

Monetäre Bewertung des Nährstoffexportes bei Biomassenutzung

Waldhackschnitzelproduktion in Fichtenreinbeständen

Von Rasmus Ettl und Axel Göttlein, Freising

Bei der Produktion von Holz und Waldhackschnitzeln stehen die Schlagworte Produktivität und Wirtschaftlichkeit im Vordergrund, wobei bisher der erntekostenfreie Erlös das wichtigste wirtschaftliche Kriterium ist. In diesem Zusammenhang spielen die Nährstoffe, die durch den Biomasseverkauf dem Ökosystem entzogen werden, bislang praktisch keine Rolle. Ziel dieses Beitrages soll es daher sein, den Nährstoffverlust bei der Bereitstellung von Holz und Waldhackschnitzeln bei unterschiedlichen Nutzungsintensitäten abzuschätzen und diesen monetär zu bewerten, um daraus eine „ehrlichere“ Kostenbilanz der forstlichen Produktion aufstellen zu können.

Datenbasis

In diesem Beitrag sind zwei Fichtenreinbestände der Waldklimastationen Ebersberg (Wuchsgebiet 13.2/2 Südliche Münchner Schotterebene am Rande zum voralpinen Hügelland auf mäßig frischem Standort mäßiger Nährstoffversorgung) und Flossenbürg (Wuchsgebiet 10.4 Innerer Oberpfälzer Wald auf schwach nährstoffversorgtem

Gneisstandort) untersucht worden. Resultierend aus der unterschiedlichen Nährstoffsituation und auch den unterschiedlichen klimatischen Randbedingungen fällt auf, dass trotz ähnlicher Stammzahlen das Schaftholzvolumen in Ebersberg um mehr als 70 % höher ist als in Flossenbürg (Tab. 1). Zudem sind die Fichten in Flossenbürg im Durchschnitt um 8 m niedriger.

Nährstoffgehalte

Um den Nährstoffgehalt in einem Srm in Abhängigkeit der Nutzungsintensität berechnen zu können, benötigt man Informationen über die Nährstoffgehalte der einzel-

nen Fichtenkompartimenten [4] und deren prozentuellen Massenanteile [5] (Tab. 2).

Meist werden in den Nadeln die höchsten Nährelementgehalte gefunden. So besitzen diese jeweils die höchsten Gehalte an Stickstoff (N), Schwefel (S), Phosphor (P), Kalium (K) und Mangan (Mn). Dagegen sind die Calcium (Ca)- und Zink (Zn)-Gehalte in den Stammrinden deutlich höher. Die höchsten Gehalte an Eisen (Fe) sind in den Zweigen zu finden. Aufgrund der höheren Ca- und Mg-Angebote im Unterboden finden sich am Standort Ebersberg für diese beiden Elemente in nahezu allen Kompartimenten höhere bis deutlich höhere Gehalte. Wie sich nun die Nährstoffverteilung auf die Nährstoffgehalte in einem Srm Waldhackschnitzel auswirkt, zeigt Tab. 3. Als Varianten sind verschiedene Nutzungsintensitäten (Derbholz ohne Rinde, Derbholz mit Rinde, Vollbaum und Krone) analysiert worden. Bei der Variante „Vollbaum“ wurde unterstellt, dass der gesamte Baum gehackt wird. In der Variante „Krone“ erfolgt vorab eine Stammholznutzung (Derbholz m.R.) und anschließend wird ausschließlich Kronenmaterial gehackt. Des Weiteren wird bei den beiden letzten Varianten davon ausgegangen, dass es zu kei-

Dipl.-Forsting. (Univ.) R. Ettl ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Waldernährung und Wasserhaushalt der TU München, das von Prof. Dr. Dr. A. Göttlein geleitet wird. Die Untersuchungen wurden vom Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten im Rahmen des Projektes ST 173 „Monetäre Bewertung des Nährstoffentzuges bei der Produktion von Energieholz, insbesondere von Hackschnitzeln“ gefördert.

