Anforderungen   | 77         |
| <b>C</b> | <b>Bilanzbeispiel – Bauteilbewertung im Test</b>  | <b>79</b>  |
| 1        | <b>Außenwandvergleich auf Grundlage ausgewählter Einzelkriterien</b>  | <b>81</b>  |
| 1.1      | Unterschiedliche Außenwandkonstruktionen – Aufbau und Mindestanforderungen  | 81         |
| 1.2      | Außenwandvergleich auf Grundlage unterschiedlicher Einzelkriterien  | 82         |
| 1.2.1    | Bereich Funktion  | 82         |
| 1.2.2    | Bereich Gesundheit  | 87         |
| 1.2.3    | Bereich Stoffe/Energie  | 92         |
| 1.2.4    | Bereich Ökonomie  | 99         |
| 2        | <b>Außenwandvergleich – komplexe Bewertung</b>  | <b>101</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Zusammenfassung</b>                      | <b>105</b> |
| <b>Anhang A – Spezifischer Bilanzansatz</b> | <b>107</b> |
| <b>Anhang B – Spezifischer Bilanzrahmen</b> | <b>113</b> |
| <b>Anhang C – Bilanzbeispiel</b>            | <b>117</b> |
| <b>Literaturverzeichnis</b>                 | <b>123</b> |

**Tabellenverzeichnis**

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| Tab. 1:  | Bilanzmodell für die Analyse von Umweltwirkungen nach Schmidt, Häuslein (1997) | 17  |
| Tab. 2:  | Mögliche Umweltkonten im Rahmen der Ökologischen Buchhaltung                   | 31  |
| Tab. 3:  | Unterschiede zwischen Produkt-Ökobilanz und Betriebs-Ökobilanz                 | 33  |
| Tab. 4:  | Vorschläge für Lebenswegkriterien  | 47  |
| Tab. 5:  | Vorschläge für Abschneidekriterien   | 49  |
| Tab. 6:  | Untersuchungsinhalte der Sachbilanz  | 53  |
| Tab. 7:  | Außenwandkonstruktionen – Aufbau und Mindestanforderungen                      | 81  |
| Tab. 8:  | Berechnung der Wirkungskategorien für eine Außenwand                           | 94  |
| Tab. 9:  | Acht Wirkungskategorien je Bauteil Außenwand                                   | 97  |
| Tab. 10: | Daten der vier Außenwände auf Basis der Bestwertmethode                        | 98  |
| Tab. 11: | Beispielaspekte im Rahmen der komplexen Bewertung                              | 101 |
| Tab. 12: | Stand der Normung SC 5 „Produkt-Ökobilanz“                                     | 109 |
| Tab. 13: | In der Produkt-Ökobilanz zu berücksichtigende Größen und Kategorien            | 112 |
| Tab. 14: | Forderungen an das Bauteil Außenwand – Kriteriensammlung                       | 114 |

## Abbildungsverzeichnis

|          |   |         |
|----------|---|---------|
| Abb. 1:  | Einflussgrößen bei der Festlegung des Bilanzrahmens innerhalb der Zieldefinition, des ersten Arbeitsschrittes der Ökobilanz | 1 u. 41 |
| Abb. 2:  | Untersuchungsschwerpunkte   | 4       |
| Abb. 3:  | Elemente des Stoffstrommanagements  | 9       |
| Abb. 4:  | Bilanzmodelle für die Analyse von Stoffströmen nach de Man (1995)   | 13      |
| Abb. 5:  | Modelle für die Bilanzierung von Stoffströmen nach Corino (1995)  | 15      |
| Abb. 6:  | Erstellung von Bilanzen im Tetrasystem  | 15      |
| Abb. 7:  | Bilanzprinzipien nach Wagner (1992)   | 18      |
| Abb. 8:  | Grundsätzliche Bilanzarten  | 23      |
| Abb. 9:  | Aufbau der Produkt-Ökobilanz  | 27      |
| Abb. 10: | Lebensweg des Bauteiles Außenwand   | 36      |
| Abb. 11: | Spezifischer Bilanzansatz für Bauteile  | 37      |
| Abb. 12: | Bereiche besonderen Informationsbedarfes  | 63      |
| Abb. 13: | Umwelt- und gesundheitsbezogene Informationsbedarfe unterschiedlicher Baustoffgruppen                                       | 64      |
| Abb. 14: | Spezifischer Bilanzrahmen – lebenswegbezogene Anforderungsmatrix  | 67      |
| Abb. 15: | Konstruktionsflächendifferenzen – Wohnflächengewinne  | 83      |
| Abb. 16: | Reparaturfreundlichkeit im Vergleich  | 84      |
| Abb. 17: | Wärmebrückenrisiko im Vergleich   | 86      |
| Abb. 18: | Innenraumklima im Vergleich   | 89      |
| Abb. 19: | Arbeitsplatzbelastung im Vergleich  | 90      |
| Abb. 20: | Emissionspotenziale – Belastungen im Störfall im Vergleich  | 92      |
| Abb. 21: | Wirkungskategorien Treibhauseffekt, Versäuerung, Ozonschichtabbau und Überdüngung für die vier Außenwände im Vergleich      | 95      |
| Abb. 22: | Wirkungskategorien Smog, Humantoxikologie, Umwelttoxikologie und Primärenergie für die vier Außenwände im Vergleich         | 96      |
| Abb. 23: | Umwelt-Wirkungskategorien der vier Außenwände   | 98      |
| Abb. 24: | Umwelt-Wirkungskategorien der vier Außenwände, ohne Smog  | 99      |
| Abb. 25: | Herstellungskosten im Vergleich   | 100     |
| Abb. 26: | Relative Bewertung im Rahmen des Vergleichs von Außenwänden – Netzdiagramm  | 102     |
| Abb. 27: | Technischer Ausschuss TC 207 in der ISO – Aufbau  | 108     |
| Abb. 28: | Ergebnisebenen der Entwicklung einer ISO-Norm   | 109     |





## Einleitung

Ökobilanzen sind Analyse- und Bewertungsinstrumente, die die ökologischen Wirkungen von Stoffen und Produkten abbilden und beurteilen. Aufgrund der Erfassung und Darstellung vorrangig quantitativer Verbrauchs- und Belastungsgrößen (Input- und Outputgrößen in Maß und Zahl) erwecken sie den Eindruck, Umweltwirkungen genau und präzise abbilden und beurteilen zu können. Das darf jedoch nicht über die Tatsache hinwegtäuschen, dass Ökobilanzen (trotz laufender Standardisierungen) bislang noch mit Methoden- und Kriterienunsicherheiten verbunden sind. Ökobilanzen sind stark produkt- und akteursbezogen, d. h., die im Rahmen der Bilanzierung zu setzenden Analyse- und Betrachtungsgrenzen lassen sich nicht standardmäßig für jede Ökobilanz gleichermaßen festlegen, sondern müssen stets dem Betrachtungsgegenstand (Produkt) und den Interessen und Zielen des Anwenders (Akteur) entsprechend definiert werden (Abb. 1).

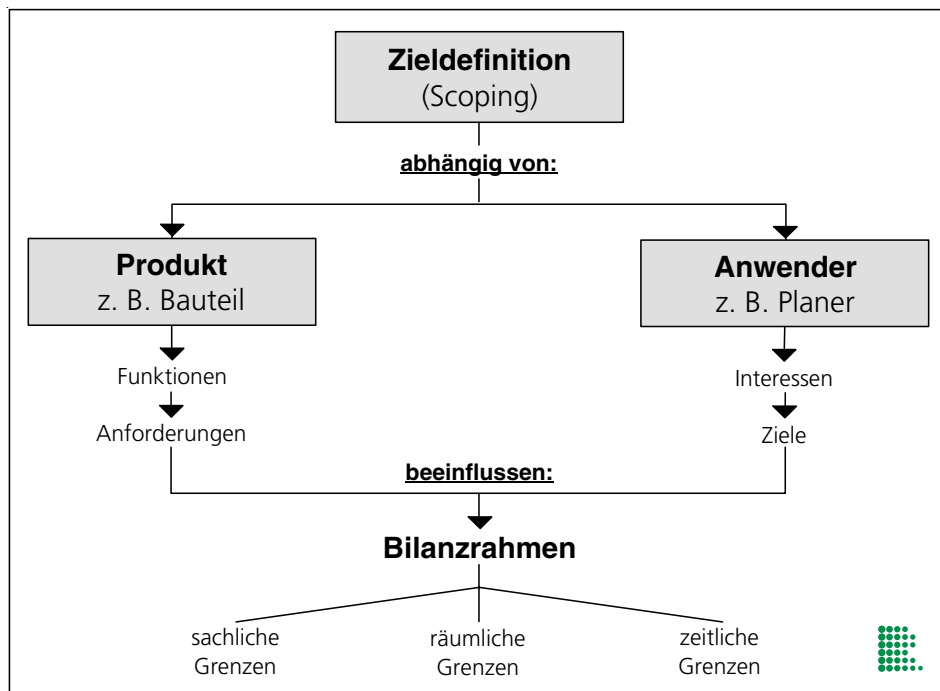


Abb. 1: Einflussgrößen bei der Festlegung des Bilanzrahmens innerhalb der Zieldefinition, des ersten Arbeitsschrittes der Ökobilanz (Quelle: Eigener Entwurf)

Die ökologisch orientierte Bewertung von Bauprodukten<sup>1</sup> ist mit erheblichen Wissens- und Anwendungsdefiziten verbunden. Dabei wird die Entwicklung geeigneter Informations- und Bewertungsmodelle zum einen durch die Komplexität der an Bauprodukte gestellten Forderungen und die hinter diesen Forderungen stehenden konkurrierenden Zielsysteme beeinflusst. Zum anderen benötigen und fordern unterschiedliche Akteursgruppen unterschiedliche Informationen über Bauprodukte und erschweren auch aus dieser Richtung die Erarbeitung geeigneter, standardisierter Bewertungsinstrumente.

Im Rahmen der ökologisch orientierten Bewertung von Produkten sind Ökobilanzen inzwischen eingeführte Analyse- und Beurteilungsinstrumente und entsprechend ihrer Produktdefinition<sup>2</sup> für die Anwendung bei Bauprodukten geeignet. So werden seit Beginn der 90er Jahre Ökobilanzen verstärkt für Produkte aus dem Baubereich (Rubik 1994, 1997; Rubik, Teichert 1997) erstellt. Trotzdem sind die Ergebnisse dieser Ökobilanzen für die Auswahl von Produkten nur bedingt hilfreich. Da die zu Beginn jeder Bilanz notwendigen Festlegungen zum Untersuchungsinhalt und dessen Begrenzungen vielfach unterschiedlich sind, ist ein direkter Vergleich der ermittelten Bilanzergebnisse nicht möglich. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist nur dann gegeben, wenn die Untersuchungen auf einem einheitlichen Bilanzrahmen basieren, d. h. Produkte gleicher Funktionserfüllung auf Grundlage gleicher Kriterien analysiert und bewertet werden.

Aufgrund der starken Abhängigkeit der Ökobilanz vom Betrachtungsgegenstand (Produkt) und vom Anwender ist die Festlegung eines einheitlichen Bilanzrahmens auf allgemeingültiger Ebene nicht möglich. Sowohl das zu untersuchende Produkt als auch der an den Ergebnissen interessierte Anwender müssen näher bestimmt werden. Die vorliegenden Untersuchungen werden daher anhand eines konkreten Bauproduktes (Bauteil Außenwand) und eines konkreten Anwenders (Akteursgruppe Planer) geführt. Auf Basis dieser Konkretisierungen werden methodische Probleme der Ökobilanz diskutiert und Lösungsansätze für die Bauteilbewertung entwickelt.

Um zu prüfen, ob die Ökobilanz für die Bewertung von Bauteilen geeignet ist und an welchen Stellen des Verfahrens Veränderungen und Erweiterungen vorgenommen werden sollten, sind methodische Untersuchungen sowohl zur Art und Weise von Bilanzierungen als auch zu deren Inhalten und Begrenzungen erforderlich. Im Rahmen der Untersuchungen wurde ein Bilanzrahmen (Matrix aus Lebenswegkrite-

<sup>1</sup> „Bauprodukte sind:

- a) Baustoffe, Bauteile und Anlagen, die hergestellt werden, um dauerhaft in bauliche Anlagen des Hoch- und Tiefbaus eingebaut zu werden,
- b) aus Baustoffen und Bauteilen vorgefertigte Anlagen, die hergestellt werden, um mit dem Erdboden verbunden zu werden, wie Fertighäuser, Fertiggaragen und Silos.“ (BauPG 1992, § 2; SächsBO 1996, § 2).

<sup>2</sup> Im Rahmen der Internationalen Norm EN ISO 14040 wird die Benennung „Produkt“ nicht nur für Produkte (Erzeugnisse von Herstellungsprozessen) verwendet, sondern kann auch für Dienstleistungen gelten.

rien und Lebenswegphasen) erarbeitet, der die zu untersuchenden Inhalte bauteil- und aktEURsspezifisch eingrenzt und neben den für Ökobilanzen typischen Umweltwirkungen auch den Anwender interessierende, funktions- und kostenorientierte Größen berücksichtigt. Mit dem so definierten Bilanzrahmen ist es möglich, unterschiedliche Varianten eines Bauteiles komplex zu bewerten und auf Grundlage identischer Rahmenbedingungen (Symmetrieverhältnisse) miteinander zu vergleichen.

### **Gliederung der Untersuchungen**

Die vorliegenden Untersuchungen gliedern sich in drei aufeinander folgende Themenschwerpunkte, die iterativ miteinander verbunden sind. Im ersten Schwerpunkt (A) werden Fragen zur Wahl eines geeigneten **Bilanzansatzes** (Methodik) abgehandelt. Schwerpunkt B dokumentiert auf Basis eines festgelegten Bilanzansatzes die Analysen und Untersuchungen zur Ableitung und Bestimmung eines geeigneten **Bilanzrahmens**. In Schwerpunkt C wird anhand unterschiedlicher Außenwandvarianten ein **Bilanzbeispiel** erstellt (Abb. 2).

#### Schwerpunkt **A** – Spezifischer **Bilanzansatz**:

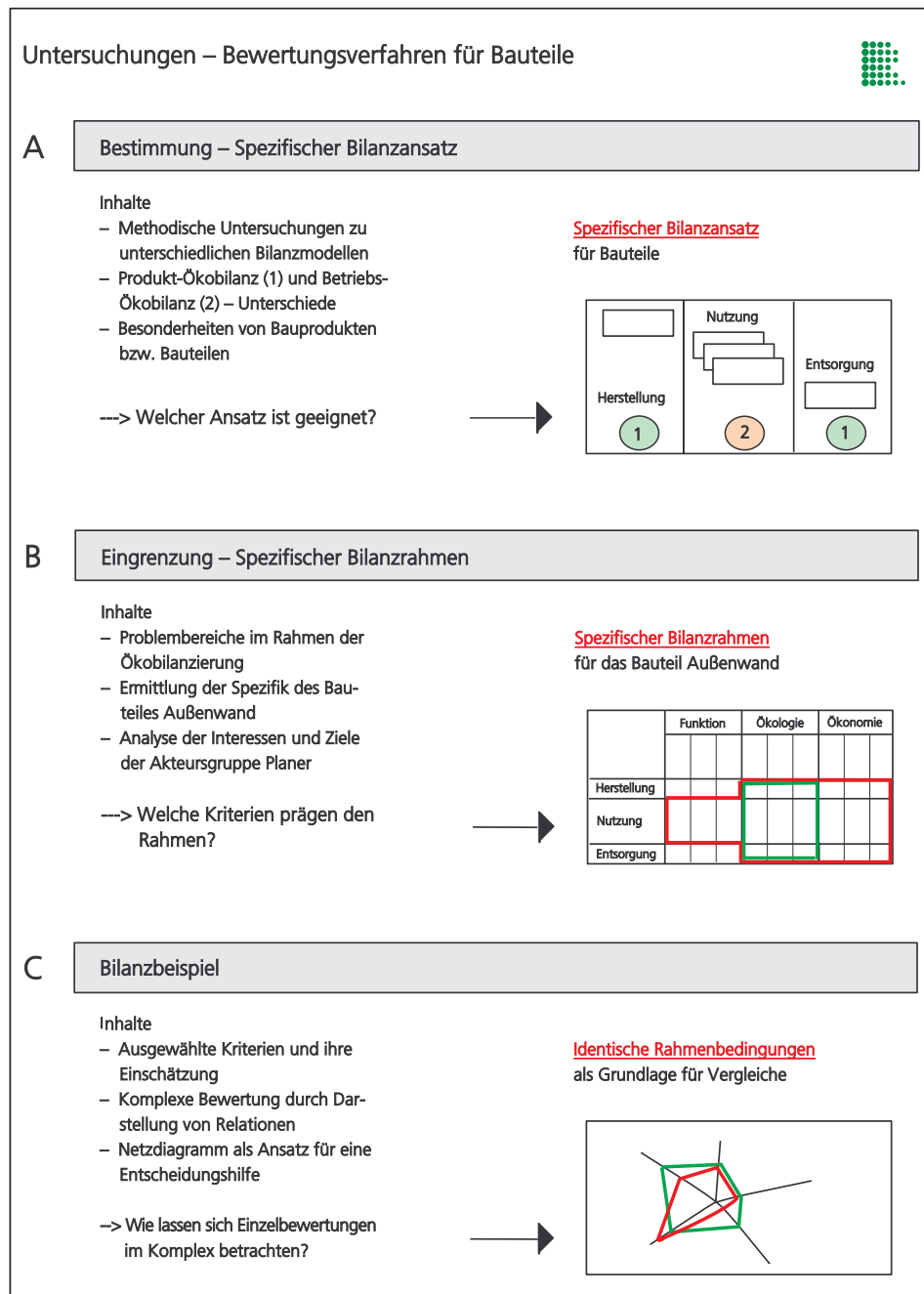
Im Rahmen von Stoffstrombetrachtungen gibt es eine Reihe unterschiedlicher Bilanzmodelle, die je nach Betrachtungsgegenstand methodische Unterschiede hinsichtlich der Grenzsetzungen sowie Berechnungsinhalte und -prinzipien aufweisen. Um für die Bauteilbewertung einen geeigneten Bilanzansatz ableiten und ermitteln zu können, ist es notwendig, die Inhalte dieser Modelle zu hinterfragen und zu werten. Auf Basis dieser Untersuchungen sowie der Analysen zur Charakteristik und den Besonderheiten des Betrachtungsgegenstandes Bauteil wird ein für Bauteile geeigneter Bilanzansatz als Kombination aus Produkt- und Betriebsbilanz bestimmt.

#### Schwerpunkt **B** – Spezifischer **Bilanzrahmen**:

Nach Bestimmung eines geeigneten Bilanzansatzes muss der für jede Bilanzierung notwendige Betrachtungsrahmen definiert werden. Dazu werden die den Bilanzrahmen bestimmenden Größen hinterfragt. Die Spezifik des Bauteiles Außenwand wird anhand von Literaturrecherchen ermittelt. Die Interessen und Ziele der Akteursgruppe Planer lassen sich aus Interviews und schriftlichen Befragungen ableiten. Alle ermittelten Kriterien, Aspekte und Indikatoren werden in einem Kriteriengerüst zusammengestellt und hinsichtlich ihrer Bilanzierungsrelevanz untersucht. Im Ergebnis entsteht eine lebenswegbezogene Anforderungsmatrix, die den Bilanzrahmen für das Bauteil Außenwand und den Anwender Planer widerspiegelt.

#### Schwerpunkt **C** – **Bilanzbeispiel**:

Die lebenswegbezogene Anforderungsmatrix ist der Bilanzrahmen, der notwendig ist, um eine Bauteilbilanz durchzuführen. Nach Beschreibung aller Inhalte der Matrix wird auf Basis von vier ausgewählten Außenwandvarianten exemplarisch eine Bilanz erstellt und in Form von sowohl Einzelaspekten als auch einer komplexen Betrachtung dokumentiert.


**C Bilanzbeispiel**

Identische Rahmenbedingungen  
als Grundlage für Vergleiche



Abb. 2: Untersuchungsschwerpunkte (Quelle: Eigener Entwurf)

## **A Bestimmung eines spezifischen Bilanzansatzes – methodische Untersuchungen zu Bilanzmodellen**

- 1 Stoffstrombetrachtungen und Ökobilanz – Zusammenhänge
- 2 Unterschiedliche Bilanzmodelle im Rahmen von Stoffstrombetrachtungen – Methodendiskussion
- 3 Produkt- und Betriebs-Ökobilanzen – Detailuntersuchungen
- 4 Spezifischer Bilanzansatz für Bauteile

„Zur Umsetzung der im Leitbild einer nachhaltigen zukunftsverträglichen Entwicklung verfolgten und durch das Stoffstrommanagement konkretisierten Ziele steht grundsätzlich ein Bündel verschiedener Instrumente zur Verfügung: ordnungsrechtliche, ökonomische und freiwillige bzw. proaktive Instrumente.“

(Enquete-Kommission 1993, 18)

Ökobilanzen sind proaktive Instrumente, mit deren Hilfe es möglich ist, anthropogene Stoffströme abzubilden und hinsichtlich ihrer Wirkungen auf die Umwelt zu bewerten. Um die im Rahmen der Ökobilanzierung verwendeten, verschiedenen Bilanzmodelle besser unterscheiden sowie die jeweiligen Vor- und Nachteile herausarbeiten zu können, ist es notwendig, die Rolle und Bedeutung der Ökobilanz im Rahmen der Konzeption von Stoffstromanalyse und Stoffstrommanagement zu bestimmen. Den Untersuchungen zu unterschiedlichen Bilanzmodellen werden daher Ausführungen zu den Prinzipien und Inhalten von Stoffstrombetrachtungen vorangestellt.

Im Rahmen der Untersuchungen zu verschiedenen Bilanzmodellen sind zwei grundsätzliche Bilanzarten zu unterscheiden. Sie werden hinsichtlich ihrer Divergenzen und Besonderheiten hinterfragt und beschrieben. Auf Grundlage dieser Analysen sowie des spezifischen Charakters baulicher Produkte lässt sich methodisch ein geeigneter, spezifischer Bilanzansatz für Bauteile ableiten.

# **1 Stoffstrombetrachtungen und Ökobilanz – Zusammenhänge**

## **1.1 Stoffstrombetrachtungen – Antwort auf das Umdenken in der Umweltpolitik**

„Menschliches Leben ist ohne Austausch von Stoffen nicht denkbar. Dieser Sachverhalt ist aber durch die Menge der Stoffe, die durch menschliches Handeln in die Umwelt gelangen, zu einem fundamentalen Problem der industrialisierten Welt geworden.“ (Enquete-Kommission 1993, 2)

Das voranschreitende materielle Wirtschaftswachstum führt sowohl zu einem wachsenden Verbrauch an natürlichen Ressourcen als auch zu steigenden Emissions- und Abfallmengen. Auf der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung UNCED im Sommer 1992 in Rio de Janeiro wurde zur Gestaltung der Stoffströme das Prinzip der Nachhaltigkeit (drei Säulen: wirtschaftliche Leistungsfähigkeit, ökologische Verträglichkeit, soziale Verantwortung) als Leitbild herausgearbeitet.

Zur Operationalisierung des Leitbildes werden Stoffströme und Stoffsysteme „von der Wiege bis zur Bahre“ ganzheitlich betrachtet, dabei werden Stoffstromanalyse und Stoffstrommanagement als geeignet angesehen.

„Stoffstrommanagement ist die Antwort auf den umweltpolitischen Paradigmenwechsel am Ende der achtziger Jahre. Die Grenzen der medial organisierten, emissions- und anlagenbezogenen und der einzelstoffbezogenen Umweltpolitik wurden zunehmend deutlich. Die Betrachtung von Stoffgruppen statt Einzelstoffen, Produkten statt Produktion und Produktlinien statt Produktionsanlagen hatte eine Verschiebung in Richtung systemarer Stoffdarstellungen und komplexer Produktbetrachtungen unter dem Motto ‚von der Wiege bis zur Bahre‘ zur Folge.“ (Schwanhold 1994, 129)

Die ganzheitliche Betrachtungsweise ist Kern des Stoffstrommanagements, d. h. Kern einer zielorientierten Gestaltung und Beeinflussung von Stoffströmen und Stoffsystemen.

## **1.2 Stoffstrommanagement – Einordnung der Ökobilanz**

Der Begriff des Stoffstrommanagements (SSM) ist national und international bisher nicht eindeutig definiert.

Unter SSM wird im Allgemeinen die zielorientierte Beeinflussung anthropogener Stoffsysteme verstanden. Fasst man das Ziel etwas konkreter und orientiert auf Umwelt- und Gesundheitsbelange, so ist ein ökologisches SSM die umwelt- und gesundheitsorientierte Beeinflussung anthropogener Stoffsysteme.

Eine noch tiefer gehende Konkretisierung der Ziele ist auf der allgemeinen, nur richtungsweisenden Ebene nicht möglich. Wie jegliches Management ist auch das SSM an konkrete Aufgaben- und Zielstellungen gebunden. Von grundlegender Bedeutung ist dabei, wer (Akteur), mit welchem Interesse (Ziel), auf welches System (Betrachtungsgegenstand) steuernd und beeinflussend einwirken will. Es gibt nicht „das“ allgemeingültige universelle SSM. Dennoch lässt es eine generelle Grundstruktur erkennen (Abb. 3).

Das SSM lässt sich durch die Kombination einer grundsätzlichen **Sichtweise** mit einer generellen **Vorgehensweise** charakterisieren. Die Sichtweise beschreibt die Art und Weise der Betrachtung anthropogener Stoffsysteme als ganzheitlich („ganzheitlicher Charakter“). Die Vorgehensweise orientiert im Sinne des Managements („Managementcharakter“) auf die Ableitung von Entscheidungen und Strategien für einen nachhaltigen Umgang mit diesen Stoffsystemen und wird durch vier Vorgehensschritte charakterisiert:

1. Stoffstromanalyse,
2. Stoffstrombewertung,
3. Entwicklung von Strategien,
4. Durchführung und Kontrolle.

Sie bilden in ihrer Aufeinanderfolge und iterativen Verknüpfung den Entscheidungsprozess ab und verdeutlichen das Vorgehen im SSM.

Um im Rahmen des SSM für unterschiedliche Sachverhalte (z. B. Betrachtung von Produkten, Produktgruppen, Produktionsprozessen oder Dienstleistungen) Handlungsentscheidungen und -strategien begründet vorbereiten, ableiten und entwickeln zu können, müssen in den Phasen Stoffstromanalyse und Stoffstrombewertung fundierte Grundlagen erarbeitet werden. Dabei ist sowohl die Bereitstellung von Sachinformationen, die die zu betrachtenden Sachverhalte beschreiben und abbilden, als auch die darauf aufbauende Beurteilung dieser Sachinformationen von Bedeutung. Mit Hilfe von geeigneten Analyse- und Bewertungsinstrumenten lassen sich anthropogene Stoff- und Energieflüsse, deren unerwünschte Wirkungen gemindert oder gar beseitigt werden sollen, erfassen und abschätzen. Für die Analyse und Bewertung gibt es mehrere unterschiedliche Instrumente (Abb. 3), u. a. die Produkt-Ökobilanz.



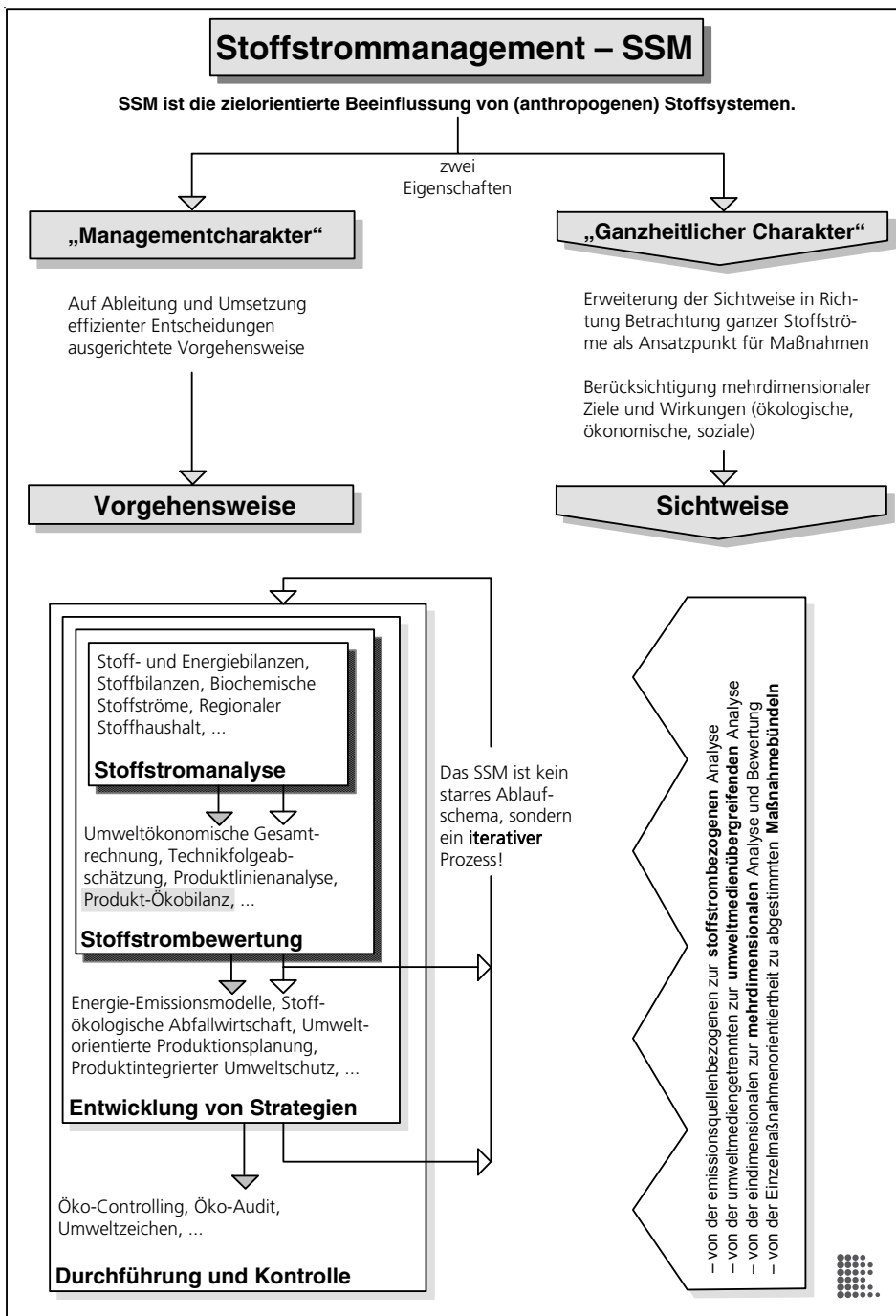


Abb. 3: Elemente des Stoffstrommanagements  
(Quelle: Eigener Entwurf)

Produkt-Ökobilanzen sind Instrumente, die die von Produkten, Prozessen und Dienstleistungen ausgehenden Umweltwirkungen über deren Lebenszyklus erfassen, aufbereiten und bewerten. Obwohl Produkt-Ökobilanzen relativ klar umschrieben werden und auch im Rahmen ihrer Normung entsprechende Standardisierungen erfolgen, ist die Produkt-Ökobilanz noch mit erheblichen Kriterien- und Methodenunsicherheiten behaftet. Vor allem im Rahmen der öffentlichen Diskussion wird der Begriff Ökobilanz teilweise unscharf definiert und steht häufig als Synonym für die Abbildung und Beurteilung von komplexen Energie- und Stoffflüssen, ohne dabei auf methodische Unterschiede hinsichtlich der Inhalte und Verfahrensweisen zu achten. Es ist daher zunächst notwendig, den Begriff der Ökobilanz zu hinterfragen und die methodischen Probleme, die mit der Bilanzierung von Stoff- und Energieflüssen verbunden sind, zu diskutieren.

## **2 Unterschiedliche Bilanzmodelle im Rahmen von Stoffstrombetrachtungen – Methodendiskussion**

### **2.1 Ökobilanzen als Synonym für die Analyse und Bewertung von Stoff- und Energieflüssen**

Der Begriff Ökobilanz wird in der Öffentlichkeit und zum großen Teil auch in der Literatur synonym für produktbezogene Bilanzierung, unternehmensbezogene Stoff- und Energiebilanz, regionale oder nationale Energie- und Schadstoffbilanz, ökologisches Bilanzieren (um nur einige Begriffe zu nennen) verwendet. Allen genannten Begriffen und Bezeichnungen sowie den damit verbundenen Verfahren und Methoden ist gemein, dass Instrumente angesprochen sind, mit deren Hilfe es möglich ist, ökologische Wirkungen zu analysieren und zu bewerten. Unterschiede zwischen den Instrumenten ergeben sich durch unterschiedliche Betrachtungsgegenstände und die Frage, welche Interessen die jeweiligen Akteure an den Untersuchungen haben. Beide Aspekte schärfen den Betrachtungsrahmen, d. h. grenzen ein, welche Stoff- und Energieflüsse relevant sind und hinsichtlich ihrer ökologischen Wirkungen betrachtet werden sollten.

Ökologische Wirkungen basieren auf Stoff- und Energieflüssen. Anthropogene Stoff- und Energieflüsse entstehen beim Produzieren und Konsumieren und lassen sich wie folgt beschreiben:

Stoff- und Energieströme sind Bewegungen von bestimmten Stoffen und Energien in bestimmten Quali- und Quantitäten, in einer bestimmten Zeitspanne, von einem Ort A zu einem Ort B. Stoff- und Energieströme treten nicht einzeln, sondern komplex verknüpft auf und lassen sich durch die Quali- und Quantität der Stoffe in und zwischen den Orten A und B sowie die betrachtete Zeiteinheit beschreiben (nach de Man 1995).

Stoff- und Energieflüsse lassen sich nur schwer erfassen und bewerten, da sie eine große Komplexität und Heterogenität aufweisen. Ihre Komplexität und Heterogenität ist der Tatsache geschuldet, dass Stoff- und Energieströme aus komplexen Gemischen bestehen. Jedes Produkt (Mischung von Stoffen) hat mehrere Ausgangsmaterialien und durchläuft mehrere Produktionsstufen. In jeder Produktionsstufe kann es zu weiteren Verzweigungen und Rückkopplungen (Rekursionen, Recyclingschleifen) kommen. Mitunter führen unterschiedliche Wege zum gleichen Produkt.

Um die für einen zu untersuchenden Sachverhalt (ein zu untersuchendes Produkt) relevanten Stoff- und Energieflüsse modellhaft erfassen und abbilden zu können,

werden geeignete Bilanzmodelle benötigt. Die Bilanzmodelle sollten in der Lage sein, die jeweils relevanten Stoff- und Energieflüsse der Wirklichkeit und dem Untersuchungsziel entsprechend so genau und verständlich wie möglich zu beschreiben, aber auch sinnvoll und vernünftig zu vereinfachen (de Man 1995). Das bedeutet, sie müssen das jeweils Wichtige sowohl realistisch und detailliert beschreiben und darstellen als auch klar und abstrakt gliedern und strukturieren.

Die differenzierte Beantwortung der Fragen, welche Stoffe und Energien sind hinsichtlich ihrer Wirkungen von Bedeutung und sollten betrachtet werden, welche hingegen sind eher irrelevant und damit auszugrenzen, in welcher Abfolge werden unterschiedliche Erscheinungsformen der Stoffe und Energien (Produktionsschritte) betrachtet bzw. wie detailliert sind ihre Quali- und Quantitäten zu beschreiben, führen zu unterschiedlichen Bilanzmodellen.

## **2.2 Unterschiedliche Bilanzmodelle im Rahmen von Stoffstrombetrachtungen**

Bilanzmodelle sind Methoden bzw. Verfahren, die die Wirklichkeit auf das Wesentlichste beschränkt abbilden und beschreiben. Sie müssen so aufgebaut sein, dass der ganzheitliche Charakter des zu beschreibenden Systems (Gesamtheit der Stoff- und Energieflüsse) erhalten bleibt und eine Begrenzung auf umweltrelevante Teilsysteme (Teile der Stoff- und Energieflüsse) erfolgen kann (de Man 1995). Mit Hilfe dieser Modelle sollte es dem Akteur bzw. Anwender möglich sein, Entscheidungen zu prüfen, Alternativen durchzuspielen und Kosteneffekte zu kontrollieren.

Da sich sowohl die zu untersuchenden Systeme und Sachverhalte als auch die Akteure, die jeweils spezifische Informationsinteressen an dem zu untersuchenden System haben, hinsichtlich ihres Charakters voneinander unterscheiden, werden unterschiedliche, aber teilweise doch sehr ähnliche Bilanzmodelle vertreten.

### **Bilanzmodell nach de Man**

**De Man** geht in seinen Abhandlungen von drei Betrachtungen aus (de Man 1995):

- der **stoffbezogenen**,
- der **produktbezogenen** und
- der **unternehmensbezogenen** (Abb. 4).

Bei der **stoffbezogenen** Betrachtung steht der Stoff bzw. die Stoffgruppe im Mittelpunkt der Analyse. Seine Verbreitung durch technische Ver- bzw. Bearbeitungsschritte und natürliche Systeme wird in Richtung des tatsächlich stattfindenden Stoffflusses stromabwärts verfolgt. Je länger der Weg des Stoffes verfolgt wird und je mehr unterschiedliche Ver- und Bearbeitungsschritte, sprich Module, betrachtet werden, umso komplizierter wird die Analyse durch die steigende Anzahl der sich

aufzweigenden Stoffströme. Durch die Betrachtung des gesamten Lebensweges des Stoffes ergibt sich kein konkreter Standortbezug. Unterschiedliche Ver- und Bearbeitungsschritte (Module) bedingen häufig unterschiedliche Standorte, sodass eine räumliche Eingrenzung der Bilanz kaum möglich ist.

Bei der **produktbezogenen** Betrachtung steht das Produkt im Mittelpunkt der Analyse. Die Untersuchungen erfolgen vom Endprodukt aus, gegen den tatsächlich stattfindenden Stofffluss, stromaufwärts in Richtung Beginn bzw. Ausgangsinputs der Produktlinie. Je länger die Produktlinie dabei ist, desto komplizierter wird die Analyse. Auch beim produktbezogenen Ansatz bereitet die Betrachtung des gesamten Lebensweges des Produktes Schwierigkeiten bei der Festlegung eines konkreten Standortes und damit der Festlegung der räumlichen Bilanzgrenzen.

Bei der **unternehmensbezogenen** Betrachtung stehen nicht Stoffe oder Produkte im Mittelpunkt der Analyse, sondern die realen Einflüsse des Unternehmens auf umweltrelevante Stoffströme. Das Unternehmen definiert das Stoffstromsystem und damit die umweltrelevanten Stoffflüsse, die zu betrachten sind. Dabei ergibt sich in der Regel eine Kombination aus stromaufwärts und stromabwärts gerichteter Analyse. Die Betrachtung der wirtschaftlichen Einheit „Unternehmen“ ist mit einem konkreten Unternehmensstandort verbunden, sodass sich räumliche Bilanzabgrenzungen leichter definieren lassen.

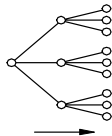
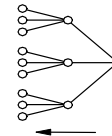
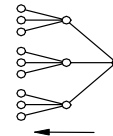
|   | Betrachtung  |  |  |
|---|--|--|--|
|   | stoffbezogen   | produktbezogen   | unternehmensbezogen  |
| <b>Skizze</b>   |                     |                       |   |
| <b>Betrachtungsgegenstand</b>   | Stoffe und deren Verbreitung durch technische und natürliche Systeme                                   | Endprodukt und dessen Produktlinie   | reale Einflüsse des Unternehmens auf umweltrelevante Stoffströme   |
| <b>Betrachtungsrichtung</b><br>(bezogen auf den tatsächlichen Stofffluss) | vorwärtsgewandte Betrachtung<br><br>stromabwärts – down stream<br><br>mit dem tatsächlichen Stofffluss | rückwärtsgewandte Betrachtung<br><br>stromaufwärts – up stream<br><br>gegen den tatsächlichen Stofffluss | vorwärts- und rückwärtsgewandte Betrachtung<br><br>stromab- und stromaufwärts – down und up stream<br><br>mit und gegen den tatsächlichen Stofffluss |
| <b>Betrachtungsart</b>  | Stofflinien-Betrachtung<br><br>gesamter Lebensweg  | Produktlinien-Betrachtung<br><br>gesamter Lebensweg  | Betrachtung einer wirtschaftlichen Einheit   |
| <b>Betrachtungsgrenzen</b>  | räumliche und zeitliche Begrenzung der Betrachtungen erschwert   | räumliche und zeitliche Begrenzung der Betrachtungen erschwert   | räumliche und zeitliche Begrenzung der Betrachtungen durch Grenzen der wirtschaftlichen Einheit weniger schwer                                       |

Abb. 4: Bilanzmodelle für die Analyse von Stoffströmen nach de Man (1995)  
(Quelle: Eigener Entwurf)

Von den drei Betrachtungsweisen sind zwei grundsätzlichen Ursprungs, die stoffbezogene und die produktbezogene. Betrachtungsgegenstände sind bei der stoffbezogenen und der produktbezogenen Betrachtungsweise jeweils real existierende, physisch-stofflich vorhandene Quali- und Quantitäten. Sie können mit oder gegen den natürlichen Stoff- und Energiefluss betrachtet werden, je nachdem, ob der Betrachtungsgegenstand ein Stoff oder ein Produkt ist. Die unternehmensbezogene Betrachtung ist hinsichtlich des Stoff- und Energieflusses kein weiterer grundsätzlicher Ansatz, sondern aufgrund des Betrachtungsgegenstandes „Unternehmen“ eine Kombination aus gegen und mit dem Strom orientierter Betrachtung.

### **Bilanzmodell nach Corino**

**Corino** definiert Ökobilanzen und deren Synonyme als eine weitgehend vollständige Erfassung der von einem System über einen festzulegenden Zeitraum ausgehenden Umweltbeeinflussungen (Corino 1995). Beim Erfassen der systembedingten Umweltbeeinflussungen werden vier verschiedene Systeme unterschieden. Diese sind Güter, Gütergruppen, Unternehmen und Branchen. Güter sind dabei die von Unternehmen angebotenen Produkte und Dienstleistungen. Gütergruppen umfassen alle einzelnen Güter, die den gleichen gebrauchorientierten (nicht bedürfnisorientierten) Nutzen aufweisen. Als Unternehmen werden Organisationen verstanden, die der entgeltlichen Fremdbedarfsdeckung dienen und rechtlich abgrenzbar sind. Branchen entsprechen in der Regel den in der Wirtschaft unterschiedenen Wirtschaftszweigen.

