

## Wie umweltfreundlich ist die Energie aus Biomasse?

# Ökologische Bewertung der Bereitstellung von Waldhackschnitzeln

Von Bernhard Zimmer, Salzburg

*Die Gewinnung von Energie aus nachwachsenden Energieträgern wird meist ökologisch positiv gesehen und bewertet. Zusätzlich wird der Einsatz von Biomasse in der Regel als klimaneutral betrachtet, da der Brennstoff bei seiner Produktion durch die Bäume ja diejenige Menge an Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), die bei der Verbrennung wieder freigesetzt wird, zuvor der Atmosphäre entzogen hat. Diese immer wieder betonte CO<sub>2</sub>-Neutralität führt leicht zu einer Nichtbeachtung möglicher Optimierungspotenziale in den Bereitstellungsverfahren, in der Logistik und der Lagerung sowie in der Verbrennungstechnologie. Die Darstellung ökologischer Kennwerte der einzelnen Prozessketten der Bereitstellung von Waldhackschnitzeln soll einen Beitrag zur Diskussion um die ökologische Optimierung der Energieerzeugung aus Biomasse liefern.*

Umweltzeichen, Zertifikate und vergleichende produktbezogene ökologische Bewertungen spielen eine immer wichtigere Rolle, nicht nur beim Konsumverhalten der Verbraucher, sondern auch als Entscheidungsgrundlage bei öffentlichen Ausschreibungen und Planungen. Eine geeignete Methode zur Beurteilung und Bewertung von Umweltwirkungen des wirtschaftlichen Handelns ist die Erstellung von so genannten produktbezogenen Ökobilanzen (LCA – Life Cycle Assessment). Die Ökobilanz ist eine der vielen Methoden des Umweltmanagements.

Mithilfe der in den vergangenen 2 Jahrzehnten entwickelten und in zahlreichen Veröffentlichungen sowie den ISO-Normen 14040 und 14044 beschriebenen Methodik der Ökobilanzierung ist es möglich, die Umweltwirkungen unterschiedlicher Produktionsverfahren und unterschiedlicher

Produkte zu erfassen und nachfolgend auch zu bewerten. In produktbezogenen Ökobilanzen soll der gesamte Lebensweg von Produkten von der Rohstoffgewinnung über die Produktherstellung und die Nutzung des Produktes bis hin zur Entsorgung oder Rückführung in Kreisläufe betrachtet werden.

Wie umweltfreundlich ist die Energie aus Waldhackschnitzeln? Wo liegen die ökologischen Optimierungspotenziale der Bereitstellungskette und wie viel der im Holz gespeicherten solaren Energie muss in die Ernte, die Aufarbeitung, die Lagerung und die Transporte gesteckt werden? Im Rahmen des von der FNR geförderten Projektes „Prozessanalyse und Ökobilanzierung der Bereitstellung von Waldhackschnitzeln in Kooperation mit Waldbesitzern, Einschlags- und Transportunternehmen sowie Biomasseheiz(kraft)werken“ wurde versucht, diese Fragen zu beantworten.

Eine Reihe von Untersuchungen wurden bereits zur Energieerzeugung aus Holzbrennstoffen erarbeitet [1, 2, 6]. Die nachfolgenden Ergebnisse fokussieren auf die unterschiedlichen Bereitstellungsketten, weshalb verschiedene typische Szenarien der Gewinnung von Waldhackschnitzeln betrachtet wurden. Waldhackschnitzel werden typischerweise aus so

genanntem Waldrestholz, also Kronenmaterial und Schlagabraum oder aus der Erstdurchforstung gewonnen. Je nach der jeweiligen Markt- und Erlössituation ist es denkbar, dass auch die Industrieholzsortimente „IL“ oder „IK“ direkt energetisch verwertet werden.

### Solare Energie und Kohlenstoffspeicher

Der Bereich der biologischen Produktion des Energieträgers Holz wurde bereits 1996 von ZIMMER und WEGENER [7] auf der Basis der Photosynthese modelliert und bildet die Grundlage für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Speicherpotenziale in den Ökobilanzen Holz.

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). Mengenmäßig sind Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff die wichtigsten und machen zusammen 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.

