

Stoff- und Energieflüsse vom Forst zum Sägewerk

B. Zimmer, G. Wegener

Die vergleichende Bilanzierung ökologischer Aspekte von Produktionsprozessen und Produkten spielt eine immer wichtigere Rolle z.B. als Entscheidungsgrundlage bei öffentlichen Ausschreibungen oder im Konsumverhalten der Endverbraucher. Von dieser Entwicklung sind auch der Rohstoff Holz und Produkte aus Holz betroffen. Die Erfassung aller Stoff- und Energieflüsse, beginnend bei der Holzproduktion im Wald über die Herstellung von Produkten bis hin zur Weiterverwertung oder Entsorgung, sind die Voraussetzung für die Aufstellung von produktbezogenen Ökobilanzen. In dieser Arbeit werden die ersten beiden Module im Lebensweg von Holzprodukten, die „Forstliche Produktion“ und die „Schnittholzerstellung“ dargestellt, strukturiert und diskutiert.

Material and energy flows from the forest to the sawmill

The comparison of the ecological aspects of production processes and products are playing an increasingly important role in the decision-making processes of e.g. public enterprise and consumer behaviour. Raw materials such as wood and wood-based products are also being affected by these developments. The listing of all material and energy flows, starting with the production of wood in the forest to the manufacturing of products up to and including the further use or disposal of wood products provides the basis for the elaboration of product-related life-cycle analyses. This paper presents, structures and discusses the first two modules "Wood Production in the Forest" and "Sawn Timber Manufacture" in the life-cycle analysis of wood products.

1

Einleitung

Die anhaltende Vernichtung der tropischen und subtropischen Wälder, die Waldschäden in Mitteleuropa und die Plantagen- und Kahlschlagwirtschaft in einigen Länder der Erde haben die Waldbewirtschaftung und Holznutzung auch bei uns in Deutschland in den Mittelpunkt der Umweltdiskussion gerückt. Schlagworte wie Nachhaltigkeit, Biodiversität, Treibhauseffekt, Kreislaufwirtschaft, Schonung natürlicher Ressourcen und Steigerung der Ressourceproduktivität zeigen, daß Ökonomie und Ökologie immer stärker miteinander verflochten werden.

Die vergleichende Betrachtung ökologischer Aspekte von Produkten und Produktionsverfahren gewinnt in den Augen der Verbraucher immer mehr an Bedeutung und ist zu einem entscheidenden Marketinginstrument der Wirtschaft geworden. Vergleichende produktbezogene Ökobilanzen, Umweltzeichen und Zertifikate spielen im harten Kampf um Marktanteile

eine immer wichtigere Rolle als Entscheidungsgrundlage bei öffentlichen Ausschreibungen, Planungen oder auch beim Konsumverhalten des Endverbraucher. Von dieser Entwicklung sind auch der Rohstoff Holz und Produkte aus Holz erfaßt worden.

Eine Produkt-Ökobilanz ist eine ökologisch bewertete Stoff- und Energiebilanz (Braunschweig und Müller-Wenk 1993), erstellt über den gesamten Lebensweg eines Produktes. Beginnend bei der Rohstofferschließung, -aufarbeitung und -transport, der Produktherstellung, Be- und Verarbeitung und Distribution über den Gebrauch bis hin zur Weiterverwertung oder Entsorgung werden alle Umweltwirkungen eines Produktes summiert und bewertet. „Ziel einer produktbezogenen Ökobilanz ist es, die mit Produkten, Prozessen und Dienstleistungen in Verbindung stehenden Beeinflussungen der Umwelt im Rahmen einer Systembetrachtung in ihrem Lebensweg unter Verwendung möglichst validierter Daten zu erfassen, transparent aufzuarbeiten, die jeweils spezifischen Wirkungen abzuschätzen und nachvollziehbar zu bewerten“ (NAGUS-AA3 1994). Voraussetzung für eine mögliche vergleichende Betrachtung verschiedener Produkte ist eine transparente, nachvollziehbare Methodik. Auf internationaler Ebene zeichnet sich eine Standardisierung der Methodik zur Erstellung von produktbezogenen Ökobilanzen über die in Entwürfen vorliegenden ISO-Normen 14040 bis 14043 ab. Eine Ökobilanz besteht demnach aus folgenden vier Bausteinen:

- ◆ Zielinformation
- ◆ Sachbilanz
- ◆ Wirkungsabschätzung (Wirkungsbilanz)
- ◆ Interpretation (Bilanzbewertung)

Zentraler Baustein ist die Sachbilanz. In der Sachbilanz werden alle Stoff- und Energieflüsse die in den Bilanzraum einfließen (Input) oder ihn verlassen (Output) identifiziert und möglichst quantifiziert.

Um eine Produkt-Ökobilanz transparenter und anpassungsfähiger zu machen, wird der gesamte Lebensweg so gut wie möglich in einzelne Module gegliedert. Bild 1 zeigt den modularen Aufbau für den Beginn des Lebensweges von Holzprodukten. Der modulare Aufbau ermöglicht eine Zusammenstellung der einzelnen Module im Baukasten-Prinzip, um den unterschiedlichen Veredelungsstufen der Produkte gerecht zu werden. Das erste Modul im Lebensweg von Holz und Holzprodukten ist die „Forstliche Produktion“. Innerhalb dieses Moduls wird der Rohstoff Holz produziert, geerntet und an der Waldstraße bereitgestellt. Die „Forstliche Produktion“ ist über ein Modul „Transport“ mit dem nächsten Modul „Schnittholzerstellung“ verknüpft. In den folgenden Abschnitten wird die Struktur der Module „Forstliche Produktion“ und „Schnittholzerstellung“ sowie die Stoff- und Energieflüsse dargestellt und beschrieben.

