

BERICHTE  
FREIBURGER FORSTLICHE FORSCHUNG

HEFT 94

## Energieholz und Nachhaltigkeit

FVA-Kolloquium  
in Freiburg am 13. Dezember 2011

FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT  
BADEN-WÜRTTEMBERG

ABTEILUNG BODEN UND UMWELT

2013

**Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dbb.de> abrufbar.

ISSN: 1436 – 1566

**Die Herausgeber**

Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität Freiburg und  
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

**Redaktion**

PD Dr. v. Wilpert

**Umschlaggestaltung**

Bernhard Kunkler Design, Freiburg

**Druck**

Eigenverlag FVA, Freiburg

**Bestellung an**

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg  
Wonnhaldestr. 4  
79100 Freiburg  
Tel. 0761/4018-0, Fax 0761/4018-333  
E-Mail: [fva-bw@forst.bwl.de](mailto:fva-bw@forst.bwl.de)

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung vorbehalten.

Gedruckt auf 100 % chlorfrei gebleichtem Papier.

# Nährstoffexporte bei Vollbaumnutzung in Nordwestdeutschland – Einflussfaktoren und standörtliche Bewertung

Karl Josef Meiwes, Sabine Rumpf, Bernd Ahrends, Peter Rademacher und Jürgen Nagel  
*Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen*

## 1 EINLEITUNG

Der Bedarf an forstlicher Biomasse als Energieträger wird zunehmend über die Nutzung weiterer Sortimenten gedeckt, die über die reine Derbholznutzung hinaus gehen. Entsprechend erfordert eine erhöhte Nutzung erneuerbarer Energieträger aus dem Wald (AKSELSSON et al. 2007) die forstlichen Nutzungen unter dem Aspekt der stofflichen Nachhaltigkeit neu zu bewerten. Durch den steigenden Bedarf an forstlicher Biomasse werden zunehmend auch Sortimenten dem Wald entzogen, die in den letzten Jahrzehnten im Bestand geblieben sind. Die zusätzliche Entnahme von Ästen, Zweigen und Laub bei Vor- und Endnutzungen führt zu deutlich erhöhten Nährstoffentzügen im Vergleich zu den konventionellen Nutzungsvarianten (HEINSDORF & KRAUB 1990). Werden diese Nährstoffverluste auf nährstoffschwachen Standorten nicht durch Kompensationskalkungen oder Ascherückführungen ausgeglichen, reagieren die Bestände mit Zuwachseinbußen (BRAUN et al. 2009; EGNELL & VALINGER 2003; HELMISAARI et al. 2011; NORD-LARSEN 2002), wodurch sich langfristig die Erträge deutlich reduzieren oder sich sogar in Verluste umkehren könnten (KÖLLING et al. 2007).

Damit insbesondere auf nährstoffschwachen Standorten die Nachhaltigkeit der forstlichen Nutzung nicht gefährdet wird, ist eine standörtliche Bewertung der Vollbaumnutzung erforderlich. Hierzu müssen einerseits der Nährstoffexport mit den Erntemaßnahmen und andererseits das standörtliche Nährstoffpotential bekannt sein. Letzteres ergibt sich aus den Nährstoffbilanzen sowie den Bodenvorräten an verfügbaren Nährstoffen. Die Bilanzen (Nährstoffeintrag durch Verwitterung plus luftbürtigen Eintrag, Nährstoffexport durch Holznutzung und Sickerwasseraustrag) geben in Kombination mit den Bodenvorräten letztendlich Auskunft darüber, wie groß der Nährstoffentzug durch die Holzernte sein darf, damit die Nutzung nachhaltig ist und die Wälder langfristig produktiv bleiben (MEIWES et al. 2008).