**Tab. 1: Volumina [Srm] sowie der Kohlendioxid-Input im Modul „biologische Produktion“, bezogen auf jeweils einen Heizwert von einer MWh**

	Nadelholz	Mix	Laubholz
<b>Wassergehalt 0 %:</b>			
Volumen [Srm/MWh]	1,27	0,98	0,90
Kohlendioxid [kg/MWh]	356	364	370
<b>Wassergehalt 30 %:</b>			
Volumen [Srm/MWh]	1,34	1,04	0,95
Kohlendioxid [kg/MWh]	377	384	393
<b>Wassergehalt 50 %:</b>			
Volumen [Srm/MWh]	1,46	1,13	1,04
Kohlendioxid [kg/MWh]	410	419	428

FH-Prof. Dr. B. Zimmer ist Fachbereichsleiter „Holztechnologie & Ökologie an der FH Salzburg, Studiengang „Holztechnik & Holzwirtschaft“.



**Bernhard Zimmer**  
bernhard.zimmer@fh-salzburg.ac.at

**Tab. 2: Einsatz von Primärenergie in den einzelnen Szenarien in Prozent der im jeweiligen Hackschnitzel-Sortiment enthaltenen nutzbaren Energie (Heizwert,  $H_u$ )**

Szenario [% von $H_u$ ]	LH-30%	MIX-30%	MIX-50%	NH-50%
Kleinprivatwald – Waldrestholz	4,2	4,6	5,0	6,5
Profi – Waldrestholz	1,6	1,8	1,9	2,5
Profi mit Zwischenlager im Wald	1,8	1,8	2,0	2,5
Profi mit Holzlogistik-Zentrum	1,4	1,5	1,7	2,1
Feller-Buncher – Vollbaumnutzung	1,8	1,9	2,1	2,6

Über die Photosynthese wird Sonnen- bzw. Lichtenergie in chemisch gebundene Energie umgewandelt und im Holz gespeichert. Es wird davon ausgegangen, dass der erreichbare Energieoutput, ausgedrückt durch den unteren Heizwert ( $H_u$ ), auch dem Energieinput entspricht. Aus dem theoretischen Ansatz ergeben sich die in Tab. 1 dargestellten Mengen, die als Kohlendioxid-Speicherung eingerechnet werden können. Dem oben gewählten Ansatz folgten auch SCHWEINLE [4, 5] bei der Bilanzierung der Rohholzproduktion in der BRD sowie RÖDL [3] mit ihrer Ökobilanzierung der Holzproduktion in Kurzumtriebsplantagen.

## Szenarien zur Gewinnung von Waldhackschnitzel

Um die zahlreichen Möglichkeiten der Waldhackschnitzelgewinnung zu begrenzen, wurden im Projekt typische Abläufe definiert:

- **Kleinprivatwald – Waldrestholz:** Mehr als die Hälfte des Waldes in Bayern ist im Eigentum von privaten und in der Mehrzahl kleinen Waldbesitzern. Diese Kleinwaldbesitzer bewirtschaften den Wald oft unregelmäßig und sie bewirtschaften ihre Wälder meist selbst und erledigen auch die meisten Arbeiten selbst. Die Fällung erfolgt in diesem Szenario motormanuell. Im Kleinprivatwald wird die Nutzung von Waldrestholz zur thermischen Verwertung durchgeführt. Kronen und Schlagabraum der genutzten, bereits gefällten Bäume werden durch Schlepper an die Forststraße vorgeliefert. Waldrestholz wird an der Waldstraße durch mobilen Zapfwellenhacker gehackt und in einen landwirtschaftlichen Kipper geblasen. Es erfolgt dann der direkte Transport der Hackschnitzel ins Heizwerk, wobei als Entfernung 30 km angenommen wurde.
- **Profi – Waldrestholz:** Die Bewirtschaftung des Waldes erfolgt durch Forstunternehmen, die sich auf Holzernte, Holzbringung und oft auch die Vermarktung des Holzes spezialisiert haben. Zum Einsatz kommen spezialisierte Maschinen, die Bedienung der Maschinen erfolgt in



der Regel durch gut geschultes Personal. Die Produktivität ist dadurch in der Regel höher als im Szenario „Kleinprivatwald“. Die Fällung des Holzes erfolgt entweder motormanuell oder maschinell, je nach Gelände, Baumarten und Baumdurchmessern. Die Kronen und der Schlagabraum werden durch Forwarder an die Forststraße vorgeliefert. Das Waldrestholz wird an der Waldstraße durch einen mobilen Großhacker gehackt und direkt in einen Container-Lkw geblasen. Es erfolgt der direkte Transport der Hackschnitzel ins Heizwerk, wobei die Entfernung ebenfalls 30 km beträgt.