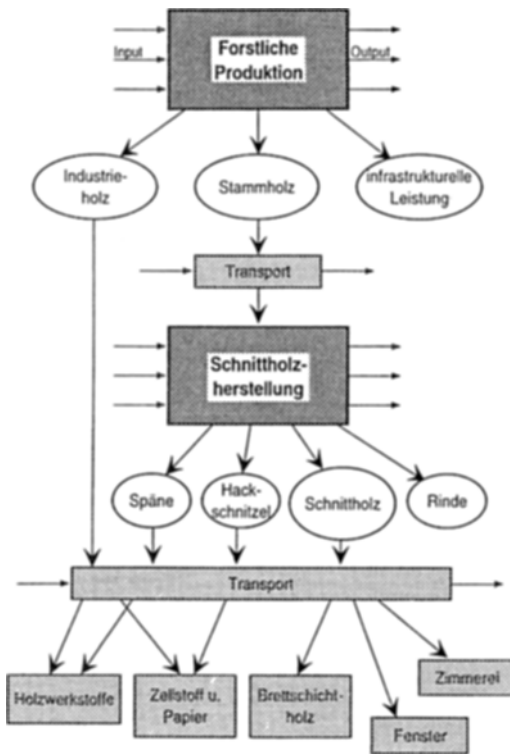


Bild 1. Übersicht über die Module „Forstliche Produktion“ und „Schnittholzherstellung“ im Lebensweg von Holz und Holzprodukten
Fig. 1 Representation of the modules „Wood Production in the Forest“ and „Sawn Timber Manufacture“ in the life-cycle of wood and wood-based products

2

Das Modul „Forstliche Produktion“

Die umfassende Sachbilanzierung der forstlichen Produktion ist die Grundlage für alle Ökobilanzen, welche sich mit dem Rohstoff Holz oder mit Holzprodukten auseinandersetzen. Das Modul „Forstliche Produktion“ ist das erste Modul im Lebensweg aller Produkte, die auf dem Rohstoff Holz basieren. Für den Roh- und Werkstoff Holz ist der Beginn des Lebensweges im Wald von zentraler Bedeutung, da Holz aus ökologischer Sicht gegenüber allen anderen Rohstoffen eine besondere Stellung einnimmt. Holz ist nicht nur ein nachhaltig nachwachsender Rohstoff, sondern bedingt durch die einzigartigen Produktionsbedingungen im Wald, ein in das Ökosystem Wald integrierter Bestandteil.

Obwohl von zentraler Bedeutung, wurde der Bereich der Forstwirtschaft in den bisher vorliegenden Ökobilanzen und Studien aus dem Bereich der Holzwirtschaft nicht oder nur unzureichend berücksichtigt. Wenn Umweltwirkungen erfaßt wurden, dann stammten sie aus dem Bereich der technischen Produktion wie beispielsweise der Holzernte (Habersatter 1991; FORINTEK 1993). Nicht ausreichend berücksichtigt wurde bislang der Bereich der biologischen Produktion, also der Bereich in dem sich alle nachwachsenden Rohstoffe elementar von den nicht erneuerbaren, endlichen Rohstoffen unterscheiden.

Im folgenden wird ein Ansatz zur Bilanzierung der deutschen Forstwirtschaft und die Struktur des Moduls „Forstliche Produktion“ vorgestellt. Mit der Erarbeitung aller umweltrelevanten Stoff- und Energieflüsse der „Forstlichen Produktion“ in der Bundesrepublik Deutschland soll die Grundlage für weiterführende Ökobilanzen im Bereich der Forst- und Holzwirtschaft geschaffen werden. Neben den technischen Prozessen der Forstwirtschaft, wie beispielsweise der Bestand-

Kalkung, sollen vor allem auch die nicht technischen Bereiche, wie die biologische Produktion des Holzes betrachtet werden.

Die Daten werden für die vier Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche und für jeweils durchschnittliche Industrieholz- bzw. Stammholzsortimente erarbeitet. Die funktionelle Einheit ist eine Tonne Rundholz trocken (t_{atro}) in Rinde.

Die sachliche Abgrenzung der biologischen Produktion ist schwer durchzuführen, da das Ökosystem Wald außerordentlich komplex ist und biologische Produktion sehr viel mehr als nur die Produktion von Holz umfaßt. Mit Blick auf das oben genannte Ziel ist die Bilanzierung auf den holzproduzierenden Teil der Bäume begrenzt worden. Es sollen alle Stoff- und Energieflüsse aus und in die Umwelt (Atmosphäre, Pedosphäre, usw.) erfaßt werden, die der Produktion von Holz und Rinde dienen. Der Bereich der technischen Produktion beschreibt innerhalb des Moduls diejenigen Produktionsschritte, in denen der Mensch einerseits aktiv in das System eingreift, um die Holzproduktion hinsichtlich Dimension und Qualität zu beeinflussen und andererseits um den Rohstoff Holz zu ernten bzw. bereitzustellen. Es ist eine weitere Besonderheit der Forstwirtschaft, daß sich die Intensität, mit der die technische Produktion betrieben wird (z.B. Mechanisierungsgrad) nicht zwingend auf die Menge und Qualität des erzeugten Rohstoffes auswirkt. In der Ökobilanz wird sich allerdings die Intensität der Bewirtschaftung sehr wohl auswirken. Es ist daher notwendig, zumindest zwei Module „Forstliche Produktion“ zu erarbeiten, um die Verhältnisse in der deutschen Forstwirtschaft näherungsweise beschreiben zu können. Die Bilanzierung einer intensiven, hochmechanisierten Forstwirtschaft dient als „worst case“ Variante, während sich die zweite Variante an der naturgemäßen Waldbewirtschaftung orientiert. Für den ersten Fall wurde von Schweinle (1996) eine erste detaillierte Sachbilanzierung vorgelegt, wobei die Betriebsform des schlagweisen Hochwaldes zugrundegelegt wurde. Die große Vielfalt an unterschiedlichen Waldstandorten, die extrem langen Produktionszeiträume mit wechselnden waldbaulichen Konzepten und der daraus resultierenden Vielfalt an Waldbeständen zwingt zu vereinfachenden Annahmen, um eine Bilanzierung zu ermöglichen. So wird beispielsweise von Schweinle (1996) für die Datenerhebung der schlagweise Hochwald wie folgt definiert:

- ◆ gleiche Standortverhältnisse für alle Bestände
- ◆ alle Bestände einer Baumart haben unabhängig vom Alter die gleiche Ertragsklasse (Tab. 1)
- ◆ alle Altersklassen sind vorhanden
- ◆ die Hangneigung beträgt maximal 35%
- ◆ die Wegedichte beträgt durchschnittlich 54 Ifm/ha (BML 1993)
- ◆ eine Feinerschließung mit Rückegassen im Abstand von 25 m ist überall vorhanden.

Die Erarbeitung einer Sachbilanz für die bezüglich der Umweltwirkungen ungünstigsten Variante ist im Bereich der

Tabelle 1. Zusammenstellung der in der Untersuchung verwendeten Ertragstafeln und Ertragsklassen (Schweinle 1996)

Baumart	Ertragsklasse/Eingriffsstärke	Ertragstafel
Fichte	I./starke Durchforstung	Wiedemann (1936/42)
Kiefer	II./starke Durchforstung	Wiedemann (1943)
Buche	II./starke Durchforstung	Schober (1967)
Eiche	II./starke Durchforstung	Jüttner (1955)

Ökobilanzierung ein besonders vorsichtiger Ansatz. Es ist daher ein wichtiges Ziel, auch eine Waldbewirtschaftungsvariante mit sehr geringen negativen Umweltwirkungen zu bilanzieren, wie beispielsweise die naturgemäße Waldwirtschaft. Allerdings liegen dafür bislang praktisch keine Daten vor.

Für die Erstellung einer Sachbilanz müssen alle Stoff- und Energieflüsse, die in den Bilanzraum einfließen (Input) oder ihn verlassen (Output), identifiziert und möglichst quantifiziert werden. Bild 2 gibt einen Überblick über die wesentlichen Input- und Output-Größen des Moduls „Forstliche Produktion“. Zusätzlich zu den quantifizierbaren Input- und Output-Größen kommen in der Forstwirtschaft nicht oder noch nicht meßbare Größen hinzu (z.B. Infrastrukturleistungen des Waldes), die nur qualitativ beschrieben werden können.

Zur Erhebung der Input- und Output-Daten und um die Sachbilanz übersichtlicher zu machen, wird das Modul „Forstliche Produktion“ in Submodule untergliedert (Bild 2). Für jedes dieser Submodule wird eine Sachbilanz aufgestellt. Die Gliederung hat den großen Vorteil, daß im Einzelfall nicht benötigte Submodule weggelassen oder durch Varianten ersetzt werden können. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, die Daten an die jeweils geforderten Verhältnisse anzupassen (z.B. Mechanisierungsgrad der Bewirtschaftung). In den folgenden Abschnitten werden die Submodule näher beschrieben. Grundsätzlich können die Submodule der „Forstlichen Produktion“ in zwei Gruppen eingeteilt werden. Eine Gruppe beinhaltet Submodule wie z.B. die „Biologische Produktion“, „Bestandesbegründung“, „Kulturpflege“, die obligatorisch für nahezu jede Art der Forst- bzw. Waldwirtschaft sind. Die zweite Gruppe der Submodule beinhaltet in der Forstwirtschaft eher seltene Prozesse, die im Einzelfall bilanziert werden müssen.

2.1 Die „Biologische Produktion“

In diesem Submodul werden die Stoff- und Energieflüsse erfaßt, die direkt im Zusammenhang mit dem Aufbau von Holz stehen.

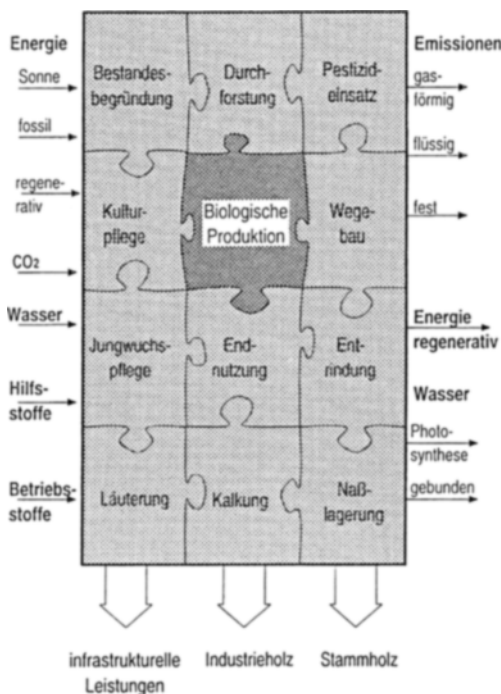


Bild 2. Übersicht über die Struktur des Moduls „Forstliche Produktion“ sowie die Stoff- und Energieflüsse
Fig. 2. Structure of the module „Wood Production in the Forest“ as well as material and energy flows

Daher ist es das wichtigste Submodul innerhalb der „Forstlichen Produktion“, denn hier werden die positiven Umweltwirkungen eines nachwachsenden Rohstoffes verbucht. Anders als bei allen endlichen, nicht erneuerbaren Ressourcen, wird die Ressource Holz nicht aufgebraucht, sondern wächst stetig nach. Mit dieser nachhaltigen Holzproduktion sind eine Reihe positiver Umweltwirkungen verbunden, wie die Umwandlung von Sonnenenergie in chemisch gebundene Energie, die Aufnahme von Kohlendioxid und die Speicherung von Kohlenstoff im Holz oder die Senkenwirkung des Waldes für Emissionen aus der Luft. Eine umfassende Bilanzierung aller Stoff- und Energieflüsse in dem komplexen Ökosystem Wald ist nicht möglich. Deshalb wird versucht, zumindest die direkt mit dem Aufbau des Rohstoffes Holz verbundenen Stoff- und Energieflüsse zu ermitteln.

