

# Phytomasse- und Nährelementvorräte unterschiedlich stickstoffbeeinflußter Kiefernbestände (*Pinus sylvestris* L.) des nordostdeutschen Tieflandes

Andreas Steiner, Andreas Bolte, Bernd Uwe Schneider und Reinhard Franz Hüttl

## Synopsis

**Phytomass and nutrient content of different nitrogen influenced Scots pine stands (*Pinus sylvestris* L.) in the northeastern lowland of Germany**

Phytomass and nutrient partitioning of two Scots pine stands of the German northeastern lowland at Hubertusstock/Schorfheide (low atmogenic N-deposition) and Bayerswald/Schwedt (high atmogenic N-deposition) have been studied. The total tree phytomass was lower at Bayerswald than at Hubertusstock due to an ongoing dieback of trees at Bayerswald. However, this loss was found to be partly compensated for by a higher phytomass from forest floor vegetation which developed in the course of canopy thinning and increased nitrogen availability. Because of the loss of tree phytomass the nutrient content in the phytomass was lower in Bayerswald than in Hubertusstock for phosphorus, potassium, calcium and magnesium. In contrast, the total nitrogen content in plants was the same in Bayerswald as in Hubertusstock due to higher nitrogen concentrations in all tree phytomass compartments at Bayerswald, except for stem wood, and an increased forest floor vegetation phytomass. Hence, under conditions of increased atmogenic N-deposition the nitrogen pool appeared to shift towards phytomass compartments which are supposed to decompose more easily, i. e. the forest floor vegetation with a high annual phytomass production and mineral turnover rate.

*Waldökosystemforschung, Stickstoffeintrag, Phytomassevorrat, Nährelementvorrat, Nährstoffverteilung, Pinus sylvestris, Avenella flexuosa, Calamagrostis epigejos*

*Forest ecosystem research, nitrogen input, phytomass, nutrient content, nutrient partitioning, Pinus sylvestris, Avenella flexuosa, Calamagrostis epigejos*

## 1 Einleitung

Die Ermittlung der Phytomasse von Kiefernbeständen (*Pinus sylvestris* L.) und der in ihr gespeicherten Nährelementvorräte waren schon vor über hundert Jahren Ziel detaillierter Untersuchungen (RAMANN 1881, WILL 1882). Seit Ende der fünfziger Jahre dieses Jahrhunderts wurden, beeinflußt durch das Internationale Biologische Programm (IBP) und die Ende der 70'er Jahre einsetzende Waldökosystemforschung, einzelne Phytomasse- und Nährelementinventuren kompletter Kiefernwaldbestände unter ökosystemarem Ansatz durchgeführt (OVINGTON 1957, 1959a, b, RODIN & BAZILEVICH 1967, MÄLKÖNEN 1974, BRINGMARK 1977, VYSKOT 1983, CORNELIUS & FAENSEN-THIEBES 1990, BRÆKKE & HÅLAND 1995, HELMISAARI 1995). Ziel dieser Erhebungen war es, prinzipielle Kenntnisse über den Phytomasse- und Nährstoffhaushalt von Kiefernforstökosystemen zu gewinnen und den Ergebnissen anderer Bestände im Hinblick auf Baumartenwahl, Baumartenmischung, Düngung und Eintragsszenarien vergleichend gegenüberzustellen.

Atmogener Eintrag von Stickstoffverbindungen aus Landwirtschaft und Industrie führte in der Vergangenheit im nordostdeutschen Tiefland zu einer flächenhaften Stickstoffeutrophierung zumeist naturnaher Kiefernforste (HOFMANN & HEINDSDORF 1990, KONOPATZKY 1995). Besonders auf stark N-belasteten Standorten sind hierbei Wachstums- und Stabilitätseinbußen der Baumbestände bekannt, die mit einer Ausbreitung und starken Phytomasseeöhöhung nitrophiler Grasdecken einhergehen (HOFMANN & al. 1990, KUNZE & al. 1995, BOLTE & BECK 1997).

Vor diesem Hintergrund wurden im Verbundprojekt »Waldökosystemforschung Eberswalde« u. a. die gesamten pflanzlichen Phytomasse- und Nährelementvorräte ausgewählter Bestandeskompartimente zweier unterschiedlich stark N-beeinflußter Kiefernforsten untersucht, um beispielhaft zu prüfen, wie sich atmogen bedingte Stickstoffeutrophierung auf die Phytomasse- und Nährelementverteilung in der Vegetation auswirkt, wobei besonders das Verhältnis von Baumbestand zur Bodenvegetation von Interesse ist.