Den vier verschiedenen Systemen (Güter, Gütergruppen, Unternehmen, Branchen) entsprechend leiten sich vier unterschiedliche Bilanzmodelle ab<sup>3</sup>:

- das **güterbezogene** (produktbezogene),
- das **gütergruppenbezogene** (produktgruppenbezogene),
- das **branchenbezogene** und
- das **unternehmensbezogene** (Abb. 5).

Die Bilanzen der vier verschiedenen Systeme sind in unterschiedlicher Art und Weise voneinander abhängig und lassen sich entsprechend miteinander verknüpfen und kombinieren (Tetrasystemmodell). Grundsätzlicher Natur sind die Güter- und die Unternehmensbilanzen. Sie werden zuerst erstellt und sind eng miteinander verknüpft. Aus ihnen lassen sich Gütergruppen- und Branchenbilanzen ableiten (Abb. 6).

<sup>3</sup> Die Unterscheidung in diese vier Bilanzmodelle wird von Corino (1995) nicht direkt vorgenommen, sondern leitet sich aus seinen Beschreibungen ab. Die Bilanzen der vier unterschiedlichen Systeme sind als Teilbilanzen Module einzelner Lebenszyklusphasen und lassen sich modellhaft miteinander koppeln. Durch Summation, Kombination und Variation ergeben sie eine Gesamtbilanz. So ist z. B. die Summe der Erstellungs-, Verwendungs- und Entsorgungsbilanzen aller Produkte eines Unternehmens die Verwendungs- und Entsorgungsbilanz des Unternehmens.

Die Bilanzierung im so genannten „Tetrasystem“ soll gegenüber der Einzelbetrachtung „Doppel“-Bilanzierungen und damit einhergehende mögliche Informationsdifferenzen und doppelte Zeitaufwendungen vermeiden.

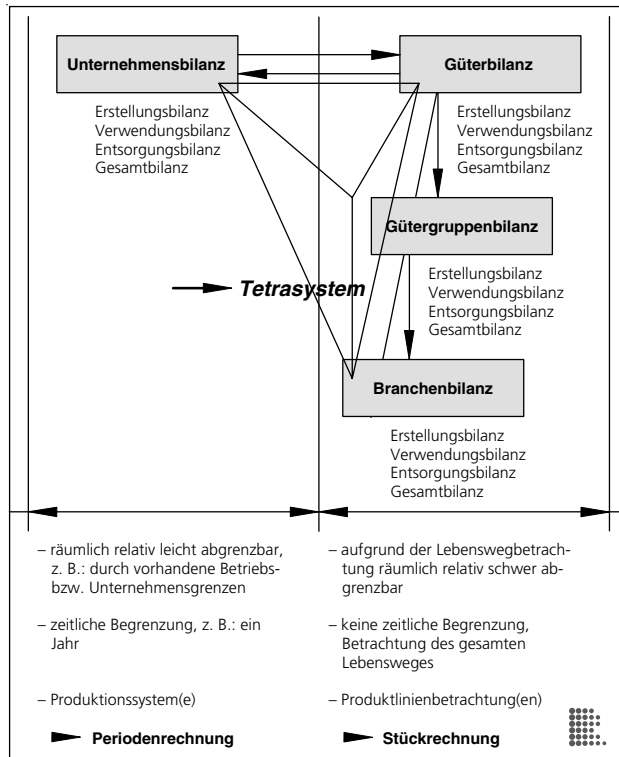


Abb. 5: Modelle für die Bilanzierung von Stoffströmen nach Corino (1995) (Quelle: Eigener Entwurf)

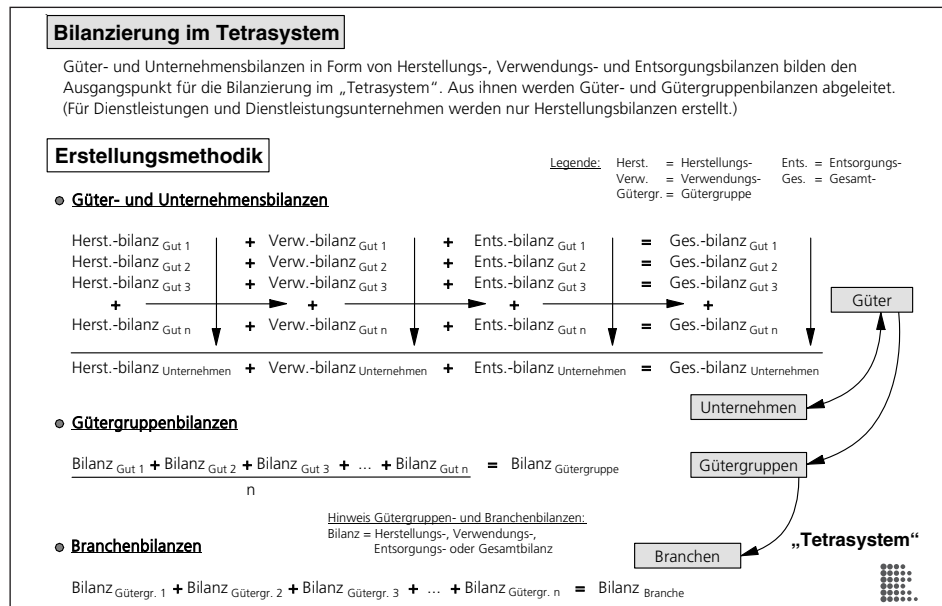


Abb. 6: Erstellung von Bilanzen im Tetrasytem (Quelle: Eigener Entwurf)

Zwischen den vier Bilanzmodellen werden hinsichtlich des Bilanzprinzips und der festzulegenden Bilanzgrenzen Unterschiede deutlich. Für die Bilanzobjekte Güter, Gütergruppen und Branchen muss der gesamte Lebensweg von der Herstellung über die Verwendung bis zur Entsorgung betrachtet werden. Im Rahmen dieser Produktlinienbetrachtung werden die einzelnen Bilanzobjekte (Güter, Gütergruppen, Branchen) als ein Stück begriffen, für das Stoffe und Energien entlang des gesamten Lebensweges zu erfassen sind. Für Unternehmen hingegen wird der Betrachtungszeitraum auf eine bestimmte Größe festgelegt, z. B. ein Jahr.

Zum einen werden also **Güter, Gütergruppen** bzw. **Branchen** als ein „Stück“ begriffen und entlang ihrer Produktlinie hinsichtlich der verursachten Stoff- und Energieflüsse erfasst und abgebildet. Diese Art der Betrachtung gleicht einer **Stückrechnung**. Die Umweltwirkungen werden einmal für ein „Stück“ von Beginn bis zum Ende der Produktlinie bilanziert. Aufgrund der Betrachtung der gesamten Produktlinie und der damit verbundenen Tatsache, dass die Produktion von notwendigen Vorprodukten und Ausgangsmaterialien an jeweils unterschiedlichen Orten erfolgen kann, ist das Festlegen von räumlichen Grenzen erschwert.

Zum anderen wird das **Unternehmen** (Kombination von Produktionsschritten) als eine abgeschlossene wirtschaftliche Einheit begriffen, die aufgrund von regelmäßigen Stoff- und Energie-Eingängen bzw. -Ausgängen hinsichtlich möglicher Umweltwirkungen in gleichen Abständen wiederkehrend untersucht wird. In diesem Fall entsprechen die Betrachtungen einer **Periodenrechnung**. Umweltrelevante Inputs und Outputs werden für einen festgelegten Zeitraum periodisch wiederholbar untersucht. Die wirtschaftliche Einheit „Unternehmen“ ist aufgrund physisch vorhandener Unternehmens- und Betriebsgrenzen räumlich relativ klar abgrenzbar.

### **Bilanzmodell nach Schmidt, Häuslein**

**Schmidt, Häuslein** verstehen den Begriff Ökobilanz als Symbol für eine Klasse unterschiedlicher Methoden zur Quantifizierung von Umweltauswirkungen und gehen von zwei Bilanzstrategien aus. Sie differenzieren zwischen

- der **produktbezogenen** und
- der **betriebsbezogenen** Ökobilanz (Schmidt, Häuslein 1997).

Aufgrund der verschiedenen Betrachtungsgegenstände, Produkt und Betrieb, ergeben sich im Rahmen der Bilanzierung folgende Unterschiede (Tab. 1).

Die **produktbezogene** Ökobilanz ist die eigentliche LCA (Life Cycle Assessment – Lebenszyklusabschätzung) und bilanziert die Umweltwirkungen eines Produktes über den gesamten Lebensweg. Da die Produktlinie eines Produktes rückverfolgt wird (gegen den tatsächlich stattfindenden Stofffluss), kann die Standortfrage nicht genau geklärt werden, d. h., das Setzen der räumlichen Grenzen ist (wie schon bei de Man 1995 erläutert) kompliziert bzw. kaum möglich.



Tab. 1: Bilanzmodell für die Analyse von Umweltwirkungen nach Schmidt, Häuslein (1997)  
(Quelle: Eigene Zusammenstellung)

| Produktbezogene Ökobilanz  | Betriebsbezogene Ökobilanz   |
|--|--|
| Bezugsgröße: einzelnes Produkt   | Bezugsgröße: gesamtes Unternehmen  |
| für den gesamten Lebensweg des Produktes werden alle Teilprozesse (Module) hinsichtlich notwendiger sowie entstehender Inputs und Outputs untersucht | für einen bestimmten Zeitraum werden alle notwendigen und entstehenden Inputs sowie Outputs des Unternehmens erfasst |
| Analyse entgegen der Richtung des tatsächlich stattfindenden Stoffstroms – „up-stream“-Betrachtung   | Analyse in Richtung des tatsächlich stattfindenden Stoffstroms – „down-stream“-Betrachtung                           |
| modularer Lebenswegaufbau ermöglicht universellen Einsatz bzw. Übertragbarkeit einzelner Module auf andere Untersuchungen                            | Lagerbestände spielen bei dieser Bilanz eine wichtige Rolle  |
| Analyse ist aus betriebswirtschaftlicher Sicht eine Stückrechnung  | Analyse ist aus betriebswirtschaftlicher Sicht eine Periodenrechnung   |
| Berechnungen für ein Produkt auf eine funktionelle Einheit bezogen   | Berechnungen für ein Unternehmen, es werden meist mehrere Produkte erfasst   |
| Zurechnungsvorschriften spielen bei Kuppelprodukten eine wichtige Rolle  | Zurechnungsvorschriften spielen eine eher untergeordnete Rolle   |
| Rekursionen und Recyclingschleifen bereiten bei der Analyse Probleme; Lösung: iteratives Vorgehen  | Rekursionen und Recyclingschleifen bereiten bei der Analyse keine Probleme   |

Die **betriebsbezogene** Ökobilanz betrachtet das Unternehmen bzw. den Betrieb als Ganzes und hat dadurch konkreteren Standortbezug. Die Inputs und Outputs des Betriebes werden erfasst und hinsichtlich ihrer ökologischen Wirkungen analysiert. Im Sinne dieser Eingangs-Ausgangs-Rechnung stellt die betriebliche Ökobilanz das ökologische Gegenstück zur kaufmännischen Betriebsbilanz dar. Sie ist periodisch z. B. jährlich wiederholbar.

Für die Erarbeitung von Ökobilanzen sind im Allgemeinen keine neuen, bisher unbekannt Daten erforderlich. Die zur Analyse und Bewertung verursachter Umweltwirkungen notwendigen Sachdaten sind in Betrieben bzw. Unternehmen meist schon vorhanden, sie müssen in der Regel nur gezielt herausgesucht, erfasst und bewertet werden. Das Besondere an Ökobilanzen ist daher nicht vorrangig das Bereitstellen neuer Daten, sondern das Instrument Ökobilanz bietet die Möglichkeit, Daten bzw. Informationen den Untersuchungszielen entsprechend zu strukturieren, neuartig zusammenzustellen und miteinander zu verknüpfen. Durch Kombination medialer Daten ist damit der Schritt von der eindimensionalen, medienorientierten zu einer mehrdimensionalen, ganzheitlichen Betrachtungsweise vollzogen.

### Bilanzmodell nach Wagner

Wagner versteht unter dem Begriff Ökobilanz das Erfassen und Dokumentieren eingehender und ausgehender Stoff- und Energiemengen mit abschließender ökologischer Bewertung (Wagner 1992, Böning 1994). Für ihn liegt der Schwerpunkt auf der Sachbilanzierung. Sie orientiert in zwei Richtungen. Die Bilanzen können

- betriebsbezogen und
- produktbezogen

sein. Innerhalb dieser Unterteilung macht er weitere Unterscheidungen deutlich (Abb. 7).

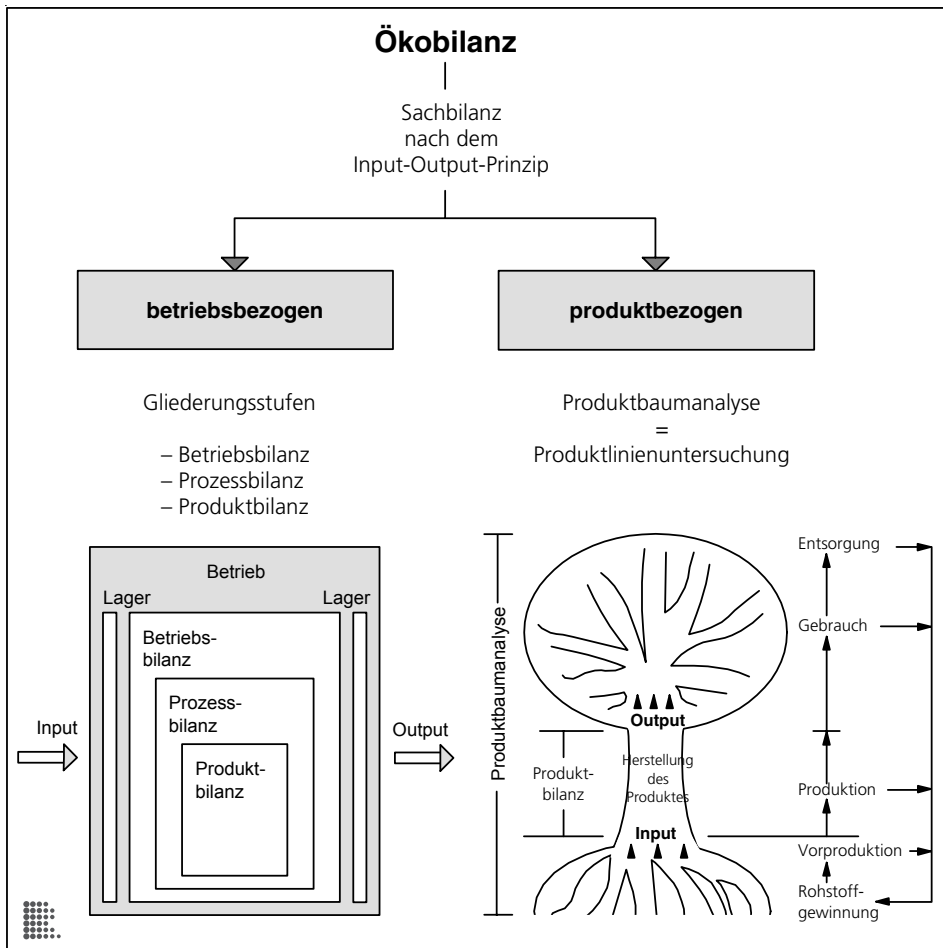


Abb. 7: Bilanzprinzipien nach Wagner (1992)  
(Quelle: Eigener Entwurf nach Wagner)

Im Rahmen der **betriebsbezogenen Ökobilanz** erfolgt eine, auch im hierarchischen Sinne zu verstehende, weitere Abstufung in Bilanzen für

- Betriebe,
- Prozesse und
- Produkte.

Diese Unterscheidungen werden in der Praxis häufig nicht klar vollzogen. Die mangelnde Definitionsschärfe führt grundsätzlich zu Verständnisschwierigkeiten, aber auch zu Ungenauigkeiten bei der Festlegung notwendiger Abgrenzungen. Diese wiederum haben erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse der entsprechenden Bilanzen. Uneindeutige Festlegungen führen so zu differenzierten Untersuchungsbegrenzungen und folglich bei der Analyse gleicher Sachverhalte zu unterschiedlichen Ergebnissen. Es werden daher exakte, eindeutige begriffliche Abgrenzungen benötigt, um den gegebenen Stoff- und Energie-Input- bzw. -Outputgrößen gezielt Umweltwirkungen zuordnen zu können.

Die unterschiedlichen Bilanzen werden im Rahmen der betriebsbezogenen Ökobilanz wie folgt definiert:

#### **Betriebsbilanz**

„Die Ökobilanz von Betrieben dokumentiert alle Stoff- und Energiemengen, die im Verlauf eines Jahres in den Betrieb eingehen (Input) sowie alle Stoff- und Energiemengen, die im Verlauf eines Jahres den Betrieb verlassen (Output). Für die Eröffnungsbilanz sind auch die vorhandenen Bestände (Boden, Gebäude, Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe etc.) zu erheben, die dann durch die jährlichen Input- und Outputmengen fortgeschrieben werden können.“ (Wagner 1992, 7)

Ziel: Umfassender Überblick über die ökologisch relevanten Wirkungen des gesamten Betriebes → Schwachstellenanalyse

#### **Prozessbilanz**

„Die Ökobilanz von betrieblichen Prozessen dokumentiert alle Stoff- und Energiemengen, die in definierte betriebliche Umwandlungsprozesse eingehen (Input) sowie alle Stoff- und Energiemengen, die diesen Umwandlungsprozeß verlassen (Output). In Betracht gezogen, je nach vorheriger Definition, können dabei sowohl der gesamte betriebliche Umwandlungsprozeß (umfaßt nicht Lagerzu- und -abgänge) oder Teilprozesse (Produktion, Lackiererei, Verwaltung o. a.)“ (Wagner 1992, 7)

Ziel: Überblick über die ökologische Bedeutung betriebsinterner Prozesse → betriebsinterne Effizienzbeurteilung

## Produktbilanz

„Die Ökobilanz von Produkten dokumentiert alle Stoff- und Energiemengen, die in die Herstellung eines definierten Produktes eingehen (Input) sowie alle ausgehenden Stoff- und Energiemengen, die bei der Herstellung eines Produktes anfallen (Output). ... Die Produktbilanz umfaßt also nur diejenigen Materialien (Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe), die bei der Herstellung eines bestimmten Produktes verbraucht werden, als Bestandteil in das Produkt eingehen und als Emissionen bei der Herstellung anfallen.“ (Wagner 1992, 7)

Ziel: Ökologische Beurteilung der Herstellung und Zusammensetzung einzelner Produkte → ökologisch orientierte Produktoptimierung

Bei allen drei Bilanzarten im Rahmen der betriebsbezogenen Ökobilanz geht es um die Dokumentation aller ein- und ausgehenden Stoff- und Energiemengen bezogen auf einen definierten Bezugsrahmen. Die Unterscheidung zwischen den drei Bilanzbetrachtungen ergibt sich jeweils aus der Definition des Betrachtungsgegenstandes. Dieser wird in der genannten Reihenfolge (Betrieb, Prozess, Produkt) immer spezifischer.

Zur Erfassung aller eingehenden und ausgehenden Stoff- und Energiemengen wird ein Kontenrahmen erstellt, der alle Inputs und Outputs auflistet. Durch eine jährliche Überarbeitung und Fortschreibung der Kontenrahmen werden diese präziser und vollständiger.

Bei der Prozess- bzw. Produktbilanz stimmen die in den Prozess bzw. in das Produkt ein- und ausgehenden Mengen mit den produzierten überein. Bei der Betriebsbilanz ist dies nicht der Fall. Die ein- und ausgehenden Mengen weichen aufgrund schwankender Lagerbestände von der produzierten Menge ab und können dadurch das für eine Bilanz typische Gleichsystem stören. Bei der Betriebsbilanz müssen deshalb neben den Inputs und Outputs auch noch die Lagerbestände in den Kontenrahmen aufgenommen werden. Das Ausweisen von Beständen und Bestandsänderungen ist eine Spezifik der Betriebsbilanz und macht den wesentlichen Unterschied gegenüber der Prozess- bzw. Produktbilanz deutlich.

Bei der Betriebsbilanz wird der räumliche Rahmen durch die Betriebsgrenzen gesetzt; die zeitliche Begrenzung ist auf ein Jahr festgelegt. Die nicht direkt mit den Input- und Outputgrößen in Verbindung stehenden Lagerbestände müssen mit berücksichtigt werden. Die Prozessbilanz wird räumlich durch einen klar definierten betrieblichen Umwandlungsprozess eingegrenzt. Zeitliche Abgrenzungen werden nicht erwähnt. Lagerbestände (Zu- und Abgänge) bleiben bei dieser Bilanzart unberücksichtigt. Im Rahmen der Definition der Produktbilanz werden keine räumlichen und zeitlichen Abgrenzungen benannt.

Da alle drei Bilanzen Abstufungen innerhalb des betriebsbezogenen Bilanzierungsansatzes sind, ist ihr größter gemeinsamer Bezugsrahmen der Betrieb, d. h., die

räumlichen Eingrenzungen sind durch die Betriebsgrenzen gegeben, sowohl für den Betrieb als auch für den Prozess und das Produkt.

Die zeitlichen Abgrenzungen sind bei der Betriebsbilanz im Allgemeinen auf ein Jahr festgelegt. Bei der Prozess- und der Produktbilanz haben zeitliche Abgrenzungen keine Bedeutung, da sich die Inputs und Outputs auf das Produkt bzw. den Prozess beziehen. Von Relevanz wäre nur, welchem Stand der Technik die erhobenen Daten entsprechen, denn der Stand der Technik ist zeitabhängig.

Die **produktbezogene Ökobilanz** verfolgt eine lebenswegbezogene Betrachtung. Wagner (1992) spricht in diesem Zusammenhang von einer Produktbaumanalyse. Der Begriff Produktlinienanalyse wird bewusst nicht verwendet, um zu verdeutlichen, dass eine Produktlinienbetrachtung um vieles komplizierter ist, als es der Begriff assoziiert. Selbst bei wenig komplexen Gütern bzw. Produkten zweigt sich die Produktlinie bei Betrachtung der einzelnen Lebenswegphasen netzartig in eine Vielzahl von Einzellinien auf. Die Lebenswegbetrachtung des Produktes von seinem Beginn bis zu seinem Ende entspricht somit eher einem Baum mit Wurzeln und Ästen als einer Linie (vgl. Abb. 7).

Die Produktbaumanalyse verdeutlicht die unterschiedlichen Betrachtungsrichtungen bezogen auf den tatsächlich stattfindenden Stofffluss. Die Herstellung des Produktes (Produktbilanz nach dem betriebsbezogenen Ansatz) ist eine typische Input-Output-Analyse. In den Lebenswegphasen vor der Produktherstellung wird gegen den tatsächlich stattfindenden Stofffluss betrachtet, in den Phasen danach mit dem tatsächlich stattfindenden Stoffstrom.

Räumliche Eingrenzungen sind durch die Betrachtung des gesamten Lebensweges nur schwer möglich. Auch zeitliche Begrenzungen werden nicht vorgenommen. Zeitliche Bezüge sollten jedoch angegeben werden, da gerade der Erfassungszeitraum der Daten Auskunft über die Aktualität der Analysen und Untersuchungen (Stand der Technik) gibt.

Unter dem Stichwort „Bilanzierungsrichtlinien“ werden außerdem Hinweise zur praktischen Anwendung gegeben (Wagner 1992, Böning 1994). In diesem Zusammenhang sind Bilanzierungen den Grundsätzen einer ordnungsgemäßen kaufmännischen Buchführung entsprechend zu erstellen. Diese sind:

- Vollständigkeit,
- Wahrheit,
- Klarheit,
- Kontinuität,
- körperliche Bestandsaufnahme.

Die relevanten Daten werden in geeigneten physikalischen Mengeneinheiten als absolute Größen erfasst. Sie informieren über entstandene Aufwendungen und Be-

lastungen, geben aber keine Auskunft darüber, wie diese Aufwendungen und Belastungen einzuschätzen und zu werten sind. Um eine entsprechende Einschätzung und Wertung vornehmen zu können, müssen die absoluten Größen in spezifische Werte umgewandelt werden. Das kann mit Hilfe von Verhältniszahlen erfolgen, die den Gliederungspunkten des Kontenrahmens entsprechend gebildet werden. Mögliche Verhältniszahlen, die Vergleiche zum Vorjahr mit anderen Betrieben oder Betriebsbereichen zulassen, wären (Wagner 1992, 16 ff.; Böning 1994, 166):

- Materialkennzahlen (z. B. Rohstoffeffizienz = Rohstoffeinsatz / Produktgewicht),
- Energiekennzahlen (z. B. Energieeffizienz = Energieeinsatz / Produkt),
- Wasserkennzahlen (z. B. Wassereffizienz = Wassermenge / Produkt),
- Abfallkennzahlen (z. B. Sonderabfallquote = Sonderabfälle / Gesamtabfall),
- kostenorientierte Kennzahlen (z. B. Entsorgungsquote = Entsorgungskosten / Produktionskosten).

### 2.3 Auswertung der dargestellten Modelle

Wie die Untersuchungen zeigen, ist die Bandbreite der im Rahmen von Stoffstrombetrachtungen möglichen Bilanzmodelle relativ groß; sie reicht von stoff- und stoffgruppenbezogenen über produkt- und prozessbezogene bis hin zu betriebs- und unternehmensbezogenen Modellen. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Bilanzmodellen ergeben sich vordergründig durch unterschiedliche Betrachtungsgegenstände. Diese Differenzierungen sind aber nicht grundsätzlicher Natur. Erst bei Klärung der Frage, wie die einzelnen Betrachtungsgegenstände im Rahmen bewertender Analysen zu interpretieren sind, als fertige Objekte zur Bedarfsdeckung oder als Prozesse im Sinne wirtschaftlicher Funktionseinheiten, wird eine Unterscheidung der Bilanzmodelle in zwei grundsätzliche Gruppen deutlich (Abb. 8).

**Zum einen** werden **physische Objekte** betrachtet, die durch eine unterschiedliche Anzahl von Produktionsschritten entstanden sind, als „**fertiges Stück**“ zur entgeltlichen Fremdbedarfsdeckung vorliegen und genutzt werden können. Um diese Objekte hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen ab- und einschätzen zu können, muss ihr gesamter Lebensweg betrachtet werden. Das bedeutet, Analyse der Stoff- und Energieflüsse mit oder gegen den tatsächlich stattfindenden bzw. stattgefundenen Fluss entlang des gesamten Lebensweges. Die relevanten Daten werden für eine bestimmte Bezugsmenge des jeweiligen Objektes erhoben und erfasst. Man spricht von einer so genannten „**Stückrechnung**“. Da sich die Betrachtungen auf den gesamten Lebensweg beziehen, ergeben sich keine speziellen zeitlichen Abgrenzungen. Auch eine räumliche Abgrenzung ist nur schwer möglich, da aufgrund der Lebenswegbetrachtung kein konkreter Standort gegeben ist.

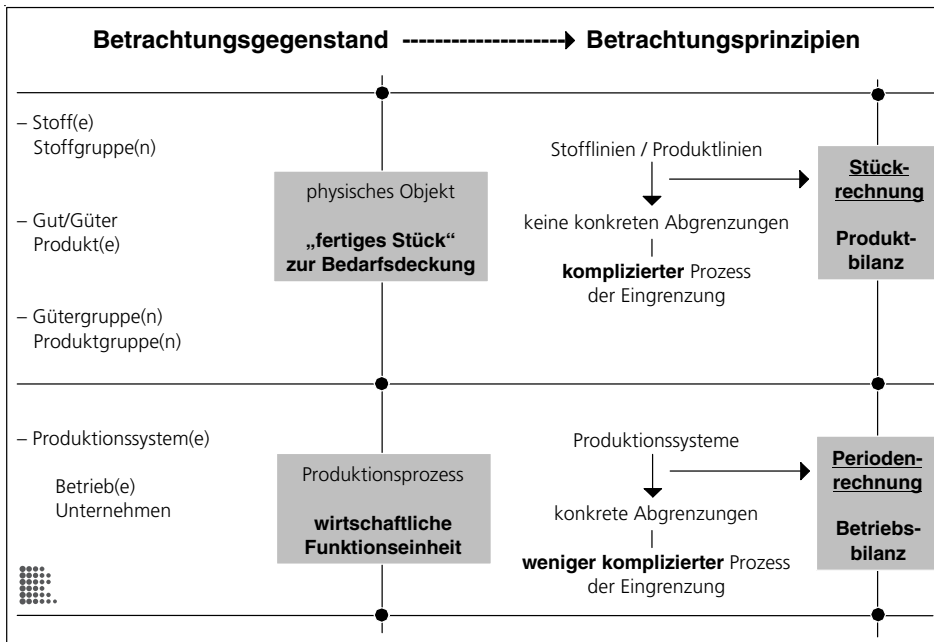


Abb. 8: Grundsätzliche Bilanzarten  
(Quelle: Eigener Entwurf)

Zum **anderen** werden **Prozesse** erfasst, die ein oder mehrere gleiche oder unterschiedliche physische Objekte erzeugen und damit als **wirtschaftliche Funktions- bzw. Organisationseinheit** zu begreifen sind. Nicht das physische Objekt steht im Mittelpunkt der Betrachtungen, sondern die Gesamtheit der Produktionsschritte einer wirtschaftlich selbstständigen Einheit, wie z. B. eines Betriebes bzw. Unternehmens. Um diese wirtschaftliche Funktionseinheit hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen einschätzen zu können, müssen sämtliche Stoff- und Energie-Inputs und -Outputs der wirtschaftlichen Einheit für einen festgelegten Zeitraum erfasst werden. Die Idee dieser Betrachtungen entstammt der „ökologischen Buchhaltung“, die von Müller-Wenk begründet wurde. Dem Prinzip der betrieblichen Buchhaltung entsprechend werden die von einem Unternehmen ausgehenden Umweltwirkungen nach Umweltkategorien getrennt, in Form von Be- und Entlastungen erfasst und gebucht. Der Erfassungszeitraum bezieht sich im Allgemeinen auf ein Kalenderjahr und ist in regelmäßigen Abständen wiederholbar. Die be- und entlastenden Inputs und Outputs sind aufgrund physisch gegebener Unternehmens- bzw. Betriebsgrenzen räumlich bestimmbar. Die relevanten Daten werden für eine wirtschaftliche Funktions- bzw. Organisationseinheit an einem konkreten Standort erhoben und erfasst. Man spricht von einer so genannten „**Periodenrechnung**“.

Dieser Unterscheidung entsprechend wird in den weiteren Untersuchungen grundsätzlich von **zwei Bilanzarten**, der Produkt- und der Betriebsbilanz, ausgegangen. Die **Produktbilanz** erfasst und bewertet die von einem Produkt ausgehenden umweltrelevanten Inputs und Outputs im Rahmen einer Stückrechnung. Die **Betriebsbilanz** dokumentiert und wertet die umweltrelevanten Inputs und Outputs eines Betriebes nach dem Prinzip der Periodenrechnung.



### **3 Produkt- und Betriebs-Ökobilanzen – Detailuntersuchungen**

#### **3.1 Ökobilanzen – allgemeine Definition**

Ökobilanzen sind Instrumente zur Analyse und Bewertung von Umweltwirkungen. Sie haben die Aufgabe, durch anthropogene Stoff- und Energieflüsse entstandene umweltrelevante Auswirkungen mit Hilfe von Daten zu erfassen, transparent aufzubereiten sowie abzuschätzen und zu bewerten. Dabei ist darauf zu achten, dass

- der gesamte Lebensweg des jeweiligen Betrachtungsgegenstandes (Stoff, Stoffgruppe, Produkt, Produktgruppe, Unternehmen, Betrieb, Verfahren, Verhaltensweise, Dienstleistung) berücksichtigt wird,
- die Umweltbelastungen medienübergreifend analysiert und untersucht werden,
- aus den Umweltbelastungen mögliche Umweltwirkungen abgeleitet werden,
- eine allgemein akzeptierte Bewertung erfolgt.

Ökobilanzen sind generell aus vier Untersuchungsschritten, Zieldefinition, Sachbilanz, Wirkungsbilanz sowie Bilanzbewertung, aufgebaut und führen im Ergebnis zur Abschätzung und Wertung möglicher Umweltwirkungen. Mit ihren Ergebnissen bieten Ökobilanzen die Möglichkeit, Schwachstellen bzw. Entwicklungspotenziale zu identifizieren und schaffen eine fundierte Informationsgrundlage für umweltorientierte Entscheidungsfindungen.

Ökobilanzen können für verschiedene Betrachtungsgegenstände erarbeitet werden. Wie bereits in den Untersuchungen zu unterschiedlichen Bilanzmodellen dargestellt, hat gerade die Interpretation des Betrachtungsgegenstandes erheblichen Einfluss auf die Betrachtungsprinzipien und führt zu zwei grundsätzlichen ökologischen Bilanzarten, der Produkt- und der Betriebs-Ökobilanz, die im Folgenden ausführlicher beschrieben werden.

#### **3.2 Produkt-Ökobilanzen nach ISO<sup>4</sup>-Norm**

Aufgrund der großen Erwartungen, die grundsätzlich an den Einsatz von Ökobilanzen geknüpft werden sowie der noch vorhandenen Methoden- und Kriterienunsi-

---

<sup>4</sup> ISO – International Standard Organization (Internationale Normungsorganisation). Ausführlichere Aussagen zum Aufbau der ISO mit ihren Ausschüssen, Arbeitsgruppen und Arbeitsinhalten sowie zur Darstellung der Entwicklungsstufen im Rahmen einer Normenentwicklung einschließlich des Standes der Normung der Produkt-Ökobilanz befinden sich in Anhang A.

cherheiten bei ihrer Erstellung, wurden im Rahmen der Internationalen Normung (ISO – Internationale Normungsorganisation) die Standardisierungsbemühungen in den letzten Jahren erheblich vorangetrieben. So kam es im Rahmen der ISO Ende 1993 innerhalb des Technischen Ausschusses „Umwelt-Management“ (Technical Committee TC 207) zur Gründung des Unterausschusses „Produkt-Ökobilanz“ (Subcommittee SC 5). Dieser Unterausschuss arbeitet an Normungsvorschlägen für die einzelnen Untersuchungsschritte der Produkt-Ökobilanz (Normen der Rubrik 14040):

- ISO 14040      Prinzipien und allgemeine Anforderungen,
- ISO 14041      Festlegung des Zieles und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz,
- ISO 14042      Wirkungsabschätzung,
- ISO 14043      Auswertung.

Die Normungsvorschläge haben ihrer Aufeinanderfolge entsprechend unterschiedliche Entwicklungsstände, wobei die ISO 14040, die die Prinzipien und allgemeinen Anforderungen definiert, bereits seit 1997 Europäische Norm ist (vgl. Anhang A).

Der stetige Normungsprozess hat neben der Konkretisierung und Qualifizierung der Inhalte der Normungspapiere auch Einfluss auf begriffliche Definitionen. So ist es zu erklären, dass im Rahmen der Überarbeitung und Fortentwicklung der ISO 14040 sowohl von Produkt-Ökobilanz als auch von Ökobilanz die Rede ist. Zu Beginn der Normungsdiskussion wurde ursprünglich mit dem Begriff „Produkt-Ökobilanz“ (EN ISO 14040, 1996) operiert, in der endgültigen Norm hat man sich für die Verwendung des eher allgemeinen Begriffs „Ökobilanz“ entschieden (EN ISO 14040, 1997). Wenn daher in den folgenden Abhandlungen, vor allem in Zitaten aus der EN ISO 14040 (1997), der Begriff „Ökobilanz“ verwendet wird, ist er als Synonym der in diesem Abschnitt zu beschreibenden Produkt-Ökobilanz zu interpretieren.

Die Internationale Norm EN ISO 14040 definiert Produkt-Ökobilanzen (LCA – Life Cycle Assessment) wie folgt:

„Die Ökobilanz ist eine Methode zur Abschätzung der mit einem Produkt verbundenen Umweltaspekte und produktspezifischen potentiellen Umweltwirkungen durch:

- Zusammenstellung einer Sachbilanz von relevanten Input- und Outputflüssen eines Produktsystems;
- Beurteilung der mit diesen Inputs und Outputs verbundenen potentiellen Umweltwirkungen;
- Auswertung der Ergebnisse der Sachbilanz und Wirkungen hinsichtlich der Zielstellung der Studie.“ (EN ISO 14040, 1997, 2)

Bereits in der Einleitung wird darauf hingewiesen, dass Produkt-Ökobilanzen eine wichtige Hilfestellung bei der Entscheidungsfindung sein können, dass sie aber auch

Einschränkungen aufweisen, die beachtet werden müssen. So wird u. a. darauf hingewiesen, dass Annahmen zur Festlegung der Systemgrenzen, zur Auswahl von Datenquellen oder zu Wirkungskategorien subjektiv sein können. Es ist deshalb wichtig, alle Arbeitsschritte (Annahmen, Festlegungen, Methodiken, Datenquellen und -qualitäten, Ergebnisse) transparent zu machen und dementsprechend zu beschreiben und darzustellen.

In der Internationalen Norm EN ISO 14040 werden zu folgenden Gesichtspunkten Festlegungen getroffen:

1. Anwendungsbereich,
2. Normative Verweisungen,
3. Definitionen,
4. Allgemeine Beschreibung einer Ökobilanz,
5. Allgemeine methodische Anforderungen,
6. Bericht,
7. Kritische Prüfung.

Von besonderer Bedeutung sind dabei die Punkte 4. „Allgemeine Beschreibung einer Ökobilanz“ und 5. „Allgemeine methodische Anforderungen“. Unter diesen Punkten werden wichtige Hinweise und Festlegungen zu Untersuchungsanforderungen, -inhalten, -grenzen und -prinzipien gegeben, die Einfluss auf die Ergebnisse der Bilanz haben.

Die Produkt-Ökobilanz ist aus vier aufeinander folgenden Arbeitsschritten aufgebaut (Abb. 9).

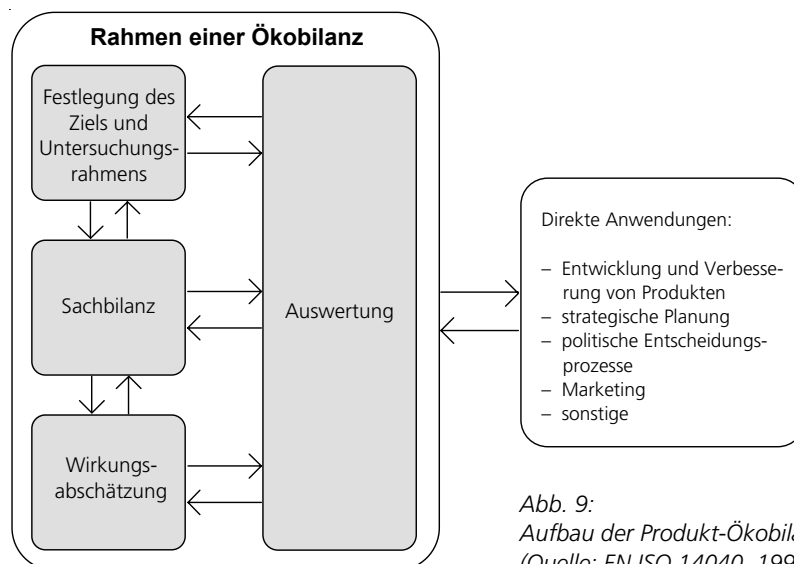


Abb. 9:  
Aufbau der Produkt-Ökobilanz  
(Quelle: EN ISO 14040, 1997, 9)

Zu Beginn der Produkt-Ökobilanz erfolgen die Festlegung des Zieles und des Untersuchungsrahmens. Im zweiten Arbeitsschritt, der Sachbilanz, werden alle relevanten Input- und Outputflüsse auf Basis der getroffenen Festlegungen quantifiziert. Aufgabe der Wirkungsabschätzung ist es im nächsten Schritt, diese Sachdaten zu ordnen, zusammenzufassen und ihnen spezifische Wirkungen zuzuweisen. Abschließend werden die Ergebnisse der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung im Arbeitsschritt Auswertung unter Berücksichtigung des Bilanzzieles und des festgelegten Untersuchungsrahmens zusammengefasst. Die Ergebnisse der Auswertung können nützliche Hinweise für eine Vielzahl von Entscheidungsprozessen geben. Konkrete Festlegungen für mögliche Anwendungen von Bilanzergebnissen werden nicht getroffen. Die meist in einem fünften Schritt gemachten Angaben zu direkten Anwendungen liegen außerhalb der normativen Festlegungen und werden nur als Beispiele (vgl. Abb. 9) angegeben.

### **3.2.1 Festlegung des Zieles und des Untersuchungsrahmens**

Zu Beginn einer Produkt-Ökobilanz muss das Ziel eindeutig definiert werden. Dabei sind Festlegungen zur beabsichtigten Anwendung zu treffen sowie die angesprochene Zielgruppe und die Gründe für die Durchführung der Bilanz zu nennen.

Auch der Untersuchungsrahmen ist eindeutig zu beschreiben. In diesem Zusammenhang müssen Aussagen zu folgenden Punkten getroffen werden (nach EN ISO 14040, 1997, 11):

- Funktion des Produktsystems,
- funktionelle Einheit,
- zu untersuchendes Produktsystem,
- Grenzen des Produktsystems,
- Allokationsverfahren,
- Wirkungskategorien, Methode der Wirkungsabschätzung, angewendete Auswertung,
- Datenanforderungen,
- Annahmen,
- Einschränkungen,
- Datenqualitätsanforderungen,
- Art der kritischen Begleitung,
- Art und Aufbau des vorgesehenen Berichtes.

Der Untersuchungsrahmen muss so genau definiert werden, dass sachliche, zeitliche sowie räumliche Inhalte und Begrenzungen, Detaillierungs- bzw. Differenzierungsgrade sowie notwendige Annahmen und Einschränkungen widerspruchsfrei mitein-

ander im Einklang stehen und dem vorgegebenen Ziel entsprechen. Der Untersuchungsrahmen ist während der Durchführung der Bilanz veränder- und modifizierbar.