Hintergrund

Aufgrund steigender Öl- und Gaspreise zeigt sich in den letzten Jahren ein wachsendes Interesse an der thermischen Nutzung forstlicher Biomasse. Waldbesitzer sehen daher im Hacken von Schwachholz bzw. durch verstärktes Aufarbeiten von Kronenmaterial eine Möglichkeit ihre Umsätze zu steigern. Entscheidend für die Rentabilität der Waldhackschnitzelgewinnung ist dabei die Optimierung der Produktionskette. In mehreren Untersuchungen wurden daher die Bereitstellungskosten für Waldhackschnitzel erhoben. Wesentliche Aspekte waren die unterschiedlichen Produktionsabschnitte bei der Bereitstellung, die Maschinen und Arbeitsverfahren und die daraus resultierenden Leistungen und Kosten [7, 8]. Als Ergebnis bekam der unternehmerische Entscheidungsträger Leistungskennzahlen und Preise für die in

der Praxis gängige Bezugseinheit Schüttraummeter (Srm). Nachteilig bei solchen Kostenaufstellungen ist aber, dass im Sinne einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung die Kosten für eine spätere Rückführung der Nährstoffe, die durch die Energieholzproduktion dem Wald entzogen wurden, nicht berücksichtigt werden. Hierzu müssten die Bereitstellungskosten um die Kosten einer Kompensationsdüngung erweitert werden.

Es ist klar, dass die nachfolgenden Berechnungen und Ergebnisse nicht ohne weiteres auf sämtliche Standorte übertragen werden können, jedoch sind sie geeignet um aufzuzeigen, in welchem Kostenrahmen sich die Nährstoffentzüge bei der forstlichen Biomassenutzung in Abhängigkeit von der Nutzungsintensität bewegen.

Tab. 1: Kurze Charakterisierung der beiden Versuchsflächen [1, 4, 5, 6]

Bestand	Ebersberg	Flossenbürg
Alter	85 Jahre	85 Jahre
Stammzahl	520 / ha	544 / ha
Mittlere Höhe	33,3 m	25,1 m
Mittlerer Bhd	39,6 cm	31,1 cm
Bestandesgrundfläche	64,0 m ² /ha	41,4 m ² /ha
Schaftholzvolumen	966 Vfm/ha	560 Vfm/ha
Bonität [Oberhöhe nach Assmann, Franz]	35	30
Boden		
pH-Wert / Basensättigung [%]	pH / BS	pH / BS
L-Of	4,3 / 77,3	3,9 / 52,2
Oh	3,9 / 59,8	3,4 / 17,9
0-5 cm	3,6 / 8,8	3,2 / 11,7
5-20 cm	4,1 / 4,9	3,5 / 4,1
20-40 cm	4,3 / 5,1	4,2 / 3,4

nen Massenverlusten bei der Ernte kommt (üblicherweise sind die 10 bis 30 %) und somit die gesamte Reisigbiomasse genutzt werden kann.

Bei den verschiedenen Nutzungsintensitäten liegen die Gehalte bei einer Derbholznutzung mit Rinde besonders bei Ca deutlich höher als bei einer reinen Derbholznutzung ohne Rinde. Ein bloßes Hacken des Schlagabraumes (Variante Krone) erhöht im Vergleich zu einer Derbholznutzung mit Rinde den Nährstoffgehalt pro Srm je nach Element um den Faktor 2 bis 9. Besonders erhöht sind die Gehalte bei N, S, P und K.

Nährstoffentzüge

Bei der Berechnung flächenbezogener Nährstoffentzüge wird wiederum davon ausgegangen, dass einerseits die anfallende Biomasse ohne Ernteverluste und andererseits der stehende Gesamtvorrat im Alter 85 komplett genutzt wird. Aus nährstoffkundlicher Sicht führen die Varianten Vollbaum und Krone unter den oben genannten Annahmen zu keinen unterschiedlichen Entzügen und sind folglich nicht differenziert betrachtet worden (Tab. 4).