## 2 Standorte

Die Untersuchungsstandorte befinden sich im nordöstlichen Brandenburg auf pleistozänen sandigen Substraten und weisen ähnliche klimatische und edaphische Bedingungen auf (Tab. 1). Der industrienahe Standort Bayerswald unterliegt im Vergleich zur emittentenfernen Fläche Hubertusstock deutlich höheren Stickstoffeinträgen. Dies zeigt sich besonders in der starken Nitratbelastung des Bodensickerwassers. Beide Kiefernbestände sind gleichaltrig und weisen ähnliche mittlere Baumhöhen auf. Die Bestandesdichte ist aufgrund einer erhöhten Baummortalität in Bayerswald weitaus geringer. Hier wird die Bodenvegetation im Bereich der Versuchsflächen annähernd aus Reinbeständen der Grasart Sandrohr (*Calamagrostis epigejos* (L.) ROTH) gebildet. In Hubertusstock dominiert hingegen die Drahtschmiele (*Avenella flexuosa* (L.) DREJ.) (Nomenklatur nach ROTHMALER 1990).

## 3 Probenahme und Methodik

Im Oktober 1995 ist auf beiden Versuchsstandorten eine vollständige Inventur an jeweils fünf Bäumen durchgeführt worden. Die Probebäume wurden nach Ergebnissen einer bereits erfolgten Inventur des oberirdischen Baumbestandes so ausgewählt, daß ihre Baumhöhe und Grundfläche in 1,30 Meter Höhe (Brusthöhe) im Streubereich ( $d$ ,  $d^+$ ) des Grundflächenmittelstammes (dg) lagen. Zur Beprobung der oberirdischen Baumkompartimente wurden die Probebäume gefällt und beerntet. Die Kiefernadeln sind in den 1., 2. und 3. Nadeljahrgang und das Astholz in drei Durchmesserklassen ( $< 0,7$  cm;  $0,7-2$  cm;  $> 2$  cm) fraktioniert worden. Stammscheiben wurden in verschiedenen Baumhöhen (Brusthöhendurchmesser 1,30 m Höhe; Stammitte; Kronenansatzhöhe) entnommen und in Kernholz, Splintholz und Stammrinde unterteilt.

Tab. 1

Standorts- und Bestandesdaten der Untersuchungsflächen.

Table 1

Descriptions of the experimental sites.

Standort	Hubertusstock	Bayerswald
<b>Lage</b>	Zentrale Schorfheide	Raum Schwedt/Oder
<b>Niederschläge [mm a<sup>-1</sup>]<sup>1</sup></b>	540–600	500–560
<b>Jahresmitteltemperatur [°C]</b>	8,0–8,5	8,0–8,5
<b>Jährl. N-Deposition Freiland [kg ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>]</b>		
1985–1988 <sup>2</sup>	15–20	> 35
1993–1995	10–17	18–25
<b>lokale Emittenten</b>	keine	Petrochemische Industrie/ ehem. Düngemittelwerk
<b>Mittl. NH<sub>4</sub>-N in Bodenwasser [mg L<sup>-1</sup>]</b>		
<b>Bodentiefe 20 cm</b>	0,16	0,93
<b>Bodentiefe 60 cm</b>	0,12	1,43
<b>Mittl. NO<sub>3</sub>-N in Bodenwasser [mg L<sup>-1</sup>]</b>		
<b>Bodentiefe 20 cm</b>	1,28	17,95
<b>Bodentiefe 60 cm</b>	1,12	35,85
<b>Baumbestand 1995<sup>3</sup>:</b>		
<b>Alter [Jahre]</b>	70	73
<b>Mittelhöhe HG [m]</b>	23,6	23,0
<b>Stammzahl ha<sup>-1</sup></b>	673	396
<b>Bodenart</b>	fS bis mS	fS bis mS
<b>Bodentyp</b>	Podsol-Braunerde	Podsol-Braunerde
<b>Humusform</b>	rohhumusartiger Moder	typischer Moder
<b>Vegetationseinheit</b>	Himbeer-Drahtschmienel-Kiefernforst	Sandrohr-Kiefernforst

<sup>1</sup> Niederschlagswerte nach KOPP & SCHWANECKE (1994)<sup>2</sup> errechnet nach SIMON & WESTENDORFF (1991)<sup>3</sup> Meßwerte nach ANDERS (1996) und MÜLLER, BECK (pers. Mitt.)