Der Nährstoffentzug mit der Holzernte hängt unter anderem von der Baumart, dem Bestandesalter, der Eingriffstärke, den Ernteverlusten und den Werbungskosten sowie vom monetären Erlös des Restholzes bzw. der Restbiomasse ab. Die in der Literatur vorliegenden Angaben zu Nährstoffentzügen basieren häufig auf Einzeluntersuchungen (z.B. BLOCK et al. 2008, HAGEMANN et al. 2008, RADEMACHER et al. 1999, 2001) oder Arbeiten mit einem besonderen Fokus auf bestimmte Regionen und/oder Baumarten (JOOSTEN &

SCHULTE 2003, KRAUB & HEINSDORF 2008, HEINSDORF & KRAUS 1990). Hinsichtlich der Bioelementgehalte liegen zwar einige übergreifende Vergleiche zwischen verschiedenen Baumarten vor (JACOBSEN et al. 2003; MÜLLER-USING & RADEMACHER 2004; HAGEN-THORN et al. 2004), es fehlt jedoch eine systematische Verknüpfung der Elementgehalte mit den jeweiligen Zuwachsleistungen der Bestände, so dass bei der Abschätzung der Nährstoffentzüge das gesamte Spektrum von Baumarten, -alter bzw. Baumvolumen wie auch der standörtlichen Voraussetzungen nur unzureichend berücksichtigt wird.

In dem vorliegenden Beitrag werden Ergebnisse von systematischen Biomasse- und Elementinventuren aus Nordwestdeutschland sowie ein Ansatz zur standörtlichen Bewertung vorgestellt. Bei diesem Bewertungsansatz werden die pflanzenverfügbaren Nährstoffvorräte im Boden den Nährstoffexporten der jeweiligen Elemente gegenübergestellt. Dieses einfache Schätzverfahren bietet sich an, da in Nordwestdeutschland relativ viele Daten zu Elementvorräten aus der Standortkartierung vorliegen. Betrachtet werden die Nährstoffe Kalium, Calcium und Phosphor und die Baumarten Fichte (*Picea abies* [L.] Karst), Kiefer (*Pinus sylvestris* [L.]), Buche (*Fagus sylvatica* [L.]) Eiche (*Quercus robur* [L.] und *petraea* [Liebl.]) und Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco).

## 2 MATERIAL UND METHODEN

Die Inventur der Biomassen und der Nährelemente basiert auf 35 Probestämmen bei Buchen, 33 bei Eiche, 47 bei Fichte, 30 bei Kiefer und 8 bei Douglasie, die 2009/2010 in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt beprobt wurden. Der Brusthöhendurchmesser (BHD) der beprobten Baume reichte von 8 bis 64 cm. Das Standortsspektrum wurde so gewählt, dass die in der forstlichen Standortkartierung angesprochenen Nährstoffversorgungsgebiete für die langfristige Waldbauplanung (z.B. NDS. MRELV 2004) abgedeckt werden. Einzelheiten zum Untersuchungsansatz, dem Probenahmedesign und der verwendeten Analysemethoden sind bei RUMPF et al. (2012) und RADEMACHER et al. (2012) zu finden.

Die Ermittlung der Biomasse erfolgte anhand der in den empirischen Untersuchungen abgeleiteten Biomassefunktionen (RUMPF et al. 2012). Sowohl die Biomassefunktionen als auch die baumarten- und kompartimentspezifischen Elementgehalte wurden in den FOREST-SIMULATOR BWINPro (NAGEL et al. 2006) implementiert. Der Waldwachstumssimulator ermöglicht es, die Bestände des jeweiligen Untersuchungsgebietes nach verschiedenen Nutzungsszenarien (Vollbaumnutzung, Stammholznutzung, Derbholznutzung) oder nach unterschiedlichen Durchforstungsstrategien zu behandeln und wachsen zu lassen. Für die hier dargestellten Ergebnisse wurden die Ertragstabellen nach SCHÖBER (1995) zur Initialisierung von BWINPro verwendet und Simulationen für die Hauptbaumarten bei unterschiedlichen Ertragsklassen über eine Umtriebszeit (Buche: 140 Jahre, Eiche: 180 Jahre, Douglasie: 120 Jahre, Fichte: 115 Jahre und Kiefer: 130 Jahre) durchgeführt. Die Modellrechnungen erfolgten unter der Annahme, dass bei jedem Eingriff die gesamte oberirdische Biomasse geerntet wird und dass keine Ernteverluste auftreten. Zur besseren

