

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

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 150 (1999)

**Heft:** 3

**Artikel:** Ökobilanzierung von forstlichen Produktionssystemen : Beziehungen zu Umweltmanagementsystemen und Übersicht über das methodische Konzept

**Autor:** Heinemann, Hans Rudolf

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1098410>

### **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>**

# Ökobilanzierung von forstlichen Produktionssystemen – Beziehungen zu Umweltmanagementsystemen und Übersicht über das methodische Konzept<sup>1</sup>

HANS RUDOLF HEINIMANN

Keywords: Environmental management; life cycle analysis; eco-efficiency; process analysis. FDK 611 : UDK 330.16,1 : UDK 504.06.03.004,1 : UDK 504.064.2.003.3

**Abstract:** The «sustainable development» concept of Rio 1992 has to be realised on an operational level. This paper discusses environmental management systems with components such as Life Cycle Analysis methodology and Assessment of wood as a raw material.

**Abstract:** Das Leitbild «Sustainable Development» des Weltgipfels von Rio 1992 verlangt eine Umsetzung auf operationeller Ebene. Diskutiert werden ein Konzept Umweltmanagement mit Komponenten zur Ökobilanzmethodik und Überlegungen zur ökologischen Bewertung und Analyse des Produkts «Rohholz».

HEINIMANN, H. R.: Ökobilanzierung von forstlichen Produktionssystemen – Beziehungen zu Umweltmanagementsystemen und Übersicht über das methodische Konzept (reviewed paper)

## 1. Einleitung

Die Einstellung zum Umgang mit Technik hat sich im letzten Drittel des 20. Jahrhunderts grundlegend geändert. Zum einen wuchs die Erkenntnis, dass Anwendung von Technik in jedem Fall auch mit unerwünschten Nebenwirkungen verbunden ist, die es präventiv zu minimieren gilt. Zum anderen ist die ökologische Debatte zu erwähnen, die die Grenzen des Wachstums (vgl. MEADOWS *et al.*, 1972) und die zunehmende Belastung der Umwelt als wesentliche Risiken sieht, die es in Zukunft zu minimieren gilt. Mit dem Weltgipfel von Rio 1992 schrieb die internationale Völkergemeinschaft das Leitbild «Sustainable Development» fest, das eine Programmatik für die Bewältigung der gemeinsamen Zukunft der Menschheit umfasst. Damit verbunden ist die Frage, wie dieses Leitbild auf die operationelle Ebene transferiert werden kann (vgl. SNELLGROVE, 1995). Im Umweltgutachten 1994 (SACHVERSTÄNDIGENRAT, 1994) wird eine Vorgehensweise umschrieben, wie das Leitbild schrittweise umgesetzt werden kann. Eine erste Konkretisierungsphase leitet Handlungsprinzipien her, die in Form von messbaren Umweltqualitätszielen festgeschrieben werden. In einem zweiten Schritt werden danach sogenannte Umweltstandards definiert, die für die Wirtschaftseinheiten als Leitlinien für ökologische Verbesserungen dienen sollen (vgl. ARBEITSGRUPPE UMWELTSTANDARDS, 1992). In einem dritten Schritt muss das Kernproblem gelöst werden: Es sind geeignete Instrumente zu entwickeln und anzuwenden, die in der Lage sind, Abweichungen der Ist-Umweltsituation von den Umweltstandards zu messen und entsprechende Korrekturmassnahmen einzuleiten und durchzusetzen.

Umweltmanagementsysteme sind Gesamtkonzepte, die die drei genannten Konkretisierungsschritte integrieren. Sie sind Führungssysteme, die es den Unternehmen ermöglichen, die Umweltverträglichkeit ihrer Produkte und Prozesse kontinuierlich zu verbessern. Die innerbetrieblichen Führungsanstrengungen zielen darauf ab, die Ursachen der Umweltprobleme zu bekämpfen und damit auf der Inputseite des Systems anzusetzen. Umweltschutz wurde lange Zeit nur durch Gesetze und verbindliche technische Vorschriften geregelt. Die Aktivitäten der Unternehmen beschränkten sich auf die nachträgliche Beseitigung umweltschädlicher Substanzen, was auch mit «end-of-pipe»-Philosophie umschrieben wird. Die Europäische Union erliess bereits 1993 die sogenannte Ökoaudit-Verordnung, die Umweltmanagementsysteme standardisierte (EMAS, 1993). Die internationalen Bestrebungen führten zum Erlass der ISO-Normenreihe 14000, die die verschiedensten Aspekte von Umweltmanagementsystemen regelt (ISO 14001, 1996). Umweltmanagement ist ein Gesamtkonzept, das verschiedene Instrumente umfasst,

worunter Ökobilanzen, Ökolabels und Ökoaudit besonders zu erwähnen sind. Das Instrument der Ökobilanz (*Life Cycle Assessment LCA*) wurde entwickelt, um die potentiellen Umweltwirkungen von Produktionssystemen nachvollziehbar zu vergleichen und die Entscheidungsfindung zu unterstützen. Für das Produkt Holz liegen Ökobilanz-Untersuchungen vor (RICHTER, 1991; ZIMMER und WEGENER, 1996), die allerdings die Rohholzbereitstellung durch die Forstwirtschaft ziemlich pauschal behandeln. Dies lässt sich damit begründen, dass die nachgelagerten Energie- und Stoffströme ein Mehrfaches der vorgelagerten Stufen betragen. Aus Sicht der Forstwirtschaft selbst stellt sich die Problematik etwas differenzierter, weshalb in jüngster Zeit Anstrengungen unternommen wurden, die forstwirtschaftlichen Tätigkeiten einer gründlichen ökologischen Analyse zu unterziehen. Zu erwähnen ist insbesondere die COST-Aktion E9 «*Life Cycle Analysis of Forestry and Forestry Products*» (COST ist eine Struktur zur Koordination nationaler Forschungsaktivitäten auf europäischer Ebene). Der Start der Aktion ging von der Erkenntnis aus, dass es in der Forst- und Holzwirtschaft an einer übergeordneten, sektorübergreifenden Abstimmung und Harmonisierung der Ökobilanzmethoden fehlt. Die COST-E9-Aktivitäten begannen im Jahre 1997 und sollen bis 2001 abgeschlossen werden. Als Resultate sind eine Dokumentation und Vervollständigung der Methoden sowie Richtlinien für die Erfassung der Grundlagendaten, insbesondere der Stoff- und Energieflüsse, zu erwarten. Lebenszyklus-Analysen für die Rohholzbereitstellung liegen nur wenige vor. KARJALAINEN und ASIKAINEN (1996) betrachten die finnische Forstwirtschaft als Ganzes, während WINKLER (1996) verschiedene Holzertesysteme untersucht. Die vorhandenen ökologischen Analysen der Prozesskette «Rohholzbereitstellung» zeichnen sich durch eine statische Betrachtung und durch relativ pauschale Annahmen aus, womit die Vielfalt der Standorte, Nutzungsstrategien und Produktionssysteme kaum repräsentativ abgebildet werden kann.