Es fand eine vollständige Beerntung der oberirdischen Pflanzenorgane der Bodenvegetation in quadratischen Rahmen (25 x 25 cm) in 0,25 m, 0,90 m und 1,30 m Abstand zum Stamm statt (vgl. VYSKOT 1983). Die gewonnene Pflanzensubstanz wurde nach Arten und weiter in lebende und abgestorbene bzw. in während des Bezugsjahres gebildete unverholzte und ältere verholzte Vegetationsteile getrennt.

Zur Erfassung der unterirdischen Pflanzenkompartimente der Baum- und Krautschicht wurden am Stammfuß der Probebäume Bodenprofile angelegt. Dabei wurden Bodenmonolithen mit Hilfe eines kubischen Stechrahmens (25 cm Kantenlänge) an der Profilwand in vertikaler Fortsetzung der oberirdischen Phytomasseerhebung bis zu einer Tiefe von 2,50 m horizontweise entnommen, wobei starke Grobwurzeln an der Rahmenkante senkrecht abgesägt wurden. In Hubertusstock erstreckte sich die Untersuchung zur Ermittlung der Durchwurzelungstiefe bis in 4,00 m Tiefe. Die Kiefern wurzeln wurden nach Durchmesserklassen (<0,5 mm; 0,5–1 mm; 1–2 mm; 2–5 mm; 5–10 mm; >10 mm) sowie lebende und tote Anteile sortiert. Bei den unterirdischen Kompartimenten der Bodenvegetation erfolgte eine Differenzierung nach Arten (s. auch STEINER & al. 1997).

Alle Pflanzenfraktionen wurden 48 h bei 60 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, anschließend gewogen, gemahlen und einzeln analysiert. Ein Umrechnungsfaktor vom Lufttrockengewicht (60 °C) zum absoluten Trockengewicht (105 °C) konnte nach anschließender Trocknung und Wägung eines aliquoten Probenanteils von 2 g ermittelt werden. Die Gesamtstickstoffgehalte wurden am Element-Analysator (Leco CHN 1000) bestimmt. Nach Aufschluß der Pflanzenproben in HNO<sub>3</sub> (suprapur) erfolgte die Messung von Kalium am Atom-Absorptions-Spektrometer (Unicam 939) sowie von Phosphor, Calcium und Magnesium am Plasma-Spektrometer (Unicam 701).

Die Phytomassen der oberirdischen Vegetationsanteile der Krautschicht sowie der Kiefernfeinwurzelfraktionen (<2 mm) und Gras-Rhizome konnten aus der Oberfläche der bis in 2,50 m Tiefe entnommenen Bodenmonolithen auf Bestandesebene (Hektar-Werte) hochgerechnet werden. Bei der flächenhaften Massenberechnung der Grobwurzelfraktionen (>2 mm) sind Stammzahlen und Zwischenstammbereiche berücksichtigt worden. Die Bestandesmassenwerte der oberirdischen Baumkompartimente Stamm- und Astholz (mit Rinde) sowie Nadeln (1., 2./3. Nadeljahrang) wurden nach den vorliegenden Ergebnissen einer bereits erfolgten Bestandesaufnahme (ANDERS 1996, BECK 1990) ermittelt. Auf der Basis einer Vermessung von Kernholz-, Splintholz- und Rindenbereich der gewonnenen Stammscheiben konnten ihre Massenanteile am Stammholz errechnet werden. Die Elementvorräte im Gesamtbestand ergaben sich durch Multiplikation von Elementkonzentrationen

und hektarbezogenem Trockengewicht der Phytomassefraktionen.