### 3.2.2 Sachbilanz

Im Rahmen der Sachbilanz werden systemrelevante Input- und Outputflüsse in Form von Sachdaten gesammelt und mit Hilfe geeigneter Berechnungsverfahren quantifiziert. Die Input- und Outputgrößen können sich auf Ressourcen sowie Emissionen in Luft, Wasser und Boden beziehen.<sup>5</sup> Die erfassten Daten sind Grundlage für die Wirkungsabschätzung.

Die Durchführung der Sachbilanz ist ein stark iterativer Prozess. Während der Sammlung und Untersuchung relevanter Daten können sich durch neue oder andere Erkenntnisse zur Sachlage Festlegungsänderungen in anderen Ökobilanzschritten, vor allem bei der Festlegung des Zieles und des Untersuchungsrahmens, ergeben, die sich dann wiederum auch auf Verfahren und Methoden der Sachbilanz auswirken.

Für jeden Prozess, der innerhalb der Systemgrenzen liegt, müssen Daten gesammelt werden. Die für die Datensammlung anzuwendenden Verfahren und Methoden richten sich nach dem festgelegten Untersuchungsrahmen, nach der Art der zu untersuchenden Prozesse und der beabsichtigten Verwendung der Ergebnisse.

In Systemen, die mehrere Produkte erzeugen, ist es oft schwierig, die Stoff- und Energieflüsse, einschließlich der dazugehörigen Umweltwirkungen, den verschiedenen Produkten zuzuordnen (Allokationsprobleme). Aus diesem Grund ist der Einsatz von Allokationsverfahren notwendig.

### 3.2.3 Wirkungsabschätzung

In der Wirkungsabschätzung werden den erfassten Sachdaten spezifische Wirkungen zugeordnet. Damit sollen potenzielle Wirkungen erkannt und die Bedeutung der Umweltwirkungen beurteilt werden. Die Wahl der Wirkungskategorien, die angewendete Methode sowie die Ausführlichkeit der Wirkungsabschätzung hängen (wie die Sachbilanz) vom Ziel und Untersuchungsrahmen der Ökobilanz ab.

---

<sup>5</sup> Konkretere Angaben zu sowohl Sachbilanz- als auch Wirkungsbilanzdaten werden innerhalb der ISO-Normung nicht gemacht. Im Rahmen der Ökobilanzdiskussion werden aber u. a. vom Umweltbundesamt (UBA) sowohl für die Sachbilanz als auch die Wirkungsabschätzung einheitlich akzeptierte Analyse- bzw. Untersuchungsgrößen angestrebt. Die Input- und Outputgrößen der Sachbilanz sind dabei bereits relativ klar definiert. Für die in der Wirkungsabschätzung zu betrachtenden Wirkungskategorien besteht noch Abstimmungsbedarf (vgl. Anhang A, Produkt-Ökobilanzen im Rahmen des UBA).

Die Wirkungsbilanz kann u. a. folgende Elemente enthalten:

- Klassifizierung:  
Zuordnung von Sachbilanzdaten zu Wirkungskategorien;
- Charakterisierung:  
Modellierung der Sachbilanzdaten innerhalb der Wirkungskategorien;
- Bewertung:  
Mögliche Zusammenfassung der Ergebnisse.

Die allgemeinen methodischen und wissenschaftlichen Anforderungen an die Wirkungsabschätzung befinden sich noch in der Entwicklung. Es gibt keine allgemein anerkannte Methode, wie Sachbilanzdaten Wirkungskategorien zuzuordnen sind. Mögliche Berechnungsmodelle befinden sich in noch unterschiedlichen Entwicklungsstadien. Des Weiteren muss darauf hingewiesen werden, dass Wirkungsabschätzungen mit subjektiven Elementen behaftet sind. Die Wahl und Modellierung der Wirkungskategorien sowie die Beurteilung der Wirkungen werden vom Ersteller der Ökobilanz geprägt. Es ist deshalb darauf zu achten, dass alle Arbeitsschritte eindeutig dargestellt und vermittelt werden, um Transparenz zu sichern.

#### **3.2.4 Auswertung**

In der Auswertung werden die Inhalte der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung unter Berücksichtigung des festgelegten Zieles und Untersuchungsrahmens zusammengefasst und gewertet. Die Ergebnisse können in Form von Schlussfolgerungen und Empfehlungen präsentiert werden. Oft werden auch Entscheidungen und Maßnahmen abgeleitet, diese liegen dann jedoch außerhalb des Untersuchungsrahmens der Ökobilanz.

### **3.3 Betriebs-Ökobilanzen**

Betriebs-Ökobilanzen sind Instrumente zur Analyse und Einschätzung der von Betrieben bzw. Unternehmen ausgehenden Umweltwirkungen. Sie „... haben die Aufgabe, die durch die Produktion eines Unternehmens verursachten Umwelteinwirkungen transparent zu machen und zu bewerten.“ (Böning 1994, 25).

Ihr Ziel ist es, „das betriebliche Geschehen auf mögliche ökologische Risiken und Schwachstellen systematisch zu überprüfen und Optimierungspotentiale aufzuzeigen.“ (Böning 1994, 25).

Müller-Wenk erarbeitete mit der „Ökologischen Buchhaltung“ die Grundlagen für betriebliche Bilanzierungen und gilt damit als Begründer der Betriebs-Ökobilanz (Böning 1994, Gruhler 1994). Ziel der Ökologischen Buchhaltung ist es, die von ei-

dem Unternehmen ausgehenden, relevanten Umweltwirkungen zu erfassen und zu bewerten (Müller-Wenk 1978). Dem Prinzip der kaufmännischen Buchhaltung folgend werden für alle relevanten Umweltkategorien so genannte Konten eingerichtet, auf die die effektiven Wirkungen (Belastungen, Entlastungen) gebucht werden. So lassen sich im Allgemeinen Umweltkonten für die Bereiche Energie, Material, Luft, Boden, Wasser und Abwasser aufstellen (Tab. 2).

Tab. 2: Mögliche Umweltkonten im Rahmen der Ökologischen Buchhaltung  
(Quelle: Eigene Zusammenstellung nach Müller-Wenk 1987 und Braunschweig 1988)

| Umweltkonto                             | Menge<br>(physik. Einheit) | AeK<br>(RE pro Einheit) | RE<br>(Recheneinheit) |
|---|----------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Energie:                                |                            |                         |                       |
| Strom                                   | kWh                        | RE/kWh                  | RE                    |
| Kohle                                   | t                          | RE/t                    | RE                    |
| Öl                                      | m <sup>3</sup>             | RE/m <sup>3</sup>       | RE                    |
| Gas                                     | m <sup>3</sup>             | RE/m <sup>3</sup>       | RE                    |
| ...                                     | ...                        | ...                     | ...                   |
| Material:                               |                            |                         |                       |
| Metalle                                 | t                          | RE/t                    | RE                    |
| Nichtmetalle                            | t                          | RE/t                    | RE                    |
| ...                                     | ...                        | ...                     | ...                   |
| Luft:                                   |                            |                         |                       |
| NO <sub>x</sub> (Stickoxide)            | t                          | RE/t                    | RE                    |
| SO <sub>2</sub> (Schwefeldioxid)        | t                          | RE/t                    | RE                    |
| H-C (Kohlenwasserstoffe)                | t                          | RE/t                    | RE                    |
| ...                                     | ...                        | ...                     | ...                   |
| Boden:                                  |                            |                         |                       |
| Versiegelung                            | m <sup>2</sup>             | RE/m <sup>2</sup>       | RE                    |
| Schwermetalle                           |                            |                         |                       |
| Pb (Blei)                               | t                          | RE/t                    | RE                    |
| Hg (Quecksilber)                        | t                          | RE/t                    | RE                    |
| Cd (Cadmium)                            | t                          | RE/t                    | RE                    |
| ...                                     | ...                        | ...                     | ...                   |
| Wasser:                                 | m <sup>3</sup>             | RE/m <sup>3</sup>       | RE                    |
| Abwasser:                               |                            |                         |                       |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (Ammonium) | t                          | RE/t                    | RE                    |
| DOC (gelöster Kohlenstoff)              | t                          | RE/t                    | RE                    |
| P (Phosphor)                            | t                          | RE/t                    | RE                    |
| ...                                     | ...                        | ...                     | ...                   |
| Abfälle:                                |                            |                         |                       |
| fest                                    | t                          | RE/t                    | RE                    |
| flüssig                                 | m <sup>3</sup>             | RE/m <sup>3</sup>       | RE                    |
| gas- und staubförmig                    | t                          | RE/t                    | RE                    |
| <b>Total</b>                            |                            |                         | RE                    |

Um die im Rahmen der Umweltkonten erfassten Wirkungen einschätzen und werten zu können, erfolgt eine Gewichtung auf Basis der „Ökologischen Knappheit“ (Müller-Wenk 1978, Braunschweig 1988).

Die Ökologische Knappheit spiegelt dabei die Fähigkeit der natürlichen Umwelt wider, Belastungen (z. B. Ressourcenverbräuche, Schadstoffe) ohne irreversible Folgen abzubauen. In diesem Sinne ist Ökologische Knappheit die Begrenztheit an Abgabe- bzw. Aufnahmefähigkeit der Natur. Der Gradmesser der Ökologischen Knappheit ist der Äquivalenzkoeffizient AeK. Er drückt die Knappheit der noch verfügbaren Belastbarkeit von Umweltqualitäten in Rechnungseinheiten RE pro Belastungseinheit (z. B. m<sup>2</sup> Bodenversiegelung, t Luftverschmutzung) aus. Mit seiner Hilfe ist es möglich, in unterschiedlichen physikalischen Einheiten ausgedrückte Belastungsmengen in Mengen mit gleichen Einheiten umzurechnen.<sup>6</sup> Dadurch lassen sich die Belastungen unterschiedlicher Umweltkonten miteinander vergleichen und zu einer Gesamtbelastung kumulieren.

Die Betriebs-Ökobilanz weist im Rahmen der Umsetzung der vier typischen Arbeitsschritte gegenüber der Produkt-Ökobilanz Unterschiede auf. Die Aktionsgruppe der Schweizerischen Vereinigung für ökologisch bewusste Unternehmensführung ÖBU (u. a. Müller-Wenk) definiert den ersten Schritt, die Zieldefinition, als strukturierte Zusammenstellung möglicher Umwelteinflüsse durch das Unternehmen, mit deren Hilfe die Bilanz eingegrenzt wird. Dabei werden primäre und sekundäre<sup>7</sup> sowie direkte und indirekte<sup>8</sup> Umwelteinflüsse unterschieden (Müller-Wenk 1992). Im zweiten Schritt, der Sachbilanz, werden die strukturierten Umwelteinflüsse mit Inhalten gefüllt und durch ein Vereinfachungsmodell auf ein „Gerüst“ als relevant und bedeutend herausgearbeiteter Einflüsse reduziert. In der Wirkungsanalyse, dem dritten Schritt, werden den als Einflüsse bezeichneten Aufwendungen und Belastungen mit Hilfe von Indikatoren Wirkungen zugeordnet, die dann im vierten Schritt, der Bilanzbewertung, zu einem Ergebnis zusammengefasst werden. Die Bewertung erfolgt auf Basis der Ökologischen Knappheit (Böning 1994).

### 3.4 Produkt- und Betriebs-Ökobilanz im Vergleich

Im Unterschied zur Produkt-Ökobilanz bildet die Betriebs-Ökobilanz die durch Produktionsprozesse entstehenden Umweltwirkungen eines Betriebes ab und nicht die

---

<sup>6</sup> Durch Multiplikation mit dem Äquivalenzkoeffizienten AeK werden innerhalb jedes Umweltkontos die in physikalischen Einheiten (z. B. m<sup>2</sup> oder t) erfassten Umweltbelastungsmengen in rechnungseinheitenbezogene (RE) Belastungsmengen umgerechnet (vgl. Tab. 2).

<sup>7</sup> „Der Stofffluß zwischen Unternehmen und Ver-/Entsorger wird als primärer, der Stofffluß zwischen Ver-/Entsorger und Umwelt als sekundärer Einfluß bezeichnet.“ (Böning 1994, 56)

<sup>8</sup> „Direkte Einflüsse gehen vom bilanzierenden Unternehmen aus, indirekte von dessen Lieferanten und Abnehmern, also den Vor- und Nachstufen im Produktlebenszyklus.“ (Böning 1994, 56)



mit einem Produkt und seinem Lebensweg in Verbindung stehenden. Sie ist dadurch räumlich auf den Betrieb begrenzt und lässt sich in zeitlich festgelegten Abständen wiederholen.

Die wesentlichsten Unterschiede zwischen beiden Bilanzarten werden im Folgenden nochmals benannt (Tab. 3).

Tab. 3: Unterschiede zwischen Produkt-Ökobilanz und Betriebs-Ökobilanz  
(Quelle: Eigene Zusammenstellung)

|                               | Produkt-Ökobilanz   | Betriebs-Ökobilanz   |
|-------------------------------|---|--|
| Betrachtungsgegenstand        | Produkt, Betrachtung der Produktlinie eines Produktes vom Produkt zu dessen Ursprung  | Betrieb, Betrachtung der Inputs und Outputs eines Betriebes bzw. Unternehmens  |
| Betrachtungsrichtung          | gegen den tatsächlich stattfindenden Stoffstrom (up stream), vom Produkt zu den Rohstoffen  | mit dem tatsächlich stattfindenden Stoffstrom (down stream), von den Inputs (Ausgangsstoffe) zu den Outputs (Produkte) |
| Berechnungsprinzip            | Berechnungen für ein „Stück“ des jeweiligen Produktes („funktionale Einheit“) --> Stückrechnung   | Berechnungen des Umsatzes des jeweiligen Betriebes --> Periodenrechnung  |
| Zeitliche Grenzen             | durch Lebenswegbetrachtung schwer bestimmbar, mögliche Bezüge: Erfassungszeitraum der Daten, Nutzungszeitraum des Produktes, Zeitraum der Wirkungsbetrachtung | festgelegter Zeitraum (z. B. ein Jahr)   |
| Räumliche Grenzen             | keine klaren räumlichen „Grenzen“, räumliche Grenzen produktlinienabhängig  | klare räumliche Grenzen, im Allgemeinen Betriebs- bzw. Unternehmensgrenzen   |
| Sachliche Grenzen             | Bestimmung der Input- und Outputgrößen nach Relevanz, auf den räumlich und zeitlich bestimmten Bilanzrahmen bezogen   | Bestimmung der Input- und Outputgrößen nach Relevanz, auf den räumlich und zeitlich bestimmten Bilanzrahmen bezogen    |
| Einhaltung des Bilanzprinzips | Gesamtbilanz entspricht einem Gleichsystem  | Gesamtbilanz entspricht aufgrund schwankender Lagerbestände im Allgemeinen keinem Gleichsystem                         |
| Probleme bei der Bilanzierung | Zurechnungsvorschriften bei Kuppelprodukten erforderlich, Probleme mit Rekursionen und Recyclingschleifen   | Zurechnungsvorschriften spielen eine untergeordnete Rolle, keine Probleme mit Rekursionen und Recyclingschleifen       |

## **4 Spezifischer Bilanzansatz für Bauteile**

### **4.1 Betrachtungsgegenstand Bauteil – Besonderheiten**

Wie die vorangegangenen Untersuchungen zeigen, werden im Rahmen der Ökobilanzdebatte unterschiedliche Bilanzmodelle diskutiert, wobei sich zwei grundsätzliche Bilanzarten unterscheiden lassen. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, welche Art der Bilanzierung für die Analyse und Bewertung von Bauteilen zur Anwendung kommen sollte. Um diese Frage zu beantworten und einen spezifischen Bilanzansatz für Bauteile ableiten zu können, müssen diese als Untersuchungsgegenstand näher hinterfragt werden.

Laut Bauproduktengesetz (BauPG) und z. B. Sächsischer Bauordnung (SächsBO) sind Bauteile Bauprodukte, die hergestellt werden, um dauerhaft in bauliche Anlagen des Hoch- und Tiefbaus eingebaut zu werden (vgl. Definition Bauprodukte in Einleitung, Fußnote 1).

Um Bauprodukte näher spezifizieren zu können, ist die Betrachtung der von Engelfried vorgenommenen Produkteinteilung sinnvoll (Engelfried 1994; Engelfried, Haber, Wabner 1995). Danach lassen sich im Sinne stärker funktionsorientierter Betrachtungen Produkte in zwei Gruppen, die dienstleistungsfähigen und die nicht dienstleistungsfähigen Produkte, unterteilen. Innerhalb der dienstleistungsfähigen Produkte werden drei Arten unterschieden:

- Verbrauchsprodukte,
- Gebrauchsprodukte,
- Intermediärprodukte (Zwischenprodukte).

Dabei ist speziell die Unterscheidung in Verbrauchs- und Gebrauchsprodukte für die weitere Charakterisierung von Bauprodukten bzw. Bauteilen hilfreich.

Verbrauchsprodukte gelangen bei bzw. nach Bereitstellung ihrer Funktion bzw. Dienstleistung entweder direkt oder indirekt, nach biologischer Behandlung, in die Umwelt. Gebrauchsprodukte hingegen liegen bei und nach Bereitstellung ihrer Funktion bzw. Dienstleistung physisch-stofflich bei denjenigen vor, die die Funktion bzw. Dienstleistung in Anspruch nehmen und werden nicht in die Umwelt abgegeben. Da Bauprodukte bzw. Bauteile im Rahmen ihrer Funktions- bzw. Dienstleistungserfüllung nicht verbraucht werden, sondern beim Nutzer lokal eingebaut vorliegen und dementsprechend einer fortlaufenden Nutzung unterliegen, lassen sie sich in diesem Zusammenhang in die Gruppe der Gebrauchsprodukte eingliedern.

Innerhalb der Gruppe der Gebrauchsprodukte weisen Bauteile bzw. die aus ihnen bestehenden Gebäude einige Besonderheiten auf (Kohler, Klingele 1995):

- Gebäude bzw. Bauteile haben eine lange Nutzungs- und Lebensdauer.
- Der Nutzungs- und Erhaltungsaufwand (laufender Aufwand) von Gebäuden ist im Vergleich zum Herstellungsaufwand (einmaliger Aufwand) hoch.
- Die Höhe der einmaligen und vor allem laufenden Aufwendungen wird durch dynamische Zusammenhänge, d. h. durch Veränderungen am und im Gebäude (z. B. verbesserte Haustechnik und Ausstattung, verändertes Nutzerverhalten), beeinflusst.
- In der Gebäudeplanung getroffene Baustoff- und Detailentscheidungen wirken sich über einen längeren Zeitraum vorrangig in der Nutzungsphase aus.
- Gebäude bzw. Bauteile weisen bei ihrer Realisierung durch die breite Palette der möglichen Baumaterialien und -technologien eine hohe Variantenvielfalt auf.
- Gebäude sind im Allgemeinen Unikate. Dadurch werden Vergleiche erschwert.
- Im Zusammenhang mit dem Gebäude stehende Aufwendungen und Belastungen (Stoff- und Energieumsätze) haben einen wesentlichen Anteil am Produktions- und Konsumtionsvolumen.

Diese Besonderheiten sind im Rahmen der Einschätzung und Bewertung von Gebäuden bzw. Bauteilen von Bedeutung und müssen aus methodischer Sicht bei der Erarbeitung eines spezifischen Bilanzansatzes Berücksichtigung finden.

#### **4.2 Bestimmung eines spezifischen Bilanzansatzes für Bauteile**

Auf Basis der Untersuchungen zu Bilanzmodellen sowie zur Charakteristik von Gebäuden bzw. Bauteilen wurde der Lebenszyklus von Bauteilen speziell am Beispiel Außenwand hinsichtlich möglicher Betrachtungsweisen detaillierter analysiert (Abb. 10).

Der Lebensweg des Bauteiles Außenwand wird in die Phasen Baustoffherstellung, Baustofftransport, Wandherstellung, Wandnutzung, Instandhaltung/Instandsetzung, Abbau/Abbruch, Abtransport und Weiterverwendung untergliedert. „Durchwandert“ man gedanklich die einzelnen Lebenswegphasen, wird deutlich, dass sich die Betrachtungsrichtungen bezogen auf die tatsächlich stattfindenden Stoff- und Energieflüsse phasenweise verändern. Von der Baustoff- bis zur Wandherstellung wird das Bauteil Außenwand als ein Stück entlang seiner Produktlinie gegen den tatsächlich stattfindenden Stofffluss (up stream) betrachtet. Die während dieser Phasen vorhandenen Stoff- und Energieflüsse dienen der Herstellung des Bauteiles und werden nach dem Prinzip der Stückrechnung bilanziert.

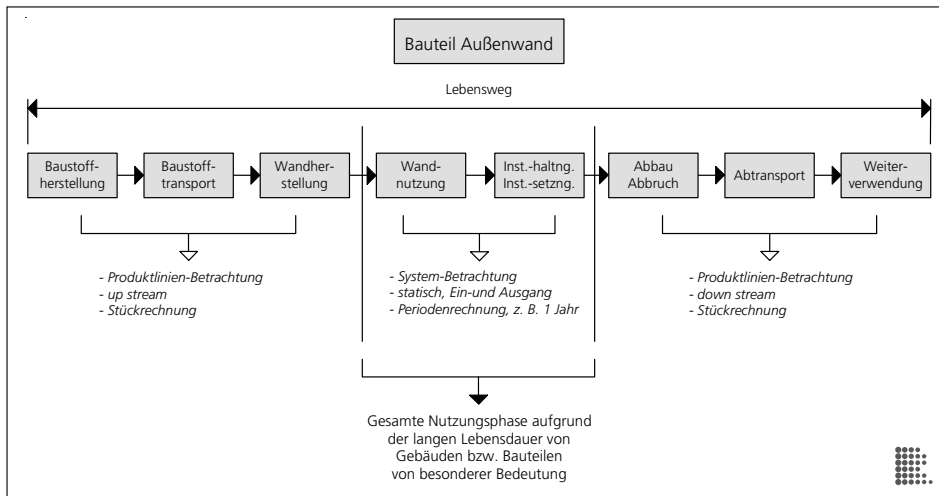


Abb. 10: Lebensweg des Bauteiles Außenwand (Quelle: Eigener Entwurf)

Mit Beginn der Phasen Wandnutzung sowie Instandhaltung/Instandsetzung ist das Bauteil Außenwand als fertiges Produkt vorhanden. Das bedeutet, die zur Herstellung notwendigen Stoff- und Energieflüsse kommen zum „Erliegen“ und werden für den Zeitraum der Nutzung im Produkt vergegenständlicht „zwischenlagert“. Die zur Nutzung des Bauteiles bzw. des Gebäudes erforderlichen Stoff- und Energieflüsse hingegen setzen ein und lassen sich in kontinuierlichen Abständen wiederholt erfassen.

Für die Nutzung erforderliche Stoff- und Energieflüsse ergeben sich grundsätzlich bei Produkten, die, wie Gebäude bzw. Bauteile, gebraucht und genutzt werden. Gebäude müssen beheizt, gereinigt und in regelmäßigen Abständen instand gehalten bzw. instand gesetzt werden. Dabei treten Verbräuche (Stoffe, Energie) und Belastungen (Emissionen<sup>9</sup>) auf. Je nach dem, wie gut oder schlecht die Einzelbausteine des Gesamtsystems Gebäude im Zusammenspiel funktionieren (Gründung, Wände, Decken, Dach, öffnungsschließende Elemente), fallen die Aufwendungen höher oder niedriger aus. Damit wird es notwendig, die Inputs und Outputs der Nutzungsphase von Bauteilen bzw. des Bauteilgefüges Gebäude in die Betrachtungen einzubeziehen und für einen festgelegten Zeitraum (z. B. ein Jahr) in regelmäßigen Abständen wiederholt nach dem Prinzip der Periodenrechnung zu bilanzieren.

<sup>9</sup> Ausgasungen sollten hier ebenfalls berücksichtigt werden. Sie entstehen zwar nicht durch Inputs der Betriebsphase, sondern entstammen meist den „zwischenlagerten“ bauteilentstehungsbedingten Aufwendungen. Sie können aber durch nutzungsbedingte Funktionen (z. B. Heizen) in ihrer Intensität beeinflusst werden.

Nach Beendigung der Nutzungsphase des Gebäudes bzw. des Bauteiles Außenwand ändert sich die Betrachtungsweise wieder. Vom Abbau/Abbruch bis zur Weiterverwendung wird das Bauteil Außenwand erneut als ein Stück entlang seiner Produktlinie, dieses Mal jedoch mit dem tatsächlich stattfindenden Stofffluss (down stream), im Sinne einer Stückrechnung betrachtet.

Im Rahmen der Bestimmung eines spezifischen Bilanzansatzes für Bauteile wird deutlich, dass beide Berechnungsprinzipien, Stück- und Periodenrechnung, zur Anwendung kommen müssen (Abb. 11).

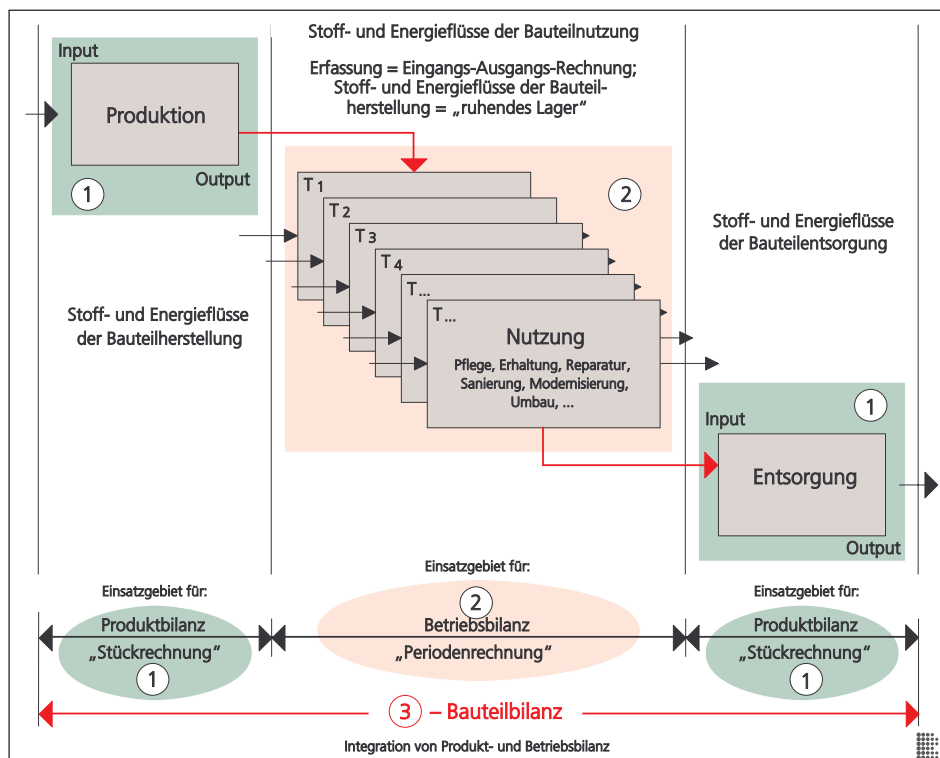


Abb. 11: Spezifischer Bilanzansatz für Bauteile  
(Quelle: Eigener Entwurf)

Aufgrund der langen Lebensdauer von Gebäuden fallen während der Nutzungsphase sowohl Aufwendungen für den Betrieb, z. B. die Heizung, als auch für Pflege-, Instandhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen, z. B. für Reinigung oder Reparatur, an. Diese Aufwendungen haben vor dem Hintergrund funktionaler Anforderungen der Nutzung Bedeutung und müssen hinsichtlich ihrer ökologischen Wirkungen Beachtung finden. Sie sind eher nach dem Prinzip der Periodenrechnung in einer Betriebsbilanz zu erfassen. Die Bilanz für ein Bauteil ist daher keine reine Stückrechnung bzw.

Produktbilanz, sondern sollte vom methodischen Ansatz her stets eine Kombination aus Produkt- und Betriebsbilanz sein. Dabei ist der Begriff Kombination weicher zu interpretieren als die grafische Darstellung assoziiert. Grundsätzlich kommt es darauf an, dass die Aspekte, die aus Perspektive der Betriebsbilanz von Bedeutung sind, in die Produktbilanz einfließen.

## **B Eingrenzung eines spezifischen Bilanzrahmens – methodische Untersuchungen zu Betrachtungsinhalten und -grenzen**

- 1 Problembereiche im Rahmen der Produkt-Ökobilanz
- 2 Spezifik des Bauteiles Außenwand im Kontext planerischer Interessen und Ziele
- 3 Beschreibung des spezifischen Bilanzrahmens

Ökobilanzen haben einen starken Produkt- und Anwenderbezug, aus dem die notwendigen Festlegungen zu Betrachtungsinhalten und -grenzen abgeleitet werden. Darüber hinaus weisen Ökobilanzen als noch recht junge Bewertungsinstrumente eine Vielzahl von konzeptionellen, methodischen und praktischen Problemen auf, die bei der Bestimmung eines geeigneten Bilanzrahmens für Bauteile berücksichtigt werden müssen. Es ist daher notwendig, die grundsätzlichen Probleme, die besonders bei der Bearbeitung der ersten beiden Ökobilanzschritte (Zieldefinition, Sachbilanz) auftreten, zu definieren. Dies wird exemplarisch am Beispiel der Produkt-Ökobilanz durchgeführt. Folgerungen für die Bilanzierung von Bauteilen lassen sich ableiten.

Aufgrund des starken Produkt- und Anwenderbezuges von Ökobilanzen wurden zur Eingrenzung des Betrachtungsrahmens empirische Analysen zur Spezifik des Bauteiles Außenwand sowie zu den Interessen und Zielen der Akteursgruppe Planer durchgeführt. Auf diesen Erkenntnissen aufbauend, ließen sich relevante, funktionale, technische, umwelt- und gesundheitsorientierte sowie ökonomische Lebenswegkriterien definieren. Als Ergebnis wurde ein spezifischer Bilanzrahmen in Form einer lebenswegbezogenen Anforderungsmatrix erarbeitet, mit dessen Hilfe unterschiedliche Varianten eines Bauteiles bilanziert und verglichen werden können.



# 1 Problembereiche im Rahmen der Produkt-Ökobilanz

## 1.1 Zieldefinition

Die Zieldefinition ist der entscheidende Schritt, der die Weichen für den Fortlauf und den Ausgang einer Produkt-Ökobilanz stellt. In ihm werden in einem Abwägungs- und Auswahlprozess, dem so genannten „Scoping“, Ziel und Untersuchungsrahmen der Produkt-Ökobilanz festgelegt. Die Festlegungen sind dabei sowohl vom Betrachtungsgegenstand (Produkt) als auch vom Auftraggeber (Anwender) mit seinen Interessen und Zielen abhängig (Abb. 1).

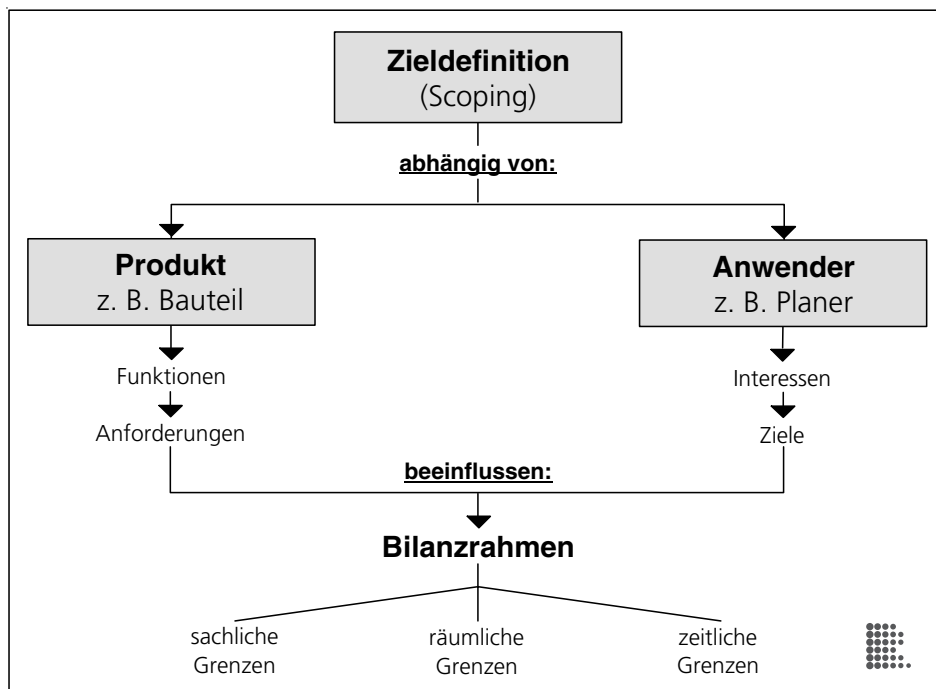


Abb. 1: Einflussgrößen bei der Festlegung des Bilanzrahmens innerhalb der Zieldefinition, des ersten Arbeitsschrittes der Ökobilanz (Quelle: Eigener Entwurf)

Die Erarbeitung einer Produkt-Ökobilanz ist an die Erkenntnisinteressen des Auftraggebers gebunden. D. h., die entsprechenden Untersuchungen erfolgen stets sinn- und zweckorientiert. Dabei können unterschiedliche Hintergründe von Bedeutung sein:

- Aufklärung und Information über das Produkt,
- Analyse von Schwachstellen,
- ökologische Optimierung,
- Politikberatung,
- Werbung.

Als mögliche Zielgruppen der Untersuchungen kommen Verbraucher, Unternehmer, Gewerkschaften, die Politik oder auch die Wissenschaft in Betracht.

Produkt-Ökobilanzen werden mit unterschiedlichen Zielvorstellungen erstellt (bzw. in Auftrag gegeben). Je nach leitender Fragestellung ist auch der Verwendungszweck der Studien unterschiedlich. In der Regel werden sie in zwei Richtungen verwendet. So dienen die Untersuchungen einzelner Produkte der Schwachstellenanalyse, während Analysen von zwei oder mehreren Produkten die Basis für Vergleiche bieten.

Sind die Hintergründe, die Zielgruppen und der Verwendungszweck der Produkt-Ökobilanz dargelegt sowie die Produktgruppe und die konkreten Bilanzobjekte ausgewählt, müssen die **funktionale Äquivalenz** festgelegt und der **Untersuchungsrahmen** sachlich, räumlich und zeitlich abgegrenzt werden. Speziell die Festlegungen zum Untersuchungsrahmen haben erheblichen Einfluss auf den weiteren Verlauf und die Qualität einer Produkt-Ökobilanz und sind bisher noch mit erheblichen Problemen verbunden (Rubik, Teichert 1997). Wo beginnt die Produkt-Ökobilanz und wo endet sie? Komplette Lebenswegbetrachtungen von Produkten, in voller Breite und Länge, sind in der Regel nicht leistbar. Es sind Einschränkungen und Vereinfachungen notwendig, doch „dafür gibt es zumindest derzeit keine exakten methodischen Regelungen“. (Rubik, Teichert 1997, 41)

### **1.1.1 Funktionale Äquivalenz**

Speziell für Vergleiche von zwei oder mehreren, unterschiedlichen Produkten mit gleichem Funktionsziel muss eine Bezugsgröße gefunden werden, die übereinstimmende Rahmenbedingungen schafft und damit diese Vergleiche ermöglicht. Im Fachgebrauch wird in diesem Zusammenhang von der Herstellung der funktionalen Äquivalenz gesprochen. Die funktionale Äquivalenz beschreibt die Gleichwertigkeit von Produkten hinsichtlich des von ihnen zu erfüllenden Nutzens bzw. der von ihnen zu erbringenden Leistung. So wird z. B. bei Gensch u. a. (1993) im Rahmen des „Vergleiches von Transportverpackungssystemen für Gasheizgeräte“ die funktionelle Einheit als Verpackung für den Transport von Gasheizgeräten vom Hersteller zum Endverbraucher/Installateur beschrieben.

Ist die Bestimmung der funktionalen Äquivalenz nicht auf direktem Weg möglich, muss sie kalkulatorisch, über Umrechnungen u. ä., ermittelt werden. Selbst wenn dies teilweise recht kompliziert ist, müssen trotzdem entsprechende Festlegungen

getroffen werden. Ansonsten entstehen „Schieflagen“, die sich durch alle Arbeitsschritte der Produkt-Ökobilanz ziehen und letztendlich auch Einfluss auf die Ergebnisse der Bilanz haben. Es müssen daher gerade für Vergleiche hinsichtlich der Funktionserfüllung übereinstimmende Rahmenbedingungen vorliegen; diese sind nur durch die funktionale Äquivalenz der zur Auswahl stehenden Produkte gegeben.

Im Rahmen der Bestimmung der funktionalen Äquivalenz wird eine Untersuchungs- bzw. Vergleichseinheit, die so genannte Bilanzeinheit, definiert. Die Bilanzeinheit ist die vorrangig in physikalische Einheiten gefasste Widerspiegelung der funktionalen Äquivalenz. Im bereits genannten Beispiel (Gensch u. a. 1993) wurden 1000 verpackte Gasheizgeräte als Bilanzeinheit definiert.

Das Festlegen der funktionalen Äquivalenz und das damit verbundene Ableiten der Bilanzeinheit ist in der Praxis nicht immer so einfach, wie theoretisch beschrieben. So wäre bei Verpackungen ein spezielles Gewicht, z. B. 1 kg unterschiedliches Verpackungsmaterial, sicherlich eine ungeeignete Bilanzeinheit. Eher kommt es darauf an, die Funktion bzw. den Nutzen, den ein Produkt erfüllt, in der Bilanzeinheit zu fassen. So ist sicherlich der Bezug auf 1 kg verpackten Stoff oder 1 l verpackte Flüssigkeit sinnvoller als auf 1 kg des Verpackungsmaterials. Der Bezug auf 1 kg Verpackungsmaterial wird erst dann sinnvoll, wenn den Untersuchungen eine andere Fragestellung zugrunde liegt – nämlich nicht der Vergleich unterschiedlicher Verpackungen für ein bestimmtes Füllgut, sondern der grundsätzliche Vergleich unterschiedlicher Verpackungstoffe.

Um vieles komplizierter wird der Sachverhalt, wenn das zu untersuchende Produkt ein Gebrauchsprodukt ist und kein Verbrauchsprodukt. Dann weitet sich im Allgemeinen der Anspruch auf Funktionserfüllung von der eigentlichen Hauptfunktion auf weitere zusätzliche Funktionen aus. So hat z. B. ein Föhn nicht nur die Funktion des Haaretrocknens zu erfüllen. Er sollte dies zudem in verschiedenen Temperaturbereichen und mit unterschiedlichen Kämmen ermöglichen. Außerdem ist von Bedeutung, wie gut er zu handhaben und zu bedienen ist.

Komplizierter wird die Problematik noch, wenn hinsichtlich des Nutzens bzw. der Funktion nicht nur **eine** zentrale Anforderung an das zu untersuchende Produkt gestellt wird. Das ist der Fall, wenn z. B. eine Verpackung über ihre eigentliche Funktion hinaus aus Werbegründen noch ästhetischen Anforderungen gerecht werden soll oder von ihr hinsichtlich der Lagerung eine gute Stapelfähigkeit gefordert wird. Bei der Betrachtung eines Kühlschranks oder einer Waschmaschine kommen Aspekte wie die Handhabbarkeit oder die Reparaturfreundlichkeit hinzu; bei der Betrachtung von Bauteilen oder kompletten Gebäuden scheint der Pool an Forderungen eher unüberschaubar. Vor allen Dingen gilt es, aus dem Pool der möglichen Anforderungen die relevantesten in der Bilanzeinheit festzuschreiben.

Es wird deutlich: Je anspruchsvoller das zu untersuchende Produkt ist, d. h. je mehr Anforderungen an das zu untersuchende Produkt gestellt werden, umso größer ist die Palette der Aspekte, die bei der Ableitung der Bilanzeinheit eine Rolle spielen könnten. Werden sowohl quantitative als auch qualitative Aspekte als Haupt- oder Zusatzfunktionen ungleich berücksichtigt, ist das Prinzip der funktionalen Äquivalenz nicht mehr gegeben und Bilanzergebnisse können verzerrt werden. Für Produkte mit gleicher Funktionserfüllung sollte daher in Rückkopplung mit den Zielgruppen der Bilanzanwendung eine einheitliche funktionale Äquivalenz einschließlich der entsprechenden Bilanzeinheit abgeleitet werden, damit Produktvergleiche stets auf Basis übereinstimmender Rahmenbedingungen erfolgen können.

### **Folgerungen für die Bauteilbilanz**

Das Bauteil Außenwand ist kein Verbrauchsprodukt, sondern ein Gebrauchsprodukt, das fortlaufend genutzt wird. Dadurch ist auch der Pool an Forderungen, die an Außenwände gestellt werden, breit. Neben der Erfüllung von so genannten Mindestanforderungen (Hauptfunktionen) wie Gewährleistung der Standsicherheit oder die Einhaltung des Wärmeschutzes ist der Gebrauch einer Außenwand an weitere Nutzungsanforderungen gebunden. Wie die Analyse zu Bauteilanforderungen zeigte, ist die Palette der Qualitätseigenschaften, die bei der Auswahl geeigneter Außenwandkonstruktionen eine Rolle spielt, breit. Kostenaspekte spielen eine Rolle. Fragen nach der Haltbarkeit und Lebensdauer ergeben sich bei der Prüfung des Verhaltens der Außenwand gegenüber Feuchte, Wärme, Kälte oder Chemikalien. Auch ästhetische Anforderungen dürfen nicht vernachlässigt werden, beeinflussen doch Farbe, Struktur und Textur die Schönheit von Fassaden und tragen damit zur Identifikation mit dem Gebäude bei.

Aus der breiten Palette der Haupt- und Nebenanforderungen, die an Außenwände gestellt werden, wird deutlich, dass die funktionale Äquivalenz und dementsprechend die Bilanzeinheit einer Außenwand nicht einfach nur 1 m<sup>2</sup> Außenwand sein kann, sondern dass diese 1 m<sup>2</sup> große Außenwand mit den für das Bauteil geltenden Mindestanforderungen gekoppelt werden muss. Die Mindestanforderungen lassen sich auf Basis gesetzlicher Regelungen aus Verordnungen und technischen Regelwerken ableiten. Die über diese Mindestanforderungen hinaus gehenden Aspekte sind vor dem Hintergrund des Bilanzinteresses der Anwender zu definieren.