Der vorliegende Aufsatz bezweckt, die wesentlichen Elemente des aktuellen Wissensstandes über die Methodik der Ökobilanz und ihre Einordnung ins Gesamtsystem des Umweltmanagements darzustellen und den zentralen Teilschritt «Inventaranalyse» exemplarisch zu illustrieren. Die grundlegenden Konzepte des Umweltmanagements werden vorgestellt, die Vorgehensweise der Ökobilanz-Methodik, wie sie aufgrund der internationalen Normung festgelegt wurde, erläutert und ein Beispiel eines Ökoinventars für den Bereich Transportsysteme gegeben.

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

## 2. Grundlegende Konzepte

### 2.1 Umweltbewusstes Handeln

Die Entwicklung der modernen Natur- und Ingenieurwissenschaften hat zu einem umfangreichen Wissen geführt, wie technisch-ökonomisches Handeln optimiert werden kann. Die Problemstellung, wie sich umweltbewusstes Handeln operationalisieren lässt, wurde erst im letzten Drittel des 20. Jahrhunderts aufgegriffen und ist noch nicht schlüssig geklärt. Die Diskussionen des BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT im Vorfeld des Rio-Gipfels von 1992 führten zum Handlungsprinzip der sogenannten «Ökoeffizienz», das nach Ansicht des Vorsitzenden eines der zentralen Ergebnisse der Rio-Konferenz ist (SCHMIDHEINY, 1992). Das WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT umschreibt Ökoeffizienz als *Schaffung von ökonomischen Werten bei gleichzeitiger Reduktion der ökologischen Wirkungen und des Ressourcenverbrauchs* (DE SIMONE und POPOFF, 1997). Damit sind zwei grundlegende Zielsetzungen angesprochen, die GALEANO (1995) oder auch HEINIMANN (1996) darlegen. Zum einen geht es darum, den Verbrauch von Umweltressourcen (biotische Rohstoffe, abiotische Rohstoffe, Wasser, Energie, Raum) zu minimieren. Zum zweiten sollen die unerwünschten Wirkungen auf die natürliche Umwelt, die soziale Mitwelt und den Menschen vorbeugend eingegrenzt werden (vgl. HEINIMANN, 1996). Damit sich diese Grundsätze in das Denken und Handeln integrieren lassen, werden verschiedene Instrumente benötigt. Zu erwähnen wäre beispielsweise die Umweltverträglichkeitsprüfung, die die Umweltwirkungen von grösseren Projektvorhaben abschätzen und vorbeugend eingrenzen möchte. Betrachtet man nicht ein Projekt, sondern ein Produktionssystem oder Produkt, so wird als Instrument in der Regel eine Ökobilanz verwendet (vgl. BUWAL, 1990).

### 2.2 Umsetzung des Leitbildes «Nachhaltige Entwicklung»

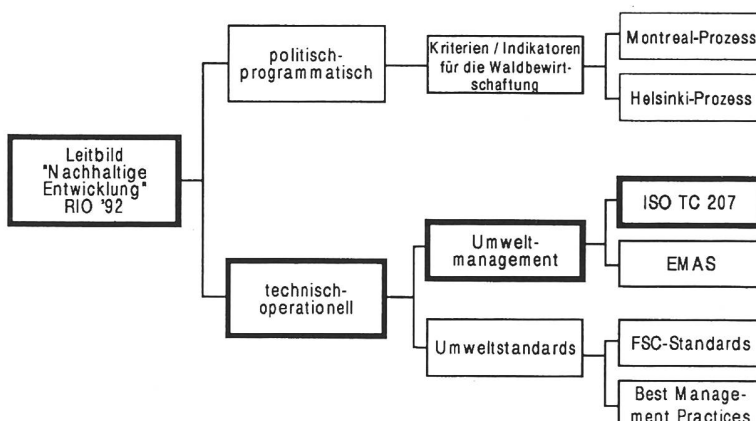
Zur Umsetzung des Leitbildes «Dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung unter Einbeziehung des Vorsorgeprinzips» (SACHVERSTÄNDIGENRAT, 1994) sind Massnahmen auf verschiedenen Ebenen notwendig. *Abbildung 1* gibt einen Überblick über die Umsetzung des Leitbildes der «nachhaltigen Nutzung». Im Nachgang zur Konferenz von Rio 1992 entstanden mehrere forstliche Folgeprozesse, die sich zum Ziel setzten, Kriterien und Indikatoren zu entwickeln, um eine nachhaltige Waldbewirtschaftung zu fördern. Ziel derartiger Kriterien und Indikatoren ist es, nationale Ziele, Politiken und Programme auf das internationale Leitbild «Nachhaltige Entwicklung» auszurichten (CSD, 1997). Gemäss einer Übersicht der UN-Kommission für nachhaltige Entwicklung sind es drei

Prozesse, die zur Entwicklung von Kriterien und Indikatoren beigetragen haben: der Montreal-Prozess, der Helsinki-Prozess und der sogenannte ITTO-Prozess (CSD, 1997).

Die technisch-operationelle Ebene zielt auf Unternehmungen und Betriebe ab. Ein wichtiges Ziel dabei ist, dass die Betriebe Eigenverantwortung übernehmen, wozu sie geeignete Umweltführungssysteme benötigen, die mit Umweltmanagementsystemen umschrieben werden. Ausgehend von den Erfahrungen mit Qualitätsmanagementsystemen wurden Umweltmanagementsysteme standardisiert. Die EUROPÄISCHE UNION entwickelte 1993 die Ökoauditverordnung, die einen multinationalen Standard für Umweltmanagementsysteme festschreibt (EMAS, 1993). Die internationale Normenorganisation ISO setzte die technische Kommission 207 ein, die für den gesamten Bereich von Umweltmanagementsystemen die entsprechenden Instrumente erarbeiten muss. Die Resultate werden in der Normenreihe ISO 14000 festgehalten, wovon einige bereits erschienen sind (ISO 14004, 1996; ISO 14040, 1997). Normen über Umweltmanagement regeln die Gestaltung und die Überprüfung des Umweltführungssystems, sie sagen jedoch nur wenig über die zu erreichenden Umweltziele aus. Umweltziele sind branchen-, standorts- und betriebsspezifisch festzulegen. Verschiedene Wirtschaftssektoren haben in der Zwischenzeit ihre eigenen Branchenstandards festgeschrieben. Unter Umweltstandards sind Rechtsvorschriften, Verwaltungsvorschriften, Regeln von Professionen sowie freiwillige Vereinbarungen zu verstehen, die die minimale Zielerreichung für verschiedene Umweltbereiche in messbarer Form festlegen. Umweltstandards legen kritische Verbrauchsdaten, kritische Schadstoffkonzentrationen in der Atmosphäre (*critical level*), kritische Eintragsraten (*critical loads*) sowie kritische strukturelle Veränderungen der natürlichen Systeme fest. Im Bereich der Forstwirtschaft sind Umweltstandards noch wenig entwickelt. Die vom FOREST STEWARDSHIP COUNCIL (FSC) festgelegten Kriterien legen für ausgewählte Umweltbereiche eine Art Standards fest, die jedoch für die Operationalisierung präzisiert werden müssen. Die EU-Ökoauditverordnung (EMAS, 1993) erwähnt den Begriff «Gute Managementpraktiken», um branchenspezifische Umweltstandards zu umschreiben. Im forstlichen Bereich werden derartige *Gute Managementpraktiken* in Form von sogenannten *Codes of Forest Practices* oder *Best Management Practices* festgehalten. Es zeigt sich jedoch, dass noch viel Entwicklungsarbeit nötig ist, um zu einem konsistenten System von forstlichen Umweltstandards zu kommen.