Für alle Nährelemente kann man im Vergleich zur derzeit üblichen Derbholznutzung mit Rinde bei zusätzlichem Export des Kronenmaterials deutlich erhöhte Nährstoffentzüge feststellen. Bei den Makro-Nährelementen S, K, Ca, Mg hat eine Vollbaumernte praktisch eine Verdopplung der Nährstoffentzüge zur Folge, während für P und in Flossenbürg auch für N die Entzüge sich fast verdreifachen.

Monetäre Bewertung

Die in Tab. 3 und 4 berechneten Nährelementgehalte wurden mit Reinnährstoffpreisen multipliziert. Da in Düngemitteln die Nährelemente nicht in Reinform vorliegen, mussten die Reinnährstoffpreise erst ermittelt werden (Tab. 5).

Basierend auf den Tab. 3, 4 und 5 sind in Abb. 1 die Kosten der Kompensation der Nährstoffentzüge für einen Srm Waldhackschnitzel bzw. pro Hektar in Abhängigkeit der Nutzungsintensität abgeleitet.

Abb. 1 zeigt, wie stark die Kosten für die entzogenen Nährstoffe je nach Nutzungsintensität schwanken. Aus den Berechnungen ergibt sich ganz deutlich, dass ein Srm, produziert nach der „praxisnahen“ Variante „Krone“, neben den allgemeinen Bereitstellungskosten, bis zu einem 1,54 € höheren Nährstoffwert hat als ein Srm aus der Variante „Vollbaum“. Bezieht man sich nun auf einen Hektar, so muss bei der Voll-

Tab. 2: Mittlere Nährstoffgehalte von Fichtenkompartimenten [4] und deren Massenanteile [5] auf den Waldklimastationen Ebersberg (EBE) und Flossenbürg (FLO)

			Nadeln	Zweige	Äste	Totäste	Stammrinde	Derbholz
Masse	EBE	t/ha	16,40	9,80	28,00	11,80	25,30	343,30
		FLO	14,70	7,20	14,50	4,70	13,20	174,00
	FLO	%	3,90	1,90	7,20	3,00	5,80	78,20
		FLO	6,40	2,50	7,10	2,10	5,80	76,10
N	EBE	mg/g	13,56	8,43	2,43	1,20	4,32	0,58
		FLO	13,80	8,86	2,43	1,21	5,16	0,64
S	EBE	mg/g	0,97	0,70	0,21	0,10	0,42	0,05
		FLO	1,06	0,68	0,19	0,10	0,47	0,06
P	EBE	mg/g	1,22	0,93	0,20	0,07	0,43	0,03
		FLO	1,23	0,85	0,18	0,06	0,56	0,04
K	EBE	mg/g	4,05	3,36	0,96	0,69	1,96	0,33
		FLO	5,37	3,35	0,95	0,66	2,61	0,35
Ca	EBE	mg/g	5,51	4,52	3,33	1,08	9,83	0,70
		FLO	2,62	3,53	2,28	0,87	7,80	0,61
Mg	EBE	mg/g	0,83	0,91	0,44	0,24	0,81	0,10
		FLO	0,60	0,69	0,37	0,21	0,99	0,10
Mn	EBE	mg/g	2,81	1,14	0,82	0,46	1,68	0,24
		FLO	0,34	0,26	0,17	0,09	0,50	0,06
Fe	EBE	µg/g	61,44	108,71	18,21	2,78	26,06	4,49
		FLO	95,89	284,00	59,00	9,20	61,82	4,96
Zn	EBE	µg/g	19,72	75,56	46,99	15,16	123,23	9,64
		FLO	17,97	92,05	59,01	25,55	192,24	16,07

Tab. 3: Nährstoffgehalte in einem Srm Waldhackschnitzel (g/Srm). Bei der Variante „Vollbaum“ wird der gesamte Baum, bei der Variante „Krone“ nur Kronenmaterial (Nadeln, Zweige, Äste, Totäste) gehackt. Bei allen Nutzungsintensitäten werden keine Massenverluste bei der Ernte und somit die Nutzung der gesamten Biomasse unterstellt.

