



**Inhalt****Vorwort**

- 1 Ökologische Bilanzierung und zukunftsfähiges Wirtschaften**
- 2 Die Ökobilanz als Teil des Umweltmanagements**
  - 2.1 Die produktbezogene Ökobilanz als Hilfsmittel bei der Entwicklung, Herstellung und Vermarktung von Produkten
  - 2.2 Die Betriebsökobilanz als Instrument für betriebliches Umweltmanagement
  - 2.3 Die Ökobilanz als Grundlage für das Öko-Audit
- 3 Die Methodik der produktbezogenen Ökobilanzierung**
  - 3.1 Stand der Normung
  - 3.2 Aufbau einer Ökobilanz
- 4 Der Lebensweg von Holzprodukten**
- 5 Wie mache ich eine Ökobilanz? Das methodische Vorgehen, erklärt an einem Beispiel**
  - 5.1 Allgemeine Fragen und Definitionen
  - 5.2 Erarbeitung und Darstellung der Sachbilanz
  - 5.3 Wirkungsabschätzung
  - 5.4 Auswertung
- 6 Beispiele für Betriebsbilanzen**
  - 6.1 Forstwirtschaft
  - 6.2 Schnittholzerstellung und -trocknung
  - 6.3 Brettschichtholzerstellung
  - 6.4 Spanplattenherstellung
  - 6.5 Furnierherstellung
  - 6.6 Fensterherstellung
  - 6.7 Möbelherstellung
  - 6.8 Papierherstellung
- 7 Beispiele zur Wirkungsabschätzung**
- 8 Aussagekraft von Ökobilanzen**
- 9 Leitfaden Betriebsökobilanz**
- 10 Literatur**

**Impressum****Herausgeber:**

Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft  
– HOLZABSATZFONDS –  
Anstalt des öffentlichen Rechts  
Godesberger Allee 142–148  
D-53175 Bonn

und

DGfH Innovations- und Service GmbH  
Postfach 31 01 31 · D-80102 München  
mail@dgfh.de · www.dgfh.de

**Vorwort**

In Gesellschaft, Politik und Wirtschaft setzt sich zunehmend die Einsicht durch, menschliches Handeln besser auf die Umwelt und die Erhaltung der langfristigen Lebensbedingungen abzustimmen. Waren es seit den siebziger Jahren vor allem Aspekte des technischen Umweltschutzes sowie des Arbeits- und Gesundheitsschutzes, in denen die Politik Leitlinien setzte, sind es seit einigen Jahren zunehmend umfassende Ansätze zum Schutz der Umwelt. Dabei wird übergeordnet von der Sicherung der Lebensgrundlagen zukünftiger Generationen ausgegangen. Ein wesentliches Ziel muß es in diesem Sinne sein, die natürlichen Ressourcen wie Rohstoffe, Energieträger, Wasser, saubere Luft etc. langfristig verfügbar zu halten.

Ressourcenschonung, Klimaschutz, Landschaftsschutz und Abfallmanagement sind hier einige wichtige Stichworte. Wirtschaft und Verbraucher sind aufgefordert so zu handeln, daß die Befriedigung der Bedürfnisse die Leistungsfähigkeit der Umwelt nicht überlastet.

Forst- und Holzwirtschaft wirtschaften seit jeher umweltgerecht und nachhaltig. Forstwirtschaft beansprucht aber auch einen Teil der Umwelt und muß sich daher mit neuen Umweltwirkungskategorien wie Biodiversität, Naturnähe der Landschaft usw. auseinandersetzen.

Erstellt mit Mitteln der Landesforstverwaltungen von Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen, Thüringen

**Bearbeitung:**

A. Frühwald, Prof. Dr.  
M. Scharai-Rad, Dr.  
J. Hasch, Dipl. Holzwirt

Ordinariat für Holztechnologie der Universität Hamburg und Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg

G. Wegener, Prof. Dr. Dr. habil.  
B. Zimmer, Dr.

Institut für Holzforschung  
der Universität München

**Technische Anfragen an:**

Infoline: 0 18 02-46 59 00  
(0,06 Euro/Gespräch)  
fachberatung@infoholz.de  
www.informationsdienst-holz.de

Die ökologische Bewertung menschlichen Handelns ist zu einem neuen methodischen Instrument geworden, die ökologischen Ziele zu sichern bzw. die Wege dorthin zu bewerten. Derzeit werden international akzeptierte Normen für die ökologische Bewertung entwickelt. Bei Produkten betrachtet man den gesamten Lebensweg, also alle Schritte zwischen Rohstoffgewinnung und Entsorgung der gebrauchten Produkte oder Wiedereingliederung in einen Stoffkreislauf. Solche Produktökobilanzen sind zu einem wichtigen Entscheidungsinstrument für Produzenten und Verbraucher geworden.

In diesem Sinn will der vorliegende Informationsdienst den Unternehmen der Forst- und Holzwirtschaft vor allem methodische Hinweise geben, wie sie ihre Produktionen und Produkte nach den geltenden Kriterien und Vorgehensweisen ökologisch bewerten und damit Verbesserungen erarbeiten können. Dadurch eröffnen sich langfristig bessere Marktchancen und der Unternehmer dient damit letztlich den erwähnten übergeordneten Umweltzielen.

Die Verfasser danken einer Vielzahl von Persönlichkeiten und Fachleuten für deren Ratschläge, besonders der projektbegleitenden Arbeitsgruppe für viele wertvolle Hinweise.

Die Verfasser  
Hamburg und München, März 1997

**Hinweise zu Änderungen, Ergänzungen und Errata unter:**

www.informationsdienst-holz.de

Die technischen Informationen dieser Schrift entsprechen zum Zeitpunkt der Drucklegung den anerkannten Regeln der Technik. Eine Haftung für den Inhalt kann trotz sorgfältigster Bearbeitung und Korrektur nicht übernommen werden.

In dieser Broschüre sind Ergebnisse aus zahlreichen Forschungsprojekten eingeflossen. Für deren Förderung danken wir der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF), der Arbeitsgemeinschaft Bauforschung (ARGE BAU), den Forst- und Wirtschaftsministerien des Bundes und der Länder und der Holzwirtschaft.

Erschienen: 04/1997  
Unveränderter Nachdruck: 07/2001

ISSN-Nr.: 0466-2114

## 1 Ökologische Bilanzierung und zukunftsfähiges Wirtschaften

Die ungehemmte Nutzung der endlichen Ressourcen und die daraus resultierenden Umweltbelastungen sind in den letzten zwei Jahrzehnten in das allgemeine Interesse gerückt. Der Umweltgipfel in Rio 1992 und die Klimakonferenz in Berlin 1995 waren die ersten bedeutsamen Ansätze mit dem langfristigen Ziel, die vorhandenen Ressourcen nachhaltig zu nutzen und die CCVEmissionen zu reduzieren. So schreibt die Rio-Deklaration u.a. vor, daß

– das Recht auf Entwicklung nur so erfüllt werden kann, daß den Entwicklungs- und Umweltbedürfnissen heutiger und künftiger Generationen in gerechter Weise entsprochen wird (Grundsatz 3) und daß

– in einer nachhaltigen Entwicklung der Umweltschutz Bestandteil des Entwicklungsprozesses ist und nicht von diesem getrennt betrachtet werden darf (Grundsatz 4).

Obwohl die Ziele des Rio-Gipfels und ähnlicher internationaler Deklarationen nicht schnell realisiert werden können, sollte die derzeitige Entwicklung bezüglich einer umweltschonenden Produktions-, Verbrauchs- und Entsorgungspolitik nicht unterschätzt werden. Gründe hierfür sind

- das steigende Umweltbewußtsein der Bevölkerung,
- Initiativen für eine bessere Umwelt,
- Entwicklung eines kritischen Kaufverhaltens seitens der Verbraucher,
- die zunehmende Bedeutung der Bewertung menschlichen Handelns unter ökologischen Gesichtspunkten und vor allem
- die Einbeziehung des Grundsatzes „nachhaltige Entwicklung“ in gesellschaftliche und wirtschaftliche Diskussionen.

In diesem Zusammenhang stellen sich für die Wirtschaft u.a. folgende Fragen:

- Können es sich Produktionsbetriebe leisten, das steigende Umweltbewußtsein der Verbraucher nicht zum Anlaß zu nehmen, umweltfreundlichere Produkte und Verfahren zu entwickeln?
- Können Unternehmenspolitik und Unternehmensführung ökonomische und ökologische Ziele im Sinne eines langfristigen Handelns vereinigen?

- Wird der in bestimmten Ländern bereits erreichte Wohlstand durch eine zunehmend umweltorientierte Produktion von Gütern und Nutzung von Ressourcen eher beeinträchtigt oder eher erhöht?

Die Umweltbelastungen werden heute in drei Hauptwirkungskategorien eingeteilt (vgl. 3.2):

- (1) Beanspruchung von Ressourcen (Energie, Rohstoffe, Naturraum etc.),
- (2) Ökologische Wirkungen (z.B. Treibhauseffekt, Versauerung, Eutrophierung, Ozonabbau),
- (3) Wirkungen auf die Gesundheit der Menschen.

Im Zusammenhang mit dem Energie- und Rohstoffverbrauch sowie der Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Konsum- und Investitionsgütern (hierbei besonders bezüglich der Emissionen in Boden, Wasser und Luft) gewinnt die ökologische Bilanzierung zunehmend an Bedeutung. Dabei werden Produkte, Prozesse oder Dienstleistungen nach ökologischen Kriterien bilanziert. Dies kann in Form von Ökobilanzen sowohl für den gesamten Lebensweg eines Produktes (von der „Wiege bis zur Bahre“) als auch für einzelne Lebensabschnitte oder Produktionsprozesse, wie z.B. für den reinen Herstellungsprozeß eines Produktes, durchgeführt werden. Eine solche Bewertung ist nicht nur von ökologischer Bedeutung, sondern kann auch ökonomische Vorteile haben.

## 2 Die Ökobilanz als Teil des Umweltmanagements

### 2.1 Die produktbezogene Ökobilanz als Hilfsmittel bei der Entwicklung, Herstellung und Vermarktung von Produkten

#### Produkt-Ökobilanz

Ökobilanzen sind Instrumente zur Abschätzung der Umweltwirkungen entlang des Lebensweges eines Produktes, d.h. von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung, Nutzung, Wieder- und Weiterverwertung bis hin zur Entsorgung. Sie haben die Aufgabe, die mit Produkten in Verbindung stehenden Wirkungen auf die Umwelt zu erfassen, transparent aufzuarbeiten und zu bewerten. Die Produktökobilanz wird auch als LCA bezeichnet, der Abkürzung für die englische Bezeichnung „Life Cycle Assessment“.

Die produktbezogene Ökobilanz ist eine Methode des Umweltmanagements. Es werden lediglich ökologische, nicht aber ökonomische und soziale Aspekte berücksichtigt. Andere Methoden des Umweltmanagements sind z.B. die Risikoabschätzung, die Produktlinienanalyse, die Umweltverträglichkeitsprüfung und die standortbezogenen Umweltaudits (Bild 2.1).



Bild 1.1 Ganzheitliche ökologische Bilanzierung als Zusammenspiel von Öko-Audit und Ökobilanzen

Die Ökobilanzierung muß nicht immer den gesamten Lebensweg eines Produktes umfassen, sondern kann sich auch auf bestimmte Lebensabschnitte des betreffenden Produktes beschränken. Diese Lebensabschnitte werden als Module oder Prozesse bezeichnet und einzeln untersucht. Zum Beispiel kann das Modul „Fensterherstellung“ wie folgt untersucht werden:

- Erfassung aller umweltrelevanten Inputs und Outputs des Systems Fensterherstellung (Sachbilanz), also nur in den Grenzen des fensterherstellenden Betriebes.
- Erfassung und Auswertung der potentiellen Umweltbeeinflussungen (Wirkungsabschätzung),
- Auswertung der Ergebnisse aus der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung mit dem Ziel von Verbesserungen.

Produktbezogene Ökobilanzen können je nach Interessenlage und Interessengruppenunterschiedliche Auswirkungen haben. Sie können z.B. das Kaufverhalten von Konsumenten sehr stark beeinflussen und sind somit Entscheidungsinstrument. Die Politik versucht, auf der Basis von Ökobilanzen, durch Richtlinien, Verordnungen und Gesetze umweltgerechte Rahmenbedingungen zu schaffen. Die Betriebe versuchen, die Ergebnisse von Ökobilanzen als Instrument des Marketings einzusetzen.

Die Ökobilanz ist auch ein Instrument zur Verbesserung der Umwelteigenschaften von Produkten und der Produktion. Daher sollten sowohl Produktions- als auch Dienstleistungsbetriebe Ökobilanzen erstellen, um die Auswirkungen des betrieblichen Produktionsprozesses auf die Umwelt zu überprüfen.

## 2.2 Die Betriebsökobilanz als Instrument für betriebliches Umweltmanagement

Die ökologische Bilanzierung eines Betriebes ist eine wesentliche Aufgabe des Unternehmens, vor allem des Umweltmanagements (Bild 2.2), und kann ein wichtiger Schritt zu einem Öko-Audit sein. Durch die Betriebs-Ökobilanz werden alle Stoff- und Energieflüsse als Input- und Outputgrößen an der Bilanzgrenze „Werkszaun“ (vgl. 3.2) erfaßt sowie die umweltrelevanten Wirkungen ermittelt, ausgewertet und interpretiert. Im Gegensatz zur Produkt-Ökobilanz bezieht sich die betriebliche Bilanz nicht auf ein einzelnes Produkt, sondern auf einen Produktionsstandort oder ein ganzes Unternehmen. Aus betriebswirtschaftlicher

Sicht ist die Betriebs-Ökobilanz eine Periodenrechnung und kann daher noch am ehesten als Bilanz im herkömmlichen Sinn aufgefaßt werden [1]. Während bei der produktbezogenen Ökobilanz lediglich Stoff- und Energieflüsse betrachtet werden, können bei der betrieblichen Bilanz auch Lagerbestände eine wichtige Rolle bei der Bewertung spielen (z.B. Lagerung von Gefahrstoffen mit hohem ökologischen Risikopotential). Die Betriebs-Ökobilanz ist auch ein geeignetes Mittel zur ökologischen Schwachstellenanalyse und kann als Unterstützung bei Investitionsentscheidungen dienen.

## 2.3 Die Ökobilanz als Grundlage für das Öko-Audit

Die EG-Öko-Audit-Verordnung [2] hat das Ziel, die Umweltwirkungen und -leistungen der gewerblichen Wirtschaft kontinuierlich zu verbessern, sie transparenter und über Umwelterklärungen öffentlich zugänglich zu machen. Die Teilnahme der Betriebe am Verfahren ist grundsätzlich freiwillig, sie dient dem Aufbau von Umweltmanagementsystemen in den Unternehmen des produzierenden Gewerbes und mündet letztlich in einer Kennzeichnung (Zertifizierung) der Unternehmen, die sich erfolgreich einer Umweltbetriebsprüfung (Öko-Audit) unterzogen haben. Wesentliche Bestandteile des im Sinne der EG-Öko-Audit-Verordnung eingeführten Umweltmanagementsystems sind (siehe auch ([3], [4], [5]):

- Feststellung des Ist-Zustandes durch eine Umweltprüfung;
- Festlegung einer Umweltpolitik für das Unternehmen in schriftlicher Form;
- Formulieren von Umweltzielen auf allen Ebenen des Unternehmens;
- Aufstellung eines Umweltprogramms (Durchführungsprogramm) zur Verwirklichung der Ziele;
- Aufbau und Weiterentwicklung eines geeigneten Managementsystems (Organisations- und Personalstruktur, Kommunikation, Aus- und Weiterbildung, Kontrolle und Monitoring etc.);
- Durchführung einer Umweltbetriebsprüfung (Öko-Audit) durch unabhängige, externe Prüfer;
- Erstellung einer Umwelterklärung zur Information der Öffentlichkeit;
- Wiederholung der Umweltbetriebsprüfung spätestens alle drei Jahre und Dokumentation der Entwicklung.

Die Daten aus einer betrieblichen Ökobilanz bilden einerseits die Basis der Ist-Zustandsanalyse zu Beginn des Audit-Verfahrens und sind andererseits Grundlage für die Formulierung der Umweltziele sowie des Umweltprogramms. Die Fortschreibung der Betriebs-Ökobilanz dokumentiert die Entwicklung im Hinblick auf die gesteckten Ziele.

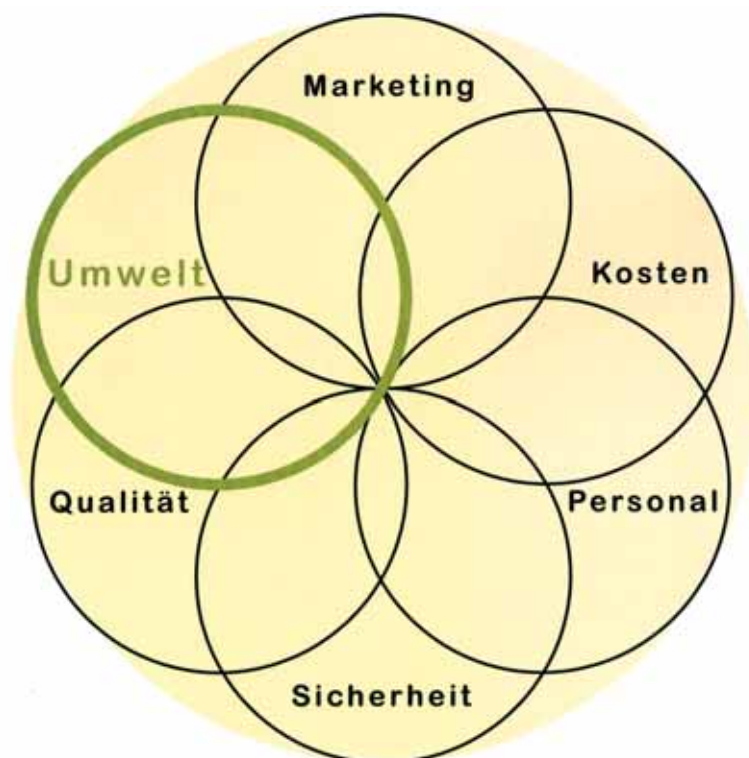


Bild 2.2 Umweltmanagement als wesentlicher Bestandteil betrieblicher Managementsysteme

### 3 Die Methodik der produktbezogenen Ökobilanzierung

In einer produktbezogenen Ökobilanz werden alle Umweltwirkungen eines Produktes summiert und bewertet. Dies beginnt bei der Rohstofferschließung, -aufarbeitung und dem Rohstofftransport und geht über die Be- und Verarbeitung, Distribution und Nutzung bis hin zur Weiterverwertung oder Entsorgung.

Die Vorgehensweise bei der Ökobilanzierung ist bisher nicht einheitlich, so daß die bisher veröffentlichten Studien kaum miteinander verglichen werden können.

Auf der internationalen Ebene bemüht sich die ISO (International Standardization Organization) seit 1992 um die Erarbeitung internationaler Normen (ISO 14040-14043) zur Methodik der produktbezogenen Ökobilanzierung. In Deutschland ist der DIN-NAGUS (DIN-Normungsausschuß „Grundlagen des Umweltschutzes“) bemüht, in Anlehnung an die ISO deutsche Normen zu erarbeiten. Im folgenden wird der derzeitige Stand der Normung zusammenfassend dargestellt.

#### 3.1 Stand der Normung

Die ersten Anstrengungen in Richtung einer umfassenden Bilanzierungsmethodik wurden von der SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) unternommen. Sie veröffentlichte 1993 den ersten Leitfaden zur Methodik der Ökobilanzierung [6], in dem wichtige Schritte zum heutigen Stand der Methodendiskussion vorgestellt wurden.

In Deutschland war das im Auftrag vom Umweltbundesamt durchgeführte Forschungsprojekt „Lebenswegbilanzen für Getränkeverpackungen“ [7] ein erster wesentlicher Schritt zur Entwicklung einer Bilanzierungsmethode, wobei die oben genannten Arbeiten der SETAC eingeflossen sind.

Auf internationaler Ebene führte das große öffentliche Interesse im Jahr 1992 zur Gründung des Technical-Committee „ISO/TC 207“, das aus folgenden fünf Sub Committees (SC) besteht:

- SC 1 Environmental Management System (Umwelt-Management-System)
- SC 2 Environmental Auditing (Umweltprüfung)
- SC 3 Environmental Labelling (Umweltkennzeichnung)
- SC 4 Environmental Performance Evaluation (Evaluierung von Umweltauswirkungen)
- SC 5 Life Cycle Assessment (Ökobilanzierung)

Das für die Produkt-Ökobilanz zuständige SC 5 setzt sich wiederum aus fünf Arbeitsgruppen (Working Groups, WG) zusammen, die sich mit der Erarbeitung der folgenden vier Normen befassen:

◆ **ISO 14.040**  
Produkt-Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen  
Stand:  
Internationaler Schlußentwurf (FDIS) liegt vor (FDIS = Final Draft International Standard).

◆ **ISO 14.041**  
Produkt-Ökobilanz – Sachbilanz  
Stand: Veröffentlichung als CD (Committee Draft) liegt vor, DIS-Abstimmung läuft 1997 (DIS = Draft International Standard).

◆ **ISO 14.042**  
Produkt-Ökobilanz – Wirkungsabschätzung  
Stand: CD (Committee Draft) liegt vor.

◆ **ISO 14.043**  
Produkt-Ökobilanz – Auswertung  
Stand: CD (Committee Draft) liegt vor.