### 2.3 Umweltmanagementsysteme

EMAS (1993) definiert Umweltmanagementsysteme als « der Teil des gesamten übergreifenden Managementsystems, der



*Abbildung 1:* Umsetzung des Leitbildes «Nachhaltige Entwicklung». Für die technisch-operationelle Ebene (Unternehmung, Betrieb) werden die Umweltziele im Rahmen von Umweltmanagementsystemen umgesetzt. Die ISO-Kommission TC 207 wurde mit der Erarbeitung entsprechender Normen beauftragt.

die Organisationsstruktur, Zuständigkeiten, Verhaltensweisen, förmliche Verfahren, Abläufe und Mittel für die Festlegungen und Durchführung der Umweltpolitik einschliesst».

Die Arbeit und Organisation der ISO-Kommission 207 zeigt, welche Komponenten in einem Umweltmanagementsystem benötigt werden, damit die ökologischen Wirkungen einer Unternehmung analysiert und kontinuierlich verbessert werden können (vgl. *Tabelle 1*). In der ISO-Normenreihe 14000 sind zurzeit zwölf Normen geplant, von denen derzeit gut die Hälfte erhältlich ist. Die ISO-Kommission schlägt fünf Instrumente vor: *Umweltmanagementsysteme, Ökoaudit, Ökolabel, Öko-Controlling und Ökobilanz*. Für die Analyse und Bewertung der Umweltwirkungen sind die Instrumente Öko-Controlling (Subkommission 4) sowie die Methodik der Ökobilanz (Subkommission 5) von besonderer Bedeutung. Der Unterschied besteht darin, dass sich die Ökobilanz mit Produkten entlang ihres Lebenszyklus beschäftigt, d.h. «von der Wiege bis zur Bahre», während sich «Öko-Controlling» mit einer betrieblichen Bilanzierung über sämtliche Produkte und Dienstleistungen befasst. Die beiden Instrumente haben eine Gemeinsamkeit, die Analyse von Stoff- und Energieflüssen. *Tabelle 1* zeigt aber auch, dass Ökolabels nur ein Teil eines gesamten Umweltmanagementsystems sind und dass die Lancierung eines Ökolabels ohne ein umfassendes Umweltmanagementsystem wenig Sinn macht. Nachfolgend geht es darum, das Instrument Ökobilanz, wie es die Subkommission 5 von ISO behandelt hat, eingehender zu behandeln.

**Tabelle 1: Organisation der ISO-Kommission «Umweltmanagement».** Die Kommission ist verantwortlich für die Normenreihe ISO 14000ff. Die in der Spalte «ISO-Normen» mit Jahrzahl versehenen Nummern bedeuten, dass die entsprechenden Normen veröffentlicht wurden.

Subkommission	Bezeichnung	ISO-Normen
TC 207 / SC 1	Umweltmanagementsysteme	14001: 1996
		14004: 1996
TC 207 / SC 2	Ökoaudit und entsprechende Umweltuntersuchungen	14010: 1996
		14011: 1996
		14012: 1996
TC 207 / SC 3	Ökolabel	14020
		14021
		14024
		14031
TC 207 / SC 4	Evaluation der Umweltleistungen	14031
TC 207 / SC 5	Ökobilanz (LCA)	14040: 1997
		14041
TC 207 / SC 6	Begriffe und Definitionen	14050: 1998

### 3. Methodik der Ökobilanz (LCA)

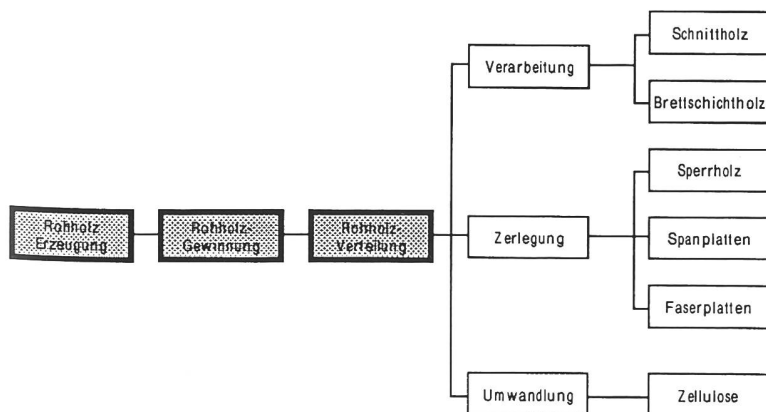
#### 3.1 Abgrenzung

Die ökologische Analyse und Bewertung menschlichen Handelns hängt stark davon ab, welche Systeme betrachtet werden. BADER und BACCINI (1996) beschreiben fünf übliche

Systeme, die für ökologische Analysen verwendet werden: (1) Produkt, (2) Betrieb, (3) Region, (4) Ressourcennutzung und (5) geogene Ökosysteme. Der einfachste methodische Ansatz, um eine ökologische Analyse und Bewertung vornehmen zu können, ist eine statische Input-Output-Bilanz. In diesem Sinne erfasst und bewertet eine Ökobilanz die Stoff- und Energieströme für ein bestimmtes Produkt entlang des ganzen Produktlebenszyklus, d.h. von der Herstellung, dem Vertrieb, der Nutzung, der Stilllegung bis hin zur Auflösung. Die Bilanzierung ist rein statisch und vermag Veränderungen, die sich durch verschiedenste Einflussgrößen im Lauf der Zeit ergeben, nur schlecht zu erfassen. Betrachtet man die gesamtbetrieblichen Stoff- und Energieströme, so spricht man von Öko-Controlling, was auch mit ökologischer Buchhaltung umschrieben werden könnte. BADER und BACCINI (1996) bemängeln, dass die klassischen Ökobilanz- und Öko-Controlling-Ansätze nicht ausreichen, um das Verhalten von Systemen bei veränderten Bedingungen vorhersagen zu können. Sie entwickelten deshalb einen allgemeinen Formalismus, der die Stoff- und Energieflüsse physikalisch-naturwissenschaftlich beschreiben kann. Ihr Ansatz ermöglicht eine gleichzeitige Behandlung aller Komponenten eines Systems von einer punktuellen bis hin zu einer globalen Sicht. Besonders interessant für forstliche Fragestellungen sind Stoffhaushaltüberlegungen in einem regionalen Kontext (vgl. BACCINI und BADER, 1996).