Alle Elemente, die im Holz vorliegen, sind der Ökosphäre durch den Baum beim Aufbau der Holzsubstanz entzogen worden. Das gilt für Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff wie für Stickstoff, Calcium, Magnesium oder andere Elemente (z.B. Spurenelemente). Mengemäßig sind Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff die wichtigsten und machen zusammen durchschnittlich 99% der Masse aus. Der Rest beinhaltet eine ganze Reihe von anorganischen Bestandteilen, die beispielsweise bei der Verbrennung von Holz wieder freigesetzt werden und als Emissionen eine negative Umweltwirkung haben können. Aufgrund fehlender Daten muß bisher allerdings auf eine Bilanzierung dieser Elemente verzichtet werden.

Unterzieht man Holz einer Elementaranalyse, erhält man die Massenteile der Elemente Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff im Holz. Die einzelnen Holzarten unterscheiden sich hinsichtlich der Zusammensetzung dieser Elemente nur sehr wenig (Fengel und Wegener 1984), so daß für Holz allgemein mit einem Gehalt von 50% Kohlenstoff, 43% Sauerstoff und 6% Wasserstoff gerechnet werden kann. Auf der Grundlage der Photosynthese-Gleichung (Bild 3, (1)) kann davon ausgegangen werden, daß sämtlicher im Holz gespeicherter Kohlenstoff der Atmosphäre in Form von Kohlendioxid entzogen wurde. Analog dazu stammen Sauerstoff und Wasserstoff aus dem aufgenommenen Wasser bzw. ebenfalls aus dem Kohlendioxid.

Allerdings eignet sich der modellhafte Ansatz über Photosynthese-Gleichung nicht, um die Massenströme richtig abzuschätzen, da die Massenanteile der Elemente im

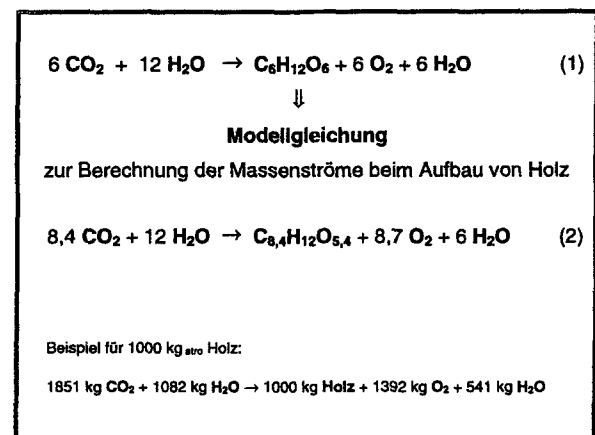


Bild 3. Theoretischer Ansatz zur Berechnung der Input- und Outputströme zur Bildung von Holz
Fig. 3. Theoretical approach for the calculation of input and output flows in the formation of wood

synthetisierten Traubenzucker nicht denen im Holz entsprechen. Die Gleichung (2) in Bild 3 zeigt einen hypothetischen Ansatz, der die Elementzusammensetzung im Holz widerspiegelt und eine Berechnung der Stoffströme über die Molmassen zulässt (Bild 3, Tab. 2).

Über die Photosynthese wird Sonnenenergie in chemisch gebundene Energie umgewandelt und im Holz gespeichert. Auch der notwendige Input an Energie zum Aufbau von Holz kann nicht aus der Photosynthese-Gleichung abgeleitet werden. Die Reaktionsenthalpien ($\Delta H = 15722 - 16000 \text{ MJ/t}$), wie sie von verschiedenen Autoren (Lehninger 1975, Beyer 1991, Römpf 1991) angegeben werden, sind nur für die Synthese eines Kohlenhydrates (Hexose) gültig. Die Energie zum Aufbau des Holzes, das aus hochmolekularen Bestandteilen mit hohem Ordnungsgrad zusammengesetzt ist, kann nicht quantifiziert werden.

Die Bilanz der biologischen Produktion muß aber auch hinsichtlich der Energie ausgeglichen sein. Es wird deshalb davon ausgegangen, daß der erreichbare Energieoutput, ausgedrückt durch den unteren Heizwert, auch dem Energieinput entspricht.

Tabelle 2. Sachbilanz des Submoduls „Biologische Produktion“; alle Werte beziehen sich auf eine t_{atro} Holz

		Input	Output
Fichte, Kiefer:			
Energie, regenerativ	[MJ]	19271	19271
CO ₂	[kg]	1851	-
O ₂	[kg]	-	1392
H ₂ O	[kg]	1082	541
Buche, Eiche:			
Energie, regenerativ	[MJ]	18112	18112
CO ₂	[kg]	1851	-
O ₂	[kg]	-	1392
H ₂ O	[kg]	1082	541

2.2

Submodule der technischen Produktion

Die Submodule „Bestandesbegründung“, „Kulturpflege“, „Jungwuchspflege“, „Läuterung“, „Durchforstung“ und „Endnutzung“ sind Teilabschnitte des Produktionsprozesses, die einer zeitlichen Abfolge unterliegen und die Entwicklung der Waldbestände über das Alter strukturieren.

Eine zweite Gruppe von Submodulen wie „Kalkung“, „Pestizideinsatz“, „Wegebau“, „Entrindung“ oder „Naßlagerung“ treten vereinzelt, über den gesamten Produktionszeitraum verteilt auf und haben bezogen auf die gesamte Menge des erzeugten Holzes eher eine geringe Bedeutung. Bezüglich der eingesetzten Maschinen (z.B. Hubschrauber) und Stoffgruppen (z.B. Pestizide) und den damit verbundenen Umweltwirkungen sind gerade diese Submodule jedoch im Einzelfall sehr wichtig.

