

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung  
Titel der Tagung: Böden -  
Lebensgrundlage und Verantwortung  
Veranstalter: DBG, Rostock 2013  
Berichte der DBG (nicht begutachtete  
online Publikation)  
<http://www.dbges.de>

## **Bodenvorräte & Bilanzen von Makronährstoffen als Indikatoren für die ökologische Bewertung intensiver Biomassenutzung im Wald**

Klinck, U., Ahrends, B., Scheler, B., Fortmann, H., Suttmöller, J., Fleck, S., Wagner, M., Meiwes, K.J., Meesenburg, H.

### **1 Einleitung**

In den letzten Jahren ist der Energieholzmarkt erheblich gewachsen (MANTAU 2013), weshalb vielerorts nach einem neuen Kompromiss aus einerseits ökonomisch wünschenswerter und andererseits ökologisch vertretbarer Bewirtschaftung gesucht wird. Die Wahl der Nutzungsintensität ist insofern von besonderer Bedeutung, da wichtige Nährstoffe wie z. B. Calcium (Ca), Kalium (K), Magnesium (Mg), Stickstoff und Phosphor in den schwächeren Holzsortimenten um ein vielfaches höher konzentriert sind als im Derbholz (JACOBSEN et al. 2003). Im Vergleich zu den konventionellen Nutzungsvarianten führt die zusätzliche Entnahme von Ästen, Zweigen und Laub bei Vor- und Endnutzungen deshalb zu deutlich erhöhten Nährstoffentzügen (BRAUN et al. 2009). Werden diese Verluste auf nährstoffschwachen Standorten nicht durch Kompensationskalkungen oder Ascherückführungen ausgeglichen, können die Bestände mit Zuwachseinbußen reagieren (EGNELL & VALINGER 2003, HELMISAARI et al. 2011), wodurch sich langfristig auch die Erträge reduzieren (KÖLLING et al. 2007). Eine an die jeweiligen Standorte angepasste Nutzungsplanung in

den Forstbetrieben steht jedoch häufig vor dem Problem der mangelnden Verfügbarkeit bzw. praxistauglichen Aufbereitung flächenhafter Informationen zum Nährstoffhaushalt. Um dieses Problem zu entschärfen haben AHRENDS et al. (2008) einen Bilanzierungsansatz vorgeschlagen, mit dem die Nutzungsintensität anhand der Veränderung der Basensättigung im Wurzelraum bewertet werden kann. MEIWES et al. (2008) weisen jedoch darauf hin, dass die einzelnen Nährstoffe im Boden bei der Bewertung der Biomassenutzungen getrennt voneinander betrachtet werden sollten. Generell bestehen bei der Anwendung von Nährstoffbilanzmodellen (z. B. AKSELSSON et al. 2007) aufgrund der schwer zu quantifizierenden Austräge mit dem Sickerwasser (SVERDRUP et al. 2006) und der notwendigen Herleitung von Verwitterungsraten (HODSON et al. 1996) große Unsicherheiten bei der Abschätzung der einzelnen Bilanzgrößen. Angesichts dieser Unsicherheiten und der Komplexität in der Modellentwicklung zur flächenhaften Anwendung von Nährstoffbilanzen wurde von STÜBER et al. (2008) der Nährstoffentzugsindex als vergleichsweise einfacher Indikator vorgeschlagen. Ein weiterer Indikator sind die im Boden verfügbaren Nährstoffvorräte (Arbeitskreis Standortkartierung 2003). Der forstlichen Praxis stehen demnach verschieden komplexe Indikatoren als Entscheidungshilfe zur Verfügung.

Das Ziel dieser Untersuchung ist es, ausgewählte Indikatoren im Sinne eines Methodenvergleiches gegenüberzustellen. Da Stoffflüsse und somit Nährstoffbilanzen einer hohen zeitlichen Varianz unterliegen (BLOCK & MEIWES 2013), ist es für die vergleichende Betrachtung der Indikatoren von Bedeutung, über lange Zeitreihen der Bilanzen zu verfügen.