	Derbholz o.R.		Derbholz m.R.		Vollbaum		Krone	
	Ebersberg	Flossenbürg	Ebersberg	Flossenbürg	Ebersberg	Flossenbürg	Ebersberg	Flossenbürg
	N	116	128	168	192	321	418	1125
S	10	12	15	18	27	35	87	111
P	6	8	12	15	26	35	102	126
K	66	70	88	102	137	185	390	562
Ca	140	122	266	224	338	271	716	482
Mg	20	20	30	33	43	44	111	95
Mn	48	12	68	18	98	23	255	47
Fe	1	1	1	2	2	5	7	19
Zn	2	3	3	6	4	6	8	9

Tab. 4: Nährstoffentzüge (kg/ha) in Abhängigkeit der Nutzungsintensität. Die Entzüge stellen die Nährstoffverluste einer kompletten Räumung des bestehenden Bestandes nach 85 Jahren in Abhängigkeit der jeweiligen Nutzungsintensität dar

	Derbholz o. R.		Derbholz m. R.		Vollbaum	
	Ebersberg	Flossenbürg	Ebersberg	Flossenbürg	Ebersberg	Flossenbürg
	N	200,5	110,6	309,9	178,9	697,6
S	17,2	10,6	27,9	16,8	57,6	40,6
P	10,2	6,8	21,1	14,2	56,6	41,3
K	114,4	61,2	164,0	95,8	298,5	215,9
Ca	241,4	105,4	490,0	208,5	730,9	309,9
Mg	33,9	17,9	54,4	30,9	92,1	51,1
Mn	82,9	10,8	125,4	17,5	211,2	27,3
Fe	1,5	0,9	2,2	1,7	4,8	6,1
Zn	3,3	2,8	6,4	5,3	9,0	7,3

Tab. 5: Preise der Reinnährstoffe für das Jahr 2006 (€/kg incl. MwSt.)

N ¹⁾	P ¹⁾	K ¹⁾	Ca ²⁾	S ²⁾	Mg ²⁾	Spurenelemente: Mn, Fe, Zn ²⁾
0,82	1,67	0,51	0,10	0,30	0,17	0,65

¹⁾ Daten von der Landesanstalt für Landwirtschaft [10] ²⁾ aktuelle Düngemittelpreise.

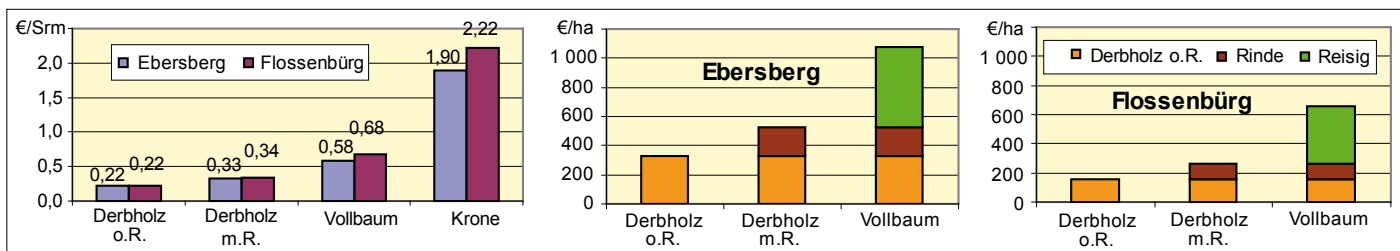


Abb. 1: Kosten der Kompensation für die in Tab. 5 aufgeführten Nährelemente ohne Ausbringungskosten in Abhängigkeit der Nutzungsintensität

Tab. 6: Rückbringungskosten (Nährstoffentzug und Ausbringung) in Abhängigkeit der Nutzungsstärke [€/ha]			
	Derbholz o.R.	Derbholz m.R.	Vollbaum
wüchsiger Standort Ebersberg; Rückführung P, K			
per Hubschrauber (35 €/t)	166	255	502
per Kreiseltreuer (40 €/t)	171	262	516
schwach wüchsiger Standort Flossenbürg; Rückführung Ca, Mg, P, K			
per Hubschrauber (35 €/t)	97	179	402
per Kreiseltreuer (40 €/t)	101	185	415