Für jedes der Submodule werden alle Stoff- und Energieflüsse identifiziert und quantifiziert. Erfasst werden neben dem Verbrauch an Ressourcen und Energie auch die Emissionen in die Luft, das Wasser oder den Boden (Tab. 3). Mit einbezogen werden auch die Umweltwirkungen die sich aus der Erzeugung und Bereitstellung der Energie ergeben.

2.3

Qualitative Beschreibung weiterer Bilanzgrößen

Neben den meßbaren und quantitativ erfäßbaren Stoff- und Energieflüssen weist das Modul „Forstliche Produktion“ einige

Tabelle 3. Auswahl der zu erfassenden Emissionen in die Luft, das Wasser und den Boden

Luft	Wasser	Boden
● Partikel	● VOC	● Abfall, kompostierbar
● CO	● TOC	● Abfall, radioaktiv
● CO ₂	● BOD	● Abraum
● NO _x	● COD	● Sondermüll
● N ₂ O	● Öl	● Öl
● NH ₃	● PAH	● Öl, biolog.
● SO ₂	● Nitrat	● Pestizide
● CH ₄	● Phosphat	
● H ₂ S	● Sulfat	
● O ₂	● Arsen	
● Benzol	● Blei	
● Formaldehyd	● Schwermetalle	
● HCl		
● HF		
● Dioxine		
● NM VOC		
● Arsen		
● Bor		
● Schwermetalle		

sehr wichtige, nur qualitativ beschreibbare Bilanzgrößen auf. Die Forstwirtschaft ist eine typische Kuppelproduktion, wobei die Art der entstehenden Produkte der Forstwirtschaft zusätzliche methodische Schwierigkeiten aufwirft. Während eine Verteilung der Umweltwirkungen auf Industrie- und Stammholz in Anlehnung an die Normenentwürfe von ISO noch möglich ist, wird dies bei Einbeziehung der Infrastrukturleistungen unmöglich. Ein ausschließlich auf die Holzproduktion beschränkter Ansatz kann nur der erste Schritt in Richtung einer Ökobilanzierung der Waldbewirtschaftung sein. Erst wenn es möglich sein wird, auch die im folgenden beschriebenen und diskutierten Punkte miteinzubeziehen, kann eine gesamtökologische Bewertung der Forst- und Holzwirtschaft durchgeführt werden.

Flächennutzung Im Zusammenhang mit der „Forstlichen Produktion“ kann nicht von Flächenverbrauch im herkömmlichen Sinn gesprochen werden. Im Gegensatz zur industriellen, aber auch zur landwirtschaftlichen Produktion wird die Qualität der Fläche, auf der Forstwirtschaft betrieben wird, durch diese nur geringfügig verändert. Diese spezifisch durch die Forstwirtschaft verursachte Qualitätsveränderung ist nur sehr schwer quantifizierbar, da sie sich sehr langsam vollzieht und sehr stark durch externe Einflüsse (Schadstoffeinträge, Zerschneidung, usw.) überlagert wird.

Erholungsfunktion Je dichter eine Region besiedelt ist, umso bedeutender wird die Erholungsfunktion des Waldes, umso intensiver wird der Wald zur Erholung genutzt. Die Erholungssuchenden nutzen beispielsweise die Erschließungswege intensiv (Wandern, Radfahren, usw.). Der Instandhaltungsaufwand ist wegen der Erholungsfunktion (z.B. in Ballungs- oder Fremdenverkehrszentren) erhöht, aber die Umweltwirkungen der Wegepflege werden vollständig dem Produkt Rundholz zugerechnet.

Schutzfunktionen Wald erfüllt eine ganze Reihe von Schutzfunktionen, wie Klimaschutz, Wasserschutz, Bodenschutz, Lawinenschutz oder Lärmschutz, auf die hier an dieser Stelle nicht im einzelnen eingegangen werden kann. Keine dieser Schutzfunktionen ist durch technische Maßnahmen in einem ökonomischen Rahmen zu ersetzen. In

der Literatur findet sich eine Vielzahl von Ansätzen, diese Leistungen des Waldes monetär zu bewerten. Monetäre Ansätze können aber in der Ökobilanz nicht verwendet werden. Ziel späterer Untersuchungen muß es also sein, Ansätze zu finden, wie diese Leistungen der Waldbewirtschaftung quantifiziert werden können und so Eingang in die Sachbilanz finden.

Naturschutz Verglichen mit anderen Landnutzungsformen, wie beispielsweise der konventionellen Landwirtschaft, ist die Forstwirtschaft sehr naturnah. Je nach Intensität bzw. Betriebsart und -form der Forstwirtschaft können ökonomische (z.B. Stammholzproduktion) und ökologische Ziele (z.B. Naturschutz-Ziele) unterschiedlich gewichtet sein. Es wird die Aufgabe nachfolgender Studien sein, Ansätze zu finden, wie die Umsetzung von Naturschutz-Zielen in eine Ökobilanz einfließen können.

3 Transport-Module

Mit Ausnahme der infrastrukturellen Leistungen des Waldes müssen die Produkte der „Forstlichen Produktion“ zur nächsten Bearbeitungsstufe transportiert werden. Die Schnittstelle des Moduls „Forstliche Produktion“ ist der Lagerplatz an der Waldstraße. Der Transport des Rundholzes aus dem Wald zum Sägewerk wird in einem Modul „Transport“ bilanziert. Genauso wird mit allen anderen Transporten von Produkten, Nebenprodukten oder Zwischenprodukten zum Kunden oder zur Weiterverarbeitung verfahren. Tabelle 4 gibt einen Überblick über mittlere Entfernungen der Rund- und Schnittholztransporte sowie über die eingesetzten Transportmittel (Scharai-Rad et al. 1996).