In Deutschland sind die Arbeitsausschüsse des Normenausschusses „Grundlagen des Umweltschutzes“ (DIN – NAGUS) spiegelbildlich zur Gliederung des ISO/TC 207 organisiert. Der Arbeitsausschuß 3 (NAGUS-AA 3) ist der Spiegelausschuß zum ISO/TC 207/SC 5 und verfolgt die Arbeit der ISO-Gremien. Da einige NAGUS-Mitglieder gleichzeitig Mitglieder in den Arbeitsgruppen von SC 5 sind, ist ein direkter Austausch von Informationen und eine direkte Einwirkung auf die Arbeit der ISO-Gremien von deutscher Seite möglich.

#### 3.2 Aufbau einer Ökobilanz

Nach den in ISO14040 niedergelegten Prinzipien ist eine Ökobilanz in vier Hauptbestandteile gegliedert, wie sie in Bild 3.1 zu sehen sind.

#### Festlegung des Zieles und des Untersuchungsrahmens

Was in einer Ökobilanz untersucht werden soll, wird durch die Festlegung des Zieles und des Untersuchungsrahmens definiert.

In der Zielsetzung werden der Grund für die Erstellung der Ökobilanz, die angesprochene Zielgruppe und die möglichen Anwendungen beschrieben. Zur Beschreibung des Bilanzraumes gehören unter anderem die Festlegung der räumlichen und zeitlichen Grenzen, die Definition einer funktionalen Einheit, die Nennung getroffener Annahmen und Ausschluß- oder Abschneidekriterien.

Die Festlegung des Bilanzraumes (Bild 3.3) erfordert eine intensive Auseinandersetzung mit dem gesamten Lebensweg des untersuchten Produktes. Neben einer räumlichen und zeitlichen Abgrenzung müssen in der Regel auch sinnvolle Kriterien zur Begrenzung des Gesamtsystems gefunden werden. Besondere Aufmerksamkeit muß der Definition und Meßbarkeit der funktionalen Einheit gewidmet werden. Die funktionale Einheit dient als die nutzen- und leistungsbezogene Vergleichseinheit der Ökobilanz (z.B. 1 m<sup>3</sup> Brettschichtholz, 1 t Trockenmasse Holz, ein Fenster einer bestimmten Größe). Werden Produkte oder Produktionsverfahren verglichen, ist dieselbe funktionale Einheit zu wählen.

Jede veröffentlichte Ökobilanz muß eine kritische Stellungnahme von unabhängigen internen und/oder externen Experten oder von Interessengruppen enthalten. Wer diese Stellungnahme erstellt und was sie beinhalten soll, wird in den Zielen festgelegt. Die kritische Stellungnahme soll die verwendeten Methoden und die Qualität der Ökobilanz überprüfen.

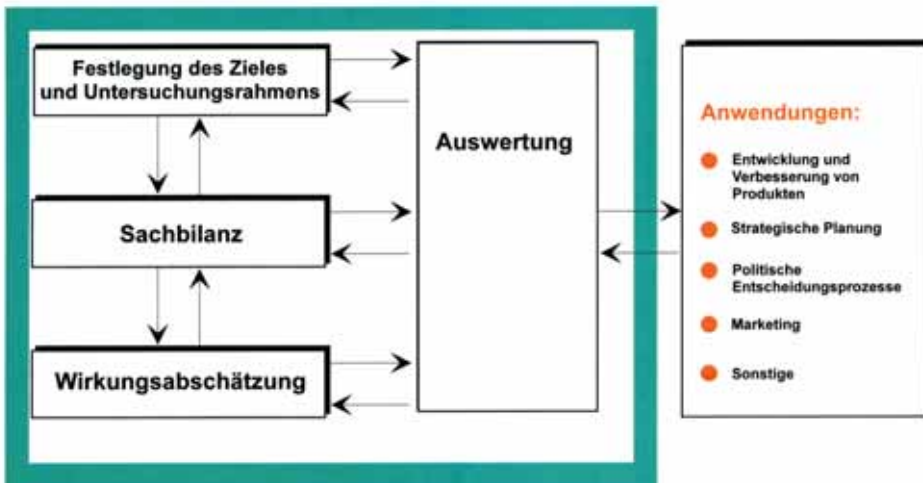


Bild 3.1 Bestandteile und Wirkungsgefüge einer produktbezogenen Ökobilanz (nach ISO)

### Sachbilanz

Die Sachbilanz ist der zentrale Baustein der Ökobilanz. In der Sachbilanz werden alle umweltrelevanten Stoff- und Energieströme als Input- bzw. Output-Größen gesammelt und quantifiziert.

Zu den Inputgrößen gehören in jedem Fall alle Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe, thermische und elektrische Energie sowie fossile und regenerative Primärenergieträger. Outputgrößen sind u.a. Produkte und Kuppelprodukte sowie verschiedene Emissionen (fest, flüssig, gasförmig). Häufig werden Kuppelprodukte wie Rinde, Kappstücke, Holzspäne usw. direkt im Werk zur Energieerzeugung eingesetzt. Sie verlassen dann nicht den Bilanzraum und fließen als Energieträger in die Energiebilanz ein.

Die Emissionen können sowohl energiebedingt (z.B. CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O usw.) sein als auch verfahrensbedingt als Folge des Produktionsprozesses (z.B. Abwasser, Öle, Abwärme, Lärm, Gerüche usw.). Die energiebedingten Emissionen entstehen durch die Bereitstellung, Erzeugung und Verwendung von Energie und sind in der Hauptsache gasförmig.

Eine besondere Problematik für die Sachbilanzierung stellt die Erfassung von nicht-materiellen und nichtenergetischen Größen dar, wie z.B. Inanspruchnahme von Fläche und Natur in der biologischen Produktion, im Transportwesen, als Deponieraum, Gewerbeflächen sowie Lärm, radioaktive Strahlung.

Die Aufstellung der Sachbilanz ist in der Regel sehr aufwendig. Die Qualität der gesam-

melten Daten kann sehr unterschiedlich sein und muß deshalb beschrieben werden. Bei Produktionsprozessen, bei denen neben einem Hauptprodukt auch noch marktfähige Nebenprodukte anfallen (Kuppelprodukte), wie dies auch in der Forst- und Holzwirtschaft typisch ist, wird in der Sachbilanz auch die Verteilung der umweltrelevanten Größen auf die einzelnen Produkte (Allokation der Stoff- und Energieströme) erforderlich.

Die Daten werden auf der Basis von Bausteinen (Modulen und Submodulen) erhoben, in die der Lebensweg eines Produktes oder der einzelne Produktionsbetrieb unterteilt wird (Bild 3.3).

Wie aus Bild 3.2 hervorgeht, stellt die Sachbilanz für ein Modul, hier als Beispiel die Schnittholzherstellung, alle Input- und Outputgrößen dar, die im Zusammenhang mit dem Unternehmensstandort stehen. Die Grenzen des Systems sind dann gewissermaßen die Werktoore und -zäune. Dagegen umfaßt eine vollständige Sachbilanz den gesamten Lebensweg eines Produktes (Bild 3.3).

### Wirkungsabschätzung

In der Wirkungsabschätzung werden die Sachbilanzdaten klassifiziert, gruppiert und charakterisiert. Sie ist um so vollständiger, je genauer und detaillierter die Sachbilanz ist. Die Umwelteinflüsse sind von globaler, regionaler oder lokaler Bedeutung und können in folgende drei Gruppen von Wirkungskategorien eingeteilt werden, wobei weitere Untergliederungen möglich sind:

- (1) Ressourcenbeanspruchung:
  - Endliche und regenerative Energieressourcen,
  - Endliche und nachwachsende Rohstoffe,
  - Naturraumbeanspruchung,
  - Wasser,
  - Luft.
- (2) Ökologische Wirkungen:
  - Treibhauseffekt (globale Erwärmung),
  - Ozonabbau in der Stratosphäre,
  - Versauerung von Boden und Wasser (z.B. Säureeinträge aus der Luft),
  - Eutrophierung (z. B. Nährstoffanreicherung von Böden und Gewässern),
  - umwelttoxische Wirkungen,
  - Biodiversität und Artenvielfalt.
- (3) Wirkungen auf die Gesundheit der Menschen:
  - humantoxische Wirkung,
  - gesundheitsschädliche Wirkung,
  - Lärm.

Die Festlegung der Wirkungskategorien muß in jeder einzelnen Ökobilanz je nach Zielsetzung und Umfang erfolgen.

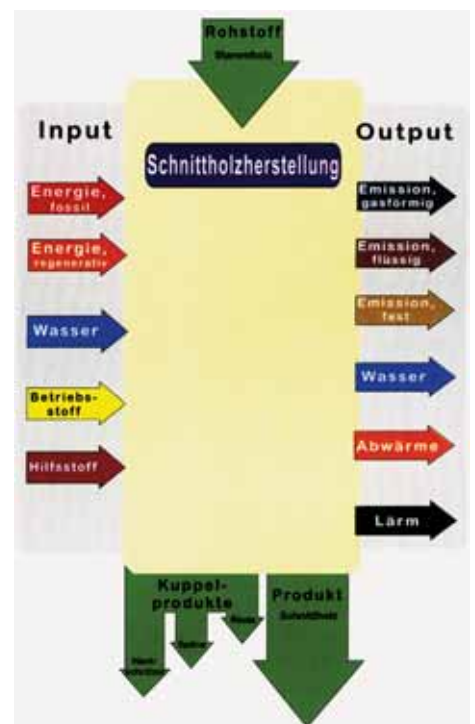


Bild 3.2 Die betriebliche Ökobilanz stellt ein Modul der Lebenswegbilanz eines Produktes dar und erfaßt die Stoff- und Energieflüsse eines Betriebsstandortes bzw. eines Unternehmens

ISO CD 14.042 gibt einige grundsätzliche Kategorien an, die im Einzelfall zu ergänzen sind. Die Vorgehensweise zur Erarbeitung der Wirkungsabschätzung ist wie folgt:

- (1) Die relevanten Wirkungskategorien werden auf der Grundlage der Umweltprozesse und -mechanismen entsprechend der Zielsetzung definiert.
- (2) Die in der Sachbilanz ermittelten In- und Outputgrößen (z.B. Massen- und Energieströme) werden den definierten Wirkungskategorien zugeordnet.
- (3) Die Wirkungskategorien werden quantifiziert und auf die funktionale Einheit bezogen.

Die Wirkungsabschätzung erfordert eine besonders hohe Transparenz der getroffenen Annahmen, da sehr viele subjektive Momente die Auswahl der Wirkungskategorien beeinflussen können.

Bei der Wirkungsabschätzung müssen in den Wirkungskategorien auch die nicht quantifizierbaren und nur qualitativ erfaßten Einflußfaktoren (z. B. Erholungs-, Boden- und Wasserschutzfunktionen des Waldes) beschrieben werden, was gerade für Forst- und Holzprodukte von großer Wichtigkeit ist.

### Auswertung

Die Auswertung bildet den Abschluß einer Ökobilanz.

Ausgewertet werden einerseits Daten aus der Sachbilanz, wie beispielsweise der Verbrauch an fossilen Energieträgern oder die Freisetzung von CO<sub>2</sub>, und andererseits die zu Wirkungskategorien zusammengefaßten Daten aus der Wirkungsabschätzung. Auch hier sind Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Daten und Methoden die wichtigste Voraussetzung für eine gut ausgewertete und vielseitig anwendbare Ökobilanz. Im Falle von Sachbilanzstudien beschränkt sich die Auswertung nur auf die Ergebnisse der Sachbilanz (ISO FDIS 14.040).

Die Auswertung kann entweder auf den Umweltwirkungen eines einzelnen Produktes basieren oder auf dem Vergleich von zwei oder mehreren Produkten mit gleichem Gebrauchsnutzen, die aus unterschiedlichen Rohstoffen hergestellt werden. Auf dieser Grundlage werden dann Empfehlungen gemacht und die notwendigen Entscheidungen getroffen.

Allerdings sind die Entscheidungen nicht mehr Bestandteil der Ökobilanz, weil hier weitere Faktoren, wie technische Machbarkeit sowie ökonomische und soziale Aspekte berücksichtigt werden (Bild 3.1).



**Bild 3.3** Die Produktökobilanz erfaßt die Stoff- und Energieflüsse über den gesamten Lebensweg eines Produktes

In der Phase der Auswertung taucht die Schwierigkeit auf, wie sich verschiedene Wirkungskategorien vergleichend bewerten lassen. Es stellt sich z. B. die Frage: was ist negativer, Treibhauseffekt, Versauerung oder Lärm?

Die Auswertung wird sehr stark durch gesellschafts-, wirtschafts- und umweltpolitische Ziele beeinflusst und spiegelt neben den Fakten auch die aktuellen gesellschaftlichen Wertvorstellungen wider.

ISO FDIS 14.040 sieht außerdem ein kritisches Begleitverfahren (Review) vor, um sicherzustellen, daß:

- (1) die bei der Durchführung der Produkt-Ökobilanz angewendeten Methoden wissenschaftlich begründet und praktikabel sind sowie mit internationalen und nationalen Normen übereinstimmen;
- (2) die verwendeten Daten in bezug auf das Ziel der Produkt-Ökobilanz hinreichend und zweckmäßig sind;
- (3) die Auswertungen die erkannten Einschränkungen und das Ziel der Produkt-Ökobilanz berücksichtigen;
- (4) der Bericht transparent und in sich stimmig ist.

### Anwendung von Ökobilanzen

Die Anwendung ist kein unmittelbarer Bestandteil der Ökobilanz. Allerdings kann man die Anwendung nicht von der Ökobilanz trennen, weil erst durch die Anwendung die Ergebnisse der Ökobilanz umgesetzt werden. Die Anwendung betrifft:

- die Politik, um durch Richtlinien, Verordnungen und Gesetze umweltgerechte Rahmenbedingungen zu schaffen;
- die Wirtschaft, um sich durch strategische Planung den sich ändernden Marktanforderungen anzupassen;
- die Forschung und Entwicklung, um Produkte und Verfahren zu verbessern;
- die Öffentlichkeit, denn Ökobilanzen sind ein bedeutendes Instrument für Umwelt- und Verbraucherverbände.
- den Verbraucher, denn er kann auf der Basis von Ökobilanzen in seine Kaufentscheidungen ökologische Aspekte einfließen lassen.

#### 4 Der Lebensweg von Holzprodukten

Der Lebensweg von Produkten beginnt mit der Produktion bzw. Gewinnung der Rohstoffe und Energieträger und endet mit der Entsorgung der gebrauchten Produkte (Bild 3.3). Je nach Art und Verwendung eines Produktes sowie der Möglichkeiten der Wiederbzw. Weiterverwendung oder -Verwertung besteht der Lebensweg aus unterschiedlichen Lebenswegabschnitten. Der Lebensweg schließt auch alle Hilfsstoffe ein, so im Falle eines Möbels neben Holz bzw. Platten auch Lacke, Klebstoffe, Beschläge, Verpackungsmaterialien usw. Damit ist der Bilanzraum eines Produktlebensweges sehr komplex und unübersichtlich.

##### Modulare Gliederung des Lebensweges

Die in den Bildern 3.3 und 4.1 sehr vereinfacht dargestellten Lebenswegabschnitte können wiederum Teilabschnitte umfassen, die räumlich und/oder zeitlich von einander getrennt sind. Ein Beispiel hierfür ist die Produktion von Schnittholz, das zu einem späteren Zeitpunkt und an einem anderen Ort beispielsweise zu Brettschichtholz verarbeitet wird. Die Nutzungsphase eines Produktes kann sehr kurz (z. B. Tageszeitung) oder extrem lang (z.B. Holz im Bauwesen, hundert Jahre und mehr) sein. Ebenso unterschiedlich ist die „Entsorgung“ nach der Nutzung, die alle Vorgänge umfaßt, die im Zusammenhang mit „Wieder- und Weiterverwertung“, „Wieder- und Weiterverwertung“, Verbrennung und Deponierung von Altprodukten stehen.

Der Lebensweg des Roh-, Werk- und Baustoffes Holz beginnt im Wald. Dadurch nimmt Holz aus ökologischer Sicht gegenüber den endlichen Rohstoffen eine besondere Stellung ein. Holz ist nicht nur ein nachhaltig nachwachsender Rohstoff, sondern, bedingt durch die einzigartigen Produktionsbedingungen im Wald, selbst ein Teil des Ökosystems.

Die Gliederung des Lebensweges in einzelne Abschnitte sogenannte Module (z.B. „Forstliche Produktion“, „Schnittholzherstellung“ etc.) ist notwendig zur Datenerfassung und macht die Ökobilanz transparenter und anpassungsfähiger. Die Darstellung in Bild 4.1 vermittelt einen Eindruck über die vielfältige Vernetzung der einzelnen Module untereinander. Für jedes dieser Module müssen Ökobilanzdaten erhoben werden. Dazu werden die Module weiter in Submodule untergliedert. Die Submodule umfassen einzelne Produktionsprozesse (Entrindung, Trocknung, Verleimung etc.) und bilden die kleinste Einheit in diesem Baukastenprinzip.

Bei der Holzbe- und -Verarbeitung fallen praktisch keine Abfälle an, sondern immer wiederverwertbare Produkte oder Energieträger. Ein Beispiel ist die Schnittholzherstellung. Neben dem Hauptprodukt Schnittholz entstehen Nebenprodukte wie Rinde, Hack-schnitzel und Sägespäne. Die Rinde kann entweder im betriebseigenen Kraftwerk (Submodul „Energieerzeugung“) verwertet werden und liefert so Strom und Wärme für die Schnittholzproduktion oder sie kann beispielsweise zur Herstellung von Rindenmulch oder Rindenkompost verkauft werden. Welchen Verwertungsweg die Nebenprodukte nehmen, ist eine betriebswirtschaftliche, jedoch zunehmend auch ökologische Frage.

Nach der Nutzung der Holzprodukte stehen am Ende des Lebensweges wiederum verschiedene Verwertungswege zur Verfügung. Einerseits können die Möglichkeiten der stofflichen Verwertung genutzt werden (Recycling). Andererseits können alle Holzprodukte nach ihrer Nutzung zur Energieerzeugung verwertet werden. Die Möglichkeit des biologischen Abbaus (z.B. in einer Deponie) ist zwar grundsätzlich gegeben, aber nach der technischen Anleitung (TA) Siedlungsabfall künftig nicht mehr zulässig. Biologischer Abbau bedeutet außerdem Verzicht auf die Nutzung der im Holzprodukt gespeicherten Sonnenenergie und damit auf die Nutzung eines erneuerbaren Energieträgers.

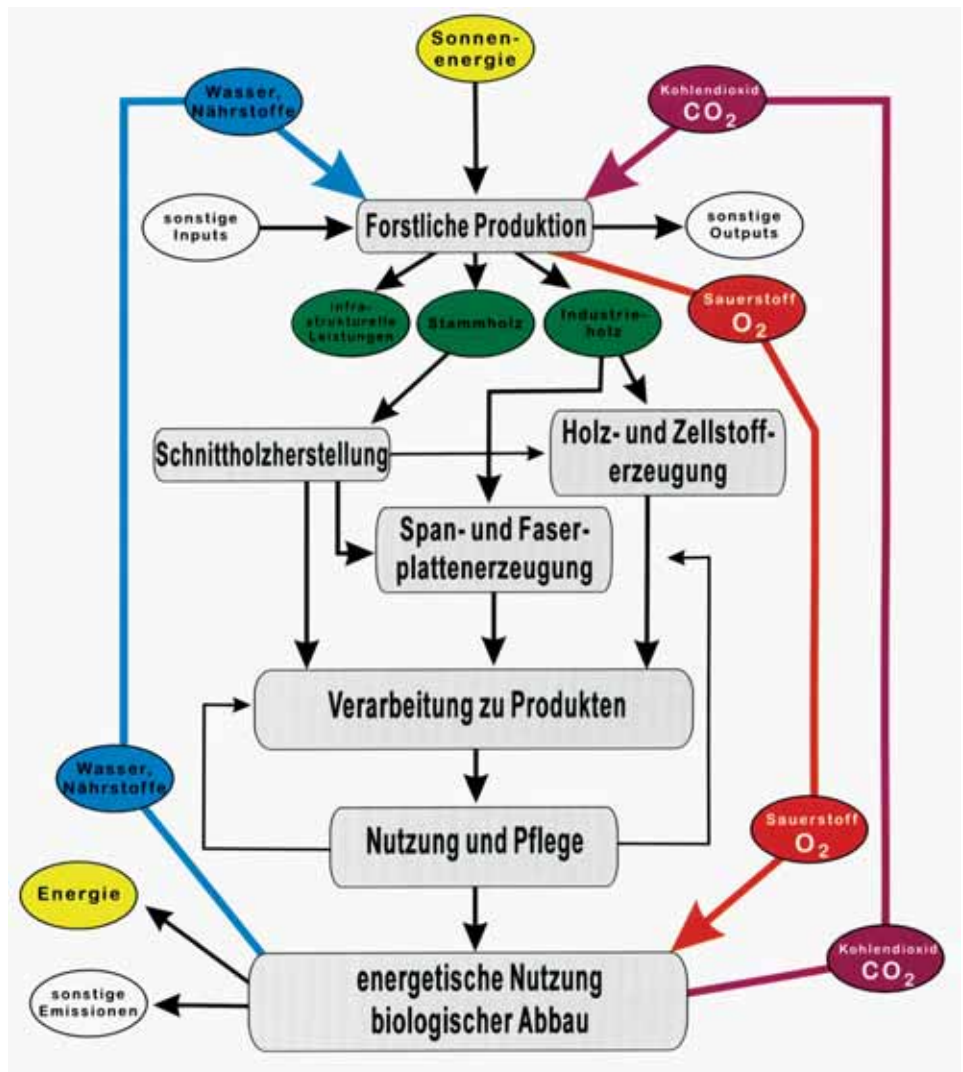


Bild 4.1 Der Lebensweg von Holzprodukten in sehr vereinfachter Form: in jeder Hinsicht ein Musterbeispiel für zukunftsfähiges Kreislaufwirtschaften

### Beispiel: CO<sub>2</sub>-Neutralität von Holz

Zu Beginn der Holzkette steht der Lebenswegabschnitt „Forstliche Produktion“. Unter Einwirkung der Sonnenenergie findet die nachhaltige Produktion von Holz durch die Umwandlung von CO<sub>2</sub> und Wasser zu Holz statt. Am Ende der Holzkette steht der Abschnitt „Entsorgung der Altprodukte“, wobei das Holz entweder energetisch genutzt oder biologisch abgebaut wird. In beiden Fällen wird dabei die gleiche Menge Kohlenstoff in Form von CO<sub>2</sub> frei, wie bei der Bildung der Holzmasse gebunden wurde. Aus diesem Grund wird der Rohstoff Holz als CO<sub>2</sub>-neutral bezeichnet („Vom CO<sub>2</sub> zum CO<sub>2</sub>“),

Betrachtet man bei der Ökobilanzierung den gesamten Lebensweg eines Holzprodukts, so wird die CO<sub>2</sub>-Neutralität bewahrt und die positive Umweltwirkung (Aufnahme von CO<sub>2</sub> aus der Luft) fließt in die Bewertung ein. Methodisch kann man z. B. zu Anfang des Lebensweges eine CO<sub>2</sub>-Senke definieren, die der eingesetzten Holzmasse entspricht, die im Lebensweg durch Einsatz von Energien abgebaut, am Ende aufgezehrt wird. Bezieht man dagegen die Holzproduktion im Wald oder die Entsorgung von Altprodukten nicht in den Lebensweg ein, wird die CO<sub>2</sub>-Neutralität sowie die Tatsache unterdrückt, daß im Holz Sonnenenergie gespeichert ist, die alternativ zu fossilen Energieträgern genutzt werden kann.

