

# Ökobilanz Waldhackschnitzel

Ergebnisse aus der ökologischen Bewertung belegen: Energie aus Hackschnitzeln ist umweltfreundlich

Bernhard Zimmer

**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 die Bäume bei der Holzproduktion diejenige Menge an Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), die bei der Verbrennung wieder freigesetzt wird, zuvor der Atmosphäre entzogen haben. Diese immer wieder betonte CO<sub>2</sub>-Neutralität verleitet jedoch leicht dazu, weitere Optimierungsmöglichkeiten in den Bereitstellungsverfahren, in der Logistik und der Lagerung sowie in der Verbrennungstechnologie nicht mehr zu beachten. Die Darstellung ökologischer Kennwerte der einzelnen Prozessketten der Bereitstellung von Waldhackschnitzeln liefert einen wichtigen Beitrag in der Diskussion um die ökologische Optimierung der Energieerzeugung aus Biomasse.**

Wie umweltfreundlich ist die Energie aus Waldhackschnitzeln? Wo liegen die ökologischen Optimierungspotentiale der Bereitstellungskette und wie viel der im Holz gespeicherten Sonnenenergie muss in Ernte, Aufarbeitung, Lagerung und Transporte gesteckt werden? Im Rahmen des von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (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.

## Ökobilanz (LCA)

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 produktbezogener Ökobilanzen (LCA – Life Cycle Assessment). Die Ökobilanz ist eine der vielen Methoden des Umweltmanagements. Mit Hilfe der in den vergangenen zwei 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 Herstellung und die Nutzung bis hin zur Entsorgung oder Rückführung in Kreisläufe betrachtet werden.

Eine Reihe von Studien zur Energieerzeugung aus Holzbrennstoffen wurde bereits erarbeitet, beispielhaft sind die Arbeiten von Frischknecht et al. (1995), Jungbluth et al. (2002) oder Witzlinger (2002) zu nennen. Die nachfolgenden Ergebnisse fokussieren auf die unterschiedlichen Bereitstellungsketten, weshalb verschiedene typische Szenarien der Gewinnung von Waldhackschnitzeln betrachtet wurden. Waldhackschnitzel werden typischerweise aus Waldrestholz, also Kronenmaterial und Schlagabraum, oder aus der Erstdurchforstung gewonnen. Je nach der jeweiligen Markt- und Erlössituation könnten auch die Industrieholzsortimente »IL« oder »IK« direkt energetisch verwertet werden.

## Solare Energie und Kohlenstoffspeicher

Die biologische Produktion des Energieträgers Holz wurde bereits 1996 von Zimmer und Wegener auf der Basis der Photosynthese modelliert und bildet die Grundlage für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Speicherpotentiale in den Ökobilanzen Holz.

Alle Elemente, die im Holz vorliegen, hat der Baum der Ökosphäre beim Aufbau der Holzsubstanz entzogen. 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 ergeben zusammen durchschnittlich 99 Prozent der Holzmasse. Der Rest beinhaltet eine ganze Reihe anorganischer Bestandteile, die beispielsweise bei der Verbrennung von Holz wieder freigesetzt werden und sich als Emissionen negativ auf die Umwelt auswirken können.

Der Baum wandelt über die Photosynthese Sonnenenergie in chemisch gebundene Energie um und speichert diese im Holz. Es wird davon ausgegangen, dass die erreichbare Energiemenge, ausgedrückt durch den unteren Heizwert (H<sub>u</sub>), auch der dabei verbrauchten Energie entspricht. Aus dem theoretischen Ansatz ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten Mengen, die als Kohlendioxid-Speicherung eingerechnet werden können. Dem oben gewählten Ansatz folg-

ten auch Schweinle (1996, 1997) bei der Bilanzierung der Rohholzproduktion in der Bundesrepublik Deutschland sowie Rödl (2008) mit ihrer Ökobilanzierung der Holzproduktion in Kurzumtriebsplantagen.