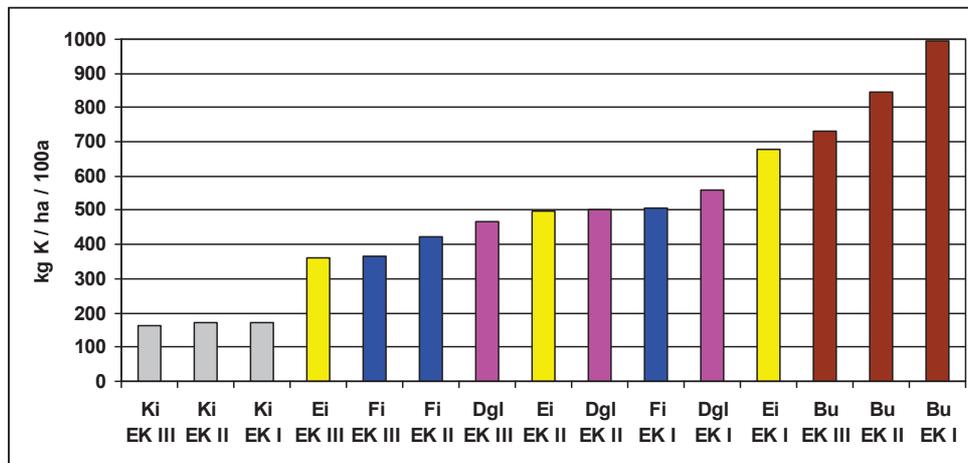
Vergleichbarkeit der Baumarten wurden die hierbei ermittelten Nährstoffentzüge auf eine 100-jährige „Umtriebszeit“ normiert.

Für die standörtliche Bewertung wurde der Nährstoffentzugsindex herangezogen (STÜBER et al. 2008; MEIWES & MINDRUP 2012). Dieser Index beschreibt das Verhältnis zwischen den verfügbaren Nährstoffvorräten im Boden und dem auf 100 Jahre normierten Nährstoffentzug. Die zur Berechnung des Indexes notwendigen Bodenvorräte wurden mit einem verallgemeinerten additiven Regressionsmodell (gam) abgeschätzt (AHRENDTS et al. 2012). Das Modell wurde anhand von Bodendaten aus der forstlichen Standortkartierung parametrisiert und mit Hilfe der Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Walde (BZE II) evaluiert. Zur Modellanwendung werden lediglich Informationen aus der Standortkartierung bzgl. der Nährstoffversorgung, der Substrat/Lagerung und Koordinaten der jeweiligen Untersuchungseinheiten benötigt.