Den Mindestanforderungen des Wärme-, Feuchte-, Brand- und Schallschutzes sowie der Standsicherheit entsprechend sollte die funktionale Äquivalenz und damit die Bilanzeinheit für das Bauteil Außenwand wie folgt definiert werden:

1 m<sup>2</sup> Außenwand mit den Parametern:

- Wärmeschutz:  $k \leq 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$  (WSchVO 1995, Bauteilverfahren; DIN 4108)
- Feuchteschutz: Tauwasserfreiheit bzw. Gewährleistung des Austrocknens (DIN 4108)
- Brandschutz: mindestens F 30 (DIN 4102)
- Schallschutz:  $\geq 30$  bis 50 dB (DIN 4109)
- Standsicherheit: muss gegeben sein (Nachweis entsprechend Baumaterial).

Auf Basis dieser funktionalen Äquivalenz bzw. Bilanzeinheit lassen sich unterschiedliche Wandkonstruktionen hinsichtlich ihrer ökologischen Wirkungen miteinander vergleichen.

Obwohl nur die Mindestanforderungen in die Bestimmung der funktionalen Äquivalenz eingehen, sind die darüber hinausreichenden funktionalen Bauteilanforderungen für Produktvergleiche keinesfalls unbedeutend. Durch die Beschreibung weiterer funktionaler Aspekte wie z. B. Haltbarkeit, Reparaturfreundlichkeit, Wärmebrückenrisiko oder Fassadengestaltung lassen sich Unterschiede zwischen verschiedenen Außenwandkonstruktionen feststellen. Auf Basis dieser funktionalen Aspekte werden die Konstruktionen hinsichtlich ihrer funktionalen Eigenschaften weiter und konkreter beschrieben, sodass trotz „anfänglicher“ Gleichheit, gegeben durch die Einhaltung der funktionalen Äquivalenz, auch qualitative Differenzen der Bauteilvarianten deutlich gemacht werden können.

### 1.1.2 Untersuchungsrahmen

Da Produkt-Ökobilanzen den Anspruch erheben, die von einem Produkt ausgehenden Umweltwirkungen lebenswegbezogen abzubilden, ist die Komplexität der mit ihnen in Verbindung stehenden Aussagen und Informationen groß. Um diese Komplexität auf ein handhabbares Maß zu reduzieren, muss ein Untersuchungsrahmen definiert werden, der die zu analysierenden Sachverhalte auf das Wesentlichste eingrenzt.

#### **Sachliche Eingrenzung**

Die sachliche Eingrenzung des Untersuchungsrahmens erfolgt in zweierlei Hinsicht. Zum einen wird der Lebensweg des zu untersuchenden Produktes durch Festlegung so genannter Lebenswegphasen eingegrenzt; zum anderen beziehen sich die Eingrenzungen auf die in den einzelnen Lebenswegphasen zu untersuchenden Aspekte und Indikatoren. Diese werden als Lebenswegkriterien bezeichnet.

Der Lebensweg von Produkten lässt sich aufgrund seiner hohen Komplexität kaum vollständig untersuchen. In der Regel können schon Anfang und Ende des Lebens-

weges nicht eindeutig definiert werden. Wo fängt z. B. der Lebensweg eines Hauses an, beim Bau des Hauses auf der Baustelle, bei der Herstellung der Baustoffe und Bauteile oder schon beim Abbau der Rohstoffe? Oft beeinflussen Daten- oder Zeitmangel die Ausgrenzung und Untersuchbarkeit einzelner Lebenswegphasen, obwohl in erster Linie die sachliche Bedeutung der jeweiligen Lebenswegphase darüber entscheiden sollte. Für Produkte der gleichen Produktart sind stets gleiche Lebenswegphasen zu definieren. Wird mit jeweils anders definierten Lebenswegfestlegungen operiert, sind die sich ergebenden Bilanzergebnisse nur bedingt miteinander vergleichbar. So kann z. B. ein Ziegelbau, bei dem die Nutzungsphase im Lebensweg nicht berücksichtigt wird, eine günstigere Energiebilanz aufweisen als eine gedämmte Holzrahmenkonstruktion, bei der diese mit in die Berechnungen eingegangen ist. Lebenswegeingrenzungen müssen deshalb sachlich begründet und vor allen Dingen transparent dargestellt sein.

Die einzelnen Lebenswegphasen werden anhand von relevanten Lebenswegkriterien analysiert und beschrieben. Dabei durchlaufen die zu untersuchenden Kriterien hinsichtlich ihrer Konkretisierung einige Stufen. Zu Beginn „stehen“ übergeordnete Kategorien, die in der Regel den „üblichen“ Input- und Outputströmen entsprechen. Die übergeordneten Kategorien sind mit Kriterien, die häufig auch als Aspekte bezeichnet werden, untersetzt und durch geeignete Indikatoren operationalisiert. So lässt sich beispielsweise die Kategorie Emissionen in die Kriterien Luft-, Boden- oder Wasseremissionen einteilen. Die Luftemissionen wiederum lassen sich anhand der Indikatoren Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoff, Schwefeldioxid, Stickoxide oder Staub beschreiben.

Obwohl aus methodischer Sicht beschrieben wird, dass jeweils relevante Kriterien durch geeignete Kategorien, Kriterien bzw. Aspekte und Indikatoren zu untermauern sind, unterliegt die konkrete Bestimmung dieser Größen trotzdem subjektiven Einflüssen. Dies führt speziell im Rahmen von vergleichenden Produkt-Ökobilanzen zu Unsicherheiten, da die zu untersuchenden Größen vom Bilanzbearbeiter bestimmt werden.

„Derzeit gibt es keinen Kanon mindestens zu erhebender Kriterien und Indikatoren. Daraus ergibt sich das Problem, dass die Ergebnisse von Produktbilanzen zum gleichen Thema nur bedingt miteinander verglichen werden können.“ (Rubik, Teichert 1997, 67)

Damit wird deutlich, dass die Auswahl und Bestimmung der zu untersuchenden Größen, von der Kategorie bis zum Indikator, noch mit Unsicherheiten verbunden sind. Es gibt aber eine Reihe von Aktivitäten, die auf die Lösung dieser Problematik zielen. So wurden von einigen Institutionen Vorschläge erarbeitet, welche Lebenswegkriterien in Produkt-Ökobilanzen mindestens berücksichtigt werden sollten (Tab. 4).

Tab. 4: Vorschläge für Lebenswegkriterien  
(Quelle: Eigene Zusammenstellung nach UBA-Texte 38/92)

| Institution            | Vorschläge für mindestens zu berücksichtigende Umweltkategorien   |
|------------------------|---|
| „Data Format“ der REPA | Rohstoffe, Wasser, Energie der Materialressource, Prozessenergie, Transportenergie, atmosphärische Emissionen, wassergebundene Abfälle, feste Abfälle   |
| Fraunhofer-Institut    | <u>Input:</u><br>Primärenergieeinsatz, Rohstoffverbrauch, Wasserbedarf<br><u>Output:</u><br>Emissionen in Luft, Einleitungen in Wasser, Deponieraumbelegung   |
| Schweiz (BUWAL)        | <u>Ökoprofile:</u><br>Energieäquivalenzwert, kritische Luftmenge, kritische Wassermenge, feste Abfälle<br><u>Ökofaktoren:</u><br>Luft, Wasser, Energie, Abfall  |
| UBA                    | <u>bilanzgrenzenüberschreitend, Input:</u><br>Stoffe/Materialien, Energie(träger), Wasser, Flächen<br><u>bilanzgrenzenüberschreitend, Output:</u><br>Stoffe/Materialien, Fläche, Wasser(qualität), Lärm, Strahlung, Abwärme<br><u>bilanzraumintern (vom vorgeschalteten zum nachgeschalteten Modul):</u><br>Stoffe/Materialien, Dienstleistungen, Energie |

Es wird deutlich, dass die Lebenswegkriterien Rohstoffe, Energie, Wasser, Emissionen und Abfälle von allen Institutionen genannt werden und damit in jeder Produkt-Ökobilanz mindestens berücksichtigt werden sollten. Andere Kriterien wiederum wie Deponievolumen, Fläche, Lärm, Strahlung oder Abwärme werden vereinzelt genannt. Hinsichtlich ihrer notwendigen Einbeziehung besteht noch Diskussionsbedarf.

Im Rahmen der Diskussion zu Lebenswegkriterien steht grundsätzlich die Frage, welche Arten der Umweltbeeinflussung aus welchem Grund in die Produktbilanz eingehen sollten und welche nicht. Dabei spielt auch eine Rolle, ob die entsprechenden Beeinflussungen input- oder outputseitig von Bedeutung sind bzw. ob sie direkt oder indirekt wirken. Bisher werden vorrangig direkte und indirekte Umweltbeeinflussungen aufgenommen. Doch inwieweit wirken sich Transportaufwendungen der Arbeiter, um an ihren Arbeitsort zu kommen, oder die in der Verwaltung anfallenden Stoff- und Energieaufwendungen auf die Umweltbilanz eines Produktes aus? Sind die Nutzung von Sachkapital und menschliche Tätigkeiten außerhalb der Produktionsprozesse zu beachtende Einflussgrößen?

Genauso unklar ist der Umgang mit Vorketten oder Wirkungen, die sich erst relativ spät (z. B. lange nach der Produktproduktion oder -nutzung) zeigen. Die vollständige Untersuchung des Lebenszyklus' von Produkten ist hinsichtlich der vorliegenden Komplexität eher eine Fiktion als machbar. Die Produktlinie lässt sich mit einem Baum

vergleichen (Wagner 1992), der in seinen Wurzeln und Ästen beschnitten werden muss, um bearbeitet werden zu können.

„Um den Bilanzraum überschaubar zu halten, sollte die Zahl der zu betrachtenden Phasen und Module auf ein sachgerechtes und operationales Maß reduziert werden. Dies sollte in Abhängigkeit vom Untersuchungsumfang erfolgen, der zur Beantwortung der zu bilanzierenden Fragestellungen und der Erkenntnisinteressen im Rahmen einer Ökobilanz erforderlich ist.“ (Enquete-Kommission 1993, 92)

Doch das Reduzieren der Produktlinie auf die relevanten Sachverhalte ist noch immer mit großen Unsicherheiten verbunden. Um diesen Reduktionsprozess einheitlich durchführen zu können, ist es sinnvoll, so genannte Abschneidekriterien zu definieren.

„Es sollte angegeben werden, welche Systembausteine berücksichtigt worden sind und welche nicht. Die Abschneidekriterien sollten mit einer Sensitivitätsanalyse gekoppelt sein, die den Einfluß auf das Gesamtsystem deutlich macht; sie sollten beim Vergleich verschiedener Produkte das Symmetrieprinzip wahren. Und sie sollten offengelegt und fachwissenschaftlich begründet werden.“ (Enquete-Kommission 1993, 92)

Die Diskussion um Abschneidekriterien ist eine breite. Viele Beispiele liegen vor, und es gilt in der weiteren Diskussion einen gewissen Konsens zu erreichen.

Abschneidekriterien lassen sich kaum vereinheitlichen. Es ist deshalb wichtig, dass die durch Abschneidekriterien vorgenommenen Vereinfachungen und Ausgrenzungen ausreichend deutlich gemacht und entsprechend dokumentiert werden. Trotzdem liegen im Rahmen der Ökobilanzdiskussion Aussagen zu Abschneidekriterien vor. Als Beispiel sind dabei die Vorschläge von Rubik, Teichert (1997) sowie der Enquete-Kommission (1993) zu nennen (Tab. 5).

Abschneidekriterien können im Rahmen der Einschränkungen und Vereinfachungen des Untersuchungsrahmens nur eine Hilfe sein. Sie lassen sich nicht eindeutig festlegen, sondern variieren je nach Bilanzart, Bilanzgegenstand und Bilanzinteresse. Sie müssen deshalb, einschließlich der durch sie erreichten Eingrenzungen und Vereinfachungen, transparent dargestellt werden.

### **Räumliche Eingrenzung**

Verlässliche Bilanzaussagen können für einen bestimmten Raum nur getroffen werden, wenn dieser auch für die Untersuchungen definiert wurde. Je größer dabei das zu untersuchende Gebiet ist, umso größer gestaltet sich auch der Aufwand, entsprechende Daten zu ermitteln. Sowohl der hohe Aufwand als auch das Problem, dass Daten zum Teil nur sehr unscharf ermittelt werden können, führen bei Produkt-Öko-



Tab. 5: Vorschläge für Abschneidekriterien

(Quelle: Eigene Zusammenstellung nach Enquete-Kommission 1993, 92; Rubik, Teichert 1997, 70)

|  |
|--|
| <p><u>Enquete-Kommission (1993, 92)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ausschluss von Lebenslaufphasen, die bei einem Vergleich mit anderen Produkten keine signifikanten Unterschiede erwarten lassen</li> <li>– Ausschluss von Phasen, zu denen keine Informationen bzw. Daten vorliegen oder beschaffbar sind</li> <li>– Ausschluss von Stoffströmen von nachrangiger Bedeutung</li> <li>– Ausschluss von Betriebsmitteln und Infrastrukturmaßnahmen</li> </ul>   |
| <p><u>Rubik, F.; Teichert, V. (1997, 70)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ausschluss von Umweltbeeinflussungen durch Nutzung von Sachkapital und durch menschliche Tätigkeiten nur dann, wenn ihr Anteil an den Input- und Outputströmen sehr gering ist</li> <li>– Rückverfolgung der Umweltbeeinflussungen von Hilfs- und Betriebsstoffen nur bis zu deren Herstellung</li> <li>– Evtl. Ausschluss der Mitwelt (Tiere, Pflanzen)</li> <li>– Ausschluss von Umweltbeeinflussungen, die nach derzeitigem Kenntnisstand nur geringe Veränderungen der Umweltqualität bedingen</li> <li>– Gleichartige Umweltbeeinflussungen können zusammengefasst werden</li> <li>– Ausschluss von identischen und Konzentration auf unterschiedliche Umweltbeeinflussungen bzw. einzelne Lebenszyklusphasen beim Vergleich mehrerer Produkte möglich</li> </ul> |

bilanzen zur Orientierung auf allgemeingültige, räumlich unabhängige Daten. Verständlicher wird dieser Trend noch, wenn man sich die Beschreibung des Lebensweges eines Produktes als „Produktbaum“ nach Wagner (1992) verdeutlicht. Die Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Produkten kann mit einer Vielzahl von Vor-, Haupt- und Neben-Produktionsketten gekoppelt sein. Diese sind wiederum an eine Vielzahl unterschiedlicher Orte und Regionen gebunden, sodass ein räumliches Eingrenzen fast unmöglich ist.

Unterstützt wird diese Tendenz der „räumlichen Unabhängigkeit“ noch durch die Tatsache, dass sich die zurzeit hauptsächlich verwendeten Kategorien der Wirkungsbilanz auf globale und nicht auf räumlich spezifische Umweltprobleme beziehen (Treibhauseffekt, Ozonabbau, ...). Es besteht damit Klärungsbedarf, wann eine scharfe räumliche Begrenzung notwendig ist und wann mit räumlich unabhängigen Daten operiert werden sollte.

Um diese Fragen beantworten zu können, wurde eine Analyse von Ökobilanzen unterschiedlicher Produkte und Produktarten durchgeführt. Grundlage für diese Untersuchungen waren die im Auftrag des UBA vom IÖW erarbeiteten Standardberichtsbögen für ausgewählte Produkt-Ökobilanzen (UBA 1995). Durch die Analyse speziell des geographischen Bilanzraumes wurde deutlich, dass konkrete geographische Eingrenzungen bei Produkt-Ökobilanzen nur selten getroffen werden. Sind Angaben zum geographischen Bilanzraum vorhanden, dann vorrangig mit dem Hinweis, dass sich die zusammengestellten Daten auf das Land beziehen, in dem das

Produkt hergestellt wird (z. B. BRD, Schweiz). Werden hingegen keine Angaben zum geographischen Bilanzraum gemacht und ist dieser auch nicht aus den Bilanzunterlagen entnehmbar, werden Annahmen getroffen, die im Allgemeinen von einem Landesbezug der Daten ausgehen.

Grundsätzlich wird deutlich, dass Produkt-Ökobilanzen vorrangig mit räumlich unabhängigen Daten durchgeführt werden. Der Lebensweg von Produkten ist so stark verästelt und verzweigt, dass es nicht möglich ist, eindeutige räumliche Grenzen zu ziehen. Produkt-Ökobilanzen werden daher meist auf Basis nationaler Daten erstellt.

### **Zeitliche Eingrenzung**

Das Festlegen eines zeitlichen Rahmens wird häufig unterschätzt. Es ist jedoch von besonderer Bedeutung, da mehrere unterschiedliche Sachverhalte Einfluss auf die Bilanzzeit haben. Unterschiedliche Sachverhalte bedingen unterschiedliche zeitliche Eingrenzungen. Es ist deshalb wichtig, dass in den Festlegungen zur Bilanzzeit deutlich wird, auf welchen Sachverhalt sich die zeitlichen Eingrenzungen jeweils beziehen.

Dabei sind folgende Sachverhalte zu unterscheiden:

- Erfassungszeitraum der Daten (z. B. Daten von 1996 oder Daten der 80er Jahre),
- Nutzungszeitraum des Produktes (Nutzungsphase z. B. 20 Jahre),
- Betrachtungszeitraum der Wirkungen (z. B. Wirkungen in 100 Jahren).

Im Allgemeinen wird bei der Beschreibung des zeitlichen Untersuchungsrahmens von Produkt-Ökobilanzen vorrangig der Erfassungszeitraum der Daten benannt. Die Ursache dafür zu nennen, ist schwierig, und sicherlich darf die „Entstehungsgeschichte“ der Ökobilanzen dabei nicht außer Acht gelassen werden. Bereits in den 80er Jahren wurde damit begonnen, Produkt-Ökobilanzen zu erstellen, meistens aber für so genannte Verbrauchsprodukte (z. B. Verpackungen). Da die Nutzungsphase von Verbrauchsprodukten relativ kurz ist und von ihr in der Regel keine nutzungsbedingten umweltrelevanten Wirkungen ausgehen, sind Angaben zum Nutzungszeitraum für das Ergebnis der Bilanz wenig von Bedeutung. Wichtig dagegen ist der Erfassungszeitraum der Daten für die gesamten Herstellungs- und Entsorgungsprozesse des Produktes, da konkrete Jahresangaben und Zeitabschnitte auf den jeweiligen Stand der Technik in den einzelnen Produktionsbereichen schließen lassen.

Anfang der 90er Jahre stieg das Interesse, auch Verbrauchsprodukte zu bilanzieren. Besonders im Bereich der Baumaterialien erhöhte sich die Anzahl erstellter Produkt-Ökobilanzen. Da Verbrauchsprodukte nach ihrer Herstellung eine mehr oder weniger lange Nutzungsphase durchlaufen, reichen Angaben allein zum Erfassungszeitraum von Daten nicht mehr aus. Durch den Gebrauch der Produkte entstehen in der

Nutzungsphase umweltrelevante Wirkungen, die, je nach Länge dieses Zeitraumes, in einem unterschiedlichen Ausmaß vorliegen und dementsprechend mehr oder weniger Einfluss auf den Ausgang der Bilanz haben können. In Ökobilanzen für Gebrauchsprodukte sollte daher der Nutzungszeitraum des Produktes mit berücksichtigt und entsprechend eingegrenzt werden. Dies wird in der Praxis bereits getan. Vor allem im Baubereich werden kaum noch Bilanzen ohne Angaben der Nutzungsdauer für Baustoffe und Bauteile erstellt, die Nutzungsdauer wird dabei meist mit der Lebensdauer gleich gesetzt.

Die Angaben zur Nutzungsdauer sind innerhalb einer Baustoff- bzw. Bauteilgruppe nicht immer gleich. So lassen z. B. Ökobilanzen für Fenster, die die Nutzungsdauer der Fenster mit 20 Jahren angeben, nicht direkt mit denen, die von 40 oder 50 Jahren Nutzungsdauer ausgehen, vergleichen. An dieser Stelle besteht noch ein erheblicher Diskussions- und Forschungsbedarf. Es muss geklärt werden, ob die Nutzungsdauer von Baustoffen und Bauteilen stets ihrer eigentlichen Lebensdauer entspricht oder inwieweit die Nutzungsdauer von Gebäuden eine realistischere Bezugsgröße ist. Für konkrete Produkte ist daher festzulegen, welcher Nutzungszeitraum dem Produkt entsprechend der realistischste ist. Denn nur auf Basis eines einheitlichen Nutzungszeitraumes sind Symmetrieverhältnisse bei Vergleichen gegeben.

Von ebenfalls großer Bedeutung ist die Festlegung des Betrachtungszeitraumes der Wirkungen. Der als Betrachtungszeitraum gewählte Zeithorizont hat maßgeblichen Einfluss auf die in der Wirkungsbilanz abgeleiteten Umweltwirkungen. Ist er zu kurz gewählt, kann es sein, dass Umweltbelastungen, die relativ spät ihre Wirkungen zeigen, nicht mehr berücksichtigt werden. Wird er zu lang bemessen, ist es möglich, dass aufgrund von Annahmen und Hochrechnungen die Ergebnisse der Bilanz eventuell nicht mehr akzeptiert werden. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass sich die Proportionen hinsichtlich des Ausmaßes von Wirkungen zeitabhängig verschieben. So ist beispielsweise das relative Treibhauspotential von Fluorchlorkohlenwasserstoff R22 (FCKW R22) im Vergleich zu Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) nach 500 Jahren achtmal geringer als nach 20 Jahren (Enquete-Kommission 1993, 93).

Wie vorab erläutert, lässt sich der Betrachtungszeitraum der ökologischen Wirkungen aufgrund einer Reihe von Unsicherheiten bisher nur schwer definieren. Trotz der noch nicht beendeten Diskussion um diese Problematik sollte darauf geachtet werden, dass der Betrachtungshorizont so bemessen ist, dass Wirkungen ihrer Bedeutung und ihrem Umfang entsprechend abgebildet und eingeschätzt werden können.

### **Folgerungen für die Bauteilbilanz**

Über die funktionale Äquivalenz hinaus lassen sich Bauteile durch weitere funktionsbezogene Aspekte wie z. B. Haltbarkeit, Reparaturfreundlichkeit oder Wärmebrückenrisiko beschreiben und einschätzen. Diese Aspekte sind dabei nicht nur innerhalb des Aspektbereiches „Funktion“ geeignet, unterschiedliche Qualitäten hin-

sichtlich der Funktionserfüllung abzubilden, sondern haben auch im Aspektebereich „Umwelt“ sekundäre Wirkungen. So führt eine geminderte Funktionserfüllung im Allgemeinen zu einem zusätzlichen Reparaturbedarf und damit zusätzlichen Ressourcenverbräuchen. Der sachliche Rahmen einer Bauteilbilanz sollte daher durchaus funktionsbezogene Lebenswegkriterien enthalten, selbst wenn diese vorrangig für die Nutzungsphase von Bedeutung sind.

Hinsichtlich der vergleichenden Beurteilung unterschiedlicher Varianten eines Bauteiles spielen örtliche Gegebenheiten eher eine untergeordnete Rolle. Da die Vor- und Nachteile eines Bauteiles stärker von den Konstruktionsprinzipien und verwendeten Baustoffen geprägt werden, ist das Setzen von räumlichen Bilanzgrenzen weniger von Bedeutung. In diesem Sinne wird nach dem Prinzip der „räumlichen Unabhängigkeit“ verfahren, und nationale Daten kommen zum Einsatz.

Da Bauteile Gebrauchsprodukte sind, müssen beim Setzen zeitlicher Grenzen sowohl der Erfassungszeitraum der Daten als auch die Nutzungsdauer des Bauteiles berücksichtigt werden. Der Nutzungsdauer des Bauteiles kommt dabei besondere Bedeutung zu. Da Bauteile in Gebäude integriert sind und Gebäude im Allgemeinen eine lange Lebens- und Nutzungsdauer haben – man kann von ca. 100 Jahren ausgehen –, sollte sich die Nutzungsdauer eines Bauteiles daran orientieren. Hinsichtlich des Erfassungszeitraumes der Daten ist daher die Lebens- und Nutzungsdauer eines kompletten Gebäudes als Maß für die Nutzungsdauer von Bauteilen durchaus sinnvoll. Hinsichtlich des Erfassungszeitraumes der Daten ist darauf zu achten, dass die Bilanz mit möglichst aktuellen Daten durchgeführt wird. Aktuelle Daten spiegeln den gegenwärtigen Stand der Technik wider und werden aus Sicht der Betrachter von der Öffentlichkeit eher akzeptiert.

## **1.2 Sachbilanz**

### **1.2.1 Input- und Outputgrößen in der Sachbilanz**

In der Sachbilanz werden systemrelevante Input- und Outputgrößen erfasst und in Form von Sachdaten gesammelt und quantifiziert. Die Input- und Outputgrößen beziehen sich dabei im Allgemeinen auf Ressourcen sowie Emissionen in Luft, Wasser und Boden. Detailliertere Aussagen zu konkreten Ressourcen- und Emissionsgrößen ergeben sich aus den in der Zieldefinition der Studie getroffenen Festlegungen. Somit zeigen sich bei der Erfassung von Sachbilanzdaten über allgemeingültige Festlegungen hinaus im Detail durchaus Unterschiede. Die Analyse unterschiedlicher Standardberichtsbögen für Produkt-Ökobilanzen macht das deutlich.

Standardberichtsbögen sind Formulare, die die einzelnen Arbeitsschritte einer Produkt-Ökobilanz hinsichtlich ihrer konkreten Inhalte nach einem festgelegten Muster hinterfragen und dokumentieren. Sie dienen damit nicht nur der vollständigen Ab-

bildung der behandelten Inhalte einer Ökobilanz, sondern deuten auch darauf hin, welche Informationen und Aussagen enthalten sein sollten.

In den letzten Jahren gab es eine Reihe von Aktivitäten, Standardberichtsbögen bzw. Abfrageformulare für die Erfassung von Produkt-Ökobilanzen zu entwickeln. Der Standardberichtsbogen, der der Grundstruktur der Produkt-Ökobilanz nach ISO 14040 am ähnlichsten ist, wurde vom IÖW im Auftrag des UBA erarbeitet (UBA 1995). Er ist aus sechs Abfragekomplexen aufgebaut, wobei die Komplexe zwei bis fünf den Ökobilanzschritten Zieldefinition, Sachbilanz, Wirkungsbilanz und Bilanzbewertung entsprechen, hingegen unter den Komplexen eins und sechs allgemeine Angaben sowie kritische Anmerkungen aufzuführen sind. Die Betrachtung der jeweils unter dem Komplex Sachdaten aufgeführten Inhalte macht deutlich, dass über die Aussagen zu Rohstoffen, Energie und Emissionen in Luft, Wasser und Boden hinaus auch Informationen zu Lärm, Erschütterungen, Strahlung oder zur Landschaft abgefragt werden. Neben den akzeptierten „Pflichtgrößen“ werden demnach je nach Interessenlage der Bearbeiter bzw. Anwender noch zusätzliche unterschiedliche umweltrelevante Sachverhalte, so genannte „Kürgrößen“, aufgeführt (Tab. 6).

Tab. 6: Untersuchungsinhalte der Sachbilanz  
(Quelle: Eigene Zusammenstellung nach UBA 1995, Texte 24/95)

| Database LCA – studies (Norwegen)   | Deklarationsblatt der Koordinierungsstelle des Bundes (Schweiz)  | Standardberichtsbogen für produktbezogene Ökobilanzen (BRD)  |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ursprung der Daten</li> <li>– Repräsentativität</li> <li>– einbezogene Rohstoffe</li> <li>– Hauptenergiequellen</li> <li>– Hauptemissionen in Luft, Wasser, Boden</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Energie</li> <li>– Luft und Abluft</li> <li>– Wasser und Abwasser</li> <li>– Boden</li> <li>– Weitere Auswirkungen: Lärm, Erschütterungen, Landschaft, Strahlung</li> </ul> | Inputströme: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Rohstoffverbrauch</li> <li>– Verbrauch an Hilfs- und Betriebsstoffen</li> <li>– Energieverbrauch</li> <li>– Wasserverbrauch</li> <li>– Bodenbeanspruchung</li> <li>– Qualitative Aspekte</li> <li>– Sonstige Aspekte</li> </ul> Outputströme: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Kuppelprodukte</li> <li>– Verwertbare und zu beseitigende Abfälle</li> <li>– Luftemissionen</li> <li>– Wasseremissionen</li> <li>– Schall</li> <li>– Qualitative Aspekte</li> <li>– Sonstige Aspekte</li> </ul> |

Die Diskussion, inwieweit diese Größen bei der Bilanzierung zu berücksichtigen sind oder nicht, ist noch nicht abgeschlossen. Es empfiehlt sich daher, vor Beginn einer Bilanzierung produktbezogen zu prüfen, ob es neben den „Pflichtgrößen“ weitere umweltrelevante Größen gibt, die Berücksichtigung finden sollten.

### **1.2.2 Methodische und datenbezogene Probleme**

Neben der Fragestellung, welche Aspekte bei der Bilanzierung von Produkten zu berücksichtigen sind, ist der Ökobilanzarbeitsschritt Sachbilanz noch mit weiteren Problemen verbunden. Sachdaten für Produkte lassen sich oft nicht direkt erheben, sondern müssen im Allgemeinen auf Basis von Prozess- und Betriebsdaten abgeleitet und berechnet werden. Diese Berechnungen stoßen sowohl auf methodische als auch datenbezogene Probleme.

#### **Methodische Probleme**

Eines der methodischen Probleme ist der Umgang mit Kuppelprodukten. Kuppelprodukte sind Produkte, die gleichzeitig bei der Herstellung des Hauptproduktes technisch-stofflich unvermeidbar entstehen und wirtschaftlich jeweils für sich verwertbar sind. Ist der Lebensweg eines Produktes mit Kuppelprodukten verbunden, so stellt sich automatisch die Frage, wie die Input- und Outputströme, die primär dem Lebensweg des Hauptproduktes entstammen, zuzuordnen sind (Allokationsprobleme).

Normalerweise müssen entstehende Umweltbeeinflussungen, d. h. Teile von Input- und Outputströmen, auf Kuppelprodukte verteilt werden. Für die Verteilung der Umweltbeeinflussungen auf die entsprechenden Kuppelprodukte gibt es verschiedene Zurechnungsverfahren. Jedoch unterscheiden sich diese je nach Zurechnungsbasis (Gewicht, Energieinhalt, Preis) teilweise stark voneinander, und einen Konsens über „das“ optimale eindeutige Verfahren gibt es nicht.

Des Weiteren gibt es auch keine konkreten Festlegungen und Regeln bei der Wahl der Energie- sowie der Verwertungs- und Entsorgungsmodelle.

Die Erzeugung, Umwandlung und Nutzung von Energie ist stets mit der Freisetzung von Emissionen verbunden. Art und Ausmaß dieser Emissionen hängen dabei stark von der Energieerzeugungsstruktur des jeweils betrachteten Systems ab. So lässt sich teilweise erklären, dass die Ergebnisse von Ökobilanzen für gleiche Produkte in unterschiedlichen Regionen bzw. Ländern verschieden sind. Es ist daher wichtig, das Energiemodell dem Betrachtungsrahmen entsprechend zu wählen und zu benennen.

Die Wahl geeigneter Verwertungs- und Entsorgungsmodelle wirft die Frage der „Rucksäcke“ und „Gutschriften“ auf. Welches Produkt oder welcher Prozess erhält eine Gutschrift im Sinne einer Stoff- oder Energieeinsparung bzw. einen „Rucksack“ im Sinne z. B. einer Emissionsbelastung? Über diese Zuordnung von Gutschriften und Belastungen bestehen im Rahmen der Allokationsdiskussion noch keine eindeutigen Vereinbarungen.

Weitere Probleme zeigen sich bei der Festlegung von Nutzungszeiten. Wie oft gehen z. B. Mehrweg-Flaschen zur Getränkeverpackung gegenüber dem Einweg-Teetrapack in den Umlauf, oder wie viele Instandhaltungszyklen müssen bei Holz-

fenstern im Vergleich zu Kunststoff-Fenstern berücksichtigt werden? Aussagen zu solchen zeitbezogenen Festlegungen liegen nicht vor, sondern werden produkt- und interessenbezogen festgelegt.

Auch Annahmen zum Nutzerverhalten oder zu eingesetzten Transportsystemen werfen Probleme auf, die Unsicherheiten in die Bilanzierung bringen und im Rahmen der Methodendiskussion noch geklärt werden müssen.

### **Datenprobleme**

Datenprobleme werden vorrangig bei der Betrachtung der Aspekte

- Verfügbarkeit,
- Repräsentativität,
- Qualität und
- Aktualität

deutlich.

Daten für Produkte stehen meist nicht unmittelbar zur Verfügung. Sie müssen im Allgemeinen anhand von Prozessen und Betriebsabläufen erhoben und berechnet werden. Die Erhebung betriebsrelevanter Daten führt aus Datenschutzgründen zu Problemen. Um nicht an Konkurrenzfähigkeit zu verlieren, sind Betriebe hinsichtlich der Freigabe ihrer Daten vorsichtig. Diese Tatsache kann sich in der Datenverfügbarkeit niederschlagen.

Ein weiterer Fakt ist die Repräsentativität der Daten. Daten können allgemeingültigen oder spezifischen Charakter haben. Bilanzen mit überwiegend verallgemeinerbaren Daten sind generelle Studien (nach Rubik, Teichert 1997: Parameterstudien) und weisen eine hohe Repräsentativität auf; Bilanzen mit überwiegend spezifischen Daten sind Fallstudien und haben eine geringere Repräsentativität (UBA 1995). Speziell bei Fallstudien muss darauf geachtet werden, dass sie nicht als allgemeingültig interpretiert werden. Aufgrund ihrer engen zeitlichen und räumlichen Bindung können sie daher in ihren Ergebnissen von generellen Studien abweichen. So ist z. B. die Produktbilanz eines deutschen Fensterherstellers noch lange nicht die Produktbilanz für Fenster in Deutschland.

Die Qualität und Güte von Daten sollte anhand von qualitätsbeschreibenden Merkmalen geprüft werden. Dabei sind folgende Aspekte zu beachten:

- Datenart (gemessen, geschätzt, kalkuliert, geplant),
- Bezugsbasis (fallbezogen, repräsentativ),
- Erhebungsjahr,
- Annahmen und Festlegungen bei der Datenerhebung,
- Vollständigkeit.

Von besonderer Bedeutung ist dabei die Datenart. Tatsächlich gemessene und konkret erhobene Daten spiegeln die durch ein bereits auf dem Markt befindliches Pro-

dukt verursachten Umweltwirkungen relativ realistisch wider. Prognostizierte und kalkulierte Daten für ein geplantes Produkt hingegen sind Abschätzungen, deren Richtigkeit erst noch in der Praxis bewiesen werden muss und die in der Regel optimistischer ausfallen als konkrete Messungen und Hochrechnungen. Obwohl bekannt ist, dass im Rahmen unterschiedlicher Datenarten die gemessenen Größen die stärkste Aussagekraft haben und Vergleiche mit prognostizierten Werten eher hinken, werden diesbezüglich in der Praxis bislang noch unzureichende Unterscheidungen vorgenommen und deutlich gemacht.

Produkt-Ökobilanzen werden u. a. nur akzeptiert, wenn ihre Ergebnisse auf einem aktuellen Stand der Technik basieren. Um ihre Aussagekraft zu sichern und zu erhalten, müssen sie daher stets der technischen Entwicklung entsprechend den neuesten Stand dokumentieren bzw. auf diesen gebracht werden.

### **Folgerungen für die Bauteilbilanz**

Die Analyse der Problembereiche im Rahmen der Sachbilanz führt im Hinblick auf die Ableitung von Schlussfolgerungen für die Bauteilbilanz nicht grundsätzlich zu neuen Erkenntnissen. Die unter Punkt 1.1.2 (Teil B) zum Thema Untersuchungsrahmen gegebenen Hinweise zu Bilanzinhalten werden weiter präzisiert und ergänzt.

Aufgrund der vielfältigen Anforderungen, die an Bauteile gestellt werden, sollte die Analyse von Inputs und Outputs nicht auf die innerhalb der Sachbilanzierung festgelegten „Pflichtgrößen“ (Ressourcen sowie Emissionen in Luft, Wasser und Boden) beschränkt bleiben. Gerade anhand der Beschreibung funktionaler und technischer Aspekte können im Rahmen des Vergleiches verschiedenartig gestalteter Bauteile (mit gleicher Funktionserfüllung) qualitative Unterschiede verdeutlicht werden. Es sollten daher geeignete funktionale aber auch kostenbezogene Aspekte bestimmt werden, mit deren Hilfe es möglich ist, die vorrangig in der Nutzungsphase zum Tragen kommenden Wirkungen qualitativ unterschiedlicher Bauteilkonstruktionen zu beschreiben (z. B. baufehlerbedingte Schäden oder Wärmebrücken). Damit ist die Palette der beschreibenden Lebenswegkriterien über die ökobilanztypischen, umweltorientierten Größen hinaus um „Kürgrößen“, die die Unterschiede verschiedener Konstruktionen verdeutlichen, zu erweitern.

Da im Rahmen der Produktlinie Bauteil (zumindest bis zur Beendigung der Nutzungsphase) neben dem Haupterzeugnis Bauteil keine weiteren wirtschaftlich für sich verwertbaren Produkte entstehen (Kuppelprodukte) und die zur Herstellung des Bauteiles erforderlichen Baustoffe hinsichtlich ihrer Vorproduktion durch so genannte Ökoinventare<sup>10</sup> abgebildet werden können, treten Zurechnungsprobleme eher in den

---

<sup>10</sup> Ökoinventare dienen der Erfassung der während des gesamten Produktlebenszyklus' auftretenden Umweltbelastungen (Weibel, Stritz 1995, 5). Das Ökoinventar eines Baustoffes beschreibt anhand unterschiedlicher Wirkungskategorien die von einem Kilogramm Baustoff während seines gesamten Lebensweges (Herstellung, Nutzung, Entsorgung) ausgehenden Umweltwirkungen.



Hintergrund. Die Fragen nach der Nutzungszeit des Bauteiles sowie des Charakters der Daten (Qualität, Aktualität, Verfügbarkeit, Repräsentativität) sind jedoch mit Problemen verbunden.

Hinsichtlich des Nutzungszeitraumes treten innerhalb einer Bauteilgruppe teilweise erhebliche Unterschiede auf, bei Fenstern z. B. werden 20 aber auch 40 Jahre angenommen. Da Bauteile in Gebäude integriert sind und sie damit theoretisch die gesamte Nutzungs- und Lebensdauer des Gebäudes funktionstüchtig sein müssen, ist die Festlegung der Nutzungsdauer des Bauteiles entsprechend der des gesamten Gebäudes realistisch (z. B. 100 Jahre), selbst wenn das Bauteil während dieser Zeit komplett erneuert werden muss.

Hinsichtlich des Charakters der Daten sind speziell für den Vergleich unterschiedlicher Varianten innerhalb einer Bauteilgruppe allgemeingültige Daten, die einen hohen Repräsentationsgrad haben, geeignet.

## **2 Spezifik des Bauteiles Außenwand im Kontext planerischer Interessen und Ziele**

Um den Untersuchungsrahmen für die Bilanz von Außenwänden anhand geeigneter Lebenswegkriterien und -phasen definieren zu können, müssen sowohl die Spezifik des Bauteiles Außenwand als auch die Interessen und Ziele der Akteursgruppe Planer hinterfragt werden. In diesem Zusammenhang liefern Literaturrecherchen sowie Experten- und Planerbefragungen sachdienliche Informationen.

### **2.1 Anforderungen an das Bauteil Außenwand**

Hinsichtlich der an Außenwände gestellten Forderungen werden in der Literatur vielfältige Informationen zur Charakteristik, Beschreibung sowie zur Einteilung von Außenwänden gegeben. Im Rahmen der Auswertung dieser Literatur konnten relevante Lebenswegkriterien zu jeweils unterschiedlichen Themenbereichen abgeleitet werden. So wird eine Unterteilung der Anforderungen in die Bereiche Technik/Funktion, Gestaltung/Ästhetik, Umwelt/Gesundheit sowie Wirtschaftlichkeit deutlich.

Im Bereich Technik/Funktion werden grundsätzlich Wärme-, Brand- und Schallschutz sowie Tragfähigkeit als Kriterien genannt. Des Weiteren wird aus funktionaler Sicht auf unterschiedliche vor allem witterungsbedingte Einflussgrößen hingewiesen, die unterschiedliche Reaktionen wie beispielsweise Längen- und Volumenveränderungen hervorrufen und letztendlich, je nach Konstruktionsprinzip, Einfluss auf die Lebensdauer, Haltbarkeit oder die Reparaturmöglichkeiten von Außenwänden haben. Im Bereich Gestaltung/Ästhetik werden Aussagen zu Gestaltungsmöglichkeiten mittels der Elemente Gliederung, Form, Farbe und Material als sinnvoll erachtet. Der Bereich Umwelt/Gesundheit wird durch Kriterien wie Rohstofflage, Energieverbrauch, Landschaftsverbrauch, Abwasser aber auch Arbeitsschutz, Ausgasungen, Raumklima oder Radioaktivität widerspiegelt. Im Bereich Wirtschaftlichkeit sind die einmaligen Herstellungs- und die laufenden Unterhaltungskosten als Kriterien von Bedeutung.

Hinsichtlich der Eingrenzung auf relevante Lebenswegphasen lässt sich die Gliederung in die Phasen Herstellung der Baustoffe und Bauteile, Transport der Baustoffe und Bauteile, Bauvorgang, Nutzung des Gebäudes, Abbruch des Gebäudes und Entsorgung der Baustoffe und Bauteile ableiten. In diesen unterschiedlichen Lebenswegphasen kommen im Allgemeinen auch unterschiedliche Lebenswegkriterien zum Tragen. So interessieren z. B. in der Nutzungsphase nicht vorrangig die Primärenergien, die für die Herstellung der verwendeten Baustoffe benötigt wurden,

sondern die Energieaufwendungen, die durch die Transmissionsverluste der Außenwand mittels Heizung ausgeglichen werden müssen. Auch für die Erstellung der Außenwand auf der Baustelle gelten zum Teil andere Kriterien als für die Nutzung oder die Entsorgung. Sind also bei der Herstellung eher Fragen nach technologischen Abläufen und einfachen Ausführungstechniken vorrangig von Bedeutung, so rücken während der Nutzung die Aspekte der Haltbarkeit und Reparaturfreundlichkeit stärker in den Vordergrund sowie bei der Entsorgung Fragen nach Abbau- und Abriss-techniken.

