

Holz verbrennt, Asche bleibt

Von Rasmus Ettl, Wendelin Weis und Axel Göttlein, Freising

In Zeiten steigender Preise fossiler Brennstoffe erfreut sich Holz als nachwachsender Rohstoff und Energieträger zunehmender Nachfrage. Ziel dieses Beitrages ist es, die Entwicklung des Verbrauches naturbelassenen Energieholzes und den daraus resultierenden Anstieg des Holz-Ascheanfalls in Bayern darzustellen. Jede Holzernte, besonders auch die Gewinnung von Energieholz, bedeutet einen Nährstoffverlust aus Waldökosystemen. Daher soll zusätzlich aufgezeigt werden, mit welchen Nährstoffverlustmengen bei einer intensivierten Holznutzung zu rechnen ist und welche Probleme sich hieraus für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung ergeben.

Hintergrund

Ein Hauptziel der Europäischen Kommission ist die Steigerung des Anteils regenerativer Energien an der Gesamtenergieproduktion auf 12 % bis zum Jahre 2010 [2]. Dabei spielt der CO₂-neutrale Energieträger Holz eine wichtige Rolle, der einerseits die CO₂-Belastung der Atmosphäre durch die Substitution fossiler Brennstoffe verringert und andererseits zu einer unabhängigen und nachhaltigen Energieversorgung beiträgt. In Bayern, dem mit 2,5 Mio ha Wald und einem Holzvorrat von 1 Mrd m³ waldreichsten Bundesland Deutschlands, werden heute bereits 2,5 % des Primärenergiebedarfs mit der energetischen Nutzung von Holz gedeckt, doppelt so viel wie im bundesweiten Durchschnitt [20]. Um dieses Niveau halten bzw. steigern zu können, muss verstärkt Holz eingeschlagen bzw. bisher im Bestand verbleibendes Kronenmaterial genutzt werden. Aktuell liegt der Anteil der energetischen Nutzung von Waldholz in Bayern bei 20 % des jährlichen Einschlages, dies sind ca. 4 Mio Fm pro Jahr [1].

Entwicklung des Energieholzverbrauches in Bayern

In Abb. 1 ist eine Abschätzung der Entwicklung des Verbrauches von naturbelassenem Energieholz in Bayern aufgezeigt.

Nach wie vor ist Scheitholz der mengenmäßig bedeutendste Holzbrennstoff, gefolgt von Hackschnitzeln. In den letzten Jahren zeigten sich starke Zuwachsraten beim Pelletverbrauch mit einer Verdreifachung der Produktion allein zwischen 2002 und 2003. Seit 1992 entstanden über ein Förderprogramm des Bayerischen Mi-

nisteriums für Landwirtschaft und Forsten 125 ausschließlich mit naturbelassenem Holz befeuerte Heizkraftwerke [20]. Ihr Verbrauch lag 2003 bei rund 150.000 t Waldhackschnitzeln. Ein mengenmäßig geringer Teil an Waldhackschnitzeln wird auch in nicht geförderten Heizwerken verbrannt. Letztere verbrauchen etwa 436.000 t Trockenmasse pro Jahr, von denen lediglich 2 % direkt aus dem Wald stammen. 90 % der dort eingesetzten Biomasse besteht aus Sägereestholz, Bauholz und Altholz [20]. Diese Hölzer werden in diesem Beitrag nicht berücksichtigt, da die Datengrundlage ungenügend ist.

Aschemengen und deren Nährstoffgehalte

Durch die allgemein steigende energetische Nutzung nimmt auch der Anfall an entsprechend Holz-Asche zu.