**Szenarien zur Gewinnung von Waldhackschnitzeln**

Natürlich ist die Vielzahl der Möglichkeiten, Waldhackschnitzel zu gewinnen, fast unbegrenzt. Deshalb wurden im Projekt typische Abläufe (Szenarien) definiert, die in den Szenarien Kleinprivatwald – Waldrestholz, Profi – Waldrestholz, Profi mit Zwischenlager im Wald, Profi mit Holzlogistik-Zentrum und Feller-Buncher – Vollbaumnutzung wie folgt beschrieben werden können:

**Kleinprivatwald – Waldrestholz**

Mehr als die Hälfte des Waldes in Bayern ist im Eigentum privater Waldbesitzer, in der Mehrzahl handelt es sich um kleine Besitzgrößen. Diese Kleinwaldbesitzer bewirtschaften den Wald oft unregelmäßig und meist selbst, wobei sie auch die meisten Arbeiten selbst erledigen. Gefällt wird in diesem Szenario motormanuell. Im Kleinprivatwald wird das Waldrestholz thermisch verwertet. Kronen und Schlagabraum der genutzten, bereits gefällten Bäume liefern Schlepper an die Forststraße vor. Mobile Zapfwellenhacker hacken das Waldrestholz an der Waldstraße und blasen es in einen landwirtschaftlichen Kipper. Dann werden die Hackschnitzel direkt ins Heizwerk transportiert, als Entfernung werden 30 Kilometer angenommen.

**Profi – Waldrestholz**

Auf Holzernte, Holzbringung und oft auch Vermarktung des Holzes spezialisierte Forstunternehmen bewirtschaften den Wald. Eingesetzt werden spezialisierte Maschinen, die in der Regel geschultes Personal bedient. Die Produktivität ist dadurch höher als im Szenario »Kleinprivatwald«. Das Holz wird entweder motormanuell oder maschinell gefällt, je nach Gelände, Baumarten und Baumdurchmessern. Die Kronen und den Schlagabraum liefern Forwarder an die Forststraße vor. Ein mobiler Großhacker hackt das Waldrestholz an der Waldstraße und bläst es direkt in einen Container-Lkw. Die Hackschnitzel werden direkt ins Heizwerk transportiert, die Entfernung beträgt ebenfalls 30 Kilometer.

**Profi mit Zwischenlager im Wald**

Das Szenario ähnelt dem vorangegangenen, aber das Hackgut wird im Wald zwischengelagert. Das bedeutet ein Sammeln der kleineren Mengen zur Optimierung des Transportes zum Heizwerk oder als Zwischenpuffer, weil der Lagerplatz am Heizwerk zu klein ist. Die Verluste, die von der Lagerdauer abhängen, sind in diesem Szenario noch nicht berücksichtigt.

**Profi mit Holzlogistik-Zentrum**

Durchforstungs- und Waldrestholz werden thermisch verwertet. Harvester fällen die Bäume und arbeiten sie auf. Schlepper mit Rückewagen rücken die Kronen und den Schlagabraum und transportieren sie zum Holzlogistik-Zentrum (zehn Kilometer). Dort hacken mobile Großhacker auf Lkw das Waldrestholz und blasen es direkt in Lkw-Züge, die dann die Hackschnitzel zum Heizwerk liefern (Entfernung 30 km).

**Feller-Buncher – Vollbaumnutzung**

Bei Erstdurchforstungen werden Vollbäume geerntet, um sie thermisch zu verwerten. Harvester ernten die Bäume und konzentrieren sie entlang der Rückegasse vor. Ein Schlepper rückt die getrimmten Vollbäume zur Waldstraße. Dort hackt ein mobiler Großhacker die Bäume direkt in einen Container eines Lkw. Abschließend werden die Hackschnitzel zum Heizwerk transportiert (Entfernung 30 km).

Tabelle 1: Volumina [Srm] und Kohlendioxidverbrauch bezogen auf jeweils einen Heizwert von einer Megawattstunde [MWh]

Wassergehalt [%]	Nadelholz		Mix		Laubholz	
	Volumen [Srm/MWh]	CO <sub>2</sub> [kg/MWh]	Volumen [Srm/MWh]	CO <sub>2</sub> [kg/MWh]	Volumen [Srm/MWh]	CO <sub>2</sub> [kg/MWh]
0	1,27	356	0,98	364	0,90	370
30	1,34	377	1,04	384	0,95	393
50	1,46	410	1,13	419	1,04	428

Tabelle 2: Primärenergieeinsatz in den einzelnen Szenarien der im jeweiligen Hackschnitzel-Sortiment enthaltenen nutzbaren Energie (Heizwert H<sub>u</sub>)