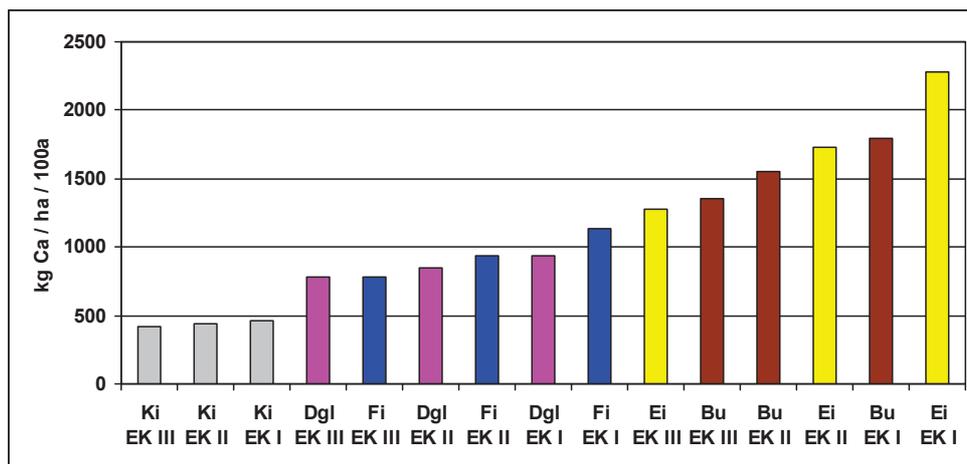
### 3 ERGEBNISSE

Nach den Modellrechnungen liegt der Kaliumexport durch die Biomassennutzung bei der Buche erheblich über dem der anderen Baumarten (vgl. Abb. 1). So übersteigen bei der Buche erster Bonität die Kaliumexportraten diejenigen der Eiche um den Faktor 1,5, gegenüber der Fichte und Douglasie um den Faktor 1,8 bzw. 2 und im Vergleich zur Kiefer sogar um den Faktor 4. Dieses Ergebnis spiegelt die Tatsache wider, dass früher die Buche zur Erzeugung von an Kalium reicher Pottasche genutzt wurde (Englisch: Kalium = potash), die als Flussmittel in den Glashütten benötigt wurde. Auf hohe Kaliumnettoaufnahmeraten der Buche im Vergleich zu den anderen Hauptbaumarten weisen auch die Untersuchungen auf niedersächsischen Boden-Dauerbeobachtungsflächen von KLINCK et al. (2012) hin.

Die Kiefer ist als diejenige Baumart mit den geringsten Exportraten anzusehen (vgl. auch BLOCK et al. 2008 u. KLINCK et al. 2012). Ihre Entzüge betragen bei erster Bonität nur knapp die Hälfte der Exporte für die Nadelbaumarten Fichte und Douglasie bei entsprechender Bonität. Auf erstaunlich geringe Entzüge an Kalium bei der Douglasie trotz hoher Biomasseentnahmen weisen auch die Untersuchungen von BLOCK et al. (2008) hin. Dieses Ergebnis liegt in den äußerst geringen Gehalten an Kalium im Derbholz der Douglasie begründet. Aufgrund der hohen absoluten Entzüge bei der Buche haben unterschiedliche Bonitäten einen erheblichen Einfluss auf die Kaliumverluste in Folge der Biomassennutzung. Entsprechend fallen die Unterschiede bei der Kiefer zwischen den jeweiligen Bonitäten äußerst gering aus.

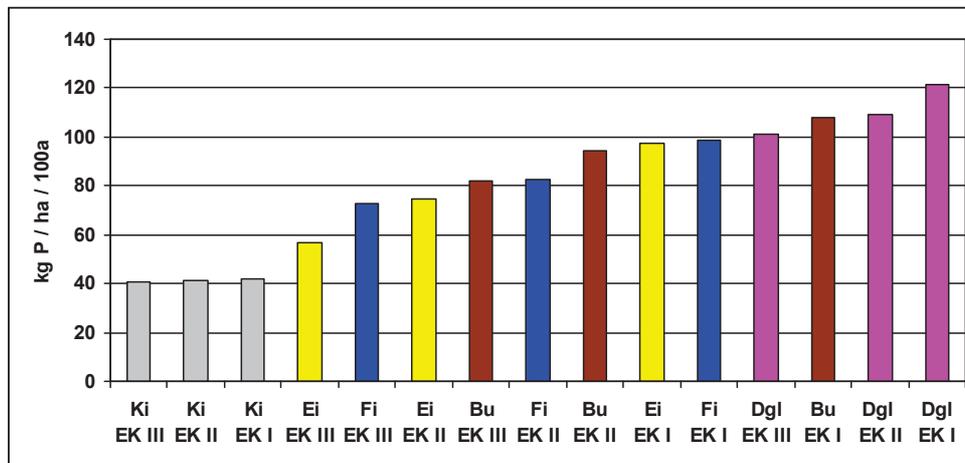


**Abb. 1:** Kaliumentzüge bei Vollbaumnutzung von Buche (Bu ■), Eiche (Ei ■), Douglasie (Dgl ■), Fichte (Fi ■) und Kiefer (Ki ■) für unterschiedliche Ertragsklassen (EK I, II, III).



**Abb. 2:** Calciumentzüge bei Vollbaumnutzung von Buche (Bu ■), Eiche (Ei ■), Douglasie (Dgl ■), Fichte (Fi ■) und Kiefer (Ki ■) für unterschiedliche Ertragsklassen (EK I, II, III).