Im Jahr 2004 fielen in Bayern 14.000 t Asche aus naturbelassenen Hölzern an, Tendenz steigend. Davon sind ca. 41 % (ca. 6.200 t), die zentral in Heizkraftwerken anfallen, für eine eventuelle Rückführung in den Wald verfügbar. Bei den restlichen 59 % ist eine Rückbringung weitgehend auszuschließen, da diese Asche nicht ausschließlich aus naturbelassenen Hölzern entstanden ist oder, im Falle von

Tab. 1: Aschegehalte und mittlere chemische Zusammensetzung der verschiedenen Brennstoffe

	Aschegehalt	Literatur
Hackgut mit Rinde	1,7 %	nach [12]
Scheitholz Fi + Rinde	0,6 %	nach [9]
Scheitholz Bu + Rinde	0,5 %	nach [9]
Pellet	max. 0,8 %	[13]

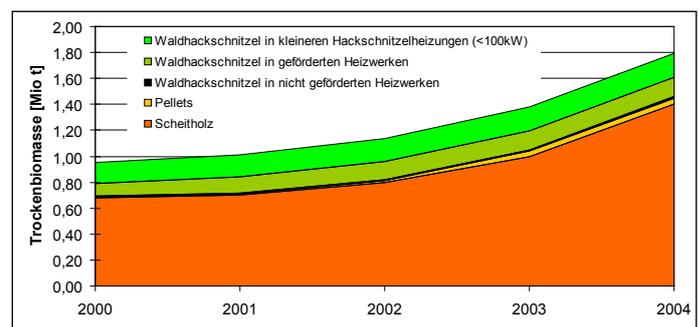
Chemische Zusammensetzung der Holzaschen [8]			
P	K	Mg	Ca
1,6 %	5,8 %	1,9 %	28,6 %

Aschen aus Pellets und Scheitholz, dezentral anfallen und folglich diffus entsorgt werden.

Derzeit werden die Aschen aus Biomasseheizkraftwerken größtenteils deponiert, wobei sich die Deponierungskosten auf ca. 100 € pro Tonne Asche belaufen [14]. Zusätzlich stellen die in den Aschen enthaltenen Nährelemente einen erheblichen finanziellen Wert dar. HOLZNER [10] gab den Nährstoffwert für eine Tonne Asche mit 85 € bis 129 € an. Unterstellt man einen Nährstoffwert von 85 € pro Tonne Asche, so wurden im Jahr 2004 in Bayern Nährstoffe im Wert von über 1,3 Mio € dem Wald durch Energieholznutzung entzogen. Allein bei der energetischen Nutzung von Hackschnitzeln entstand dabei ein volkswirtschaftlicher Verlust (Nährstoffentzug + Deponierungskosten = 185 €/t) von mehr als 1,1 Mio €. Somit ist bereits aus rein monetärer Sicht eine Deponierung von Holzaschen also keine optimale Lösung.

Wie aus Tab. 2 ersichtlich wird, handelt es sich bei Aschen um Calcium (Ca) dominierte Mehrnährstoffdünger. Holzaschen

Abb. 1:
Zeitlicher Verlauf des Energieholzverbrauches in Bayern (Datengrundlage: [20, 18, 6, 7, 17])



Tab. 2: Durch die Energieholznutzung den bayerischen Waldökosystemen entzogenen Nährelementmengen in t/a

	2000	2001	2002	2003	2004
P	130	150	160	190	220
K	480	520	580	670	810
Mg	160	170	190	220	270
Ca	2.360	2.590	2.850	3.300	3.990

Berechnungsgrundlagen sind die Daten von Abb. 1 und Tab. 1.

enthalten neben Calcium, Kalium (K) und Magnesium (Mg) einen hohen Anteil an Phosphor (P), einem weiteren wichtigen Pflanzennährstoff. Holzaschen sind frei von Stickstoff und daher auch angesichts der hohen Stickstoffbelastung der Ökosysteme ein interessantes Produkt zur Nährstoffrückführung in den Wald.