### Vorteile des modularen Aufbaus des Lebensweges

Wie bereits im Kapitel 3 beschrieben, erfordert die Ökobilanzierung die Erstellung einer Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung, wobei die Wirkungsabschät-

zung von der Sachbilanz abhängt und beide zusammen für die Auswertung maßgebend sind.

Die Betrachtung eines einzelnen Lebenswegabschnittes, wie sie beispielsweise die Daten einer Betriebs-Ökobilanz darstellen können, ermöglicht nur eine eingeschränkte Aussage über die Umweltrelevanz eines Produktes. Aus der Bilanzierung eines Herstellungsprozesses bzw. aus einer Betriebs-Ökobilanz lassen sich aber durchaus wertvolle Hinweise über Umweltwirkungen ableiten:

- Einfluß der Produktion auf die unmittelbare Umwelt bzw. Umgebung, z.B. die unmittelbare Wirkung bestimmter luftgetragener Emissionen (z.B. Gerüche) oder Lärm auf die Nachbarschaft;
- Ableitung von konkreten Maßnahmen zur Verbesserung der Situation, z.B. Reduzierung von Staub, Lärm, Geruch oder anderen Emissionen (im Sinne von Nachbarschafts- und Arbeitsschutz);
- Einsparung von Energie durch effizientere Technik;
- Substitution von fossilen durch erneuerbare Energieträger (= Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen), z.B. durch energetische Nutzung anfallender Resthölzer;
- Möglichkeiten einer ökonomisch effizienteren Produktion, z.B. Reduzierung der Energie- und Entsorgungskosten durch Energieeinsparung und Abfallvermeidung.

Um ein objektives Gesamtbild über alle Umwelteinflüsse zu bekommen, muß der Lebensweg vollständig in die Bilanzierung einbezogen werden. Anderenfalls können wesentliche Fakten ausgegrenzt werden, welche die Umweltfreundlichkeit von Holzprodukten belegen, z.B. die energetische Nutzung von Altholz, die nicht erneuerbare Energieträger ersetzt.

### Beispiel: Produktvergleich

Beim Vergleich von zwei oder mehreren Produkten, die für den gleichen Zweck genutzt, aber aus unterschiedlichen Rohstoffen hergestellt werden, kann eine objektive Beurteilung nur dann erfolgen, wenn die Umwelteinflüsse aller Lebensphasen der beiden Produkte in Betracht gezogen werden.

Vergleicht man z.B. Lagerhallen, gebaut aus Holz, Stahl oder Stahlbeton (Tabelle 4.1, [8]), so sind die Energieeinsätze für die Lebenswegsabschnitte Baustoffproduktion, Transporte, Betrieb (20 Jahre Nutzung) und Abbau unterschiedlich. Ein ökologischer Vergleich zwischen diesen Baustoffen ist nur dann sinnvoll, wenn man den gesamten Lebensweg in Betracht zieht. Würde man dagegen nur einzelne Abschnitte auswählen, so käme man zu völlig unterschiedlichen Bewertungen bezüglich des Energieaufwandes der in diesem Beispiel verwendeten Baustoffe.

### Fazit für Holzprodukte

Eine vollständige Ökobilanz für Produkte aus Holz muß den gesamten Lebensweg, der aus mehreren Lebensabschnitten besteht, umfassen. Diese Abschnitte werden als Module bezeichnet, die getrennt voneinander bilanziert werden. Die so entstandenen Einzelbilanzen hintereinandergeschaltet ergeben dann die vollständige Ökobilanz. Einzelne Module umfassen bestimmte Abschnitte des Herstellungsprozesses und sind dann in ihrem Bilanzraum mit Betriebsbilanzen identisch. Trotzdem ist eine Betriebsbilanz nicht direkt mit einem Modul des Produktlebensweges identisch, da der Betrieb meist mehrere Produkte gleichzeitig herstellt. Jedoch liefern Betriebsbilanzen wertvolle Hinweise und Daten für Produktbilanzen.

Ähnlich wie der Produktlebensweg kann jeder Lebenswegabschnitt bzw. jedes Modul in Teilabschnitte (Submodule) unterteilt werden, die beispielsweise einzelne Produktionsprozesse enthalten. Als Beispiel sei hier auf das Modul „Schnittholzherstellung“ (vgl. 6.2) hingewiesen, das aus den Submodulen Rundholzlagerplatz, Entrinden, Kappen, Profilieren, Besäumen etc. bestehen kann. Ein Überblick über die Möglichkeiten für den submodularen Aufbau von Modulen des Lebensweges von Holzprodukten wird in Kapitel 6 gegeben.

**Tabelle 4.1** Energieaufwand [kWh] für Herstellung, Betrieb und Abbau von 1000 m<sup>3</sup> großen Lagerhallen aus Holz, Stahl und Stahlbeton, nach [8]

Energieeinsatz für:	Holzbau	Stahlbau	Stahlbetonbau
Baustoffproduktion	330 000	630 000	826 000
Transporte	60 000	60 000	121 000
Betrieb (20 Jahre)	1 000 000	1 075 000	1 139 000
Abbruch und Entsorgung	90 000	62 000	137 000

## 5 Wie mache ich eine Ökobilanz?

### Das methodische Vorgehen, erklärt an einem Beispiel

Am Beispiel der ökologischen Bilanzierung von Dachstühlen wird im folgenden Kapitel die Methode der Ökobilanzierung erläutert, die Vorgehensweise beschrieben und in Einzelschritten erklärt.

### 5.1 Allgemeine Fragen und Definitionen

#### Warum soll eine Ökobilanz erstellt werden?

Zur Beantwortung dieser Frage sind das Ziel und der Zweck der Ökobilanz genau zu definieren. Während es üblicherweise das Ziel der produktbezogenen Bilanzierung ist, alle Umweltwirkungen zu ermitteln, die mit der Herstellung und Nutzung eines Dachstuhles in Verbindung stehen, kann es für den Betrieb auch von Interesse sein, die Bilanz der Herstellung ohne die Betrachtung des gesamten Lebensweges (also ohne Vor- und Folgemodule) zu erstellen (Bild 5.1). Folgende Gründe für die Erstellung einer Ökobilanz wären z.B. denkbar:

Die Ökobilanz soll nur der innerbetrieblichen Kontrolle von Stoff- und Energieströmen unter Einbeziehung von Umweltkriterien dienen, um einerseits Kosten (z.B. Energiekosten) zu reduzieren und andererseits umweltfreundlicher zu arbeiten. In diesem Fall können die übrigen Lebenswegmodule unberücksichtigt bleiben.

Der Zimmereibetrieb beabsichtigt, die ökologischen Argumente für seine Produkte (Dachstühle) im Marketing einzusetzen. In diesem Fall ist es notwendig, den gesamten Lebensweg zu betrachten, von der „Forstlichen Produktion“ bis hin zur Nutzung, Pflege und späteren Entsorgung.

#### Was soll bilanziert werden?

Das Bilanzierungsziel wird festgelegt und das System (Bilanzraum) wird beschrieben. Im Beispiel soll die Herstellung eines Dachstuhles vom Abbinden in einem Zimmereibetrieb bis zum Richten auf der Baustelle betrachtet werden.

#### Wie kann die Herstellung eines Dachstuhles modular gegliedert werden?

Das Modul 3 „Dachstuhlproduktion“ in Bild 5.1 wird in die Submodule „handwerklicher Abbund“, „Transport zur Baustelle“ und „Richten mit einem elektrischen Kran“ unterteilt und bilanziert. Der Abbund ist der paßgenaue Zuschnitt des Schnittholzes zu Konstruktionsteilen im Zimmereibetrieb, während das Richten das Zusammenfügen und Aufstellen der Konstruktion auf der Baustelle ist.

#### Wer soll die Bilanzierung durchführen?

Dachstühle werden typischerweise von Zimmereibetrieben produziert, wobei der Fertigungsprozeß aus dem Abbund im Betrieb und dem Richten auf der Baustelle besteht. Die Erarbeitung einer Ökobilanz kann je nach Zielsetzung vom Zimmereibetrieb selbst oder von einem Dritten (z.B. von einer externen Fachkraft) durchgeführt werden.

#### Wie ist die funktionale Einheit definiert?

Die funktionale Einheit beschreibt den Gebrauchswert, die Funktion und Leistungsfähigkeit des betrachteten Produktes.

Wegen der Vielfalt von Größen und Dachgestaltungsformen wird man sich einen typischen Dachstuhl zur Bilanzierung aussuchen. Typisch kann ein sehr häufig ausgeführter bzw. ein durchschnittlicher Dachstuhl (bezogen auf das Holzvolumen) sein oder ein für ein bestimmtes Baugebiet typischer Dachstuhl. Hier im Beispiel wird ein Dachstuhl für ein „Einfamilienhaus mit Krüppelwalmdach“ gewählt. Die Dachfläche beträgt 144 m<sup>2</sup>. Die Massen- und Energieströme sollen auf zwei funktionale Einheiten (a) ein fertiger Dachstuhl und (b) 1 m<sup>3</sup> verbautes Holz berechnet werden.

Bei der Definition der funktionalen Einheit ist insbesondere darauf zu achten, daß eine vergleichende Betrachtung von Varianten nur bei gleicher funktionaler Einheit und bei sonst gleichen Randbedingungen möglich ist.

#### Wie kann der Untersuchungsraum (Bilanzraum) abgegrenzt werden?

Zur Herstellung eines Produktes sind häufig eine Vielzahl von Rohstoffen, Vorprodukten, Hilfs- und Betriebsstoffen sowie Energieträger notwendig. Es muß festgelegt werden, welche Stoff- und Energieflüsse in der Bilanz berücksichtigt werden und inwieweit die Vorketten in die Bilanz aufgenommen werden können. Die Vorkette beinhaltet alle Umweltwirkungen, die mit der Herstellung der

Vorprodukte oder Energieträger verbunden sind. Um das System abzugrenzen, müssen Ausschluß- bzw. Abschneidekriterien definiert werden.

Die räumlichen Bilanzgrenzen sind im Beispiel einmal das Werktor des Zimmereibetriebes, dort, wo die Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe ankommen und zum anderen die Baustelle, wo der Dachstuhl aufgerichtet wird. Damit werden Vor- und Nachketten abgeschnitten.

Für ein Sägewerk kann beispielsweise das Werksgelände dem Bilanzraum (räumlich) entsprechen.



Bild 5.1 Der Lebensweg eines Dachstuhles

Was sind Ausschluß- bzw. Abschneidekriterien?

Ausschlußkriterien definieren Bereiche, die bei der Datenerhebung ausgeschlossen werden und somit nicht in die Ökobilanz eingehen. Die Kriterien müssen so gewählt werden, daß keine wichtigen Umweltwirkungen ausgeschlossen, vernachlässigt oder begrenzt werden. Ausgeschlossene Bereiche sind beispielsweise:

- Herstellung der Maschinen, die in der Zimmerei und auf der Baustelle verwendet werden, Herstellung der Fahrzeuge und der Gebäude;
- Aufwendungen für den Verwaltungsbereich;
- Aufwendungen für außergewöhnliche Vorkommnisse (z.B. Reparaturen nach Unfällen, Feuer);
- Aufwand zur Errichtung und Unterhalt der öffentlichen Infrastruktur (z. B. Wege und Straßen, Zufahrt zum Betriebsgelände);
- Inputgrößen mit sehr geringem Anteil, wenn ihre Wirkung auf die Umwelt gering ist. Sie können z. B. über ihren Prozentanteil an der Gesamtmasse, Produktmasse oder Energieinhalt abgeschnitten werden. Im Beispiel: Farbkreide oder Bleistifte;
- Outputgrößen können analog zu Inputgrößen beispielsweise über Schwellen- und Grenzwerte ausgeschlossen werden.

Wie kann die Betriebsbilanz zur Lebensweganalyse (Produkt-Ökobilanz) erweitert werden?

Um die Ökobilanz über den gesamten Lebensweg des Produktes Dachstuhl erstellen zu können, müssen auch die Module 1,2,4 und 5 im Bild 5.1 bilanziert werden. Die Daten für die Vor- und Folgemodule kann der Zimmereibetrieb nicht selbst erheben.

Eine Möglichkeit wäre, sowohl bei den Zulieferern als auch bei den Kunden weitere Daten abzufragen. Dies ist für den einzelnen Betrieb ein kaum zu bewältigender Weg. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Auswertung und Verarbeitung von allgemein zugänglichen Daten, wobei deren Herkunft, Qualität und Verwendbarkeit im Einzelfall geprüft werden muß.

In der Literatur gibt es inzwischen viele brauchbare Daten, die eine solche Arbeit erleichtern können. Die Vorgehensweise zur Erstellung der Ökobilanz entlang des Lebensweges ist in Bild 5.2 dargestellt.

Tabelle 5.1 Sachbilanz der Herstellung eines Dachstuhls (nur Modul 3 von Bild 5.1) [9]

INPUT			OUTPUT		
	bezogen auf einen Dachstuhl	bezogen auf 1 m <sup>3</sup> verbautes Holz		bezogen auf einen Dachstuhl	bezogen auf 1 m <sup>3</sup> verbautes Holz
<b>Schnittholz [m<sup>3</sup>]</b>			<b>Schnittholz [m<sup>3</sup>]</b>		
Abbund	2,37	0,59	Abbund	2,10	0,53
Richten	2,13	0,53	Richten	1,90	0,47
			<b>Dachstuhl</b>	<b>4,00</b>	<b>1,00</b>
			Verschnitt	0,50	0,12
			- Stücke	0,47	0,11
			- Späne	0,03	0,01
<b>Summe:</b>	<b>4,50</b>	<b>1,12</b>	<b>Summe:</b>	<b>4,50</b>	<b>1,12</b>
<b>Metall [kg]</b>			<b>Metall [kg]</b>		
verzinkt	40,00	10,00	verzinkt	40,00	10,00
nicht verzinkt	11,00	2,75	nicht verzinkt	11,00	2,75
<b>Hilfsstoffe [kg]</b>			<b>Hilfsstoffe [kg]</b>		
Spanplatten	6,20	1,55	Spanplatten	6,20	1,55
Sperrholz	4,30	1,07	Sperrholz	4,30	1,07
Stapelleisten	4,50	1,12	Stapelleisten	4,50	4,50
Stahlbänder	0,20	0,05	Stahlbänder	0,20	0,05
PE-Folie	0,10	0,02	PE-Folie	0,10	0,02
<b>Elektrische Energie [kWh]</b>			<b>Emissionen [kg] aus Bereitstellung von elektrischer Energie</b>		
Abbund, Richten	2,10	0,52	SO <sub>2</sub>	0,001	0,001
			HC	0,020	0,005
			NO <sub>x</sub>	0,008	0,002
			N <sub>2</sub> O	0,001	0,001
			CO	0,004	0,001
			CO <sub>2</sub>	3,416	0,854
<b>Energieaufwand Transport [MJ]</b>			<b>Emissionen [kg] aus Treibstoff</b>		
Entfernung 30km	246,40	61,60	Staub	0,068	0,017
			NO <sub>x</sub>	1,024	0,256
			N <sub>2</sub> O	0,001	0,001
			CO	0,340	0,085
			CH <sub>4</sub>	0,028	0,007
			NM VOC	0,272	0,068
			CO <sub>2</sub>	18,068	4,517

5.2 Erarbeitung und Darstellung der Sachbilanz

Die Sachbilanz ist die Erfassung und Gegenüberstellung von In- und Outputgrößen (vgl. 3.2). Diese werden für jedes Modul bzw. Submodul erhoben und in sogenannten Teilbilanzen dargestellt. Für das Beispiel ist die Ergebnistabelle der Sachbilanz für das Modul 3 „Dachstuhlproduktion“, getrennt nach Stoff- und Energiebilanz in Tabelle 5.1 dargestellt.

Verteilung – Allokation

Werden in einer Produktion oder einem Produktionsprozeß mehrere Produkte erzeugt (z.B. Kuppelproduktion), stellt sich die Frage, ob und wie die Input- und Outputgrößen der Sachbilanz auf die Produkte und Nebenprodukte verteilt werden. Für das Beispiel Dachstühle erhebt sich die Frage, wie bestimmte betriebliche Input- und Outputgrößen zu verteilen sind. Da die Problematik in anderen Bereichen gravierender als im Zimmereibetrieb ist, soll sie etwas allgemeingültiger dargestellt werden.

Die ISO-Normen 14.040 und 14.041 schlagen vor, daß Input- und Outputgrößen bzw. deren ökologische Wirkungen auf Produkte und Kuppelprodukte (Produkte, die bei der Herstellung des Hauptproduktes unweigerlich anfallen und stofflich oder energetisch verwertet werden können) verteilt werden. Abfällen zur Entsorgung, die bei der Produktion anfallen, sind keine ökologischen Wirkungen zuzurechnen. Die Allokation kann beispielsweise nach folgenden Kriterien vorgenommen werden:

- nach Masse,
- nach Volumen,
- nach Energieinhalt (Heizwert),
- nach Marktwert.

In jedem Fall muß das Allokationsverfahren nachvollziehbar sein und dokumentiert werden.

#### Beispiel: Schnittholzerstellung

Bei der Herstellung von Schnittholz fallen als Kuppelprodukte zwangsläufig Rinde, Schwarten und Spreißel, Hackschnittel und Sägespäne an. Diese Kuppelprodukte sind keine Abfälle zur Entsorgung, sondern werden als Rohstoff z.B. zur Herstellung von Holzwerkstoffen oder Zellstoff eingesetzt. Eine Verteilung der Input- und Outputgrößen kann in diesem Fall nach der Masse oder dem Volumen erfolgen.

Ein Sonderfall der Verteilung ist die bilanztechnische Behandlung von Sekundärrohstoffen (Recycling). Die Wieder- oder Weiterverwendung bzw. Wieder- und Weiterverwertung ist die Nutzung von Produkten, die bereits mindestens eine Nutzungsphase durchlaufen haben und als Rohstoff für ein weiteres Produkt eingesetzt werden. In der Regel handelt es sich dabei nicht um ein echtes Recycling, sondern um die Herstellung eines Produktes geringerer Güte (Downcycling).

Hier werden derzeit verschiedene methodische Ansätze diskutiert. Während eine Methode („cut Off-Methode“) die Umweltwirkungen der vorangegangenen Lebenszyklen generell abschneidet und erst mit der Erfassung der Recyclingstoffe beginnt, werden in anderen Modellen die Umweltwirkungen ähnlich einer Abschreibung auf mehrere Lebenszyklen verteilt. Die Wahl der Allokationsmethode hat in diesem Fall einen entscheidenden Einfluß auf das Ergebnis der Ökobilanz.

#### Beispiel: Altpapier – Frischfaser

Was ist ökologisch sinnvoller?

- (a) Papier aus Holz herzustellen und Altpapier energetisch zu nutzen oder
- (b) Altpapier stofflich mit allen Konsequenzen (Transporte, Deinking, usw.) aufzubereiten?

Diese Frage ist eng mit der Allokationsmethode von Sekundärrohstoffen verknüpft.

Die „cut off-Methode“ schneidet den früheren Lebensweg vollständig ab. Die Ökobilanz des Recyclingpapiers beginnt mit der Erfassung des Papiers nach der Nutzung (Sammeln, Transportieren, Sortieren usw.). Die Umweltwirkungen zur Produktion der Fasern (z.B. unterschiedliche Forstwirtschaften, Zellstoffprozesse und Bleichverfahren) aus der früheren Nutzungsphase werden nicht berücksichtigt. Die CO<sub>2</sub>-Speicherung im Wald im übrigen auch nicht. Als Konsequenz würde das beispielsweise bedeuten, daß Papier aus Altpapierfasern im Gegensatz zu Papier aus Primärfasern nicht CO<sub>2</sub>-neutral entsorgt werden kann. Es stellt sich die Frage, ob mit diesem Ansatz eine ökologische Bewertung von verschiedenen Papierrohstoffen möglich ist.

