

# Nährstoffnachhaltige Biomassenutzung

Bei der Nutzung von Biomasse ist Vorsicht geboten: Nicht jeder Waldstandort verträgt den erhöhten Nährstoffentzug

Wendelin Weis und Axel Göttlein

**Das Wachstum von Wäldern wird in erster Linie von den Standortfaktoren Klima, Wasserverfügbarkeit und Nährstoffangebot bestimmt. Bei einer Intensivierung der forstlichen Nutzung, wie sie zum Beispiel bei Energieholznutzung und Hackschnitzelproduktion gegeben ist, ist die Nährstoffverfügbarkeit am Standort für eine stofflich nachhaltige Forstwirtschaft von entscheidender Bedeutung.**

Die Biomassenutzung aus dem Wald durch die Entnahme von Kronenmaterial ist stets mit einem erhöhten Entzug wichtiger Nährstoffe verbunden. Vor den mit einer unüberlegten Übernutzung der Wälder verbundenen Risiken für Nährstoffversorgung und Zuwachs wurde in den letzten Jahrzehnten immer wieder gewarnt (Tamm 1969; White 1974; Kimmins 1977; Kreuzer 1979; Ulrich 1981; Krapfenbauer und Buchleitner 1981; Sterba 1988 und 2003). Um den durch die Holzernte verursachten Nährelementaustrag verlässlich quantifizieren zu können, müssen neben der standortsabhängigen Biomasseproduktion auch die spezifischen Elementgehalte in Holz, Rinde und Kronenmaterial bekannt sein. Ein Vergleich des erntebedingten Nährstoffentzugs mit der Nährstoffnachlieferung über Deposition aus der Luft und Verwitterung aus dem Boden erlaubt die Beurteilung der Nutzung hinsichtlich ihrer Nährstoffnachhaltigkeit.

Untersucht wurden dafür die Verteilung der oberirdischen Biomasse, die Elementgehalte in den verschiedenen Baumkompartimenten und die physikalischen und chemischen Bodenkennwerte von 20 Fichten- und 18 Buchen-Altholzbeständen. Die untersuchten Standorte repräsentieren die wichtigsten Geologien und Wuchsgebiete Bayerns. Die Ergebnisse können damit als Grundlage zur Ableitung von Empfehlungen für eine aus nährstoffkundlicher Sicht nachhaltigen Nutzung von Fichten- und Buchenwäldern in Bayern dienen. Aus den gewonnenen Daten wurden Biomassefunktionen für Fichten und Buchen abgeleitet, die es erlauben, die Masse von Nadeln, Zweigen, Ästen, Rinde und Holz in Abhängigkeit von den Baumparametern Brusthöhendurchmesser, Höhe, Kronenlänge und den Bestandeskenngrößen Alter und Stammzahl zu berechnen.

## Dreimal Biomasse: Stammholz, Stammrinde und Kronenmaterial

Die Berechnung der Biomassen ergibt einen durchschnittlichen Anteil von etwa 80 Prozent für Stammholz und zusätzliche fünf Prozent für Stammrinde. Nur etwa 15 Prozent der Biomasse ist im Kronenmaterial (Äste, Zweige, Blätter) gebunden (Abbildung 1). Dabei entfallen auf die grüne Biomasse bei Buche nur ein bis drei Prozent, bei Fichte sind es immerhin zwei bis sieben Prozent. Die Biomasseverhältnisse variieren je nach Alter und Bestandsentwicklung deutlich. Die errech-