Die Differenzen zwischen erster und zweiter Bonität der Buche sind etwa halb so groß wie der gesamte Kaliumexport einer Kiefer erster Bonität. Das bedeutet, dass, insbesondere bei Baumarten mit hohen Zuwachsleistungen und Bioelementgehalten, die Bonität ein wichtiger Einflussfaktor bei der Abschätzung der Nährstoffexporte ist. Eine entsprechende Bedeutung der Zuwachsleistung für die Nährstoffexporte zeigen auch die Sensitivitätsanalysen der Nährstoffentzüge aus Waldökosystemen von AHRENDTS et al. (2011).



**Abb. 3:** Phosphorentzüge bei Vollbaumnutzung Buche (Bu ■), Eiche (Ei ■), Douglasie (Dgl ■), Fichte (Fi ■) und Kiefer (Ki ■) für unterschiedliche Ertragsklassen (EK I, II, III).

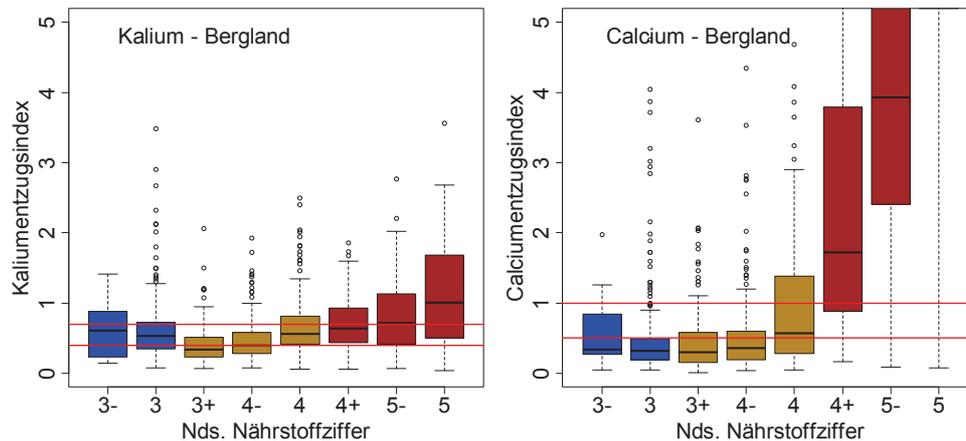
Die Differenzen zwischen erster und zweiter Bonität der Buche sind etwa halb so groß wie der gesamte Kaliumexport einer Kiefer erster Bonität. Dass bedeutet, dass, insbesondere bei Baumarten mit hohen Zuwachsleistungen und Bioelementgehalten, die Bonität ein wichtiger Einflussfaktor bei der Abschätzung der Nährstoffexporte ist. Eine entsprechende Bedeutung der Zuwachsleistung für die Nährstoffexporte zeigen auch die Sensitivitätsanalysen der Nährstoffentzüge aus Waldökosystemen von AHRENDT et al. (2011).

Während beim Kalium die Buche in allen drei Bonitäten im Vergleich zu den anderen Baumarten die höchsten Exportraten aufweist, ist beim Calcium die Eiche, gefolgt von der Buche erster Bonität, durch die höchsten Entzüge charakterisiert. Die Fichte und die Douglasie liegen hierbei im Mittelfeld. Auch bei Calcium bildet die Kiefer das Schlusslicht hinsichtlich der Entzüge. Sie betragen ungefähr die Hälfte der Entzüge von Fichte und Douglasie I. Ertragsklasse und etwa ein Viertel der Entzüge von Buche I. Ertragsklasse bzw. ein Fünftel der Entzüge von Eiche I. Ertragsklasse. Die Differenz des Calciumentzuges von Eiche I. und II. Ertragsklasse ist so groß wie der Calciumentzug der Kiefer. Besonders hervorzuheben ist die Douglasie, die trotz ihrer hohen Volumen- und Massenleistung vergleichsweise geringe Calciumexportraten aufweist.

Die Phosphorentzüge sind bei der Douglasie I. Ertragsklasse am höchsten, wobei die Unterschiede zur Buche, Eiche und Fichte I. Ertragsklasse sowie zur Douglasie II. und III. Ertragsklasse sehr gering sind. Die niedrigsten Phosphorentzüge weist die Kiefer auf; sie sind etwa halb so hoch wie bei der Fichte II. Ertragsklasse. Insgesamt ist das Verhältnis zwischen höchstem und niedrigstem Entzug (Maximum dividiert durch Minimum beim Phosphor geringer (3) als bei Kalium und Calcium (4 bis 5).