### **2 Material und Methoden**

#### *2.1 Untersuchungsstandorte*

Das Spektrum der ausgewählten Flächen des Intensiven Umweltmonitorings umfasst die vier Baumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer, nährstoffarme und nährstoffreiche, ungekalkte und gekalkte, marin und kontinental geprägte Standorte im Tiefland und im Bergland. Die 20 Flächen sind

Bestandteil länderspezifischer Programme (Bodendauerbeobachtung Niedersachsen, Waldökosystemstudie Hessen) und i. d. R. gleichzeitig Teil des internationalen Level II-Programms im Rahmen von ICP Forests. Auch wenn offensichtlich eine breite Palette an Merkmalskombinationen abgedeckt wird, ist diese Auswahl aufgrund der geringen Anzahl an Wiederholungen und dem meist mittleren bis hohen Alter der Bestände dennoch im statistischen Sinne als nicht repräsentativ für die Wälder in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt anzusehen.

## 2.2 Indikatoren

Bei dem Methodenvergleich werden für die Makronährstoffe Calcium, Kalium und Magnesium die folgenden Indikatoren im Zeitraum von 1995 bis 2009 berücksichtigt:

- die pflanzenverfügbaren Nährstoffvorräte im Auflagehumus und Mineralboden,
- der Nährstoffentzugsindex und
- die Stoffbilanz aus Ein- und Austrägen.

Bei den durch Inventuren ermittelten Nährstoffvorräten im Boden (AKe) werden die Klassen „gering“, „mittel“ und „hoch“ mit Grenzen bei 600 bzw. 3000 kg ha<sup>-1</sup> (Ca), 500 bzw. 1000 kg ha<sup>-1</sup> (K) und 150 bzw. 750 kg ha<sup>-1</sup> (Mg) unterschieden (Arbeitskreis Standortkartierung 2003, vereinfacht). Als Bezugstiefe wird der Hauptwurzelaufraum der Bestände gewählt.

Für den Nährstoffentzugsindex als Quotient aus Vorrat und Entzug gelten nach MEIWES & MINDRUP (2012) folgende Bedingungen: Bezugszeitraum = 100 Jahre, Grenzen zwischen den Klassen „kritisch“, „indifferent“ und „unkritisch“ bei 0,5 bzw. 1,0 (Ca, Mg) und 0,4 bzw. 0,7 (K). Als Nährstoffentzug wird sowohl hier als auch bei der Stoffbilanz die Nettonährstoffaufnahme in Stammholz mit Rinde nach AHRENDTS et al. (2012) unterstellt.

Die Stoffbilanz beruht auf der Gegenüberstellung der arithmetischen Mittel der Jahreswerte 1995-2009 des Eintrags (atmogene Gesamtdeposition (ULRICH 1994) + Silikatverwitterung (SVERDRUP & WARFVINGE 1993)) und des Austrags (Sickerwasseraustrag unterhalb der durchwurzelter Zone (HAMMEL & KENNEL

2001, HÖRMANN 1997, SCHULLA 1997) + Nettonährstoffaufnahme). Unter Berücksichtigung der interannuellen Streuungen werden die Klassen „positiv“, „ausgeglichen“ (wenn der Betrag der Bilanz kleiner als deren Unsicherheit ist) und „negativ“ unterschieden.

Hinweise zur Anwendung der Indikatoren für Fragen zur Nachhaltigkeit der Waldbewirtschaftung sind bei BLOCK & MEIWES (2013) zu finden.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

Tab. 1 verdeutlicht, dass die pflanzenverfügbaren Nährstoffvorräte im Auflagehumus und Mineralboden auf dem Großteil der untersuchten Flächen nur „gering“ sind. Auf 14 Flächen gilt dies für alle drei Nährstoffe. Sind die Bestände gekalkt oder stocken sie auf z. B. Basalt, Lößlehm bzw. Muschelkalk ist der Bodenvorrat „mittel“ oder „hoch“, jedoch nur in einem einzigen Fall (Fläche 8) einheitlich für alle drei Nährstoffe. Anhand des Indikators der Bodenvorräte lassen sich demnach die gut und weniger gut nährstoffversorgten Standorte voneinander abgrenzen. Da geringe Vorräte eines Nährstoffs auch mit geringen Vorräten bei den jeweils anderen Nährstoffen einherzugehen scheinen (vice versa bei hohen Vorräten), gehen Bewertungen mit diesem Indikator für die betrachteten Elemente und Untersuchungsstandorte in dieselbe Richtung.