Szenario	LH-30% [% von H <sub>u</sub> ]	MIX-30% [% von H <sub>u</sub> ]	MIX-50% [% von H <sub>u</sub> ]	NH-50% [% von H <sub>u</sub> ]
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

## Einsatz von Primärenergie

In Tabelle 2 ist der Verbrauch an Primärenergie für alle Szenarien und für vier Sortiment Waldhackschnitzel zusammengefasst dargestellt. »LH – 30 Prozent« beinhaltet reines Laubholz mit einem Wassergehalt der Waldhackschnitzel von 30 Prozent; die MIX-Sortimente enthalten Laub- und Nadelholz zu gleichen Teilen. Die Holzartenzusammensetzung, aber auch der Wassergehalt beeinflussen den Heizwert und damit alle Transport- und Aufarbeitungsprozesse.

Das Waldhackschnitzel-Sortiment »LH – 30 Prozent« stellt immer das günstigste Sortiment dar. Realistisch sind die beiden gemischten Sortimente. Dabei ist der negative Einfluss des Wassergehaltes auf den notwendigen Energieeinsatz deutlich zu erkennen. Das auf Grund der geringen Dichte und des hohen Wassergehaltes schlechteste Sortiment ist das reine Nadelholzsortiment mit 50 Prozent Wassergehalt.

Positiv wirkt sich die Produktivitätssteigerung in den stärker mechanisierten Verfahren aus. Deshalb müssen bei der Variante mit Holzlogistik-Zentrum nur noch zwischen 1,4 und 2,1 Prozent der im Hackschnitzel enthaltenen Energie zur Aufarbeitung und für den Transport zum Heizwerk aufgewendet werden. Etwas schlechter erscheint die Variante »Feller-Buncher«; allerdings ist zu berücksichtigen, dass es sich hier um eine Erstdurchforstung mit sehr kleinen Stammdurchmessern der zu entnehmenden Bäume handelt. Vor diesem Hintergrund und unter dem Aspekt der Mobilisierung zusätzlicher Sortimente ist dieser Energieeinsatz sehr positiv zu bewerten. Die in diesem Szenario ermittelten Werte passen gut zu den von Rödl (2008) vorgelegten Berechnung des Energieaufwandes bei der Holzproduktion in Kurzumtriebsplantagen. Für die Ernte und das Hacken werden bei Rödl (2008) – unter Berücksichtigung des Wassergehaltes – etwa ein Prozent des Energieinhaltes aufgewendet, hier werden für Harvester und Hacker zusammen 0,8 bis 1,3 Prozent errechnet (Abbildung 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 wäre. Auf Grund der unklaren und schwer abzuschätzenden mengenmäßigen Aufteilung von Kronenrestholz zu Stammholz wurde aber bewusst darauf verzichtet und gewissermaßen der »ungünstigste Fall« angenommen.

### GWP<sub>100</sub> (Global Warming Potential)

Für die häufigsten treibhauswirksamen Substanzen ist ein Parameter in der Form des Treibhauspotentials GWP (Global Warming Potential) definiert. Das Treibhauspotential 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, in dem das Treibhauspotential der emittierten Substanz (GWP) mit der Masse der Substanz in Kilogramm multipliziert wird.

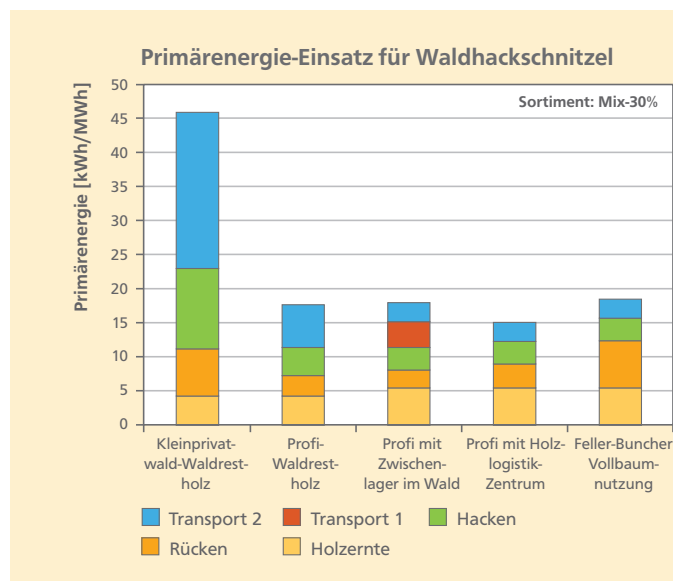


Abbildung 1: Eingesetzte Primärenergie für das gemischte Waldhackschnitzel-Sortiment (Wassergehalt 30 %) in den einzelnen Szenarien in kWh pro MWh (Hackschnitzel), dargestellt für die wesentlichen Prozesse