Es ist einleuchtend, dass der Planer unmöglich mit der breiten Palette der Bauteilanforderungen operieren kann. Die gestellten Anforderungen müssen auf ein handhabbares und bearbeitbares Maß reduziert werden.

Um eine sinnvolle Reduzierung zu erreichen, ist zu untersuchen, welche Informationen der Planer benötigt und welche ihn nur am Rande interessieren. Zur Klärung dieser Frage wurden Experten- und Planerbefragungen durchgeführt und ausgewertet (Al-Diban, Gruhler 1996; Blum, Deilmann 1997). Des Weiteren müssen Festlegungen in gesetzlichen Bestimmungen, Verordnungen und Vorschriften (Hesse u. a. 1992, SächsBO 1994, BauPG 1992) Beachtung finden.

## **2.2 Anforderungen an das Bauen – gesetzliche Bestimmungen, Verordnungen und Vorschriften**

Im Rahmen der Analyse gesetzlicher Bestimmungen, Verordnungen und Vorschriften wurden vorrangig die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI), die Sächsische Bauordnung (SächsBO) und das Bauproduktengesetz (BauPG) hinsichtlich der an Bauteile gestellten Forderungen untersucht.

Grundsätzlich wird deutlich, dass in den genannten Gesetzes- und Regelwerken für unterschiedliche bauliche Produkte Anforderungen formuliert werden, diese jedoch allgemeingültige, für die Gesamtheit aller Gebäude, Bauprodukte und Bauteile zutreffende Aussagen sind. Erst in Verweisen auf weitere anzuwendende Vorschriften und Normen (allgemein anerkannte Regeln der Technik<sup>11</sup>) werden die Angaben konkreter.

In der **HOAI** wird im Rahmen der Objektplanung für Gebäude in den Leistungsbeschreibungen unterschiedlicher Planungsphasen festgelegt, dass städtebauliche, gestalterische, funktionale, technische, bauphysikalische, wirtschaftliche, energie-wirtschaftliche (z. B. hinsichtlich rationeller Energieverwendung und Verwendung erneuerbarer Energien) und landschaftsökologische Anforderungen zu berücksichtigen

---

<sup>11</sup> Wichtige allgemein anerkannte Regeln der Technik sind in DIN-Normen, in der Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB), in VDE-Vorschriften, in DVGW-Vorschriften und anderen technischen Regelwerken.

sind (Hesse u. a. 1992). Konkretere Anforderungsbeschreibungen werden nicht vorgenommen. Es wird aber darauf hingewiesen, dass bestehende Rechtsvorschriften (mit der Bebauung in Verbindung stehende Gesetze, Erlasse, Verordnungen: z. B. Wärmeschutzverordnung, DIN-Normen) einzuhalten sind.

In der z. B. SächsBO werden Bauteile als Bauprodukte definiert, die im Hinblick auf bauliche Anlagen dienende Funktion haben (SächsBO 1994). Damit Bauprodukte geeignet sind, für bauliche Anlagen verwendet zu werden, sind allgemeine materiell-rechtliche Anforderungen an Bauprodukte geregelt (SächsBO<sup>12</sup>, § 3 II). Die §§ 20 ff. der SächsBO legen diese Anforderungen an Bauprodukte (Wirtschaftlichkeit, Gebrauchstauglichkeit) fest. Danach müssen folgende Aspekte den Anforderungen entsprechen:

- mechanische Festigkeit und Standsicherheit,
- Brandschutz,
- Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz,
- Nutzungssicherheit,
- Schallschutz,
- Energieeinsparung und Wärmeschutz.

Für konkrete Bauprodukte bzw. Bauteile (z. B. Wände oder Decken) sind diese Anforderungen spezifisch zu hinterfragen (z. B. in allgemein anerkannten Regeln der Technik – DIN-Normen).

Das **BauPG** geht mit den in der Bauordnung festgelegten Anforderungen für Bauprodukte konform. Ein Bauprodukt (bzw. Bauteil) ist brauchbar, wenn es während einer angemessenen Zeitdauer und unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit gebrauchstauglich ist und die wesentlichen Anforderungen an Bauprodukte (mechanische Festigkeit und Standsicherheit, Brandschutz, Hygiene, Gesundheit, Umweltschutz, Nutzungssicherheit, Schallschutz, Energieeinsparung und Wärmeschutz) erfüllt (BauPG 1992). Die weitere Konkretisierung der Anforderungen erfolgt über nachgeordnete Erlasse, Verordnungen und Normen.

### **2.3 Interessen und Ziele der Akteursgruppe Planer**

Auf Grundlage von zwei methodisch verschiedenen Instrumenten, Experteninterviews und Planerbefragungen lassen sich die Interessen, Bestrebungen, Absichten und Ziele der Akteursgruppe Planer empirisch ermitteln, ein entsprechendes Akteursprofil bzw. Anwenderprofil erarbeiten und die für den Planer relevanten Bewertungskriterien ableiten.

---

<sup>12</sup> Die Bauprodukten-Richtlinie der EU (BauPR-EU) wurde in der Sächsischen Bauordnung (SächsBO, §§ 20 bis 22 u. §§ 24 bis 25) und im Bauproduktengesetz (BauPG) umgesetzt.

### „Anwenderprofil“ – Experteninterviews

Mit Hilfe eigens durchgeführter Experteninterviews wurden unterschiedliche Fachleute aus dem Baubereich (Planer, Ausbilder, Recyclingfachleute) in zwei Richtungen befragt.

Der erste Fragenkomplex orientierte auf die allgemeine Betrachtung des Planungs- und Entwurfsprozesses nach HOAI. Mit dieser Befragung sollten die in Richtlinien, Baugesetzen, Normen und wissenschaftlichen Veröffentlichungen recherchierten Kriterien ergänzt, vervollständigt bzw. auch überprüft werden. Der zweite Fragenkomplex hatte die spezielle Sicht auf das Bauteil Außenwand zum Inhalt. Die Bewertung unterschiedlicher Bauteilvarianten sollte aus den Erfahrungen und dem Wissen von Praktikern eine gewisse Praxis garantieren und gewissermaßen auch die in der praktischen Auseinandersetzung mit dieser Problematik gewonnenen Erfahrungen berücksichtigen.

Laut Expertenbefragung (Al-Diban, Gruhler 1996) kommt in Anlehnung an die in der HOAI formulierten Forderungen<sup>13</sup> den folgenden Aspekten besondere Bedeutung zu:

- wirtschaftliche Aspekte (Kosten für das Bauen und die Nutzung, Sanierungskosten, Abnahmepreise für Bauabfälle),
- Berücksichtigung bauphysikalischer Kriterien (Wärmeschutz, Brandschutz, Schallschutz),
- Einhaltung der für Gebäude vorgegebenen Nutzungsanforderungen,
- städtebauliche Anpassung an bestehende Strukturen.

Darüber hinaus werden von den Experten ihrer jeweiligen Fachsicht entsprechend noch weitere Aspekte bzw. Frage- und Problemstellungen als wichtig erachtet:

- technologische Fragestellungen (Einsatz spezieller Bautechnik bzw. Baumaschinen, Verarbeitbarkeit von Baumaterialien),
- Korrosionsverhalten, Reinigungsaufwand und Langlebigkeit von Fassadenkonstruktionen,
- Recyclebarkeit von Baustoffen und Bauabfällen (Negativ- und Positivlisten),
- Amortisationsprobleme (z. B. von Niedrigenergiehäusern),
- städtebauliche Fragestellungen (u. a. Beeinflussung der Kommunikationsmöglichkeiten der Bewohner).

Es wird deutlich, dass die von den Experten gemachten Aussagen über Anforderungen, die im Rahmen der Objektplanung zu berücksichtigen sind, grundsätzlich mit den in der HOAI genannten Kriterien übereinstimmen und teilweise darüber hinausgehen. Speziell bei den bauphysikalisch und wirtschaftlich orientierten Kriterien ist

---

<sup>13</sup> Berücksichtigung „... städtebaulicher, gestalterischer, funktionaler, technischer, bauphysikalischer, wirtschaftlicher, energiewirtschaftlicher und landschaftsökologischer Anforderungen ...“ (HOAI, § 15).

die Häufigkeit der gleichen bzw. ähnlichen Aspekte und Sachverhalte höher als bei den übrigen Kriterien.

Interessant ist auch, dass die Erfüllung einzelner Planungskriterien relativ breit interpretiert wird. So wird z. B. die Einhaltung bauphysikalischer Anforderungen weiter gefasst als „nur“ die Realisierung des geforderten Wärmeschutzes. Aspekte wie Reduzierung von Fugenundichtigkeiten, Beeinflussung des Lüftungsverhaltens, Wohnwertverbesserung durch ein angenehmes Raumklima oder Einsatz von baubiologisch unbedenklichen Materialien kommen dabei ebenfalls zur Sprache. Auch die Wirtschaftlichkeit ist nicht nur aus dem Blickwinkel der Kosten zu betrachten. Fragen nach Vorfertigungsmöglichkeiten und die Beachtung notwendiger Reparaturmaßnahmen während der künftigen Nutzung werden in diesem Zusammenhang mit gestellt.

### **Informationsbedürfnisse bei Planern und Architekten – Befragungen**

Durch eine weitere empirische Studie zu Informationsbedürfnissen von Planern und Architekten bei der Baustoffauswahl (Blum, Deilmann 1997) konnten die oben genannten Aspekte weiter präzisiert werden. Die im Rahmen dieser Studie durchgeführte Befragung<sup>14</sup> lieferte sowohl Aussagen über die Varianz und Vielfalt der auftretenden Kriterien und Probleme als auch über deren unterschiedliche Bedeutsamkeit. Auf Grundlage dieser Aussagen lässt sich eine Charakteristik des Informationsinteresses von Planern und Architekten ableiten (Abb. 12).

Allgemein weisen die Informationsbedürfnisse von Planern in beiden untersuchten Freistaaten ein ähnliches Profil auf. Informationen zu Kosten liegen deutlich an der Spitze, dicht gefolgt von Informationen zu bautechnischen Eigenschaften, Bewährtheit, gestalterischen Aspekten und Haltbarkeit.

Ein ähnlich hoher Bedarf ist bei allgemeinen Informationen zur Umweltverträglichkeit zu verzeichnen. Detailliertere Informationen zu dieser Thematik hingegen, wie beispielsweise Recyclebarkeit oder Herstellungsaufwand und -ort, werden deutlich weniger nachgefragt. Dieser Unterschied lässt sich sicher zum Teil damit erklären, dass offensichtlich gesellschaftlich positiv bewertete Antwortalternativen, wie eben das Informationsinteresse im Bereich der Umweltverträglichkeit, von den Befragten tendenziell höher bewertet werden, als es ihrer tatsächlichen Bedeutung entspricht. Das heißt, der wirkliche Bedarf an Umweltinformationen muss vermutlich etwas niedriger eingeschätzt werden, als es das Befragungsergebnis widerspiegelt. Darüber hinaus verdeutlicht die Differenz der Nachfrage bei allgemeinen und speziellen In-

---

<sup>14</sup> Die Befragung wurde in einem Kooperationsprojekt zwischen dem Institut für ökologische Raumentwicklung, Abteilung Bauökologie, den Architektenkammern Bayern und Sachsen mit Unterstützung des Institutes für Arbeits-, Organisations- und Sozialpsychologie der TU Dresden durchgeführt (Hintergrund: Aufbau eines Informationssystems „Baustoffe-Umwelt-Gesundheit“ durch das gleichnamige Informationsbüro der Bayerischen Architektenkammer).

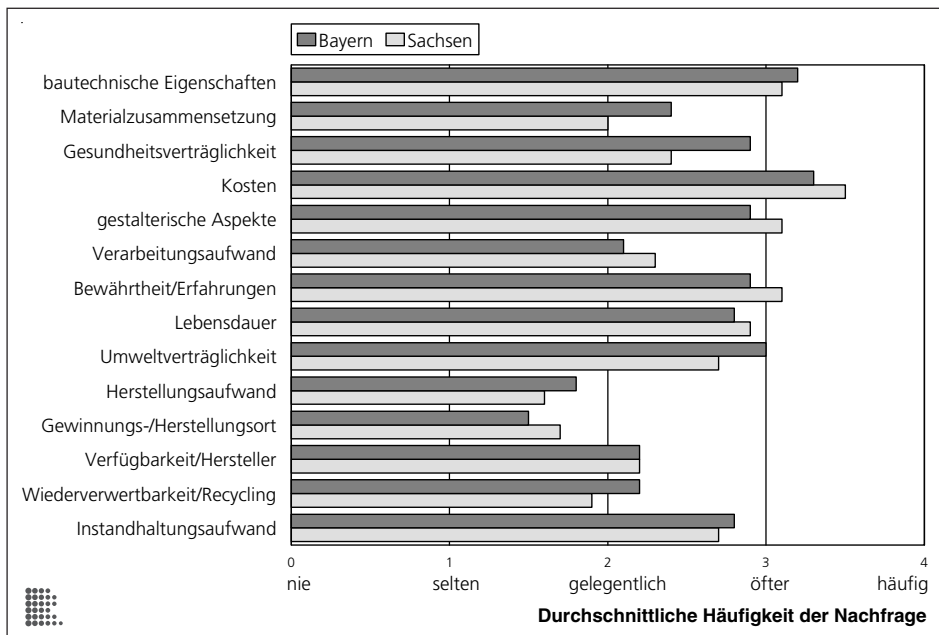


Abb. 12: Bereiche besonderen Informationsbedarfes  
(Quelle: Blum, Deilmann 1997)

formationen zur Umweltverträglichkeit aber auch, dass aggregierte Informationen zur Umweltverträglichkeit leichter in die alltägliche Arbeit einzubinden sind als Detailinformationen.

Informationen zur Gesundheitsverträglichkeit werden insgesamt relativ häufig nachgefragt (sie spielen aber in Sachsen eine geringere Rolle als in Bayern). Obwohl die Materialzusammensetzung ein Teilaspekt der Gesundheitsverträglichkeit ist, wird auch hier, wie bei Einschätzung der Umweltverträglichkeit, deutlich, dass eher die generellen allgemeingültigen Aussagen als Orientierungshilfe benötigt werden.

Wenn Informationen zur Umwelt- und Gesundheitsrelevanz von Baustoffen benötigt werden, dann sind besonders Aussagen zu Dämmstoffen, Beschichtungen, Farben und Lacken, Bodenbelägen, Hilfsstoffen (Kleber, Füllstoffe) sowie Bauplatten und Bekleidungen gefragt (Abb. 13).

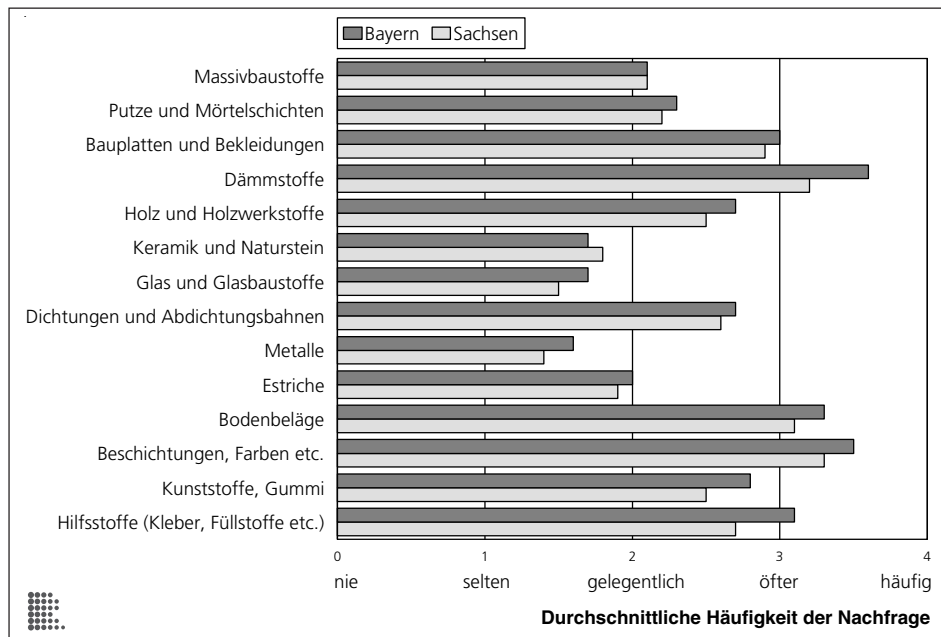


Abb. 13: Umwelt- und gesundheitsbezogene Informationsbedarfe unterschiedlicher Baustoffgruppen  
(Quelle: Blum, Deilmann 1997)

Das stärker ausgeprägte Informationsinteresse an diesen Baustoffgruppen lässt sich sicherlich dadurch begründen, dass Stoffe und Produkte, bei deren Herstellung und Nutzung toxische Emissionen<sup>15</sup> nicht auszuschließen bzw. relativ wahrscheinlich sind, im Allgemeinen intensiver hinterfragt werden.

Die Befragung zu Informationsbedürfnissen bei Planern und Architekten ergab, dass Informationssysteme als Hilfestellung im Entscheidungsprozess grundsätzlich Aussagen zu den Bereichen Kosten, Funktion, Technik, Umwelt und Gesundheit enthalten sollten. Dabei sind jedoch die einzelnen Aussagen nicht getrennt voneinander zu betrachten, sondern eine parallele Darstellung der Informationen zur Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit neben Angaben zur Bautechnik, Funktionstüchtigkeit und Bewährtheit, zur Haltbarkeit sowie zu den Kosten wird als sinnvoll und wünschenswert erachtet. Im Rahmen der Erarbeitung eines geeigneten Bilanzrahmens sind daher die benötigten Informationen im Komplex, d. h. als Kombination funktionaler, ökologischer und ökonomischer Aspekte, aufzubereiten.

<sup>15</sup> Hinsichtlich der Gesundheitsverträglichkeit von Baustoffen und -produkten lässt sich im Allgemeinen vereinfachend sagen, je verzweigter und differenzierter der Prozesskettenbaum zur Herstellung eines Stoffes, umso wahrscheinlicher ist ein höherer Einsatz von chemischen, gesundheitlich bedenklichen Substanzen und damit die Möglichkeit der Freisetzung von toxischen Emissionen.



## **2.4 Eingrenzung eines spezifischen Bilanzrahmens für das Bauteil Außenwand**

Sowohl anhand der Untersuchungen zu Problemen im Rahmen der Produkt-Ökobilanz als auch auf Grundlage der Recherchen zur Spezifik des Bauteiles Außenwand sowie der empirischen Analysen zu den Interessen und Zielen der Akteursgruppe Planer wurde eine umfassende Kriteriensammlung zu Außenwandauforderungen erarbeitet (Tab. 14 in Anhang B).

Die Kriteriensammlung gliedert sich in zwei Bereiche, in den Bereich der Mindestanforderungen und den der weiteren Anforderungen. Im Rahmen der Mindestanforderungen sind die in den Normen zu

- Wärmeschutz,
- Feuchteschutz,
- Brandschutz,
- Schallschutz sowie
- Standsicherheit

getroffenen Festlegungen aufgeführt. Sie bedürfen einer Prüfung und bilden die Grundlage für funktionale Äquivalenz. Der Bereich der weiteren Anforderungen umfasst weitaus mehr Angaben, ist thematisch breiter gefächert und in der Regel auch detaillierter beschrieben. Die thematische Bandbreite dieser Anforderungen lässt sich im Sinne einer Grobgliederung durch die Schwerpunkte Funktion, Ökologie und Ökonomie widerspiegeln.

Unter dem Schwerpunkt Funktion lassen sich Angaben zu den Aspekten

- Feuchteverhalten,
- Temperaturverhalten,
- Detailausbildung,
- chemisches Verhalten,
- Wetterschutz,
- Schutz gegen Schädlingsbefall,
- Reinigungsfähigkeit,
- Bautechnologie,
- ästhetische Gestaltung

zusammenfassen.

Der Schwerpunkt Ökologie beinhaltet die umweltschutzorientierten Aspekte

- Stoffe,
- Energie,
- Luft,
- Wasser,
- Boden,

- Abfälle,
- Flächen.

Darüber hinaus finden auch Forderungen des Gesundheitsschutzes Berücksichtigung. Speziell aus den Befragungen der Akteursgruppe Planer wurde deutlich, dass gesundheitliche Aspekte sowohl für den Bauarbeiter im Herstellungsprozess als auch den Bewohner während der Nutzung von Interesse sind. Aussagen zu Belastungen

- im Innenraum,
- am Arbeitsplatz sowie
- im Störfall

sind daher von Bedeutung und entsprechend integriert.

Unter dem Themenschwerpunkt Ökonomie werden wirtschaftliche Aspekte erfasst, die sich aus dem Einsatz von Material, Arbeitskräften und Zeit ableiten lassen.

Um die Kriteriensammlung für die Erarbeitung eines spezifischen Bilanzrahmens „Außenwand“ nutzen zu können, muss die Anzahl der ermittelten Kriterien auf ein handhabbares Maß reduziert werden. Die bereits dargestellte Differenzierung in Mindestanforderungen und weitere Anforderungen sowie die thematische Grobgliederung der weiteren Anforderungen in die Schwerpunkte Funktion, Ökologie und Ökonomie finden dabei Berücksichtigung.

Die Mindestanforderungen bilden den Festpunkt für Vergleiche, gehören aber nicht zum spezifischen Bilanzrahmen. Gebildet wird der spezifische Bilanzrahmen durch Kombination ausgewählter geeigneter weiterer Anforderungen (Lebenswegkriterien) mit relevanten Lebenswegphasen. Die Ableitung geeigneter Lebenswegkriterien erfolgt im Rahmen der Schwerpunkte Funktion, Ökologie und Ökonomie auf unterschiedliche Art und Weise.

Im Schwerpunkt Ökologie wird ein Bezug zur Sachbilanzebene der Produkt-Ökobilanz hergestellt, damit werden die im Bereich Umwelt relevanten Untersuchungsgrößen Stoffe, Energie, Luft, Wasser, Boden, Abfälle und Flächen als Kriterien bestimmt. Analog erfolgt dies für den Bereich Gesundheit. Aussagen zu Belastungen im Innenraum, am Arbeitsplatz und im Störfall sind in diesem Bereich von Bedeutung.

Die funktionalen Anforderungen sind vorrangig an die Nutzungsphase gebunden. Sie beeinflussen über unterschiedliche Effekte und Wirkungsketten die Dauerhaftigkeit und Langlebigkeit von Bauteilen und bieten im Rahmen der Funktionsbeschreibung die Möglichkeit, qualitative Unterschiede zwischen verschiedenen Bauteilvarianten zu verdeutlichen. Als Kriterien werden nicht grundsätzlich die in der Kriteriensammlung aufgeführten Anforderungen, wie z. B. Schutz vor Schädlingbefall, festgelegt, sondern teilweise auch die von den aufgeführten Anforderungen ausgelösten Wirkungen. So ist beispielsweise die Haltbarkeit eine Wirkung, die bei unter-

schiedlichen Anforderungen zum Tragen kommt und damit zur Beschreibung und Einschätzung der Dauerhaftigkeit genutzt werden kann.

Unter dem Schwerpunkt Ökonomie sind direkte und externe Kosten zusammengefasst, wobei eine weitere Unterteilung in Arbeitszeit- und Arbeitskräfteaufwand zusätzlich Aufschluss über die technischen und technologischen Qualitäten der Arbeitsprozesse gibt (Abb. 14).

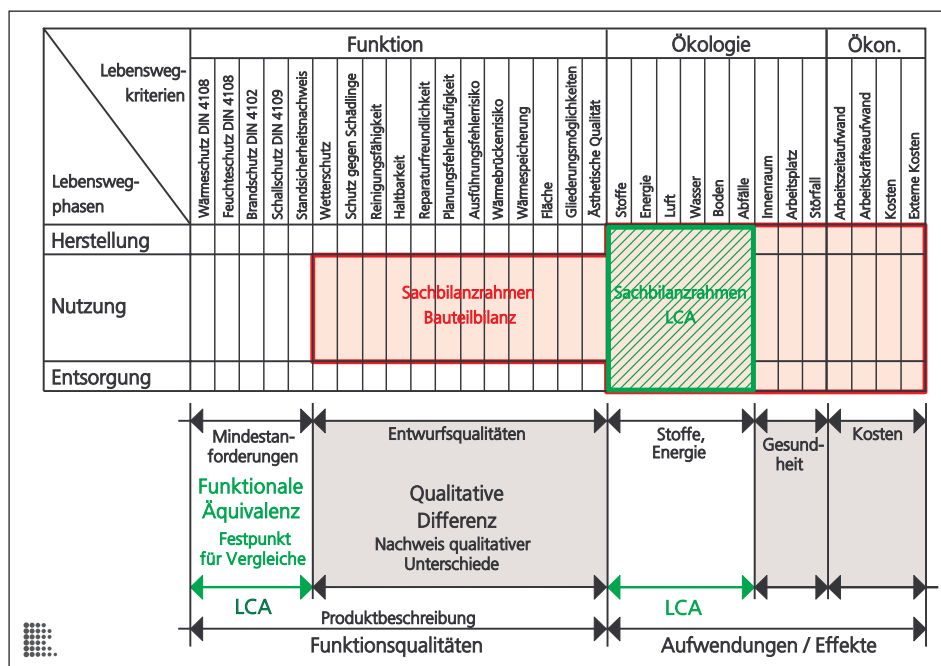


Abb. 14: Spezifischer Bilanzrahmen – lebenswegbezogene Anforderungsmatrix (Quelle: Eigener Entwurf)

Den Planer interessieren im Rahmen der Bauteil- und Gebäudeplanung neben ökologischen Aspekten vorrangig Aussagen zur Funktion und zu den Kosten. Durch Wahl geeigneter Baustoffe und Konstruktionsprinzipien kann er diese Größen bereits im Entwurfsprozess beeinflussen. Das Funktionieren der Bauteile im Einzelnen und des Gebäudes insgesamt sowie die dadurch anfallenden einmaligen Herstellungs- und laufenden Kosten zur Realisierung und Gewährleistung dieser Funktionstüchtigkeit lassen sich im Bereich der ökologischen Wirkungen abbilden und abschätzen. Sinkt der Erfüllungsgrad der Funktionsanforderungen durch

- allgemeine Alterung (natürliche Erneuerungszyklen),
- Baufehler (planungs-, ausführungs-, wärmebrücken-bedingt) oder
- Unzufriedenheit der Nutzer (Änderungswünsche: Grundrissgestaltung, Ästhetik)

sind Änderungsmaßnahmen in Form von Instandhaltung, Reparatur, Sanierung oder Umbau erforderlich, die sich in stofflichen und energetischen Verbräuchen niederschlagen. Die in der Planungsphase getroffenen Entscheidungen zur Gestaltung und Ausführung von Bauteilen zeigen damit vorrangig in der Nutzungsphase ihre Wirkungen und lassen sich durch die Beschreibung funktionaler Aspekte, wie z. B. Haltbarkeit, Reparaturfreundlichkeit, Reinigungsfähigkeit, Wärmebrückenrisiko, Planungs- und Ausführungsfehlerrisiko oder Gliederungsmöglichkeiten prüfen.

Des Weiteren benötigt der Planer im Bereich der ökologischen Aspekte nicht vorrangig Aussagen zu den Wirkungen auf die Umwelt (LCA – Life Cycle Assessment = Produkt-Ökobilanz). Aufgrund der Tatsache, dass sowohl die Bauarbeiter während der Gebäudeherstellung bzw. -entsorgung als auch die Bewohner während der Gebäudenutzung von den Wirkungen des vom Planer entworfenen Gebäudes betroffen sind, rücken für den Planer Fragen des Gesundheits- und Arbeitsschutzes stärker in den Vordergrund.

Auch der Aspekt der Wirtschaftlichkeit spielt eine bedeutende Rolle. Dabei kommt es nicht vorrangig darauf an, grundsätzlich jegliche Kosten zu senken, sondern zu prüfen, inwieweit sich z. B. im Rahmen der Bauausführung qualitativ höherwertige Bauteillösungen, die im Allgemeinen kostenaufwendiger sind, auf die laufenden Kosten während der Nutzung auswirken (Kostenbilanz – „von der Wiege bis zur Bahre“). In diesem Sinne sind für den Planer Kostenangaben von großem Interesse.

Um dem Planer im Entscheidungsprozess eine Hilfe zu bieten, muss die Ökobilanz über den Bereich Stoffe/Energie hinaus um funktionsbeschreibende, gesundheitsorientierte und kostengeprägte Beurteilungskriterien erweitert werden. Da in der Entwurfsphase festgelegte Gestaltungs- und Ausführungsqualitäten in der Nutzungsphase in Form von laufenden Aufwendungen ihre Wirkungen zeigen, sollte die erweiterte Ökobilanz stärker auf die betriebliche Bilanzierung der Nutzungsphase orientieren.

### 3 Beschreibung des spezifischen Bilanzrahmens

Auf Basis der Analysen zu den Anforderungen des Bauteiles Außenwand sowie den Interessen und Zielen der Akteursgruppe Planer wurde ein spezifischer Bilanzrahmen in Form einer lebenswegbezogenen Anforderungsmatrix erarbeitet (Abb. 14, Teil B, Pkt. 2.4). In der Vertikalen der Matrix ist der Lebensweg des Bauteiles Außenwand anhand unterschiedlicher Lebenswegphasen beschrieben. Die Horizontale wird durch eine Vielzahl unterschiedlicher Lebenswegkriterien gebildet, die die an Bauteile gestellten funktionalen, ökologischen und ökonomischen Anforderungen widerspiegeln und in jeweils unterschiedlichen Lebenswegphasen zum Tragen kommen.

#### 3.1 Lebenswegphasen

Der Lebensweg des Bauteiles Außenwand wird durch folgende Phasen widergespiegelt:

- Herstellung: – Baustoffherstellung,
- Wandherstellung,
- Nutzung: – Wandnutzung,
- Instandhaltung/Instandsetzung,
- Entsorgung: – Abbau/Abbruch,
- Weiterverwertung
- Transporte: – Baustoffe/Abbruch.

##### **Baustoffherstellung**

Die Baustoffherstellung umfasst die Produktion der für das Bauteil Außenwand notwendigen Baustoffe. Die im Rahmen der Produktion dieser Baustoffe anfallenden Aufwendungen und Belastungen lassen sich anhand von Ökoinventaren baustoffspezifisch abbilden. Hinsichtlich des Vergleichs verschiedener Außenwände lassen sich damit ökologische Unterschiede verdeutlichen.

##### **Wandherstellung**

Die Wandherstellung umfasst die Gesamtheit der im Rahmen des Baustellenprozesses notwendigen Arbeitsschritte zur Fertigung des Bauteiles Außenwand aus den entsprechend notwendigen Bestandteilen. Die Wandherstellung kann ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal sein. So unterscheiden sich z. B. die traditionelle und die Fertigteilbauweise erheblich. Wird mit Fertigteilen, die einen hohen Vorfertigungsgrad haben, auf der Baustelle montiert, so reduziert sich der Arbeitsaufwand auf der Baustelle erheblich. Die Fertigteilwand weist in diesem Zusammenhang ei-

nen Vorteil gegenüber der traditionell errichteten auf. Andererseits können in der Fertigteilwand Baufehler und/oder gesundheitsschädigende Substanzen (Holzschutzmittel/Kleber) „versteckt“ sein. Dies sind Nachteile bezüglich der ökologischen Wirkungen. Ohne hier eine Wertung vornehmen zu wollen, wird deutlich, dass die Art und Weise der Herstellung einer Wand und die daran gebundenen Rahmenbedingungen wesentliche Auswirkungen auf die Einschätzung unterschiedlicher Außenwände haben können.

### **Wandnutzung**

Die Wandnutzung schließt alle Prozesse und Handlungen ein, die notwendig sind, um den „normalen“ Betrieb des Bauteiles (bzw. des Gebäudes) zu gewährleisten. Gewährleistung des „normalen“ Betriebes bedeutet dabei u. a. die Realisierung der für die jeweilige Nutzungsfunktion geforderten Raumtemperatur durch Heizen.

Die Wandnutzung ist eine relativ wichtige Phase. In ihrem Rahmen lassen sich vor allem die an das Bauteil Außenwand gestellten funktionalen Anforderungen einschließlich ihrer Konsequenzen und Wirkungen auf sowohl ökonomische als auch ökologische Aspekte prüfen. So werden z. B. im Vergleich verschiedener Außenwandvarianten mit gleichen Wärmeschutzeigenschaften anhand weiterer funktionaler sowie kosten-, umwelt- und gesundheitsorientierter Eigenschaften bestimmte Eignungen, Vor- und Nachteile unterschiedlicher Konstruktionen deutlich.

### **Instandhaltung/Instandsetzung**

Unter dieser Lebenswegphase werden alle Tätigkeiten und Arbeiten beschrieben, die dazu dienen, die bestehende Funktionstüchtigkeit des Bauteiles aufrechtzuerhalten sowie bei nicht gegebener Funktionstüchtigkeit darauf ausgerichtet sind, diese wieder herzustellen. Je nach dem, welche Lebenserwartung und Qualität die verwendeten Baustoffe haben, wie unterschiedliche Baustoffe miteinander kombiniert sind und ob der Einbau funktionsgerecht und technisch einwandfrei erfolgt, fallen die im Rahmen der Instandhaltung/Instandsetzung notwendigen Aufwendungen höher oder niedriger aus.

### **Abbau/Abbruch**

Die Lebenswegphase Abbau/Abbruch umfasst alle Arbeiten und Verfahren, die darauf zielen, das Bauteil zu demontieren, rückzubauen bzw. abzureißen. Im Rahmen des Abbaus/Abbruchs kommen wesentliche Unterscheidungen verschiedener Konstruktionen zum Tragen. So ist z. B. der Arbeitsaufwand beim Abbau einer Betonfertigteilwand (Knotenpunkte entschweißen; Fertigteil-Recycling relativ aufwendig: Trennung Beton – Bewehrung kompliziert) erheblich höher als bei einer traditionellen Mauerwerkswand (Rückbau der Wand; Steine können nach Abklopfen des Mörtels wiederverwendet werden, Mörtel recyclingfähig).

### **Weiterverwertung**

Die Weiterverwertung steht synonym für die Tätigkeiten Wiederverwendung, Recycling und Deponierung und liefert somit Informationen, wie die nach Abbruch/Abbau vorliegenden „Reste“ des Bauteiles zu behandeln sind. Dabei ist neben der Frage, was ist wiederverwendbar und recyclingfähig oder muss deponiert werden, vor allen Dingen von Bedeutung, ob die einzelnen Wandkomponenten problematische Inhaltsstoffe enthalten oder nicht. So können Aufwendungen und Belastungen im Bereich der ökologischen Anforderungen z. B. eine bis dahin „positive“ Bilanz zum Kippen bringen.

### **Transporte**

Transporte ziehen sich durch den gesamten Lebensweg, wobei die größten Transportaufwendungen sicherlich zwischen Baustoffherstellung und Baustelle sowie zwischen Gebäudeabbruch und Weiterverwertung im Sinne von Wiederverwendung, Recycling oder Deponierung zu verzeichnen sind.

Im Rahmen der Einschätzung des Bauteiles Außenwand wird der Transport als umweltrelevantes Unterscheidungsmerkmal als weniger wichtig angesehen. Da Außenwände als Produkte betrachtet werden und bei Produktbetrachtungen die räumlichen Grenzen relativ schwer zu ziehen sind, geht man von durchschnittlichen Entfernungen und allgemeingültigen Transportsystemen aus. Der Transport ist damit im Rahmen des Vergleiches unterschiedlicher Außenwandkonstruktionen sicherlich kein wesentliches Unterscheidungsmerkmal. Es sei denn, eine Wandkonstruktion ist an eine bestimmte Bauweise gebunden, die wiederum Hebe- oder Fahrgeräte benötigt, die gegenüber den durchschnittlich angesetzten Geräten erheblich größere Belastungen und Aufwendungen nach sich ziehen. Doch das wird im Rahmen dieser Betrachtungen ausgeschlossen.

## **3.2 Lebenswegkriterien**

Die einzelnen Lebenswegphasen werden durch unterschiedliche Lebenswegkriterien beschrieben, die aus der Sicht des Planers für die Einschätzung und Beurteilung einer Außenwand von Bedeutung sind. Damit werden neben ökobilanztypischen auch wirtschaftliche und funktionale Aspekte in die Betrachtungen und Wertungen einbezogen. Die Horizontale der Matrix setzt sich demnach aus Kriterien der Bereiche Funktion, Ökologie und Ökonomie zusammen, wobei nicht in jeder Lebenswegphase alle Kriterien gleichzeitig von Bedeutung sind.

### 3.2.1 Funktionale Anforderungen

Die funktionalen Kriterien beinhalten zwei Arten von Anforderungen. **Zum einen** werden Funktionsaspekte beschrieben, die dem Stand der Technik entsprechend in technischen Regelwerken gefordert werden. Diese Funktionsaspekte sind Voraussetzung für die Kontrolle der Gleichwertigkeit der Funktion unterschiedlicher Wandaufbauten. Sie spiegeln die **funktionale Äquivalenz** wider, die bei Vergleichen unterschiedlicher Produkte mit gleicher Funktion gegeben sein muss. Beim Vergleich unterschiedlicher Wandaufbauten wird die funktionale Äquivalenz durch die folgenden Aspekte wiedergegeben:

- Wärmeschutz,
- Feuchteschutz,
- Brandschutz,
- Schallschutz,
- Standsicherheitsnachweis.

Sie wurden bereits hinsichtlich ihrer Mindestanforderungen beschrieben (Teil B, Pkt. 1.1.1).

**Zum anderen** werden **weitere funktionale Aspekte** aufgeführt, die das Bauteil über die funktionale Äquivalenz hinaus beschreiben und in der Lage sind, Unterschiede zwischen Bauteilen gleicher Funktion zu verdeutlichen. Diese sind:

- Wetterschutz,
- Schutz gegen Schädlinge,
- Reinigungsfähigkeit,
- Haltbarkeit,
- Reparaturfreundlichkeit,
- Planungsfehlerhäufigkeit,
- Ausführungsfehlerrisiko,
- Wärmebrückenrisiko,
- Wärmespeicherung,
- Fläche,
- Gliederungsmöglichkeiten,
- Ästhetische Qualität.

#### **Wetterschutz**

Im Rahmen des Wetterschutzes wird geprüft, inwieweit die an die Außenluft grenzende Schicht geeignet ist, die Gesamtkonstruktion vor Witterungseinflüssen wie Hagel, Schlagregen, Frost, Hitze sowie Luftverunreinigungen zu schützen. Hinterfragt werden dabei nicht nur Beständigkeit, Wind- und Luftdichtigkeit der jeweils außen liegenden Stoffe und Schichten, sondern auch das Konstruktionsprinzip wird betrachtet.



### **Schutz gegen Schädlinge**

Unter diesem Aspekt wird geprüft, inwieweit die Außenwandkonstruktion gegen Schädlingsbefall geschützt werden muss (chemisch, konstruktiv) und ob sich daraus negative Wirkungen ergeben (toxische Ausgasungen, Mehraufwendungen durch konstruktiven Schädlingsschutz).

### **Reinigungsfähigkeit**

Die Reinigungsfähigkeit einer Außenwand ist stark von den Eigenschaften der äußeren Schicht abhängig. Grundsätzlich muss gefragt werden: Ist die äußerste Oberfläche stark schmutzanfällig oder nicht und wie reagiert sie auf unterschiedliche Reinigungsmaßnahmen? Dabei spielen Aspekte wie Wasch-, Scheuer- und Chemikalienbeständigkeit eine Rolle, aber auch Abriebs- und Haftungseigenschaften müssen betrachtet werden. Letztendlich ist von Bedeutung, ob eine Fassade relativ häufig gereinigt werden muss und ob die verwendeten Reinigungssubstanzen sowie -geräte und -techniken zu belastenden Wirkungen für Mensch und Umwelt bzw. zu Schäden an der Fassade (Zersetzungen, Minderung schützender Oberflächendicken) führen.

### **Haltbarkeit**

Die Haltbarkeit einer Außenwand kann durch unterschiedliche Teilaspekte beschrieben und eingeschätzt werden.

Einerseits bestimmt die jeweilige Lebensdauer der einzelnen Wandbaustoffe die Haltbarkeit der Außenwand. Dabei ist es von großer Bedeutung, Wandkonstruktionen so zu konzipieren, dass Wandbaustoffe ihrer Lebenserwartung entsprechend eingebaut werden. Das heißt, Wandbauelemente und -stoffe mit einer hohen Lebenserwartung sind vorrangig innenliegend einzubauen. Jene mit einer geringeren Lebenserwartung sollten eher außenliegend angeordnet werden. Je konsequenter dieses Prinzip eingehalten werden kann, umso geringer sind die Aufwendungen für notwendige altersbedingte Auswechselungen.

Andererseits wird die Haltbarkeit einer Außenwand von deren Verhalten gegenüber Feuchte, Temperatur und Chemikalien bestimmt. Unterschiedliche Feuchteigenschaften sowie unterschiedliches Verhalten gegenüber Hitze, Kälte und Frost führen zu Längen- und Volumenänderungen und können Beschädigungen der Wandkonstruktion (Aufquellungen, Abplatzungen, Rissbildungen) aber auch Raumklimabeeinflussungen (schädliche Ausgasungen, Trockenheit) bewirken.

### **Reparaturfreundlichkeit**

Die Reparaturfreundlichkeit einer Außenwand hängt zum einen davon ab, ob die eingebauten Elemente, Stoffe und Schichten ihrer Lebensdauer entsprechend angeordnet sind. Zum anderen ist von Bedeutung, ob die Wand so konstruiert ist, dass

sich defekte Elemente und Schichten mit einem relativ geringen Arbeitsaufwand (im Verhältnis zum Schaden) und weitestgehend ohne Zerstörung nicht reparaturbedürftiger Wandteile auswechseln lassen. Damit ist zu prüfen, wie und in welcher Reihenfolge unterschiedliche Stoffe und Schichten angeordnet sind und ob lebensdauer- bzw. funktionsbedingte Ein- und Ausbauten problemlos möglich sind.