- **Profi mit Zwischenlager im Wald:** Das Szenario ist dem vorangegangenen ähnlich, aber es erfolgt eine Zwischenlagerung des Hackgutes im Wald. Das bedeutet ein Sammeln der kleineren Mengen zur Optimierung des Transportes zum Heizwert oder als Zwischenpuffer, weil der Lagerplatz im Heizwerk zu klein ist. Die Verluste, die von der Lagerdauer sehr abhängig sind, sind in diesem Szenario noch nicht berücksichtigt.

- **Profi mit Holzlogistik-Zentrum:** Durchforstung und Nutzung von Waldrestholz zur thermischen Verwertung. Fällung und Aufarbeitung erfolgt durch Harvester. Rücken und Vortransport (10 Kilometer) der Kronen und des Schlagabraums durch Schlepper mit Rückewagen zum Holzlogistik-Zentrum. Das Waldrestholz wird dort durch mobilen Großhacker auf Lkw gehackt und direkt in Lkw-Züge geblasen, dann direkter Transport der Hackschnitzel ins Heizwerk. Die Entfernung beträgt wieder 30 km.

- **Feller-Buncher – Vollbaumnutzung:** Erstdurchforstung mit Nutzung von Vollbäumen zur thermischen Verwertung. Einschlag und Vorkonzentration der Vollbäume entlang der Rückegasse durch Harvester. Rückung der getrimmten Vollbäume durch Schlepper. Hacken durch mobilen Großhacker an der Waldstraße, in Container Lkw geblasen. Abschließender Transport der Hackschnitzel ins Heizwerk. (30 km).

## Einsatz von Primärenergie

In Tab. 2 sind die Ergebnisse zum Verbrauch an Primärenergie für alle Szenarien und für vier Sortimente Waldhackschnitzel zusammengefasst dargestellt. LH-30% beinhaltet reines Laubholz mit einem Wassergehalt der Waldhackschnitzel von 30%; die MIX-Sortimente beinhalten Laub- und Nadelholz zu gleichen Teilen. Die Holzartenzusammensetzung, aber auch der Wassergehalt haben einen erheblichen Einfluss auf den Heizwert und damit auf alle Transport- und Aufarbeitungsprozesse.

Das Waldhackschnitzel-Sortiment „LH-30%“, reines Laubholz mit einem Wassergehalt der Hackschnitzel von 30%, stellt immer das günstigste Sortiment dar. Realistisch sind die beiden gemischten Sortimente, wobei hier deutlich der negative Einfluss des Wassergehaltes auf den notwendigen Energieeinsatz zu erkennen ist. Das aufgrund der geringen Dichte und des hohen Wassergehaltes schlechteste Sortiment ist das reine Nadelholzsortiment mit 50% Wassergehalt.

Positiv wirkt sich die Produktivitätssteigerung in den stärker mechanisierten Ver-