Ein anderer Methodenvorschlag verteilt die Umweltwirkungen auf alle Lebenszyklen. („Kaskadenansatz“ [10]). Das bedeutet vereinfacht, daß der erste Lebensweg bereits Lasten aus den weiteren Lebenswegen tragen muß und umgekehrt die Lasten aus dem ersten Lebensweg auch auf die weiteren verteilt werden. Das heißt, daß das zur Verwertung gelangende Altpapier ebenfalls mit „ökologischen Wirkungen“ aus seinem „früheren Lebensweg“ belastet wird, also mit einem ökologischen Rucksack zur Altpapierwiederverwertung kommt. Die Größe des Rucksackes ergibt sich u.a. aus der Anzahl der Wiederverwertungszyklen.

Fazit:

Das methodische Problem der Behandlung von Sekundärrohstoffen ist noch weitgehend ungelöst. In diesem Punkt müssen Ökobilanzen sehr kritisch betrachtet werden.

### 5.3 Wirkungsabschätzung

Wie unter 3.2 beschrieben, werden in der Wirkungsabschätzung die in der Sachbilanz aufgeführten Größen in ihrer Wirkung auf die Umwelt untersucht. Dabei geht es um glo-

bale, regionale und lokale Einflüsse, die auf der Grundlage von Wirkungskategorien abgeschätzt werden. Die Abschätzung erfolgt durch die Bildung von einzelnen Wirkungspotentialen, wobei jedes Wirkungspotential (W<sub>p</sub>) wie folgt ermittelt wird:

$W_p = \text{Emissionsfaktor} \times \text{Emissionsmenge}$ .

Die Emissionsfaktoren spiegeln die Intensität der jeweiligen Emission hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Umwelt wider, bezogen auf einen bestimmten Effekt wie z.B. den Treibhauseffekt [11]. So weist je nach Wirkungskategorie ein und dieselbe Emission (z.B. SO<sub>2</sub>) unterschiedliche Wirkungspotentiale auf.

Für das Beispiel Dachstuhl wird die Wirkungsabschätzung anhand der Wirkungskategorien Treibhauseffekt (globale Erwärmung), Humantoxizität und Versauerung gezeigt. Sie ist nicht vollständig und soll nur die Berechnungsmethode demonstrieren. Tabelle 5.2 gibt einen Einblick in die Wirkungspotentiale (W<sub>p</sub>) verschiedener Emissionen für die genannten Wirkungskategorien.

### 5.4 Auswertung

Wenn die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung vorliegen, erfolgt die Auswertung, die der schwierigste Teil einer Ökobilanz ist. Nach ISO FDIS 14.040 sollen die Ergebnisse der Auswertung die Grundlage für Schlußfolgerungen und Empfehlungen sein, die sich auf das Ziel und den Untersuchungsrahmen der Produkt-Ökobilanz beziehen.

Die Auswertung kann je nach dem Ziel der Ökobilanzierung unterschiedlich erfolgen. Im Fall des Dachstuhls kann das Ziel des Unternehmens sein:

- Minimierung der ökologischen Lasten durch die Reduzierung des Energieverbrauches, z.B. durch kürzere Transportwege oder den Einsatz anderer Transportmittel,
- Vermeidung bzw. Reduzierung des chemischen Holzschutzes (falls relevant),
- Anpassung der Produktion an neue Umweltrichtlinien und -Verordnungen,
- Ökologischer Vergleich zwischen Dachkonstruktionen aus Holz und aus anderen Baustoffen.

Als Grundlage für die Auswertung können die in Tabelle 5.2 angegebenen Wirkungspotentiale dienen. Weniger Umweltbelastung durch optimalen Einsatz von Material und Energie bedeutet oft auch geringere Kosten. Neben den umweltbelastenden Ein-

flößen sind auch holzspezifische Aspekte in der Auswertung zu berücksichtigen, die um weltentlastend wirken. Dazu gehören:

- Kohlenstofffixierung im Holz, das zu 50% aus Kohlenstoff besteht, welcher der Atmosphäre in Form von CO<sub>2</sub> entzogen wurde.

**Beispiel: CO<sub>2</sub>-Fixierung**

Die in einem Dachstuhl für ein Einfamilienhaus durchschnittlich eingesetzte Menge Fichtenholz (atro) von 4,6 m<sup>3</sup> entspricht einer Masse von etwa 2000 kg, wovon 1000 kg Kohlenstoff sind. Für die Festlegung dieser 1000 kg Kohlenstoff wurden der Luft 3670 kg Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) entzogen.

Beträgt der Schnittholz-Einsatz für einen Dachstuhl 10,5 m<sup>3</sup> (z.B. in Süddeutschland), errechnen sich 2250 kg Kohlenstoff oder 8260 kg CO<sub>2</sub>.

Zur Verdeutlichung dieser „Kohlendioxidensenke (CO<sub>2</sub>-Senke) Dachstuhl“ ist zu bedenken, daß die CO<sub>2</sub>-Emission je Einwohner und Jahr etwa 11.000 kg beträgt.

- CO<sub>2</sub>-Neutralität, weil bei der Entsorgung genauso viel CO<sub>2</sub> freigesetzt wird, wie bei der Holzbildung gebunden wurde.
- Möglichkeit der energetischen Nutzung von Alt-Dachstühlen:

**Beispiel: Energiegewinnung**

2000 kg Fichtenholz<sub>atro</sub> (4,6 m<sup>3</sup>) mit einem Energieinhalt von 38.600 MJ ersetzen 1060 l Heizöl.

4500 kg Fichtenholz<sub>atro</sub> (10,5 m<sup>3</sup>) mit einem Energieinhalt von 86.850 MJ ersetzen 2370 l Heizöl.

- Beim ökologischen Vergleich von Dachstuhlkonstruktionen aus Holz mit anderen Materialien muß der Substitutionseffekt beachtet werden.

Wird für einen bestimmten Zweck Holz als Bau- oder Werkstoff (Bauholz, Fenster, Möbel) eingesetzt, so wird der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre gemindert. Produkte aus nicht nachwachsenden organischen Rohstoffen wie Kohle oder Öl setzen den gebundenen Kohlenstoff in Form von CO<sub>2</sub> am Ende ihres Lebensweges frei.

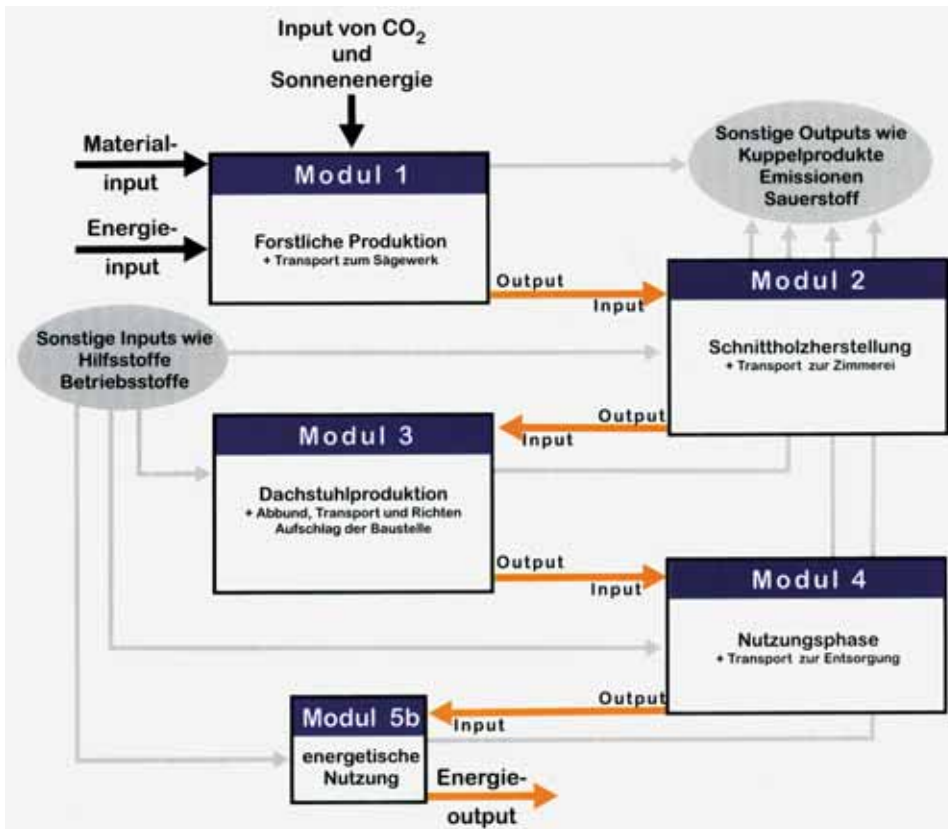


Bild 5.2 Der modulare Aufbau einer Produkt-Ökobilanz am Beispiel des Dachstuhles

Tabelle 5.2 Beispiele zur Ermittlung von Wirkungspotentialen W<sub>P</sub>  
Die Datengrundlage ist Tabelle 5.1

<b>W<sub>P</sub> = Wirkungspotential für globale Erwärmung</b> [aus Transport/Entfernung 30 km]		
W <sub>P</sub> = 4517 g x 1,0 = 4517 g	für CO <sub>2</sub>	
W <sub>P</sub> = 7,00 g x 11 = 77,00 g	für CH <sub>4</sub>	
W <sub>P</sub> = 0,02 g x 270 = 5,40 g	für N <sub>2</sub> O	
Summe W <sub>P</sub> = 4599,40 g		
<b>W<sub>P</sub> = Wirkungspotential für Humantoxizität</b> [aus Bereitstellung von elektrischer Energie]		
W <sub>P</sub> = 0,3 g x 1,2 = 0,36 g	für SO <sub>2</sub>	
W <sub>P</sub> = 1,0 g x 0,012 = 0,012 g	für CO	
W <sub>P</sub> = 2,0 g x 0,78 = 1,56 g	für NO <sub>x</sub>	
Summe W <sub>P</sub> = 1,93 g		
<b>W<sub>P</sub> = Wirkungspotential für Versauerung</b> [aus Bereitstellung von elektrischer Energie]		
W <sub>P</sub> = 2,0 g x 0,7 = 1,4 g	für NO <sub>x</sub>	
W <sub>P</sub> = 0,3 g x 1,0 = 0,3 g	für SO <sub>2</sub>	
Summe W <sub>P</sub> = 1,7 g		

## 6 Beispiele für Betriebs-sachbilanzen

Im folgenden werden Beispiele für Bilanzierungen aus verschiedenen Bereichen wie Forstwirtschaft, Herstellung von Schnittholz, Spanplatten, Möbel usw. gegeben. Dabei wird jeweils nur das entsprechende Modul (z.B. Schnittholzerstellung) ohne die Vor- und Nachmodule dargestellt. Eine vollständige Produkt-Ökobilanz (über den gesamten Lebensweg) ist durch Aneinanderreihung der für den Lebensweg relevanten Module zu erreichen.

Die hier dargestellten Module sind in sich nicht vollständig – sie können es auf dem hier zur Verfügung stehenden Raum nicht sein. Sie betreffen nur den Schritt der Sachbilanz. Für die Wirkungsbilanz und Auswertung (Interpretation) wird auf die Literatur [11] verwiesen. Es soll hier nur gezeigt werden, wie die Methodik auf verschiedene Bereiche angewendet werden kann. Die genannten Zahlen sind Beispiele aus Bilanzierungen einzelner Produkte bzw. Betriebe und sind daher nicht allgemein gültig.

Da dabei immer ein Modul des Produktlebensweges im Umfang eines einzelnen Betriebes betrachtet wird, kann man auch von Betriebssachbilanzen sprechen. Überwiegend ist die Betriebssachbilanz auch das, was für Unternehmen interessant ist, wenn Kunden bzw. die Allgemeinheit Daten für ihre eigene Bewertung bzw. Bilanzierung wünschen. Auf die Problematik, daß ein Betrieb oft mehrere Produkte nebeneinander (Kuppelprodukte) herstellt und deshalb die Ergebnisse (Daten und Wirkungen) der Betriebsbilanzierung auf die Produkte zu verteilen sind, um Produktbilanzen zu erhalten, sei hier nochmals hingewiesen.

**Tabelle 6.1** Stoffbilanz des Submoduls „Photosynthese (Holzbildung)“

INPUT		OUTPUT	
Kohlendioxid	1851 kg	<b>Holz</b>	<b>1000 kg</b>
Wasser	1082 kg	Wasser	541 kg
		Sauerstoff	1392 kg

### Der durchschnittliche Heizwert ( $H_u$ ) von Holz beträgt:

<b>Nadelholz</b>	<b>19300 MJ/t<sub>(atro)</sub></b>
<b>Laubholz</b>	<b>18100 MJ/t<sub>(atro)</sub></b>

### 6.1 Forstwirtschaft

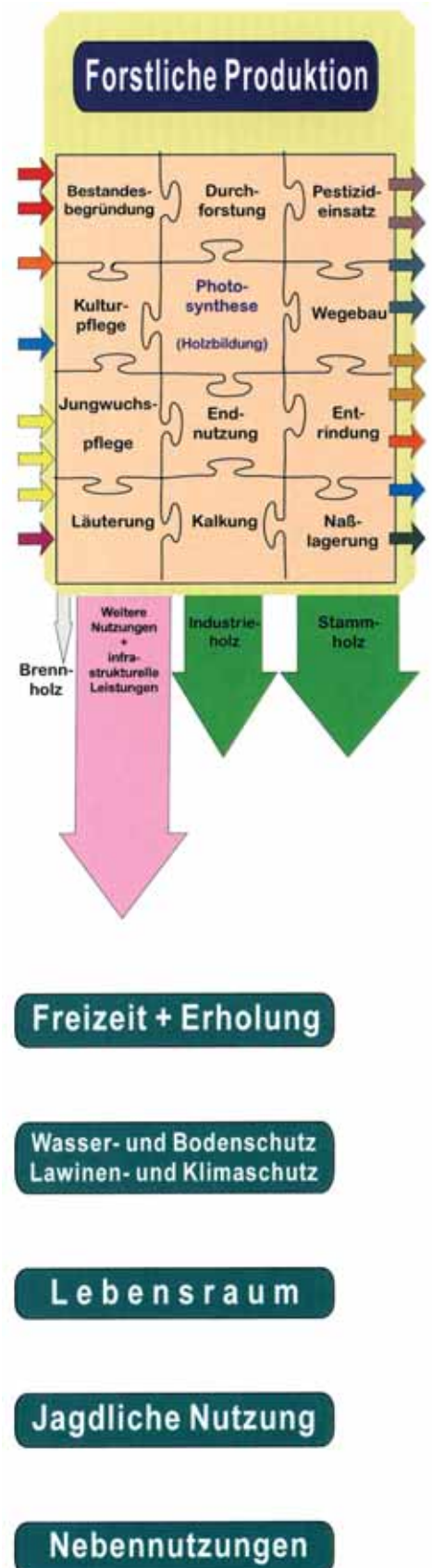
Der erste Lebenswegabschnitt aller Holzprodukte ist das Modul „Forstliche Produktion“. Dieses Modul beinhaltet sowohl die Holzbildung durch Photosynthese, also die Synthese der Holzmasse durch die Bäume, als auch die technische Produktion.

Zur Aufstellung einer Ökobilanz für einen Forstbetrieb oder eine bestimmte Art der Forst- bzw. Waldbewirtschaftung ist es notwendig, diesen Betrieb in Untereinheiten (Submodule) zu gliedern, wie es beispielhaft in Bild 6.1 dargestellt ist. Die Gliederung erfolgt so, daß möglichst für jedes dieser Submodule eine Sachbilanz erstellt werden kann.

Das wichtigste Submodul innerhalb des Moduls „Forstliche Produktion“ ist die „**Photosynthese (Holzbildung)**“ (Bild 6.1). Hier werden die Input- und Outputgrößen erfaßt, die direkt im Zusammenhang mit dem Aufbau von Holz durch die Bäume stehen. Anders als bei allen endlichen, nicht erneuerbaren Ressourcen, wird der Rohstoff Holz nicht aufgebraucht, sondern wächst stetig nach. Durch diese nachhaltige Holzproduktion wird der Atmosphäre Kohlendioxid entzogen und mit Hilfe der Sonnenenergie in Kohlenhydrate und Lignin umgewandelt. Für diese Umwandlung (Photosynthese) benötigen die Bäume Wasser und es entsteht Sauerstoff, der an die Atmosphäre abgegeben wird. Holz ist zu 99% aus den drei chemischen Elementen Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff aufgebaut. Die verschiedenen Holzarten unterscheiden sich hinsichtlich dieser Zusammensetzung praktisch nicht [12]. Deshalb kann die in Tabelle 6.1 dargestellte Stoffbilanz für die Photosynthese von Holz zumindest für alle mitteleuropäischen Baumarten als typisch gelten [13].

Die für die Synthese von Holz notwendige Energie liefert die Sonne. Die Sonnenenergie wird über die Photosynthese von Pflanzen in chemisch gebundene Energie umgewandelt. Der Energieinput, der für den Aufbau von Holz notwendig ist, wird aus methodischen Gründen dem erreichbaren Energie-Output, ausgedrückt durch den unteren Heizwert ( $H_u$ ), gleichgesetzt.

Damit ist die Sachbilanz des Submoduls „Photosynthese (Holzbildung)“ für 99% der Holzmasse beschrieben. Für das restliche Prozent, es beinhaltet die anorganischen Bestandteile des Holzes, wie die Elemente Stickstoff, Calcium, Kalium, Magnesium etc. liegen bislang keine ausreichenden Daten vor.



**Bild 6.1** Das Modul „Forstliche Produktion“, der Beginn des Lebensweges aller auf Holz basierenden Produkte

**Wichtige Inputs für die Bilanzierung eines Forstbetriebes sind:**

- ➔ Einsatz fossiler Energieträger, wie beispielsweise Dieselkraftstoff für den Betrieb von Pflanzmaschinen, Schleppern oder Harvestern und das Treibstoffgemisch für die Motorsägen, einschließlich der jeweiligen Vorketten der Energieträger.
- ➔ Einsatz regenerativer Energieträger, wie der Sonnenenergie, die zur Holzbildung notwendig ist oder „Biodiesel“ für Sägen und Maschinen, hergestellt aus nachwachsenden Rohstoffen.
- ➔ Verwendung von Wasser zur Beregnung von Rundholz bei der Naßlagerung. Neben der Wassermenge ist auch die Herkunft des Wassers von Bedeutung (Grundwasser, Oberflächenwasser).
- ➔ Erfassung der eingesetzten Betriebsstoffe, wie etwa die Menge Hydrauliköl, die ein Harvester verbraucht oder die Menge des Kettenöls für den Betrieb der Motorsäge.
- ➔ Erfassung der eingesetzten Hilfsstoffe, wie beispielsweise die Menge Kalk, die bei der Kompensationskalkung (Verhinderung der Versauerung des Bodens infolge Eintrag sauren Regens) eingesetzt wird oder die Menge der eingesetzten Pestizide.

**Wichtige Outputs für die Bilanzierung eines Forstbetriebes sind:**

Die Art und Menge der erzeugten Produkte müssen möglichst genau erfaßt werden. Wieviel Rundholz, welcher Dimension und welcher Qualität wurde im betrachteten Zeitraum produziert (Holzbildung) und wieviel wurde davon geerntet (Einschlagsmenge)? Welcher Anteil des eingeschlagenen Holzes wurde im Wald entrindet, wieviel Rinde ist dabei als Nebenprodukt angefallen? Wenn ein Teil der Rinde vermarktet worden ist, ist dieser ebenfalls zu erfassen. Dieser Teil gilt bilanztechnisch als Kuppelprodukt, der nicht verkaufte Teil als Abfall (siehe Allokation 5.2).

- ➔ Emittierte Feststoffe, wie Verpackungsreste (z.B. Markierungsfarbe), Metalle oder Restmüll.
- ➔ Emissionen in flüssiger Form, wie Abwasser, Öle (Kettenöl) etc.
- ➔ Luftemissionen aus Fahrzeugen (Pflanzmaschine, Schlepper etc.) und den Motorsägen.
- ➔ Lärmemissionen.

Welche infrastrukturellen Leistungen hat der Forstbetrieb im betrachteten Zeitraum erbracht? Aufzunehmen sind hier im besonderen die Flächenanteile, die im Rahmen einer Wald funktionsplanung erfaßt wurden. Darunter fallen:

- Waldflächen [in % der bewirtschafteten Fläche] mit besonderen Schutzfunktionen wie
  - ◆ Bodenschutz
  - ◆ Wasserschutz
  - ◆ Lawinschutz
  - ◆ Klimaschutz
  - ◆ Immissions- und Lärmschutz
  - ◆ Sichtschutz
  - ◆ Schutz von Infrastruktur (z.B. Verkehrswege),
- Waldflächen mit besonderer Erholungsfunktion,
- Waldflächen mit besonderer Bedeutung für:
  - ◆ die Ökologie (Biotope)
  - ◆ das Landschaftsbild
  - ◆ Forschung und Lehre,
- Waldflächen, die nach dem Naturschutzrecht unter Schutz stehen wie:
  - ◆ Nationalparke
  - ◆ Naturschutzgebiete
  - ◆ Naturdenkmäler
  - ◆ Landschaftsschutzgebiete
  - ◆ Naturparke
  - ◆ geschützte Landschaftsteile.

Können im betrachteten Bilanzzeitraum erbrachte Inputgrößen einzelnen dieser infra-

strukturellen Leistungen direkt zugerechnet werden und wenn ja welche?

