Einfluss unterschiedlicher Nutzungsintensitäten auf den Nährstoffhaushalt von Waldökosystemen auf Bundsandstein im Pfälzerwald

Effects of different harvesting intensities on nutrient budgets of forest ecosystems on Triassic sandstone in the Palatinate forest

Joachim Block, Julius Schuck, Thomas Seifert

Eine verstärkte Nutzung von Holz als regenerativem Rohstoff für die stoffliche Verwertung und als klimaschonende Energiequelle ist ohne Zweifel sowohl aus Gründen des Umwelt- und Klimaschutzes als auch aus volks- und betriebswirtschaftlicher Sicht anzustreben. Allerdings darf diese Nutzung nicht die Nachhaltigkeit gefährden. Vor allem auf armen Standorten besteht die Gefahr, dass Nährstoffentzüge durch die Holzernte nicht durch die Nachlieferung aus der Mineralverwitterung und aus der atmogenen Deposition ausgeglichen werden und der Boden an Nährstoffen verarmt (BECKER et al., 2000; FICHTER, 1997; RADEMACHER et al., 1999, 2001). Vor diesem Hintergrund untersucht die Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der TU München seit 2001 Nährstoffentzüge durch die Holzernte bei möglichst praxisnahen Waldbehandlungs- und Nutzungsszenarien und prüft, in wie weit und bei welcher Behandlung und Nutzungsstrategie die Nachhaltigkeit der Nährstoffversorgung langfristig gefährdet sein kann. Nachfolgend werden die Befunde für wichtige Waldtypen auf Bundsandstein im Pfälzerwald vorgestellt und Maßnahmen zur Abstimmung zwischen Nutzung und Nährstoffnachhaltigkeit diskutiert.

Untersuchungsbestände und Methoden

Untersucht wurden die Waldtypen „Kiefer mit Buche", „Traubeneiche mit Buche", „Buche" – zum Teil mit europäischer Lärche – und „Douglasie". Die Kalkulationen der Biomasse- und Nährstoffentzüge erfolgten über Szenariosimulationen mit dem Waldwachstumssimulator SILVA. In SILVA wurden die Wachstumsfunktionen an das standortstypische Wachstum der jeweiligen Bestandestypen auf Bundsandstein im Pfälzerwald angepasst. Hierbei wurden unterschiedliche waldbauliche Behandlungsvarianten (Niederdurchforstung, Hochdurchforstung, Z-Baum orientierte Auslesedurchforstung mit unterschiedlichen Z-Baumzahlen) hinterlegt, wobei praxisorientiert bis zu drei Durchforstungsphasen mit unterschiedlichen Eingriffsmodalitäten unterschieden wurden. So wurden beispielsweise beim Bestandestyp „Eiche mit Buche" bei der Z-Baum-orientierten Auslesedurchforstung mit 80 Z-Bäumen in der ersten Durchforstungsphase bis zum Alter 90 Jahre zwei Bedränger je Ein-