### **Planungsfehlerhäufigkeit**

Im Rahmen der Planungsfehlerhäufigkeit wird hinterfragt, ob die hochbauliche Realisierung einer Konstruktionsidee hinsichtlich notwendiger Detailausbildungen hohe Anforderungen an das Entwurfsgeschick des Planers stellt oder nicht. Daraus lässt sich ableiten, inwieweit die Entwurfs- und Ausführungsplanung aufgrund der „Kompliziertheit“ einer Konstruktion mit Fehlern verbunden sein kann. So erfordert z. B. die hochbauliche Umsetzung eines Gebäudes in Holzständerkonstruktion einen höheren Erfahrungsschatz des Planers und eine intensivere Beschäftigung mit dem Detail als ein traditioneller Mauerwerksbau.

### **Ausführungsfehlerrisiko**

Die Beschreibung dieses Aspektes liefert Aussagen, inwieweit die Ausführung einer geplanten Konstruktion mit Fehlern verbunden sein kann. Das Ausführungsfehlerrisiko spiegelt damit die Anforderungen, die an das handwerkliche Geschick der Bauausführenden gestellt werden, wider. So sind sicherlich traditionelle Konstruktionen weniger von dieser Problematik betroffen, da die entsprechenden Lösungen von Detail- und Anschlusspunkten im Allgemeinen beherrscht werden.

### **Wärmebrückenrisiko**

Das Wärmebrückenrisiko gibt Aufschluss darüber, inwieweit sich Detail- und Anschlusspunkte wärmetechnisch einwandfrei, d. h. hinsichtlich ihrer konstruktiven Gestaltung mit möglichst geringen Wärmeverlusten, realisieren lassen. Damit werden Anschlusspunkte wie der Übergang Außenwand – öffnungsschließende Elemente (Fenster, Türen, Tore), Anbindung von Balkonen oder Loggien, Ecken (positive, negative Ecke) oder die Einbindung von Decken in die Außenwand hinterfragt.

### **Wärmespeicherung**

Unter dem Aspekt Wärmespeicherung wird beschrieben, inwieweit das Bauteil in der Lage ist, Wärme aufzunehmen, zu speichern und wieder an den Raum abzugeben. Traditionelle Bauweisen weisen hinsichtlich der Wärmespeicherkapazität Vorteile auf.

### **Fläche**

Im Bereich der funktionalen Aspekte gibt die Fläche vorrangig Aufschluss über die Anteile an bebauter bzw. unbebauter Fläche, wobei im Sinne von Bauteilvergleichen

die Relationen von Konstruktions- und Nutz- bzw. Wohnfläche besonders von Bedeutung sind.

### **Gliederungsmöglichkeiten**

Dieser Aspekt tangiert die Bereiche Funktionserfüllung und Gestaltung. Jede Bau- bzw. Konstruktionsweise unterliegt speziellen Raster- und damit Gliederungsmaßen. Im Mauerwerksbau geht die Rasterung von einem Grundmodul von 125 mm aus; für die Holzständerbauweise sind Rastersprünge von 625 mm typisch. In Anlehnung an diese Rastermaße erfolgt die Grundrissgestaltung. Die Festlegung von Raumbreiten und Raumtiefen, die Einbindungsmöglichkeiten von Decken, Balkonen oder Loggien sowie die Anordnung vonöffnungsschließenden Elementen, Vor- und Rücksprünge werden durch die Größe der Rastersprünge bestimmt. Je feiner die Rasterung, umso flexibler lassen sich Grundriss und Fassade (Gestaltungselemente Farbe, Struktur und Textur der eingesetzten Baustoffe dabei unberücksichtigt) gestalten.

### **Ästhetische Qualität**

Die ästhetische Wirkung von Außenwänden (Fassaden) hängt von der Art und Weise der Gliederung der äußeren Oberfläche ab. Dabei spielen die Gestaltung des Wechsels von geschlossenen Wandflächen undöffnungsschließenden Elementen, die Anordnung von Vor- und Rücksprünge sowie Struktur und Farbe der eingesetzten Materialien eine wesentliche Rolle.

## **3.2.2 Ökologische Anforderungen**

Die ökologischen Anforderungen beinhalten sowohl umwelt- als auch gesundheitsrelevante Aspekte. Die umweltrelevanten Aspekte entsprechen dabei den für die Ökobilanz typischen Input- und Outputgrößen der Sachbilanz.

### **Stoffe**

Unter dem Aspekt Stoffe werden (je nach Lebenszyklusphase) alle Roh-, Hilfs-, Betriebs- und Hauptstoffe (unver-, teilbe- und vollbearbeitete Stoffe) als Input- bzw. Outputgrößen erfasst.

### **Energie**

Energie ist vorrangig eine Inputgröße. Sie umfasst die Menge an technischer Energie, die in den unterschiedlichen Lebenszyklusphasen für notwendige Arbeitsschritte und -vorgänge erforderlich ist.

### **Luft**

Luft ist vorrangig eine Outputgröße, die die Beeinflussung der Luft durch Emissionen beschreibt.

### **Wasser**

Unter dem Aspekt Wasser werden sowohl der Verbrauch von Wasser als Inputgröße als auch die Belastung von Wasser mit Stoffen (Emissionen) als Outputgröße registriert.

### **Boden**

Boden kann zum einen im Sinne des Flächen- und Raumverbrauchs als Inputgröße betrachtet werden, zum anderen werden die Bodenbelastungen durch Stoffe aus der Luft oder abfließendes Wasser als Outputgröße erfasst.

### **Abfälle**

Abfall ist eine Outputgröße, die den Teil des Stoff-Outputs erfasst, der nach Beendigung der einzelnen Lebenszyklusphasen keiner weiteren Verwendung zugeführt werden kann und damit als nicht mehr brauchbar entsorgt werden muss.

Innerhalb der umweltorientierten ökologischen Anforderungen lässt sich (speziell für die Lebenszyklusphase Baustoffherstellung) die aufwendige Bilanzierung der einzelnen Teilaspekte (mengenmäßige Erfassung aller Input- und Outputgrößen) durch die Anwendung von so genannten Ökoinventaren erleichtern. Ökoinventare beschreiben für unterschiedliche Baustoffe die durch ihre Herstellung verursachten Wirkungen auf die Umwelt. Bezogen auf 1 kg Baustoff werden Angaben zu folgenden Wirkungskategorien gemacht:

- Treibhauseffekt,
- Versäuerungspotenzial,
- Ozonschichtabbau,
- Überdüngung,
- Smog,
- Humantoxizität,
- Umwelttoxizität,
- Primärenergie nicht erneuerbar,
- Primärenergie erneuerbar.

### **Innenraum**

Innenraum beschreibt das Klima im Gebäude, vor allem während der Nutzung. Es werden alle Innenraumbelastungen, die sich während der Lebensdauer der Außenwand ergeben, dargestellt und beschrieben. Von besonderer Bedeutung sind mögliche Baustoffemissionen.

**Arbeitsplatz**

Unter dem Aspekt Arbeitsplatz sind alle Belastungen zu erfassen, die sich durch Arbeiten an der Außenwand ergeben (Herstellung, Reparatur, Sanierung, Abbruch) und Einfluss auf Physis und Psyche der betroffenen Arbeiter haben.

**Störfall**

Beim Störfall werden vom Normalfall abweichende Ereignisse wie z. B. Brände, Unfälle oder Havarien betrachtet und hinsichtlich ihrer Wirkungen auf Mensch (Arbeiter, Nutzer) und Umwelt beschrieben.

**3.2.3 Ökonomische Anforderungen**

Im Rahmen der wirtschaftlichen Anforderungen wird näher beschrieben, auf welche Art und Weise die Außenwand erstellt wird und wie hoch die Arbeitszeit- und Arbeitskräfteaufwendungen dafür sind.

**Arbeitszeitaufwand**

Der Arbeitszeitaufwand ist innerhalb aller Lebenswegphasen von Bedeutung. Es wird erfasst, wieviel Zeit unterschiedliche Arbeitsschritte und -vorgänge benötigen.

**Arbeitskräfteaufwand**

Auch der Arbeitskräfteaufwand hat für alle Lebenswegphasen Relevanz. Unter diesem Aspekt wird kalkuliert, wieviel Arbeitskräfte (Arbeiter, Handwerker) zur Durchführung unterschiedlicher Arbeitsschritte und Arbeitsvorgänge notwendig sind.

**Kosten**

Die Kosten stellen alle Aufwendungen an Material und Rohstoffen, Geräten und Hilfsmitteln sowie Arbeitskräften in Deutscher Mark (DM) dar.

**Externe Kosten**

Dieser Aspekt soll alle in Deutscher Mark (DM) ausdrückbaren, außerhalb des sachlichen Untersuchungsrahmens anfallende Aufwendungen erfassen, die sich durch die Wirkungen des Bauteiles innerhalb unterschiedlicher Lebenswegphasen ergeben.



## **C Bilanzbeispiel – Bauteilbewertung im Test**

- 1 Außenwandvergleich auf Grundlage ausgewählter Einzelkriterien
- 2 Außenwandvergleich – komplexe Bewertung

Nach Bestimmung eines geeigneten Bilanzansatzes und Eingrenzung des Betrachtungsrahmens soll die im Ergebnis entstandene lebenswegbezogene Anforderungsmatrix in der Anwendung getestet werden. Dabei steht vor allem die Frage, ob sich die unterschiedlichen Kriterien der Bereiche Funktion, Ökologie und Ökonomie im Komplex bewerten lassen.

Auf Grundlage des spezifischen Bilanzrahmens (lebenswegbezogene Anforderungsmatrix) werden vier unterschiedliche Außenwandkonstruktionen anhand einiger ausgewählter Kriterien der Bereiche Funktion, Ökologie und Ökonomie miteinander verglichen, wobei der Vergleich vorerst jeweils innerhalb des ausgewählten Kriteriums erfolgt.

Abschließend wird der Versuch einer komplexen Bewertung vorgenommen. Ausgewählte Kriterien der Bereiche Funktion, Ökologie und Ökonomie werden nach entsprechenden Aggregationsschritten gemeinsam in einem Netzdiagramm abgebildet. Die gewählte komplexe Bewertung ist speziell für Vergleiche geeignet und soll dem Anwender eine optische Bewertungshilfe bieten.



## 1 Außenwandvergleich auf Grundlage ausgewählter Einzelkriterien

### 1.1 Unterschiedliche Außenwandkonstruktionen – Aufbau und Mindestanforderungen

Um zu prüfen, ob die Kriterien des spezifischen Bilanzrahmens geeignet sind, unterschiedliche Außenwände nach jeweils dem gleichen Prinzip zu beschreiben und abzubilden sowie miteinander zu vergleichen, wurde anhand von vier verschiedenen Beispielkonstruktionen ein entsprechender Test durchgeführt. Als Beispiele wurden neben einer einschichtigen Außenwandkonstruktion zwei mehrschichtige und eine mehrschalige gewählt. Der konkrete Aufbau der gewählten Außenwandbeispiele wird im Folgenden (Tab. 7) ausführlicher beschrieben. Dabei wird deutlich, dass die Beispielkonstruktionen die zur Einhaltung der funktionalen Äquivalenz notwendigen Mindestanforderungen erfüllen (bzw. teilweise unterschreiten).

Tab. 7: Außenwandkonstruktionen – Aufbau und Mindestanforderungen  
(Quelle: Eigener Entwurf)

| Schichtenaufbau von innen nach außen  | Wärme-schutz             | Feuchte-schutz | Brand-schutz | Schall-schutz | Statische Stabilität |
|---|--------------------------|----------------|--------------|---------------|----------------------|
| AW - Konstruktion 1: „Putz – Mauerwerk – Putz“  |                          |                |              |               |                      |
| Kalkgipsputz (1 cm)<br>Hochlochziegel W (49 cm)<br>Wärmedämmputz (4 cm)   | 0,314 W/m <sup>2</sup> K | tauwasser-frei | F180         | 53 dB         | gegeben              |
| AW - Konstruktion 2: „Putz – Mauerwerk – Steinwolle – Putz“   |                          |                |              |               |                      |
| Kalkgipsputz (1 cm)<br>Hochlochziegel (17,5 cm)<br>Steinwolle (12 cm)<br>Kalkzementputz (2,5 cm)  | 0,295 W/m <sup>2</sup> K | tauwasser-frei | F120         | 52 dB         | gegeben              |
| AW - Konstruktion 3: „Putz – Kalksandstein – Polystyrol – Putz“   |                          |                |              |               |                      |
| Kalkgipsputz (1 cm)<br>Kalksandstein (15 cm)<br>Polystyrol (10 cm)<br>Kalkzementputz (2,5 cm)   | 0,314 W/m <sup>2</sup> K | tauwasser-frei | F90          | 52 dB         | gegeben              |
| AW - Konstruktion 4: „Hinterlüftete Holzständerkonstruktion mit Zellulosedämmung“   |                          |                |              |               |                      |
| Gipskartonplatten (2 cm)<br>PE-Folie<br>Zelluloseflocken (16 cm)<br>Weichfaserplatten (2,2 cm)<br>Luftschicht (1,8 cm)<br>Faserzementplatten (1 cm) | 0,293 W/m <sup>2</sup> K | tauwasser-frei | F30          | 42 dB         | gegeben              |

Nach Prüfung der funktionalen Äquivalenz sollen über umweltorientierte Größen hinaus Aussagen zu weiteren funktionalen, gesundheitsbezogenen sowie ökonomischen Kriterien abgeleitet werden. Speziell die Betrachtung weiterer funktionaler Kriterien dient dabei der Beschreibung von Entwurfsqualitäten und bietet die Möglichkeit, qualitative Unterschiede zwischen den Beispielkonstruktionen zu verdeutlichen.

Um einen konkreten Außenwandvergleich durchführen zu können, wurden jeweils einige Kriterien exemplarisch aus den Bereichen Funktion, Ökologie (untergliedert in Stoffe/Energie und Gesundheit) sowie Ökonomie gewählt und anhand der vier Außenwandkonstruktionen beschrieben.

## **1.2 Außenwandvergleich auf Grundlage unterschiedlicher Einzelkriterien**

### **1.2.1 Bereich Funktion**

#### **Fläche**

Trotz gegebener funktionaler Äquivalenz (Tab. 7) sind Unterschiede hinsichtlich gegebener Flächenverhältnisse vorhanden. So wirkt sich die Größe der Konstruktionsfläche einer Wand, auch als Schlankheit der Konstruktion bezeichnet, entweder auf die Größe der Nutzfläche innerhalb oder die Größe der Freifläche außerhalb des Gebäudes aus. Je nach dem, ob die Außenwand dünn oder dick ausgebildet ist, gestaltet sich dementsprechend auch die nutzbare Wohnfläche größer oder geringer, sodass Unterschiede zwischen den Wandkonstruktionen in Form von Wohnflächengewinn oder -verlust deutlich werden. In den Ausführungen von Cziesielski, Marquardt (1994) wird im Rahmen von Außenwandvergleichen der Wohnflächengewinn als ein mögliches Bewertungskriterium angeführt. Dementsprechend findet der Wohnflächengewinn auch bei diesen Untersuchungen als Vergleichsgröße Berücksichtigung.

Um Aussagen über Konstruktionsflächendifferenzen zwischen den einzelnen Außenwandvarianten treffen zu können, wurde die Außenwandvariante mit der größten Konstruktionsfläche (größte Wanddicke bezogen auf 1 m<sup>2</sup> Außenwand) als Maximalwert angenommen und die Differenzen zu den anderen Konstruktionsflächengrößen als Wohnflächengewinne ausgewiesen (Abb. 15).

Die traditionelle einschichtige Wand aus Mauerwerk (AW - 1: innen und außen verputzt, außen mit Wärmedämmputz) ist die Variante mit der größten Konstruktionsfläche und damit einem Wohnflächengewinn von Null. Die anderen Außenwandvarianten (AW - 2, AW - 3, AW - 4) weisen ihr gegenüber durch ihren mehrschichtigen Aufbau (Realisierung der statischen und wärmedämmenden Funktion durch

jeweils unterschiedliche Schichten bzw. Teile) Vorteile auf. Die Tragschichten dieser Varianten (Mauerwerk, Holzständer) werden ihrer statischen Funktion entsprechend bemessen und müssen nicht, wie bei der einschichtigen Wand, zusätzlich die wärmedämmende Funktion übernehmen. Die Wärmedämmfunktion wird bei ihnen durch einen Wärmedämmstoff realisiert, der im Gegensatz zur Tragschicht, in einer wesentlich geringeren Konstruktionsdicke den gleichen bzw. einen besseren Dämmwert hat. Dadurch ergeben sich Wohnflächengewinne in Größenordnungen von ca. 0,20 bis 0,30 m<sup>2</sup> bezogen auf 1 m<sup>2</sup> Außenwand. Diesen Effekt kann man gezielt nutzen, um z. B. auf relativ kleinen Baulandflächen Gebäude mit festgelegter Wohnfläche zu errichten und dabei den Flächenanteil im Außenbereich so groß wie möglich zu halten.

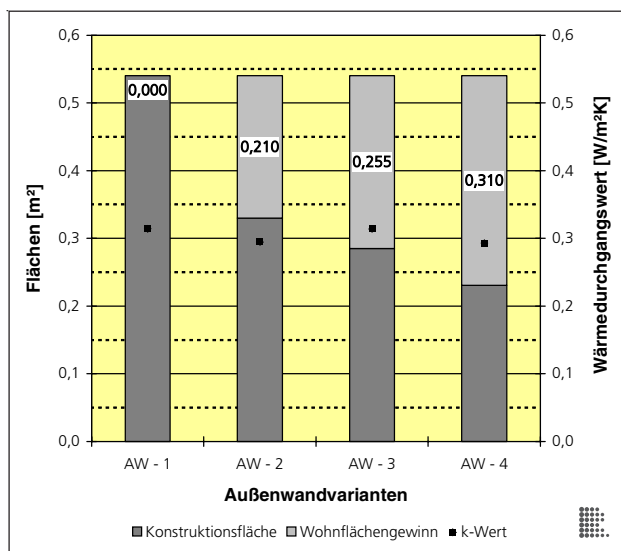


Abb. 15:  
Konstruktionsflächendifferenzen – Wohnflächengewinne  
(Quelle: Eigener Entwurf)

## Reparaturfreundlichkeit

Innerhalb der funktionalen Aspekte ist die Reparaturfreundlichkeit eine Anforderung, die sich nicht anhand von genormten Größen wie Ziel- oder Richtwerten bzw. Mindestgrößen prüfen oder kontrollieren lässt. Sie ist eher eine „weiche“ Größe, die sich verbal argumentativ beschreiben lässt und für die es bisher keine geeigneten Bewertungsmöglichkeiten gibt. Um die Reparaturfreundlichkeit von Bauteilen abbilden und vergleichen zu können, müssen geeignete Kriterien gefunden werden, die Auskunft darüber geben, ob sich notwendige Pflege-, Erhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen relativ einfach und mit vertretbarem technischen Aufwand realisieren lassen. Des Weiteren sind Bewertungshilfen zu entwickeln und zu erarbeiten, die eine Einschätzung der unter diesen Kriterien gemachten Aussagen ermöglichen.

Im Rahmen des Vergleiches der vier unterschiedlichen Außenwandkonstruktionen wurden zur Beschreibung und Einschätzung der Reparaturfreundlichkeit die folgenden Kriterien definiert:

- Lebenserwartungsgerechte Anordnung der einzelnen Baustoffe,
- Umfang des Arbeitsaufwandes beim Ein- und Ausbau defekter Bauprodukte.

Unter dem ersten Kriterium soll geprüft werden, inwieweit die eingebauten Bauprodukte ihrer Lebenserwartung entsprechend in die Konstruktion integriert sind. Damit wird die Frage beantwortet, ob alterungsbedingt defekte Teile und Schichten relativ einfach aus- und eingebaut werden können, ohne dabei noch funktionstüchtige Teile der übrigen Wandkonstruktion mit entfernen zu müssen bzw. sie zu beschädigen.

Unter dem zweiten Kriterium soll der Arbeitsaufwand eingeschätzt werden, der notwendig ist, um die äußerste Schicht, die als Wetterschutzschicht im Allgemeinen in kürzeren Intervallen ersetzt werden muss, zu erneuern. Dabei stehen die Fragen, wie viele Arbeitsschritte notwendig sind und in welchem Maß das handwerkliche Geschick gefragt ist. So lassen sich z. B. angeschraubte Fassadenplatten sicherlich viel unkomplizierter und rascher von der Unterkonstruktion lösen, als ein Putz abgeschlagen und der Untergrund gesäubert ist.

Anhand der festgelegten Kriterien wurden die einzelnen Außenwände verbal argumentativ beschrieben. Darauf aufbauend erfolgte eine Punktbewertung der beiden Kriterien, wobei eine negative Einschätzung mit „1“, eine neutrale mit „2“ und eine positive mit „3“ beurteilt wurde. Die Punktbewertungen beider Kriterien wurden für jede Außenwandvariante abschließend summarisch zu einem Gesamturteil zusammengefasst. Das bedeutet aus bewertungstheoretischer Sicht, beide Kriterien gehen mit gleicher Priorität in die Gesamtbeurteilung ein (Abb. 16).

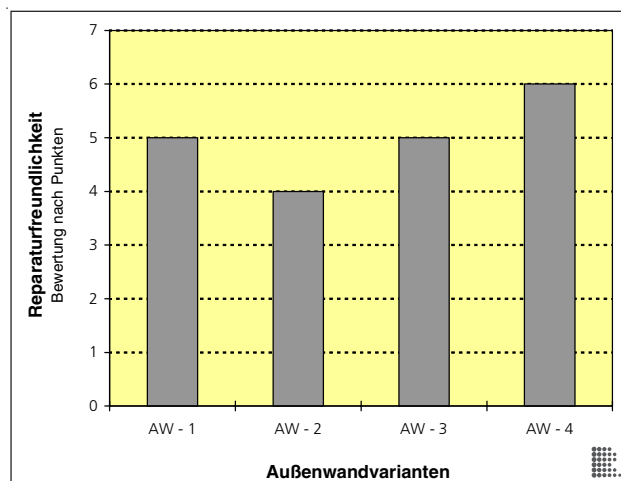


Abb. 16:  
Reparaturfreundlichkeit im  
Vergleich  
(Quelle: Eigener Entwurf)

Im Rahmen des Vergleiches der vier verschiedenen Außenwandvarianten muss darauf hingewiesen werden, dass die Bewertung der unter Reparaturfreundlichkeit genannten Kriterien stark subjektiv geprägt ist. Zum einen liegen keine einheitlichen und damit wiederverwendungsfähigen Regeln und Verfahren vor, nach denen man sich zur Beurteilung von Reparaturfreundlichkeit richten kann. Zum anderen werden Reparaturmaßnahmen je nach Vorliebe, Neigung, Meinung und Erfahrung des jeweiligen „Bewerter“ sehr individuell eingeschätzt. Die im Rahmen dieser Untersuchungen vorgenommene IÖR-interne Bewertung der Reparaturfreundlichkeit muss daher als Beispiel verstanden werden, das zeigt, wie man methodisch vorgehen kann. In diesem Sinn spiegelt die Bewertung der Reparaturfreundlichkeit der verschiedenen Außenwandkonstruktionen nur ein mögliches Ergebnis wider. Breiter angelegte Meinungsumfragen unter Sanierungsexperten würden zu einem abgesicherten und akzeptierten Ergebnis führen.

Bezüglich der lebenserwartungsgerechten Anordnung der im Wandaufbau befindlichen Baustoffe und Bauelemente können alle vier Konstruktionsvarianten positiv eingeschätzt werden. Bauprodukte und Bauteile mit geringerer Lebensdauer sind jeweils außen angeordnet, jene mit höherer dementsprechend innen. Die qualitativen Unterschiede zwischen den einzelnen Konstruktionsvarianten werden erst bei der Betrachtung des Arbeitsaufwandes für Ein- und Ausbau deutlich.

Hinsichtlich des Arbeitsaufwandes bei der Beseitigung von Defekten wird die hinterlüftete Holzständerkonstruktion (AW - 4: Zellulose in Holzständerkonstruktion) am günstigsten eingeschätzt. Bei ihr müssen nach ca. 40 Jahren die als Wetterschutzschicht angeordneten Faserzementplatten erneuert werden. Dies lässt sich mit einem relativ geringen Arbeitsaufwand realisieren.

Verhältnismäßig ungünstig wird die Außenwandvariante 2 (Hochlochziegelmauerwerk mit Steinwolleämmung außen) beurteilt. Das Wärmedämmverbundsystem (WDVS: Kleber, Steinwolle, Stahlanker, PE-Vlies und Außenputz) muss nach ca. 35 Jahren erneuert werden. Der für die Erneuerung notwendige Arbeitsaufwand kann sich durch die schlechte Trennbarkeit der Steinwolleplatten von der Tragkonstruktion (Klebeverbindung) erhöhen. Des Weiteren müssen gegenüber Wärmedämmverbundsystemen mit Polystyrolämmung (AW - 3) zur Demontage und Montage der Steinwolleplatten zusätzlich Befestigungsdübel gelöst werden.

Die Außenwandvarianten 1 (Mauerwerk mit Wärmedämmputz) und 3 (Kalksandstein mit Polystyrol außen) werden ähnlich bewertet. Sowohl bei Erneuerung des Wärmedämmputzes als auch des Wärmedämmverbundsystems kann sich der Arbeitsaufwand erhöhen, je nachdem wie gut sich der Altputz entfernen lässt bzw. sich die Polystyrolplatten von der Tragkonstruktion lösen lassen. Für die AW - 3 (Kalksandstein mit Polystyrol außen) gibt es noch eine Sanierungsmöglichkeit, bei der nur der äußere Deckputz erneuert werden muss und die Polystyrolplatten auf der Tragkonstruktion verbleiben können. Diese Sanierungsvariante bietet die Möglichkeit, den

Dämmwert der Wand nachträglich zu verbessern (Anordnung zusätzlicher Polystyrolplatten auf den vorhandenen). Ansonsten wird der Arbeitsaufwand bei dieser Variante nicht abweichend von der vorangegangenen Beurteilung eingeschätzt. Der Altputz muss abgeschliffen und dann erneuert werden.

### Wärmebrückenrisiko

Das Wärmebrückenrisiko ist ebenfalls eine Größe, die sich nicht eindeutig quantitativ in Maß und Zahl darstellen lässt, sondern vorrangig verbal argumentativ zu beschreiben ist. Auch hinsichtlich der Bewertung des Wärmebrückenrisikos liegen kaum Erfahrungen und geeignete Verfahren vor. Um im Rahmen des Vergleichs der ausgewählten Außenwandvarianten einschätzen zu können, ob die einzelnen Konstruktionen hinsichtlich der bautechnischen Durchbildung unterschiedlicher Detailpunkte mehr oder weniger Sorgfalt benötigen, um Wärmebrücken zu vermeiden, wurden die entsprechenden Anschlusspunkte überprüft. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Anschlüsse:

- Außenwand – öffnungsschließende Elemente (Fenster, Türen, Fenstertüren),
- Außenwand – Deckeneinbindung (Kellerdecke, normale und oberste Geschossdecke),
- Außenwand – Dachanbindung,
- Außenwand – Innenwand und
- Eckausbildung.

Für jede der Außenwandvarianten werden die bautechnischen Lösungsmöglichkeiten der aufgeführten Detailpunkte aus energetischer Sicht bezüglich der Einschätzung des Auftretens bzw. des Ausmaßes von Wärmebrücken geprüft und beschrieben sowie nach einem dreistufigen Bewertungsmodus beurteilt (geringes Risiko = 1, mittleres Risiko = 2, hohes Risiko = 3; Abb. 17).

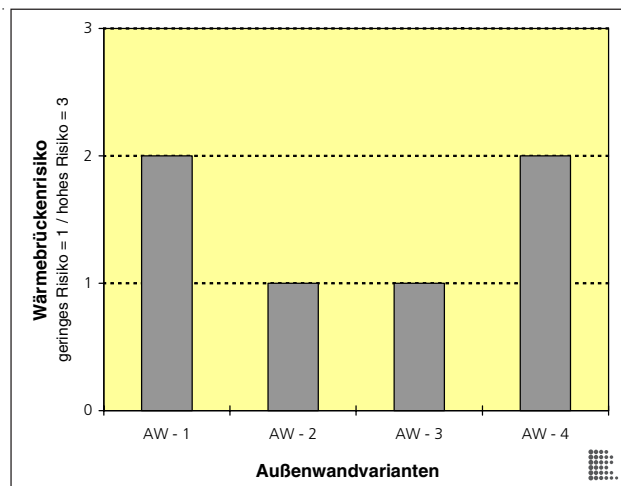


Abb. 17:  
Wärmebrückenrisiko im  
Vergleich  
(Quelle: Eigener Entwurf)

Auch bei der Einschätzung des Wärmebrückenrisikos muss darauf hingewiesen werden, dass diese stark subjektiv vom individuellen „Bewerter“ geprägt ist, da sie nicht auf Messungen, sondern auf Erfahrungswissen beruht. In diesem Sinne ist die Bewertung des Wärmebrückenrisikos entsprechend der Reparaturfreundlichkeit nur als eine Beispielbewertung aufzufassen.

Im Vergleich wird deutlich, dass die mehrschichtigen Konstruktionen, vor allem die mit außen liegender Dämmung (AW - 2, AW - 3), gegenüber der einschichtigen Konstruktion (AW - 1)<sup>16</sup> einen erheblichen Vorteil aufweisen. Bei ihnen kommen Wärmebrücken im Bereich von Decken- und Wandeinbindungen stark gemindert bzw. kaum zur Geltung, da die Tragkonstruktionen außen von einer undurchbrochenen, relativ dicken (ab 10 cm) Wärmedämmschicht umschlossen sind. Auch der Anschluss vonöffnungsschließenden Elementen lässt sich relativ wärmebrückenfrei realisieren, wenn die Dämmung im Bereich der Leibung konsequent fortgesetzt wird. Gegenüber der stark gedämmten Holzständerkonstruktion (16 cm Dämmung) sind die Außenwände 2 und 3 (Wärmedämmverbundsysteme) ebenfalls im Vorteil, da die Holzständerkonstruktion im Bereich der Pfosten zu Wärmebrücken neigt. Um Wärmebrücken in diesen Bereichen zu vermeiden und wärmetechnisch einwandfreie Detaillösungen realisieren zu können, werden hohe Anforderungen an das konstruktiv-entwerferische Geschick des Planers gestellt.

## 1.2.2 Bereich Gesundheit

### Innenraumklima

Die Bau- und Inhaltsstoffe einer Wand sowie deren Konstruktionsprinzip prägen und beeinflussen in erheblichem Maß das Innenraumklima. Wie für jeden Vergleich, so müssen auch im Rahmen des Vergleichs unterschiedlicher Außenwandkonstruktionen hinsichtlich ihrer Wirkungen auf das Innenraumklima geeignete Bewertungskriterien festgelegt werden. In der Literatur werden in diesem Zusammenhang u. a. folgende Kriterien vorgeschlagen:

- toxische Emissionen,
- Staub- und Faseremissionen,
- allergenes Potenzial,
- Bindung von Luftschadstoffen,
- Feuchteausgleichsvermögen,
- natürliche Radioaktivität und
- Oberflächentemperatur.

---

<sup>16</sup> AW - 1 zählt noch als einschichtig, obwohl der traditionelle Außenputz durch einen 4 cm starken Dämmputz ersetzt wurde.

Auf Basis dieser Kriterien wurden die Baustoffe sowie der wärmetechnische Aufbau der einzelnen Außenwandvarianten eingeschätzt und bewertet.

Bei der Einschätzung und Bewertung unterschiedlicher Außenwandvarianten anhand der festgelegten Kriterien muss beachtet werden, dass einige Kriterien vom gesamten Wandaufbau geprägt und andere wiederum nur von einzelnen Schichten und Stoffen beeinflusst werden. So ist z. B. das Konstruktionsprinzip, d. h., ob und wie unterschiedliche Schichten und Stoffe miteinander kombiniert sind, dafür ausschlaggebend, in welcher Größe sich die Oberflächentemperatur einstellt. Andere innenraumrelevante Kriterien hingegen, wie z. B. unterschiedliche toxische Faser- oder Staubemissionen bzw. das Feuchteausgleichsvermögen, werden vorrangig von den Schichten und Stoffen, die unmittelbar an den Innenraum grenzen, bestimmt. Diese Zusammenhänge müssen bei der Bewertung Berücksichtigung finden.

Dementsprechend wird zur Beurteilung der Kriterien toxische Emissionen, Staub- und Faseremissionen, allergenes Potenzial und Bindung von Luftschadstoffen nur die erste an den Innenraum angrenzende Schicht berücksichtigt<sup>17</sup>. Um das Feuchteausgleichsvermögen einer Wand beurteilen zu können, muss das Verhalten der ersten zwei bis drei innenliegenden Zentimeter hinterfragt werden, da im Allgemeinen im Bereich dieser Schichtdicke überschüssige Feuchte aus dem Innenraum gepuffert werden kann. Zur Beurteilung des Feuchteausgleichsvermögens werden daher die ersten beiden innenliegenden Baustoffschichten berücksichtigt und bewertet sowie zu einem Ergebnis zusammengefasst. Bei der Einschätzung der natürlichen Radioaktivität werden alle Schichten und Stoffe, die im Wandaufbau enthalten sind, in einem ersten Schritt einzeln untersucht und in einem zweiten zur Beurteilung des kompletten Wandbeispiels auf eine Größe reduziert. Die Beurteilung der Oberflächentemperatur, die gerade im wandnahen Bereich Einfluss auf das Behaglichkeitsempfinden der Nutzer hat, ist vorrangig vom Wärmedurchgangskoeffizienten (k-Wert) der Gesamtkonstruktion abhängig. Da dieser entsprechend der funktionalen Äquivalenz bei allen Konstruktionsvarianten annähernd gleich ist, bleibt im Rahmen des Außenwandvergleiches die Oberflächentemperatur als Beurteilungskriterium unberücksichtigt.

Die Bewertung aller Kriterien erfolgt nach Punkten. Dabei wird eine positive Einschätzung mit „1“ bewertet, eine neutrale mit „0“ und eine negative mit „-1“. Für jedes Außenwandbeispiel werden die aufgeführten Kriterien untersucht und beurteilt und im Anschluss zu einer Gesamtbewertung zusammengefasst (Summenbildung, Konsequenz: alle berücksichtigten Kriterien gehen mit gleicher Priorität in die Gesamtbeurteilung ein). Da hinsichtlich der Einschätzung der Eigenschaften und inhalt-

---

<sup>17</sup> Tapeten, Anstriche und ähnliche andere Oberflächenbeschichtungen, die im Allgemeinen noch zusätzlich auf Putze, Beplankungen oder Verkleidungen aufgetragen werden, bleiben im Rahmen dieser Untersuchungen unberücksichtigt.



lichen Zusammensetzung verschiedener Stoffe und Schichten nicht immer eindeutige Aussagen möglich sind, z. B. je nach Wahl der Additive können Belastungen auftreten oder nicht, wird in diesen Fällen sowohl eine „weiche“ (positive Einschätzung – Belastung nicht vorhanden) als auch eine „harte“ (negative Einschätzung – Belastung vorhanden) Beurteilung vorgenommen. Somit erfolgt auch die Gesamtbewertung jeder Außenwand in Form einer „weichen“ und einer „harten“ sowie einer „gemittelten“ Bewertung (Abb. 18).

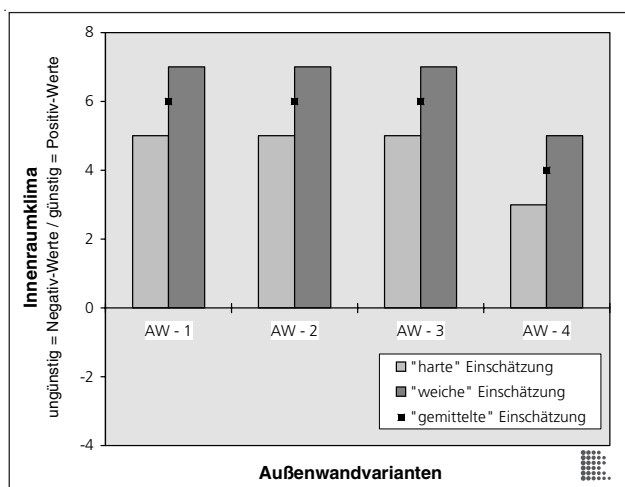


Abb. 18:  
Innenraumklima im Vergleich  
(Quelle: Eigener Entwurf)

Im Vergleich wird deutlich, dass die unterschiedlichen Außenwandkonstruktionen hinsichtlich ihrer Wirkungen auf das Innenraumklima ähnlich positiv bewertet werden. Die Varianten AW - 1, AW - 2 und AW - 3 werden gleich beurteilt. Ihr geringer Vorteil gegenüber der AW - 4 lässt sich vorrangig durch die Verwendung von kalkhaltigem Innenputz erklären. Die Kalkanteile des Innenputzes haben desinfizierende Wirkung, sodass vorhandene Luftschadstoffe gebunden werden können.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die Beeinflussung des Innenraumklimas vorrangig von den Eigenschaften der an den Innenraum grenzenden Schicht beeinflusst wird und dass der „Rest“ der Konstruktion für diesen Aspekt eher untergeordnete Bedeutung hat. Aus Sicht des Gesundheitsschutzes sind daher Vergleiche von kompletten Außenwandkonstruktionen weniger sinnvoll; wesentlich bedeutender sind die Unterschiede in den Eigenschaften der innenraumabschließenden Schichten. Man sollte daher bei der Wahl der die Konstruktion nach innen abschließenden Schicht verstärkt auf gesundheitliche Aspekte achten.

### Arbeitsplatzbelastung

Die Beurteilung der Arbeitsplatzbelastung wird vom Prinzip her nach dem gleichen Bewertungsverfahren durchgeführt wie die Beurteilung der Innenraumbelastung. Zur

Beschreibung und Einschätzung, der auf den Arbeiter einwirkenden Einflüsse und Belastungen, werden arbeitsplatzbezogene Kriterien ermittelt und festgelegt. Im Gegensatz zu den innenraumrelevanten Kriterien werden die arbeitsplatzbezogenen von allen Schichten und Stoffen der Außenwand gleichermaßen beeinflusst und geprägt, da der Arbeiter mit diesen bei der Wandherstellung in Berührung kommt. Die arbeitsplatzrelevanten Kriterien werden wie folgt gewählt:

- toxische Emissionen,
- Staub- und Faseremissionen,
- allergenes Potenzial,
- natürliche Radioaktivität,
- Lärmbelastung und
- physiologische Belastung.

Zur Beurteilung dieser Kriterien werden alle Schichten und Stoffe, die im Wandaufbau enthalten sind, untersucht und hinterfragt und nach Punkten bewertet. Dabei bedeuten „1“ positive Bewertung und „-1“ negative Bewertung. Im Fall einer unsicheren Bewertung werden als Möglichkeiten sowohl eine negative als auch eine positive Einschätzung in die Betrachtung einbezogen, sodass wieder in „harte“ und „weiche“ sowie eine „gemittelte“ Einschätzung zu unterscheiden ist.

Für jedes Außenwandbeispiel werden die aufgeführten Kriterien schichtenweise untersucht und bewertet sowie auf eine „harte“ und „weiche“ Einschätzung pro Kriterium reduziert. Die Ermittlung einer Gesamtbewertung erfolgt durch Summenbildung der Einschätzungen pro Kriterium, wobei die Untergliederung in „harte“ und „weiche“ sowie zusätzlich in eine „gemittelte“ Einschätzung erhalten bleibt (Abb. 19).

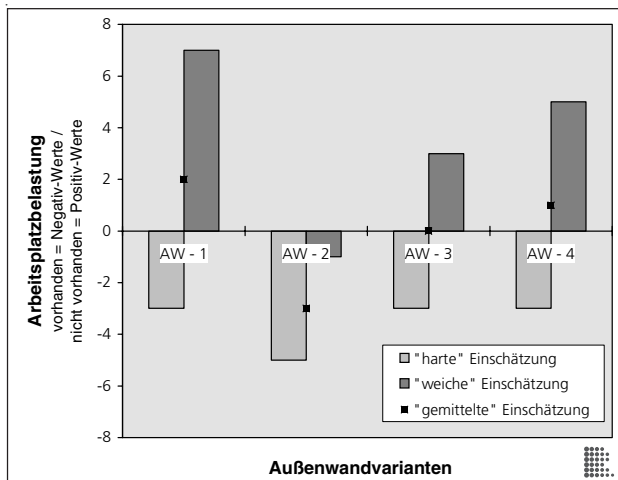


Abb. 19:  
Arbeitsplatzbelastung im Vergleich  
(Quelle: Eigener Entwurf)

In der Auswertung wird deutlich, dass sich gesundheitliche Belastungen am Arbeitsplatz relativ schwer realistisch beurteilen lassen. Die inhaltliche Zusammensetzung

von Baustoffen ist in der Regel an den Einsatz unterschiedlicher Zusatzstoffe und Additive wie Weichmacher, Flammschutzmittel, Konservierungsstoffe, Lichtschutzmittel, Stabilisatoren oder Härter gebunden, deren Wirkungen häufig nicht eindeutig bestimmt werden können. So muss bei der Einschätzung gesundheitsgefährdender Belastungen von Möglichkeiten und Annahmen ausgegangen werden. Der Umgang mit diesen Unsicherheiten führt zu unterschiedlichen subjektiven Auslegungen und damit zu einer relativ großen Bandbreite zwischen „harter“ und „weicher“ Bewertung für die einzelnen Außenwände. Trotzdem lassen sich im Vergleich der verschiedenen Außenwandvarianten anhand der gemittelten Einschätzung Unterschiede feststellen.

Am positivsten wird AW - 1 (Mauerwerk mit Wärmedämmputz) beurteilt. Aufgrund ihrer traditionellen Bauweise mit „althergebrachten“ Baustoffen, die wenig bauchemische Stoffe enthalten, ist kaum mit belastenden Emissionen zu rechnen. AW - 2 (Hochlochziegelmauerwerk mit Steinwolleämmung außen) wird am ungünstigsten eingeschätzt. Sowohl der Zuschnitt als auch die Befestigung der Steinwolleplatten ist mit gesundheitlichen Belastungen verbunden. Beim Zuschnitt der Steinwolleplatten werden Staub- und Faseremissionen frei. Bei der Befestigung der Steinwolleplatten mittels Kleber muss mit der Freisetzung von toxischen Emissionen aus dem Kleber gerechnet werden. AW - 3 (Kalksandstein mit Polystyrol außen) und AW - 4 (Holzständerkonstruktion mit Zellulosedämmung) sind hinsichtlich ihrer Beurteilung ähnlich einzuschätzen und liegen zwischen AW - 1 und AW - 2. Bei AW - 3 muss mit Emissionen aus dem Befestigungskleber für die Polystyrolplatten gerechnet werden. Bei AW - 4 ist das Einblasen der Zellulosedämmung in die Holzständerkonstruktion mit hohen Staubbelastungen verbunden. Dadurch ist das Tragen eines Mundschutzes unbedingt erforderlich.