**Funktionale Einheit**

Die funktionale Einheit, also die Einheit auf die alle Bilanzdaten bezogen werden, kann für die Bilanzierung eines Forstbetriebes beispielsweise ein m<sup>3</sup> oder eine Tonne Holz<sub>(atro)</sub> mit oder ohne Rinde sein. Wichtig ist es, die funktionale Einheit genau zu definieren und alle Umrechnungsfaktoren, die verwendet werden, zu dokumentieren.

**Datenquellen**

Um alle benötigten Daten zu erheben, müssen die unterschiedlichsten zugänglichen Quellen genutzt werden.

- (1) Daten aus der Betriebsbuchhaltung: Die Art und Menge eingekaufter, verkaufter oder kostenpflichtig entsorgter Produkte oder Dienstleistungen können in der Regel der betrieblichen Buchhaltung entnommen werden.
- (2) Daten aus der Produktion: Maschinenlaufzeiten, Lärmpegelmessungen etc.
- (3) Daten aus der Forsteinrichtung: Zuwachs, Baumartenzusammensetzung, nutzbare Sortimenten etc.
- (4) Wenn die oben genannten Quellen nicht ausreichen, sollte auf allgemeine Daten (z.B. [13], [14], [15], [16]) zurückgegriffen werden.

**Tabelle 6.2** Auszug aus der Sachbilanz „Forstliche Produktion“ (nach [14], [15])

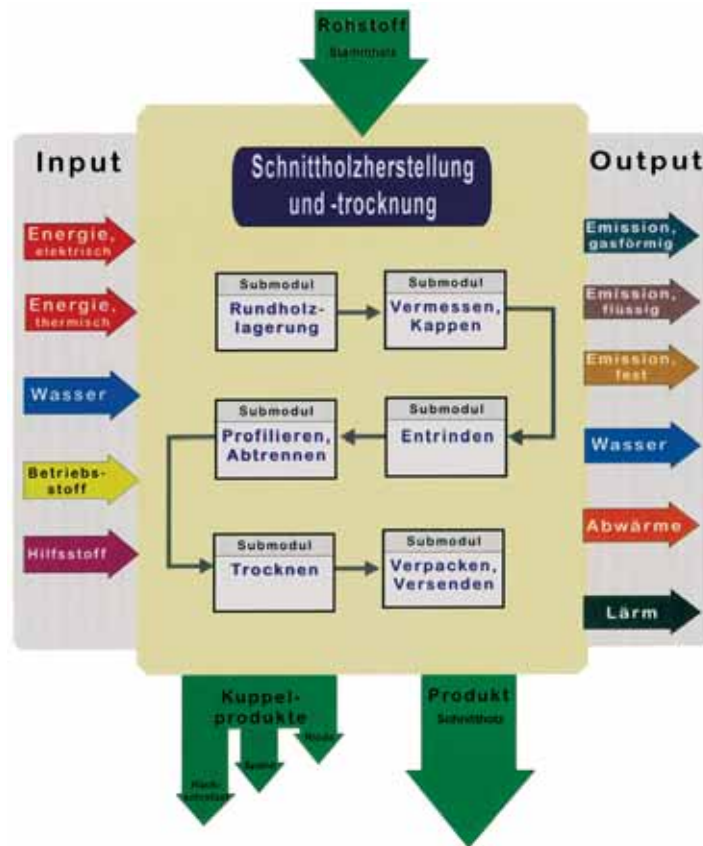
		<b>Fichte Stammholz</b>	<b>Kiefer Stammholz</b>	<b>Buche Stammholz</b>	<b>Eiche Stammholz</b>
<b>Input je t Holz</b>					
Energie, fossil	[MJ]	315	307	225	205
Energie, Sonne	[MJ]	19300	19300	18100	18100
Kohlendioxid	[kg]	1851	1851	1851	1851
Wasser	[kg]	1082	1082	1082	1082
<b>Output je t Holz</b>					
Energieinhalt	[MJ]	19300	19300	18100	18100
Holzmasse (atro)	[kg]	1000	1000	1000	1000
Wasser (in Luft)	[kg]	541	541	541	541
Sauerstoff (in Luft)	[kg]	1392	1392	1392	1392
Kettenöl (in Boden)	[l]	0,16	0,07	0,14	0,15
<b>Emissionen aus Nutzung fossiler Energieträger je t Holz</b>					
CO <sub>2</sub>	[kg]	12,3	11,7	8,8	8,0
CO	[kg]	0,3	0,2	0,2	0,3
NO <sub>x</sub>	[kg]	0,1	0,1	0,1	0,1

## Berechnung und Allokation

Nachdem alle Daten (Inputs und Outputs) erhoben sind, können diese auf die funktionale Einheit umgerechnet werden. Im Zuge dieser Berechnung müssen die Berechnungs- und eventuelle Schätzverfahren genau dokumentiert werden. Die Daten der Sachbilanz und damit die Umweltwirkungen werden allokiert, d.h. auf die einzelnen Kuppelprodukte (z.B. Stammholz, Industrieholz) verteilt. Für den Forstbetrieb bietet sich eine Allokation nach dem Anteil der Trockenmasse an. Eine Allokation auf die erbrachten infrastrukturellen Leistungen kann derzeit aus methodischen Gründen nicht erfolgen, wäre aber wünschenswert und methodisch sinnvoll.

## Wesentliche Wirkungskategorien

Für die „Forstliche Produktion“ ist neben den Wirkungskategorien des Primärenergieverbrauches, getrennt nach fossilen und erneuerbaren Energieträgern und dem Beitrag zum Treibhauseffekt (GWP) vor allem die Frage nach der Naturraumbearbeitung in Betracht zu ziehen.



**Bild 6.2** Der Bilanzraum des Moduls „Schnittholzherstellung und Schnittholztrocknung“ mit den dazugehörigen Stoff- und Energieflüssen

## 6.2 Schnittholzherstellung und -trocknung

Für die Ökobilanz eines Sägewerkes ist es notwendig, den Betrieb anhand eines Materialflußplanes in Untereinheiten (Submodule) zu gliedern, wie sie beispielhaft in Bild 6.2 dargestellt sind. Die Submodule können einzelne Produktionsprozesse, wie das Kappen der Stammabschnitte, das Entrinden oder den Einschnitt umfassen, sie können aber auch größere Einheiten wie den Rundholzplatz oder die werkseigene Energieerzeugung beinhalten. Entscheidend ist es, die Einteilung so vorzunehmen, daß für jedes der Submodule alle Input- und Outputgrößen erfaßt werden können und für jedes Submodul eine eigene Sachbilanz erstellt werden kann. Die gewählte Einteilung muß beschrieben und die Grenzen zwischen den einzelnen Submodulen müssen festgelegt werden. Bild 6.2 zeigt lediglich einen Beispielbetrieb. Submodule, die im konkreten Einzelfall keine Bedeutung haben, können weggelassen, andere, im Beispiel fehlende Prozesse können ergänzt werden.

### Bilanzraum

Der Bilanzraum kann in den meisten Fällen dem Werksgelände gleichgesetzt werden. Als zeitliche Abgrenzung empfiehlt es sich, den Zeitraum eines Wirtschaftsjahres zu verwenden.

### Wichtige Inputs für die Bilanzierung eines Sägewerkes sind:

Die Art und Menge der eingesetzten Rohstoffe muß genau erfaßt werden. Das heißt, wieviel Rundholz, welcher Dimension (Durchmesserklassen) und welcher Qualität (Güteklassen, mit Rinde) wurde im betrachteten Zeitraum eingekauft (Achtung: Lagerveränderungen).

- ➔ Einsatz fossiler Energieträger z.B. Diesel für den Betrieb der Stapler und Radlader einschließlich der jeweiligen Vorketten der Energieträger.
- ➔ Einsatz regenerativer Energieträger, wie „Biodiesel“, oder Wasserkraft zur Stromgewinnung.
- ➔ Verwendung von Wasser für Beriesung, bei der Imprägnierung oder als Prozeßwasser bei der Energiegewinnung.
- ➔ Erfassung der eingesetzten Betriebsstoffe, wie Hydrauliköl, Sägeblätterführungsöle etc.
- ➔ Erfassung der eingesetzten Hilfsstoffe, wie z.B. die Art und Menge der Imprägnierungsmittel.

### Wichtige Outputs für die Bilanzierung eines Sägewerkes sind:

Art und Menge der erzeugten Produkte müssen möglichst genau erfaßt werden. Wieviel Schnittholz, welcher Dimension und welcher Qualität (getrocknet, gehobelt etc.) wurde im betrachteten Zeitraum produziert? Welche Kuppelprodukte wie Schwarten, Spreißel, Hackschnitzel, Säge- und Hobelspane wurden produziert? Schnittholz und Kuppelprodukte sind in m<sup>3</sup> Festsubstanz oder nach Masse/ro anzugeben. Wichtig ist auch, den Anteil der zur Energieerzeugung im Betrieb eingesetzten Kuppelprodukte anzugeben, da sie den Bilanzraum nicht verlassen.

- ➔ Emittierte Feststoffe, wie Verpackungsreste (z.B. Stahlbänder, Kunststofffolien, Asche, verbrauchte Werkzeuge)
- ➔ Emissionen in flüssiger Form, wie Abwasser, Öle (Kettenöl) etc.
- ➔ Luftemissionen aus Fahrzeugen (Radlader, Gabelstapler etc.) oder der werksinternen Energiegewinnung.
- ➔ Energieverluste z.B. in Form von Abwärme bei der Trocknung.
- ➔ Lärmemissionen.

### Funktionale Einheit

Funktionale Einheit kann ein Kubikmeter (m<sup>3</sup>) Schnittholz mit einer bestimmten Feuchte (z.B. u = 15%) oder eine Tonne Schnittholz (atro) sein.

### Datenquellen

- (1) Daten aus der Betriebsbuchhaltung: Menge aller eingekaufter, verkaufte oder kostenpflichtig entsorgter Produkte, Dienstleistungen etc. können in der Regel der betrieblichen Buchhaltung entnommen werden. (z.B. Rohstoffe, Energieträger etc.).
- (2) Daten aus der Produktion: Daten aus der Produktion (z. B. Werkseingangsmessung, EDV der Einschnittoptimierung etc.).
- (3) Erst wenn die oben genannten Quellen nicht ausreichen, sollte auf allgemeine Daten (z.B. [17], [18], [19], [20]) zurückgegriffen werden.

### Wesentliche Wirkungskategorien

Für die „Schnittholzherstellung“ ist neben dem Primärenergieverbrauch, getrennt nach fossilen und erneuerbaren Energieträgern, dem Beitrag zum Treibhauseffekt (GWP) auch die Eutrophierung und Versauerung zu betrachten. Tabelle 6.3 zeigt ein Beispiel für eine vereinfachte Sachbilanz der Schnittholzherstellung.

### Schnittholztrocknung

Die Holztrocknung ist ein wichtiger, energieaufwendiger Prozeß in der Holzindustrie, der in vielen Modulen (z.B. Schnittholzherstellung, Brettschichtholzherstellung, Furnierherstellung) vorkommt und deshalb extra behandelt werden sollte. Die zu erfassenden Stoff- und Energieströme beziehen sich auf den Trocknungsvorgang selbst und z.B. auch auf das Stapeln, Beschicken und Entleeren der Trockenkammern.

### Bilanzraum

Da es sich um eine Prozeßbilanzierung handelt, ist der Trocknungsbereich (z.B. Trockenkammer, Lagerplatz zur Freilufttrocknung) als Bilanzraum zu betrachten. Zur Definition der Ausschlußkriterien vgl. 5.1.

### Funktionale Einheit

Die funktionale Einheit kann ein Kubikmeter getrocknetes Schnittholz einer bestimmten Feuchte sein.

### Wichtige Inputs für die Bilanzierung der Holztrocknung

Wieviel sägefrisches Schnittholz wurde im betrachteten Zeitraum eingesetzt?

- ➔ Einsatz fossiler Energieträger einschließlich der jeweiligen Vorketten der Energieträger.
- ➔ Einsatz regenerativer Energieträger wie „Resthölzer aus der Produktion“.
- ➔ Verwendung von Wasser, beispielsweise zur Regelung der Luftfeuchte im Trockner.
- ➔ Erfassung der eingesetzten Betriebs- und Hilfsstoffe wie Stapelleisten, Paletten, Schmierstoffe etc.

### Wichtige Outputs für die Bilanzierung der Schnittholztrocknung

Wieviel getrocknetes Schnittholz wurde im betrachteten Zeitraum produziert?

- ➔ Emissionen in flüssiger Form, wie Abwasser, Kondensate, Öle (z.B. Altöl aus der Schmierung) etc.
- ➔ Emittierte Feststoffe, wie Ausschuß, Stapelleisten, Staub etc.

➔ Luftemissionen aus der Verwendung der Energieträger und aus der Holztrocknung selbst.

Während des Trocknungsvorgangs entweichen aus dem Holz in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt, der Holzart und den Trocknungsbedingungen (Temperatur, rel. Luftfeuchte usw.) u.a. folgende Stoffe bzw. Stoffgruppen:

- Wasserdampf,
- Niedermolekulare organische Säuren (Ameisensäure, Essigsäure),
- Alkohole (Methanol, Ethanol),
- Gerbsäuren,
- Ätherische Öle,
- Ungesättigte Kohlenwasserstoffe.

➔ Energieverluste, z.B. in Form von Abwärme.

**Tabelle 6.3** Auszug aus der Sachbilanz zur Herstellung von Nadel-schnittholz ohne Trocknung, berechnet aus Durchschnittswerten mehrerer Betriebe, Werte bezogen auf 1 m<sup>3</sup> Schnittholz.

INPUT		OUTPUT	
	[kg]		[kg]
<b>Rohstoffe</b>		<b>Produkte</b>	
Masse Rundholz <sub>atro</sub> (1,62 m <sup>3</sup> )	610,7	Masse Schnittholz (1 m <sup>3</sup> bei u = 40%)	377,0
Wasser im Holz (u = 80%)	488,6	Wasser im Holz	150,8
		Sägespäne	83,0
<b>Betriebsstoffe</b>		Rinde	87,5
Hydrauliköl	0,081	Wasser im Restholz (oder verdunstet)	63,2
Motorenöl	0,013		326,5
		<b>Emissionen, gasförmig</b>	
Sonstige Öle	0,181	CO <sub>2</sub>	22,56
Schmierfett	0,005	CO	0,08
Frostschutzmittel	0,001	SO <sub>2</sub>	0,19
Markierfarbe	0,002	NO <sub>x</sub>	0,11
Stahlband	0,116	N <sub>2</sub> O	< 0,01
		<b>Emissionen, flüssig</b>	
		Abwasser	11,300
		Altöl	0,014
<b>Energie, fossil</b>	<b>[MJ (E<sub>äq</sub>)]</b>	<b>Emissionen, fest</b>	
elektrisch	359	Metalle	0,016
thermisch	0	Sonstige Abfälle	0,426
Diesel	57		

### 6.3 Brettschichtholzherstellung

Das Ziel dieser Beispielbilanz ist die Erstellung einer Sachbilanz für die Herstellung von Brettschichtholz (BSH) mit Standardabmessungen.

Der besseren Übersicht wegen wird der Herstellungsprozeß in mehrere Prozessschritte unterteilt, die als Submodule bezeichnet werden. Bei Brettschichtholz sind in der Regel die in Bild 6.3 dargestellten Submodule zu betrachten. Die für einzelne Submodule ermittelten Daten werden zu einer Gesamtbilanz addiert und auf die funktionale Einheit bezogen. Bei der Herstellung von BSH entstehen beträchtliche Mengen von Hobelspänen, die zur eigenen Energieerzeugung verwendet oder verkauft werden (z.B. an Spanplattenhersteller). Bei der Verwendung der Späne zur Energieerzeugung bleiben sie innerhalb des Bilanzraumes. Beachtet werden muß, daß in diesem Fall die verbrannten Späne nicht als Input regenerativer Energieträger bilanziert werden oder, falls dies geschieht, aus der Menge des eingesetzten Schnittholzes herausgerechnet werden müssen.

Werden die Späne als Rohstoff verkauft, wird ihnen ein massenbezogener Teil der In- und Outputs zugerechnet (Allokation), da sie als Kuppelprodukt anzusehen sind (vgl. 5.2). In den Tabellen 6.4 und 6.5 ist ein vereinfachtes Beispiel für eine Sachbilanz der Brettschichtholzherstellung gegeben [18], [21].

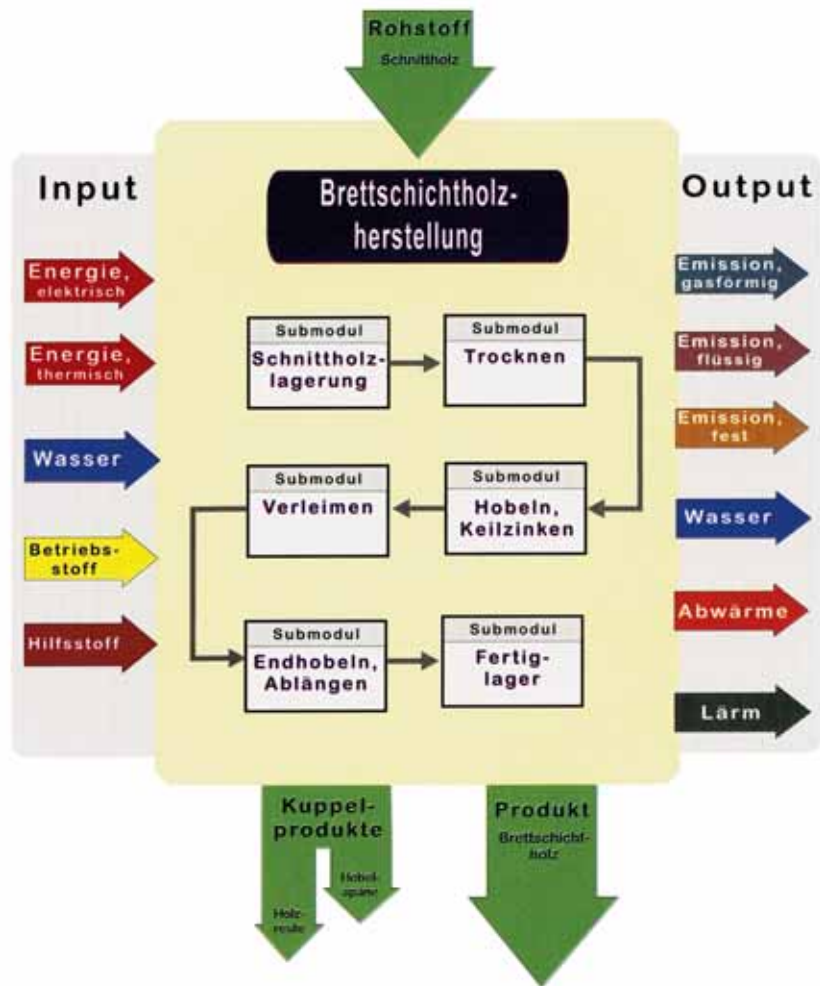


Bild 6.3 Der Bilanzraum des Moduls „Brettschichtholzherstellung“ mit den dazugehörigen Stoff- und Energieflüssen sowie Submodulen

#### Bilanzraum

Die zu erhebenden Daten beziehen sich auf Stoff- und Energieströme, die zur Herstellung des BSH innerhalb des Betriebes notwendig sind. Dabei wird nur das Betriebsgelände als Bilanzraum angesehen. Als zeitliche Abgrenzung empfiehlt es sich, den Zeitraum eines Wirtschaftsjahres zu verwenden. Zur Definition der Ausschlußkriterien vgl. 5.1. Probleme mit der Allokation können auftreten, wenn unterschiedliche BSH-Sortimente (z.B. gebogene Träger, Standardleimholz) im betrachteten Zeitraum hergestellt werden.

#### Funktionale Einheit

Funktionale Einheit ist 1 m<sup>3</sup> Brettschichtholz mit der Feuchte u = 12%.

#### Wesentliche Wirkungskategorien

Für die Brettschichtholzherstellung ist neben dem Ressourcenverbrauch sowie dem Beitrag zum Treibhauseffekt (GWP) auch die Eutrophierung zu betrachten; vor allem bedingt durch den Verbrauch an Energie.

#### Wichtige Inputs für die Bilanzierung der Brettschichtholzherstellung

Die Art und Menge des eingesetzten Schnittholzes muß genau erfaßt werden.

- ➔ Einsatz fossiler Energieträger wie Diesel für den innerbetrieblichen Transport (Stapler, Kräne) und Öl oder Gas zur Beheizung der Hallen oder Trocknung des Schnittholzes.
- ➔ Einsatz regenerativer Energieträger, z.B. Produktionsreststoffe.
- ➔ Verwendung von Wasser in der Produktion, z. B. in der Holz-trocknung, Leimwasser.
- ➔ Erfassung der eingesetzten Betriebsstoffe (z.B. Hydraulik- und Schmieröle).
- ➔ Erfassung der eingesetzten Hilfsstoffe, wie Klebstoffe, Schutzmittel etc.

#### Wichtige Outputs für die Bilanzierung der Brettschichtholzherstellung

Wieviel Brettschichtholz wurde im betrachteten Zeitraum produziert? Welche Kuppelprodukte (Hobelspäne, Sägespäne, Kapfstücke) fielen an? Wie wurden die Kuppelprodukte verwertet?

- ➔ Emittierte Feststoffe (z.B. Stahlbänder, Kunststoffolien, Asche, Staub aus Absauganlagen).
- ➔ Emissionen in flüssiger Form, wie Abwasser, Öle (Kettenöl) etc.
- ➔ Luftemissionen, z.B. aus der werksinternen Energiegewinnung sowie aus Energievorkette, Emissionen der Trocknung.
- ➔ Energieverluste in Form von Abwärme (Trocknung, Hallenbeheizung).
- ➔ Lärmemissionen.