Konsequenzen für den Nährelementvorrat

Um abzuschätzen, welche Auswirkungen eine verstärkte Biomassenutzung für den Nährstoffhaushalt des Waldes haben kann, sind in Abb. 3 in einer vereinfachten Darstellung die Verteilung an P, K, Mg und Ca in den Bäumen sowie bodenchemische Kenngrößen auf einem nährstoffreichen (Höglwald) und einem nährstoffarmen Standort (Flossenbürg) aufgezeigt. Dabei wurden Einträge, Austräge und Verwitterungsraten jeweils für eine Umtriebszeit (=100 Jahre) hochgerechnet.

Basierend auf Abb. 3 sind in den nachfolgenden Tabellen die Konsequenzen für den Nährstoffhaushalt im Wald in Abhängigkeit der Nutzungsintensitäten dargestellt. Hierbei stehen aber nicht die absoluten Zahlen im Vordergrund, sondern vielmehr soll gezeigt werden, bei welchem Nutzungsgrad der Nährstoffhaushalt eines Standorts nachhaltig beeinträchtigt wird. Da es keine „absolute Nachhaltigkeit“ gibt, sind in den nächsten Tabellen drei Aspekte der Nachhaltigkeit beleuchtet worden. Dabei wurden die in Tab. 3 bis 5 aufgeführten Zahlen auf der Basis der in Abb. 3 dargestellten Werte berechnet. Es ist klar, dass die Datengrundlage nicht über mehrere Jahrzehnte konstant bleiben wird, insbesondere wenn der Bestand sein Wuchsverhalten, z.B. wegen Nährstofflimitierung, ändert. Dennoch können die angestellten Berechnungen aufzeigen, welche Elemente bei welcher Nutzungsintensität am ehesten als kritisch zu betrachten sind.

Nachhaltigkeit im Bezug zu den aktuell verfügbaren Vorräten

Auf beiden Flächen wird deutlich, wie stark sich die Nutzungsintensität auf den leicht verfügbaren Nährstoffvorrat (= Biomassevorrat + Vorrat im Humus + aus-

