

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 150 (1999)

Heft: 3

Artikel: Allgemeine Methodik für die Erstellung von Ökoinventaren im Bereich Holzproduktion

Autor: Brunner, Markus

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098412>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Allgemeine Methodik für die Erstellung von Ökoinventaren im Bereich Holzproduktion¹

MARKUS BRUNNER

Keywords: Life cycle assessment, (LCA); life cycle inventory; timber harvesting; timber production. FDK 3 : 65 : UDK 504.064.2.003.3

Abstract: A life cycle inventory (eco-inventory) as principal component of the eco-balance captures the energetic, material and non-material flows generated by the system. The eco-inventory of a timber production system is presented by means of internal flows as well as flows surpassing the limits of the system.

Abstract: Ein Ökoinventar als Hauptbestandteil einer Ökobilanz erfasst die durch das System erzeugten energetischen, stofflichen und immateriellen Ströme. Dargestellt wird der Ablauf eines Ökoinventars für ein Holzproduktionssystem mit systeminternen und die Systemgrenzen passierenden Komponenten.

1. Einleitung

1.1 Problemstellung und Ziele

Die vergleichsweise Umweltfreundlichkeit der Bereitstellung des Rohstoffes Holz wird schon lange vermutet und propagiert. Allerdings ist das Wissen über die zur Produktion von Holz ablaufenden Stoff- und Energieströme nach wie vor unvollständig. Dies gilt speziell für den Bereich der biologischen Produktion im Wald und der Holzernte. Verschärfte legale Rahmenbedingungen, eine kritischere Kundschaft und die Einführung von Betriebs- und Produktezertifizierungen verlangen nach genaueren Informationen hinsichtlich umweltrelevanter Faktoren bei der Holzproduktion. Zudem bietet sich die Chance, mit objektiven Fakten zum Umweltverhalten Wettbewerbsvorteile gegenüber Holz-Substituten zu erlangen. Benötigt werden Modelle, Daten und Methoden, die Auskunft über die ökologische Effizienz der Holzproduktion geben. Unter ökologischer Effizienz ist dabei das Verhältnis von Umweltgüterverbrauch zur erzeugten Menge Produkte zu verstehen.

Ökoinventare als zentrale Grundlage von Ökobilanzen jeglicher Gebiete liefern objektive Angaben über Stoff- und Energieflüsse eines Produkts oder eines Produktionssystems. Unter dem Stichwort Lebenszyklusabschätzung bzw. *Life Cycle Assessment* (LCA) geht es ganz allgemein darum, den Lebensweg eines Produktes von der «Wiege ins Grab» zu verfolgen und zu analysieren. Die Ökobilanz bildet dabei eine wesentliche Komponente.

Die Arbeit verfolgt mehrere Ziele. Erstens geht es darum, die hinter dem Begriff Ökoinventar stehende Philosophie in ihren Grundzügen zu verstehen. Zum zweiten sollen die Erstellungsmethodik und die wesentlichen Schritte eines Ökoinventars Holzproduktion vorgestellt werden. Daneben werden einige Einsatzmöglichkeiten forstlicher Ökoinventare genannt.

1.2 Allgemeine Entwicklung des Themas Ökoinventar

Zunächst soll an dieser Stelle die begriffliche Abgrenzung des Ausdrucks «Ökoinventar» vorgenommen werden (FRISCH-KNECHT, 1992; KNECHTLE, 1997; WINKLER, 1997). Ein Ökoinventar ist Bestandteil einer Ökobilanz. Das Ökoinventar versucht möglichst wertungsfrei die (für den einzelnen Fall relevanten) Flüsse zu erfassen, die innerhalb der Grenzen eines betrachteten Systems existieren oder dieselben passieren. Dies können beispielsweise Treibstoffverbrauch oder CO₂-Ausstoss eines Motors sein. Ein Ökoinventar ist im eigentlichen Wortsinn nichts anderes als ein Haushaltsinventar eines Systems bzw. eines Produkts. Um zu einer Ökobilanz des Systems zu gelan-

gen, wird nebst dem Ökoinventar ein Wirkungsinventar erstellt. Dieses gruppiert den Output aus dem System nach spezifischen Kriterien und untersucht die Auswirkungen dieser Stoffe auf bestimmte interessierende Gebiete ausserhalb des Systems. Ein Beispiel dazu ist die Frage, welchen Einfluss bestimmte Abgase auf den globalen Treibhauseffekt haben.

Die Norm ISO 14040 schlägt für den Aufbau einer Ökobilanz eine Vierteilung vor: 1) Festlegung Ziel und Untersuchungsrahmen, 2) Sachbilanz (entspricht dem Ökoinventar), 3) Wirkungsabschätzung und 4) Auswertung. In den Normen 14041–43 werden die Punkte 2 bis 4 behandelt (ISO, 1997).

Es finden sich seit dem Beginn der Industrialisierung Arbeiten, die sich mit der ökonomischen Verwendung der knappen Güter Energie und Rohstoffe befassen. Der Produktionsfaktor Energie war im Vergleich zu übrigen Produktionsfaktoren während langer Zeit durch hohe Beschaffungskosten gekennzeichnet und aufgrund fehlender oder unzureichender Transportmöglichkeiten oft nur standortsgebunden verfügbar (Wasserkraft). Lebenszyklusanalysen oder Ökoinventare im modernen Sinn mit schwergewichtiger Fokussierung auf Energie- und Stoffflüsse unter Beachtung von Umweltaspekten erlebten unter anderem im Zuge der Ölkrise einen erheblichen Aufschwung, wie einige Arbeiten stellvertretend (KONRAT, 1971; ANONYMUS, 1975; BBC, 1976; AKTIENGESELLSCHAFT ADOLPH SAURER, 1977) illustrieren. Das Hauptaugenmerk galt zunächst Produkten oder Produktionsprozessen, die durch relativ hohe spezifische Energieverbräuche gekennzeichnet sind (WEBER, 1979; BREITER, 1983; KOEWIUS, 1983; POHLE/BEYERT, 1983). Stoffintensive Abläufe interessierten in erster Linie dann, wenn durch diese Stoffumsätze hohe Energieumsätze ausgelöst wurden oder wenn diese finanziell bedeutsam waren. Es ging also um die Ortung von möglichen Sparpotentialen. Die Hauptmotivation für viele der teilweise aufwendigen Untersuchungen aus den siebziger und achtziger Jahren bestand folglich in der Optimierung von Produktezusammensetzungen und Herstellungsprozessen (SUNDBERG/SVANQVIST, 1987; HALLEY, 1989; Ö. B. U./A. S. I. E. G. E., 1992/1994). In diesem Zusammenhang bekam der ganze Themenkreis der Wiederverwendung ausgedienter Produkte bzw. deren Bestandteile, nun zeitgemässer als Recycling bezeichnet, (wieder) eine zunehmend wichtigere Bedeutung.

Ein steigendes Umweltbewusstsein, die immer deutlicher spürbare Verknappung von sogenannten Umweltgütern und als Folge dieser Tendenzen zahlreichere und schärfere

¹ Nach einem Vortrag, gehalten am 2. Februar 1998 im Rahmen der Montagskolloquien der Abteilung für Forstwissenschaften der ETH Zürich.

rechtliche Rahmenbedingungen wie beispielsweise die schweizerische Stoffverordnung (BUNDESKANZLEI, 1996) führten zu einer weiteren wichtigen Bedeutung von Ökoinventaren und Lebenszyklusanalysen (HOFMEISTER, 1989; BUWAL, 1990; ALB, 1992). Dies hat auch zu einer inhaltlichen Verlagerung geführt, indem nun Aspekte wie stoffliche und nichtstoffliche Emissionen (Schall beispielsweise) sowie die Bereiche Ausserbetriebnahme, Zerlegung und Verwertung bzw. Abfälle/Reststoffe eine erhöhte Beachtung erhalten haben. In diesem Zusammenhang hat man zunehmend begonnen, auch indirekte, sogenannte graue Flüsse, zu erfassen. Graue Flüsse fallen ausserhalb der betrachteten Systemgrenzen an; sie werden via im System verwendete Komponenten, bildlich gesprochen, als «ökologische Rucksäcke» ins System importiert. In diesem Zusammenhang spricht man auch von «ökologischen Fussabdrücken», die durch Energie- und Stoffflüsse der Systemaktivitäten ausserhalb der Systemgrenzen hinterlassen werden.