## 4 Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Phytomassevorräte

Am Standort Bayerswald (hohe N-Deposition) hat erhöhte Baummortalität zu einer starken Reduktion der Stammzahlen und zu einer Abnahme der Gesamtphytomasse bis auf 78% des Phytomassevorrats in Hubertusstock geführt (Abb. 1). Dies schlägt sich in einem niedrigeren Baumholzvorrat nieder, wobei besonders der Splintholzvorrat deutlich geringer ist. Die Wurzelvorräte beider Baumbestände hingegen liegen in ähnlicher Größenordnung vor. Auf beiden Standorten beträgt der prozentuale Anteil der Grobwurzelfraktion am Gesamtwurzelvorrat mehr als 95% (Tab. 2). Am Standort Bayerswald ist die Phytomasse der Bodenvegetation, einhergehend mit höherer N-Deposition und Auflichtung des Baumbestandes, durch die Ausbildung einer Sandrohr-Grasdecke im Vergleich zur Drahtschmiede-Decke in Hubertusstock deutlich erhöht. Der Verlust an Baumholzvorrat kann jedoch durch die Zunahme von Phytomasse der Bodenvegetation nicht kompensiert werden (Abb. 1). Bei Phytomasseuntersuchungen der Krautschicht von fünf Kiefernflächen im nordostdeutschen Tiefland kamen BOLTE & BECK (1997) bei ausschließlicher Betrachtung der oberirdischen Kompartimente zum gleichen Ergebnis.

Dies zeigt, daß sich die Phytomassevorräte auf beiden Untersuchungsstandorten deutlich unterscheiden, wobei die Höhe und kompartimentweise Verteilung der Phytomassen des Baumbestandes in Hubertusstock (geringe N-Deposition) in Einklang mit Literaturwerten von Kiefernbeständen ähnlichen Alters, Höhe und Dichte von BURGER (1948) sowie RODIN & BAZILEVICH (1967) stehen.

### 4.2 Elementkonzentrationen

Nährelementkonzentrationen der Nadeln werden bei großflächigen Inventuren als Indiz für den Ernährungszustand des Baumbestandes herangezogen (HÜTTL 1991, WOLFF & RIEK 1997). Danach weisen die vorliegenden Werte beider Untersuchungsbestände auf eine schwache P- und Mg-Ernährung der Nadeln hin. Während die Ca-Versorgung der Nadeln in Bayerswald als mittel eingestuft werden kann, ist diese in den Nadeln des Standortes Hubertusstock sehr gering (Tab. 2). Die Kaliumgehalte der Nadeln beider Bestände zeigen dagegen eine hohe bis sehr hohe Versorgung mit diesem Element an. Ebenfalls ist die N-Versorgung der Nadeln in Hubertusstock als gut zu bewerten. Im stark stickstoffbeeinflußten Bestand

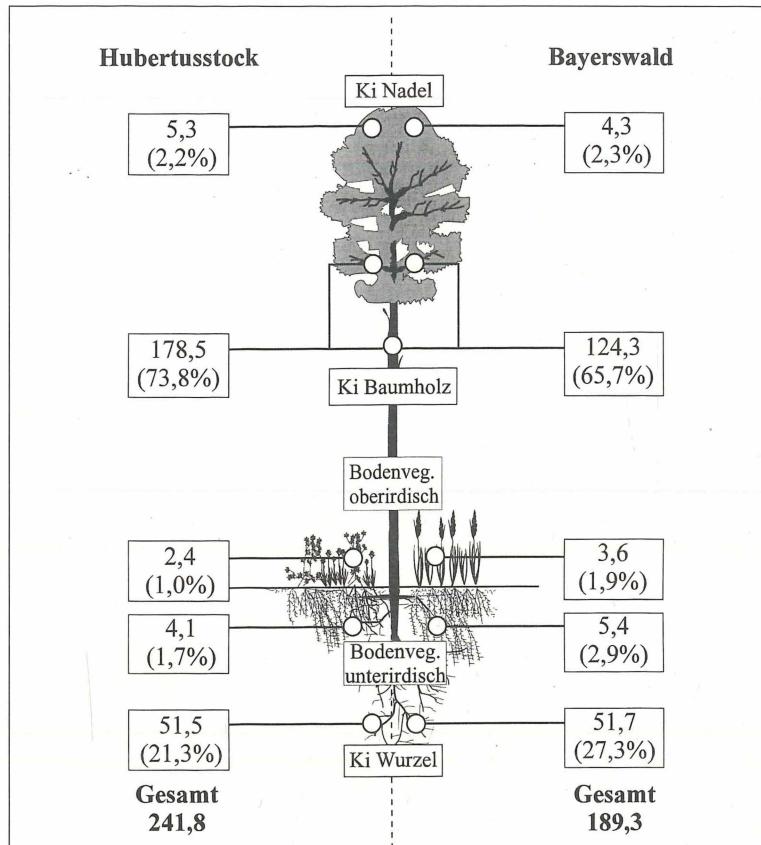


Abb. 1  
Phytomasse [ $t \text{ ha}^{-1}$  TS 105°C]  
und Anteile einzelner Kom-  
partimente an der Gesamt-  
phytomasse [%] auf den  
Untersuchungsflächen.