Die vorgestellten baumartenspezifischen Elemententzüge bei unterschiedlichen Ertragsleistungen der jeweiligen Standorte können zur standörtlichen Bewertung mit den jeweiligen Nährstoffvorräten im Boden in Beziehung gesetzt werden (vgl. STÜBER et al.

2008). Bei dieser einfachen Methode werden der Nährstoffeintrag aus der Luft, die Silikatverwitterungsraten und die Nährstoffausträge mit dem Sickerwasser nicht berücksichtigt.



**Abb. 4:** Nährstoffentzugsindices für Berglandstandorte. Entzüge: Fichte (Ekl I): ■, Buche (Ekl I): ■, Buche (Ekl II): ■. Die roten Linien beschreiben elementspezifische Schwellenwerte, unterhalb derer das Risiko von Übernutzung als erhöht (K: 0,7; Ca: 1,0) bzw. hoch bewertet wird (K: 0,4; Ca: 0,5).

In der Abb. 4 sind die Nährstoffindices für Kalium und Calcium für Berglandstandorte in Niedersachsen und Hessen als Funktion der Nährstoffzahl der niedersächsischen forstlichen Standortkartierung (NDS. MRELV 2004) dargestellt. Die zusätzliche Kennzeichnung der Grenzen für die Nährstoffentzugsindices und damit indirekt der jeweiligen Elementvorräte im Boden erleichtern die Interpretation für Forstpraktiker. Der mittlere Nährstoffvorrat für die jeweilige Nährstoffziffer wurde in diesem Beispiel vereinfachend ohne Berücksichtigung der Substratgruppen und regionaler Unterschiede berechnet und den Nährstoffentzügen gegenübergestellt. Da das Vorkommen der Baumarten standortsabhängig ist, wurden bei der Berechnung der Nährstoffindices (Bodenvorrat/Entzug) für die dargestellten schwächeren Standorte (Nährstoffziffer 3-, 3) die Entzüge der Fichte jeweils mit der ersten Ertragsklasse (Ekl. I) berücksichtigt. Für den mittleren Nährstoffbereich (Nährstoffziffer 3+ bis 4) wurden die Entzüge der Buche (Ekl. II) und auf den besser versorgten Standorten (Nährstoffziffer  $\geq 4+$ ) die Entzüge der Buche (Ekl. I) für die Berechnungen herangezogen. Hierdurch soll dem Umstand Rechnung getragen werden, dass auf den mittleren Standorten die Buche vergleichsweise leistungsschwach ist. Die Box-Whisker-Plots zeigen den Median, die Spannweiten und den Interquartilabstand für die jeweiligen Standortgruppen. Anhand der Abbildung ist erkennbar, dass für die Buche im Bergland auf den schwach versorgten Standorten die Vollbaumnutzung im Hinblick auf eine Übernutzung in die Risikostufe „hoch“ eingeordnet wird. Demgegenüber ist die Vollbaumnutzung der Fichte selbst bei erster Bonität auch auf den schlechteren Standorten etwas günstiger zu beurteilen.

## 4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Es konnte gezeigt werden, dass hinsichtlich des Entzuges von Kalium, Calcium und Phosphor zwischen den Baumarten und Bonitäten zum Teil erhebliche Unterschiede bestehen. Für die standörtliche Bewertung der Vollbaumnutzung bedeutet dies, dass Baumart und Bonität berücksichtigt werden müssen. Anhand des Kalium- und Calciumentzugsindex (Bodenvorrat dividiert durch Entzug) konnte gezeigt werden, dass die Vollbaumnutzung von Fichte erster Bonität auf ähnlichem Standort günstiger zu beurteilen ist als die Vollbaumnutzung von Buche zweiter Bonität.