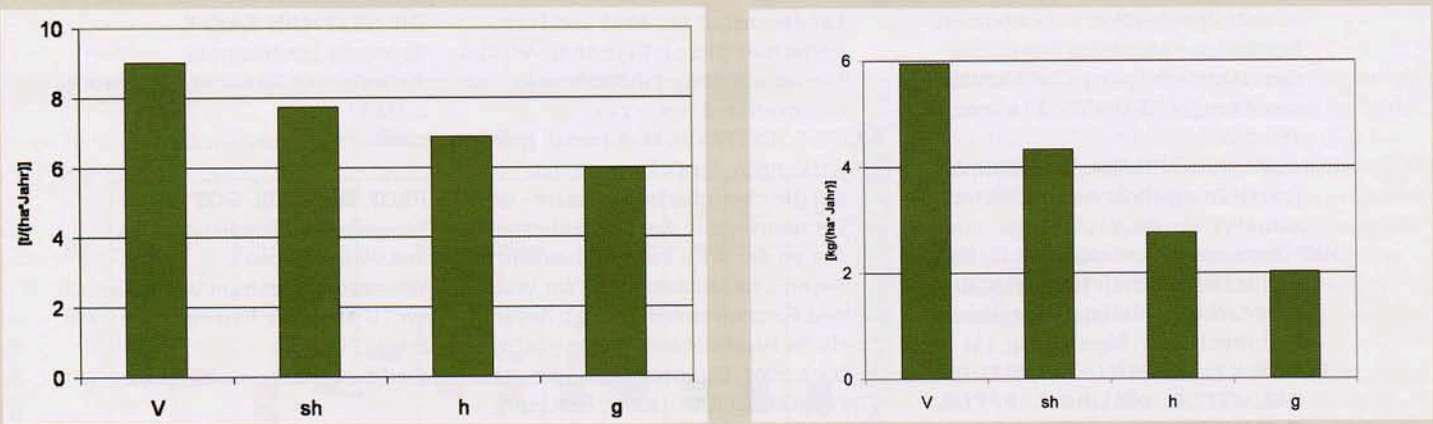

ABBILDUNG 1: *Biomasseentzug (linke Graphik) und Kaliumentzug (rechte Graphik) bei Douglasie bei unterschiedlicher Nutzungsintensität (g = geringe, h = hohe, sh = sehr hohe Nutzungsintensität, V = Vollbaumnutzung über gesamte Umtriebszeit).*

FIGURE 1: *Biomass removal (left figure) and potassium removal (right figure) in Douglas fir ecosystems for different harvesting intensities (g = low, h = high, sh = very high harvesting intensity, V = whole tree harvesting during the whole rotation period).*

griff, in der zweiten Phase bis zum Alter 180 Jahre eineinhalb Bedränger je Eingriff entnommen. Als dritte Phase schließt sich eine Zielstärkennutzung mit einem Ziel-BHD von 70 cm bei Eiche und 60 cm bei Buche an. Weiterhin wurde SILVA um Biomassefunktionen zur Schätzung der Nährstoffvorräte nach Baumkompartimenten erweitert. Zur Gewinnung der Grundlagendaten wurden umfangreiche Aufnahmen, Beprobungen und Analysen u. a. der Nährelemente und Raumdichte in unterschiedlich alten, gebietscharakteristischen Beständen durchgeführt. So wurden bei der Kiefer an allen Probebäumen Borke und Spiegelrinde getrennt vermessen, um in der Modellierung eine differenzierte Kalkulation dieser in den Nährelementgehalten sehr unterschiedlichen Baumkompartimente zu ermöglichen. Auch wurden bei allen Probebäumen nicht nur Brusthöhendurchmesser, Baumhöhe und soziale Stellung, sondern auch Kennwerte wie Kronenansatz, Kronenschwerpunkt, Plumpheitsgrad, Ausladungsverhältnis gemessen und Abhängigkeiten der Nährelementgehalte zu diesen Baumparametern geprüft.

Die Befunde für die Bestandestypen „Traubeneiche mit Buche" und „Kiefer mit Buche" wurden in Input-/Outputbilanzen von Level II-Flächen im Pfälzerwald (0705, 0707) integriert und bewertet. Eine detaillierte Beschreibung der komplexen Methodik findet sich in SEIFERT et al. (2006) und BLOCK et al. (2007).

Zusammenfassung

Für verschiedene Laub- und Nadelwald-Bestandestypen auf Buntsandstein im Pfälzerwald wurden über Szenariosimulationen mit dem Waldwachstumssimulator SILVA Biomasse- und Nährstoffentzüge bei praxisnahen waldbaulichen Behandlungen und unterschiedlichen Nutzungsintensitäten kalkuliert.