Auch im Gebiet der Risikoforschung wurde die Lebenszyklusabschätzung ein selbstverständliches Werkzeug (VIGNON/HARRISON, 1994).

Umweltschonende, ökoefiziente Herstellungsprozesse und Produkte haben in den vergangenen Jahren in der Käufergunst einen ernstzunehmenden Stellenwert errungen. Im weiteren hat das Qualitätsmerkmal Langlebigkeit unter dem Aspekt Ökoefizienz wieder eine neue Dimension erlangt (GLATTHARD, 1996). Die transparente Deklaration von Produkten bezüglich Entstehungsweise und Komposition entwickelte sich zu einem bedeutsamen Verkaufsargument und Marketinginstrument. Die Durchführung von Produktlebenszyklusanalysen und somit von Ökoinventaren als zentralem Bestandteil davon stellt dafür die entscheidende Basis dar. Mit der Einführung der Standardmethode nach ISO 14040 (ISO, 1997) wird durch eine international anerkannte Institution ein prinzipieller Ablauf vorgeschlagen. Damit sollte eine gewisse Vereinheitlichung in Methodik und Struktur erzielt werden können (vgl. dazu KNECHTLE, 1998).

Ein mit der zunehmenden Bedeutung der Ökobilanzierung immer akuterer Problem ist die Verwendung einer international einheitlichen Terminologie. Obwohl dazu Vorschläge vorliegen (SCHALTEGGER/KUBAT, 1995), bedarf es wohl einer anerkannten Institution wie der ISO, die hier für eine Normierung sorgt.

Ein bemerkenswerter Aspekt soll hier am Schluss dieses Kapitels erwähnt werden. SPRENG (1989) postuliert, dass Energie, Zeit und Information weitgehend austauschbare Grössen sind. Dies wird im sogenannten Energie-Zeit-Informations-Dreieck eindrücklich dargestellt. Daraus lässt sich ableiten, dass bei der Erstellung und Interpretation von Ökoinventaren das betrachtete System immer auch als Gesamtes studiert und in einen Gesamtkontext eingebettet werden muss.

2. Ökoinventare der Wald- und Holznutzung

2.1 Entwicklung des Forschungsgebietes Ökoinventar im Rahmen der Wald- und Holznutzung

Bis zu Beginn der neunziger Jahre sind Energie- und Stoffbilanzen bzw. Ökoinventare primär im Gebiet Holzverarbeitung/-verwendung erstellt worden (BUWAL, 1990; MEIER/STREIFF/RICHTER/SELL, 1990; RICHTER/SELL, 1990a). Die untere Grenze des Betrachtungsraumes lag zumeist im Bereich ab Waldstrasse oder ab Werkseingang. Der gesamte vorgelagerte Prozess der biologischen, mehr oder weniger natürlichen Produktion im Gelände sowie der gesamten technischen Produktionsvorgänge bis zu den Grenzen Waldstrasse oder Werkseingang ist, wenn überhaupt, meistens pauschal und wenig

differenziert addiert worden. Detailliertere Studien wurden vor allem für den relativ ressourcenintensiven Spezialfall der Plantagenwirtschaft und den Einsatz von Düngemitteln erstellt (FISCHER, 1995). Ausserdem existieren manche Arbeiten im Bereich Nährstoffkreisläufe/-entzug in Zusammenhang mit Waldnutzung.

Die Gründe für die selektive Betrachtung einzelner Schritte der Holzkette sind vergleichbar mit denen anderer Branchen. Es werden monetär und legal bedeutsame Prozesse analysiert, um Herstellungskosten einzusparen und die gesetzlichen Umweltschutzaufgaben zu erfüllen (FRUEHWALD/WEGENER, 1996). Dabei hat sich gezeigt, dass meistens die Be- und Verarbeitung von Holz, speziell in den Sparten Papier/Zellulose und Holzwerkstoffe, energetisch und stofflich massgebender zu Buche schlägt als die Bereitstellung im Wald.

Schätzungen zeigen schon länger, dass der Rohstoff Holz bezüglich Einsatz von Fremdressourcen verglichen mit Substituten günstig abschneidet. Dies betrifft in erster Linie Holz bis Stufe Rohmaterial (Stamm) oder Halbfabrikat (eingeschnitten). Was das verarbeitete Holz in Form von hochwertigen Endprodukten (z. B. Bauteile) angeht, ist das ganze differenzierter zu betrachten. So ist eine mit Imprägniermitteln behandelte Holz-Bahnschwelle energetisch zwar in vielen Fällen mit Betonschwellen konkurrenzfähig; bezüglich der Ökoinventarkomponente «Abgabe toxischer Stoffe an die Umgebung» verschiebt sich aber das Verhältnis zuungunsten des Holzes. Als Referenzgrösse für den Vergleich mit konkurrierenden Stoffen ist die Menge benötigter Holzrohstoffe zu verstehen, die für die Erzeugung eines Produkts benötigt wird, das eine bestimmte definierte Leistung erbringen soll. Dabei kann es sich beispielsweise um den Tragwiderstand eines Balkens oder die Bewohnbarkeit eines Gebäudes handeln. Eigene Abschätzungen haben ergeben, dass das Verhältnis «Energieinput total (direkt und indirekt)» zu «energetische Ausbeute in Form von Holzrohstoff (Heizwert)» sich in der ungefähren Bandbreite von 1 zu 15 bis 1 zu 120 bewegen kann. Ersterer Fall steht für Holz, welches mit Helikoptern aus unproduktiven Standorten gerückt wurde; der zweite Wert wurde für zuwachsstarke Bestände in einfach zugänglichen Flachlandverhältnissen ermittelt. Beide Fälle besitzen die Systemgrenzen «Begründung» bis «Holz franko Waldstrasse (inkl.)».

In den letzten Jahren sind zunehmend Untersuchungen innerhalb der Systemgrenzen Bestandesbegründung bis Lager Waldstrasse (zum Beispiel KNECHTLE, 1997; WIRTH, 1998) durchgeführt worden. Bisher interessierten dabei vor allem die direkt durch Arbeitsprozesse verursachten Energie- und Stoffumsätze; Umsätze also, welche in Form von Treibstoffen etwa direkt messbar sind. Es geht in einer moderneren Sicht darum, alle durch bestimmte Prozesse ausgelösten direkten und indirekten bzw. grauen Flüsse zu erfassen. Als typisches Beispiel dazu sei die Energie erwähnt, die für den Bau einer Forstmaschine in verschiedenster Weise verbraucht oder umgewandelt wird. Aber auch die Bereitstellung eines direkten Stoffflusses wie der Energiequelle Dieseltreibstoff hat bis zum Anlangen beim Endverbraucher etliche und erhebliche graue Flüsse hervorgerufen. So wird grössenordnungsmässig rund ein Drittel des Energieinhaltes, den eine Mengeneinheit Rohöl beim Verlassen des Bohrlochs besitzt, aufgewendet, bis sich diese Mengeneinheit in Form verschiedenster Raffinierungsderivate bei den entsprechenden Endverbrauchern befindet (FRISCHKNECHT *et al.*, 1996).