Besonderes Interesse verdient die Douglasie, die vielfach als „Brotbaum“ der Zukunft angesehen wird. In den Mittelgebirgen soll die Douglasie dort, wo im Zuge des Klimawandels bei der Fichte verstärkt Probleme mit Trockenheit und Borkenkäfer erwartet werden, zugunsten der Fichte angebaut werden (SPELLMANN et al. 2011). Es konnte gezeigt werden, dass die Kalium- und Calciumentzüge der Douglasie ähnlich hoch sind wie die der Fichte, so dass diesbezüglich die Umstellung auf die Douglasie unproblematisch sein dürfte. Der Phosphorbedarf der Douglasie ist ca. 10 – 20 % höher als der der Fichte.

Im nordwestdeutschen Tiefland ist geplant, auf den besseren Kiefernstandorten vermehrt Mischungen aus Douglasie und Buche anzubauen. Bei der Wahl der Mischungsanteile von Douglasie und Buche sollte man aus der Sicht der Nährstoffentzüge berücksichtigen, dass die Kalium- und Calciumentzüge der Buche höher sind als die der Douglasie. Dem Phosphor sollte bei einem Baumartenwechsel von Kiefer zu Douglasie-Buche besondere Beachtung zukommen, da einerseits der Phosphorbedarf der Douglasie hoch ist und andererseits die Phosphorvorräte in den Böden des Tieflandes verhältnismäßig niedrig sind.

Die Douglasie erbringt auf diesen Standorten eine deutlich höhere Volumen- und Massenleistung als die Kiefer, entzieht allerdings, wie die Buche, dem Boden mehr Nährstoffe als die Kiefer. Deshalb mag es, vorbehaltlich einer Prüfung der standörtlichen Bedingungen, sinnvoll zu sein, in den Mischbeständen von der Douglasie das Kronenmaterial im Bestand zu lassen und nur von der Buche das Kronenrestholz als Brennholz zu nutzen. Der Mehrertrag, den die Douglasie gegenüber der Kiefer erbringt, dürfte weit über dem liegen, was sich durch die zusätzliche Kronenrestholznutzung der Douglasie erwirtschaften lässt.

## 5 LITERATUR

- AHREND, B.; MEIWES, K.J.; EVERS, J. (2013): Regionalisierung der Elementvorräte von Waldböden in Niedersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt. Beiträge aus der NW-FVA, in Vorbereitung.
- AHREND, B.; MEESENBURG, H.; MEIWES, K.J.; RADEMACHER, P. (2011): Sensitivität der Nährstoffentzüge aus Waldökosystemen hinsichtlich der Biomassefunktionen und Nährstoffgehalte. Berichte DBG, 4 S.
- AKSELSSON, C.; WESTLING, O.; SVERDRUP, H.; HOLMQVIST, J.; THELIN, G.; UGGLA, E.; MALM, E. (2007): Impact of Harvest Intensity on Long-Term Base Cation Budgets in Swedish Forest Soils. *Water, Air, and Soil Pollution Focus*, 7, (1-3): 201-210.
- BLOCK, J.; SCHUCK, J.; SEIFERT, T. (2008): Einfluss unterschiedlicher Nutzungsintensitäten auf den Nährstoffhaushalt von Waldökosystemen auf Buntsandstein im Pfälzerwald. *Forst u. Holz*, 63, (7/8): 66-70.
- BRAUN, S.; BELYAZID, S.; FLÜCKIGER, W. (2009): Biomassennutzung und Nährstoffentzug - Aspekte einer nachhaltigen Waldnutzung. *Züricher Wald*, 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. *For. Ecol. Manage.*, 177, 65-74.
- HAGEMANN, H.; BILKE, G.; MURACH, D.; SCHULTE, A. (2008): Bilanzierung und Bewertung von Nährelemententzügen durch Vollbaumnutzungsstrategien bei der Kiefer (*Pinus sylvestris*) in Brandenburg. *Archiv f. Forstwesen u. Landsch.ökol.*, 42, 16-25.
- HAGEN-THORN, A.; ARMOLAITIS, K.; CALLESEN, I.; STERNQVIST, I. (2004): Macro-nutrients in tree stems and foliage: a comparative study of six temperate forest species planted at the same sites. *Ann. For. Sci.* 61, 489-498.
- HEINSDORF, D.; KRAUSS, H.H. (1990): Schätztafeln für Trockenmasse und Nährstoffspeicherung von Kiefernbeständen. *Inst. f. Forstwissenschaften, Eberswalde, DDR*, 77 S.
- HELMISAARI, H.-S.; HANSEN, K.H.; JACOBSON, S.; KUKKOLA, M.; LUIROD, J.; SAARSALMI, A.; TAMMINEN, P. (2011): Logging residue removal after thinning in Nordic boreal forests: Long-term impact on tree growth. *For. Ecol. Manage.*, 261, (11): 1919-1927.
- JOOSTEN, V.R.; SCHULTE, A. (2003): Schätzung der Nährstoffexporte bei einer intensivierten Holznutzung in Buchenwäldern (*Fagus sylvatica*). *Allg. Forst- u. J.-Ztg.*, 174, (9): 157-168.