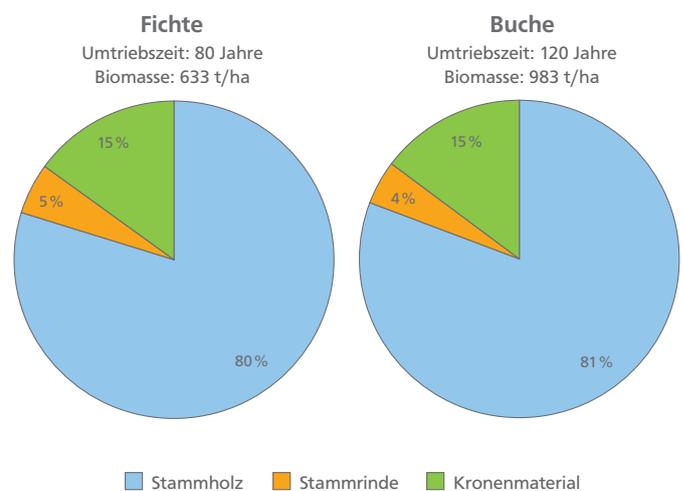


Abbildung 1: Biomassekompartimente in Fichten- und Buchenbeständen

nete mittlere Gesamtproduktion an oberirdischer Biomasse beläuft sich für die Fichtenbestände auf durchschnittlich 633 Tonnen pro Hektar in 80 Jahren und damit auf etwa jährlich acht Tonnen. Für die Buchenbestände liegt der Wert bei 983 Tonnen pro Hektar in 120 Jahren bzw. ebenfalls bei etwa acht Tonnen pro Hektar und Jahr. Die durchschnittliche Massenproduktion der beiden Baumarten ist also sehr ähnlich. Allerdings finden sich große Unterschiede zwischen den einzelnen Beständen, insbesondere bei Buche.

## Nährstoffverteilung in der Biomasse

Die Nährelementgehalte in den einzelnen Baumkompartimenten können sowohl für Fichte als auch für Buche ein weites Spektrum einnehmen, wobei baumartbedingt die Gehalte an Makronährelementen bei Buchen meist deutlich über denen von Fichten liegen. Tabelle 1 zeigt die Gehalte der Makronährelemente in Stammholz, Stammrinde und verschiedenen Kronenkompartimenten von Fichten und Buchen. Zwei Faktoren spielen dabei eine wichtige Rolle: die Nährstoffverfügbarkeit am Standort und das Wachstum und damit der Nährstoffbedarf des Bestandes. So können langsam wachsende Bestände

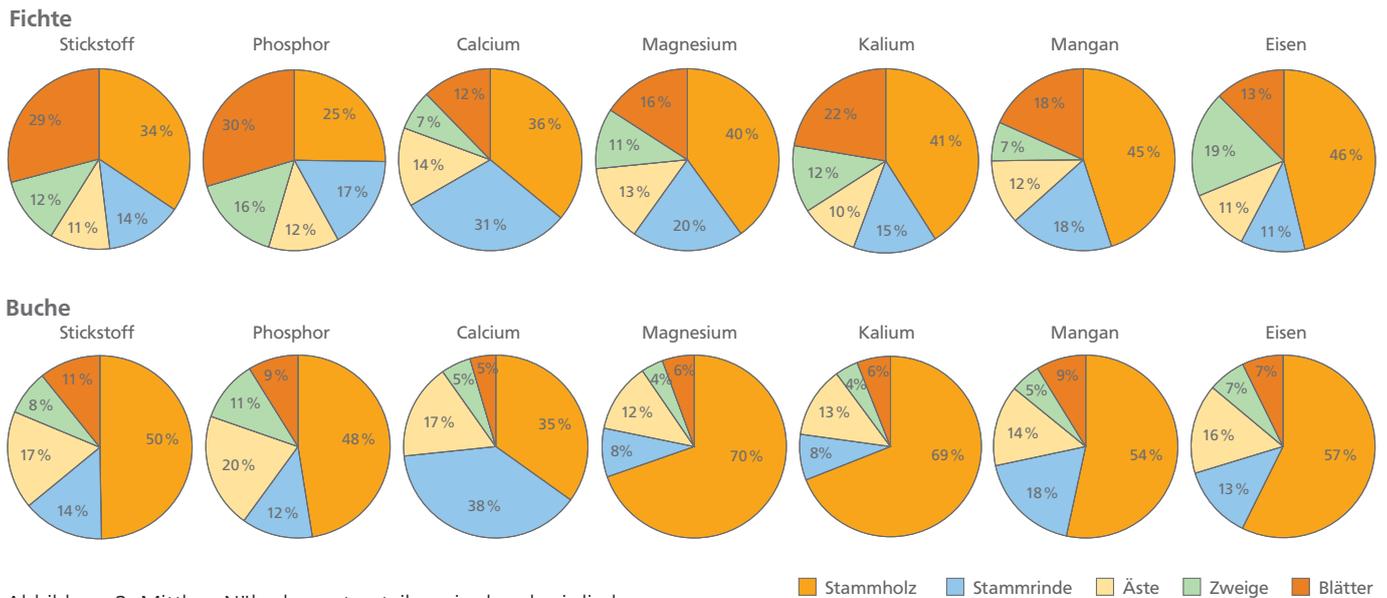


Abbildung 2: Mittlere Nährstoffverteilung in der oberirdischen Biomasse von Fichten- und Buchenaltbeständen

auch bei geringerem Nährstoffangebot durchschnittlich oder sogar überdurchschnittlich hohe Nährstoffgehalte zeigen.