Fig. 1  
Phytomass [ $t \text{ ha}^{-1}$  dry mass  
105 °C] and compartment  
proportion of total phytomass  
[%] on experimental sites.

Bayerswald liegen die N-Nadelspiegelwerte innerhalb des von HOFMANN & HEINSDORF (1990) angegebenen Bereiches von 1,8 bis 2,4%, der auf eine Stickstoffübersättigung und damit auf die Gefahr zunehmender Nährstoffungleichgewichte in Kiefernforstökosystemen hindeutet. So wird das nach Angaben aus 210 Kiefernbeständen Nordostdeutschlands von FIEDLER & HÖHNE (1984) errechnete kiefernspezifische N/P- und N/K-Verhältnis von 10,0 bzw. 2,3 in Hubertusstock (1. Nadeljahrgang) mit 11,1 und 2,5 nur leicht, in Bayerswald (1. Nadeljahrgang) mit 14,7 und 3,6 hingegen deutlich überschritten.

In beiden Kiefernbeständen weisen die P-, K-, Ca-, und Mg-Konzentrationen der verholzten Kompartimente (Astholt, Stammholz, Stammlinie, Grobwurzeln) keine wesentlichen Unterschiede auf und stimmen weitgehend mit den von HEINSDORF & KRAUSS (1990) und MARKAN (1993) für Kiefernforstökosysteme des nordostdeutschen Raumes angegebenen Werten überein.

Die K-Konzentrationen in Feinwurzeln der Kiefern liegen in Hubertusstock deutlich über jenen in Bayerswald, während der letzter genannte Standort eine

deutlich bessere Ca- und Mg-Versorgung erkennen lässt, was auf einen K/Ca-Antagonismus hindeutet (FIEDLER & al. 1973). Mit Ausnahme des Stammholzes besitzen alle Baumholz- und Wurzelkompartimente in Bayerswald erheblich höhere N-Konzentrationen. Auffällig sind die hohen Nährelementkonzentrationen in den oberirdischen Pflanzenorganen von Drahtschmiele und Sandrohr in Hubertusstock sowie die hohen Gehalte in den unterirdischen Teilen des Sandrohrs in Bayerswald.

#### 4.3 Nährelementvorräte

Als Folge der durch erhöhte Baummortalität bedingten Phytomasseverluste liegen die in der Phytomasse gebundenen Gesamtressourcen von Phosphor, Kalium, Calcium und Magnesium am Standort Bayerswald mit 73%, 87%, 74% und 75% deutlich unter den Werten des Referenzstandortes Hubertusstock (Abb. 2). Mit Ausnahme von Kalium, welches in Bayerswald durch höhere Konzentrationen im Splintholz und in den unterirdischen Vegetationsteilen der

Tab. 2

Phytomasse [ $t \text{ ha}^{-1}$  TS 105°C] und mittlere Elementgehalte pflanzlicher Kompartimente [%] auf den Versuchsstandorten.

Table 2

Phytomass [ $t \text{ ha}^{-1}$  dry mass 105°C] and mean nutrient concentrations of plant compartments [%] on experimental sites.