2.2 Mögliche Anwendungen von Ökoinventaren im Bereich Holzproduktion

Im forstlichen Bereich existieren heute diverse praktische Anwendungsmöglichkeiten. Ganz grundsätzlich lassen sich einerseits forstinternen Prozesse miteinander vergleichen.

Andererseits können aber auch forstliche nichtforstlichen Prozessen gegenübergestellt werden. So lässt sich der Rohstoff Holz mit Substitutrohstoffen messen. Oder die forstliche Biomasseproduktion wird mit alternativen Landnutzungen am selben Standort (z. B. Chinaschilf) verglichen.

Ein Ökoinventar kann als Entscheidungshilfe bei der Evaluation verschiedener Holzernte- und Erschliessungskonzepte dienen. Abläufe werden ökologisch optimiert, was auch mit wirtschaftlichen Vorteilen verbunden sein kann (Energie- und Materialeinsparung, fiskalische Vorteile bei Schadstoff- und verbrauchsärmeren Geräten). Es kann dargelegt werden, welche Art der Holzproduktion und -gewinnung bei jeweiligen Rahmenbedingungen hinsichtlich bestimmter Kriterien die ökoeffizienteste ist (KNECHTLE, 1997; WINKLER, 1997).

Auf der Ebene des Betriebs stellen Ökoinventar und Ökobilanz heute anerkannte Führungsinstrumente dar (SCHALT-EGGER/STURM, 1992; KYTZIA, 1995).

Ein Ökoinventar ist Voraussetzung für die Zertifizierung gemäss den Richtlinien von ISO 14000 ff. (ISO, 1997; CASCIO/WOODSIDE/MITCHEL, 1996). Es dient in dieser Funktion unter anderem als Promotionsinstrument. Die bisher oft nur rudimentär belegten Vermutungen der vorteilhaften Ökoeffizienz von Holz als Rohstoff können mit objektiven Fakten bewiesen werden (WEGENER, 1994; DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR HOLZFORSCHUNG, 1997; HECKL, 1997).

Im forstlichen Bereich ist zu vermuten, dass eine Umwelt-Zertifizierung beispielsweise nach ISO 14000 ff. eine bedeutende Voraussetzung werden könnte, um namentlich in Ländern der ersten Welt Produkte und Leistungen abzusetzen.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit ist die Prognostizierung der zukünftigen Entwicklung des Produktionsfaktors Waldboden. Die Erfassung vor allem der Stoffflüsse, aber auch weiterer Einwirkungen beispielsweise mechanischer Art bei verschiedenen Bewirtschaftungsmustern ist dafür eine zentrale Voraussetzung. Dies dürfte speziell auch dort eine Rolle spielen, wo eine physikalische und chemische Bodenveränderung praktiziert wird. Dies können Düngungen in Holzplantagen oder mechanische Bearbeitung wie Pflügen sein.

Schliesslich ist ein Ökoinventar Holzproduktion ein Baustein für übergeordnete, makroskopische Betrachtungen, beispielsweise ein regionales Stoffflussmodell (BACCINI/BADER, 1996).

3. Methodik

Die *Abbildung 1* stellt das Grundschemata vor. Für ein Ökoinventar Holzproduktion ist zuerst ein Holzproduktionssystem zu definieren, das durch verschiedene In- und Outputs charakterisiert ist. Auf der Inputseite finden wir zwei Grundkomponenten: Module und Produktivitätsmodelle. Wie *Abbildung 1* anhand des Beispiels «Forwarder» zeigt, bestehen diese Grund-

komponenten aus weiteren Bestandteilen. Es werden damit alle materiellen und immateriellen (z. B. Schallwellen) Eingänge ins System abgebildet. An Output liegen einerseits Produkte vor, deren Erzeugung der Zweck des Produktionssystems ist. Andererseits werden Neben- oder Koppeloutputs bzw. ganz oder teilweise unerwünschte Outputs miterzeugt (Abgase, Lärm; Rindenabfall).

3.1 Systembildung

Zunächst ist ein zu untersuchender Holzproduktionsvorgang abzugrenzen und zu umschreiben. *Abbildung 2* zeigt eine mögliche, modellmässige Darstellung eines Ernte- und Verarbeitungsvorganges, wie sie von HEINIMANN (1997) in der forstlichen Verfahrenstechnik vorgeschlagen wird. Die Bestandteile «Lager», «Bearbeitung» und «Transport» stellen dabei mögliche Module oder Teilmodule dar (vgl. dazu das folgende Kapitel 3.2).

In *Abbildung 3* sind allgemeine Prinzipien der Systemabgrenzung festgehalten. Der kleine Kubus stellt ein System dar, das durch die drei Faktoren Zeit, Raum und Behandlungstiefe des Produkts begrenzt wird. Unter Behandlungstiefe ist die Summe der betrachteten Be- und Verarbeitungsschritte zu verstehen. Die zeitliche Begrenzung reicht zum Beispiel vom hiebsreifen Bestand bis zum Moment der Holzanzlieferung beim Kunden; es kann sich aber auch um die Laufzeit eines Gerätes handeln. Die räumliche Ausdehnung kann eine bestimmte Waldfläche und eine Transportdistanz umfassen. Die Bearbeitungstiefe könnte demzufolge beispielsweise beim hiebsreifen, angezeichneten stehenden Baum anfangen und beim sortimentsweise eingeschnittenen und im Werk gelagerten Rundholz in Rinde enden.

Resultate von Ökoinventaren, aber selbstverständlich auch Ökobilanzen sollen immer in engem Zusammenhang mit den zugrundegelegten Systemgrenzen interpretiert werden. Ein Benutzer muss unterscheiden, ob Ergebnisse globale Durchschnittswerte aus verschiedenen Ökoinventaren darstellen oder ob damit ein spezifischer, einmaliger, individueller Fall abgebildet wird.

Abbildung 4 zeigt eine mögliche, überblicksmässige Darstellungsweise für ein Ökoinventar. Die Zylinder stellen Lager oder Puffer dar, an welchen der Bearbeitungsfluss gebrochen wird.

3.2 Module

Der Begriff Modul lässt sich als «auswechselbarer Teil mit geschlossener Funktionseinheit» definieren. Der Verwendung des Wortes Modul liegen demzufolge zwei Vorstellungen zugrunde. Ein Modul kann bausteinartig für verschiedene Zwecke verwendet werden. Folglich ist ein Ökoinventar Holzproduktion im Grunde nichts anderes als die Summe

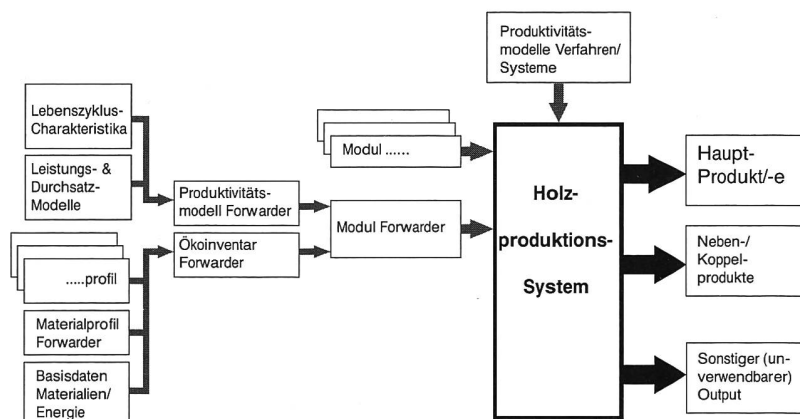


Abbildung 1: Darstellung des grundsätzlichen Aufbaus eines Ökoinventars Holzproduktion mit dem Modulbeispiel «Forwarder».