Tab. 7: Kosten für eine Nährstoffrückführung pro Schüttraummeter in Abhängigkeit der Nutzungsintensität [€/Srm]				
	Derbholz o.R.	Derbholz m.R.	Vollbaum	Krone
wüchsiger Standort Ebersberg; Rückführung P, K				
per Hubschrauber	0,10	0,14	0,23	1,52
per Kreiseltreuer	0,10	0,14	0,24	1,56
schwach wüchsiger Standort Flossenbürg; Rückführung Ca, Mg, P, K				
per Hubschrauber	0,11	0,19	0,35	1,96
per Kreiseltreuer	0,12	0,20	0,36	2,02

baumvariante mit annähernd doppelt so hohen Nährstoffentzugskosten wie bei einer Derbholznutzung mit Rinde gerechnet werden.

Nährstoffrückführungskosten

Um standortsabhängig Aussagen über Kosten einer entsprechenden Nährstoffrückführung machen zu können, wurden diese beispielhaft für die beiden Standorte Ebersberg und Flossenbürg berechnet (Tab. 6). Die Berechnungen beziehen sich nur auf die Nährstoffe Ca, Mg, K, und P. Auf die Berechnung von Spurenelementen wird verzichtet, da die Kompensation in vielen Fällen nicht notwendig sein wird bzw. diese in geringer Menge auch in den verwendeten Düngemitteln enthalten sind.

- Auf dem **basenarmen Standort Flossenbürg** wird ein Volldüngung der oben genannten Nährelemente kalkuliert.
- Am **basenreicheren Standort Ebersberg** werden lediglich P und K zurückgeführt, da davon ausgegangen werden kann, dass Ca und Mg dort im Unterboden in ausreichender Menge zur Verfügung stehen.
- **Bei N** wird unterstellt, dass der bayernweit hohe atmosphärische Eintrag von jährlich 30 kg/ha [3] die Entzüge durch die Holznutzung kompensieren kann.

- Kalkulationsbasis waren die Düngemittel
- Kohlensaurer Kalk (90 % CaCO₃ = 3,40 €/dt),
 - Kohlensaurer Magnesiumkalk (60% CaCO₃, 40% MgCO₃; 3,90 €/dt),
 - Kornkali (40 % K₂O, 6 % MgO = 15,80 €/dt)
 - Triple-Superphosphat (46% P₂O₅ = 12,00 €/dt)
 - sowie die Nährstoffexporte aus Tab. 4.

Interessant bei dieser Berechnung ist, dass es bei einer Steigerung bei der Biomassenutzung um nur 20 % (Derbholz

m.R. → Vollbaum) (s. Tab. 2) zu einer Verdopplung der Kosten für eine Kompensationsdüngung kommt. Im Vergleich zu einer reinen Derbholznutzung ohne Rinde erhöhen sich bei Vollbaumnutzung die Nährstoffrückführungskosten in Ebersberg um das Dreifache, in Flossenbürg sogar um das Vierfache. Aufbauend auf Tab. 6 sind in Tab. 7 die Kosten für eine Rückführung der entzogenen Nährstoffe bezogen auf einen Srm Hackschnitzel berechnet worden.

Bei der Hackschnitzelgewinnung aus Kronenmaterial (Variante „Krone“) muss mit Nährstoffrückführungskosten von 1,52 bis 2,02 €/Srm gerechnet werden. Diese Kosten sind 10 mal so hoch wie bei der Variante „Derbholz mit Rinde“. Zudem wird deutlich, dass in Flossenbürg, obwohl nur ca. die Hälfte an Biomasse vorhanden ist (Tab. 2), die Kosten je Srm aufgrund der standortsbedingten Volldüngung und des höheren Nadelanteils (Tab. 2) deutlich höher sind. Ferner belegen die Berechnung, dass bei den Hackschnitzeln der Variante „Krone“ mit sechsmal so hohen Kosten wie bei der Variante „Vollbaum“ zu rechnen ist, obwohl diese aufgrund des hohen Nadelanteils qualitativ minderwertiger sind.