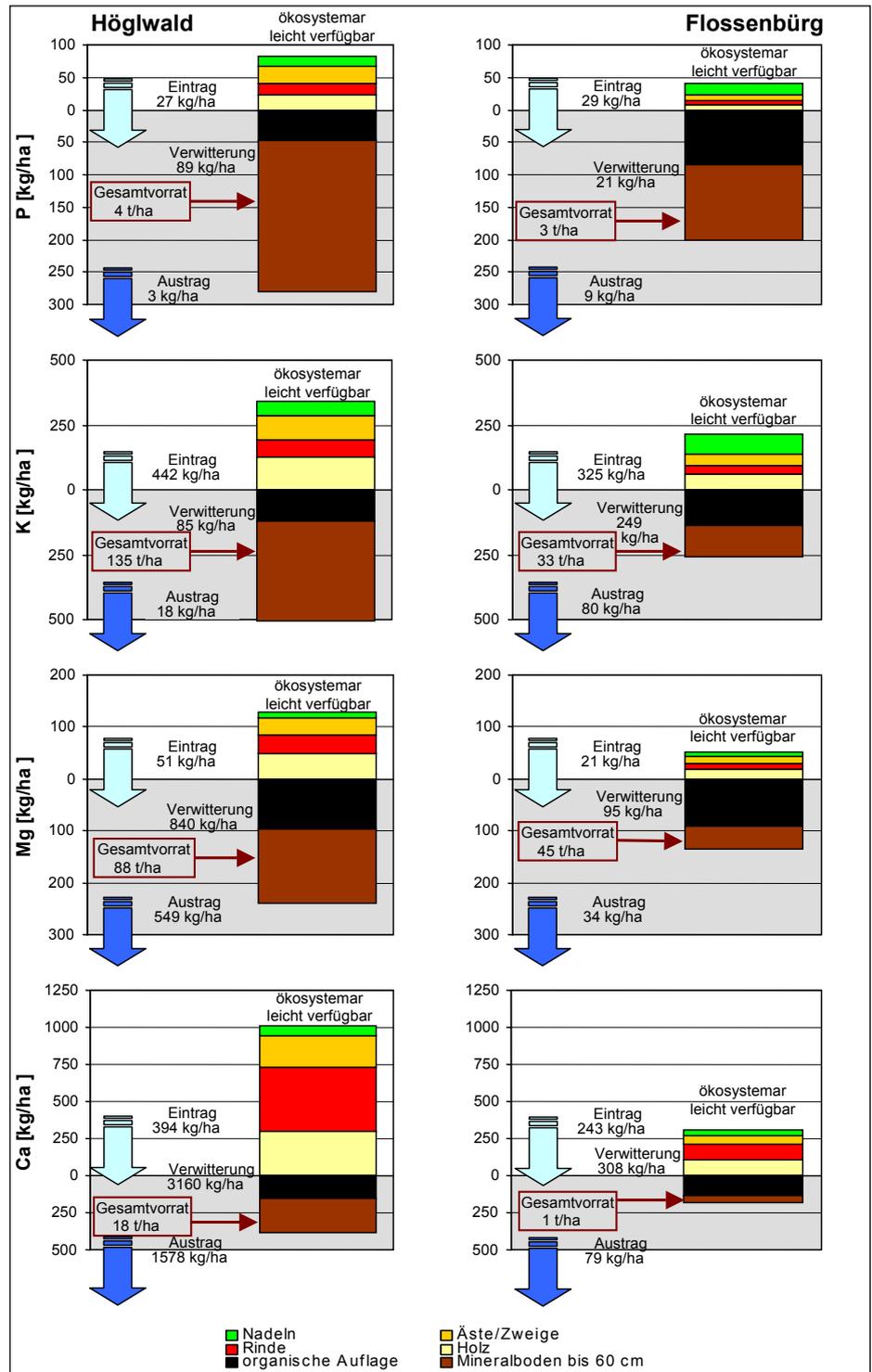


Abb. 3: Verteilung von P, K, Mg und Ca in den verschiedenen Fichtenbaumkompartimenten und leicht verfügbare Vorräte im Boden (organische Auflage: Gesamtgehalte; Mineralboden: austauschbare Vorräte) auf zwei unterschiedlichen Standorten (nährstoffreich: Höglwald; nährstoffarm: Flossenbürg). Ebenfalls dargestellt sind Eintrag, Austrag, die Verwitterung (für eine Umtriebszeit (=100 Jahre) berechnet), sowie die Gesamt- und leicht verfügbaren Vorräte im Mineralboden (nach [4, 19])

tauschbarer Vorrat bis 60 cm Bodentiefe) auswirkt. Bereits bei einer Nutzung von Derbholz mit Rinde werden im Höglwald über die Hälfte des leicht verfügbaren Ca entzogen, bei zusätzlicher Nutzung von Kronenmaterial steigt dieser Wert auf

annähernd 3/4 des leicht verfügbaren Ca-Vorrates an. Die Zahlen für den Standort Flossenbürg liegen in einer vergleichbaren Größenordnung. Bei einer Vollbaumernte werden auf beiden Standorten auch mehr als 25 % des leicht verfügbaren K- und

Tab. 3: Ernteentzüge bei verschiedener Nutzungsintensität bezogen auf den leicht verfügbaren Vorrat (vgl. Abb. 3) in %. Alle Werte über 25 % sind dunkel hinterlegt

	Höglwald			Flossenbürg		
	Derbhholz	Derbhholz + Rinde	Vollbaum	Derbhholz	Derbhholz + Rinde	Vollbaum
P	6	11	23	3	6	17
K	15	23	40	13	20	46
Mg	13	23	35	10	17	28
Ca	22	53	72	22	43	63

Tab. 4: Ernteentzüge bezogen auf die durch Verwitterung freigesetzte Nährstoffmenge unter Berücksichtigung der Einträge und Austräge. Werte <1 sind dunkel unterlegt