- KLINCK, U.; RADEMACHER, P.; SCHELER, B.; WAGNER, M.; FLECK, S.; AHREND, B.; MEESENBURG, H. (2011): Ökosystembilanzen auf forstwirtschaftlich genutzten Flächen. In: Höper, H. u. Meeseburg, H. (Hrsg.): Tagungsband – 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung. Geoberichte 23, 163-174.
- KÖLLING, C.; GÖTTLEIN, A.; ROTHE, A. (2007): Energieholz nachhaltig nutzen. LWF aktuell, 61, 32-36.
- KRAUSS, H.H.; HEINSDORF, H. (2008): Herleitung von Trockenmassen und Nährstoffspeicherungen in Buchenbeständen. Eberswalder Forstl. Schriftenreihe 37, 1-71.
- MEIWES, K.J.; ASCHE, N.; BLOCK, J.; KALLWEIT, R.; KÖLLING, C.; RABEN, G.; WILPERT, K. (2008): Potenziale und Restriktionen der Biomassenutzung im Wald. AFZ-DerWald, 10-11, 598-603.
- MEIWES, K.J.; MINDRUP, M. (2013): Indikatoren zur standörtlichen Bewertung der intensiven Biomassenutzung im Wald. Beiträge aus der NW-FVA, in Vorbereitung.
- MÜLLER-USING, B.; RADEMACHER, P. (2004): Bioelemententzug bei der Holznutzung in Rein- und Mischbeständen aus Buche und Fichte. Abschlussbericht im BMBF-Vorhaben ÖK-2.3.3: Indikatoren und Strategien für eine nachhaltige, multifunktionelle Waldnutzung - Fallstudie Waldlandschaft Solling, FZW B, 71, 81-109.
- NAGEL, J.; DUDA, H.; HANSEN, J. (2006): Forest Simulator BWINPro7. Forst u. Holz, 61, 427-429.
- NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT, VERBRAUCHERSCHUTZ UND LANDESENTWICKLUNG (NDS. MRELV) (2004): Langfristige ökologische Waldentwicklung – Richtlinie zur Baumartenwahl. Aus dem Walde, Bd. 54, 145 S.
- NORD-LARSEN, T. (2002): Stand and site productivity response following whole tree harvesting in early thinnings of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Biomass and Bioenergy, 23, (1): 1-12.
- RADEMACHER, P.; BUß, B.; MÜLLER-USING, B. (1999): Waldbau und Nährstoffmanagement als integrierte Aufgabe in der Kiefern-Waldwirtschaft auf ärmeren pleistozänen Sanden. Forst u. Holz 54, 330-335.
- RADEMACHER, P.; MEESENBURG, H.; MÜLLER-USING, B. (2001): Nährstoffkreisläufe in einem Eichenwald-Ökosystem des nordwestdeutschen Pleistozäns. Forstarchiv, 72, 43-54.
- RADEMACHER, P.; SCHÖNFELDER, E.; MEIWES, K.J. (2013): Elementgehalte in Kompartimenten von Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.), Kiefer (*Pinus sylvestris* [L.]), Buche (*Fagus sylvatica* [L.]), Eiche (*Quercus robur* [L.] und *petraea* [Liebl.]) und Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco). Beiträge aus der NW-FVA, in Vorbereitung.