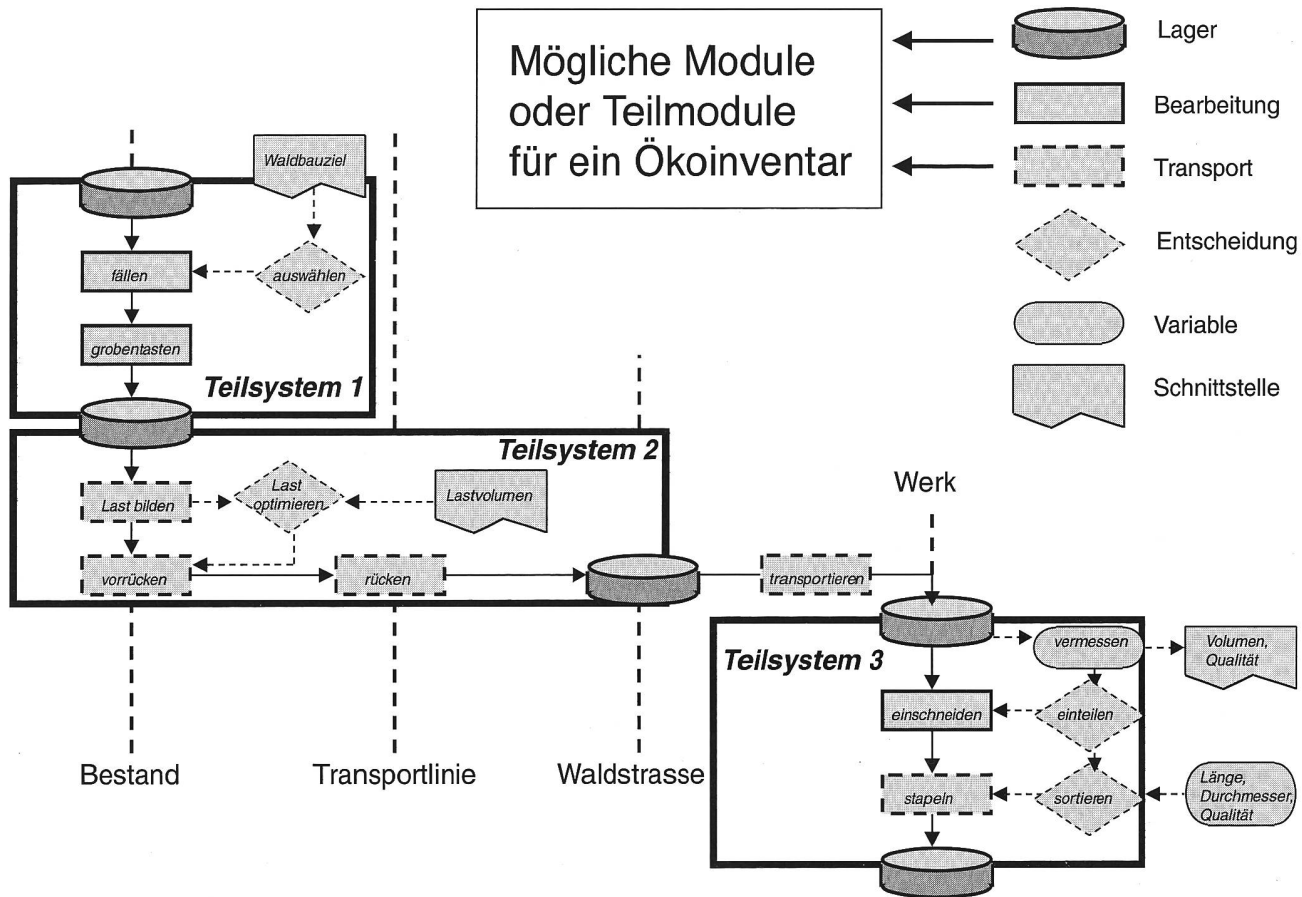


Abbildung 2: Vorschlag zur schematischen Darstellung eines Holzproduktionssystems nach HEINIMANN (1997) am Beispiel «Holzernte im Rohschafverfahren». Lager-, Bearbeitungs- und Transportvorgänge stellen potentielle Module oder Modulbestandteile dar.

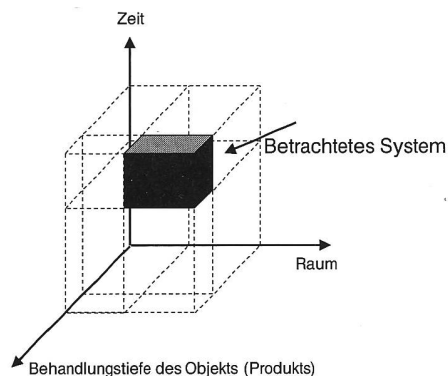


Abbildung 3: Dreidimensionale Darstellung der Abgrensungsparameter Zeit, Raum und Behandlungstiefe eines Produktionssystems. Unter Behandlungstiefe werden alle am Produkt innerhalb der Systemgrenzen ausgeführten Bearbeitungen und Manipulationen verstanden.

einzelner Module, kombiniert allenfalls mit Produktivitätsmodellen auf der Stufe Holzproduktionssystem.

Ein Modul ist in sich komplett und autonom funktionstüchtig hinsichtlich seines spezifischen Verwendungszwecks. Es ist die kleinste sinnvolle Einheit, deren weitere Aufspaltung keinen praktischen Sinn ergeben würde. In unserem Fall kann dies beispielsweise ein kompletter Forwarder sein. Die isolierte Betrachtung nur des Ladekrans oder des Motors macht bezüglich der Betrachtungsebene «Holzproduktionssystem» keinen Sinn. Detailliertere Informationen über die Erarbeitung von Modulen sind dem Aufsatz von KNECHTLE in dieser Zeitschrift zu entnehmen (KNECHTLE, 1999).

Wie die Abbildung 5 zeigt, besteht ein Modul typischerweise aus einer Komponente Ökoinventar (Stufe Modul) und einer Komponente Produktivitätsmodell. Folgende Fragen stellen sich: Welches sind Bestandteile und typische Größen des Moduls? Was leistet das Modul, was setzt es um? Daraus ergibt sich die Frage: Welche Inventarbestandteile hängen in welcher Menge mit den Leistungseinheiten des Moduls zusammen? In den nächsten zwei Kapiteln werden diese Sachverhalte erläutert.

Besondere methodische Probleme ergeben sich mit Modulen, die Lebewesen als Produktionsfaktoren beinhalten. Soll der gesamte stoffliche und energetische Umsatz von Lebewesen in das Ökoinventar einfließen? Soll nur derjenige Mehr-

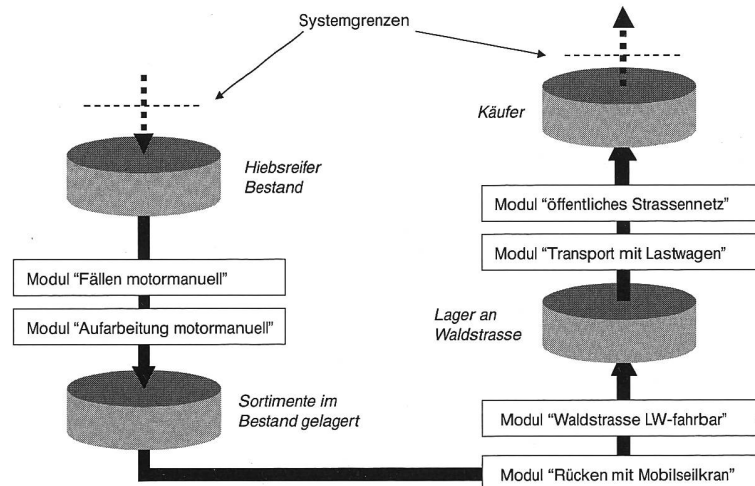


Abbildung 4: Das mit Hilfe der Verfahrenstechnik definierte Holzproduktionssystem wird mit ökoinventarrelevanten Bausteinen, sogenannten Modulen, versehen. Zusammenhänge und Interaktionen zwischen Modulen werden mit Produktivitätsmodellen auf der Stufe «Ganzes System» oder «Teilsystem» beschrieben.