#### 3.2 Prozesskette als Ausgangspunkt

Voraussetzung für die Analyse und Bewertung der Stoff- und Energieströme ist, dass man das zu betrachtende System versteht. Prozessmodelle (*Abbildung 2*) sind eine konzeptionelle Abbildung der Wirklichkeit und beschreiben die Stoff- und Materieströme entlang einer Wertschöpfungskette. Eine Ökobilanz identifiziert eine Prozesskette, die in *Abbildung 2* beispielsweise zwischen biologischer Rohholzerzeugung und dem Produkt Türzargen liegen könnte. Entscheidend ist, dass der Lebenszyklus systematisch strukturiert wird. Für Holzprodukte wurden verschiedene Analysen und Bewertungen nach der Ökobilanzmethode vorgenommen, die, wie bereits erwähnt, die Stufe der Rohholzbereitstellung sehr pauschal analysieren und bewerten. Wenn man von der Frage ausgeht, wie die Forstwirtschaft ihre eigenen Produktionsprozesse ökologisch optimieren kann, genügt eine pauschale Bewertung bei weitem nicht. Die drei Subsysteme (biologische Rohholzerzeugung, Rohholzgewinnung und Rohholzdistribution) müssen eingehender analysiert werden, wobei insbesondere die ganze Palette von Produktionsverfahren, d.h. von bodengestützten bis zu luftfahrzeuggestützten, in die Analyse einbezogen werden müssen. KARJALAINEN und ASIKAINEN (1996) präsentieren eine Ökobilanz für die Tätigkeiten der finnischen Forstwirtschaft anhand des Indikators Energie. Sie kommen



**Abbildung 2: Prozesskette Holz.** Ein umfassendes Verständnis der Prozessketten ist Voraussetzung, um die Stoff- und Energieströme entlang eines Produktlebenszyklus zu quantifizieren.

zum Schluss, dass Finnlands Forstwirtschaft rund 400 000 Tonnen CO<sub>2</sub> emittiert. Interessant ist ihre Feststellung, dass rund 10% auf das biologische Subsystem entfallen, rund 33% auf die Rohholzgewinnung und rund 57% auf die Rohholzverteilung. Wie zu erwarten, machen die Anlage und der Unterhalt der Strassennetze einen ganz wesentlichen Teil der Umweltwirkungen der finnischen Forstwirtschaft aus. Bei der Rohholzbereitstellung wirkt sich auch das Stückvolumen-Prinzip auf die normierten Ökoinventarwerte aus, wodurch die Zuordnung von Umweltlasten zum Produkt Rohholz nicht linear ist (HEINIMANN, 1996). Im Schwachholzbereich ist mit ca. viermal höheren Werten zu rechnen als im Starkholzbereich, weshalb Starkholzproduktion aus ökologischer Sicht auch in Zukunft Sinn macht. Es wird noch einiges an Entwicklungsarbeit nötig sein, um die ersten groben Ergebnisse zu verifizieren und zu verfeinern.

### 3.3 Methodisches Konzept

Der Stand des Wissens über Ökobilanzen ist bei HEIJUNGS (1997) ausführlich beschrieben. Er schlägt zudem einen mathematischen Formalismus vor, um die Analyse-Schritte einfach und nachvollziehbar zu beschreiben und durchzuführen. *Abbildung 3* zeigt das Vorgehen beim Erstellen einer Ökobilanz. Die Teilschritte sind bei ISO 14040 sowie bei HEIJUNGS *et al.* (1992) dargestellt. ISO 14040 definiert die Einzelteilschritte wie folgt:

- **Systemgrenzen:** Festlegen der Schnittstellen zwischen einem Produktsystem und seiner Umwelt oder anderen Produktsystemen;
- **Inventaranalyse (Sachbilanz):** Zusammenstellung und Quantifizierung von Inputs und Outputs eines gegebenen Produktsystems im Verlauf seines Lebenszyklus erfasst;
- **Wirkungsabschätzung (Wirkungsanalyse und Bewertung):** Erkennen und Beurteilen der Grösse und Bedeutung von potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems;
- **Auswertung:** Zusammenführen der Ergebnisse von Sachbilanz und/oder Abschätzung der Wirkung, um Schlussfolgerungen und Empfehlungen zu geben.

Die Systemdefinition und -abgrenzung kann anhand einer Prozesskette, wie sie *Abbildung 2* zeigt, vorgenommen werden. Es geht darum, einen produktspezifischen Prozesspfad zu definieren sowie die Schnittstellen zur Umwelt und zu anderen Produktsystemen festzulegen. Im nächsten

Schritt folgt die Analyse sämtlicher Inputs und Outputs, die HEIJUNGS *et al.* (1992) in vier Kategorien aufteilen:

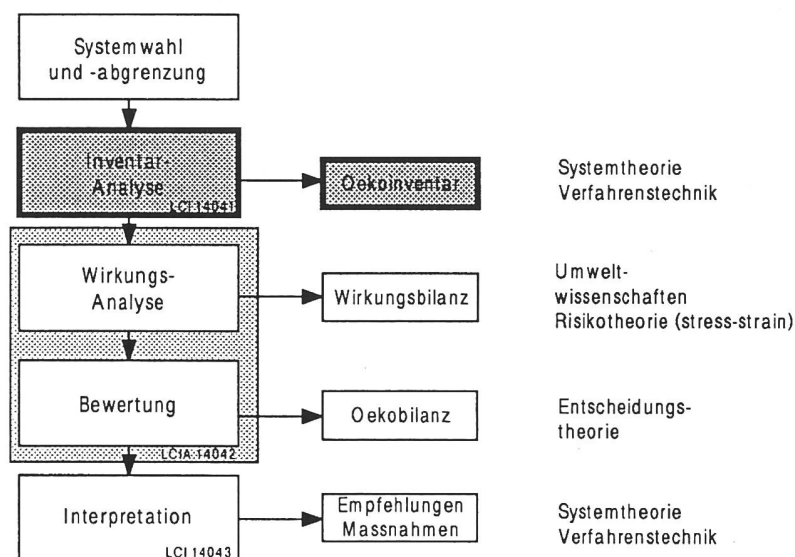
- Ökonomische Inputs;
- Ökonomische Outputs;
- Umweltinputs (biotische Ressourcen, abiotische Ressourcen, Energieträger, Wasser, Raum);
- Umweltoutput (Emissionen, Strahlung, Lärm, Hitze, Licht, Unfälle).