Während die waldbauliche Behandlung sich nur vergleichsweise wenig auf den Nährstoffentzug auswirkt, steigen die Nährstoffexporte bei zunehmender Nutzungsintensität erheblich an. Die Einbindung der Befunde in ökosystemare Input-/Outputbilanzen zeigt für Traubeneiche mit Buche schon bei geringer Nutzungsintensität bei Mg und Ca, bei sehr hoher Intensität (einschließlich Energieholznutzung) auch bei K und P deutliche Bilanzdefizite. Bei Kiefer mit Buche bleiben die Nährstoffbilanzen demgegenüber auch bei hoher Nutzungsintensität ausgeglichen. Trotz hoher Biomasseentnahmen ist der Ernteentzug von Ca, Mg und K bei Douglasie vergleichsweise gering. Dieser überraschende Befund konnte auf sehr niedrige Gehalte dieser Nährelemente im Kernholz der Douglasie zurückgeführt werden.

Abstract

For various deciduous and coniferous forest types on Triassic sandstone in the Palatinate forest biomass and nutrient removal were calculated using scenario simulations with the growth simulator SILVA. The calculations were performed for different silvicultural treatments as applied in forest practice and for different harvesting intensities.

While the silvicultural treatment had only minor effects on the nutrient removal, raised harvesting intensity significantly increased the nutrient export. In oak stands with beech nutrient budgets at the ecosystem scale showed Mg and Ca deficits at low harvesting intensity, and also K and P deficits at high intensity (including energy wood). In Scots pine stands with beech the nutrient budget remained positive even at high harvest intensity.

Despite high biomass harvest in Douglas fir stands the export of Ca, Mg and K remained comparatively low. This surprising finding could be explained by very low levels of these nutrients in the heartwood of Douglas fir.

Ergebnisse

Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf den Nährstoffentzug

Geprüft wurden die Auswirkungen von bis zu fünf unterschiedlichen waldbaulichen Behandlungen auf die durchschnittlichen jährlichen Entzüge an Biomasse und Nährstoffen über einen ganzen Produktionszeitraum. Dieser Zeitraum musste dabei auch innerhalb eines Bestandestyps zwischen den einzelnen Behandlungen variiert werden, da vorgegebene Zieldurchmesser je nach Behandlung bei unterschiedlichen Bestandesaltern erreicht werden. Um die Kalkulation vergleichbar zu halten, wurden die Bestände bei allen Durchforstungsvarianten in dem Alter „abgetrieben", in dem der in SILVA kalkulierte Derbholzvorrat durch Nutzung der Zielstärkenbäume unter die Hälfte des jeweiligen Maximalvorrats absank.

Der Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die Biomasse- und Nährstoffentzüge erwies sich als vergleichsweise gering. Gegenüber der Hochdurchforstung sind bei den Z-Baum orientierten Behandlungsvarianten die Biomasse- und Nährstoffentzüge meist etwas niedriger (0 bis -11 %) und bei der Niederdurchforstung in etwa gleich (Kiefer mit Buche) oder etwas höher (Douglasie: +12 bis +19 %).

Einfluss unterschiedlicher Nutzungsintensitäten

Bei der Kalkulation des Einflusses der Nutzungsintensität auf den Biomasse- und Nährstoffentzug im Laufe einer Umtriebszeit wurden verschiedene Varianten geprüft. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich die Varianten möglichst deutlich unterscheiden, aber mit Ausnahme der Variante „Vollbaum" realistische Nutzungsoptionen darstellen. So wurde beispielsweise berücksichtigt, dass bei Kiefer aus Forstschutzgründen kein stärkeres Holz im Bestand verbleiben kann.