### **Belastungen im Störfall**

Die Beurteilung der im Störfall, z. B. bei einem Brand, auftretenden Belastungen wird nach dem gleichen Bewertungsprinzip durchgeführt wie die Bewertung der Innenraum- sowie der Arbeitsplatzbelastung. Als beurteilungsrelevantes Kriterium ist die Freisetzung toxischer Emissionen zu untersuchen.

Zur Beschreibung und Einschätzung dieses Kriteriums werden alle Schichten und Stoffe der Außenwand berücksichtigt und eingeschätzt. Kommt es im Brandfall nicht zur Freisetzung von Emissionen, ist der jeweilige Stoff bzw. die jeweilige Schicht positiv mit „1“ zu bewerten. Werden Emissionen frei, erfolgt eine negative Beurteilung, die durch den Wert „-1“ ausgedrückt wird. Im Rahmen der Bewertung werden die Stoffschichten jeder Beispielwand zuerst einzeln wie beschrieben untersucht und beurteilt. Als Gesamtwert wird dann für jede Wand ein so genanntes Emissionspotenzial ermittelt. Dabei werden alle im Brandfall auftretenden Emissionen, d. h. alle Negativ-Bewertungen, addiert.

Bestehen Unsicherheiten hinsichtlich der Einschätzung des Verhaltens im Brandfall, erfolgt eine Doppelbewertung, d. h., es wird sowohl positiv als auch negativ bewertet. Damit erfolgt die Einschätzung des Emissionspotenzials in Form einer Bandbreite von „harter“ bis „weicher“ Einschätzung (Abb. 20).

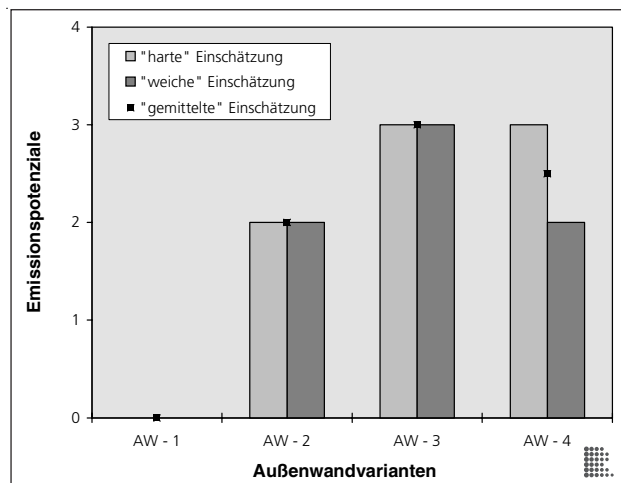


Abb. 20:  
Emissionspotenziale – Belastungen im Störfall im Vergleich  
(Quelle: Eigener Entwurf)

Am positivsten wird AW - 1 (Mauerwerk mit Wärmedämmputz) eingeschätzt, sie hat mit „0“ das geringste Emissionspotenzial. Aufgrund ihrer traditionellen Baustoffe ist im Brandfall nicht mit toxischen Emissionen zu rechnen. Die Außenwände 2 bis 4 hingegen weisen Emissionspotenziale auf. In ihnen sind Baustoffe (PE-Vlies, PE-Folie, Kleber, Polystyrol, evtl. Holzschutzmittel) enthalten, die im Brandfall toxische Gase freisetzen. AW - 3 ist unter den drei genannten emissionspotenzialbelasteten Außenwänden die mit der schlechtesten Beurteilung. Im Brandfall geht von drei Wandbaustoffen, dem Kleber, der Polystyrol-Dämmung sowie dem PE-Vlies, ein Emissionspotenzial aus. Polystyrol setzt Styrol und geringe Mengen von Ethylbenzol, Toluol und Xylol frei; die Toxizität kann sich je nach Flammschutzmittel noch erheblich erhöhen. PE-Folie gibt Emissionen ab; diese sind von den Additiven abhängig. Beim Kleber sollte mit Emissionen gerechnet werden, selbst wenn lösemittelfreie Produkte angenommen werden, können Konservierungsmittel, Weichmacher oder andere Additive zu Belastungen führen.

### 1.2.3 Bereich Stoffe/Energie

#### Ökoinventare

Um die Baustoffe der vier Außenwandkonstruktionen auf Grundlage von Ökoinventaren bewerten und miteinander vergleichen zu können, musste die gewählte Da-

tenbasis (SIA D 0123 1995/02 und SIA D 0123 1995/09) hinsichtlich gegebener Rahmenbedingungen, vor allem zugrunde liegender Strom-Mix-Varianten, geprüft und entsprechende Festlegungen zur Verwendung getroffen werden<sup>18</sup>.

In SIA D 0123 (1995/02) basieren die Daten der acht Wirkungskategorien Treibhauseffekt, Versäuerung, Ozonschichtabbau, Überdüngung, Smogbildung, Humantoxikologie, Umwelttoxikologie und Primärenergie auf dem Schweizer (CH) Strom-Mix. In SIA D 0123 (1995/09) hingegen werden sowohl Angaben zum Schweizer (CH) Strom-Mix als auch zum europäischen Strom-Mix UCPTe gemacht. Des Weiteren sind nicht mehr für alle acht Wirkungskategorien Aussagen zusammengestellt, sondern nur für die drei Kategorien Treibhauseffekt, Versäuerung und Primärenergie.

Im Rahmen des Außenwandvergleichs müssten die notwendigen Daten korrekterweise auf dem europäischen Strom-Mix UCPTe basieren. Da diese jedoch nur in der SIA D 0123 (1995/09) und auch nur für die Wirkungskategorien Treibhauseffekt, Versäuerung und Primärenergie vorliegen, werden grundsätzlich Daten auf Grundlage des Schweizer (CH) Strom-Mix gewählt. Dabei werden die Aussagen zu Ozonschichtabbau, Überdüngung, Smogbildung, Humantoxikologie und Umwelttoxikologie der älteren Version der SIA D 0123 (1995/02) entnommen, die für Treibhauseffekt, Versäuerung und Primärenergie der aktuelleren Fassung SIA D 0123 (1995/09).

Die Ökoinventardaten sind auf Grundlage festgelegter Systemgrenzen erhoben; innerhalb der Systemgrenzen liegen die Aufbereitung der Rohstoffe, die Transporte zum Produktionsstandort und der Herstellungsprozess im Betrieb. Außerhalb der Systemgrenzen befinden sich die Transporte auf die Baustelle, der Bauprozess selbst, die Nutzung und die Entsorgung.

Die Ökoinventare (SIA D 0123 1995/02 und 1995/09) beziehen sich jeweils auf 1 kg Baustoff und spiegeln in den acht unterschiedlichen Kategorien die Umweltwirkungen wider, die sich bei der Herstellung besagter Baustoffmenge ergeben. Sie werden mit dem Gewicht der jeweiligen Baustoffschicht multipliziert, sodass jeder Baustoffschicht im Bauteil Außenwand die genauen Umweltwirkungen zugerechnet werden können. Diesem Berechnungsprinzip entsprechend lassen sich die zu vergleichenden vier unterschiedlichen Außenwandvarianten aus ökologischer Sicht beschreiben (Tab. 8).

---

<sup>18</sup> Die Ökoinventare werden in Anhang C näher beschrieben.

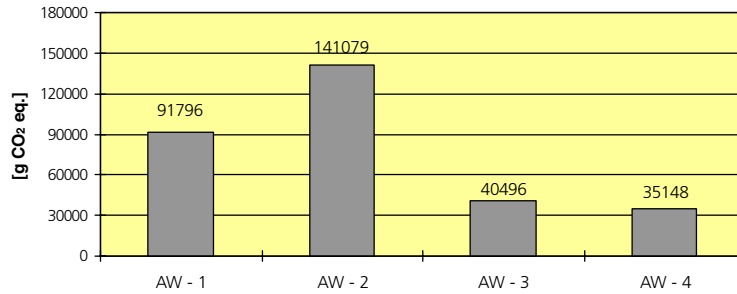
Tab. 8: Berechnung der Wirkungskategorien für eine Außenwand  
(Quelle: Eigene Zusammenstellung)

| Beispiel: AW - 1: Putz – Mauerwerk – Putz     |                          |                                 |                |                                 |                   |                                 |                   |
|---|--------------------------|---------------------------------|----------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|
| Phänomen                                      | Schweizer (CH) Strom-Mix |                                 |                |                                 |                   |                                 | CH Summe Phänomen |
|   | Putz – innen (IP)        |                                 | Mauerwerk (MW) |                                 | Putz – außen (AP) |                                 |                   |
|   | Inventar                 | IST-Wert<br>1 m <sup>2</sup> IP | Inventar       | IST-Wert<br>1 m <sup>2</sup> MW | Inventar          | IST-Wert<br>1 m <sup>2</sup> AP |                   |
| Treibhauseffekt<br>[g CO <sub>2</sub> eq./kg] | 106                      | 1 484                           | 225            | 88 200                          | 264               | 2 112                           | 91 796            |
| Versäuerung<br>[g SO <sub>2</sub> eq./kg]     | 0,91                     | 13                              | 0,81           | 318                             | 0,78              | 6                               | 337               |
| Ozonschichtabbau<br>[myg R11 eq./kg]          | 33                       | 462                             | 45             | 17 640                          | 110               | 880                             | 18 982            |
| Überdüngung<br>[mg Phosphat eq./kg]           | 17                       | 238                             | 60             | 23 520                          | 62                | 496                             | 24 254            |
| Smog<br>[mg Ethyl eq./kg]                     | 38                       | 532                             | 61             | 23 912                          | 920               | 7 360                           | 31 804            |
| Humantoxikologie<br>[mg Körpermasse/kg]       | 219                      | 3 066                           | 972            | 381 024                         | 1 021             | 8 168                           | 392 258           |
| Umwelttoxikologie<br>[l Wasser/kg]            | 166                      | 2 324                           | 228            | 89 376                          | 1 214             | 9 712                           | 101 412           |
| Primärenergie nicht<br>erneuerbar [MJ/kg]     | 0,7                      | 10                              | 2,5            | 980                             | 2,3               | 18                              | 1 008             |
| Primärenergie<br>erneuerbar [MJ/kg]           | 0,1                      | 1                               | 0,0            | 0                               | 0,1               | 1                               | 2                 |
| Gesamt-Primärenergie<br>[MJ/kg]               | 0,8                      | 11                              | 2,5            | 980                             | 2,4               | 19                              | 1 010             |

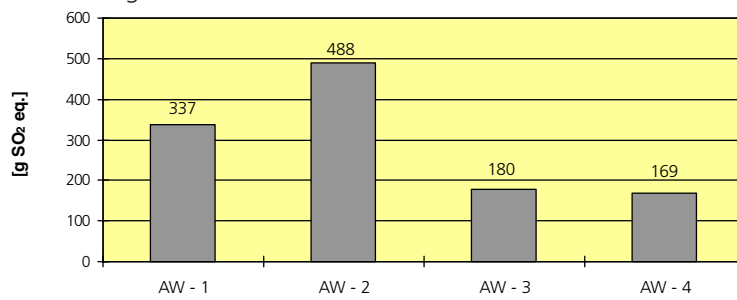
Für jede Baustoffschicht des Bauteiles Außenwand, in diesem Beispiel Putz – innen, Mauerwerk, Putz – außen (Wärmedämmputz), sind die Ökoinventardaten der acht Wirkungskategorien als spezifische Werte in der Spalte „Inventar“ aufgeführt. Diese spezifischen Werte werden mit dem tatsächlichen Gewicht der jeweiligen Baustoffschicht multipliziert und als absolute Werte bezogen auf 1 m<sup>2</sup> Außenwandfläche in die Tabellenspalte „IST-Wert“ eingetragen. Die „IST-Werte“ der unterschiedlichen Baustoffschichten wiederum ergeben innerhalb jeweils der gleichen Wirkungskategorie durch Summenbildung die Gesamtschätzungen für die Umweltphänomene Treibhauseffekt, Versäuerung, Ozonschichtabbau usw. Die Werte dieser Gesamtschätzungen sind in Spalte „CH Summe Phänomen“ dargestellt und für den Vergleich der vier Außenwandkonstruktionen von Bedeutung.

Ein direkter Vergleich zwischen den vier Außenwandkonstruktionen ist jeweils nur innerhalb einer Wirkungskategorie möglich. Zur Beurteilung der Umweltwirkungen der zur Auswahl stehenden Konstruktionen sind daher acht Einzelvergleiche notwendig (Abb. 21 und 22).

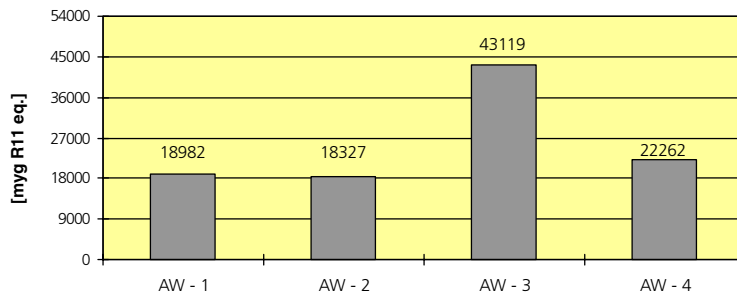
## Treibhauseffekt



## Versäuerung



## Ozonschichtabbau



## Überdüngung

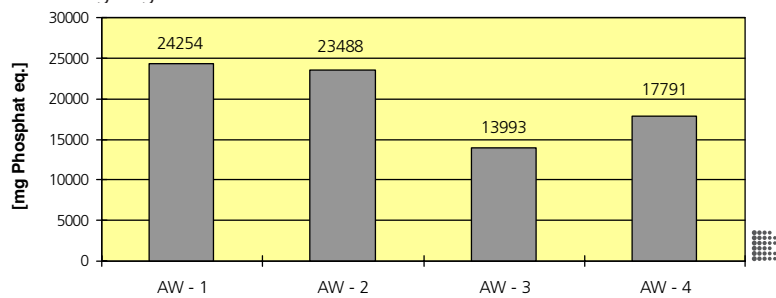
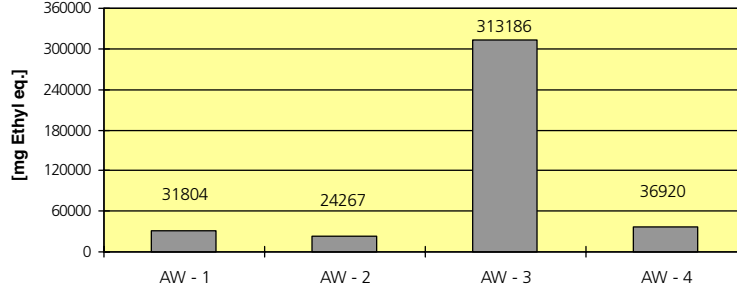
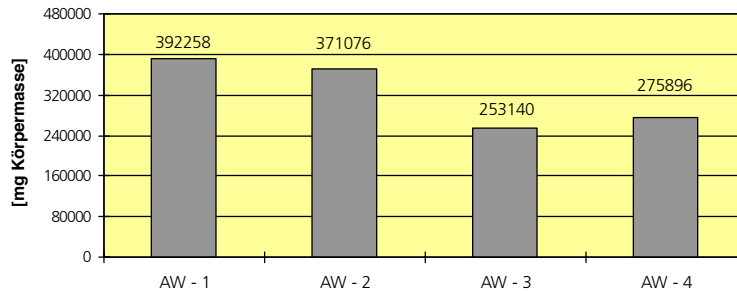


Abb. 21: Wirkungskategorien Treibhauseffekt, Versäuerung, Ozonschichtabbau und Überdüngung für die vier Außenwände im Vergleich (Quelle: Eigener Entwurf)

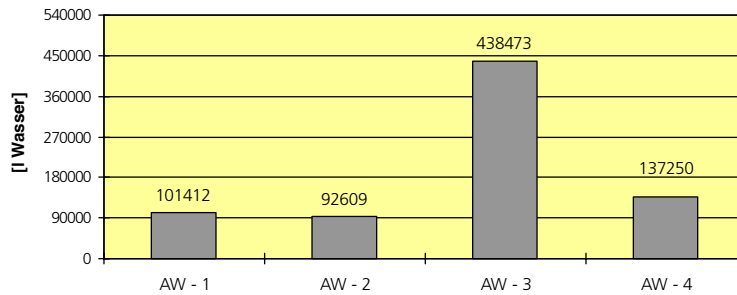
Smog



Humantoxikologie



Umwelttoxikologie



Primärenergie

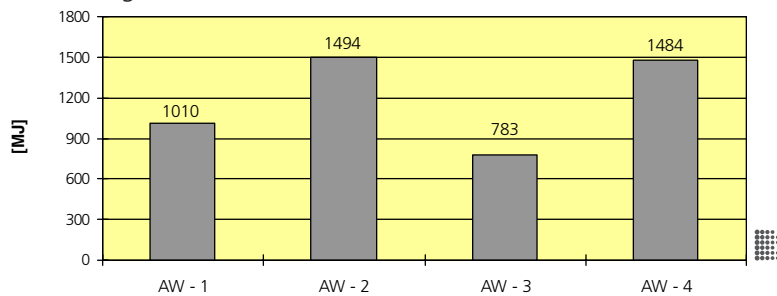


Abb. 22: Wirkungskategorien Smog, Humantoxikologie, Umwelttoxikologie und Primärenergie für die vier Außenwände im Vergleich (Quelle: Eigener Entwurf)



In Auswertung der Berechnungen zeigt sich, dass die AW - 2 (Innenputz – Mauerwerk – Steinwolle – Außenputz) in den Wirkungskategorien Treibhauseffekt und Versäuerung einen durchschnittlich dreifach höheren Wert aufweist als die Außenwände AW - 3 und AW - 4. Diese hohen Werte resultieren aus dem Baustoff Steinwolle, der viel CO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> bei der Herstellung verursacht (Tab. 9).

Tab. 9: Acht Wirkungskategorien je Bauteil Außenwand  
(Quelle: Eigene Zusammenstellung)

|  | AW - 1  | AW - 2  | AW - 3  | AW - 4  |
|--|---------|---------|---------|---------|
| Treibhauseffekt<br>[g CO <sub>2</sub> eq.] | 91 796  | 141 079 | 40 496  | 35 148  |
| Versäuerung<br>[g SO <sub>2</sub> eq.]     | 337     | 488     | 180     | 169     |
| Ozonschichtabbau<br>[myg R11 eq.]          | 18 982  | 18 327  | 43 119  | 22 262  |
| Überdüngung<br>[mg Phosphat eq.]           | 24 254  | 23 488  | 13 993  | 17 791  |
| Smog<br>[mg Körpermasse]                   | 31 804  | 24 267  | 313 186 | 36 920  |
| Humantoxikologie<br>[mg Körpermasse]       | 392 258 | 371 076 | 253 140 | 275 896 |
| Umwelttoxikologie<br>[l Wasser]            | 101 412 | 92 609  | 438 473 | 137 250 |
| PEI gesamt<br>[MJ]                         | 1 010   | 1 494   | 783     | 1 484   |

In der Wirkungskategorie Ozonschichtabbau übersteigt der Wert der AW - 3 (Putz – Kalksandstein – Polystyrol – Putz) den der anderen Wände um reichlich das Doppelte; Verursacher ist hierbei das Polystyrol. Noch deutlicher zeigt sich das Polystyrol in der Wirkungskategorie Smog (es handelt sich hier um die Berechnung der Photooxidantien – Sommersmog), wo es den 10fachen Wert hat und in der Wirkungskategorie Umwelttoxikologie den 4fach höheren Wert als die anderen Außenwände.

AW - 4 (Holzständerbauweise mit Zellulosefaserdämmung und hinterlüfteten Faserzementplatten) liegt in allen Wirkungskategorien sehr günstig. In der Berechnung werden nachwachsende Rohstoffe CO<sub>2</sub>-neutral berücksichtigt, sodass keine negativen Werte in die Wirkungskategorie Treibhauseffekt eingehen, wodurch sich dieser Wert sonst noch günstiger zeigen würde. Rein umweltmäßig betrachtet stellt sich die AW - 4 mit dem Baustoff Holz und der Wärmedämmung Zellulosefaser am günstigsten dar.

Relativ unauffällig bezüglich der Wirkungskategorien verhält sich die AW - 1, da sie statt dem Dämmstoff nur einen Wärmedämmputz hat, der relativ wenig Schadstoffe beinhaltet.

Die Gesamteinschätzung der vier Außenwandvarianten ist mit der Darstellung in einem Netz-Diagramm übersichtlicher möglich als mit einem Säulendiagramm. Hierbei werden die acht Wirkungskategorien jeder Außenwandvariante gleichzeitig abgebildet. Aufgrund der großen Spreizung der Werte (von 200 bis 440 000) lassen sie sich nur logarithmisch abbilden, was jedoch die Ergebnisse stark verfälschen würde. Deshalb wird die Bestwertmethode angewendet, d. h., dass innerhalb jeder Wirkungskategorie pro Bauteil Außenwand der geringste und damit beste Wert auf „1“ gesetzt (Felder sind grau hinterlegt) und dazu das Verhältnis der anderen Wirkungskategorien gebildet wird (Tab. 10, Abb. 23).

Tab. 10: Daten der vier Außenwände auf Basis der Bestwertmethode (Quelle: Eigene Zusammenstellung)

|                   | AW - 1 | AW - 2 | AW - 3 | AW - 4 |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| Treibhauseffekt   | 2,61   | 4,01   | 1,15   | 1,00   |
| Versäuerung       | 1,99   | 2,89   | 1,06   | 1,00   |
| Ozonschichtabbau  | 1,04   | 1,00   | 2,35   | 1,21   |
| Überdüngung       | 1,73   | 1,68   | 1,00   | 1,27   |
| Smog              | 1,31   | 1,00   | 12,91  | 1,52   |
| Humantoxikologie  | 1,55   | 1,47   | 1,00   | 1,09   |
| Umwelttoxikologie | 1,10   | 1,00   | 4,73   | 1,48   |
| PEI gesamt        | 1,29   | 1,91   | 1,00   | 1,90   |

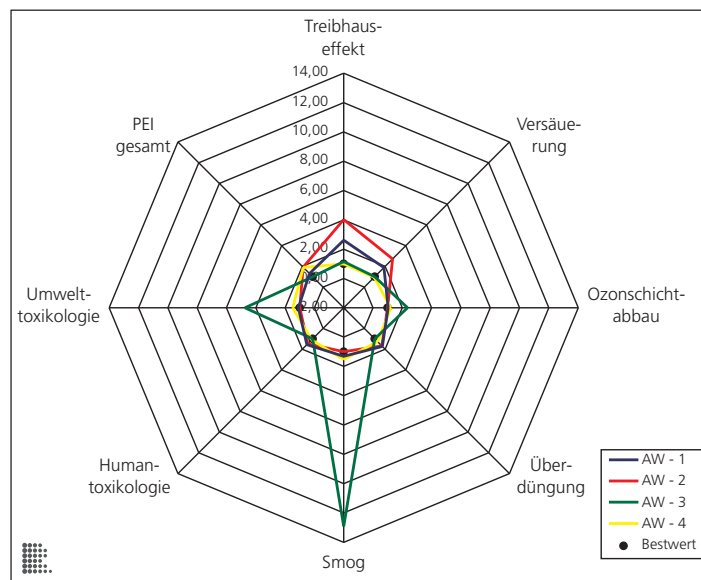


Abb. 23: Umwelt-Wirkungskategorien der vier Außenwände (Quelle: Eigener Entwurf)

Im Rahmen der Auswertung zeigt sich, dass die Außenwand 3 (Putz – Kalksandstein – Polystyrol – Außenputz) in den Wirkungskategorien Überdüngung, Humantoxikologie und Primärenergie den Wert „1“ bzw. nahe „1“ für Treibhauseffekt und Versäuerung hat. Der Ozonschichtabbau stellt sich jedoch mit dem 2,3fachen und die Wirkungskategorie Umwelttoxikologie mit dem 4,7fachen Wert dar.

Am Beispiel der AW - 3 wird außerdem deutlich, dass das Polystyrol einen enorm hohen Wert bei der Wirkungskategorie „Smog“ erzeugt (13-mal höher als bei den anderen Außenwänden), sodass die innerhalb der anderen Wirkungskategorien vorhandenen Unterschiede optisch minimiert werden. In einem weiteren Diagramm wird daher im Sinne einer deutlicheren Darstellung der Differenzen auf die Abbildung des Smogs verzichtet (Abb. 24).

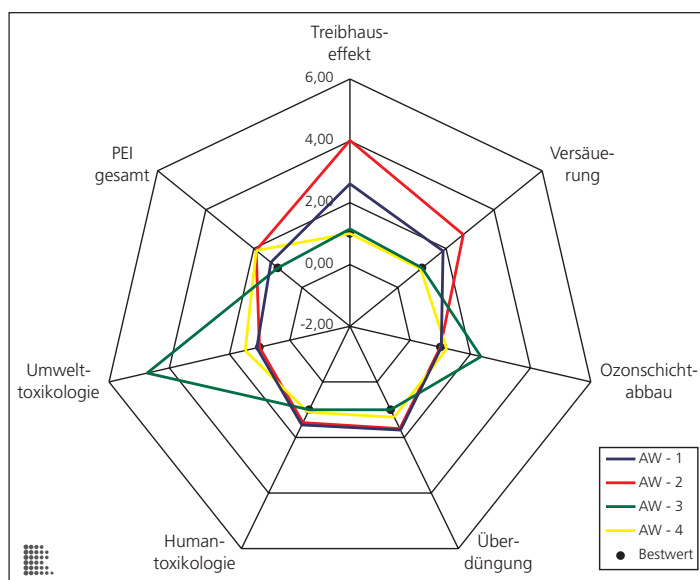


Abb. 24: Umwelt-Wirkungskategorien der vier Außenwände, ohne Smog (Quelle: Eigener Entwurf)

### 1.2.4 Bereich Ökonomie

Aus dem Bereich Ökonomie wurden die Herstellungskosten als Beispielkriterium für die Beurteilung der unterschiedlichen Außenwandkonstruktionen gewählt.

Grundlage für die Ermittlung der Kosten waren in der Literatur angegebene Kostenbandbreiten für unterschiedliche Wandkonstruktionen (RWE Energie AG). In Anlehnung an diese Angaben wurden für die konkreten Außenwandbeispiele Durchschnittspreise gebildet und miteinander verglichen (Abb. 25).

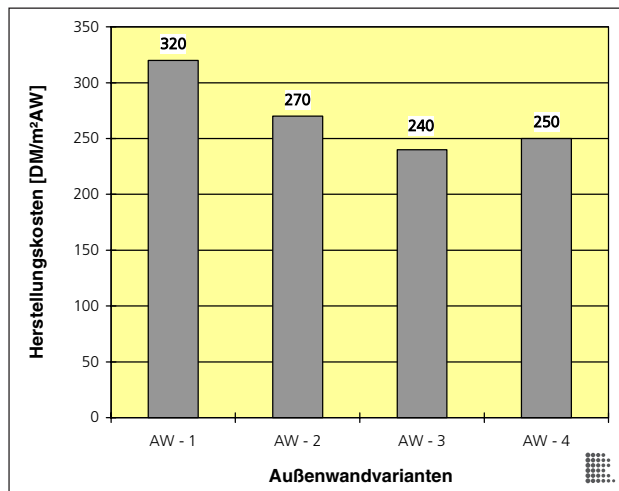


Abb. 25:  
Herstellungskosten im Vergleich  
(Quelle: Eigener Entwurf)

AW - 1 (Mauerwerk mit Wärmedämmputz) ist bezüglich der Herstellung am kostenintensivsten (ca. 70 DM/m<sup>2</sup>AW über dem Durchschnitt der Herstellungskosten der drei weiteren Wandkonstruktionen). Der Grund dafür liegt in der gewählten Wanddicke. Um den Wärmeschutz einhalten zu können, muss das Mauerwerk über das statische Maß hinaus bemessen werden. Das führt gegenüber den anderen Konstruktionen zu einem höheren Materialeinsatz und damit zu höheren Kosten.

Berücksichtigt man diesen Sachverhalt bei der Einschätzung der unterschiedlichen Außenwandvarianten, lässt sich feststellen, dass die Herstellungskosten in ähnlichen Größenordnungen (ca. 250 DM/m<sup>2</sup>AW) liegen. Die Diskussion um die Auswahl einer geeigneten Außenwandkonstruktion sollte sich daher stärker an funktionalen sowie umwelt- und gesundheitsorientierten Aspekten orientieren.

## 2 Außenwandvergleich – komplexe Bewertung

Nach Beschreibung und Einschätzung der verschiedenen Außenwandkonstruktionen im Rahmen von Einzelbewertungen ausgewählter unterschiedlicher Aspekte wird der Versuch unternommen, die verschiedenen Konstruktionen anhand mehrerer ausgewählter, unterschiedlicher Aspekte im Komplex zu bewerten. Zu diesem Zweck werden aus den Bereichen Funktion, Stoffe/Energie, Gesundheit und Ökonomie jeweils ein bis zwei Aspekte bestimmt, die als Untersuchungsgrößen in die komplexe Bewertung eingehen (Tab. 11). Da im Rahmen der Durchführung der komplexen Bewertung die Prüfung der erarbeiteten Bewertungsmethode im Vordergrund steht, sind die gewählten Untersuchungsaspekte als mögliche Beispielgrößen zu verstehen, die sich auch durch andere relevante Aspekte ersetzen lassen.

Tab. 11: Beispielaspekte im Rahmen der komplexen Bewertung  
(Quelle: Eigene Zusammenstellung)

| Beispielaspekt          | Maßeinheit      | Bereich        |
|-------------------------|-----------------|----------------|
| Reparaturfreundlichkeit | (Punkte)        | Funktion       |
| Wärmebrückenrisiko      | (Punkte)        | Funktion       |
| Humantoxikologie        | mg Körpermasse  | Stoffe/Energie |
| Überdüngung             | mg Phosphat eq. | Stoffe/Energie |
| Innenraumbelastung      | (Punkte)        | Gesundheit     |
| Arbeitsplatzbelastung   | (Punkte)        | Gesundheit     |
| Herstellungskosten      | DM              | Kosten         |

Die gewählten Aspekte gehören verschiedenen Bereichen an (Funktion, Stoffe/Energie, Gesundheit, Ökonomie). Ihre Wirkungen werden in jeweils unterschiedlichen Maßeinheiten beschrieben und sind auch bezüglich der Größenordnung sehr unterschiedlich dimensioniert. Ein direkter Vergleich der ausgewählten Aspekte ist damit nicht möglich.

Um die Aspekte trotzdem gemeinsam betrachten und einander wertend gegenüberstellen zu können, müssen sie „gleichnamig“ gemacht werden. Zu diesem Zweck werden die gewählten Aspekte vorerst einzeln betrachtet. Für jeden Aspekt wird überprüft, welche der gegebenen Bauteillösungen bzw. -varianten hinsichtlich der Einschätzung dieses Aspektes die jeweils günstigste ist. Da sich die einzelnen Aspekte

hinsichtlich ihrer Optimierungsrichtung unterscheiden<sup>19</sup>, kann sowohl die Bauteilvariante mit der kleinsten als auch die mit der größten Wirkung die günstigste sein. Die günstigste Variante wird ermittelt und als „Bestwert“ gleich „1“ gesetzt. Die Abweichungen der anderen Varianten zum „Bestwert“ werden über Verhältnisgleichungen berechnet und als Relationen zu diesem abgebildet<sup>20</sup> (Abb. 26).

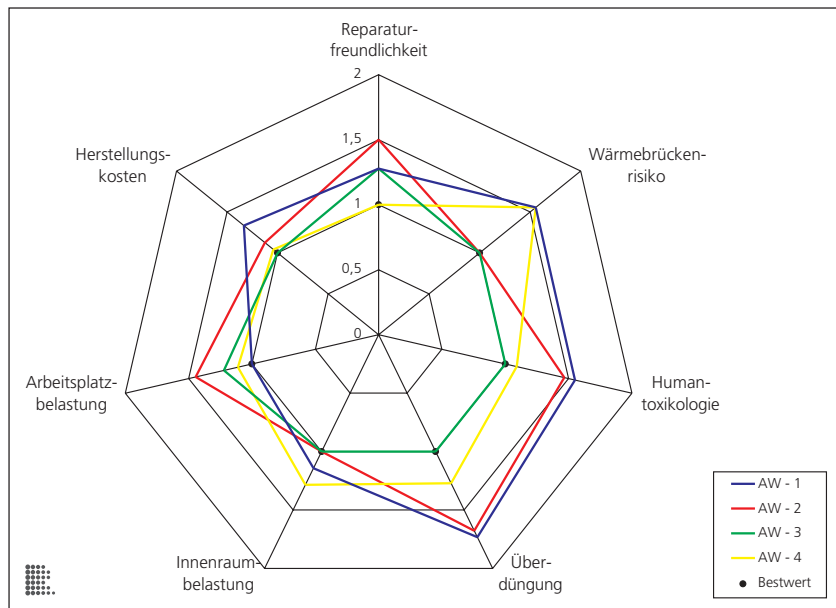


Abb. 26: Relative Bewertung im Rahmen des Vergleichs von Außenwänden – Netzdiagramm (Quelle: Eigener Entwurf)

Im Vergleich der vier unterschiedlichen Außenwandkonstruktionen wird deutlich, dass Außenwand 3 (Kalksandstein mit Polystyrol außen) unter den hier gewählten Kriterien eine günstige Variante ist. Im Rahmen der Einschätzung der sieben ausgewählten Kriterien zeigt sie in den fünf Fällen Wärmebrückenrisiko, Humantoxikologie, Überdüngung, Innenraumbelastung und Herstellungskosten bessere Werte als die anderen Konstruktionen. Ihrer Einschätzung noch relativ ähnlich ist AW - 4 (Holzständerkonstruktion mit Zellulosedämmung). AW - 1 (Mauerwerk mit Wärmedämmputz) und AW - 2 (Hochlochziegelmauerwerk mit Steinwollendämmung) sind ähnlich einzuschätzen, wobei sich AW - 1 in der Gesamtschau am ungünstigsten darstellt.

<sup>19</sup> Zum einen werden Wirkungsreduzierungen und damit Minimalwerte angestrebt (z. B. Primärenergieverbrauch in MJ), zum anderen sind eher maximale Werte Zielgrößen (z. B. Punkteinschätzung Reparaturfreundlichkeit).

<sup>20</sup> Die ermittelten Relationen werden stets als positive Differenzen, d. h. im Netzdiagramm vom Punkt „1“ nach außen orientiert, abgebildet.

Obwohl im Rahmen des Vergleiches der vier Außenwandkonstruktionen im Ergebnis eine Gesamteinschätzung erstellt wurde, ist diese nicht als ein abschließendes Urteil zu werten, sondern als ein möglicher Ansatz, die Bewertungsergebnisse zu illustrieren. Sowohl die gewählten sieben Beurteilungskriterien als auch die zugrunde gelegten Wichtungen, alle Kriterien haben gleiche Priorität, stellen Weichpunkte dar, die das Gesamtergebnis beeinflussen. Die Ergebnisdarstellung liefert einen Beitrag zur Methodendiskussion, sowohl die Bestimmung der zu berücksichtigenden Kriterien als auch ihre Gewichtung müssten in Expertengruppen mit Vertretern der Bauwirtschaft diskutiert werden.

Die im Rahmen des Vergleiches der vier Außenwandkonstruktionen dargestellte Beurteilungsmethode ist eine relative Bewertung. Sie liefert keine Ergebnisse in Form von Maßeinheit und Zahlenwert, sondern ist speziell für den Vergleich unterschiedlicher Lösungen eines Bauteiles geeignet. Die Darstellung im Netzdiagramm macht es dem Planer anhand der jeweils gewählten Beurteilungskriterien rein optisch möglich, innerhalb der zur Auswahl stehenden Ausführungsvarianten eines Bauteiles, die aus seiner Sicht günstigste zu ermitteln. Durch Kennzeichnung der für das jeweilige Kriterium besten Variante (Bestvariante = 1) und Abbildung der prozentualen Abweichungen der anderen Varianten gegenüber der besten sind Vergleiche und damit Wertungen möglich. Das Netzdiagramm bietet dem Planer damit eine optische Entscheidungshilfe, nimmt ihm aber den Abwägungskonflikt, in welcher Rang- und Reihenfolge bzw. mit welcher Wertigkeit die unterschiedlichen Kriterien in die Bewertung zu integrieren sind, nicht ab.





## Zusammenfassung

- Um die zur Einschätzung und Beurteilung eines Produktes relevanten Stoff- und Energieflüsse modellhaft erfassen und abbilden zu können, werden geeignete Bilanzmodelle benötigt. Die Bandbreite der möglichen Modelle ist dabei relativ groß, es lassen sich jedoch grundsätzlich **zwei Bilanzarten, die Produkt- und die Betriebsbilanz**, unterscheiden.

Die Produktbilanz erfasst und bewertet die von einem Produkt ausgehenden umweltrelevanten Inputs und Outputs. Das Produkt wird entlang seines gesamten Lebensweges betrachtet und im Sinne einer Stückrechnung bilanziert. Die Betriebsbilanz analysiert und bewertet die von einem Betrieb bzw. Unternehmen ausgehenden ökologischen Wirkungen. Die umweltrelevanten Inputs und Outputs des Betriebes werden für einen festgelegten Zeitraum nach dem Prinzip der Periodenrechnung bilanziert.

- Bauteile sind Bauprodukte, die ständig gebraucht bzw. genutzt und somit in die Rubrik der Verbrauchsprodukte eingeordnet werden. Sie entsprechen der Produktdefinition nach EN ISO 14040 und lassen sich grundsätzlich im Rahmen einer Produkt-Ökobilanz analysieren und bewerten. Bauteile haben jedoch eine relativ lange Nutzungsdauer. Während dieser Nutzungsdauer fallen sowohl Aufwendungen für den Betrieb (z. B. Heizung) als auch für Pflege-, Instandhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen (z. B. Reinigung oder Reparatur) an. Diese Aufwendungen müssen ebenfalls hinsichtlich ihrer ökologischen Wirkungen Beachtung finden und sind nach dem Prinzip der Betriebsbilanz zu erfassen. Die Bilanzierung von Bauteilen ist daher aus methodischer Sicht keine reine Produktbilanz, sondern sollte vom **spezifischen Bilanzansatz** her stets eine **Kombination aus Produkt- und Betriebsbilanz** sein, wobei die Betriebsbilanz für die Nutzungsphase von Bedeutung ist.
- Die in der Entwurfsphase vom Planer getroffenen Festlegungen zur Gestaltung und Ausführung von Bauteilen zeigen in der Nutzungsphase anhand laufender Aufwendungen ihre Wirkungen. Dabei dürfen nicht nur die laufenden Aufwendungen für den Betrieb, z. B. die Heizung, betrachtet werden. Vielmehr sind auch jene zu berücksichtigen, die für Pflegemaßnahmen, Instandhaltung und Sanierung aber auch für sonstige sich aus der Wirkung funktionaler Eigenschaften ergebende Maßnahmen, z. B. Reparaturen oder die Beseitigung von Baufehlern, erforderlich sind.

Die Realisierung und Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit von Bauteilen ist mit einmaligen Herstellungs- und laufenden Kosten verbunden. Diese lassen sich

im Bereich der ökologischen Wirkungen abbilden und bewerten. Sinkt der Erfüllungsgrad der Funktionstüchtigkeit durch allgemeine Alterung, planungs- bzw. ausführungsbedingte Baufehler oder durch die Unzufriedenheit der Nutzer hinsichtlich der Grundriss- oder ästhetischen Gestaltung, sind Änderungsmaßnahmen erforderlich, die sich in stofflichen und energetischen Verbräuchen niederschlagen. Die in der Planungsphase getroffenen Entscheidungen zur Gestaltung und Ausführung von Bauteilen zeigen damit vorrangig in der Nutzungsphase ihre Wirkungen und lassen sich durch die Beschreibung funktionsbezogener Kriterien wie Haltbarkeit, Reparaturfreundlichkeit, Reinigungsfähigkeit, Wärmebrückenrisiko oder Gliederungsmöglichkeiten prüfen und nach dem Prinzip der Betriebsbilanz erfassen bzw. bewerten.

Da umweltbewusstes Bauen nicht nur Reduzierung des einmaligen Aufwandes für die Herstellung, sondern auch Beeinflussung und Senkung der laufenden Aufwendungen während der Nutzung für den Betrieb sowie die Sicherstellung einer langfristigen Nutzung bedeutet, rückt die **betriebsbezogene Bilanzierung der Nutzungsphase** von Bauteilen und Gebäuden **stärker in den Vordergrund**.

- Die reine Produkt-Ökobilanz erfasst und bewertet auf Basis von stofflichen und energetischen Sachdaten die von einem Produkt ausgehenden Umweltwirkungen. Aus naturwissenschaftlicher Sicht bietet sie eine breite Informationsbasis und ist eine wichtige auch in der Öffentlichkeit akzeptierte Bewertungshilfe. Das Informationsinteresse des Planers trifft sie jedoch nur teilweise. Für den in die alltägliche Planungspraxis integrierten Architekten sind im Allgemeinen Aussagen zu funktionsbezogenen, technischen, gesundheitsorientierten und wirtschaftlichen Aspekten, wie Haltbarkeit, Reparaturfreundlichkeit, Ausführungstechnik, Innenraumbelastung oder die laufenden Kosten von größerer Bedeutung als vorrangig Angaben zu Umweltwirkungen z. B. den Treibhauseffekt, Ozonabbau, die Versäuerung oder den Primärenergieverbrauch. Die Ökobilanz ist daher in ihrem Bilanzbereich zu erweitern, d. h., der **spezifische Bilanzrahmen** sollte neben ökologischen **auch funktionale qualitätsbeschreibende, technische sowie gesundheitsbezogene und ökonomische Kriterien** enthalten. Nur so kann sie dem Planer im Entscheidungsprozess eine Hilfe bieten.
- Im Entscheidungsprozess muss der Planer Aussagen zu unterschiedlichen Kriterien gegeneinander abwägen. Dabei bieten ihm die Ergebnisse einer Ökobilanz besonders dann eine Hilfe, wenn sich die ermittelten Aussagen zu den einzelnen Kriterien im Komplex betrachten lassen und sich innerhalb der zur Auswahl stehenden Lösungsvarianten die jeweils günstigste abbilden lässt. Die **relative Bewertung** unterschiedlicher Kriterien **im Netzdiagramm** ist damit ein möglicher Bewertungsansatz. Er bietet dem Planer für Vergleiche eine optische Entscheidungshilfe, nimmt ihm aber den Abwägungskonflikt, das Wichten und Werten der einzelnen Kriterien, nicht ab.