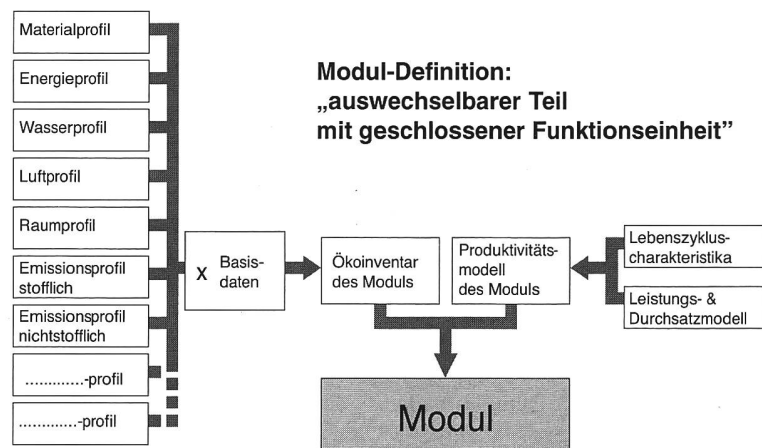


Abbildung 5: Prinzipieller Aufbau eines Moduls mit den zwei Hauptkomponenten Ökoinventar (Stufe Modul) sowie Produktivitätsmodell (Stufe Modul).

umsatz, der, verglichen mit dem Grundumsatz, zu einer Arbeitsleistung erforderlich ist, betrachtet werden? Lebt ein Lebewesen so oder so, oder lebt es ausschliesslich zur Verrichtung spezieller Tätigkeiten? Vor allem beim Mensch als Produktionsfaktor können sich ethisch heikle Abgrenzungsfragen ergeben. Informationen zum Einbezug menschlicher Arbeitskraft finden sich beispielsweise in GIAMPIETRO/PIMENTEL, 1990 oder HOEPPE, 1984.

3.2.1 Komponente Ökoinventar

Mit dem Ökoinventar werden die im Lauf des Modullebens bewegten direkten und indirekten Flüsse erfasst und als sogenannte Profile festgehalten. Diese werden in der Folge mit dazugehörigen Basisdaten verglichen, was zum Ökoinventar des Moduls führt. Währenddem Basisdaten bereits relativ detailliert und für verschiedenste Stoffe und Rohmaterialien vorliegen, beispielsweise im Werk «Ökoinventare für Energiesysteme» (FRISCHKNECHT *et al.*, 1996), existieren solche Profile, wie schon erwähnt, im Bereich Holzproduktion erst vereinzelt (BUWAL, 1996; KNECHTLE, 1997; WINKLER, 1997). Teilweise muss man sich (noch) mit dem Vergleich verwandter Gebiete wie Bau- und Landwirtschaft behelfen (BUWAL, 1994; INFRAS, 1995; WEIBEL/STRITZ, 1995).

Charakteristischerweise weist eine Sache die Lebensphasen «Bau», «Gebrauch» und «Abbruch» auf. Die Gebrauchsphase kann zudem noch durch eine Phase «Umbau» ergänzt respektive unterteilt werden. Während die erste und die letzte Phase mehr oder weniger Fixaufwendungen darstellen, hängt die Phase «Gebrauch» stark von Faktoren wie Auslastung und Beanspruchung der Sache ab; wir haben es hier mit stark variablen Aufwendungen zu tun. Da zudem die Gebrauchsphase bezüglich Stoffumsatz, vor allem in energetischer Hinsicht, sehr oft die weitaus bedeutendste aller Lebensphasen repräsentiert (KNECHTLE, 1997), gilt es diese Variabilität speziell zu beachten.

Die Phasen «Bau» und «Abbruch» hängen nur mittelbar mit Faktoren wie Gebrauch und Auslastung zusammen. Natürlich muss ein Gerät, welches für intensive Beanspruchung und lange Lebensdauer ausgelegt wird, entsprechend aufwendiger konstruiert werden. Doch ist dieser Mehrinput im Vergleich zum Grundinput stofflich nicht immer sehr bedeutungsvoll. Es ist denkbar, dass eine hochwertiger erstellte Sache sich dafür in der Gebrauchsphase durch reduzierte Umsätze und Verbräuche auszeichnet. Diese Fragen können beim Vergleich von Modulen ähnlichen Verwendungszwecks eine wichtige Rolle spielen. Es kann sich etwa folgende Frage stellen: Ist es ökoeffizienter, eine Waldstrasse primitiv zu erstellen und dafür hohe Folgekosten in Kauf zu nehmen oder sie aber aufwendiger und sorgfältiger zu bauen, um dafür die Folgekosten tief halten zu können?

Die Umlegung der Phasen 1 und 3 auf Produkte/Leistungen erfolgt typischerweise über die Lebensdauer bzw. Einsatzzeit der Sache («Amortisation»). Als Beispiel sei die Menge verbauter Stahl pro produktive Maschinenstunde genannt.

Für die Gebrauchsphase muss das Ökoinventar Verbrauchsmodelle liefern, die mit Angaben aus den Produktivitätsmodellen kombiniert den Konsum der Sache pro Zeit- oder Produkteinheit ergeben. Es ist zu unterscheiden zwischen Flüssen, die laufend beim Betrieb der Sache entstehen (Treibstoff, Schmiermittel) und Flüssen, die periodisch anfallen (Wartung, Reparatur). Daneben werden in der Gebrauchsphase allenfalls weitere Leistungen beansprucht. Diese können beispielsweise sein: Aufbewahrung/Garagierung, Umsetzung von Arbeitsort zu Arbeitsort, Vorbereitung des Arbeitsplatzes usw. Typische Verbrauchsmodelle können zum Beispiel Informationen folgender Art liefern: spezifischer Treibstoffverbrauch (g/kWh) bei verschiedenen Einsatzbedingungen oder Abgaszusammensetzung in Funktion der Motorbelastung.

Machen wir zu den Begriffen Profile und Basisdaten ein Beispiel: Im Materialprofil wird unter anderem die Menge des in einer Maschine verbauten Stahls Typ XY ermittelt. Die Basisdaten zu diesem Stahl XY geben an, was zu dessen Herstellung und Verarbeitung aufgewendet werden musste (Energie, Erz, Abfälle, Fläche usw.). Die Materialprofildaten multipliziert mit den dazugehörigen Basisdaten ergeben das Teilinventar «Material». In analoger Weise werden auch andere Teilinventare wie «Raum», «Abgas», «Wasser» usw. erstellt. Alle Teilinventare addiert führen am Schluss zum Gesamt-Ökoinventar.

3.2.2 Komponente Produktivitätsmodell

Währenddem das Ökoinventar eines Moduls ein allgemeines, einsatzneutrales Daten- und Modellset bereitstellt, liefert das Produktivitätsmodell spezifische Angaben darüber, welche In- und Outputs das Modul bei den betrachteten Einsatz-Rahmenbedingungen erzeugt. Beispielsweise können dies Fällleistungen eines Harvesters bei bestimmten Bedingungen sowie damit gekoppelt die Belastungskurve des Antriebsstrangs sein. Neben den Produktivitätsmodellen auf Stufe Einzelmodul werden Modelle benötigt, die sich auf ganze Modulgruppen beziehen. Solche Produktivitätsmodelle liefern Angaben über die Verbundleistung von Modulkombinationen.