**Tabelle 6.4** Auszug aus der Sachbilanz (Stoffbilanz) zur Herstellung von Brettschichtholz (Träger mit Standardabmessungen) [18]

INPUT in [kg] bezogen auf 1 m <sup>3</sup> BSH		OUTPUT in [kg] bezogen auf 1 m <sup>3</sup> BSH	
<b>Rohstoff</b>		<b>BSH</b>	
Holz [atro]	580,0	Holz [atro]	406,0
Wasser im Holz	231,6	Wasser im Holz	49,5
<b>Betriebs- und Hilfsstoffe</b>		<b>Verpackung</b>	
Metallbänder	0,455	PE-Folie	0,882
Stahlteile	0,001	Stahlband	0,119
Weißblech	0,001	Kantenschutzecken	0,781
		Klebeband	0,230
<b>Holz/Holzflücke</b>		<b>Kuppelprodukte</b>	
Holz	0,016	Holzreste (feucht)	21,5
		Späne (feucht)	188,7
<b>Papier und Karton</b>		<b>feste Emissionen</b>	
Schutzecken	0,078	Metallbänder	0,336
Papier und Karton	0,227	Stahlteile	0,001
		Weißblech	0,001
<b>Kunststoffe</b>		<b>Papier und Karton</b>	
PE-Folie	0,886	Papier und Karton	0,023
Kunststoffteile	0,007		
Klebeband	0,023		
<b>Sonstige</b>		<b>Kunststoffe</b>	
Fette	0,003	Kunststoffteile	0,007
Wachskreide	0,001	PE-Folie	0,004
<b>flüssige Inputs</b>		<b>Sonstige</b>	
Klebstoffe	17,300	Klebstoffreste	0,973
		Fette	0,004
<b>Wasser</b>		<b>flüssige Emissionen</b>	
	89,400	Abwasser	89,400
<b>flüssige Chemikalien</b>		Altöl	0,050
Imprägnierungsmittel	1,430	<b>gasförmige Emissionen</b>	
		Wasserdampf [Holz]	162,300
		flüchtige Klebstoff- bestandteile	0,430
		organ. Lösemittel	0,820
<b>Summe Input</b>	<b>921,2</b>	<b>Summe Output</b>	<b>921,2</b>

**Tabelle 6.5** Auszug aus der Sachbilanz (Energiebilanz) zur Herstellung von Brettschichtholz (Träger mit Standardabmessungen) [18]

INPUT bezogen auf 1 m <sup>3</sup> BSH		OUTPUT bezogen auf 1 m <sup>3</sup> BSH	
<b>elektrische Energie [MJ (E<sub>äq</sub>)]</b>		<b>Emissionen durch Erzeugung von elektrischer Energie</b>	
	<b>1558</b>	CO <sub>2</sub>	62,716
		CO	0,012
		SO <sub>2</sub>	0,312
		NO <sub>x</sub>	0,133
		N <sub>2</sub> O	0,001
		Partikel	0,099
		Methan	0,143
<b>thermische Energie [MJ]</b>		<b>Emissionen H<sub>2</sub>O [kg]</b>	
Trocknung		Chloride	0,263
– fossil	0	Sulfate	0,284
– biogen [Holz]	1610	Ammoniak	0,001
Hallenbeheizung		Fette/Öle	0,004
– fossil	0	Aromate	< 0,001
– biogen [Holz]	1073		
Diesel	34	<b>Abfälle: [kg]</b>	
<b>Summe:</b>	<b>2717</b>	Inertstoffdeponie	6,283
		Reststoffdeponie	0,391
		<b>Emissionen durch Erzeugung von thermischer Energie</b>	
		<b>Emissionen Luft [kg]</b>	
		CO <sub>2</sub> -gesamt	278,402
		aus Holzfeuerung	274,304
		CO	1,665
		SO <sub>2</sub>	0,059
		NO <sub>x</sub>	0,449
		N <sub>2</sub> O	0,001
		CH <sub>4</sub>	0,010
		Asche	3,800

**Tabelle 6.6** Auszug aus der Sachbilanz (Energiebilanz) zur Herstellung von Spanplatten (Durchschnittswerte aus der Befragung von 10 Spanplattenwerken) [22]

## 6.4 Spanplattenherstellung

Die hier am Beispiel der Spanplattenherstellung gemachten Aussagen lassen sich grundsätzlich auch auf die Herstellung anderer Holzwerkstoffe (Faserplatten etc.) übertragen. Das Bilanzziel ist die Erstellung einer Sachbilanz für Spanplattenproduktion. Bei der Datenerhebung für die Sachbilanz Spanplatte müssen einige Besonderheiten berücksichtigt werden. Zum einen die sehr unterschiedlichen Holzfeuchten der Rohstoffe und zum anderen die internen Wertungslinien von Resthölzern einschließlich Schleifstaub.

INPUT bezogen auf 1 m <sup>3</sup> Spanplatten		OUTPUT bezogen auf 1 m <sup>3</sup> Spanplatten	
<b>elektrische Energie [MJ (E<sub>äq</sub>)]</b>	<b>1274</b>	<b>Emissionen aus Nutzung elektrischer und thermischer Energie:</b>	
<b>thermische Energie [MJ]:</b>	<b>1429</b>	<b>Emissionen Luft [kg]</b>	
fossil Gas	178	CO <sub>2</sub> , davon:	191,46
fossil Heizöl	179	– aus Holzverbrennung	102,70
erneuerbar: Holz	1072	– aus fossiler Energie 88,76	
		CO	0,155
		SO <sub>2</sub>	0,068
		NO <sub>x</sub>	0,464
		N <sub>2</sub> O	0,021
		CH <sub>4</sub>	0,001

Bei der Erstellung der Sachbilanz ist es vorteilhaft, den Herstellungsprozeß in einzelne Prozessschritte (Submodule) zu unterteilen und die Stoff- und Energieströme für jedes Submodul einzeln zu ermitteln. Ein mögliches Beispiel für die Gliederung der Spanplattenherstellung ist in Bild 6.4 dargestellt. Allerdings sind die Submodule Energie und Transport nicht dargestellt. Die Daten der einzelnen Submodule müssen anschließend zu einer vollständigen Sachbilanz für die Herstellung von Spanplatten zusammengeführt werden, wie sie z.B. in den Tabellen 6.6 und 6.7 auszugweise dargestellt ist.

### Bilanzraum

Der Bilanzraum ist das Spanplattenwerk. Die Bilanzierung beschränkt sich daher nur auf Stoff- und Energieströme innerhalb des Betriebsgeländes. Am Werkort werden alle Roh-, Hilfs-, Betriebsstoffe und Energieeinsätze (Inputs) sowie die End- und Kuppelprodukte, festen, flüssigen und luftgetragenen Emissionen (Outputs) ermittelt. Vor- und Nachketten werden nicht betrachtet, mit Ausnahme der elektrischen Energie. Die Emissionen sind sowohl eine Folge der Energiebereitstellung (Primäremissionen aus der Bereitstellung der elektrischen Energie) als auch des Herstellungsprozesses (Sekundäremissionen).

### Funktionale Einheit

Die funktionale Einheit ist 1 m<sup>3</sup> Spanplatten (unbeschichtet). Soll eine ökologische Bilanzierung beschichteter Spanplatten erstellt werden, müßte die funktionale Einheit 1 m<sup>3</sup> beschichtete Platten gewählt werden.

### Wichtige Inputs für die Bilanzierung der Spanplattenproduktion

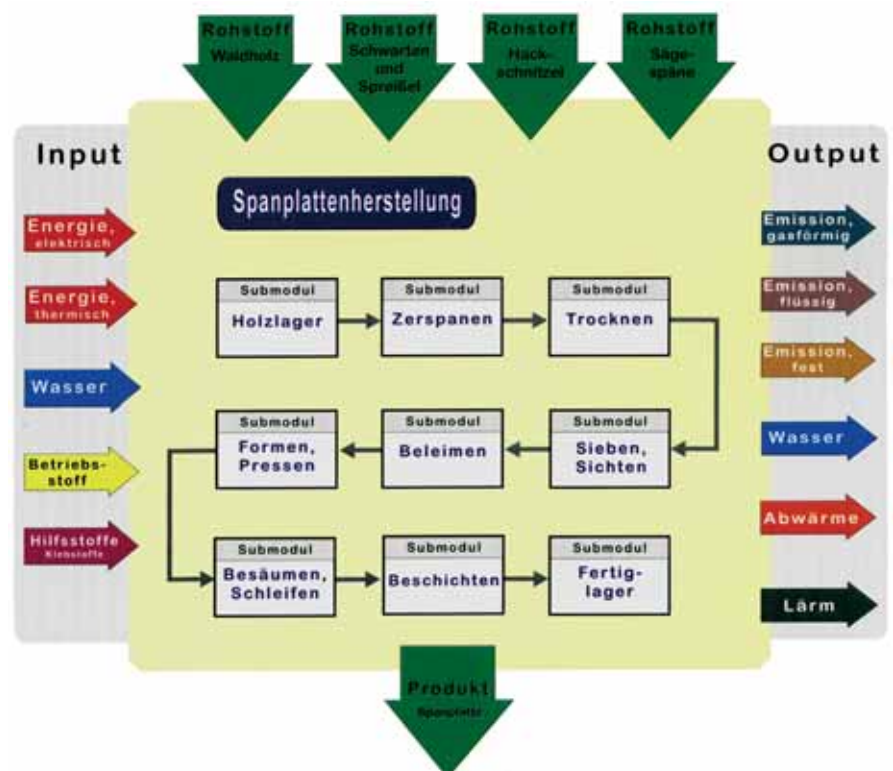
Neben Rundholz werden derzeit überwiegend Sägeresthölzer wie Schwarten und Spreißel, Hackschnitzel und Sägespäne eingesetzt. Diese Hölzer weisen sehr unterschiedliche Wassergehalte auf, die in der Sachbilanz entsprechend zu berücksichtigen sind. Weitere Inputs sind: Energie, Klebstoffe, Hydrophobierungsmittel, Beschichtungsmaterialien, Treibstoffe für Transport, Öle, Werkzeuge, Verpackungsmaterialien etc.

### Wichtige Outputs für die Bilanzierung der Spanplattenproduktion

Neben dem Hauptprodukt Spanplatte fallen im Spanplattenprozeß Kuppelprodukte wie z.B. Ausschußplatten und Besäumränder an, die teilweise dem Herstellungsprozeß wieder zugeführt werden. Ein anderer Teil wird zur Erzeugung von thermischer Energie verwendet. Diese Stoffströme müssen in der Sachbilanz ausgewiesen werden. Daneben treten vor allem Emissionen in die Luft, weniger in Boden und Wasser auf.

**Tabelle 6.7** Auszug aus der Sachbilanz (Stoffbilanz) zur Herstellung von Spanplatten (Durchschnittswerte aus der Befragung von 10 Spanplattenwerken) [22]

INPUT [kg] bezogen auf 1 m <sup>3</sup> Spanplatte		OUTPUT [kg] bezogen auf 1 m <sup>3</sup> Spanplatte	
Rohstoffe	...	Spanplatten [u = 8%]	734
Waldholz [u = 90%]	...	Trockenmasse	680
Sägeresth Holz [u = 60%]	...	Wasser im Produkt	54
Hackschnitzel [u = 100%]	...	<b>Emissionen aus Produktion</b>	
Späne [u = 30%]	...	<b>Feste Emissionen</b>	
Summe [u = 60%]	1285	Sandfraktion	...
<b>Hilfsstoffe [Beimungsfaktor = 10%]</b>		Filtermaterial	...
Harz	...	Metalle	...
Härter	...	Verpackungsmaterial	...
Hydrophobierungsmittel	...	sonst. Output z.B.	...
Formaldehydfänger	...	• Schleifbänder	...
Emulgatoren	...	• Sägeblätter	...
Summe	62	• Elektroschrott	...
<b>Betriebs-/flüssige Hilfsstoffe</b>		<b>Flüssige Emissionen</b>	
Wasser Leimflotte	58	Altöle	...
sonst. Prozeßwasser	30	Fette	...
Wasser, Abluftreinigung	35	Abwasser	88
Öle und Fette	23	<b>Luftgetragene Emissionen</b>	
sonst. Klebstoffe	1	Wasserdampf	430
<b>Betriebs-/feste Hilfsstoffe</b>		Staub/Partikel	...
Metalle	5		
Verpackungsmaterial	2		
sonst. Input z.B.	12		
• Filtermaterial	...		
• Schleifbänder	...		



**Bild 6.4** Der Bilanzraum des Moduls „Spanplattenherstellung“ mit den dazugehörigen Stoff- und Energieströmen und möglichen Submodulen

## 6.5 Furnierherstellung

Die Ökobilanzierung der Furnierherstellung wird hier am Beispiel der Messerfurnierherstellung beschrieben. Das Bilanzziel ist die Erstellung einer Sachbilanz für die Herstellung von Messerfurnieren. Bild 6.5 zeigt eine mögliche Unterteilung der Furnierherstellung in Submodule und typische Inputs und Outputs.

### Bilanzraum

Die räumliche Abgrenzung des Bilanzraumes kann in den meisten Fällen der des Furnierwerkes gleichgesetzt werden. Als zeitliche Abgrenzung empfiehlt es sich, den Zeitraum eines Wirtschaftsjahres zu verwenden. Zur Definition der Ausschlusskriterien vgl. 5.1.

### Funktionale Einheit

Die funktionale Einheit ist 1 m<sup>2</sup> getrocknetes Furnier, beschnitten und paketierte mit einer bestimmten Dicke und mit einem definierten Feuchtegehalt.

### Wichtige Inputs für die Bilanzierung eines Furnierwerkes

Art, Menge und Herkunft der eingesetzten Rundhölzer müssen erfaßt werden.

- ➔ Einsatz fossiler Energieträger einschließlich der Vorketten.
- ➔ Einsatz regenerativer Energieträger, Besonders beachtet werden müssen die zur internen Energieerzeugung eingesetzten Resthölzer, da sie die Bilanzgrenzen nicht überschreiten.
- ➔ Verwendung von Wasser z.B. zum Dämpfen und Kochen.

- ➔ Erfassung der eingesetzten Betriebsstoffe wie Schmieröle usw.
- ➔ Erfassung der eingesetzten Hilfsstoffe wie Schutzanstriche, Verpackungsmittel etc.

### Wichtige Outputs für die Bilanzierung eines Furnierwerkes

Wieviel Furnier wurde im betrachteten Zeitraum produziert? Welche Kuppelprodukte wurden produziert?

- ➔ Emittierte Feststoffe wie Verpackungsreste (z.B. Schnurmaterial, Kunststoffolien), Asche (aus der Energieerzeugung).
- ➔ Emissionen in flüssiger Form, wie Abwasser, Öle (Kettenöl) etc. Von besonderem Interesse sind hier die während des Dämpfens/Kochens ausgewaschene Holzinhaltstoffe und Schutzmittel.
- ➔ Luftemissionen der werksinternen Energiegewinnung und aus der Furniertrocknung.
- ➔ Energieverluste in Form von Abwärme (z.B. bei der Trocknung).
- ➔ Lärmemissionen.

Die Daten für die einzelnen Submodule werden in einer Sachbilanz (vergl. 6.2 bis 6.4) zusammengefaßt.

### Wesentliche Wirkungskategorien

Für die „Furnierherstellung“ ist neben dem Ressourcenverbrauch, getrennt nach fossilen und erneuerbaren Energieträgern, dem Beitrag zum Treibhauseffekt (GWP) auch die

Toxizität zu betrachten (eventuell ausgewaschene Schutzmittel). Besonderes Augenmerk ist auf die Herkunft des Rundholzes hinsichtlich der Waldbewirtschaftung zu richten.

## 6.6 Fensterherstellung

Die vergleichende Bilanzierung von Fensterrahmen-Materialien war eines der ersten Gebiete der Ökobilanzierung im Bereich des Bauwesens. Der Grund dafür ist in dem konkurrierenden Marketing der PVC-, Aluminium-, Holzrahmenhersteller zu sehen, die sich in dem hart umkämpften Markt von einer positiven Ökobilanz gute Argumente für den Verkauf ihrer Fenster versprochen [23], [24], [25]. Das Bilanzziel ist die Erstellung einer Sachbilanz für die Fensterherstellung.

### Bilanzraum

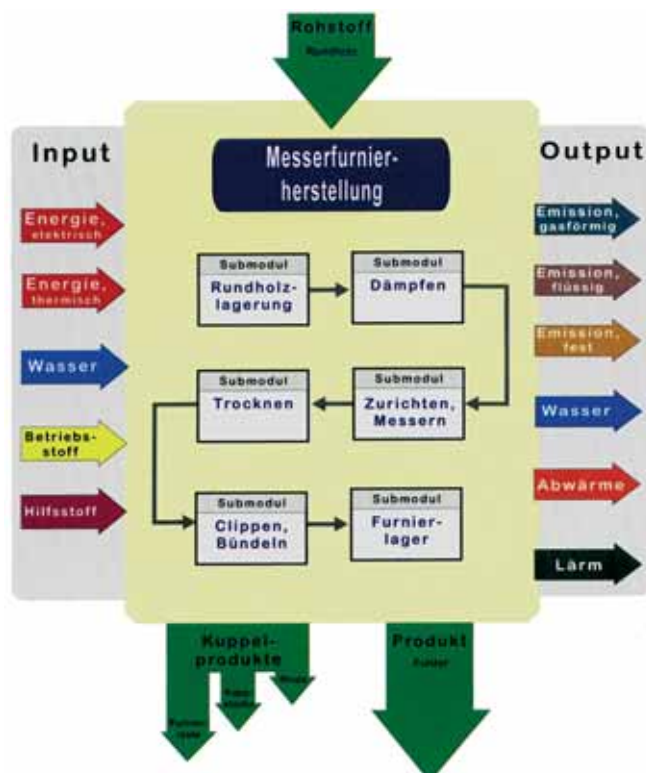
Der Bilanzraum ist das Werk, in dem das Fenster hergestellt wird. Als zeitliche Abgrenzung empfiehlt es sich, den Zeitraum eines Wirtschaftsjahres zu verwenden. Zur Definition der Ausschlusskriterien vgl. 5.1. In vergleichenden Bilanzen für Rahmenmaterialien kann die Herstellung von Glas und Beschlägen ausgeschlossen werden. Glas und Beschläge sind im allgemeinen für alle Fenster gleich, müßten bei einer vollständigen Produkt-Ökobilanz aber auch erfaßt werden.

### Funktionale Einheit

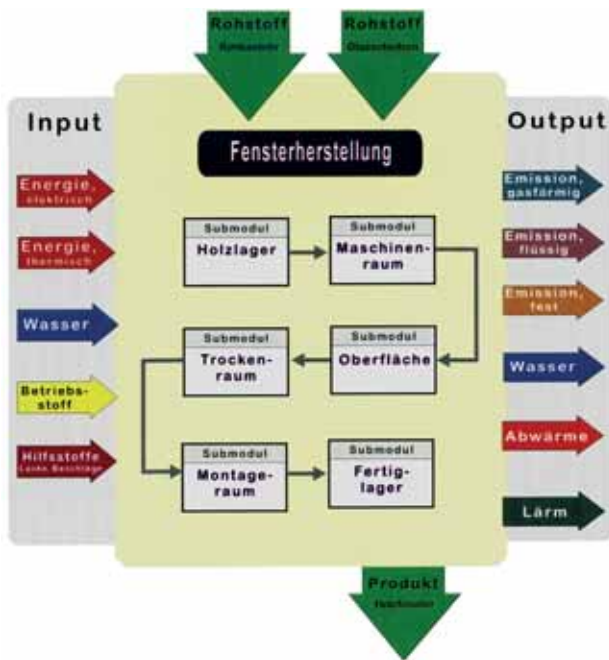
Die Daten werden in diesem Fall auf ein Standardfenster mit den Abmessungen 1,3 m x 1,3 m bezogen. Entsprechend der Fensterkonstruktion kann das verwendete Profilmaß z. B. 68 x 78 mm<sup>2</sup> und das Holzvolumen je Standardfenster dann 0,035 m<sup>3</sup> betragen. Andere Fenster und Rahmenabmessungen sind möglich, aber in jedem Fall anzugeben.