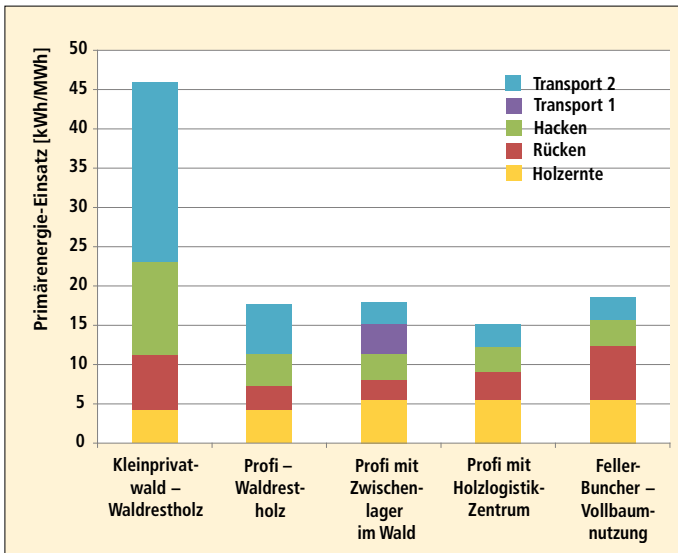


Abb. 1: Einsatz von Primärenergie für die gemischten Waldhackschnitzel-Sortimente in den einzelnen Szenarien in kWh pro MWh (Hackschnitzel), dargestellt für die wesentlichen Prozesse. Deutlich wird der Einfluss des Wassergehaltes.

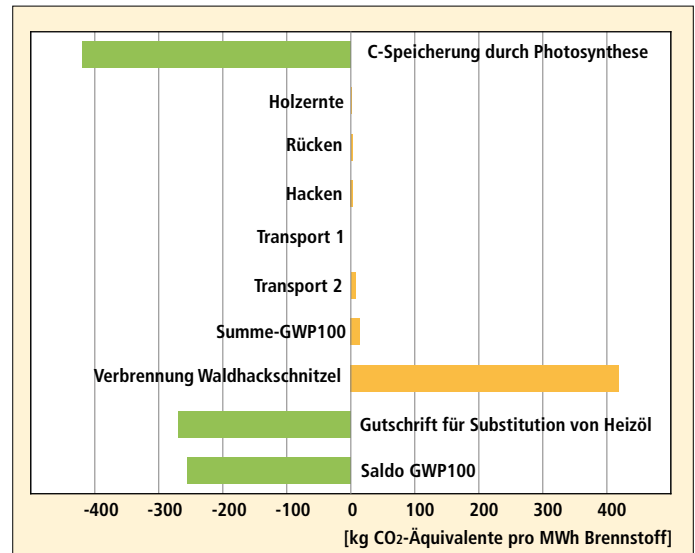


Abb. 2: Treibhauspotenzial (GWP100) dargestellt für das Szenario „Kleinprivatwald – Waldrestholz“. Bei der Verbrennung von Holz wird der im Holz festgelegte Kohlenstoff wieder freigesetzt, allerdings substituiert die Energie aus Biomasse diejenige aus fossilen Energieträgern (Heizöl).

fahren aus, weshalb in der Variante mit Holzlogistik-Zentrum nur noch zwischen 1,4 und 2,1 % der im Hackschnitzel enthaltenen Energie zur Aufarbeitung und den Transport zum Heizwerk aufgewendet werden müssen. Etwas schlechter erscheint die Variante „Feller-Buncher“. Allerdings muss hier berücksichtigt werden, dass es sich hier um eine Erstdurchforstung mit sehr kleinen Bhd der zu entnehmenden Bäume handelt. Vor diesem Hintergrund und unter dem Aspekt der Mobilisierung von zusätzlichen Sortimenten ist dieser Energieeinsatz sehr positiv zu bewerten.

Die in diesem Szenario ermittelten Werte passen gut zu den von RÖDL [3] vorgelegten Energieaufwänden zur Holzproduktion in Kurzumtriebsplantagen. Für die Ernte und das Hacken werden bei RÖDL,

unter der Berücksichtigung des Wassergehaltes, etwa 1,0 % des Energieinhaltes aufgewendet. Hier werden für Harvester und Hacker zusammen von 0,8 bis 1,3 % errechnet (Abb. 1).

In allen Varianten, in denen ausschließlich Kronenrestholz verwendet wird und letzteres als ein Kuppelprodukt der Stammholznutzung zu sehen ist, könnte man auch die Fällung unberücksichtigt lassen, da dieser Energieeinsatz vielmehr dem Stammholz zuzurechnen ist. Aufgrund der unklaren und schwer abzuschätzenden mengenmäßigen Aufteilung von Kronenrestholz zu Stammholz wurde aber bewusst darauf verzichtet und gewissermaßen der „worst case“ angenommen.