BADER und BACCINI (1996) erwähnen, dass es darum geht, die entlang der Prozesskette verursachten Stoff- und Energieströme zu erfassen. Die betrieblichen Werte müssen normiert, d.h. auf eine Produkteinheit bezogen werden. Um diese Normierung vornehmen zu können, benötigt man sogenannte Allokationsmodelle (Zuordnungsmodelle), die in einem Produktionsprozess in der Regel in Form von Produktionsfunktionen quantifiziert werden (vgl. HEIJUNGS, 1997; FRISCHKNECHT, 1998). Sämtliche Input- und Outputdaten werden auf eine Zeiteinheit umgerechnet, womit sich einfache Allokationsregeln definieren lassen.

Die Wirkungsanalyse untersucht die Emissions-Expositions-Wirkungskette. Sie hängt davon ab, welche Risiken am Ende der genannten Kette als wichtig erachtet werden. Es sind drei Problembereiche, die für die Wirkungsanalyse massgebend sind (vgl. HEIJUNGS, 1992):

- Die Erschöpfung natürlicher Ressourcen;
- Stoffeintrag in die Atmosphäre, die Pedosphäre, die Hydrosphäre und die Biosphäre;
- Schädigung natürlicher Ökosysteme und des Menschen (Ökotoxizität, Humantoxizität).

Die Daten eines Ökoinventars müssen in der Wirkungsanalyse zu Wirkungskategorien zusammengefasst werden. Beispiele von Wirkungskategorien sind Treibhausgaspotential, Ozonzerstörungspotential, Humantoxizität, Bodenversauerungspotential. Wirkungsanalysen können nur durchgeführt werden für Umweltrisiken, die bekannt sind. Dadurch ist zu erklären, dass Wirkungsanalysen, die vor dem Erkennen des Treibhausgasrisikos erstellt wurden, dieses Risiko nicht berücksichtigen konnten. Es ist auch in Zukunft damit zu rechnen, dass neue Umweltrisiken auftreten werden, die wir heute noch nicht erkennen können. Die Bewertung bezweckt, die verschiedenen Wirkungsdimensionen auf eine regionale oder globale Referenzskala abzubilden. Bewertung ist ein Prozess, der auf einem normativen Wertesystem aufbaut, das den einzelnen Umweltrisiken ein entsprechendes Gewicht



*Abbildung 3:* Methodisches Konzept für das Erstellen von Lebenszyklus-Analysen (LCA). Die Abgrenzung des zu analysierenden Systems muss für jeden Einzelfall neu vorgenommen werden. Die nachfolgenden Analysephasen werden in den ISO-Normen 14041 (Inventar-Analyse), 14042 (Wirkungs-Analyse und -Bilanzierung) sowie 14043 (Interpretation) definiert. Die Phasen Bewertung und Interpretation orientieren sich an einem normativen Wertesystem, womit je nach Wertmassstab unterschiedliche Gesamtbeurteilungen möglich sind.

zumessen muss. Methoden zur Abschätzung und Bewertung ökologischer Risiken fehlen bis anhin. Es ist deshalb verständlich, dass insbesondere für die Bewertung viele Fragen offen sind, die nur mit sozialwissenschaftlichen Ansätzen weiterverfolgt werden können.

Die Gesamtauswertung beinhaltet nach ISO 14043 (1996) die Identifikation der massgebenden Inputs, Outputs und Umweltwirkungen, die Überprüfung der Sensitivitätenanalyse sowie Empfehlungen, wie die Umweltrisiken minimiert und das Produktsystem verbessert werden können. In der Regel sollte die Auswertung so aufbereitet sein, dass die Entscheidungsträger die Grundlagen besitzen, um nötige Steuer- und Korrekturmassnahmen einzuleiten.

## 4. Beispielhafte Sachbilanz

### 4.1 Vorgehen

Die Arbeit von FRISCHKNECHT (1998) befasst sich ausführlich mit dem Problem der Ökoinventare. Sie analysiert auch die Allokationsproblematik, d. h. das Aufteilen von Umwelt-Inputs und -Outputs auf Einheitsprozesse und Produkte, was neben der Bewertung eines der Kernprobleme der Ökobilanzierung ist. *Abbildung 4* zeigt die verschiedenen Aggregationsstufen, die beim Erstellen eines Ökoinventars durchlaufen werden müssen. Die Überlegungen gehen von einem Produktionssystem aus, für das sämtliche Verbrauchsgüter, technischen Systeme und Energiesysteme einzeln identifiziert werden. Für jedes Teilsystem werden anschliessend die Inputs von Energieträgern und Werkstoffen erhoben, dies über sämtliche Phasen des Lebenszyklus (Rohmaterialgewinnung, Herstellung, Nutzung, Stilllegung, Auflösung). Die Basisdaten von SUTER, FRISCHKNECHT *et al.* (1996) ermöglichen es, die Umweltlasten («ökologische Rucksäcke») der verschiedenen Basismaterialien auf einer einheitlichen Grundlage zu bestimmen. Mit Hilfe von Produktivitätsmodellen lassen sich die Stoff- und Energieflüsse auf eine Produkteinheit (= 1 m<sup>3</sup>) umrechnen.