Der Nährstoffentzugsindex ist bei mittleren bzw. hohen Bodenvorräten als „unkritisch“ einzustufen, im Umkehrschluss bei geringen Vorräten aber nicht unbedingt als „kritisch“. Besonders deutlich wird dies bei Kalium (acht Flächen mit geringen Bodenvorräten, aber unkritischem Index), während die Übereinstimmung der beiden Indikatoren bei Calcium bis auf einen einzigen Fall (Fläche 4) gut ist.

Für alle drei Nährstoffe kommt der Nährstoffentzugsindex nur auf acht Flächen zu einer einheitlich unkritischen oder kritischen Beurteilung.

Das Bewertungsergebnis der Nährstoffbilanzen unterscheidet im Gegensatz zu den anderen Indikatoren deutlich zwischen den Elementen. So gibt es keine Fläche mit einer einheitlich positiven oder negativen




Stoffbilanz für alle drei Nährstoffe. Bei Calcium überwiegen die Flächen mit negativen Bilanzen, bei Kalium die Flächen mit positiven Bilanzen und bei Magnesium ist die Klasse der ausgeglichenen Bilanzen dominant. Negative Bilanzen sind i. d. R. auf einen entsprechend hohen Sickerwasseraustrag unterhalb der durch-

wurzelten Zone bei vergleichsweise nur sehr geringer Nachlieferung aus der Verwitterung zurückzuführen. Aus diesem Grund zeigt ein großer Teil der basenarmen deutschen Waldstandorte z. B. auch eine negative Calciumbilanz (BLOCK et al. 2013, KLINCK et al. 2012, PRETZSCH et al. 2013).

Tab. 1: Stoffbilanz aus Ein- und Austrägen („Bilanz“), AKe im effektiven Wurzelraum („Bodenvorrat“) und Nährstoffentzugsindex („Index“) für 20 Flächen des Intensiven Umweltmonitorings in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt bei der Nutzung von Stammholz mit Rinde. Im unteren Bereich der Tabelle ist die Zugehörigkeit zu den Klassen „positiv“ bzw. „hoch“ bzw. „unkritisch“ (grün), „ausgeglichen“ bzw. „mittel“ bzw. „indifferent“ (gelb) und „negativ“ bzw. „gering“ bzw. „kritisch“ (rot) ausgezählt ( $\Sigma$  jeweils 20).

Fläche	Calcium			Kalium			Magnesium		
	Bilanz	Bodenvorrat	Index	Bilanz	Bodenvorrat	Index	Bilanz	Bodenvorrat	Index
1	negativ	mittel	unkritisch	positiv	gering	unkritisch	negativ	mittel	unkritisch
2	negativ	gering	kritisch	ausgeglichen	gering	unkritisch	negativ	gering	unkritisch
3	ausgeglichen	gering	kritisch	ausgeglichen	gering	unkritisch	ausgeglichen	gering	indifferent
4	negativ	gering	unkritisch	positiv	gering	unkritisch	ausgeglichen	gering	indifferent
5	positiv	hoch	unkritisch	positiv	mittel	unkritisch	ausgeglichen	mittel	unkritisch
6	negativ	hoch	unkritisch	positiv	mittel	unkritisch	negativ	hoch	unkritisch
7	ausgeglichen	gering	indifferent	positiv	gering	unkritisch	ausgeglichen	gering	kritisch
8	negativ	hoch	unkritisch	positiv	hoch	unkritisch	ausgeglichen	hoch	unkritisch
9	negativ	gering	kritisch	positiv	gering	unkritisch	ausgeglichen	gering	unkritisch
10	negativ	gering	kritisch	ausgeglichen	gering	indifferent	ausgeglichen	gering	indifferent
11	negativ	gering	kritisch	ausgeglichen	gering	kritisch	negativ	gering	kritisch
12	negativ	gering	indifferent	ausgeglichen	gering	indifferent	negativ	gering	indifferent
13	ausgeglichen	gering	kritisch	ausgeglichen	gering	kritisch	ausgeglichen	gering	kritisch
14	negativ	gering	kritisch	positiv	gering	indifferent	positiv	gering	indifferent
15	negativ	gering	indifferent	positiv	mittel	unkritisch	ausgeglichen	gering	unkritisch
16	ausgeglichen	gering	kritisch	negativ	gering	kritisch	positiv	gering	kritisch
17	ausgeglichen	gering	kritisch	ausgeglichen	gering	unkritisch	ausgeglichen	gering	indifferent
18	negativ	gering	kritisch	positiv	gering	indifferent	ausgeglichen	gering	indifferent
19	ausgeglichen	gering	indifferent	negativ	gering	unkritisch	ausgeglichen	gering	unkritisch
20	positiv	hoch	unkritisch	positiv	mittel	unkritisch	ausgeglichen	hoch	unkritisch