### Beitrag zum Klimaschutz – die Kohlenstoffbilanz

In der Wirkungskategorie Treibhauspotenzial (GWP<sub>100</sub>) werden die Emissionen zusammengefasst, die einen Beitrag zur Klimaerwärmung beitragen. Im Fall der Bereitstellungskette von Waldhackschnitzeln, die derzeit vor allem durch den Einsatz fossiler Treibstoffe für Motorsägen, Harvester, Hacker und Transportmittel dominiert wird, sind die wichtigsten Emissionen CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O.

In Abb. 2 sind die Beiträge der einzelnen Prozessschritte zum GWP<sub>100</sub> für das Szenario „Kleinprivatwald“ (MIX-50%) aufgezeigt. Alle Werte beziehen sich auf den Energiegehalt von einer MWh bereitgestellter Energie in Form von Hackschnitzeln. Die Gutschrift zu Beginn (grüne Säule, links) resultiert aus der Holzproduktion

durch Photosynthese und zeigt diejenige Menge an CO<sub>2</sub>, die in den Hackschnitzel mit einem Wassergehalt von 50 % festgelegt wurde. Deutlich zu sehen ist der sehr geringe Beitrag der einzelnen Prozessschritte, die im letzten Balken „Summe-GWP<sub>100</sub>“ aufsummiert wurden.

Natürlich wird bei der Verbrennung der Hackschnitzel im Heiz- bzw. im Heizkraftwerk der gesamte im Hackschnitzel gebundene Kohlenstoff oxidiert und gasförmig als CO<sub>2</sub> freigesetzt. In Summe ergibt sich daraus ein GWP<sub>100</sub>, welches genau der Menge in Balken „Summe-GWP<sub>100</sub>“ entspricht.

Durch die Umstellung von fossilen auf regenerative Energieträger ergibt sich allerdings ein Substitutionseffekt. Der Umwelt werden durch den Einsatz der Waldhackschnitzel diejenigen Emissionen aus den fossilen Energieträgern (Öl/Gas) gewissermaßen erspart. Es wird also eine Gutschrift gegeben (grüner Balken), die in dieser Grafik derjenigen CO<sub>2</sub>-Menge entspricht, welche durch die vollständige Oxidation des Kohlenstoffes im Heizöl freigesetzt wird. Die klimarelevanten Emissionen aus der Vorkette des Heizöls sind in diesem Fall bewusst nicht berücksichtigt, da das Heizöl ja nicht tatsächlich eingesetzt wird. Als Ergebnis (Saldo GWP<sub>100</sub>) ergibt sich dann ein negatives GWP<sub>100</sub>, was aus Sicht des Klimaschutzes natürlich positiv zu bewerten ist.

Dieses Ergebnis zeigt, dass Holz als Energieträger keineswegs CO<sub>2</sub>-neutral ist, denn es müssen die Substitutionseffekte berücksichtigt werden. Derzeit werden diese nicht betrachtet.

**GWP100  
(Global Warming Potential)**

Für die häufigsten treibhauswirksamen Substanzen ist ein Parameter in der Form des Treibhauspotentials GWP (Global Warming Potential) definiert. Das Treibhauspotenzial beschreibt den Beitrag eines Spurengases zum Treibhauseffekt, jedoch nicht als Absolutgröße, sondern relativ zu Kohlendioxid. Für jede treibhauswirksame Substanz wird damit eine Äquivalenzmenge Kohlendioxid in Kilogramm errechnet. Damit kann der direkte Einfluss auf den Treibhauseffekt zu einer einzigen Wirkungskennzahl zusammengefasst werden, indem das Treibhauspotenzial der emittierten Substanz (GWP) mit der Masse der Substanz in Kilogramm multipliziert wird.