Die Komponente Produktivitätsmodell auf Stufe Modul lässt sich gemäss *Abbildung 5* in die zwei Teilkomponenten «Lebenszykluscharakteristika» sowie «Leistungs- und Durchsatzmodell» zerlegen.

Abbildung 6 stellt diese zwei Teilkomponenten unterschiedlichen Charakters näher vor. Die Leistungs- und Durchsatzkomponente ist eng mit dem Betrieb einer Sache gekoppelt; sie bezieht sich schwerpunktmässig auf die Lebensphase

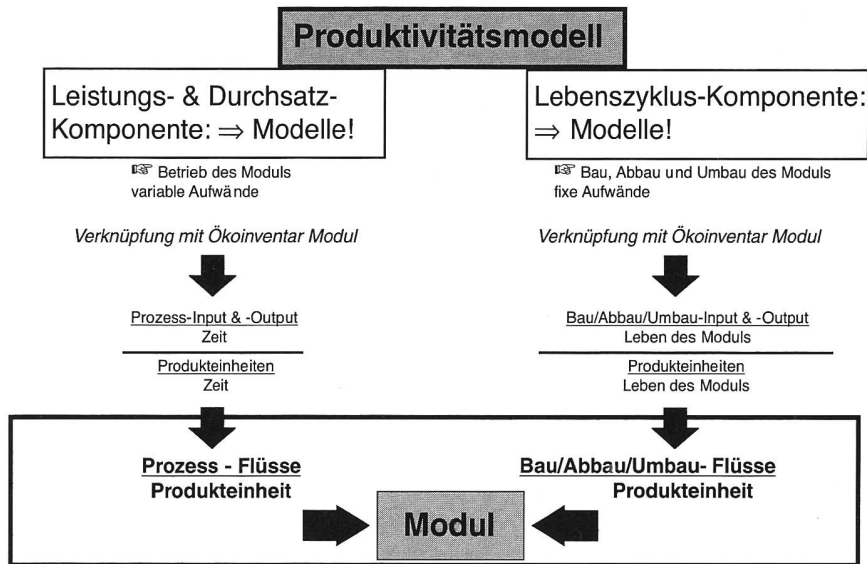


Abbildung 6: Aufbau der Modul-Hauptkomponente «Produktivitätsmodell» sowie deren Verknüpfung mit den Ökoinventardaten auf Stufe Modul.

«Gebrauch». Es handelt sich vor allem um variable Faktoren, die direkt durch Arbeits- und Gebrauchsprozesse hervorgerufen werden. Hier werden Modelle benötigt, die für den zu untersuchenden Fall konkrete Leistungsdaten liefern. Am Beispiel einer Maschine ausgedrückt können dies sein: produzierte Einheiten je produktive Stunde, Belastungsverlauf des Motors, Verhältnis Maschinenlaufzeit/produktive Zeit oder Reparaturkennziffern. Normaler laufender Unterhalt und kleinere Erneuerungen eines Moduls werden der Lebensphase «Gebrauch» im Zuge der Leistungs- und Durchsatzkomponenten zugeschlagen (vgl. nächsten Absatz). Davon ausgenommen werden sollten grössere Erneuerungsarbeiten im Sinne von Umbauten oder Totalerneuerungen, bei denen wesentliche Teile der Sache betroffen sind oder das Modul grundlegend verändert wird. Das Ziehen einer scharfen Grenze bezüglich dieser Zuordnungsfrage ist allerdings nicht einfach.

Die Lebenszykluskomponente konzentriert sich hauptsächlich auf die Phasen 1 «Bau» und 3 «Abbau» einer Sache. Hier geht es darum festzustellen, welche Lebensdauer und welche damit verbundenen Erhaltungszustände ein Modul bei dem zu betrachtenden Fall erreicht. Diese Lebensdauer kann entweder zeitlicher Art sein, ausgedrückt in Jahren oder Betriebsstunden, oder sie kann in Form von produzierten Einheiten oder von der Anzahl Benutzungszyklen beschrieben werden. Sie muss immer mit dem Zustandsverlauf (Alterung, Abnutzung) der Sache gekoppelt betrachtet werden. Des Weiteren gehören hierzu Informationen über Art, Turnus und Intensität von erheblichen, periodischen Unterhaltungs- und Erneuerungsarbeiten.

Die Angaben aus diesen zwei Teilkomponenten dienen dazu, die im Ökoinventar ermittelten Werte nach dem Kostenstellenprinzip auf interessierende Einheiten umzulegen. Diese werden üblicherweise die durch ein Modul erzeugten Produkte oder Leistungen sein, also beispielsweise der durch einen Forwarder an eine Waldstrasse gerückte Kubikmeter Holz. Es resultieren normierte, bezogene Angaben wie etwa «Kilogramm NO_x je an die Waldstrasse gerückten Kubikmeter Rundholz».

Das dazugehörige Ablaufschema ist der *Abbildung 6* zu entnehmen. Die Leistungs- und Durchsatzkomponenten verknüpft mit den korrespondierenden Ökoinventardaten ergeben Prozessflüsse pro Produkteinheit. Analog werden die Lebenszyklus-Werte mit den entsprechenden Ökoinventar-Angaben zusammengefügt, woraus die Bau-, Abbau- und Umbauflüsse je Produkteinheit resultieren. Addiert ergibt sich die Gesamtheit der Flüsse über alle Modul-Lebensphasen dividiert durch die

insgesamt erzeugten Produkteinheiten, woraus die interessierende Grösse «Flüsse/Produkteinheit» hervorgeht.

Die Bildung solcher forstlicher Produktivitätsmodelle sowie die Erstellung von Modulen ist mit umfangreichen Informationsbedürfnissen verbunden. Bis heute verfügt man vor allem über Modelle ökonomischer Relevanz. Bei Maschinen sind dies zeitbezogene Produktionsleistungen unter bestimmten Rahmenbedingungen. Modelle über eher ökologisch relevante Flüsse sind im Bereich Holzproduktion weniger verbreitet. Entsprechende Daten müssen entweder kostspielig (noch) erhoben werden, oder es sind Daten aus verwandten Gebieten zu adaptieren, was mit entsprechenden Unsicherheiten verbunden ist.

4. Schlussbemerkungen und Ausblick

Im forstlichen Bereich besteht vor allem weiterer Handlungsbedarf in den Bereichen Terminologie und Module. Es zeichnet sich in der englischen wie auch der deutschen Sprache allmählich eine gewisse Angleichung der Begriffe ab; allerdings erfolgt dieser Vorgang eher ungeordnet und passiv. Im Rahmen der ISO-14000-Normen ist zu erhoffen, dass ein gewisser Vereinheitlichungsprozess ausgelöst wird. Sofern allgemein anerkannte, in Industrie und Wirtschaft gebräuchliche Ausdrücke und Masseinheiten existieren, sollte unbedingt die Schaffung forstspezifischer Kreationen vermieden werden.

Für diverse Holzgewinnungs- und Holzproduktionsvorgänge fehlen nach wie vor spezifische und dynamische Module. Vorhandene Module sind oft nur sehr rudimentär und statisch (für einen einzigen speziellen Fall gerechnet und verwendbar) aufgebaut. Zentrale Voraussetzung für dynamische Module ist das Vorhandensein von entsprechenden Produktivitätsmodellen. Hier stellt sich das Problem, dass für neuere Geräte, Maschinen und Verfahren noch keine solchen existieren und dass ältere Modelle zu überarbeiten sind. Im weiteren fehlt für viele Geräte detailliertes Datenmaterial über Umsätze und Verbräuche beim Betrieb.