Bei der Variante „gering" wird auf jegliche Nutzung schwächerer Sortimente verzichtet. Die Variante „hoch" entspricht einer konventionellen Nutzung einschließlich Aufarbeitung von (Laub-) Brennholz. Die Variante „sehr hoch" umfasst eine intensive Energieholznutzung beispielsweise durch Gewinnung von Hackschnitzeln aus Vollbäumen in jüngeren Beständen und gegebenenfalls aus Kronenmaterial in älteren Beständen. Die Variante „Vollbaum" ist keine realistische Nutzungsoption, sondern gibt lediglich die Obergrenze der theoretisch möglichen Nutzungsentzüge vor. Alle nachfolgend aufgeführten Kalkulationen beziehen sich auf die waldbauliche Behandlung „Hochdurchforstung", nachdem sich nur geringfügige Unterschiede zwischen den Varianten zeigten.

Erwartungsgemäß variieren die Nutzungsentzüge bei unterschiedlicher Nutzungsintensität bei allen Bestandestypen erheblich. Dabei sind die Un-

TABELLE 1: *Biomasse - und Nährstoffentzüge bei unterschiedlichen Bestandestypen (Hochdurchforstung; konventionelle Nutzungsintensität -hoch-).*

TABLE 1: *Biomass and nutrient removal for different stand types (thinning from above, conventional harvesting intensity).*

Bestandestyp	Biomasse	Ca	K	Mg	N	P
	t/ha•Jahr	kg/ha •Jahr				
Douglasie	6,9	3,3	2,8	0,4	5,1	0,5
Kiefer mit Buche	3,5	3,6	2,0	0,7	2,5	0,2
Buche	4,2	5,0	3,9	1,3	5,0	0,3
Traubeneiche mit Buche	4,6	8,0	4,5	0,8	7,7	0,4

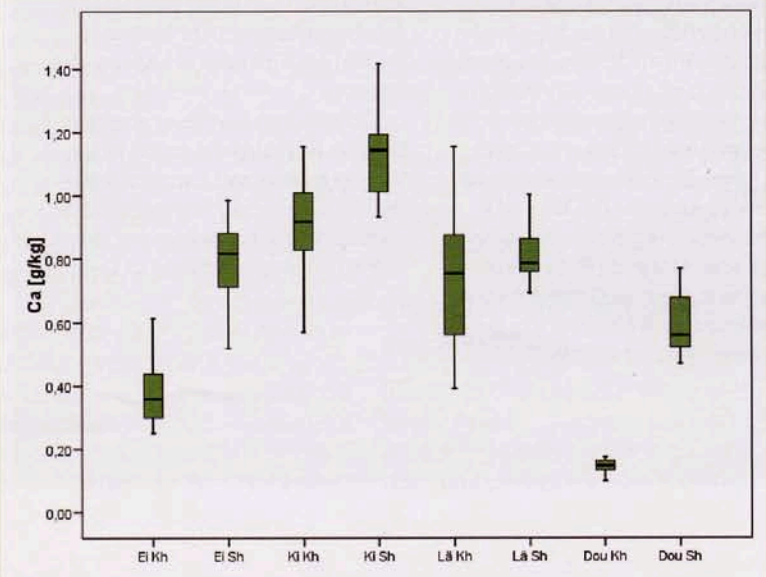

ABBILDUNG 2: *Box-Plots der Calciumgehalte im Splintholz (Sh) und im Kernholz (Kh) der Baumarten Douglasie (Dou) (30 Proben), Europ. Lärche (Lä) (20 Proben), Waldkiefer (Ki) (59 Proben) und Traubeneiche (Ei) (59 Proben).*

FIGURE 2: *Box-plots of Ca concentration in sapwood (Sh) and in heartwood (Kh) of Douglas fir (Dou) (30 samples), European larch (Lä) (20 samples), Scots pine (Ki) (59 samples) and sessile oak (Ei) (59 samples).*

terschiede zwischen den einzelnen Nutzungsvarianten in den Laubholzbestandestypen größer als beim Nadelholz, da in letzterem einer Extensivierung schon aus Forstschutzgründen enge Grenzen gesetzt sind. Eine Intensivierung der Nutzung ist beim Nadelholz auf junge Bestände beschränkt, da eine Nutzung des Kronenmaterials in älteren Beständen zumindest aktuell noch nicht realistisch erscheint.