Die mittlere Verteilung des Nährstoffvorrats in Fichten- bzw. Buchenbeständen zeigt gegenüber der Biomasseverteilung deutliche Unterschiede (Abbildung 2). Die Nährstoffgehalte im Stammholz sind vergleichsweise gering. Wegen des hohen Massenanteils wird dennoch ein beträchtlicher Anteil der Nährstoffvorräte im Holz gespeichert. Dabei zeigt Buchenholz für Stickstoff, Phosphor, Magnesium und Kalium, nicht aber für Calcium gegenüber Fichtenholz deutlich höhere Nährstoffgehalte und damit größere gebundene Nährstoffvorräte. Hinzu kommt für den Stammbereich der nicht unerhebliche Anteil an in der Rinde gespeicherten Nährstoffen. Die Rinde ist zwar hinsichtlich ihrer Biomasse wenig bedeutsam, trägt aber auf Grund der gegenüber dem Holz höheren Nährstoffgehalte deutlich zum im Bestand gebunde-

nen Nährstoffvorrat bei. Auffällig sind hier die hohen Calciumvorräte in der Buchenrinde, wohingegen Magnesium und Kalium bei Fichte eine bedeutendere Rolle zu spielen scheinen. Am höchsten sind die Nährstoffgehalte im Kronenbereich. Der Anteil der dort gebundenen Nährstoffe übersteigt ihren Biomasseanteil beträchtlich. Allerdings spielt der Einfluss des Standorts auf die Nährstoffversorgung eine wichtige Rolle. Zwischen den Beständen sind die Unterschiede in der Nährstoffverteilung enorm. Auch die Baumart hat einen differenzierenden Effekt. Für Fichte ergibt sich für Stickstoff, Phosphor und Schwefel je nach Nährstoffversorgung ein Nährstoffanteil in der Krone von einem Drittel bis zu drei Vierteln des Gesamtvorrats. Bei Buche befindet sich dagegen nur ein Viertel bis die Hälfte dieser Nährstoffe in der Krone, da gegenüber Fichte die Nährstoffgehalte in Holz und Rinde deutlich höher liegen.

Tabelle 1: Spannweite der Elementgehalte in den Baumkompartimenten von Fichten- und Buchenaltbeständen [in g/kg]

		N	P	S	Ca	Mg	K	Mn	Fe
Fichte	Nadeln	10–14	0,76–1,48	0,74–1,13	2,4–11	0,39–2,59	2,8–6,0	0,19–3,72	0,050–0,100
	Zweige	5,6–9,2	0,55–1,14	0,46–0,77	3,2–6,9	0,52–1,47	2,2–5,0	0,10–1,51	0,074–0,207
	Äste	1,9–3,9	0,17–0,42	0,14–0,29	2,3–7,5	0,29–0,70	0,8–1,8	0,08–1,23	0,018–0,054
	Rinde	3,5–6,3	0,26–0,69	0,28–0,50	7,1–19	0,54–1,15	1,3–3,9	0,15–2,54	0,024–0,132
	Holz	0,3–2,2	0,02–0,09	0,01–0,06	0,5–1,4	0,07–0,18	0,3–0,6	0,03–0,42	0,004–0,039
Buche	Blätter	20–27	0,92–1,90	1,25–1,93	4,8–18	1,04–3,10	5,3–13	0,14–2,62	0,063–0,239
	Zweige	6,3–10	0,55–1,35	0,51–0,70	3,5–12	0,31–1,17	2,3–3,5	0,05–0,91	0,021–0,082
	Feinäste	2,9–5,6	0,24–0,64	0,22–0,37	1,9–7,1	0,19–0,94	1,1–2,3	0,03–0,56	0,012–0,065
	Grobäste	2,3–3,2	0,12–0,50	0,15–0,25	1,9–6,0	0,19–0,75	1,0–2,1	0,03–0,50	0,008–0,065
	Rinde	5,5–8,8	0,30–0,56	0,35–0,51	10–34	0,28–1,42	1,7–2,9	0,07–1,35	0,022–0,082
Holz	1,0–2,4	0,08–0,19	0,09–0,14	0,8–1,6	0,17–0,60	1,1–1,9	0,02–0,24	0,006–0,023	