	Höglwald			Flossenbürg		
	Derbhholz	Derbhholz + Rinde	Vollbaum	Derbhholz	Derbhholz + Rinde	Vollbaum
P	2,48	1,42	0,64	2,87	1,44	0,53
K	2,08	1,35	0,69	2,47	1,59	0,71
Mg	2,72	2,02	1,94	2,28	1,34	0,91
Ca	3,00	1,34	1,18	2,28	1,13	0,77

Tab. 5: Einfluss der Ernteentzüge auf die Anzahl der hypothetisch möglichen Umtriebszeiten unter Berücksichtigung der Ein- und Austräge. Umtriebszeiten ≤ 10 sind dunkel hinterlegt

	Höglwald			Flossenbürg		
	Derbhholz	Derbhholz + Rinde	Vollbaum	Derbhholz	Derbhholz + Rinde	Vollbaum
P	> 100	50 - 100	25 - 50	> 100	> 100	25 - 50
K	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100
Mg	50 - 100	50 - 100	50 - 100	> 100	> 100	> 100
Ca	≤ 10	≤ 10	≤ 10	25 - 50	≤ 10	≤ 10

Mg-Vorrates entzogen. Mit Ausnahme von K liegen die absoluten und relativen Nährstoffentzüge außer bei einer Vollbaumernnte in dem wüchsigen Bestand Höglwald über denen des nährstoffarmen Standorts Flossenbürg.

Nachhaltigkeit der Nachlieferung (Eintrag + Nachlieferung - Austrag) / (Endnutzung + Zwischennutzung)

In Tab. 4 wird ersichtlich, dass die Ernteentzüge bei einer Derbhholznutzung mit Rinde auf beiden Standorten durch die Nachlieferung gedeckt werden können. Bei intensiveren Nutzungsvarianten kann hingegen die Nährstoffnachlieferung aus der Verwitterung die Nährstoffverluste nicht mehr ausreichend kompensieren (dunkel hinterlegte Felder). Bei Vollbaumernnte ist die nachhaltige Versorgung aller untersuchten Nährstoffe in Flossenbürg nicht gewährleistet. Im Höglwald ist zwar die Nachlieferung an Mg und Ca bei dieser Nutzungsintensität noch ausrei-

chend gedeckt, jedoch ist auch hier eine nachhaltige Versorgung mit P und K nicht gegeben.

Nachhaltigkeit im Bezug zu den Gesamtvorräten

Gesamtvorrat / (Austrag + Endnutzung + Zwischennutzung - Eintrag)

In Tab. 5 wurde die Nachhaltigkeit im Bezug zum Gesamtvorrat untersucht. Auffallend hierbei ist, dass nach diesen Berechnungen an beiden Standorten die Gesamtvorräte an Ca unabhängig von der Nutzungsintensität (Ausnahme: reine Derbhholznutzung in Flossenbürg) nur für längstens 10 Umtriebszeiten ausreichen. Für P zeigt sich eine deutliche Abnahme der Anzahl möglicher Umtriebszeiten mit steigender Nutzungsintensität. Ähnlich wie in Tab. 3 beschrieben, wirkt sich eine intensivierte Nutzung auf dem nährstoffarmen und daher schlechter wüchsigen Standort in Flossenbürg weniger stark aus als im Höglwald.