In den Laubholzökosystemen (Buche, Traubeneiche mit Buche) sind bei sehr hoher Nutzungsintensität die Biomasseentzüge um das 1,3- bis 1,4-fache und die Nährstoffentzüge um das 1,4- bis 1,9-fache höher als bei der „konventionellen" Nutzungsvariante „hoch". Die Extensivierung der Nutzung (Variante „gering") verringert den Biomasseentzug gegenüber der konventionellen Nutzung um etwa die Hälfte, die Entzüge der Nährelemente um zwei Drittel. Bei den Nadelholzökosystemen (Kiefer mit Buche, Douglasie) sind bei der intensiveren Nutzung die Biomasseentzüge um das 1,1-fache und die Nährelemententzüge um das 1,2- bis 1,8-fache gegenüber der konventionellen Nutzung erhöht (Abbildung 1). Die Extensivierung der Nutzung geht mit um ein Fünftel bis ein Drittel geringeren Nährstoffentzügen einher. Auch wenn die Buche in einigen Bestandestypen nur im Unter- und Zwischenstand vorhanden ist, so ist ihr Anteil an den Nährstoffentzügen bei den Varianten „hoch" und „sehr hoch" meist beträchtlich. Dies gilt insbesondere für den Entzug an Magnesium, bei dem der Anteil der Buche beispielsweise im Traubeneichenökosystem die Hälfte des Gesamtentzugs ausmacht.

Einfluss der Baumart

Die vier Bestandestypen unterscheiden sich bei vergleichbarer waldbaulicher Behandlung und Nutzungsintensität in ihren Biomassen- und Nährstoffentzügen beträchtlich. Bei der Biomasse sind erwartungsgemäß die höchsten Entzüge bei Douglasie, gefolgt von Traubeneiche und Buche und die geringsten Entzüge bei der Kiefer zu verzeichnen (Tabelle 1). Bei den Nährelementen Calcium (Ca), Kalium (K) und Stickstoff (N) weist die Traubeneiche, bei Magnesium (Mg) die Buche und nur bei Phosphor (P) die Douglasie die höchsten Entzüge auf. Auffällig sind die geringen Entzüge an Ca, Mg und K bei der Douglasie. Obwohl der Biomasseentzug bei der Douglasie um 50 bis 65 % höher ist als bei den Laubbaumökosystemen und den Biomasseentzug im Kiefernökosystem sogar um fast das Doppelte übersteigt, sind die Entzüge an diesen wichtigen Nährstoffen um 30 bis 70 % niedriger als bei den Laubwaldökosystemen, bei Ca und Mg sogar niedriger als beim Kiefernökosystem.

Dieser überraschende Befund liegt in den äußerst geringen Gehalten an Ca, K und Mg im Kernholz der Douglasie begründet (Abbildung 2). Während die Gehalte im Douglasiensplintholz in etwa der gleichen Größenordnung liegen wie im Splintholz der anderen untersuchten Baumarten, liegen die Gehalte im Douglasienkernholz nur bei 4 bis 15 % der entsprechenden Kernholzgehalte von Kiefer oder Lärche. Offenbar ist die Douglasie im Vergleich zu den anderen Baumarten weitaus effizienter bei der Rückgewinnung dieser Nährstoffe aus dem Holz vor der Verkernung. Daher sind bei dieser Baumart die hohen Erntemassen mit Ausnahme von Phosphor nicht

mit den ursprünglich erwarteten hohen Nährelement-Entzügen verbunden.

Nährstoffbilanzen bei unterschiedlicher Nutzungsintensität

Bei den Bestandestypen „Kiefer mit Buche" und „Traubeneiche mit Buche" können die Kalkulationen der Nährstoffentzüge mit der Holzernte in Input-/Outputbilanzen von Level II-Flächen des forstlichen Umweltmonitorings eingebunden werden (Methode siehe BLOCK et al., 2007). Für die anderen beiden Bestandestypen liegen leider keine geeigneten Daten zu den Bilanzgrößen Deposition, Mineralverwitterung und Sickerwasseraustrag vor.