## Fazit aus der Sicht der ökologischen Bewertung

- Die Bereitstellung von Waldhackschnitzeln verfügt bereits heute über eine sehr hohe Energieeffizienz. Eine Erhöhung der Produktivität führt auch zu einer Verbesserung der Energiebilanzen.
- Transporte verschlechtern die Energiebilanzen. Je größer die Entfernung umso höher der Energieverbrauch, wobei diese Aussage nur dann stimmt, wenn das Transportmittel dasselbe ist. In der Regel werden aber für größere Entfernungen leistungsfähigere Transportsysteme eingesetzt.
- Heizkraftwerke im oberen Leistungsbereich (> 20 MW) sollten über einen Gleisanschluss verfügen, denn die Transportentfernungen werden sich aufgrund der steigenden Dichte der Kraftwerke gerade für diese Werke erhöhen. Eine leistungsfähige Bahnlogistik ist derzeit in Entwicklung, sie verbessert die Energiebilanzen.
- Brennstoffqualität und Wassergehalt haben einen großen Einfluss auf die Ökobilanz, er ist sehr viel größer als derjenige der Bereitstellungslogistik.
- Unsachgemäße Lagerung der Waldhackschnitzel führt sehr schnell zu hohen Verlusten und zu deutlich schlechteren Energiebilanzen.
- Wärmegeführte Heizwerke und Heizkraftwerke haben bessere Gesamtwirkungsgrade als stromgeführte und damit auch eine bessere Ökobilanz. Der Wirkungsgrad der Feuerungsanlage beeinflusst die Ökobilanz ebenfalls sehr viel stärker als die Bereitstellungskette.
- Die Nährstoffverluste im Wald sind in jedem Fall zu minimieren, eine Rückführung der Nährelemente durch Ausbringung von Aschen ist derzeit in Diskussion, hier besteht bezüglich der Ökobilanz noch Forschungsbedarf.
- Die Bewertung des Nutzungskonfliktes durch zukünftige Intensivierung ist derzeit mit der Methode der Ökobilanzierung nicht befriedigend zu lösen. Die Ansätze zur Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“ sind in Diskussion, hier müssen zusätzlich auch andere Methoden der „Zielfindung“ und „Risikoabwägung“ eingesetzt werden.
- Die zukünftig steigende Nachfrage nach Energie aus regenerativen Quellen kann zu Verschiebungen der Anteile der

stofflichen und energetischen Nutzung von Holz führen. Die höchstmögliche Effizienz durch die kaskadische Nutzung des Holzes ist anzustreben. Die staatliche Förderung der Nutzung von Waldhackschnitzeln ist zu hinterfragen. Es besteht weiterer Forschungsbedarf, über Lebenswegbilanzen die ökologisch optimalen Nutzungswege zu finden.

- Die Effekte der Energiesubstitution auf die Kohlenstoffbilanzen sind nach wie vor nicht berücksichtigt.

### Literaturhinweise:

[1] FRISCHKNECHT, R.; HOFSTETTER, P.; KNOEPFEL, I.; DONES, R.; ZOLLINGER, E. (1995): Ökoinventare für Energiesysteme - Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Bern: Bundesamt für Energiewirtschaft (Hrsg.). [2] JUNGBLUTH, N.; FRISCHKNECHT, R.; FAIST, M. (2002): Ökobilanz für die Stromerzeugung aus Holzbrennstoffen und Altholz. Schlussbericht des Projektes 41458; Bundesamt für Energie, Bern (CH), 69 Seiten. [3] RÖDL, A. (2008): Ökobilanzierung der Holzproduktion im Kurzumtrieb. Arbeitsbericht Nr. 03/2008; Hamburg: vTI – Institut für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft, 82 Seiten. [4] SCHWEINLE, J. (1996): Analyse und Bewertung der forstlichen Produktion als Grundlage für weiterführende forst- und holzwirtschaftliche Produktlinien-Analysen. Hamburg: Max Wiedebusch Kommiss.-Verl., 123 S. = Mitt. Bundesforschungsanst. Forst- Holzwirtsch., Hamburg, Nr. 184. [5] SCHWEINLE, J.; THOROE, C. (1997): Zur Ökobilanzierung der Rohholzproduktion in Deutschland. Forstarchiv, 52, 5: 110-116. [6] WITZLINGER, M. (2002): Ökologische und ökonomische Betrachtung von Holzpellets. Diplomarbeit am Studiengang Holztechnik & Holzwirtschaft der FH Salzburg. [7] ZIMMER, B.; WEGENER, G. (1996): Stoff- und Energieflüsse vom Forst zum Sägewerk. Holz Roh- Werkst. 54, 4: 217-223.