Der derzeitige Preis für Waldhackschnitzel mit einem Wassergehalt von 35 % liegt bei 68,54 €/t [9] (entsprechend 92,53 €/t_{atro} bzw. 18,50 €/Srm (1 t_{atro} = 5 Srm [2])). WITTKOPF [7] gibt die Bereitstellungskosten für 1 Srm Waldhackschnitzel zwischen 9,60 und 17,60 €/Srm an. Nimmt man nun jeweils die höchsten Kosten für Bereitstellung (17,6 €/Srm) und Rückbringung (2,02 €/Srm) an, so deckt der Erlös aus dem Verkauf von Waldhackschnitzel aus Kronenmaterial im ungünstigsten Fall nicht einmal diese Kosten, d.h. dass die Hackschnitzelgewinnung

derzeit nur bei geringen Bereitstellungskosten und einem möglichst geringen Anteil an Kronenmaterial interessant ist.

Folgerung

Bei der Produktion von Waldhackschnitzeln sollten neben dem Kriterium Forstschutz die Kriterien Wirtschaftlichkeit und ökosystemarer Nutzen eines Belassens von Kronenmaterial deutlich abgewägt werden. Eine nur geringe Steigerung in der Biomassenutzung bei zusätzlicher Verwendung von Kronenmaterial lassen die Nährstoffentzüge und damit die Kosten für die Produktion von Hackschnitzeln bei ganzheitlicher Kostenbilanzierung enorm anwachsen. Vor diesem Hintergrund muss sich der Waldbesitzer im Einzelfall die Frage stellen, wie intensiv er seine Bestände nutzen kann und ob das Hacken von Kronenmaterial wirklich auf lange Sicht wirtschaftlich die interessanteste Variante ist.

Literaturhinweise:

- [1] DIETRICH, H.-P.; RASPE S.; SCHWARZMEIER, M.; ILG, S. (2002): Biomasse- und Nährstoffinventuren zur Ermittlung von Ernteentzügen an drei bayerischen Fichtenstandorten. Forstl. Forschungsber. München 186, 59-72. [2] HARTMANN, H.; THUNEKE, K.; HÖLDRICH, A.; ROHMANN, P. (2003): Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. Gülzow. 184 S. [3] KREUTZER, K.; WEIS, W. (1998): The Höglwald field experiments – aims, concept and basic data. Plant and Soil 199; Kluwer Academic Publishers. Netherlands. S. 1-10. [4] RASPE, S.; KENNEL, M.; DIETRICH, H.P.; SCHWARZMEIER, M. (2000): Oberirdische Biomasse- und Elementvorräte der Fichtenbestände auf den Waldklimastationen Ebersberg und Flossenbürg, Abschlussbericht Projekt ST 74, Freising. 27 S. [5] SCHWARZMEIER, M. (2000): Erhebung der oberirdischen Biomassevorräte von Fichtenbeständen im Bereich der Waldklimastationen Ebersberg und Flossenbürg. Diplomarbeit, Freising. 154 S. [6] WEIS, W.; HUBER, C.; GÖTTLEIN, A. (2001): Regeneration of Mature Norway Spruce Stands: Early Effects of selective Cutting on Seepage Water Quality and Soil Fertility. The Scientific World. S. 493-499. [7] WITTKOPF, S. (2005): Bereitstellung von Hackgut zur thermischen Verwertung durch Forstbetriebe in Bayern. Dissertation TU München, Weihenstephan. [8] WITTKOPF, S.; HÖMER, U.; FELLNER, S. (2003): Bereitstellungsverfahren für Waldhackschnitzel – Leistungen, Kosten und Rahmenbedingungen. Berichte aus der LWV, Nr. 38. Freising, 82 S. [9] Internetseite C.A.R.M.E.N (Stand: 18.12.2006): <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/hackschnitpreise.html>. [10] Internetseite der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (Stand: 16.09.2006): http://www.lfl.bayern.de/flb/db/14249/db_berechnung.php?was=w_weizen.