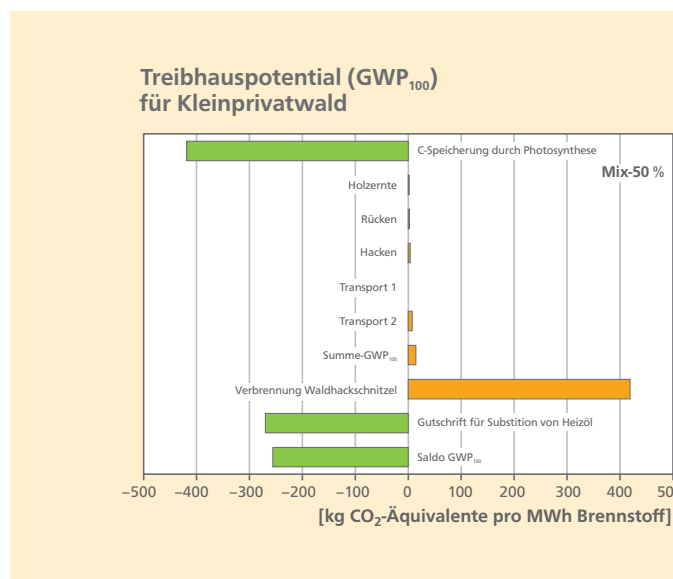


Abbildung 2: Treibhauspotential (GWP<sub>100</sub>) für das Szenario »Kleinprivatwald – Waldrestholz/Mix-50%«; bei der Verbrennung von Holz wird der im Holz festgelegte Kohlenstoff wieder freigesetzt, allerdings substituiert die Energie aus Biomasse diejenige aus fossilen Energieträgern.

## Beitrag zum Klimaschutz – die Kohlenstoffbilanz

In der Wirkungskategorie Treibhauspotential (GWP<sub>100</sub> – Global Warming Potential – siehe Kasten) werden die Emissionen zusammengefasst, die zur Klimaerwärmung beitragen. In der Bereitstellungskette von Waldhackschnitzeln dominiert derzeit vor allem der Einsatz fossiler Treibstoffe für Motorsägen, Harvester, Hacker und Transportmittel, die wichtigsten Emissionen sind deshalb CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O.

In Abbildung 2 sind die Beiträge der einzelnen Prozessschritte zum GWP<sub>100</sub> für das Szenario »Kleinprivatwald« (MIX 50 Prozent) aufgezeigt. Alle Werte beziehen sich auf den Energiegehalt von einer MWh bereitgestellter Energie in Form von Hackschnitzeln. Die Gutschrift zu Beginn (grüner Balken, links) resultiert aus der Holzproduktion im Wege der Photo-