### Submodularer Aufbau

In folgendem Beispiel erfolgt eine Untergliederung des Fertigungsablaufs in 6 Submodule. Die Schnittstellen der einzelnen Submodule sind an prozeßbedingte Übergänge zu legen, so daß die Ermittlung der Daten eine klare Gliederung erfährt. Die Daten der einzelnen Submodule werden dann zu einer Gesamtbilanz aggregiert (Bild 6.6). Aus fertigungstechnischen und räumlichen Gegebenheiten ist es nicht immer sinnvoll, die Submodule 3 und 4 sowie die Submodule 5 und 6 zu trennen. Es ist außerdem darauf zu achten, daß Holzspäne in beträchtlichem Umfang als Kuppelprodukt anfallen. Beim Verkauf (Spanplattenhersteller) ist eine Allokation vorzunehmen, bei interner Verwendung zur Energieerzeugung verlassen sie den Bilanzraum nicht. Auch hier werden aus Gründen der Vereinfachung Vor- und Nachketten mit Ausnahme der elektrischen Energie nicht betrachtet. In der Sachbilanz werden die Stoff- und Energieströme erfaßt.



er Bilanzraum des Moduls „Furnierherstellung“ mit Submodulen



**Bild 6.6** Der Bilanzraum des Moduls „Fensterherstellung“ mit den dazugehörigen Stoff- und Energieflüssen und möglichen Submodulen

**Tabelle 6.8** Auszug aus einer Sachbilanz (Stoffbilanz) zur Herstellung von Holzfenstern (ohne Glas) [18]

INPUT [kg/Fenster]		OUTPUT [kg/Fenster]	
<b>Vollholz-Kanteln</b>	<b>43,5</b>	<b>Fensterrahmen aus Holz (atro)</b>	<b>21,5</b>
Holz [atro]	38,3	Kappstücke, Späne (atro)	22,0
Wasser im Holz	5,2	Wasser im Holz	5,2
<b>Chemikalien/Oberfläche</b>	<b>2,203</b>	<b>Chemikalien/Oberfläche</b>	<b>1,764</b>
Decklack	1,492	Decklack	0,924
Grundlack & Tauchgrund	0,586	Grundlack & Tauchgrund	0,225
Verdünnung	0,125	Verdünnung	0,056
		Lösungsmittel	0,559
<b>Sonstige flüssige Chemik.</b>	<b>0,360</b>	<b>Sonstige flüssige Chemik.</b>	<b>0,123</b>
Nitroverdünnung	0,003	Nitroverdünnung	0,003
Mikrobiozid	0,004	Mikrobiozid	0,004
Entschäumer	0,032	Entschäumer	0,032
Koagolierungsmittel	0,063	Koagolierungsmittel	0,062
Leim und Härter	0,060	Silikonversiegelung	0,020
Silikonversiegelung	0,182		
Spachtelmasse	0,008		
<b>Feste Chemikalien</b>	<b>0,232</b>	<b>Feste Chemikalien</b>	<b>0,034</b>
PVC-Winddichtung	0,205	PVC-Winddichtung	0,007
Kunststoffolien	0,017	Kunststoffolien	0,017
Tauchhandschuhe	0,002	Tauchhandschuhe	0,002
Schleifklötze	0,002	Schleifklötze	0,002
Kunststoffputzlappen	0,005	Kunststoffputzlappen	0,005
Verpackung Spachtelmasse	0,001	Verpackung Spachtelmasse	0,001
<b>Eisenmetalle</b>	<b>2,455</b>	<b>Eisenmetalle</b>	<b>0,119</b>
Beschläge u. Schrauben	2,414	Beschläge u. Schrauben	0,078
Weißblech [Lackgebinde]	0,041	Weißblech [Lackgebinde]	0,041
<b>Aluminium</b>	<b>0,547</b>	<b>Aluminium</b>	<b>0,027</b>
Regenschiene	0,545	Regenschiene	0,025
Verpackung Silikon	0,002	Verpackung Silikon	0,002
<b>Papier/Karton</b>	<b>0,110</b>	<b>Papier/Karton</b>	<b>0,110</b>
Verpackung	0,098	Verpackung	0,098
Verpackung Silikon	0,005	Verpackung Silikon	0,005
Schleifpapier K 60–180	0,007	Schleifpapier K 60–180	0,007
<b>Holzwerkstoffe</b>	<b>1,420</b>	<b>Holzwerkstoffe</b>	<b>1,420</b>
Spanplatte	0,098	Spanplatte	0,098
MDF	0,799	MDF	0,799
Faserhartplatte	0,523	Faserhartplatte	0,523
<b>Wasser</b>	<b>0,308</b>	<b>Wasser</b>	<b>0,308</b>
Tauchverdünnung	0,068	Tauchverdünnung	0,068
Wasserwand	0,240	Wasserwand	0,240

Input Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe sowie elektrische Energie und thermische Energieträger mengenmäßig ermittelt. Auf der Outputseite erfolgt die Ermittlung von Produkten und Kuppelprodukten (z.B. verkaufte Späne) sowie verfahrensbedingten und energiebedingten Emissionen. Die Sachbilanz wird dann nach Stoff- und Energiebilanz getrennt (Tabelle 6.8 und 6.9) dargestellt. In der Stoffbilanz (Tabelle 6.8) sind alle wichtigen Inputs, nach Gruppen gegliedert, aufgeführt. Die Outputs geben die Emissionen (und Abfälle) an, die nicht mit dem Fenster den Betrieb verlassen (Ausnahme: Fensterrahmen aus Holz).

### 6.7 Möbelherstellung

Das Bilanzziel ist die Erstellung einer Sachbilanz für Möbelstücke. Die dafür erhobenen Daten werden auf ein bestimmtes und eindeutig beschriebenes Möbelstück bezogen. Dieses kann ein durchschnittliches oder auch einzeln definiertes Möbelstück sein.

#### Bilanzraum

Der Bilanzraum ist das Betriebsgelände des Möbelherstellers. Die Inputseite enthält alle Stoff- und Energieeinsätze, die zur Herstellung des Möbelstücks notwendig sind. Die Outputseite ist gekennzeichnet durch Produkt, Kuppelprodukte und alle festen, flüssigen und gasförmigen Emissionen, die den Bilanzraum verlassen.

Die für die Sachbilanz erhobenen Daten innerhalb eines Bilanzzeitraums, z.B. ein Jahr, sollen so aufbereitet werden, daß sie das Ergebnis, bezogen auf das Produkt (z. B. Tisch oder Schrank), wiedergeben. In der Regel erzeugt ein Möbelhersteller mehrere Möbeltypen. Dieser Tatsache muß bei der Aufstellung einer Sachbilanz durch geeignete Allokation (vgl 5.2) Rechnung getragen werden. Bei der Datenerhebung für einen einzelnen Möbeltyp ist darauf zu achten, daß eine genaue Abgrenzung der Daten für die Stoff- und Energieflüsse erfolgt.

#### Ausschlusskriterien

In diesem Beispiel sind Daten für folgende Bereiche nicht zu erheben:

- Anlagegüter (Maschinen und Gebäude)
- Außergewöhnliche Aufwendungen, z.B. Reparaturen nach Unfällen
- Aufwendungen für den Verwaltungsbe- reich
- Daten für die Infrastruktur, z.B. Wege und Straßen

#### Submodularer Aufbau

Da ein Möbelstück in aller Regel aus ver- schiedenen Einzelkomponenten zusam- mengesetzt wird, ist eine Gesamtbetrach-

Tabelle 6.9 Auszug aus einer Sachbilanz (Energiebilanz) zur Herstellung von Holzfenstern (ohne Glas) [18]

INPUT [kg/Fenster]		OUTPUT [kg/Fenster]	
elektrische Energie [MJ(E <sub>ää</sub> )]	317,55	Emissionen [kg] durch Erzeugung von elektrischer und thermischer Energie	
thermische Energie [MJ]:		CO <sub>2</sub>	45,410
– fossil [Gas]	34,09	davon:	
– biogen [Holz]	336,13	– aus Holzverbrennung	30,134
– Diesel	1,30	– aus fossilen Energieträgern	15,276
		CO	0,302
		SO <sub>2</sub>	0,078
		NO <sub>x</sub>	0,087
		N <sub>2</sub> O	0,034
		Partikel	0,062

tion des Lebensweges nur mit einer umfangreichen Datenbank möglich. In diesem Beispiel bezieht sich der Bilanzraum, wie oben beschrieben, nur auf die eigentliche Herstellung der Möbelstücke, so daß die Einzelkomponenten ohne ihre Vorketten in die Sachbilanz eingehen.

Bei der Erhebung der Sachbilanzdaten ist es von Vorteil, wenn der Herstellungsprozeß in einzelne Submodule unterteilt wird, weil da-

durch eine leichtere Ermittlung der Daten ermöglicht wird. Die Schnittstellen für die einzelnen Submodule sollten so festgelegt werden, daß sie dem Produktionsprozeß angepaßt sind. Im allgemeinen eignen sich für Schnittstellen Übergabestationen oder Pufferlager. Ein Beispiel für die submodulare Betrachtung einer Kastenmöbelfertigung auf der Grundlage von beschichteten Spanplatten könnte aussehen wie in Bild 6.7 dargestellt.

## 6.8 Papierherstellung

Die Zellstoff- und Papierproduktion ist seit langem in der ökologischen Diskussion. Die Erarbeitung von Sachbilanzen für unterschiedliche Papiersorten sind die Grundlage für deren ökologische Bewertung. Bild 6.8 zeigt das Beispiel der Produktion grafischer Papiere und die wichtigsten Stoff- und Energieflüsse sowie die wichtigsten Submodule der Herstellung.

### Bilanzraum






Der Bilanzraum kann der einzelne Produktionsstandort sein. Für eine vollständige Lebenswegbilanz sind natürlich die Vor- und Nachketten einzubeziehen.

### Funktionale Einheit

Die funktionale Einheit kann beispielsweise 1 kg Papier mit einer definierten flächenbezogenen Masse und definierter Feuchte sein.

### Wichtige Inputs für die Bilanzierung der Papierherstellung

In grafischen Papieren kommen die unterschiedlichsten Rohstoffe zum Einsatz. Neben Waldholz zur Erzeugung von Holzstoff wird auch Altpapier und Zellstoff (meist Sulfat) eingesetzt. Für die Betrachtung der Produkt-Ökobilanz ist gerade bei der Papierherstellung besonders auf die Herkunft der Rohstoffe und der damit verbundenen Vorketten zu achten.

-  Einsatz fossiler Energieträger einschließlich der Vorketten.
-  Einsatz regenerativer Energieträger einschließlich der Vorketten.
-  Verwendung von Wasser in der Produktion.
-  Erfassung der eingesetzten Betriebsstoffe.
-  Erfassung der eingesetzten Hilfsstoffe.

Zu Herstellung von grafischem Papier wird eine Vielzahl der unterschiedlichsten Hilfsstoffe eingesetzt, wie beispielsweise:

- Kaolin,
- Füllstoffe,
- Retentionsmittel,
- Dispergiemittel,
- Bindemittel,
- Farbstoffe,
- usw.

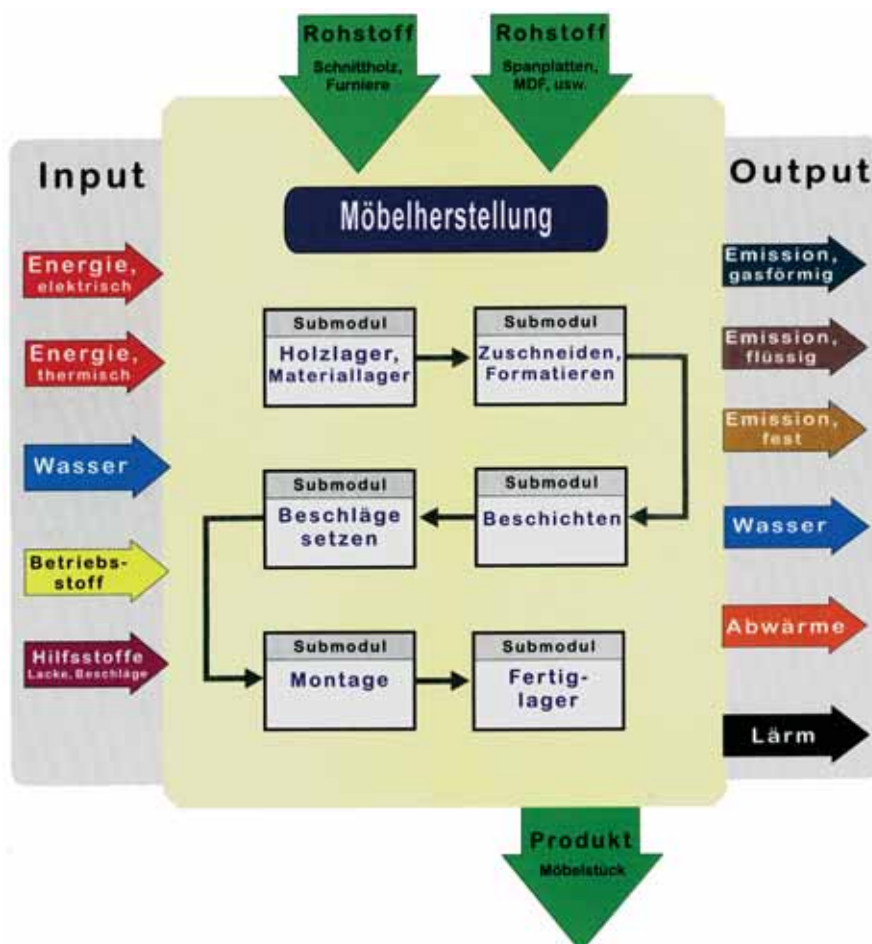


Bild 6.7 Beispiel für den Bilanzraum des Moduls „Möbelherstellung“ mit Submodulen, einschließlich der dazu gehörenden Stoff- und Energieflüsse

Teilweise werden diese Hilfsstoffe in sehr geringen Mengen eingesetzt. In jedem Einzelfall muß geprüft werden, ob der Hilfsstoff in die Bilanz aufgenommen werden muß oder nicht.

**Wichtige Outputs für die Bilanzierung der Papierherstellung**

Wieviel Papier in welchen Sorten, Flächen- gewichten usw. wurde im betrachteten Zeit- raum produziert? Dies ist wichtig für eventuel- le erforderliche Allokationen.

- ➔ Emittierte Feststoffe, wie Verpack- kungsreste, Asche usw.
- ➔ Emissionen in flüssiger Form, wie Ab- wasser und deren Bestandteile. Hier liegt ein wichtiger Aspekt für die Öko- bilanz von Papier.
- ➔ Luftemissionen der werksinternen Energiegewinnung und der Papier- herstellung bzw. -Veredelung.
- ➔ Energieverluste z.B. in Form von Ab- wärme (z.B. bei der Trocknung).

**7 Beispiele zur Wirkungs- abschätzung**

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Sach- bilanz, die im Idealfall alle umweltrelevanten Daten zum gesamten Produktlebensweg enthält, kommt man zur Wirkungsabschät- zung (vgl. 5.3). Derzeit werden die unter- schiedlichsten Methoden entwickelt und angewendet, um Umweltwirkungen zu be- schreiben, zu klassifizieren und zu gewich- ten. Ein einheitliches, allgemein akzeptiertes Bewertungsmodell von ökologischen Aspekten gibt es derzeit nicht und wird es ver- mutlich auch in Zukunft nicht geben. Dazu sind die subjektiven Bewertungsansätze zu unterschiedlich. In Tabelle 7.1 sind einige Umwelteffekte und deren mögliche Ur- sachen zusammengestellt. Diese Ursachen von Wirkungen dienen auch als Grundlage zur Klassifizierung von Umwelteinflüssen nach Wirkungskategorien, wie sie in ISO CD 14042 genannt werden. Mögliche Wirkungs- kategorien für Ökobilanzen Holz sind:

- Ressourcenbeanspruchung
- globale Erwärmung
- stratosphärischer Ozonabbau
- Versauerung
- Eutrophierung
- photochemische Oxidantienbildung
- Humantoxizität/Ökotoxizität
- Flächennutzung

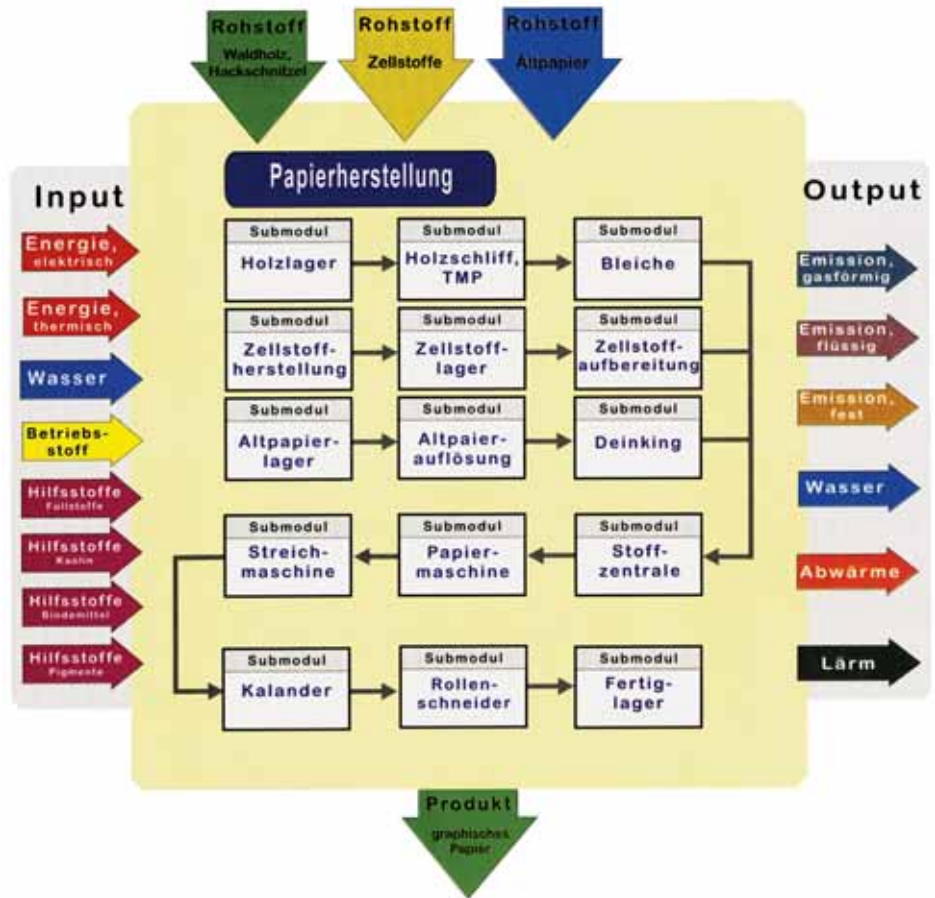


Bild 6.8 Beispiel für den Bilanzraum „Papierherstellung“ mit submodularer Gliederung und wichtigen Inputs und Outputs

Tabelle 7.1 Umwelteffekte und deren Ursachen, die im Rahmen der Wirkungsabschätzung eine Bedeutung haben (nach [11])

Umwelteffekte	Ursachen
Klimaeffekte	Treibhauseffekt, Ozonabbau
Wald- und Vegetationsschäden	Versauerung, Ozonbindung
Atemluftqualität	Lokale/regionale Schadstoffemissionen/ -immissionen, Ozonbindung, Smogbildung
Innenraumluftqualität	Ausgasungen aus Produkten, Arbeitsplatzbelastungen
Nahrungskette	toxische Stoffe [z.B. Dioxine], Anreicherungen
Gewässerqualität/Meeresschutz	Eutrophierung, Versauerungen, toxische Stoffe
Boden- und Grundwasserqualität	Chemikalieneintrag, Versauerung
Ressourcenbeanspruchung	Rohstoff knappheit, einschl. Energieträger, Wasserverbrauch, Energieverbrauch
Auswirkungen auf kreislaufwirtschaftliche Zielsetzungen	zu entsorgende Abfall- und Sonderabfallmengen, Recyclingqualität
Landschafts-, Natur- und Artenschutz	Deponieraumbelegung, Artenvielfalt
Belästigungen	Geräuschemissionen, Gerüche

Es ist allerdings äußerst aufwendig, zur Erstellung einer Ökobilanz alle Umwelteffekte zu erfassen. Deshalb wird man bemüht sein, die Zahl der Wirkungskategorien auf das notwendige Maß zu beschränken, um damit die wirklich wichtigen Umwelteffekte zu erfassen. Nachfolgend werden die derzeit im Zusammenhang mit der Holzverwendung stehenden und für wichtig erachteten Wirkungskategorien erläutert.

### Beanspruchung von Ressourcen

Nicht erneuerbare Ressourcen wie mineralische Stoffe, Metalle, Erdöl, Erdgas und Kohle müssen so sparsam und effizient wie möglich genutzt werden. Als Wertstoffe sind sie so lange und oft wie möglich zu nutzen (Recycling), wobei absolut geschlossene Kreisläufe unmöglich sind. Als Energieträger sind sie, der langfristigen Vorsorge wegen, soweit wie möglich zu schonen.

Erneuerbare Ressourcen wie Holz, andere Biomassen, Wind- und Wasserkraft stehen ebenfalls nicht uneingeschränkt zur Verfügung, sie müssen nachhaltig genutzt werden. Eine Bewirtschaftung nachwachsender Rohstoffe in künstlichen Kreisläufen (z.B. Altpapierrecycling) ist hinsichtlich der Ressourcenbeanspruchung jedoch zu hinterfragen.

Die Beanspruchung des Naturraumes nimmt in der Kategorie Ressourcenbeanspruchung eine Sonderstellung ein. Die Bewertung von Größe, Qualität und Veränderung der in Anspruch genommenen Fläche wird derzeit intensiv diskutiert, wobei negative Aspekte im Vordergrund stehen und positive Aspekte kaum berücksichtigt werden. Die Waldbewirtschaftung kann sich auf die Qualität einer Fläche sowohl negativ (Umwandlung von Primärwald in Plantagen) als auch positiv (Aufforstung devastierter Standorte) auswirken. Die Forstwirtschaft in Deutschland liegt zwischen diesen Extremen. Für die Wirkungsabschätzung der Waldbewirtschaftung müssen neue, meßbare Kriterien gefunden werden.

Bei der Betrachtung der nicht erneuerbaren Ressourcen kann das Verhältnis der Reserven zum Verbrauch als Grundlage zur Bewertung einer Ökobilanz dienen (Beispiele in Tab. 7.2). Je kleiner dieses Verhältnis wird, umso kritischer ist der jeweilige Stoffverbrauch zu betrachten.

#### Beispiel: Ressourcenverfügbarkeit

Tabelle 7.2 gibt die Anzahl von Jahren an, in denen die Ressource nach derzeitigem Kenntnisstand verfügbar sein wird. Zur Einbeziehung in eine Ökobilanz könnte man z. B. folgende Klassifizierung aufstellen:

##### 1: KRITISCH

Ressource ist weniger als 50 Jahre verfügbar.  
Maßnahme: sofort nach Alternativen suchen.

##### 2: UNGÜNSTIG

Ressource ist noch 150 Jahre verfügbar.  
Maßnahme: nach Alternativen suchen.