Wichtigstes Transportmittel ist der LKW. Der Bahntransport spielt, mit Ausnahme der Sägewerke mit einer Produktion von mehr als 100.000 m³ Nadel-schnittholz, keine Rolle. Bei vergleichbarer Produktionsleistung sind die Entfernungen bei den Laubholzbetrieben größer, was sowohl für die Rundholztransporte ins Werk als auch für die Transporte zum Kunden gilt. Der Grund dafür ist in der Dominanz der Nadelhölzer sowohl in der Forstwirtschaft als auch in der Holzverwendung zu sehen. Die hier erfaßten mittleren Entfernungswerte geben einen Eindruck über den Aktionsradius der Betriebe. Mit der jeweiligen Schnittholzmenge gewichtete Mittelwerte stellen sie aber nicht dar. Die Auslastung der LKWs beträgt bei den Rundholztransporten 50%, da Rückfrachten durch den Einsatz spezieller LKWs praktisch unmöglich sind. Bei den Schnittholztransporten ist die Auslastung sehr stark von der jeweiligen Spedition abhängig.

4 Das Modul „Schnittholzherstellung“

Die „Schnittholzherstellung“ ist das wichtigste erste Modul nach der Holzproduktion im Wald im Lebensweg von Holz und Holzprodukten. Rohstoff für die Herstellung von Schnittholz ist Stammholz unterschiedlicher Stärkeklassen das über ein Modul „Transport“ aus dem Modul „Forstliche Produktion“ kommt. Die „Schnittholzherstellung“ nimmt eine zentrale Stellung im Lebensweg von Holzprodukten ein, da mehrere Kuppelprodukte anfallen, die Rohstoffe für viele Bereiche der Holzwirtschaft sind (Bild 1).

Zum Bereich der Schnittholzherstellung liegen bislang nur sehr wenige Veröffentlichungen mit umweltrelevanten Daten vor. Die von Ressel (1985) veröffentlichte „Energieanalyse der Holzindustrie der Bundesrepublik Deutschland“ enthält eine Reihe von Energieverbrauchsdaten für die Schnittholzherstellung. Weitergehende umweltrelevante Daten zur Herstellung von Schnittholz sind in der Betriebs-Ökobilanz eines österreichischen Sägewerkes (IÖW 1991) dargestellt. Mit der Erarbeitung aller umweltrelevanten Stoff- und Energieflüsse der „Schnittholzherstellung“ in Deutschland soll die Grundlage für weiterführende Ökobilanzen im Bereich der Forst- und Holzwirtschaft geschaffen werden. Die bislang sehr unbefriedigende Datenbasis im Bereich der Schnittholzherstellung soll damit verbessert werden.

Die Bilanzraumgrenze kann in etwa mit dem Werktor eines Sägewerkes gleichgesetzt werden, wobei die Stoff- und Energieflüsse der Verwaltungseinheit im Sägewerk nicht berücksichtigt werden.

Die Schnittholz produzierenden Betriebe sind nicht nur hinsichtlich der Betriebsgröße sehr unterschiedlich, sondern auch was die verwendete Technologie betrifft. Um aus dem Rundholz Schnittholz auszuformen, können sehr unterschiedliche Produktionsschritte eingesetzt werden. Ähnlich dem Modul „Forstliche Produktion“ kann auch das Modul „Schnittholzherstellung“ in Submodule untergliedert werden, mit dem großen Vorteil der Anpassung an den Einzelfall. Diese Anpassung ist außerordentlich wichtig, da es das „Durchschnitts-Sägewerk“ aufgrund der unterschiedlichen Betriebsgrößen und der damit verbundenen Technologie genauso wenig geben kann, wie die durchschnittlichen Umweltauswirkungen der Schnittholzherstellung als Grundlage für alle daraus resultierenden Holzprodukte.

Bild 4 gibt einen Überblick über die Gliederung des Moduls „Schnittholzherstellung“ in einzelne Submodule. Für jedes dieser Submodule soll in weiteren Untersuchungen eine Sachbilanz erarbeitet werden. Zum jetzigen Zeitpunkt können nur einzelne Submodule mit Daten gefüllt werden. Ähnlich der „Forstlichen Produktion“ ist auch die „Schnittholzherstellung“

Tabelle 4. Übersicht der mittleren Entfernungen der Rundholz- und Schnittholztransporte getrennt für Laub- und Nadelholz, bzw. nach der jährlichen Schnittholzproduktion bei den Nadelholzbetrieben

Betriebsgröße	[m ³]	Nadelholz				Laubholz < 25000
		< 10000	10000- 50000	50000- 100000	> 100000	
<i>Rundholztransport ins Werk</i>						
LKW-Anteil	[%]	100	99	100	80	99,5
Mittlere Entfernung-LKW	[km]	23	73	82	160	69
-Bahn	[km]	0	300	0	277	700
<i>Schnittholztransport</i>						
LKW-Anteil	[%]	100	99	100	97	96
Mittlere Entfernung-LKW	[km]	110	220	371	274	324
-Bahn	[km]	0	600	0	350	377