Im Kiefernökosystem mit Buche bleiben auch bei sehr hoher Nutzungsintensität (Vollbaumernte bei Durchforstungen bis Alter 35) die Nährstoffbilanzen mit Ausnahme von Phosphor positiv (Tabelle 2). Erst bei Vollbaumnutzung über eine ganze Umtriebszeit treten auch bei Ca, Mg und K defizitäre Bilanzen auf. Demgegenüber sind im Eichenökosystem mit Buche die Ca- und Mg-Bilanzen schon bei geringer Nutzungsintensität und bei hoher bzw. sehr hoher Nutzungsintensität auch die K- und P-Bilanzen defizitär (Tabelle 3). In Relation zu den im Boden pflanzenverfügbar gespeicherten Vorräten liegen im untersuchten Eichenökosystem die jährlichen Verluste an Ca und Mg schon bei der herkömmlichen Holznutzung bei etwa 3 % jährlich. Über eine Umtriebszeit betrachtet, übersteigen die Defizite demnach die aktuellen ökosystemaren Vorräte um ein Mehrfaches.

Schlussfolgerungen

Die Befunde belegen die Bedeutung des Nährstoffentzugs durch die Holzernte für den Nährstoffhaushalt von Waldökosystemen auf armen Buntsandsteinstandorten. Sie zeigen, dass die einzelnen Baumarten bzw. Bestandestypen und die einzelnen Nährstoffe differenziert bewertet werden müssen. Während Ca und Mg dem Ökosystem über eine herkömmliche Dolomit-Kalkung ökosystemverträglich und langfristig wirksam wieder zugeführt werden können (SCHÜLER, 2002), stößt dies bei K und P auf erhebliche Probleme. Zugeführtes Kalium wird in der Regel rasch wieder aus dem Boden ausgewaschen. Phosphor kann im Boden stabile Verbindungen eingehen, die kaum mehr pflanzenverfügbar sind. Da dies auch bei der Rückführung dieser Elemente über eine Ascheausbringung gelten dürfte, wird eine eingehende Prüfung der (Langzeit-) Wirksamkeit der Ascherückführung auf den Nährstoffhaushalt der Ökosysteme empfohlen. So sollten an den vorhandenen Versuchen Input-/Outputbilanzen der Nährelemente über 10 oder 20 Jahre erstellt werden und geprüft werden, wie lange die Ascheausbringung sich beispielsweise auf den Kaliumgehalt in den Blättern oder Nadeln auswirkt.

Aus Vorsorgegründen sollte in den Laubholzbeständen auf Buntsandstein vorläufig nicht mehr als eine Energieholznutzung (Vollbäume ohne Laub im Alter 40 bis 60 Jahre) erfolgen und auf eine Nutzung des Reisigmaterials in älteren Beständen verzichtet werden. Auch in Kiefern- und Douglasienbeständen sollten Nutzungen von Kronenholz auf wenige Eingriffe beschränkt werden. Dabei sollte nach Möglichkeit an der Derbholzgrenze gekappt werden, auch im Hinblick auf die Qualität des erzeugten Brennstoffes.

Die Untersuchungen zum Nährstoffentzug durch die Holzernte müssen auf weitere Baumarten und andere Standorte ausgeweitet werden. Zudem wird empfohlen, die zweite bundesweite Waldbodenzustandserfassung im Hinblick auf die Sensitivität der wesentlichen Waldstandorte gegenüber Ernteentzügen auszuwerten.

Ausführlichere Darstellungen der hier nur auszugsweise wiedergegebenen Befunde zum Nährstoffentzug auf Buntsandsteinstandorten finden sich in www.fawf.wald-rlp.de.