### 4.2 Beispiel eines Ökoinventars

Wie KARJALAINEN und ASIKAINEN (1996) feststellten, entfallen knapp 60 % der Umweltwirkungen der forstlichen Produktion auf die Phase der Langstrecken-Holztransporte. Für die ökologische Optimierung der Rohholzbereitstellung sind deshalb die Transporte sowie die dafür notwendige Infrastruktur von besonderer Bedeutung. MAIBACH *et al.*

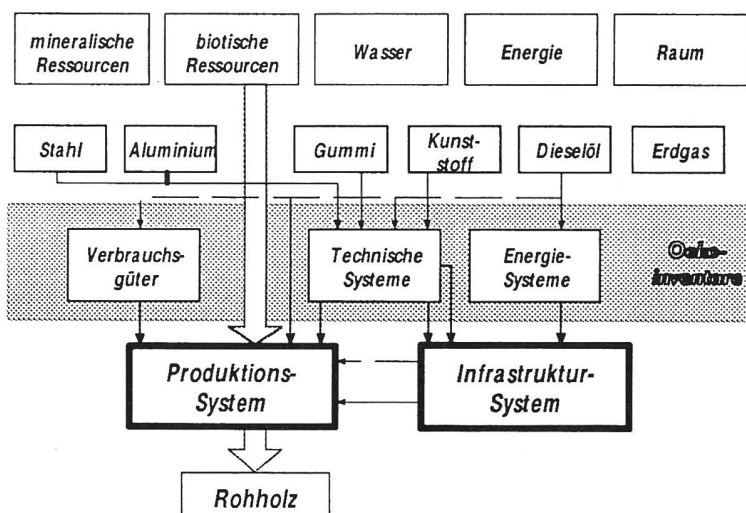
(1995) haben im Rahmen des Schwerpunktprogrammes Umwelt ein Ökoinventar für Transportsysteme erstellt, das die Grundlage für die *Abbildung 5* darstellt. In *Abbildung 5* ist lediglich der Indikator Energieverbrauch pro Tonnenkilometer dargestellt. Die Analyse basiert auf der Annahme, dass die Nutzlast der betrachteten Transportsysteme voll ausgenutzt wird. Das Ökoinventar ermöglicht es auch, andere ökologische Wirkungen wie das Treibhausgaspotential abzuschätzen. Vier landgestützte Transportsysteme werden mit einem wassergestützten Transportsystem (Hochseecontainer) sowie einem luftgestützten Transportsystem (Frachtflugzeug) verglichen. Der totale Durchsatz von nicht erneuerbarer Primärenergie wird auf vier Kategorien aufgeteilt:

- Betrieb des Fahrzeugs;
- indirekte Energie (Herstellung, Unterhalt und Entsorgung);
- Voraufwände der Energieträger (Prospektion, Förderung, Transporte);
- Transportinfrastruktur, d. h. Herstellung, Unterhalt und Entsorgung sämtlicher dafür benötigter Baumaterialien.

*Abbildung 5* zeigt, dass der Hochseecontainertransport mit Abstand am günstigsten abschneidet. Am zweitgünstigsten ist das System «rollende Landstrasse», das rund fünfmal so viel Energiedurchsatz benötigt wie das Hochseecontainerkonzept. Die günstigste Lastwagenvariante ist der Lastwagentyp «EU 40 Tonnen», der rund zwölfmal so viel Energie benötigt wie das Hochseecontainersystem. Am schlechtesten schliesslich schneidet ein 16-Tonnen-Lastwagensystem ab, wie es in der Schweiz noch verbreitet ist, das rund zweimal so viel Energie pro Tonnenkilometer benötigt wie ein 40-Tonnen-LKW nach EU-Norm. Bezüglich Energie mit Abstand am schlechtesten schneidet der Lufttransport ab, der vor allem durch den hohen Treibstoffverbrauch bedingt ist. Eine Bewertung muss zwingend andere Umweltrisiken mitberücksichtigen, womit je nach Wertesystem auch unterschiedliche Entscheide entstehen können.

## 5. Ausblick

Der vorliegende Beitrag ging von der Frage aus, wie das Leitbild «Dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung unter Einbezug des Vorsorgeprinzips» auf die operationelle Ebene der Forstwirtschaft übertragen werden kann. Im Industriebereich gehen die Bestrebungen dahin, Umweltverträglichkeit im Rahmen von integrierten Führungssystemen zu realisieren.



*Abbildung 4:* Aggregationsstufen beim Erstellen eines Ökoinventars. Ein Ökoinventar aggregiert den Verbrauch von Umweltinput (Rohstoffe, Wasser, Energie, Raum usw.) und die Produktion von Umweltoutput (Emissionen, Strahlung usw.) für bestimmte Systeme. Die Daten von SUTER, FRISCHKNECHT *et al.* (1996) ermöglichen es, unterschiedlichste Analysen auf eine einheitliche, vergleichbare Basis zu beziehen.

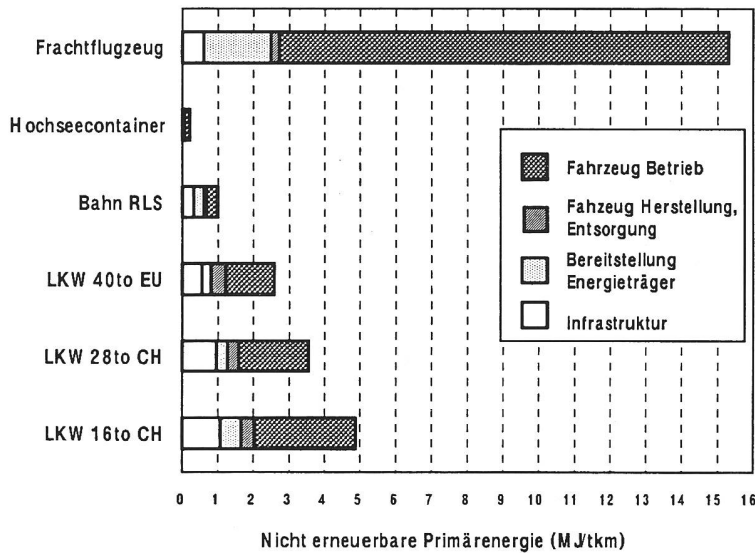


Abbildung 5: Vergleich verschiedener Transportsysteme anhand des Input-Indikators Energie (nach MAIBACH *et al.*, 1995). Die Werte beziehen sich auf die Produkteinheit «Tonnenkilometer» und gelten nur, wenn die Nutzlast der Systeme ausgenützt wird.

Für den Umweltbereich wurden standardisierte Umweltmanagementsysteme entwickelt, die in multinationalen und internationalen Normen festgehalten sind. Aufgrund der analysierten Literatur lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Umweltmanagementsysteme dienen als Gesamtkonzept für die Realisierung der ökologischen Anliegen von Wirtschaftseinheiten. Die ISO-Norm 14000 schlägt fünf Instrumente vor. Umweltmanagementsysteme sind Gesamt-Führungskonzepte für die Operationalisierung, die Zielfestlegung, Massnahmenplanung, Monitoring sowie Korrektur und Verbesserungsmassnahmen integrieren. Die Methodik der Ökobilanz ermöglicht es, eine ökologische Analyse und Bewertung von Produktionssystemen vorzunehmen, während Öko-Controlling die Kenn- und Steuergrössen eines Betriebes erfasst und diese auf «Schadschöpfungsstellen» und «Schadschöpfungsträger» umlegt. Ökoaudit und Ökolabel sind Instrumente zur Qualitätssicherung und zur Kommunikation der Qualität.
- Die Methodik der Ökobilanz (*Life Cycle Assessment LCA*) ermöglicht es, die ökologischen Wirkungen eines Produktes entlang des gesamten Produktlebenszyklus zu analysieren und zu bewerten.
- Ökobilanzen für forstliche Produktionssysteme und somit für das Produkt Rohholz sind nur wenige vorhanden. Sie basieren zudem auf pauschalen Annahmen und erlauben es nicht, die Vielfalt von Standortverhältnissen und technischen Systemen zu berücksichtigen.
- Der Prozessschritt «Distribution des Rohholzes» verursacht rund die Hälfte bis zwei Drittel sämtlicher ökologischer Wirkungen von Rohholz, wovon ein wesentlicher Teil auf den Bau und die Instandhaltung der Erschliessungsanlagen entfallen.