	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>1</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>9</b>
	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>7</b>
	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>4</b>

Die voneinander abweichenden Bewertungen deuten auf einen uneinheitlichen zeitlichen Gültigkeitsbereich der Indikatoren und auch auf Unterschiede bezüglich ihrer inhaltlichen Aussage hin. Während die Nährstoffbilanz eher die stoffliche Nachhaltigkeit im Fokus hat, betrachten der Nährstoffvorrat und der Nährstoffentzugsindex die forstlichen Standorte unter dem Aspekt einer ausreichenden Nährstoffversorgung für die Waldbestände. Weiterhin sind auch die bestehenden methodischen Unsicherheiten bei der Nährstoffbilanzierung (HODSON et al. 1996, SVERDRUP et al. 2006) und den beiden anderen Indikatoren zu berücksichtigen (BLOCK & MEIWES 2013).

Unter der Verwendung von nur einem der drei vorgestellten Indikatoren fiel die Bewertung einer möglichen Intensivierung

der Nutzung über die Entnahme von Stammholz mit Rinde hinaus durch den Nährstoffentzugsindex am günstigsten, die durch den Bodenvorrat am ungünstigsten aus. In Bezug auf die Nährstoffe wäre in dieser Frage Calcium, gefolgt von Magnesium limitierender als Kalium. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den bei BLOCK & MEIWES (2013) beschriebenen Nährstoffbilanzen für die Hauptnährelemente. Während Calcium und Magnesium durch Kalkung(en) i. d. R. wieder effektiv in die entsprechenden Waldökosysteme zurückgeführt werden können, ist dies für Kalium aus verschiedenen Gründen (BLOCK & MEIWES 2013) kaum möglich. Aus diesem Grund sollten insbesondere die Kaliumbilanzen hinsichtlich der Bilanzkomponente Silikatverwitterung methodisch überprüft werden.

## 4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die mögliche Nutzungsintensität von Waldbeständen wird häufig anhand einzelner Indikatoren wie den Nährstoffvorräten im effektiven Wurzelraum (AKe), dem Nährstoffentzugsindex oder der Stoffbilanz bewertet. Dabei ergeben sich für die hier untersuchten Flächen des Intensiven Umweltmonitorings für Kalium und Magnesium große Differenzen zwischen den betrachteten Indikatoren, dagegen für Calcium ein eher undifferenziertes Bild. Aufgrund der uneinheitlichen Ergebnisse ist es erforderlich, die Indikatoren hinsichtlich ihrer Aussage genau zu überprüfen. Gleichzeitig sollte die Ableitung von standortspezifischen Empfehlungen für eine angemessene Nutzungsintensität und den Bedarf an Kompensationsmaßnahmen (z. B. Kalkung) unbedingt unter Berücksichtigung aller potenziellen Indikatoren erfolgen.

**Danksagung:** Die Autoren danken der Europäischen Union für die Förderung des LIFE<sup>+</sup>-Projekts „FutMon“ und dem Land Niedersachsen für die Förderung des landeseigenen Bodendauerbeobachtungsprogramms.