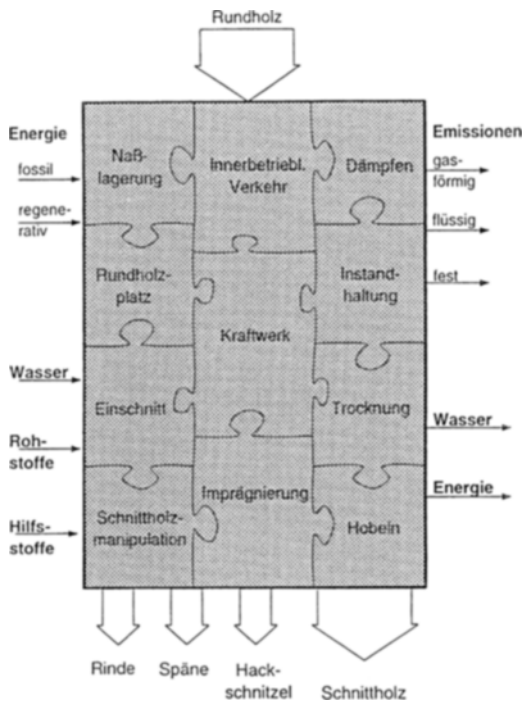


Bild 4. Übersicht über die Struktur des Moduls „Schnittholzherstellung“ sowie die Stoff- und Energieflüsse
Fig. 4. Structure of the module „Sawn Timber Manufacture“ as well as material and energy flows

ein typisches Beispiel einer Kuppelproduktion. Neben dem Hauptprodukt Schnittholz fallen weitere Produkte an, wobei jedes für sich einen potentiellen Absatzmarkt hat. Neben der Rinde, die als Energieträger oder Rohstoff in der Kompost- und Mulchherstellung eingesetzt wird, fallen auch Sägespäne und Hackschnitzel in großen Mengen an. Das Restholz-Sortiment „Schwarten und Spreißel“ hat durch die neueren Technologien beim Einschnitt (z.B. Profiliertechnik) eine abnehmende Bedeutung. In den Betrieben wo noch größere Mengen anfallen, werden diese häufig zu Hackschnitzel verarbeitet. Da die Kuppelprodukte als Rohstoff für andere Holzprodukte eingesetzt werden, müssen die Umweltwirkungen auf die einzelnen Produkte der Menge nach verteilt werden. Tabelle 5 zeigt die Anteile der Produkte bezogen auf die Menge des eingesetzten Rundholzes.

In den folgenden Abschnitten werden die in Bild 4 dargestellten Submodule kurz beschrieben.

4.1

Naßlagerung

Die Naßlagerung von Rundholz spielt im Modul „Schnittholzherstellung“ nur eine geringe Rolle und betrifft in der Regel nur sehr große Nadelholz verarbeitende Betriebe. Die vorhandenen

Tabelle 5. Anteile der einzelnen Produkte und Nebenprodukte bei der Schnittholzherstellung, bezogen auf die Menge des eingesetzten Rundholzes (Scharai-Rad et al. 1996)

Produktbezeichnung	Volumenanteil	Nadelholz	Laubholz
Schnittholz	[%]	61,8	66,1
Rinde	[%]	10,0	12,0
Schwarten und Spreißel	[%]	-	4,6
Hackschnitzel	[%]	13,7	7,2
Sägespäne	[%]	14,5	10,1

Lagerplätze resultieren meist noch aus der Zeit der Sturmholz-Katastrophen und werden heute als Zwischenlager zu Qualitätserhaltung benutzt. Die Lagerdauer des Rundholzes beträgt durchschnittlich ein Jahr. Mit in die Bilanz einfließen müssen die Maßnahmen der Polterung, Wasserverbrauch und -herkunft, der Energiebedarf der Beregnung sowie die Stoffausträge, die sich im Abwasser nach der Beregnung wiederfinden. Während sich der Wasserverbrauch und der Energieverbrauch für die Beregnung leicht erfassen läßt, liegen für die Wasserbelastung bislang kaum Daten vor.

4.2

Rundholzplatz, Einschnitt, Schnittholzmanipulation

Diese drei Submodule enthalten die eigentliche Produktion des Schnittholzes in einem oder mehreren Schritten mit sehr unterschiedlicher Technologie. Zur Schnittholzmanipulation wird auch der Bereich der Verpackung bzw. Bündelung von Schnittholz durch Stahl- oder Kunststoffbänder bzw. -folien gerechnet.

4.3

Dämpfen

Das Dämpfen betrifft nur sehr wenige Laubholzbetriebe, ist aber energieaufwendig und die Stoffausträge über das Wasser müssen erfaßt werden. Hier liegen bislang keine brauchbaren Daten vor.

4.4

Imprägnieren

Die Imprägnierung von Schnittholz betrifft vor allem Betriebe, die Schnittholz für das Baugewerbe produzieren, wo in vielen Bereichen (z.B. Dachlatten) Holzschutzmittel verwendet werden. Die Imprägnierung erfolgt überwiegend im Tauchverfahren, nur wenige Betriebe verfügen über eine Kesseldruck-Imprägnieranlage. Die Tauchanlagen sind generell überdacht und mit einer Auffangwanne ausgestattet, so daß abtropfendes Schutzmittel aufgefangen und in den Tauchtrog zurückgeführt werden kann. Unterstellt man einen ordnungsgemäßen Gebrauch, verläßt kein überschüssiges Schutzmittel die Anlage. Die Imprägniermittel werden in der Regel in Pfandfässern angeliefert, es entstehen dadurch keine mit Schutzmittel kontaminierten Abfälle.

4.5

Innerbetrieblicher Verkehr

Innerbetrieblicher Verkehr beinhaltet den Betrieb sämtlicher Fahrzeuge, die zum Transport von Holz innerhalb des Sägewerkes eingesetzt werden. Dazu gehören Radlader, Seiten- und Gabelstapler aller Art, sofern sie zur Schnittholzherstellung eingesetzt werden. Eventuell zum Unternehmen gehörende Lastkraftwagen zum Transport von Rund- oder Schnitt- oder Restholz vom Wald ins Werk oder vom Werk zum Kunden werden nicht berücksichtigt. Viele der Unternehmen verfügen über eigene Tankstellen und Werkstätten, in denen die Fahrzeuge gewartet werden.