Die Forstwirtschaft hat die Idee von Umweltmanagementsystemen erst ansatzweise aufgenommen. Ihre Diskussionen konzentrieren sich zurzeit auf den Teilaspekt der Zertifizierung und des Labeling, die nur einen kleinen Teil eines umfassenden Umweltmanagementsystems darstellen. Es ist aber auch zu prüfen, ob Betriebe oder Regionen eine Art Öko-Controlling für die Primärproduktion einführen könnten, damit sie ihre «Schadschöpfung» transparent ausweisen können. Die Einführung standardisierter Umweltmanagementsysteme nach dem Muster von EMAS (1993) und ISO 14001 (1996) sollte ernsthaft geprüft werden. Interessante Ansätze legt der FINNISCHE FORSTVEREIN (1998) vor. Finnland hat überwiegend kleinflächige

Besitzerstrukturen, weshalb eine Zertifizierung auf der Stufe des Betriebes wenig Sinn macht. Der finnische Forstverein ist bestrebt, Umweltmanagementsysteme nach dem Muster von ISO 14000 für ganze Waldgebiete einzuführen. Waldbesitzervereine übernehmen die Verantwortung für die Implementierung und die Umsetzung des Umweltmanagementsystems. Es bleibt zu hoffen, dass die schweizerische Forstwirtschaft mit Initiative daran geht, ihre Prozesse und Produkte ökologisch zu optimieren.

## Zusammenfassung

Am Umweltgipfel von Rio 1992 schrieb die internationale Völkergemeinschaft das Leitbild «Sustainable Development» fest, das eine Programmatik für die Bewältigung der Umweltprobleme umfasst. Es stellt sich die Frage, wie dieses Leitbild auf die operationelle Ebene, d.h. die Stufen Unternehmung und Produktionsbetrieb übertragen werden kann. Der vorliegende Beitrag will das Konzept Umweltmanagement als einen möglichen Lösungsansatz vorstellen, die Komponenten der Ökobilanzmethodik diskutieren und Überlegungen zur ökologischen Bewertung und Analyse des Produktes «Rohholz» anstellen.

Innerhalb eines Umweltmanagementsystems sind verschiedene Komponenten nötig, damit die unterschiedlichen Anliegen realisiert werden können. Die wichtigsten sind: Ökobilanz, Öko-Controlling, Ökoaudit und Ökolabel. Zurzeit sind nur wenige Studien vorhanden, die das Produkt «Rohholz» ökologisch analysieren und bewerten. Zudem basieren die Studien auf pauschalen Annahmen, die der Vielfalt der Produktionsstandorte und Produktionsverfahren nicht gerecht werden können. Aus den Studien geht auch hervor, dass der Prozessschritt «Rohholz-Distribution» zwischen der Hälfte und zwei Dritteln der ökologischen Wirkungen ausmacht, was zu einem grossen Teil durch die Anlage und den Unterhalt von Waldstrassennetzen bedingt ist. Es lässt sich ein eindeutiger Trend feststellen, dass die Industrie integrierte Umweltmanagementsysteme nach EU- und ISO-Normen einführt. Damit stellt sich für die Forstwirtschaft die Frage, ob sie einen eigenen Weg gehen will oder ob sie die Industrielösung sinnvoll auf ihr Tätigkeitsfeld übertragen will. Damit ein sinnvolles Umweltmanagement betrieben werden kann, müssen dringend Umweltstandards für die forstliche Produktion entwickelt sowie verschiedene Prozess- und Produktvarianten mit Ökobilanzen analysiert und bewertet werden. Es wird auch zu prüfen sein, inwiefern sich Umweltmanagementsysteme auf regionaler Basis einführen lassen, wie dies die finnische Forstwirtschaft tut.

## Résumé

### Ecobilan des systèmes de production forestière – relations avec les systèmes de gestion environnementale et un aperçu du concept méthodique

Au sommet mondiale sur l'environnement de Rio en 1992, la communauté des nations a adopté la charte «Sustainable Development», qui englobe un programme pour résoudre les problèmes d'environnement. La question est de savoir, de quelle manière cette charte peut être appliquée sur le plan opérationnel, c'est-à-dire dans l'entreprise et dans la production. Dans cet article, l'auteur présente le concept «gestion de l'environnement» comme une approche possible au sujet de l'évaluation écologique du produit «bois».

Dans le cadre d'un système de gestion environnementale, différents éléments sont nécessaires pour pouvoir satisfaire les différentes exigences. Il s'agit essentiellement de l'écobilan, de l'éco-controlling, de l'écoaudit et de l'écolabel. Actuellement, il n'existe que peu d'études qui analysent et évaluent le produit «bois» du point de vue écologique. En outre, ces études se basent sur des données sommaires qui ne prennent pas en considération la diversité des processus et des lieux de production. Il résulte également de ces études que plus de la moitié des effets écologiques proviennent de la distribution du produit «bois», c'est-à-dire avant tout de la construction et de l'entretien des routes forestières. La tendance actuelle de l'industrie est d'introduire des systèmes de gestion de l'environnement normés selon les directives de la Communauté européenne et celles de l'ISO. Pour l'économie forestière, il s'agit maintenant de savoir, si elle veut aller son propre chemin ou si elle veut adopter la solution de l'industrie tout en l'adaptant à son domaine. Une gestion de l'environnement efficace exige le développement de standards de l'environnement pour la production forestière ainsi que l'évaluation et l'analyse de variantes de processus et de produits par la méthode de l'écobilan. En outre, il est nécessaire de vérifier dans quelles mesures des systèmes de gestion environnementale peuvent être réalisés sur le plan régional, comme cela se fait déjà dans le cadre de l'économie forestière finlandaise.