An der Professur Forstliches Ingenieurwesen der ETH Zürich wird unter anderem im Rahmen von Diplom- und Semesterarbeiten nach und nach ein Satz forstlicher Module bereitgestellt; dabei besteht auch auf verschiedenen Teilgebieten eine Zusammenarbeit mit Hochschulen und Forschungsanstalten im In- und Ausland. Damit sollte ein Modulbaukasten entstehen, der die verschiedensten Produktionssysteme abdeckt.

Basierend auf diesem Fundament sind praxistaugliche Methoden zu entwickeln, wie man rasch, kostengünstig und

mit genügender Genauigkeit zum Beispiel Betriebs-Ökoinventare erstellen kann. Im Rahmen der Einführung von Umweltmanagementsystemen für forstliche Betriebe ist die Praxis schon heute auf solche Hilfsmittel angewiesen.

Einen weiteren Forschungsschwerpunkt im Rahmen der Ökobilanzierung stellt weiterhin die dem Ökoinventar folgende Phase der auswirkungsortierten Klassierung dar. Eine Umweltzertifizierung wie diejenige nach ISO verlangt ja nicht bloss die alleinige Erstellung eines Ökoinventars, sondern es sollen die Wirkungen auf bestimmte Gebiete und Dinge ermittelt werden (beispielsweise der Kohlendioxideinfluss auf den Treibhauseffekt oder die toxische Wirkung von Motoren-Lecköl auf Lebewesen im Waldboden).

Zusammenfassung

Ein Ökoinventar ist Hauptbestandteil einer Ökobilanz. Das Ökoinventar eines Holzproduktionssystems bezweckt die Erfassung von Strömen energetischer, stofflicher und immaterieller Art, die durch das System erzeugt werden. Dabei werden sowohl systeminterne als auch die Systemgrenzen passierende Ströme berücksichtigt.

Die Erstellung eines Ökoinventars Holzproduktion umfasst folgende Schritte:

- Definition von Zielen und Grenzen des Ökoinventars
- Festlegung und Abgrenzung eines Holzproduktionssystems
- Erfassung der relevanten Parameter des Systems
- Erstellung, Auswahl und Adaptierung geeigneter Module
- Verknüpfung der Module mit den spezifischen korrespondierenden Systemparametern
- Zusammenhängen der Module unter Einbezug systembezogener Produktivitätsmodelle
- Umlegung der Resultate auf die interessierenden Bezugsgrößen; in der Regel die im System erzeugten Produkte und Leistungen.

Résumé

Une méthodologie générale pour l'établissement d'un éco-inventaire dans le domaine de la production du bois

L'éco-inventaire est la composante principale de l'éco-bilan. L'objectif de l'éco-inventaire d'un système de production du bois est la saisie des flux générés par le système, tel que les flux de l'énergie, des matériaux et des biens de nature immatérielle. Il s'agit non seulement de flux internes au système mais aussi de flux traversants les limites du système.

L'établissement d'un éco-inventaire «production du bois» comprend les phases suivantes:

- formulation des objectifs et définition des limites de l'éco-inventaire
- détermination et délimitation du système de production du bois
- saisie des paramètres déterminants du système
- établissement, choix et adaptation de modules appropriés
- connexion des modules avec les paramètres spécifiques correspondants du système
- enchaînement des modules en tenant compte des modèles de production du système
- transfert des résultats sur les indicateurs de référence d'intérêt majeur; il s'agit en règle générale des produits et des prestations générés par le système.

Traduction: DENISE BURLET

Summary

General Methodology for the Setting-up of a Life Cycle Inventory in the Field of Timber Production

A life cycle inventory (eco-inventory) is a main part of a life cycle assessment. The life cycle inventory of a timber production system aims at assessing energetic, material and non-material flows, generated by the system itself. Hereby, internal flows are taken into account as well as flows surpassing the limits of the systems.

The creation of a life cycle inventory of timber production consists of the following steps:

- Defining aims and limits of the life cycle inventory
- Determining and defining a wood production system
- Recording the relevant parameters of the system
- Generating, selecting, and adapting suitable modules
- Combining the modules with the specific corresponding parameters of the system
- Joining the modules, taking into consideration system-related productivity models
- Apportioning the results to the relevant items, usually the main products or services generated by the system.

Literatur

- AKTIENGESELLSCHAFT ADOLPH SAURER (1977): Technologischer Stand und künftige Entwicklung von Lastwagen und Bussen hinsichtlich Energieverbrauch, Abgas und Lärm. Aktiengesellschaft Adolph Saurer, Arbon. 34 S., Anhang.
- ALB, K. (1992): Eine Brücke zwischen Ökonomie und Ökologie. *io Management Zeitschrift* 61: 76–80.
- ANONYMUS (1975): Energieaufwand für die Produktion von Bitumen und Zement. Eine Studie für den Schweizer Nationalrat. *Die Schweizer Baustoff-Industrie* 6: 13–15.
- BACCINI, P.; BADER, H.-P. (1996): Regionaler Stoffhaushalt: Erfassung, Bewertung und Steuerung. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford. 420 S.
- BBC (Hrsg.) (1976): Weichenstellen. Ein Beitrag zum besseren Verständnis des Energieproblems. BBC AG Brown, Boveri & Cie., Baden. 48 S.
- BREITER, B. (1983): Energieverbrauch im Strassenbau – Exemplarischer Vergleich der Auswirkungen technischer und entwurfstechnischer Parameter. Informationen Verkehrsplanung im Strassenwesen Heft 11. Hochschule der Bundeswehr München, München-Neubiberg. 61 S., Anhang.
- BUNDESKANZLEI (Hrsg.) (1996): Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung, StoV). SR 814.013. EDMZ, Bern.
- BUWAL (Hrsg.) (1990): Methodik für Ökobilanzen auf der Basis ökologischer Optimierung. Schriftenreihe Umwelt Nr. 133 Abfälle. BUWAL, Bern. 39 S.
- BUWAL (Hrsg.) (1990): Energie aus Heizöl oder Holz? Eine vergleichende Umweltbilanz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 131 Holz. BUWAL, Bern. 118 S.
- BUWAL (Hrsg.) (1994): Schadstoffemissionen und Treibstoffverbrauch von Baumaschinen. Synthesebericht. Umwelt-Materialien Nr. 23 Luft. BUWAL, Bern. 95 S., Anhang.
- BUWAL (Hrsg.) (1996): Holztransporte 1993 in der Schweiz. Umwelt-Materialien Nr. 61 Holz. BUWAL, Bern. 145 S.
- BUWAL (Hrsg.) (1996): Schadstoffemissionen und Treibstoffverbrauch des Offroad-Sektors. Umwelt-Materialien Nr. 49 Luft. BUWAL, Bern. 243 S.
- CASCIO, J.; WOODSIDE, G.; MITCHELL, PH. (1996): ISO 14000 Guide. The New International Environmental Management Standards. McGraw-Hill, New York. 221 S.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR HOLZFORSCHUNG e.V. (Hrsg.) (1997): Erstellung von Ökobilanzen für die Forst- und Holzwirtschaft. Informationsdienst Holz. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V., München. 28 S.
- FISCHER, U. (1995): Energieeinsatz in der Forstwirtschaft und auf Schnellwuchsplantagen. Versuchsberichte AWF 1995: 3.1–3.18. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abteilung Arbeitswirtschaft und Forstbenutzung, Freiburg.