##### 3: GÜNSTIG

Ressource ist unter Einhaltung bestimmter Maßnahmen permanent verfügbar.  
Maßnahme: nach Recyclingmöglichkeiten suchen.

##### 4: SEHR GÜNSTIG

Es handelt sich um eine erneuerbare Ressource.  
Maßnahme: nachhaltige Bewirtschaftungssysteme sicherstellen.

### Treibhauseffekt

In der Kategorie Treibhauseffekt (Global Warming Potential, GWP) wird der Beitrag derjenigen emittierten Gase ermittelt, die zum anthropogen verursachten Treibhauseffekt beitragen. Bezugsgröße für die Ermittlung der Treibhauspotentiale der Einzelgase ist das Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), das den Ver-

gleichswert 1 erhält. Da die Lebensdauer der Gase in der Atmosphäre mit in die Berechnung einfließt, muß der betrachtete Zeitraum angegeben werden. Das GWP ist die Summe der GWP für die Einzelgase. In Tabelle 7.3 sind die wichtigsten Treibhauspotentiale für den Zeithorizont 100 Jahre angegeben.

**Tabelle 7.3** Treibhauspotentiale (GWP), angegeben als CO<sub>2</sub>-Äquivalente; Zeithorizont 100 Jahre (nach [26])

Verbindung	GWP (100)
CO <sub>2</sub>	1
CO	3
CH <sub>4</sub>	24,5
N <sub>2</sub> O	320
NO <sub>x</sub>	7
FCKWs	3970–5750

Die durch energetische Nutzung von Holz emittierte Menge an CO<sub>2</sub> ist getrennt von den CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Energieträgern anzugeben, da sie wegen des Kohlenstoffkreislaufes bei der Berechnung des GWP nicht zu berücksichtigen ist.

#### Beispiel: Treibhauspotential

Berechnung des Treibhauspotentials (GWP 100) für die Herstellung von Spanplatten (1 m<sup>3</sup>, u = 8%, vgl. 6.4);

Verbindung	GWP (100)	emittierte Menge [kg]	W <sub>P</sub>
CO <sub>2</sub>	1	88,760	88,760
CO	3	0,155	0,465
CH <sub>4</sub>	24,5	0,001	0,025
N <sub>2</sub> O	320	0,021	6,720
NO <sub>x</sub>	7	0,464	3,248
<b>Gesamt-GWP</b>			<b>99,209</b>

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Spanplattenherstellung durch den Energieeinsatz in Höhe von 191 kg/m<sup>3</sup> Spanplatte (vgl. 6.4) sind relativ gering im Vergleich zu den 1280 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent, die durch Spanplatten (nur der Holzanteil) der Atmosphäre entzogen sind. Dazu kommt, daß etwa 60% der zur Spanplattenherstellung benötigten Energie aus Holzreststoffen und damit CO<sub>2</sub>-neutral bereitgestellt werden.

**Tabelle 7.2** Vorhandene Reserven und Ressourcenverbrauch am Beispiel von Energieträgern, (nach [26])

Energieträger	Vorhandene Reserven [Mio t]	Jährlicher Verbrauch [Mio t]	Reichweite [Jahre]
Erdöl	142132480	3172600	45
Erdgas	122519720	1 780 000	69
Braunkohle	150040	1 240	121
Steinkohle	528 003 000	3 451 000	166
Holz aus nachhaltiger Waldwirtschaft	permanent verfügbar	jährlicher Zuwachs	∞

### Beispiel: Substitutionspotential

Bei der Herstellung von Brettschichtholz werden alle bei der Produktion anfallenden Resthölzer energetisch verwertet (Wirkungsgrad der Energieanlagene (KWK) 82% bezogen auf den Energieinhalt). Zur Herstellung von 1 m<sup>3</sup> Brettschichtholz werden 2,48 m<sup>3</sup> Fichtestammholz eingesetzt.

Energieverbrauch	Energie [MJ (E <sub>äq</sub> )]
Forstliche Produktion	306
Rundholztransport (50 km)	200
Schnittholzerstellung	360
Transport (600 km, 50% LKW-Auslastung)	2400
Brettschichtholzerstellung	4275
inkl. Schnittholztrocknung	
<b>Summe:</b>	<b>7541</b>
<b>Energieerzeugung</b>	
Nutzung der Resthölzer	
elektrische Energie	2154
thermische Energie	6678
<b>Energieüberschuß:</b>	<b>1291</b>

Die Herstellung von Brettschichtholz verbraucht somit insgesamt weniger Energie als aus den Resthölzern genutzt werden kann. Die Rechnung berücksichtigt noch nicht den Energieinhalt des Brettschichtholzes selbst (BSH<sub>atro</sub> = 8299 MJ), der nach Ende der Nutzung zur Verfügung steht.

### Versauerung

Auslöser der Versauerung sind Emissionen wie Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickoxide (NO<sub>x</sub>) oder Ammoniak (NH<sub>3</sub>), die u.a. bei der Verbrennung fossiler Energieträger freigesetzt und in der Atmosphäre oxidiert werden und dann Säuren (Schwefelsäure, Salpetersäure) im Niederschlag bilden. Den gasförmigen Emissionen wird ein Versauerungspotential (Tabelle 7.4) zugerechnet, wobei SO<sub>2</sub> als Bezugsgröße dient.

**Tabelle 7.4** Einige Versauerungspotentiale (AP), angegeben als SO<sub>2</sub>-Äquivalent (nach [26])

Verbindung	AP
SO <sub>2</sub>	1,00
SO <sub>x</sub>	1,00
NO <sub>x</sub>	0,70
NO	1,07
H <sub>2</sub> S	1,88
HF	1,60
HCl	0,88
NH <sub>3</sub>	1,88

## 8 Aussagekraft von Ökobilanzen

Die bisher erarbeiteten Ökobilanzen und Studien, die sich mit der ökologischen Bewertung von Produkten befassen, unterscheiden sich hinsichtlich der Ziele und der Methoden erheblich und sind daher in der Regel nicht miteinander vergleichbar. Um aussagefähige, nachvollziehbare und vergleichbare Ökobilanzen erstellen zu können, bedarf es einer einheitlichen Methodik (vgl. 3 und 5).

Die Aussagekraft einer Ökobilanz steht und fällt daher mit der Beachtung und Verifizierung der wesentlichen Schritte einer Bilanzierung nach ISO 14040 bis 14043.

Dazu müssen zunächst die Zieldefinition, die funktionale Einheit, der Bilanzraum und damit auch die Ausschluß- und Abschneidekriterien im einzelnen sinnvoll festgelegt und abgestimmt werden. Es ist wichtig, die in diesem Zusammenhang getroffenen Annahmen und Entscheidungen ausführlich zu dokumentieren und zu kommentieren, weil nur damit der Nutzer der Ökobilanz eine klare Bewertung und Einschätzung vornehmen kann.

Bezüglich der Sachbilanz sind die Module und Submodule möglichst praxisnah zu wählen, damit sinnvolle Schnittstellen entstehen, die die Zuordnung zur funktionalen Einheit sowie die Allokation ermöglichen. Ein wesentlicher Punkt ist die Qualität und Vollständigkeit der Daten. Unabhängig davon, ob sie gemessen, berechnet oder geschätzt sind, müssen sie nachvollziehbar dokumentiert und Datenlücken kenntlich gemacht werden.

Bei der Wirkungsabschätzung kommt es vor allem darauf an, die relevanten Wirkungskategorien zu verwenden.

Die Ergebnisse einer Studie sind insbesondere dann besonders kritisch zu prüfen, wenn ein Vergleich mit anderen Studien oder von verschiedenen Materialien erfolgt. Obwohl jede Studie, ob Betriebs- oder Produktökobilanz ihre Aussagekraft hat, wenn die methodischen Parameter möglichst gründlich und zielkonform festgelegt wurden, sind direkte Vergleiche zwischen einzelnen Bilanzierungen häufig schwierig oder problematisch. Ausführliche Erläuterungen dazu finden sich in [27].

## 9 Leitfaden Betriebsökobilanz

Die folgenden Fragen bilden einen Leitfaden zur Erarbeitung einer Ökobilanz. In der Planungsphase soll er dazu dienen, den Aufwand und den notwendigen Arbeitsumfang abzuschätzen. Für die Erarbeitung liefert er Hinweise zur richtigen Methode, dem Ablauf, der Vollständigkeit und der Nachvollziehbarkeit der Ökobilanz. Nach der Erarbeitung kann er als Checkliste zur Überprüfung dienen, ob alle wichtigen Punkte zur Erstellung einer Betriebsökobilanz erfüllt wurden.

### [1] Allgemeines

- Wer ist der Auftraggeber der Ökobilanz?
- Wer ist der Bearbeiter der Ökobilanz?
- Welche Methoden und Normen werden verwendet?

### [2] Zieldefinition

- Warum soll die Ökobilanz erstellt werden?
- Was ist das Ziel? Innerbetrieblich oder überbetrieblich?
- Wer ist die Zielgruppe der Ökobilanz?
- Soll die Ökobilanz veröffentlicht werden?

### [3] Festlegung des Untersuchungsrahmens

- Wie ist der Bilanzraum festzulegen?
- Was ist die funktionale Einheit?
- Wie ist der Bilanzraum räumlich begrenzt?
- Wie ist der Bilanzraum zeitlich begrenzt?
- Welche Abschneidekriterien werden definiert?
- Welche Vor- und Nachketten werden in die Bilanz einbezogen, welche werden abgeschnitten?
- Welche sonstigen Annahmen wurden getroffen?

#### [4] Sachbilanz

- Welche Submodule sind zu bilden?
- Wie sind die Schnittstellen zwischen den Submodulen definiert?
- Welche Rohstoffe werden eingesetzt?
- Werden Sekundärrohstoffe (Recyclingstoffe) eingesetzt?
- Welche Produkte werden produziert (einschließlich der Neben- und Kuppelprodukte)?
- Welche Energieträger werden eingesetzt? Handelt es sich um fossile oder erneuerbare Energieträger?
- Welche Hilfs- und Betriebsstoffe sind notwendig?
- Werden Gefahrstoffe eingesetzt?
- Welche Emissionen (fest, flüssig, gasförmig) müssen erfaßt werden?
- Welche Qualität haben die erhobenen Daten?
- Sind Datenlücken vorhanden?
- Welche Allokationsverfahren werden angewendet?
- Werden Feststoffe intern zur Energieerzeugung eingesetzt?

#### [5] Wirkungsabschätzung

- Welche Wirkungskategorien sind relevant?
- Wie werden die Sachbilanzdaten den Wirkungskategorien zugeordnet?
- Wie werden die charakteristischen Wirkungspotentiale ermittelt?
- Wie werden die einzelnen Wirkungskategorien gewichtet?

#### [6] Auswertung

- Ausführliche Analyse der Ergebnisse unter Beachtung der Zieldefinition.
- Ist die Ökobilanz kritisch (intern/extern) überprüft?

#### 10 Literatur

- [1] Schmidt, M.; Häuslein, A. (1997): Ökobilanzierung mit Computerunterstützung. Berlin: Springer Verlag: 232 S.
- [2] Europäische Gemeinschaften (1993): Verordnung (EWG) Nr. 1836/93 des Rates vom 29.06.1993. Brüssel: Amtsblatt der EG Nr. L 168/1–18.
- [3] Lauff, R. (1993): Das Umwelt-Audit in der betrieblichen Praxis. Bundesanzeiger, Köln.
- [4] Tourbier, P. (1995): Öko-Audit-Verordnung. Handbuch für innerbetriebliche Organisation. Storck Verlag: 663 S.
- [5] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (1995): Handbuch Umweltcontrolling. München: Vahlen Verlag.
- [6] Society of Environmental Toxicology and Chemistry (1993): Guidelines for Life-Cycle-Assessment: A Code Of Practise. Brüssel: SETAC Europe.
- [7] Projektgemeinschaft Lebenswegbilanzen (1992): Methode für Lebenswegbilanzen von Verpackungssystemen. München, Wiesbaden, Heidelberg.
- [8] Baier (1982): Energetische Bewertung luftgetragener Membranhallen im Vergleich mit Holz-, Stahl- und Stahlbetonhallen. Verlagsgesellschaft Müller.
- [9] Adebahr, S. (1995): Stoff- und Energiebilanzen für Konstruktionsholz. Diplomarbeit an der Universität Hamburg, Fachbereich Biologie.
- [10] IKP (1996): Methodenvorschlag des IKP zur Allokation. Schriftliche Mitteilung von Kreissig, J.
- [11] Umweltbundesamt (Hrsg.) (1995): Methodik der produktbezogenen Ökobilanzen. Wirkungsbilanz und Bewertung. Berlin: UBA-Texte 23/95.
- [12] Fengel, D.; Wegener, G. (1984): Wood-Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Berlin: Walter de Gruyter Verlag: 613 S.
- [13] Zimmer, B.; Wegener, G. (1996): Stoff- und Energieflüsse vom Forst zum Sägewerk. Holz als Roh- und Werkst. 54, 4: 217–223.
- [14] Thoroë, C.; Schweinle, J. (1996): Analyse und Bewertung der forstlichen Produktion als Grundlage für weiterführende forst- und holzwirtschaftliche Analysen. Abschlußbericht DGfH/FAF, München/Bonn: 96 S.
- [15] Schweinle, J.; Thoroë, C. (1997): Zur Ökobilanzierung der Rohholzproduktion in Deutschland. Forstarchiv, 52, 5: 110–116.
- [16] Frühwald, A.; Wegener, G.; Krüger, S.; Beudert, M. (1994): Holz – ein Rohstoff der Zukunft, nachhaltig verfügbar und umweltgerecht. Informationsdienst Holz. München: DGfH (Hrsg.).
- [17] Ressel, J. (1985): Energieanalyse der Holzindustrie der Bundesrepublik Deutschland. Forschungsbericht der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg, 161 S.
- [18] Frühwald, A.; Wegener, G.; Scharai-Rad, M.; Zimmer, B.; Hasch, J. (1996): Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft. Abschlußbericht DGfH/FAF, München/Bonn: 168 S.
- [19] IÖW (1991): Ökobilanz Sägewerk Steiner. Pilotprojekt in der Sägeindustrie. Wien: Schriftenreihe des IÖW 5: 66 S.
- [20] Scharai-Rad, R. (1996): Erarbeitung von Grundlagen für den Vergleich verschiedener Verfahren der Schnittholztrocknung unter Umweltgesichtspunkten. Diplomarbeit an der Universität Hamburg, Fachbereich Biologie.
- [21] Ristl, (1996): Erstellung einer Sachbilanz von Brettschichtholz als Grundlage für eine Ökobilanzierung. Diplomarbeit an der Universität Hamburg, Fachbereich Biologie.
- [22] Wegener, G., Frühwald, A., Beudert, M., Dreiner, K., Scharai-Rad, M., (1994): Bewertung von Holz im Vergleich mit anderen Werkstoffen unter dem Aspekt der CXVBilanz; Abschlußbericht DGfH/FAF, München/Bonn: 108 S.
- [23] Richter, K.; Künninger, T; Brunner, K. (1996): Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen verschiedener Rahmenmaterialien (ohne Verglasung). EMPA-SZFF-Forschungsbericht; 119 S.
- [24] Katalyse (1992): Ökologische Materialbewertung von Fenstern, Köln: Katalyse.
- [25] Novak, E. (1994): Ökologische Betrachtung der Fensterwerkstoffe Kunststoff, Aluminium, Holz. Bericht des österreichischen Forschungsinstitutes für Chemie und Technik.
- [26] Eyerer, P. (Hrsg.) (1996): Ganzheitliche Bilanzierung – Werkzeug zum Planen und Wirtschaften in Kreisläufen. Berlin: Springer Verlag. 692 S.
- [27] Frühwald, A.; Wegener, G.; Hasch, J.; Zimmer, B.; Scharai-Rad, M.; (1996): Querschnittsanalyse zur Ökobilanzierung von Holzprodukten in Deutschland, Europa, USA und Kanada. Abschlußbericht DGfH/FAF, München/Bonn.

## Begriffe aus der Ökobilanzierung Forst und Holz

### Abfall

Jeder Output eines Produktsystems der entsorgt werden muß.

### Allokation

Methode zur Verteilung bzw. Zuweisung der Stoff- und Energieflüsse oder Umweltwirkungen auf z. B. die Haupt- und Nebenprodukte eines Produktionsprozesses.

### Altholz

Holz, das bereits einmal in einem Produkt verarbeitet und in Gebrauch war.

### Anthropogen

Durch den Menschen verursacht.

### Betriebsstoffe

Stoffe, die für den Ablauf eines Produktionsprozesses gebraucht werden, ohne selbst in das Produkt einzufließen. (z. B. Schmierstoffe, Hydrauliköl).

### Biodiversität

Die biologische Vielfalt der Erde, die sich in der Anzahl und Vielfalt der Pflanzen- und Tierarten mit ihren unzähligen Formen, Größen, Farben, Verhalten und Anpassungsstrategien widerspiegelt.

### DIN

Deutsches Institut für Normung, erarbeitet die in Deutschland gültigen DIN-Normen.

### Energieholz

Holz zur Energieerzeugung, unabhängig von seiner Zustandsform (Hackschnitzel, Späne, Scheite u. ä.).

### Energieinhalt

Die Menge nutzbarer Energie, die durch Umwandlung von Energieträgern (Kohle, Erdöl, Holz etc.) gewonnen werden kann. † Heizwert.

### Eutrophierung

Anreicherung von Standorten mit Nährstoffen. Führt zu einer Veränderung dieser Standorte und damit zu einer Veränderung der Lebensgemeinschaften.

### Funktionale Einheit

Wichtige Größe in allen Ökobilanzen. Sie kennzeichnet Funktion und Leistungsfähigkeit eines Produktes. Auf sie werden alle Daten bezogen. z. B. 1 m<sup>3</sup> Schnittholz, ein Fenster usw.

### GWP

Global Warming Potential, engl. Begriff für † Treibhauseffekt.

### Heizwert, unterer (H<sub>u</sub>)

† Energieinhalt eines Energieträgers der nutzbar gemacht werden kann.

### Hilfsstoffe

Stoffe, die im Laufe des Produktionsprozesses in das Produkt einfließen ohne wesentlicher Bestandteil des Produktes zu sein. Sie haben Hilfsfunktion (z. B. Dünger, Klebstoffe, Lacke).

### Holz<sub>(trock)</sub>

Holz mit der Holzfeuchte 0%; absolut trocken.

### Industrieholz

Rundholz kleinerer Durchmesser (>7cm), wie es üblicherweise in der Zellstoff-, Papier- und der Holzwerkstoffindustrie eingesetzt wird. Es wird als Industrieholz kurz (1, 2, oder 3 m) oder lang (Baumlänge) gehandelt.

### ISO

Abkürzung für die International Standardization Organisation, die weltweit gültige Normen erarbeitet.

### LCA

Life Cycle Assessment; im deutschen Sprachraum Lebensweganalyse oder Lebenswegbewertung oder allgemein Ökobilanz.

### MJ (E<sub>iso</sub>)

Energieeinheit Mega-Joule (10<sup>6</sup> Joule) in Primärenergieäquivalenten ausgedrückt. † Primärenergie.

### Modul

Räumlich-sachliche Einheit im Rahmen einer Bilanzierung, z. B. Forstwirtschaft, Spanplattenherstellung, Energieerzeugung.

### Naturraumbeanspruchung

Wirkungskategorie zur Bewertung von Größe, Qualität und Veränderung der in Anspruch genommenen Flächen.

### Photosynthese

Teilprozeß des pflanzlichen Stoffwechsels durch den die Pflanzen aus Kohlendioxid und Wasser mit Hilfe von Sonnenenergie organische Substanz aufbauen.

### Primärenergie

Auch als Rohenergie bezeichnet, ist der Energieinhalt der Energieträger in den Lager-

stätten. In Energie- und Ökobilanzen wird von der tatsächlich verbrauchten Energie (Nutzenergie) auf die Primärenergie umgerechnet. Damit sind auch alle Aufwendungen und Verluste durch die Gewinnung, Umwandlung und Transport der Energieträger berücksichtigt.

### Recycling

Rückfluß von wiederverwertbaren Produkten und Stoffen in die Produktion derselben, ähnlichen oder anderen Produkte.

### Restholz

Sortimente, die in der Forst- und Holzwirtschaft als Kuppel- und Nebenprodukte anfallen. Sie können stofflich oder energetisch verwertet werden.

### Rohstoff

Substanz, die in einem Umwandlungs- oder Produktionsprozeß zur Herstellung eines Produktes eingesetzt wird.

### Rundholz

Das im Wald eingeschlagene und verkaufsfertig an der Waldstraße oder im Wald liegende Stammholz und Industrieholz. Es wird mit und ohne Rinde gehandelt.

### Sachbilanz

Bestandteil einer Ökobilanz, der die Zusammenstellung und mengenmäßige Erfassung der Stoff- und Energieflüsse sowie weiterer Aufwendungen und Emissionen umfaßt.

### Submodul

Untereinheit eines † Moduls, die z. B. einen einzelnen Produktionsprozeß beschreibt (z. B. Entrinden des Stammholzes).

### Toxizität

Bezeichnet die Giftigkeit für den Menschen (Humantoxizität) oder die Umwelt (Ökotoxizität).

### Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt der Atmosphäre ist im Prinzip ein natürliches, für das Klima der Erde entscheidendes Phänomen (vgl. S. 6). Durch anthropogen verursachte Emissionen kommt es zu einer nicht kontrollierbaren Verstärkung des Effektes und damit zu einer gefährlichen Veränderung des globalen Klimas.

### Wirkungsabschätzung

Die Ergebnisse aus der Sachbilanz werden in ihrer Wirkung auf die Umwelt beurteilt.