Tabelle 2: Spannweite der nutzbaren Gesamtbiomasseproduktion (oberirdische Biomasse ohne Streufall) einer Umtriebszeit (U) und der damit verbundene Nährelementbedarf der untersuchten Bestände (Stamm = Holz + Rinde)

		Masse	N	P	S	Ca	Mg	K	Mn	Fe
		[t/ha]	[kg/ ha]	[kg/ ha]	[kg/ ha]	[kg/ ha]	[kg/ ha]	[kg/ ha]	[kg/ ha]	[kg/ ha]
Fichte (U=80)	Stamm	199–808	201–1335	9–88	8–66	321–1297	36–144	72–497	7–388	2,4–29
	Krone	53–159	341–1078	27–95	26–75	196–892	31–115	111–423	7–198	2,9–11
<i>Nährelementbedarf pro Jahr</i>			<i>7,9–25</i>	<i>0,5–2,1</i>	<i>0,5–1,5</i>	<i>7–27</i>	<i>0,9–2,7</i>	<i>2,4–10</i>	<i>0,2–6,6</i>	<i>0,08–0,4</i>
Buche (U=120)	Stamm	101–1120	280–1812	10–230	16–144	349–3043	67–488	155–1780	3–262	1,7–27,8
	Krone	50–225	284–1344	14–135	18–100	243–1201	27–128	100–764	2–128	1,1–16,1
<i>Nährelementbedarf pro Jahr</i>			<i>4,7–24</i>	<i>0,2–2,6</i>	<i>0,3–1,9</i>	<i>5,5–34</i>	<i>0,9–5,1</i>	<i>2,1–20</i>	<i>0,04–3,1</i>	<i>0,02–0,3</i>

Den Gesamtnährstoffbedarf von Fichten- und Buchenbeständen in einer Umtriebszeit zeigt Tabelle 2. Im Durchschnitt über alle beprobten Bestände liegt der Nährelementbedarf für Buchen deutlich über dem von Fichtenbeständen. Die berechnete durchschnittliche jährliche Stickstoffaufnahme beträgt 15,1 Kilogramm pro Hektar bei Fichte gegenüber 17,7 Kilogramm pro Hektar bei Buche. Fichten benötigen jährlich circa 1,3 Kilogramm Phosphor, Buchen etwa 1,6 Kilogramm pro Hektar. Die jährliche Calciumaufnahme liegt im Mittel bei 15,3 (Fichte) und 19,3 (Buche) Kilogramm pro Hektar. Am deutlichsten sind die Unterschiede bei Magnesium und Kalium. So liegt der durchschnittliche jährliche Magnesiumbedarf von Fichtenbeständen bei 1,8 Kilogramm pro Hektar, für Buchenbestände bei 2,8 Kilogramm pro Hektar. Für Kalium errechnen sich Werte von 6,9 (Fichte) und 12,7 (Buche) Kilogramm pro Hektar.

**Biomassenutzung – Was ist zu beachten?**

Allgemein kann meist über den Zuwachs eines Bestands auf die Nährstoffverfügbarkeit am Standort geschlossen werden. Unter der Voraussetzung, dass Wasserversorgung und Witterung nicht wachstumslimitierend wirken, zeigen schlecht nährstoffversorgte Bestände auch geringeres Wachstum. In der Regel handelt es sich hier um stark verwitterte Böden aus sauren Ausgangsgesteinen, flachgründige Standorte, sehr sandige Flächen und kiesige Substrate mit geringem Feinerdeanteil. Carbonatische Böden geringer Entwicklungstiefe führen häufig zu Phosphor- und Kaliummangel. Bei Verdacht auf Nährstoffmangel sollte auf intensive Nutzung verzichtet werden.