#### Fazit der ökologischen Bewertung

- Die Bereitstellung von Waldhackschnitzeln verfügt bereits heute über eine sehr hohe Energieeffizienz. Eine Erhöhung der Produktivität führt zu einer weiteren Verbesserung der Energiebilanzen.
- Transporte verschlechtern die Energiebilanzen. Je größer die Entfernung, umso höher ist der Energieverbrauch. Dabei stimmt diese Aussage nur dann, wenn das Transportmittel dasselbe ist. In der Regel werden aber für größere Entfernungen leistungsfähigere Transportsysteme eingesetzt.
- Heizkraftwerke im oberen Leistungsbereich (>20MW) sollten über einen Gleisanschluss verfügen, denn die Transportentfernungen werden sich auf Grund der steigenden Dichte der Kraftwerke gerade für diese Werke erhöhen. Eine leistungsfähige Bahnlogistik ist derzeit in Entwicklung, sie verbessert die Energiebilanzen.
- Brennstoffqualität und Wassergehalt beeinflussen die Ökobilanz erheblich. Ihr Einfluss ist sehr viel größer als der der Bereitstellungslogistik.
- Unsachgemäße Lagerung der Waldhackschnitzel führt sehr schnell zu hohen Verlusten und zu deutlich schlechteren Energiebilanzen.
- Wärmegeführte Heizwerke und Heizkraftwerke erreichen 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 Ausbringung von Aschen zur Rückführung der Nährelemente wird derzeit diskutiert, hier besteht hinsichtlich der Ökobilanz noch Forschungsbedarf.
- Die Bewertung des Nutzungskonfliktes auf Grund einer zukünftigen Intensivierung ist derzeit mit der Methode der Ökobilanzierung nicht befriedigend zu lösen. Die Ansätze zur Wirkungskategorie »Naturraumbeanspruchung« werden diskutiert, hier müssen zusätzlich auch andere Methoden der Zielfindung und Risikoabwägung eingesetzt werden.
- Die zukünftig steigende Nachfrage nach Energie aus regenerativen Quellen kann zur Verschiebungen der Anteile der stofflichen und energetischen Nutzung von Holz führen. Die höchstmögliche Effizienz mit Hilfe der kaskadischen 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.

synthese und zeigt die Menge an CO<sub>2</sub>, die in den Hackschnitzeln mit einem Wassergehalt von 50 Prozent festgelegt wurde. Deutlich zu sehen ist der sehr geringe Beitrag der einzelnen Prozessschritte, die im letzten Balken »Summe-GWP<sub>100</sub>« nochmals aufaddiert wurden. Bei der Verbrennung der Hackschnitzel wird 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>, das genau der Menge in Balken »Summe-GWP<sub>100</sub>« entspricht.

Die Umstellung von fossilen auf regenerative Energieträger bewirkt allerdings einen Substitutionseffekt. Der Einsatz der Waldhackschnitzel erspart der Umwelt die Emissionen aus den fossilen Energieträgern (Öl/Gas). Es wird also eine Gutschrift gegeben (orange Balken), die in dieser Grafik der CO<sub>2</sub>-Menge entspricht, die die vollständige Oxidation des Kohlenstoffes im Heizöl freisetzt. Die klimarelevanten Emissionen aus der »Vorkette« des Heizöls sind in diesem Fall bewusst nicht berücksichtigt, da das Heizöl nicht tatsächlich eingesetzt wird. Als Ergebnis (Saldo GWP<sub>100</sub>) ergibt sich dann ein negatives GWP<sub>100</sub>. Das ist aus Sicht des Klimaschutzes positiv zu bewerten. Dieses Ergebnis zeigt, dass Holz als Energieträger keineswegs CO<sub>2</sub>-neutral ist, denn die Substitutionseffekte müssen berücksichtigt werden. Derzeit werden sie nicht betrachtet.

#### Literatur

- 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*. Bundesamt für Energiewirtschaft (Hrsg.), Bern
- 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 S.
- Rödl, A. (2008): *Ökobilanzierung der Holzproduktion im Kurzumtrieb. Arbeitsbericht Nr. 03/2008; vTI* – Institut für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, 82 S.
- Schweinle, J. (1996): *Analyse und Bewertung der forstlichen Produktion als Grundlage für weiterführende forst- und holzwirtschaftliche Produktlinien-Analysen*. Max Wiedebusch Kommissio-Verlag, Hamburg, 123 S. = Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- Holzwirtschaft, Hamburg, Nr. 184
- Schweinle, J.; Thoro, C. (1997): *Zur Ökobilanzierung der Rohholzproduktion in Deutschland*. Forstarchiv 52, 5, S. 110–116
- Witzlinger, M. (2002): *Ökologische und ökonomische Betrachtung von Holzpellets*. Diplomarbeit FH Salzburg
- Zimmer, B.; Wegener, G. (1996): *Stoff- und Energieflüsse vom Forst zum Sägewerk. Holz als Roh- und Werkstoff* 54, 4, S. 217–223

Prof. Dr. Bernhard Zimmer leitet den Fachbereich »Holztechnologie und Ökologie« an der Fachhochschule Salzburg.  
bernhard.zimmer@fh-salzburg.ac.at