Mögliche Nährstoffrückführung

Sollte der langfristige Nährstoffentzug aufgrund einer verstärkten Nutzung von Kronenmaterial zur Energiegewinnung erhöht werden, stellt sich kurz- oder mittelfristig die Frage nach der Notwendigkeit einer Nährstoffrückführung zur Erhaltung der Standortproduktivität. Im Hinblick auf die Nachlieferung betrifft dies besonders die Elemente P und K (Tab. 4), im Hinblick auf die Erschöpfung des leicht verfügbaren (Tab. 3) und des Gesamtvorrates (Tab. 5) ist Ca das problematischste Element. Eine mögliche Lösung ist die Ausbringung der nach der energetischen Nutzung von Holz in der Asche verbleibenden Nährstoffe. In unbehandelter Form ist aber reine Asche aufgrund ihrer schnellen Löslichkeit und der stark basischen Reaktion (pH 10-13) für die Ausbringung im Wald aus ökologischer Sicht jedoch nur bedingt geeignet [21]. Als wesentliche Effekte sind hierbei zu erwarten: verstärkte Umsetzungsprozesse der organischen Substanz mit nachfolgenden Nährstoffverlusten und Beeinträchtigung der Sickerwasserqualität ähnlich wie nach Kalkung [15, 16, 11]; reduzierte P-Verfügbarkeit im Boden aufgrund von Immobilisierungsprozessen bei hohem pH-Wert und hoher Ca-Ionenkonzentration [3]. Auch die vor allem in den skandinavischen Ländern verbreitete angewandte Granulierung der Holzrasche (meist unter Zusatz von Zement, Wasser oder Dolomit) kann die genannten negativen ökologischen Wirkungen einer Holzrascheausbringung nur geringfügig ändern [5]. Deshalb wird in Bayern der größte Teil der anfallenden Holzraschen

Literaturhinweise:

[1] BORCHERT, H. (2005): Holzaufkommensprognose für Bayern, LWF – Wissen Nr. 50. Bayerische Landesanstalt für Waldwirtschaft und Forsten, Freising. 72 S. [2] BUWAL (2003): Emissionen nach CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. [3] CLARHOLM, M. (1994): Granulated wood ash and a "N-free" fertilizer to a forest soil-effects on P availability, Forest Ecology and Management 66 (1-3). S. 127-136. [4] DIETRICH, H.-P.; RASPE, S.; SCHWARZMEIER, M.; ILG, S. (2002): Biomasse- und Nährstoffinventuren zur Ermittlung von Ernteentzügen an drei bayerischen Fichtenstandorten. Forstliche Forschungsberichte 186. Schriftenreihe des Wissenschaftszentrums Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München und der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft und Forsten, München. S. 59-72. [5] ERIKSSON, H.M. (1998): Short-term Effects of Granulated Wood Ash on Forest Soil Chemistry in SW and NE Sweden. Scand. J. For. Res. Suppl. 2: S 43-55. [6] FISCHER, J. (2003): Neues vom Pelletmarkt. Tagungsband 11. C.A.R.M.E.N.-Symposium. C.A.R.M.E.N. e.V., Straubing. S. 95-109. [7] HAHN, J. (2005): Vortrag zur Bereitstellung von Scheitholz, Hackschnitzel und Pellets auf der „Biomasse 2005“, Straubing. [8] HALLENBARTER, D. (2002): Optimale Ernährung und Holzrasche-Recycling im Wald. Dissertation ETH, Zürich. [9] HARTMANN, H.; BÖHM, T.; MAIER, L. (1999): Umweltrelevante Eigenschaften naturbelassener biogener Festbrennstoffe sowie Möglichkeiten zu deren Beeinflussung. Bayerische Landesanstalt für Landtechnik (Freising) und Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.), Selbstverlag, München. [10] HOLZNER, H. (1998): Ecological and economic evaluation of biomass utilization – the Austrian approach. Präsentation beim International Biomass Ash Workshop an der Technischen Universität Graz. [11] KREUTZER, K. (1994): Folgerungen aus der Höglwaldforschung. Allg. Forstzeitung, Nr.