**Schlüsselworte:** Biomassenutzung, Forstwirtschaft, Methodenvergleich, Nährstoffe

## 5 Literatur

- AHRENDTS, B., et al. (2012): Ein einfaches Werkzeug zur Quantifizierung von Nährstoffentzügen durch Holzernte und deren Unsicherheiten. Forstwissenschaftliche Tagung 2012, München.
- AHRENDTS, B., et al. (2008): Unterschiedliche Nutzungsszenarien und ihre Auswirkungen auf die Basensättigung im Wurzelraum. In: Forst und Holz 63/12, 32-36.
- AKSELSSON, C., et al. (2007): Impact of harvest intensity on long-term base cation budgets in Swedish forest soils. In: Water Air Soil Poll. Focus 7/1-3, 201-210.
- Arbeitskreis Standortkartierung (2003): Forstliche Standortaufnahme. 6. Aufl., Eching b. München.
- BLOCK, J., MEIWES, K.J. (2013): Erhaltung der Produktivität der Waldböden bei der Holz- und Biomassenutzung. BoS Erg.-Lfg. 1/13 - VII/13, 1-50.
- BLOCK, J., et al. (2013): Ohne Kalkung keine nachhaltige Forstwirtschaft. In: Holz-Zentralblatt 15, 361-362.
- BRAUN, S., et al. (2009): Biomassenutzung und Nährstoffentzug - Aspekte einer nachhaltigen Waldnutzung. In: Zürcher Wald 2009/1, 15-18.
- EGNELL, G., VALINGER, E. (2003): Survival, growth, and growth allocation of planted Scots pine trees after different levels of biomass removal in clear felling. In: Forest Ecol. Manag. 177/1-3, 65-74.
- HAMMEL, K., KENNEL, M. (2001): Charakterisierung und Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserhaushalts von Waldstandorten in Bayern mit dem Simulationsmodell BROOK90. Forstliche Forschungsberichte München 185, München.
- HELMISAARI, H.S., et al. (2011): Logging residue removal after thinning in Nordic boreal forests: Long-term impact on tree growth. In: Forest Ecol. Manag. 261/11, 1919-1927.
- HODSON, M.E., et al. (1996): A sensitivity analysis of the PROFILE model in relation to the calculation of soil weathering rates. In: Appl. Geochem. 11/6, 835-844.
- HÖRMANN, G. (1997): SIMPEL - Ein einfaches, benutzerfreundliches Bodenwassermodell zum Einsatz in der Ausbildung. In: Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 41/2, 67-72.
- JACOBSEN, C., et al. (2003): Gehalte chemischer Elemente in Baumkompartimenten. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme B/69, Göttingen.
- KLINCK, U., et al. (2012): Ökosystembilanzen auf forstwirtschaftlich genutzten Flächen. In: GeoBerichte 23, 163-174.
- KÖLLING, C., et al. (2007): Energieholz nachhaltig nutzen. In: LWF aktuell 61, 32-37.
- MANTAU, U. (2013): Auswirkungen der stofflichen und energetischen Nutzung auf den Waldholzverbrauch. In: AFZ/Der Wald 2013/2, 22-27.
- MEIWES, K.J., MINDRUP, M. (2012): Indikatoren zur standörtlichen Bewertung der intensiven Biomassenutzung im Wald. In: Ergebnisbericht zum FNR-Forschungsvorhaben „Möglichkeiten und Grenzen der Vollbaumnutzung“ (FKZ: 22015407), 5-23.
- MEIWES, K.J., et al. (2008): Potenziale und Restriktionen der Biomassenutzung im Wald. In: AFZ/Der Wald 2008/10-11, 598-603.
- PRETZSCH, H., et al. (2013): Entscheidungsstützungssystem zum Nährstoffentzug im Rahmen der Holzernte. Endbericht DBU-Projekt 25966-33/0.
- SCHULLA, J. (1997): Hydrologische Modellierung von Flussgebieten zur Abschätzung der Folgen von Klimaänderungen. Zürcher Geographische Schriften 69, Zürich.
- STÜBER, V., et al. (2008): Nachhaltigkeit und Vollbaumnutzung: Bewertung aus Sicht der forstlichen Standortkartierung am Beispiel Niedersachsen. In: Forst und Holz 63/11, 28-33.
- SVERDRUP, H., WARFVINGE, P. (1993): Calculating field weathering rates using a mechanistic geochemical model PROFILE. In: Appl. Geochem. 8/3, 273-283.
- SVERDRUP, H., et al. (2006): Assessing nutrient sustainability of forest production for different tree species considering Ca, Mg, K, N and P at Björnstorps Estate, Sweden. In: Biogeochemistry 81/2, 219-238.
- ULRICH, B. (1994): Nutrient and acid/base budget of central European forest ecosystems. In: Hüttermann, A., Godbold, D.L. (Hrsg.): Effects of acid rain on forest production. New York.