- FRISCHKNECHT, R. (1992): Ökobilanz. Motivation-Möglichkeiten-Grenzen. Frischknecht/ETH, Zürich. 24 S.
- FRISCHKNECHT, R. *et al.* (1996): Ökoinventare von Energiesystemen. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Herausgegeben im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft BEW. Institut für Energietechnik ETH, Zürich. Teil 1–3.
- FRÜHWALD, A.; WEGENER, G. *et al.* (1996): Grundlagen für Ökoprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft. Abschlussbericht DGfH/FAF. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V., München, Bonn.
- GIAMPIETRO, M.; PIMENTEL, D. (1990): Assessment of the Energetics of Human Labour. Agriculture, Ecosystems and Environment, 32: 257–272.
- GLATTHARD, TH. (1996): Langlebigkeit als Qualität. Vom Produkt zum Kundennutzen – Interview mit Walter R. Stahel, Institut für Produktdauer-Forschung. Schweizer Ingenieur und Architekt 15: 304–305.
- HALLAY, H. (Hrsg.) (1989): Die Ökobilanz. Ein betriebliches Informationssystem. Schriftenreihe des IÖW 27/89. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH, Berlin. 120 S.
- HECKL, F. (1997): Ökobilanzen liefern gute Argumente für Forstwirtschaft. Österreichische Forstzeitung 10: 15–16. Österreichischer Agrarverlag, Klosterneuburg.
- HEINIMANN, H.-R. (1997): Forstliche Verfahrenstechnik I. Unterlagen zur Vorlesung an der Professur Forstliches Ingenieurwesen. ETH/D-WAHO, Zürich. 3-5 – 3-7.
- HOEPPE, P. (1984): Die Energiebilanz des Menschen. Aus den Arbeiten des Lehrstuhls für Bioklimatologie und Angewandte Meteorologie. Wissenschaftliche Mitteilungen Nr. 49. Universität München – Meteorologisches Institut, München. 171 S.
- HOFMEISTER, S. (1989): Stoff- und Energiebilanzen. Zur Eignung des physischen Bilanz-Prinzips als Konzeption der Umweltplanung. Schriftenreihe des Fachbereichs Landschaftsentwicklung der TU Berlin. Technische Universität, Berlin. 325 S.
- INFRAS (Hrsg.) (1995): Ökoinventar Transporte. Schwerpunktprogramm Umwelt, Modul 5. INFRAS, Zürich. 340 S.
- ISO (1997): Environmental Management– Life Cycle Assessment – Principles and Framework. Draft International Standard (DIS 14040). International Standards Organization ISO, Genève.
- KNECHTLE, N. (1997): Materialprofile von Holzertesystemen – Analyse ausgewählter Beispiele als Grundlage für ein forsttechnisches Ökoinventar. Diplomarbeit verfasst an der Professur Forstliches Ingenieurwesen. ETH, Zürich. Unveröffentlicht.
- KNECHTLE, N. (1999): Materialprofile von Holzertesystemen als Ausgangspunkt für Ökoinventare. Schweiz. Z. Forstwes. 150, 3: 81–87.
- KONRAT, K. (1971): Energiebedarf und -deckung in Betrieben der Steine- und Erdenindustrie. Die Schweizer Baustoff-Industrie 1: 8–12.
- KOEWIUS, A. (1983): Energiebilanz bei substituierender Verwendung von Aluminium in Fahrzeugen. Aluminium-Verlag, Düsseldorf. 172 S.
- KYTZIA, S. (1995): Die Ökobilanz als Bestandteil des betrieblichen Informationsmanagements. Ruedger, Chur und Zürich. 201 S.
- MEIER, K.; STREIFF, H.R.; RICHTER, K.; SELL, J. (1990): Zur ökologischen Bewertung des Bau- und Werkstoffs Holz. Schweizer Ingenieur und Architekt 24: 689–695.
- Ö. B. U./A. S. I. E. G. E (Hrsg.) (1992): Ökobilanz für Unternehmen. Schriftenreihe Ö. B. U./A. S. I. E. G. E 7/1992. Schweizerische Vereinigung für ökologisch bewusste Unternehmensführung, Adliswil. 88 S.
- Ö. B. U./A. S. I. E. G. E (Hrsg.) (1994): Methoden für Ökobilanzen und ihre Anwendung in der Firma. 5 international bekannte Ökobilanz-Methoden im Vergleich. Schriftenreihe Ö. B. U./A. S. I. E. G. E 8/1994. Schweizerische Vereinigung für ökologisch bewusste Unternehmensführung, Adliswil. 147 S.
- POHLE, G.; BEYERT, J. (1983): Aufstellung einer Energiebilanz für verschiedene Oberbauarten im Strassenbau. Forschung Strassenbau und Verkehrstechnik Heft 485/1986. Bundesminister für Verkehr, Abteilung Strassenbau, Bonn-Bad Godesberg. 66 S.
- RICHTER, K.; SELL, J. (1992): Ökobilanzen von Baustoffen und Bauprodukten aus Holz. Zusammenfassung erster Ergebnisse. Forschungs- und Arbeitsberichte Abteilung 115, Holz. Bericht Nr. 115/24. EMPA, Dübendorf. 33 S.
- SCHALTEGGER, ST.; STURM, A. (1992): Öko-Controlling als ökonomisch-ökologisches Führungsinstrument. io Management Zeitschrift 61: 71–75.
- SCHALTEGGER, ST.; KUBAT, R. (1995): Das Handwörterbuch der Ökobilanzierung. Begriffe und Definitionen. WWZ-Studie Nr. 45. 2. aktualisierte Auflage. Wirtschaftswissenschaftliches Zentrum der Universität Basel, Basel. 120 S.
- SCHOLZEN, F. (1991): Ökobilanz von Windenergie am Beispiel einer 30 kW-Anlage auf dem Simplon. Semesterarbeit am Labor für Energiesysteme. ETH, Zürich. 27 S., Anhang.
- SPRENG, D. (1989): Wieviel Energie braucht die Energie? Energiebilanzen von Energiesystemen. VdF, Zürich. 54 S.
- SUNDBERG, U.; SVANQVIST, N. (1987): Fuel Consumption as Indicator of the Economics in Mechanization. Scandinavian Journal of Forest Research 2: 389–398.
- VIGNON, B. W.; HARRISON, C. L. *et al.* (1994): Life-Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles. U.S.E.P.A. Risk Reduction Engineering Laboratory. Lewis Publishers, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo.
- WEBER, A. (1979): Langfristige Energiebilanz in der Landwirtschaft. Reihe A: Landwirtschaft – angewandte Wissenschaft Heft 221. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup. 80 S.
- WEGENER, G. (1994): Forstwirtschaft und Holznutzung als unverzichtbare Elemente zukunftsorientierten Handelns. Holz als Roh- und Werkstoff 52: 235–238. Springer-Verlag, Berlin und New York.
- WEIBEL, TH.; STRITZ, A. (1995): Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baumaterialien. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Hochbaukonstruktionen. ESU-Reihe Nr. 1/95. ETH Institut für Energietechnik/Bundesamt für Energiewirtschaft, Zürich/Bern. 28 S., Module 1–16, Anhang, Diskette.
- WINKLER, C. (1997): Vorstudie Ökoinventare von Holzertesystemen. Interne Berichte Nr. 7 der Professur Forstliches Ingenieurwesen. D-WAHO/ETH, Zürich. 26 + 27 S.
- WIRTH, TH. (1997): Quantifizierung der Ökoeffizienz ausgewählter Waldnutzungskonzepte. Diplomarbeit verfasst an der Professur Forstliches Ingenieurwesen. ETH, Zürich. Unveröffentlicht.

Verfasser:

MARKUS BRUNNER, Dipl. Forsting. ETH, D-WAHO; Professur Forstliches Ingenieurwesen, der ETH Zürich, CH-8092 Zürich.