4.6

Instandhaltung

Das Submodul Instandhaltung umfaßt alles, was zur Pflege und Betrieb der Produktionsanlagen notwendig ist. Dazu gehören vor allem Schleiferei und Schlosserei. Zur Pflege der Schneidwerkzeuge werden u.a. Chemikalien zur Harzentfernung, zum Löten, Schweißen und Schleifen (z.B. Schleifkühlmittel) eingesetzt, die bilanziert werden müssen.

4.7

Kraftwerk

Die Herstellung von Schnittholz ist einerseits ein energieaufwendiger Prozeß und andererseits fallen eine Menge Kuppelprodukte an, die zur Erzeugung von elektrischer oder thermischer Energie verwendet werden können. Vor allem größere Betriebe verfügen heute über eigene Heiz- oder Blockheizkraftwerke und erzeugen mit oder ohne Kraft-Wärme-Kopplung einen Teil oder die gesamte benötigte Energie selbst. Überschüsse werden in die Stromnetze eingespeist.

4.8

Trocknung

Ein Teil des hergestellten Schnittholzes wird technisch getrocknet. Die Trocknung benötigt große Mengen thermischer und elektrischer Energie. Je nach Trocknungsart entstehen gasförmige oder flüssige Emissionen, die bilanziert werden müssen. Bislang liegen nur wenige Daten zu Trocknung vor. Handlungsbedarf besteht vor allem im Bereich der Stoffausträge. Bei der Bilanzierung muß die Volumenschwindung des Holzes je nach Holzfeuchte vor und nach der Trocknung berücksichtigt werden. Funktionelle Einheit ist wie oben beschrieben der m³ Schnittholz; Angaben zur Holzfeuchte müssen unbedingt gemacht werden.

4.9

Hobeln

In vielen Betrieben wird ein kleiner Teil des Schnittholzes gehobelt. Die Erfassung der Stoff- und Energieströme beim Hobeln dient der späteren Unterscheidung der Produkte.

5

Schlußfolgerung

Der ökologische Vergleich von Holz mit anderen Roh-, Bau- und Werkstoffen über produktbezogene Ökobilanzen gibt der Forst- und Holzwirtschaft die Möglichkeit, die anerkannt positiven ökologischen Aspekte einer nachhaltigen Holznutzung quantifiziert zu belegen. Das CO₂- und Energieminderungspotential durch nachhaltige Waldbewirtschaftung und vermehrte Holzverwendung kann in einer Produktökobilanz zahlenmäßig dargestellt werden. Ziel weiterer Untersuchungen muß sein, auch die vielfältigen Wohlfahrtswirkungen des Waldes so zu erfassen, daß sie in die Sachbilanz quantitativ einfließen können. Die jetzt vorhandene Datenbasis muß dringend erweitert werden, die vielen noch

vorhandenen Wissenslücken müssen so schnell wie möglich geschlossen werden, um die einmalige Stellung des Holzes gegenüber allen anderen Rohstoffen und Energieträgern mit Zahlen nachvollziehbar zu machen.

6

Literatur

- Beyer, W. 1991: Lehrbuch der organischen Chemie. Stuttgart: Hirzel Vlg
BML 1993: Die Bundeswaldinventur 1986-1990. Bonn: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.)
Braunschweig, A.; Müller-Wenk, R. 1993: Ökobilanzen für Unternehmungen. In: Schaltegger, S. und Kubat, R. 1994: Das Handwörterbuch der Ökobilanzierung. Basel: WWZ-Studie Nr. 45
Fengel, D.; Wegener, G. 1984: Wood-Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Berlin: Walter de Gruyter and Co.: 613 S
FORINTEK 1993: Raw Materials Balances, Energy Profiles and Environmental Unit Factor Estimates for Structural Wood Products. FORINTEK Canada Corp. (Hrsg.): 35 S
Habersatter, K. 1991: Ökobilanz von Packstoffen. Stand 1990; Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Schrifreihe 132
IÖW 1991: Ökobilanz Sägewerk Steiner. Pilotprojekt in der Sägeindustrie. Wien: Schriftenreihe des Instituts für ökologische Forschung Wien (IÖW) 5: 66 S
Jüttner 1955: Ertragstafel Eiche In: Schober, R. 1975: Ertragstafeln wichtiger Baumarten. Frankfurt a. Main: Sauerländer's Vlg: 154
Lehninger, A. L. 1975: Biochemie. Weinheim: Vlg Chemie
NAGUS-AA 3 1994: Grundsätze produktbezogener Ökobilanzen, DIN-Mitteilung 73, Nr. 3
Ressel, J. 1985: Energieanalyse der Holzindustrie der Bundesrepublik Deutschland. Forschungsbericht zum BMFT-Projekt T 86-184, Hamburg: Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Holzphysik und mechanische Technologie des Holzes: 161 S
Römpp (Hrsg.) 1991: Römpp Chemie Lexikon. Stuttgart: Thieme Vlg
Scharai-Rad, M.; Zimmer, B.; Hasch, J. 1996: Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft Abschlußbericht zum Vorhaben F94/2 der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, München: 168 S
Schober 1967: Ertragstafel Buche In: Schober, R. 1975: Ertragstafeln wichtiger Baumarten. Frankfurt a. Main: Sauerländer's Vlg: 154 S
Schweinle, J. 1996: Analyse und Bewertung der forstlichen Produktion als Grundlage für weiterführende forst- und holzwirtschaftliche Analysen. Abschlußbericht zum Vorhaben F94/1 der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, München: 96 S
Wiedemann 1936: Fichten Ertragstafeln In: Schober, R. 1975: Ertragstafeln wichtiger Baumarten. Frankfurt a. Main: Sauerländer's Vlg: 154 S
Wiedemann (1943): Kiefer Ertragstafeln In: Schober, R. 1975: Ertragstafeln wichtiger Baumarten. Frankfurt a. Main: Sauerländer's Vlg: 154 S