Die Nährstoffkationen Calcium, Magnesium und Kalium sind zu fast drei Viertel im Derbholz mit Rinde gebunden, wobei etwa die Hälfte auf die Rinde entfällt. Damit werden große Nährstoffmengen bereits bei reiner Derbholznutzung dem Standort entzogen. Umso wichtiger ist es, auf Mangelstandorten die Nährstoffversorgung zu verbessern. Möglichkeiten Nährelementverluste zu begrenzen sind beispielsweise der Verzicht auf Hackschnitzelgewinnung aus Kronenmaterial und Schwachholz, Einschränkungen bei der Selbstwerbung und das Belassen der Biomasse bei Jungbestandspflege und Jungdurchforstung. Auch das Entrinden der Stämme im Bestand wie es vor der Mechanisierung der Holzernte üblich war, ist

eine – allerdings sehr arbeitsaufwändige – Methode Nährstoffe im Bestand zu belassen. Allgemein sollte das Material auf diesen Standorten möglichst flächig verteilt im Bestand liegen bleiben, damit die Bäume größtmöglichen Nutzen aus der Nährstofffreisetzung ziehen können. Eine Konzentrierung des Schlagabraums an größeren Forstwegen ist zu vermeiden. Bei dem Anlegen von Reisigmatten auf Rückegassen sollte das Material vor allem in den Fahrspuren, wo es der Druckverteilung dient, und damit baumnah abgelegt werden. Zu beachten sind dabei natürlich auch die Vorgaben der Waldhygiene.

Für die untersuchten Substratgruppen ergibt sich hinsichtlich ihrer Nährstoffversorgung grob folgende Reihung: Hauptdolomit/Kalkalpen < Gneis/Granit/Glimmerschiefer/Quarzit/ < nährstoffarme Oberkreide ≤ nährstoffarmes Tertiär ≤ Buntsandstein ≤ Sandsteinkeuper < Molasse ≤ Schotterebene ≤ Jungmoräne < Flysch ≤ Muschelkalk ≤ nährstoffreicher Löss (Tertiärhügelland) ≤ Alblehm/Malm

**Fazit**

Die bayernweite Untersuchung von Biomassen und Elementgehalten in Bestand und Boden belegt eindeutig die Standortsabhängigkeit der Nährelementkonzentrationen in Blatt/Nadel, Zweig, Ast, Rinde und Holz von Fichten und Buchen. Deutliche Hinweise gibt es auf eine Abhängigkeit zwischen Wuchsleistung und Nährstoffangebot.

Von einer Berechnung der im Bestand gebundenen Nährelementvorräte über allgemeine, standortsunabhängige Mittelwerte wird daher entschieden abgeraten.

Für viele Elemente existiert ein signifikanter Zusammenhang zwischen ihrem Gehalt in der Biomasse und dem Bodenchemismus.

Nährstoffmangel tritt vornehmlich bei Phosphor, Kalium und Magnesium auf. Standorte mit gehemmter Mineralisation können vereinzelt auch noch Stickstoffmangel zeigen. Betroffen sind insbesondere flachgründige Standorte im Kalkalpin (Phosphor, Kalium) und basenarme Böden der ostbayerische Mittelgebirge (Calcium, Magnesium, Kalium). Hier sollte der Export von Kronenmaterial unterbleiben und wenn möglich auch Schwachholz nur eingeschränkt geerntet werden. In den Kalkalpen muss die Waldbewirtschaftung zudem den Erhalt der Schutzfunktionen in den Vordergrund stel-



Foto: A. Eberhardinger

Abbildung 3: Die Intensivierung der Biomassennutzung ist mit einem erhöhten Entzug von Nährstoffen verbunden. Um die Nachhaltigkeit der Nährstoffversorgung der Waldbestände nicht zu gefährden, ist der Umfang der Biomassennutzung auf die standörtlichen Gegebenheiten abzustimmen.

len, um der hohen Sensibilität der Bestände und ihrer Bedeutung für den Schutz vor Lawinen, Steinschlag, Bodenerosion und Hochwasser gerecht zu werden.