## **Anhang A – Spezifischer Bilanzansatz**

- A.1 Ökobilanzen im Rahmen der Internationalen Normungsorganisation (ISO)
- A.2 Produkt-Ökobilanzen im Rahmen des Umweltbundesamtes (UBA) – Untersuchungsgrößen

## A.1 Ökobilanzen im Rahmen der Internationalen Normungsorganisation (ISO)

### Aufbau der ISO

Im November 1993 wurde innerhalb des Technischen Ausschusses „Umwelt-Management“ (TC 207) der ISO der Unterausschuss „Produkt-Ökobilanz“ (SC 5) gegründet. In diesem Unterausschuss erarbeiten fünf Arbeitsgruppen (WG 1 bis WG 5) Normungsvorschläge für die einzelnen Arbeitsschritte der Produkt-Ökobilanz (Abb. 27):

- WG 1: Grundprinzipien (General Principles) / ISO 14040,
- WG 2: Sachbilanz-Allgemein (Life Cycle Inventory-General) / ISO 14041,
- WG 3: Sachbilanz-Spezifisch (Life Cycle Inventory-Specific) / ISO 14041,
- WG 4: Wirkungsabschätzung (Impact Assessment) / ISO 14042,
- WG 5: Auswertung (Interpretation) / ISO 14043.

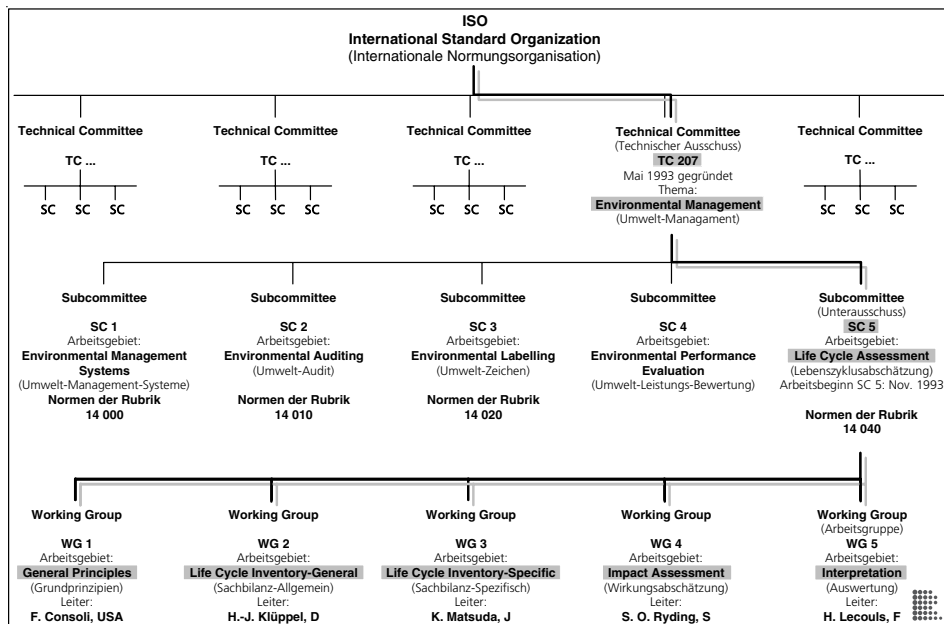


Abb. 27: Technischer Ausschuss TC 207 in der ISO – Aufbau  
(Quelle: Eigener Entwurf)

## Ergebnisebenen auf dem Weg zur ISO-Norm

Die Erarbeitung einer ISO-Norm ist ein Prozess. Er beginnt in der Arbeitsgruppe mit der Erstellung eines Arbeitsentwurfes. Durch Betrachtung und Berücksichtigung von Kommentaren aktiv beteiligter und beobachtender Mitglieder sowie anderer ISO-Mitgliedsorganisationen wird dieser über unterschiedliche Ergebnisebenen zur ISO-Norm qualifiziert (Abb. 28).

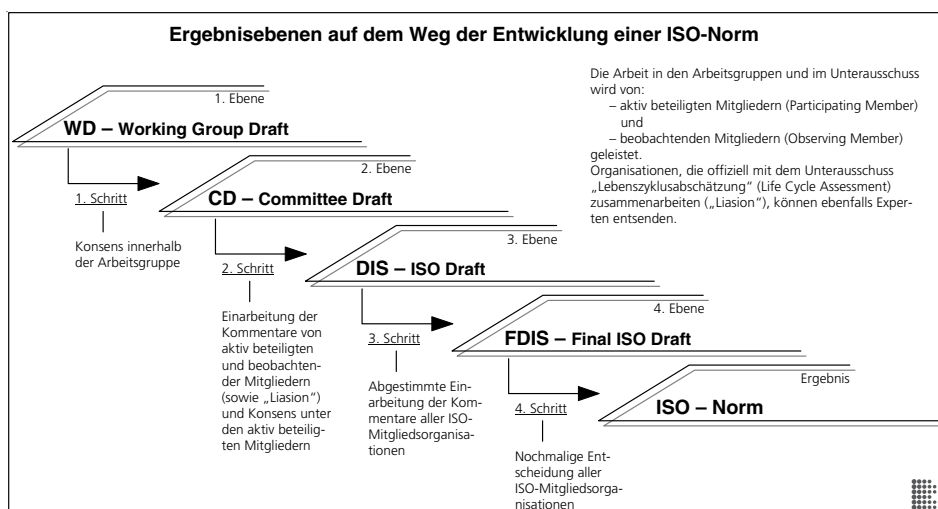


Abb. 28: Ergebnisebenen der Entwicklung einer ISO-Norm  
(Quelle: Eigener Entwurf)

## Stand der Normung

Innerhalb der Arbeitsgruppen sind derzeit (der Abfolge der Ökobilanzarbeitsschritte entsprechend) folgende unterschiedliche Ergebnisebenen erreicht (Tab. 12).

Tab. 12: Stand der Normung SC 5 „Produkt-Ökobilanz“  
(Quelle: Eigene Zusammenstellung, Stand II/1998)

| Norm             | Inhalt                                  | Ergebnisebene                           |
|------------------|---|---|
| DIN EN ISO 14040 | Prinzipien und allgemeine Anforderungen | ISO-Norm                                |
| ISO 14041        | Sachbilanz                              | CD – Committee Draft (Ausschussentwurf) |
| ISO 14042        | Wirkungsabschätzung                     | CD – Committee Draft (Ausschussentwurf) |
| ISO 14043        | Auswertung, Interpretation              | WD – Working Draft (Arbeitsentwurf)     |

## **Beschreibung der Norm**

In der DIN EN ISO 14040 werden zu folgenden Gesichtspunkten Festlegungen getroffen:

- 1 Anwendungsbereich
- 2 Normative Verweisungen
- 3 Definitionen
- 4 Allgemeine Beschreibung einer Ökobilanz
  - 4.1 Grundsätze einer Ökobilanz
  - 4.2 Bestandteile einer Ökobilanz
- 5 Allgemeine methodische Anforderungen
  - 5.1 Festlegung des Zieles und des Untersuchungsrahmens
  - 5.2 Sachbilanz
  - 5.3 Wirkungsabschätzung
  - 5.4 Auswertung
- 6 Bericht
- 7 Kritische Prüfung
  - 7.1 Allgemeine Beschreibung der kritischen Prüfung
  - 7.2 Notwendigkeit der kritischen Prüfung
  - 7.3 Kritische Prüfungsverfahren.

Im Rahmen der bearbeiteten Thematik waren die methodischen Anforderungen speziell zum Untersuchungsrahmen von besonderer Bedeutung. Es werden im Folgenden daher die unter Punkt 5.1 vorzunehmenden Festlegungen des Zieles und des Untersuchungsrahmens hinsichtlich ihrer konkreten Inhalte und Definitionen beschrieben und teilweise detaillierter dargestellt.

- Funktion des Produktsystems:  
Die Funktion, die für eine Produkt-Ökobilanz gewählt wird, hängt von den Zielen und daraus folgend vom Untersuchungsrahmen ab. Der Untersuchungsrahmen muss die Funktion des untersuchten Systems eindeutig festlegen.
- Funktionelle Einheit:  
Die funktionelle Einheit ist das Maß für den Nutzen und schafft als Bezugsgröße für Input- und Outputflüsse die Grundlage für Vergleiche unterschiedlicher Systeme. Sie muss eindeutig festgelegt und messbar sein.
- Zu untersuchendes Produktsystem
- Grenzen des Produktsystems:  
Die Systemgrenzen legen fest, welche Prozesse betrachtet werden. Sie sind u. a. von der vorgesehenen Anwendung, den getroffenen Annahmen, den Abschneidekriterien, den Daten- und Kosteneinschränkungen sowie der Zielgruppe abhängig.  
Das System sollte so modelliert werden, dass Inputs und Outputs an ihren Systemgrenzen Elementarflüsse sind.

- Allokationsverfahren
- Wirkungskategorien, Methode der Wirkungsabschätzung, angewendete Auswertung
- Datenanforderungen
- Annahmen
- Einschränkungen
- Datenqualitätsanforderungen:  
Die Merkmale der Daten müssen in allgemeiner Form entsprechend den Zielen und dem Untersuchungsrahmen festgelegt werden. Sie sollten auf den zeitbezogenen, den geographischen sowie den technologischen Erfassungsbereich, auf Genauigkeit, Vollständigkeit und Repräsentativität, auf Konsistenz und Nachvollziehbarkeit der bei der Bilanz angewandten Methode, auf Datenquellen und deren Repräsentativität sowie auf Variabilität und Unsicherheit der Informationen und Methoden gerichtet sein. Bei Vergleichen, die zur Veröffentlichung vorgesehen sind, müssen die genannten Datenqualitätsanforderungen eingehalten werden.
- Art der kritischen Begleitung:  
Es wird geklärt, ob die Bilanz der internationalen Norm entspricht. Ob und wie eine kritische Begleitung erfolgt und wer diese vornimmt, muss im Untersuchungsrahmen festgelegt werden. Die kritische Begleitung ist optional und kann nach unterschiedlichen Verfahren erfolgen. Im Hinblick auf die Veröffentlichung von vergleichenden Aussagen muss sie erfolgen.
- Art und Aufbau des vorgesehenen Berichts.

## A.2 Produkt-Ökobilanzen im Rahmen des Umweltbundesamtes (UBA) – Untersuchungsgrößen

Die inhaltlichen und methodischen Beschreibungen zu Produkt-Ökobilanzen im Rahmen der ISO werden vom UBA getragen. Da die internationale Normierung nicht über allgemeingültige Festlegungen hinaus geht, ist das UBA intensiv an der inhaltlichen Untersetzung der durch die Grundstruktur der Produkt-Ökobilanz festgelegten vier Arbeitsschritte beteiligt. Im Rahmen der Ökobilanzdiskussion werden sowohl für die Sachbilanz als auch die Wirkungsabschätzung einheitlich akzeptierte Analyse- bzw. Untersuchungsgrößen angestrebt. Die Input- und Outputgrößen der Sachbilanz sind dabei bereits relativ klar definiert. Für die in der Wirkungsabschätzung zu betrachtenden Wirkungskategorien besteht noch Abstimmungsbedarf. So sind einige Kategorien akzeptiert, einige befinden sich noch in der Diskussion und andere hingegen sind bereits abgelehnt. Anhand einiger UBA-Veröffentlichungen lässt sich der Diskussionsstand darstellen (Tab. 13).

Tab. 13: In der Produkt-Ökobilanz zu berücksichtigende Größen und Kategorien (Quelle: Eigene Zusammenstellung nach UBA (1995))

| Sachbilanz  |  |  |
|---|--|--|
| Input   | Output   |  |
| Rohstoffe<br>Hilfsstoffe<br>Betriebsstoffe<br>Energieverbrauch<br>Wasserverbrauch<br>Bodenbeanspruchung<br>Qualitative Aspekte<br>Sonstige Aspekte  | Kuppelprodukte<br>Abfälle<br>Luftemissionen<br>Wasseremissionen<br>Bodenbelastungen<br>Schall<br>Qualitative Aspekte<br>Sonstige Aspekte |  |
| Wirkungsabschätzung   |  |  |
| Kategorien  |  |  |
| <u>in Normungsdiskussion<br/>angenommen:</u><br>Ressourcenverbrauch<br>Treibhauseffekt<br>Ozonabbau<br>Versäuerung<br>Eutrophierung<br>Verringerung der Artenvielfalt<br>Humantoxizität<br>Ökotoxizität<br>Photooxidantienbildung<br>Bodenbeanspruchung | <u>im weiteren Diskussionsbedarf:</u><br>Lärmbelästigungen<br>Geruchsbelästigungen<br>Erschütterungen<br>Optische Einwirkungen           | <u>nicht aufgenommen:</u><br>CSB-Einleitungen<br>Arbeitssicherheit<br>Sonderabfälle<br>Abfälle<br>Erosionsförderung<br>Unfall- und Störrisiken<br>Abwärme<br>Sauerstoffzehrung |



## **Anhang B – Spezifischer Bilanzrahmen**

- B Forderungen an das Bauteil Außenwand im Kontext planerischer Interessen – Kriteriensammlung

## **B Forderungen an das Bauteil Außenwand im Kontext planerischer Interessen – Kriteriensammlung**

Die Kriteriensammlung ist eine Zusammenstellung der im Rahmen der Einschätzung und Bewertung von Außenwänden zu beachtenden Sachverhalte bzw. Forderungen. Sie beinhaltet Forderungen aus den Themenbereichen Funktion, Ökologie sowie Ökonomie und gliedert sich grundsätzlich in zwei Teile, den Teil I der Mindestanforderungen und den Teil II der weiteren Anforderungen. In beiden Teilen sind die einzelnen Anforderungsfelder nochmals in jeweils ein weißes bzw. graues Feld untergliedert, wobei im weißen, vorangestellten Feld jeweils die entsprechende Anforderung formuliert und mit beeinflussenden Aspekten bzw. Größen untersetzt beschrieben ist. Im zweiten, grau hinterlegten Feld werden je nach Art der Anforderung, Mindestanforderung oder weiteren Anforderung Hinweise zur Prüfung bzw. zu möglichen Effekten und Wirkungen gegeben (Tab. 14).

Tab. 14: *Forderungen an das Bauteil Außenwand – Kriteriensammlung*  
(Quelle: Eigene Zusammenstellung)

| <b>I</b> | <b>Mindestanforderungen</b>   |
|----------|---|
|          | <b>Wärmeschutz (DIN 4108)</b><br>Wärmedurchgangswiderstand R, Wärmedurchgangskoeffizient k, Transmissionsverluste, Heizenergiebedarf $Q_{H}$  |
|          | Prüfung der entsprechenden Schutzanforderungen  |
|          | <b>Feuchteschutz (DIN 4108)</b><br>Raumluftfeuchte, Temperaturen, Wärmedurchgangskoeffizient k, Wärmestromdichte, Wasserdampfdruck, Wasserdampfdruck, Wasserdampfdruck, Tauwassernachweis |
|          | Prüfung der entsprechenden Schutzanforderungen  |
|          | <b>Brandschutz (DIN 4102)</b><br>Baustoffklasse, Feuerwiderstandsklasse, Brandverhalten   |
|          | Prüfung der entsprechenden Schutzanforderungen  |
|          | <b>Schallschutz (DIN 4109)</b><br>Luftschalldämmung gegen Außenlärm, erforderliches Luftschalldämm-Maß erf. $R'_{w}$  |
|          | Prüfung der entsprechenden Schutzanforderungen  |
|          | <b>Standsicherheitsnachweis</b><br>Festigkeiten, Lastenaufnahme, Beanspruchungen, Tragfähigkeit, Eignung  |
|          | Prüfung der entsprechenden Schutzanforderungen  |

|   |  |
|---|--|
| <b>II</b>   | <b>Weitere Anforderungen</b>   |
| <b>a) Funktion</b>  |  |
| <b>Anforderungen an das Feuchteverhalten</b>  |  |
| Feuchtigkeitsaufnahme (Hygroskopie, Kapillarleitfähigkeit), Feuchtetransport (Kapillarleitfähigkeit, Feuchtleitfähigkeit), Feuchtedesorption (Austrocknungsverhalten), Feuchtigkeitsresistenz, Bodenfeuchte (Erdfeuchte, Grundwasser), Baufeuchte |  |
| <u>Effekte/Wirkungen:</u>   |  |
| ----->  | Formänderungen: Quellen, Schwinden<br>-----> Haltbarkeit, Dauerhaftigkeit, Lebensdauer   |
| <b>Anforderungen an das Temperaturverhalten</b>   |  |
| Reagieren auf Wärme, Strahlung, Kälte, Frost  |  |
| <u>Effekte/Wirkungen:</u>   |  |
| ----->  | Längen-, Volumen-, Formänderungen: Dehnung, Kriechen, Stauchung, Schwinden, Spannungsausgleich<br>-----> Rissbildung, Aufquellen, Aufplatzen, Schichtenverträglichkeit, gleiches bzw. gegenläufiges Verhalten von Baustoffen<br>-----> Haltbarkeit, Dauerhaftigkeit, Lebensdauer |
| <b>Anforderungen an Detailsbildungen</b>  |  |
| Realisierung typischer Anschlusspunkte (Türen-, Fenster-, Decken-, ... -einbindungen), Verbund- und Befestigungstechniken   |  |
| <u>Effekte/Wirkungen:</u>   |  |
| ----->  | Wärmebrücken, Baufehler, Ausführungsprobleme<br>-----> Ein- und Ausbautechnologie (Baustoffe mit unterschiedlicher Lebensdauer), Reparaturmöglichkeiten, Reparaturfreundlichkeit<br>-----> Haltbarkeit, Dauerhaftigkeit, Lebensdauer   |
| <b>Anforderungen an das chemische Verhalten</b>   |  |
| Verträglichkeit gegenüber Reinigungssubstanzen, Reaktion auf „sauren“ Regen bzw. Luftverschmutzung  |  |
| <u>Effekte/Wirkungen:</u>   |  |
| ----->  | Oberflächenkorrosion<br>-----> Haltbarkeit, Dauerhaftigkeit, Lebensdauer   |
| <b>Wetterschutzanforderungen</b>  |  |
| Schutz gegen Schlagregen, Hagel, Wind, Gewährleistung von Winddichtigkeit / Luftdichtigkeit, Witterungsbeständigkeit  |  |
| <u>Effekte/Wirkungen:</u>   |  |
| ----->  | Oberflächenbeschädigung, Feuchtigkeitseintritt<br>-----> Formänderungen: Quellen, Schwinden<br>-----> Haltbarkeit, Dauerhaftigkeit, Lebensdauer  |
| <b>Anforderungen an den Schutz gegen Schädlingsbefall</b>   |  |
| konstruktiver oder chemischer Schutz gegen Schädlinge   |  |
| <u>Effekte/Wirkungen:</u>   |  |
| ----->  | Haltbarkeit, Dauerhaftigkeit, Lebensdauer  |
| <b>Anforderungen an die Reinigungsfähigkeit</b>   |  |
| Wasch- und Scheuerbeständigkeit, Haftung, Abrieb, Chemikalienbeständigkeit  |  |
| <u>Effekte/Wirkungen:</u>   |  |
| ----->  | Oberflächenbeschädigung, Reaktion mit Reinigungschemikalien, Feuchtigkeitseintritt<br>-----> Formänderungen, Rissbildung, Aufplatzen<br>-----> Haltbarkeit, Dauerhaftigkeit, Lebensdauer   |

|   |
|---|
| <p><b>Technologische Anforderungen</b><br/>effektive Fertigungsarten, günstige Reihenfolge notwendiger Arbeitsschritte, geeignete Geräte und Hilfsmittel</p> <p><u>Effekte/Wirkungen:</u><br/>-----&gt; Aufwand an Zeit und Kosten</p>  |
| <p><b>Ästhetische Anforderungen</b><br/>Schönheit und Reizvielfalt des Materials, Identifikation mit dem Material, Harmonie von Material, Farbe, Struktur, Textur, Form, Gliederung</p> <p><u>Effekte/Wirkungen:</u><br/>-----&gt; Akzeptanz, Nutzungschancen</p>   |
| <p><b>b) Ökologie</b></p>   |
| <p><b>Anforderungen an den Umweltschutz</b><br/>geringe Verbräuche, Aufwendungen und Belastungen</p> <p><u>Aspekte:</u><br/>         Stoffe: Rohstoffe, Hilfsstoffe, Betriebsstoffe<br/>         Energie: Hauptenergie, Nebenenergie, graue Energie<br/>         Luft: Emissionen, Sommersmog, Treibhauseffekt, Abbau der Ozonschicht in der Stratosphäre, Ökotoxizität, Humantoxizität<br/>         Wasser: Emissionen, Wirkungen (Gewässertoxizität, biologischer Abbau, Schwermetallgehalt)<br/>         Boden: Verbräuche (Volumen, Flächen), Belastungen (Emissionen), Versäuerung, Überdüngung<br/>         Abfälle: Aufkommen, Einstufung, Belastungen (recyclingfähig, wiederverwendbar, weiterverwendbar, Sekundärrohstoffinhalt), Deponiebedarf (Bauschutt, Hausmüll, Sondermüll)<br/>         Flächen: bebaut / un bebaut, versiegelt / unversiegelt, Landschaftsverbrauch</p> <p>Räumliche Bezüge (Betrieb, Region, national, international)</p>                      |
| <p><b>Anforderungen an den Gesundheitsschutz</b><br/>geringe Belastungen und Emissionen</p> <p><u>Aspekte:</u><br/>         Innenraum (Wohnhygiene):<br/>         Organische Dämpfe, Stäube, Fasern, natürliche Radioaktivität<br/>         -----&gt; toxikologische Wirkungen, allergenes Potenzial (Dauer, Risiken), physiologische Wirkungen, psychologische Wirkungen (Wohlbefinden)<br/>         Arbeitsplatz (Arbeitshygiene):<br/>         Organische Dämpfe, Stäube, Fasern, natürliche Radioaktivität<br/>         -----&gt; toxikologische Wirkungen, allergenes Potenzial (Dauer, Risiken), physiologische Wirkungen, psychologische Wirkungen (Wohlbefinden)<br/>         Störfall:<br/>         Unfälle, Havarien, Brände, Explosionen<br/>         -----&gt; chemische Resistenz, toxische Ausgasungen (Belastungen für Mensch und Umwelt), Reaktion mit angrenzenden Nachbarmaterialien, Gefährdung der Funktionstüchtigkeit, Auswirkungen auf Standsicherheit</p> |
| <p><b>c) Ökonomie</b></p>   |
| <p><b>Wirtschaftliche Anforderungen</b><br/>effektiver Einsatz von Material, Arbeitskräften und Zeit</p> <p><u>Effekte/Wirkungen:</u><br/>         -----&gt; Herstellungs-, Unterhaltungs-, Beseitigungskosten<br/>         -----&gt; Material-, Lohn-, Nebenkosten<br/>         -----&gt; externe Kosten<br/>         -----&gt; Haltbarkeit, Reparaturzyklen</p>   |

## **Anhang C – Bilanzbeispiel**

C Beschreibung der Ökoinventare

## C Beschreibung der Ökoinventare

Die Beschreibung der Ökoinventare basiert auf Daten der Dokumentationen SIA D 0123 (1995/02) und SIA D 0123 (1995/09) „Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten“. In diesen Dokumentationen werden zu ca. 60 Baustoffen ökologische Merkmale in Form von Ökoinventaren bereitgestellt. Die entsprechenden Informationen beruhen auf Angaben von Produkt-Herstellern und sind als sehr gut einzuschätzen.

Ökoinventare beschreiben für unterschiedliche Baustoffe die durch deren Herstellung verursachten Wirkungen auf die Umwelt. Bezogen auf 1 kg Baustoff werden Angaben zu folgenden Wirkungskategorien gemacht:

|                   |         |                             |
|-------------------|---------|-----------------------------|
| Treibhauseffekt   | GWP 100 | [g CO <sub>2</sub> eq./kg], |
| Versäuerung       |         | [g SO <sub>2</sub> eq./kg], |
| Ozonschichtabbau  | ODP     | [myg R11 eq./kg],           |
| Überdüngung       |         | [mg Phosphat eq./kg],       |
| Smogbildung       | POCP    | [mg Ethyl eq./kg],          |
| Humantoxikologie  |         | [mg Körpermasse/kg],        |
| Umwelttoxikologie |         | [l Wasser/kg],              |
| Primärenergie     |         | [MJ/kg].                    |

Jede Wirkungskategorie beschreibt anhand der für sie definierten Leitsubstanz eine spezifische Umweltwirkung. Die im Rahmen der Ökoinventare dargestellten acht Wirkungskategorien werden im Folgenden näher beschrieben.

### Treibhauseffekt

Die Gase Methan, Lachgas, Fluorkohlenwasserstoffe (FKW), Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und Halon, die bei fast allen Herstellungsprozessen entstehen, führen längerfristig zum Treibhauseffekt.

Das einfallende sichtbare Licht wird von der Erdoberfläche z. T. als längerwellige Wärmestrahlung reflektiert. Diese kann wegen der Absorption durch Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan- und Wasserdampfmoleküle die Atmosphäre nicht mehr verlassen und verursacht somit die allmähliche Erwärmung der Atmosphäre und führt folglich zu Klimaverschiebungen (Bahadir, Parlar, Spiteller 1995).

Je mehr kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent (kg CO<sub>2</sub> eq.) ein Baustoff enthält, desto stärker fördert er den Treibhauseffekt.

Chemisch bedeutet Äquivalent (eq. = equivalent) die Stoffmenge, die sich mit der gegebenen Menge eines anderen Stoffes eben gerade restlos umsetzt.

Für die Erklärung des Treibhauseffektes muss auch der Begriff „GWP 100“ erläutert werden. GWP 100 (Global Warming Potential) ist das relative Treibhauspotenzial, bezogen auf einen Zeithorizont von 100 Jahren.

Bei der Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente geht die „Lebensdauer“ der in die Troposphäre (untere wetterwirksame Luftschicht der Erdatmosphäre) emittierenden Gase ein, deshalb wird der Zeitraum von 100 Jahren gewählt, für den der Vergleich mit Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) gelten soll. Auf die Berechnungsmethode des GWP 100 wird hier nicht eingegangen.

Für diese und alle anderen Wirkungskategorien ist die Berechnungsmethode unter UBA (1995), 37 ff. nachzulesen.

### **Versäuerung**

Versäuerung ist der Oberbegriff für die Schadwirkung durch saure Gase (Schwefeldioxid SO<sub>2</sub>, Stickoxide NO<sub>x</sub>), die z. B. durch Verbrennungsprozesse und deren Oxidations- und Umwandlungsprozesse gebildet werden sowie die Absenkung des pH-Wertes im Boden durch die Bildung oder den Eintrag von Säuren (UBA 1995).

Verschiedene Stoffe (Stickoxide als NO<sub>2</sub>, Salzsäure, Fluorwasserstoff und Ammoniak) verbinden sich in der Atmosphäre mit Wasser, das als saurer Regen regional Schäden an Menschen, Tieren und Pflanzen verursacht. Je mehr kg SO<sub>2</sub>-Äquivalent (kg SO<sub>2</sub> eq.) ein Baustoff enthält, desto stärker fördert er die Versäuerung (SIA D 0123, 1995/09).

### **Ozonschichtabbau**

Der Ozonschichtabbau ODP (Ozone Depletion Potentials) wird in erster Linie durch die, in der „Liste von Montreal“ und in Zusatzprotokollen festgelegten, FCKW-haltigen Treibgase (z. B. in Spraydosen), Kühlmittel, Abgase hoch fliegender Flugzeuge und Nebenprodukte der Stickstoffdüngung verursacht. Der Abbau der stratosphärischen Ozonschicht (Teilschicht der Atmosphäre, etwa 12-80 km über der Erde) macht sich im alljährlich auftretenden antarktischen Ozonloch bemerkbar. Ozon führt zu Reizungen der Schleimhaut bei Mensch und Tier und zu Bleichflecken bei Pflanzen (UBA 1995).

### **Überdüngung**

Die Überdüngung wird durch den erhöhten Eintrag von Nährstoffen (Phosphaten) in die Gewässer verursacht. Als Überdüngung im weiteren Sinn kann auch der Eintrag von biologisch abbaubaren Stoffen in Gewässer betrachtet werden (UBA 1995).

Im ökologischen Sinn bedenklich wird eine Überdüngung dadurch, dass die Gleichgewichtskonzentration der meisten Nährstoffe in der Bodenlösung entsprechend einer Sättigungsfunktion und damit bei hohen Düngergaben überproportional zu-

nimmt. Im gleichen Maße steigt die Auswaschungsgefährdung, sodass überdüngte Standorte erhebliche Einflüsse auf ihre Umgebung ausüben können (Bahadir, Parlar, Spitteller 1995).

### **Smogbildung**

Die photochemische Bildung von Smog (POCP=Photooxidantien) erfolgt in den unteren Schichten der Troposphäre (untere wetterwirksame Luftschicht der Erdatmosphäre) durch die Emission von flüchtigen organischen Kohlenwasserstoffen und von Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ) bei gleichzeitiger Einwirkung von Sonnenstrahlung (Sommersmog, photochemischer Smog).

Je nach Jahreszeit und Art der emittierten Stoffe kann es zu unterschiedlichen Smog-Typen kommen: Hohe Konzentration von Schwefeldioxid und Staub führt hauptsächlich im Winter zum so genannten „London-Typ“, während es im Sommer durch Konzentration von Photooxidantien zum „Los-Angeles-Typ“ kommt.

Der London-Typ, saurer Smog oder Wintersmog, ist ein mit Schwefeldioxid und Ruß beladener Nebel, der sich besonders an nasskalten, trüben Herbst- und Winterabenden bildet und sich im Gegenteil zum Los-Angeles-Typ über Nacht noch verstärkt.

In den erdnahen Schichten können sich Ozon und Ozonide in photochemischen Reaktionen in stark verunreinigter Luft aus Sauerstoff und Stickoxiden übermäßig stark bilden und zum Sommersmog (Los-Angeles-Typ) führen (UBA 1995).

### **Humantoxikologie**

Die Humantoxikologie kann zusätzlich zur Exposition am Arbeitsplatz durch Umweltexposition der Bevölkerung und über die Nahrungskette von Bedeutung sein. Die Exposition durch den Gebrauch/Verbrauch von Produkten ist ähnlich wie im Arbeitsschutz kein reines Umweltproblem; im Sinne einer produktorientierten Bewertung ist die Aufnahme des Konsumentenschutzes in die Wirkungsbilanz zu erwägen (UBA 1995).

### **Umwelttoxikologie**

Umwelttoxikologie ist die Wissenschaft von der Verteilung und von den Wirkungen chemischer Substanzen auf die Organismen, soweit damit direkt oder indirekt Schäden für Natur und Mensch entstehen (Streit 1992). Die Umwelttoxikologie bezieht sich theoretisch auf die Schädigung von Ökosystemen, praktisch werden aber meist die toxischen bis letalen (tödlichen) Wirkungen auf einzelne Arten bewertet. Grundlage für die Bewertung sind immer Informationen zu Konzentration oder Menge sowie der biologisch-medizinischen und auch rechtlich zu bewertenden Schadenshöhe (UBA 1995).



### **Primärenergie**

Als Primärenergie wird der Verbrauch an nicht erneuerbaren und erneuerbaren Energieträgern bezeichnet.

Nicht erneuerbare Energieträger: Erdöl, Erdgas, Kohle, Uran

Erneuerbare Energieträger: Holz, Wasser

Der Primärenergieinhalt [MJ] ist die Energiemenge, die einerseits für den Abbau und die Bereitstellung der Rohmaterialien und andererseits für die Herstellung und den Transport der Stoffe erforderlich ist.



## Literaturverzeichnis

- Al-Diban, S.; Gruhler, K. (1996): Anwenderprofil. Auswertung von Experteninterviews im Hinblick auf die Ableitung eines akteursbezogenen Betrachtungs- und Beurteilungsrahmens für Bauteilbilanzen. IÖR-Texte 108, 45, Dresden.
- Bahadir, M.; Parlar, H.; Spitteller, M. (1995): Springer Umweltlexikon. 1176, Heidelberg.
- Baumert, K.; Nemitz, M. (1994): Umwelt-Auditing in der Bauindustrie. In: Kongreß-Dokumentation „Internationaler Kongreß zur Bauwerkserhaltung“, Berlin 09.-11.02.1994. 462-465.
- BauPG (1992): Gesetz über das Inverkehrbringen von und den freien Warenverkehr mit Bauprodukten ... (Bauproduktengesetz – BauPG) Vom 10. August 1992, BGBl. I, 1495.
- Blum, A.; Deilmann, C. (1997): Baustoffe – Umwelt – Gesundheit: Informationsbedürfnisse bei Planern. IÖR-Texte 117, 27, Dresden.
- Böning, J. A. (1994): Methoden betrieblicher Ökobilanzierung. Hochschulschriften 16, 313, Marburg.
- Böning, J. A.; Strobel, M. (1995): Unternehmens-Ökobilanzen und EU-Öko-Audit. In: Umwelttechnik Forum 1/95 (10. Jg.), 18-24.
- Brandt, J.; Moritz, H. (1986): Bauteile – Anforderungen und Eigenschaften. In: Gesundes Wohnen – ein Kompendium. 366-386, Düsseldorf.
- Braunschweig, A. (1988): Die ökologische Buchhaltung als Instrument der städtischen Umweltpolitik. Reihe Ökologie 7, 364, Grösch (CH).
- Braunschweig, A.; Müller-Wenk, R. (1993): Ökobilanzen für Unternehmungen, Bern, Stuttgart, Wien.
- Corino, C. (1995): Ökobilanzen. Entwurf und Beurteilung einer allgemeinen Regelung. Umweltrechtliche Studien 19, 305, Düsseldorf.
- Cziesielski, E.; Marquardt, H. (1994): Wirtschaftlichkeit verschiedener Außenwandkonstruktionen unter Berücksichtigung des Jahres-Heizwärmebedarfs. In: Bauphysik 16 (2), 53-59.
- Eichler, F.; Arndt, H. (1982): Bauphysikalische Entwurfslehre – Bautechnischer Wärme- und Feuchtigkeitsschutz. 474, Berlin.

- EN ISO 14040 (1996): Entwurf - Europäische Norm, Umweltmanagement, Produkt-Ökobilanz, Prinzipien und allgemeine Anforderungen, 21 S.
- EN ISO 14040 (1997): Europäische Norm, Umweltmanagement, Ökobilanz, Prinzipien und allgemeine Anforderungen, 21 S.
- Engelfried, J. (1994): Dienstleistung als methodische Grundlage von Produktlinienuntersuchungen. Bewertungsprobleme beim Vergleich von Dienstleistungen aus Naturfasern und Polypropylen. 241, Köln.
- Engelfried, J.; Haber, W.; Wabner, D. (1995): Vereinheitlichung der Methoden zur Untersuchung von „Umweltverträglichkeit“. In: Zeitschrift für angewandte Umweltforschung 8, (3), 373-384.
- Enquete-Kommission (1993): Verantwortung für die Zukunft – Wege zum nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen. 332, Bonn.
- Enquete-Kommission (1994): Industriegesellschaft gestalten. Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen. 765, Bonn.
- ETH Zürich (1995): Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baumaterialien, Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Hochbaukonstruktionen. Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich.
- Führ, M.; Gebers, B.; Roller, G.; Bizer, K. (1995): Ansätze für proaktive Strategien zur Vermeidung von Umweltbelastungen im internationalen Vergleich. In: Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestages (Hrsg.): Studienprogramm – Umweltverträgliches Stoffstrommanagement, 2, – Instrumente –, Bonn.
- Gensch, C.-O. u. a. (1993): Vergleich von Transportverpackungssystemen für Gasheizgeräte unter ökologischen Gesichtspunkten. Werkstattreihe Nr. 82, Öko-Institut e. V., 87, Freiburg.
- Gruhler, K. (1994): Ökologische Buchhaltung, Ökobilanzen und andere Instrumentarien zur Beschreibung, Erfassung und Bewertung vorrangig produkt-, produktions- und unternehmensbezogener Umweltauswirkungen. IÖR-Texte 063, 56, Dresden.
- Henn, K.-P. (1993): EG-Verordnung zum Umweltmanagement und Öko-Audit. In: Sietz, M.; Saldern, A. von (Hrsg.): Umweltschutz-Management und Öko-Auditing. 351, Berlin, Heidelberg.
- Hesse, H. G. u. a. (1992): Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI). Kommentar, 1601, München.
- König, H. (1985): Wege zum Gesunden Bauen. 188, Freiburg.

- Kohler, N.; Klingele, M. (1995): Ökobilanzen im Bauwesen. In: Bundesbaublatt 44, (8), 605-610.
- Man, R. de (1995): Erfassung von Stoffströmen aus naturwissenschaftlicher und wirtschaftswissenschaftlicher Sicht – Akteure, Entscheidungen und Informationen im Stoffstrommanagement. In: Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestages (Hrsg.): Studienprogramm – Umweltverträgliches Stoffstrommanagement 1, – Konzepte –, Bonn.
- Müller-Wenk, R. (1978): Die ökologische Buchhaltung – Ein Informations- und Steuerungsinstrument für umweltkonforme Unternehmenspolitik. 120, Frankfurt, New York.
- Müller-Wenk, R. (1992): Ökobilanz für Unternehmen. Methodik: Umwelteinwirkungen. In: Schweizerische Vereinigung für ökologisch bewusste Unternehmensführung ÖBU ASIEGE (Hrsg.): Ökobilanz für Unternehmen. Schriftenreihe ÖBU / ASIEGE, 9-25, St. Gallen.
- ÖBU-Aktionsgruppe (1992): Regeln für die Erstellung unternehmensbezogener Ökobilanzen. In: Schweizerische Vereinigung für ökologisch bewusste Unternehmensführung ÖBU ASIEGE (Hrsg.): Ökobilanz für Unternehmen. Schriftenreihe ÖBU / ASIEGE 27-32, St. Gallen.
- Papke, H.-J. (1983): Handbuch Industrieprojektierung. 576, Berlin.
- Pappi, I.; Stürmer, H.-D. (1992): Umweltverträglichkeit von Baustoffen. Stiftung Verbraucherinstitut Berlin. 196, Berlin.
- Plinke, E.; Kämpf, K.; Schulz, J.; Mechel, H. (1995): Erfassung von Stoffströmen aus naturwissenschaftlicher und wirtschaftswissenschaftlicher Sicht zur Schaffung einer Datenbasis für die Entwicklung eines Stoffstrommanagements. In: Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestages (Hrsg.): Studienprogramm – Umweltverträgliches Stoffstrommanagement, 1, – Konzepte –, Bonn.
- Rubik, F. (1994): Themen der Ökobilanzforschung – eine Übersicht über aktuelle Ökobilanzergebnisse. In: Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin e. V. (Hrsg.): Seminar 10 – Ökobilanzen. 155-161, Berlin.
- Rubik, F. (1997): Themen, Initiatoren, Methoden, Summaries und Anwendungen – wohin bewegen sich Produkt-Ökobilanzen? In: Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin e. V. (Hrsg.): Seminar 50 – Produktbezogene Ökobilanzen V. 29-50, Berlin.
- Rubik, F.; Teichert, V. (1997): Ökologische Produktpolitik. Von der Beseitigung von Stoffen und Materialien zur Rückgewinnung in Kreisläufen. 451, Stuttgart.
- RWE Energie AG: Bau-Handbuch, 11. Ausgabe, Heidelberg.

- SächsBO (1994): Sächsische Bauordnung – Textausgabe, 112, Dresden.
- Schmidt, M.; Häuslein, A. (1997): Ökobilanzierung mit Computerunterstützung – Produktbilanzen und betriebliche Bilanzen mit dem Programm Umberto. 232, Berlin, Heidelberg.
- Schulze Darup, B. (1996): Bauökologie. 446, Wiesbaden, Berlin.
- Schwanhold, E. (1994): Stoffbilanzen und Ökobilanzen als Instrumente für eine umweltverträgliche Wirtschaft – Stand der Diskussion in der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“. In: Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin e. V. (Hrsg.): 10. Seminar – Ökobilanzen. 127-135, Berlin.
- SIA D 0123 (1995/09): Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.
- SIA D 0123 (1995/02): Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.
- SIA D 093 (1992): Deklarationsraster für ökologische Merkmale von Baustoffen. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.
- Streit, B. (1992): Lexikon Ökotoxikologie. 731, Weinheim.
- UBA (1992): Ökobilanzen für Produkte. Bedeutung – Sachstand – Perspektiven, Umweltbundesamt. Texte 38/92, 70, Berlin.
- UBA (1995): Standardberichtsbogen für produktbezogene Ökobilanzen, Umweltbundesamt. Texte 24/95, 131 (Anlagenband, 425), Berlin.
- UBA (1995): Methodik der produktbezogenen Ökobilanzen. Wirkungsbilanz und Bewertung, Umweltbundesamt. Texte 23/95, 80, Berlin.
- UBA (1997): Materialien zu Ökobilanzen und Lebensweganalysen. Aktivitäten und Initiativen des Umweltbundesamtes, Umweltbundesamt. Texte 26/97, 75, Berlin.
- Wagner, B. (1992): Vom Öko-Audit zur betrieblichen Öko-Bilanz. In: Lehmann, S.; Clausen, J. (Hrsg.): Umweltberichterstattung von Unternehmen. Schriftenreihe des IÖW 57/92 (107), 3-31, Berlin.
- Weibel, T.; Stritz, A. (1995): Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baumaterialien. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Hochbaukonstruktionen. Eidgenössische Technische Hochschule, ESU-Reihe 1, Zürich.
- Zwiener, G. (1994): Ökologisches Baustoff-Lexikon. Daten, Sachzusammenhänge, Regelwerke, 358, Heidelberg.