Traduction: DENISE BURLET

## Summary

### Life Cycle Analysis of Production Systems in Forestry – Interfaces to Environmental Management Systems and Review of the Methodological Framework

At the Rio World Summit of 1992 the international community proposed the concept of «sustainable development» which consists of a programmatic approach to deal with environmental problems. The problem is how to transfer this concept to the operational level, first of all to companies and production systems. The present paper attempts a review of the environmental management system approach as one of the possible solutions, discusses the components of Life Cycle Analysis methodology, and presents ideas for Life Cycle Analysis and Assessment of wood as a raw material.

Environmental Management Systems consist of several subsystems. The most important ones are: Life Cycle Analysis (LCA), Eco-Controlling, Eco-Auditing, and Eco-Labeling. At present, only a limited number of studies are available investigating Life Cycle Analysis and Assessment of wood as a raw material. These investigations are based on simplified assumptions that do not adequately represent the variability of site conditions and production techniques. One result of the studies is that about two thirds of the total environmental impact result from the «distribution» process unit, namely construction and maintenance of forest road networks. There

is a trend in industry to introduce integrated environmental management systems following ISO and EU standards. Forestry, therefore, has to deal with the question of whether to choose a proprietary approach or to adapt industrial standards. To make environmental management operable, different problems must be solved. There is a need to develop environmental standards for production systems in forestry. Moreover, several production system alternatives should be investigated using Life Cycle Analysis and Assessment methodology. An important problem is to evaluate if environmental management systems could be introduced on a regional scale as was done by Finnish forestry.

## Literatur

- ARBEITSGRUPPE UMWELTSTANDARDS (1992): Umweltstandards. Grundlagen, Tatsachen und Bewertung am Beispiel des Strahlenrisikos. de Gruyter. Berlin. 494 S.
- BACCINI, P.; BADER, H. P. (1996): Regionaler Stoffhaushalt. Erfassung, Bewertung und Steuerung. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg u. a. 420 S.
- BADER, H. P.; BACCINI, P. (1996): System-Modelle und Simulations-Programme im Umweltmanagement - Eine kritische Analyse zum Stand der Technik. GAIA, 5, 6: 263–274.
- BUWAL (1990): Methodik für Ökobilanzen auf der Basis ökologischer Optimierung. Schriftenreihe Umwelt Nr. 133, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern. 39 S.
- CSD (1997): International organizations, multilateral institutions and instruments. UN Commission on Sustainable Development. Electronic document (gopher://gopher.un.org:70/00/esc/cn17/ipf/session4/IFP97--4-EN), Stand 10. Juni 1998.
- DE SIMONE, L. D.; POPOFF, F. (1997): Eco-efficiency. The business link to sustainable development. The MIT Press. Cambridge MA u. a. 280 p.
- EMAS (1993): Verordnung Nr. 1836/93 des Rates vom 29. Juni 1993 über die freiwillige Beteiligung gewerblicher Unternehmen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 168/1.
- FINNISCHER FORSTVEREIN (1998): Qualitätsmanagementsysteme aktiv von finnischen Forstorganisationen übernommen. Waldinfo, Januar 1998, Finnischer Forstverein, Helsinki.
- FRISCHKNECHT, R. (1998): Life cycle inventory analysis for decision-making. Scope-dependant inventory system models and context-specific joint product allocation. Diss. ETH Nr. 12599. Eigenverlag, R. Frischknecht, CH-8610 Uster. 255 S.
- GALEANO, S. F. (1995): Product stewardship: an improved environmental management system to faster eco-efficiency. In TAPPI International Environmental Conference Proceedings, Part 2: 981–984. Atlanta GA.
- HEIJUNGS, R. (1997): Economic drama and the environmental stage. Formal derivation of algorithmic tools for environmental analysis and decision-support from a unified epistemological principle. Centre of Environmental Studies. Leiden. 203 p.
- HEIJUNGS, R. (final ed.) et al. (1992): Environmental life cycle assessment of products. II Backgrounds LCA. Centre of Environmental Studies. Leiden. 130 p.
- HEINIMANN, H. R. (1996): Nachhaltige Entwicklung – Herausforderungen und Lösungsansätze für die Ebenen Forstbetrieb und Forsttechnik. Schweiz. Z. Forstwes., 147, 11: 859–871.
- ISO 14001 (1996): Environmental management systems – Specification with guidance for use. International standard ISO 14001: 1996, 14 p.
- ISO 14004 (1996): Environmental management systems – General guidelines on principles, systems and supporting techniques: International standard ISO 14004: 1996, 31 p.
- ISO 14040 (1997): Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. International standard ISO 14040: 1997.
- ISO 14041 (1997): Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle inventory analysis (committee draft). 26 p.
- ISO 14042 (1997): Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment. International standard (committee draft) 19 p.

- ISO 14043 (1997): Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle interpretation. International standard (committee draft) 10 p.
- KARJALAINEN, T.; ASIKAINEN, A. (1996): Greenhouse gas emissions from the use of primary energy in forest operations and long-distance transportation of timber in Finland. *Forestry*, 69, 3: 215–228.
- MAIBACH, P.; PETER, D.; SEILER, B. (1995): Ökoinventar Transporte, SPP Umwelt. Modul 5. INFRAS. 340 S.
- MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J.; BEHRENS, W. W. (1972): *The Limits to Growth*. New York. Universe Books. (deutsch: *Die Grenzen des Wachstums*. Stuttgart. DVA).
- RICHTER, K. (1991): Ökopprofil von Holz. *Schweiz. Ingenieur und Architekt*, 39: 923–927.
- SACHVERSTÄNDIGENRAT (1994): *Umweltgutachten 1994*. Metzler-Poeschel. Stuttgart. 380 S.
- SCHMIDHEINY, S. (1992): *Kurswechsel. Globale unternehmerische Perspektiven für Entwicklung und Umwelt*. Artemis & Winkler. München. 448 S.
- SNELGROVE, T. A. (1995): Sustainability of forestry: why, what and how? In TAPPI International Environmental Conference Proceedings, Part 2: 833–839. Atlanta GA.
- SUTER, P.; FRISCHKNECHT, R. et al. (1996): *Ökoinventare von Energiesystemen - Hybrid-CD-ROM für MacOS und Windows*. 3., überarbeitete Auflage. Herausgegeben vom Bundesamt für Energiewirtschaft. Bern.
- WINKLER, C. (1996): *Vorstudie Ökoinventare von Holzertesystemen*. Interner Bericht Nr. 7. Professur für forstliches Ingenieurwesen, ETH Zürich. 24 + 27 S.
- ZIMMER, B.; WEGENER, G. (1996): Stoff- und Energieflüsse vom Forst zum Sägewerk. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 54, 4: 217–223.

*Verfasser*

Prof. Dr. HANS RUDOLF HEINIMANN, Professur für Forstliches Ingenieurwesen, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.  
E-mail: heinimann@waho.ethz.ch