Der Nährelementexport mit der Holzernte ist für Calcium, Magnesium und Kalium bereits bei konventioneller Nutzung sehr hoch, da große Nährelementmengen in Holz und Rinde gespeichert sind. Dabei liegt der Nährelementexport mit dem Derbholz bei Buche noch über dem von Fichte. Dementsprechend wird sich das Belassen von Kronenmaterial im Bestand bei Fichte günstiger auswirken als bei Buche.

Maßnahmen zur Verbesserung der Nährstoffversorgung können nur standortsbezogen erfolgen. Als Orientierungshilfe kann dabei das Bestandswachstum dienen. Sofern Wasserversorgung und Klima nicht wachstumslimitierend sind, deuten schlechtwüchsige Bestände auf unzureichende Nährstoffversorgung hin. Die Nutzung von Biomasse, insbesondere von Kronenmaterial und Schwachholz, sollte entsprechend reduziert werden.

## Literatur

- Kimmins, J.P. (1977): *Evaluations of the consequences for future tree productivity of the loss of nutrients in whole-tree harvesting*. Forest Ecology and Management 1, S. 169–183
- Krapfenbauer, A.; Buchleitner, E. (1981): *Holzernte, Biomassen- und Nährstoffaustrag, Nährstoffbilanz eines Fichtenbestandes*. Centralblatt für das gesamte Forstwesen 98, S. 193–223
- Kreutzer, K. (1979): *Ökologische Fragen zur Vollbaumernte*. Forstwissenschaftliches Centralblatt 98, S. 298–308
- Sterba, H. (1988): *Increment losses by full-tree harvesting in Norway spruce (Picea abies)*. Forest Ecology and Management 24, S. 283–292
- Sterba, H. (2003): *Growth after biomass removal during pre-commercial thinning*. In: Limbeck-Lilineau B., Steinmüller T., Stampfer K. (Eds.), *Austro2003: High Tech Forest Operations for Mountainous Terrain*, 5.–9. Oktober 2003, Schlägl, Austria; CD-Rom Proceedings, 9 S.
- Tamm, C.O. (1969): *Site damage by thinning due to removal of organic matter and plant nutrients*. IUFRO Meeting on Thinning and Mechanization. R. Coll. For., Stockholm, Sept. 1969, S. 175–179
- Ulrich, B. (1981): *Destabilisierung von Waldökosystemen durch Biomassennutzung*. Forstarchiv 52, S. 199–203
- White, E.H. (1974): *Whole-tree harvesting depletes soil nutrients*. Canadian Journal of Forest Research, 4: S. 530–535

Dr. Wendelin Weis ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet »Waldernährung und Wasserhaushalt« der Technischen Universität München. [weisw@forst.tu-muenchen.de](mailto:weisw@forst.tu-muenchen.de)  
Prof. Dr. Axel Göttlein leitet das Fachgebiet »Waldernährung und Wasserhaushalt«. [goettlein@forst.tu-muenchen.de](mailto:goettlein@forst.tu-muenchen.de)

## Energienetze und Landschaftspflege

Deutschland forciert den Ausbau der erneuerbaren Energieträger, um die nationalen und internationalen Klimaschutzziele, vor allem die Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, zu erreichen. Auch der Naturschutz und die Landschaftspflege stimmen diesen Zielen zu. Hierfür müssen jedoch die Energienetze um- und ausgebaut werden. Der Naturschutz ist aufgerufen, seine Forderungen für einen natur- und umweltverträglichen Aus- und Umbau des länderübergreifenden Energienetzes einzubringen und darzustellen.

Daher haben der Deutsche Rat für Landschaftspflege e.V. (DRL) und der Bund Heimat und Umwelt in Deutschland zu zwei Fachtagungen geladen. Im März 2012 wurden bereits die aktuellen Rahmenbedingungen für den Um- und Ausbau der Energienetze diskutiert. Am 27. und 28. September 2012 findet in Berlin die zweite Fachtagung statt, auf welcher die Themen noch weiter vertieft werden.

Auf Grundlage der Ergebnisse beider Fachtagungen werden der Deutsche Rat für Landschaftspflege und der Bund Heimat und Umwelt in Deutschland eine Stellungnahme für einen naturverträglichen Umbau der Energienetze erarbeiten. red

Weitere Informationen zu den beiden Tagungen unter:  
<http://www.landespflege.de/aktuelles/>