14, S. 769-774. [12] OBERNBERGER, I. (1994): Verbrennungsbedingte Stoffflüsse Biomasse - Asche und deren Beeinflussung. In: Tagungsband: Thermische Nutzung von Biomasse - Technik, Probleme und Lösungsansätze. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., BMELF, Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Bd. 2. Gülzow. S. 179-201. [13] ÖNORM M 7135 (2000): Presslinge aus naturbelassenem Holz und naturbelassener Rinde – Pellets und Briketts, Anforderung und Prüfbestimmungen. Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.), Wien, Österreich. 10 S. [14] POPOVICI, E., BENETTO, E., ROUSSEAU, P. (2002): Die Verwertung von Holzrasche im Wald. Holzenergie Nr. 6. S. 46-47. [15] ROTHE, A. (1994): Saure Beregnung und Kalkung - Auswirkungen auf Bodenchemie und Wasserqualität. Allg. Forstzeitung, Nr. 14. S. 754-758. [16] ROTHE, A. (1997): Einfluss des Baumartenanteils auf Durchwurzelung, Wasserhaushalt, Stoffhaushalt und Zuwachsleistung eines Fichten-Buchen-Mischbestandes am Höglwald. Forstlicher Forschungsbericht München Nr. 163. 174 S. [17] StMLF (2003): Gesamtkonzept Nachwachsender Rohstoffe, Bayer. Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten. München. [18] WAGNER, K.; WITTKOPF, S. (2000): Der Energieholzmarkt Bayern. Berichte aus der LWF Nr. 26, Freising. [19] WEIS, W.; GÖTTLEIN, A. (2002): Vergleich von Biomasse, Elementgehalten und Elementvorräte von Fichte (*Picea abies*) und Buche (*Fagus sylvatica*) am Standort von Höglwald zu Zeiten der Vegetationsruhe. Forstliche Forschungsbericht 186. Schriftenreihe des Wissenschaftszentrums Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München und der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft und Forsten, München. S. 163-166. [20] WITTKOPF, S. (2005): Bereitstellung von Hackgut zur thermischen Verwertung durch Forstbetriebe in Bayern. Dissertation TU München, Weihenstephan. [21] ZIMMERMANN, S.; BUNDT, M. (2000): Holzrasche aus Energiefeuerungen: Recycling oder Dumping. Informationsblatt Forschungsbereich Landschaft 46. Schweiz. S. 1-4.

heute noch deponiert, obwohl der Nährstoffentzug durch die Holznutzung annähernd durch eine ökosystemverträgliche Rückführung von Holzasche kompensiert werden könnte [8].

Folgerung

Die stoffliche Nachhaltigkeit der Waldbewirtschaftung ist sowohl gesetzlich (Waldgesetz) als auch in Zertifizierungsrichtlinien (PEFC und FSC) festgelegt und gefordert. Daraus folgen für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung zwei Alternativen:

1. Die Nutzung muss nach der stofflich nachschaffenden Kraft des Standorts bemessen werden. Der Entzug von Kronenmaterial ist mit hoher Wahr-

scheinlichkeit auf vielen Standorten längerfristig nicht nachhaltig.

2. Bei Intensivierung des Biomasseentzugs muss eine kompensierende Nährstoffrückführung in Betracht gezogen werden. Ascherecycling ist hier eine denkbare Variante.

Bei beiden Alternativen besteht allerdings noch wissenschaftlicher Forschungsbedarf. Bei Punkt 1 muss im Einzelfall beurteilt werden, welche Nutzungsintensität das Ökosystem kompensieren kann, damit es nicht zu einer nachhaltigen Beeinträchtigung kommt. Auf vielen Standorten wäre das Belassen des Schlagabraumes ein wichtiger Beitrag zur stofflich nachhaltigen Waldnutzung.

Bei Punkt 2 muss es Ziel sein, Wege zu finden, die Holzasche so zu modifizieren, dass eine das Ökosystem schonende Rückführung der Holzasche möglich wird, um die stoffliche Nachhaltigkeit der Waldnutzung zu gewährleisten. Neben der Vermeidung der kostenintensiven Deponierung wäre die Rückführung von den dem Wald zuvor entzogenen Nährstoffen ein Einstieg in eine echte Kreislaufwirtschaft.

Eine betriebswirtschaftlich „ehrliche“ Kostenkalkulation der Energieholzbereitstellung, insbesondere aus Hackschnitzeln, sollte zukünftig auch den Nährstoffentzug und die Kosten einer eventuell notwendigen Nährstoffrückführung berücksichtigen.