Hubertusstock							Bayerswald						
	Tr.-Gew.	N	P	K	Ca	Mg		Tr.-Gew.	N	P	K	Ca	Mg
<b>Nadeln</b>													
1. Nadeljahrgang	3,13	1,623	0,146	0,639	0,194	0,084	2,29	2,038	0,139	0,560	0,286	0,081	
2. Nadeljahrgang	2,19 <sup>1</sup>	1,702	0,144	0,532	0,444	0,072	2,03 <sup>1</sup>	2,160	0,125	0,465	0,473	0,060	
3. Nadeljahrgang		1,588	0,125	0,386	0,501	0,067		1,768	0,108	0,385	0,533	0,058	
<b>Baumholz</b>													
<b>Astholt</b>													
d<0,7cm		0,822	0,063	0,237	0,307	0,061		0,999	0,067	0,239	0,290	0,058	
d= 0,7-2cm	19,53	0,327	0,024	0,105	0,203	0,040	13,78	0,371	0,022	0,091	0,197	0,033	
d> 2cm		0,186	0,013	0,053	0,160	0,035		0,209	0,011	0,046	0,145	0,029	
<b>Stammholz</b>													
Kernholz	24,33	0,080	0,002	0,025	0,091	0,022	21,35	0,056	0,002	0,020	0,075	0,018	
Splintholz	118,94	0,071	0,008	0,041	0,078	0,024	79,24	0,074	0,006	0,051	0,062	0,020	
Stammrinde	15,68	0,388	0,028	0,108	0,498	0,035	9,90	0,497	0,025	0,106	0,499	0,037	
<b>Wurzeln</b>													
Grobwurzel (d>2mm)	49,09	0,256	0,019	0,090	0,091	0,033	50,21	0,285	0,013	0,092	0,104	0,033	
Feinwurzel (d<2mm)	2,37	0,740	0,056	0,126	0,402	0,052	1,50	1,220	0,060	0,083	0,764	0,078	
<b>Bodenvegetation</b>													
<b>oberirdisch</b>													
<i>Avenella flex.</i> (leb.)	1,17	1,764	0,218	1,010	0,244	0,098	-	-	-	-	-	-	-
<i>Avenella flex.</i> (tot)	0,14	1,227	0,108	0,159	0,234	0,058	-	-	-	-	-	-	-
<i>Calamagr. epig.</i> (leb.)	0,08	1,582	0,157	1,268	0,198	0,087	1,24	1,434	0,105	1,143	0,152	0,079	
<i>Calamagr. epig.</i> (tot)	0,11	1,335	0,101	0,113	0,206	0,041	2,03	1,353	0,079	0,229	0,205	0,051	
<i>Scleropodium purum</i>	0,50	2,474	0,285	0,932	0,514	0,153	0,34	2,677	0,223	1,312	0,433	0,145	
Sonst. Arten (leb./einj.)	0,38	1,231	0,142	0,454	0,692	0,158	<0,01	3,504	0,271	0,991	0,594	0,384	
<b>unterirdisch</b>													
<i>Avenella flex.</i> (Rhiz.)	1,32	1,670	0,130	0,168	0,406	0,049	-	-	-	-	-	-	-
<i>Avenella flex.</i> (Wurz.)	2,37	0,923	0,128	0,163	0,404	0,048	-	-	-	-	-	-	-
<i>Calamagr. epig.</i> (Rhiz.)	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>	<sup>2</sup>	2,43	1,391	0,266	0,378	0,221	0,034	
<i>Calamagr. epig.</i> (Wurz.)	<sup>3</sup>	<sup>3</sup>	<sup>3</sup>	<sup>3</sup>	<sup>3</sup>	<sup>3</sup>	2,98	1,180	0,210	0,297	0,727	0,088	
Sonst. Arten	0,36	0,797	0,019	0,044	0,043	0,012	<0,01	0,816	0,041	0,103	0,082	0,035	

<sup>1</sup> Nadeljahrgänge 2 und 3 zusammengefaßt

<sup>2</sup> Calamagrostis-Wurzeln unter Avenella-Wurzeln

<sup>3</sup> Calamagrostis-Rhizome unter Avenella-Rhizome

Krautschicht erhöhte Vorräte bildet, sind die Unterschiede in den Vorräten dieser Elemente zwischen den Beständen dabei annähernd proportional zur Phytomassedifferenz (s. 4.1, Tab. 2). Im Vergleich mit den aus der Speicherungstafel für Nährstoffe von HEINSDORF & KRAUSS (1990) abgeleiteten Werten für den oberirdischen Baumbestand (Alter 70 J., Mittelhöhe 24 m) zeigen sich für beide Bestände auch ähnliche Relationen zwischen den ermittelten Vorräten der angesprochenen Elemente untereinander und den Tafelwerten. Allerdings liegen die Tafelwerte systematisch mit 5% (Ca in Bayerswald) bis 41% (Mg in Hubertusstock) unter den Erhebungsergebnissen, was zum einen durch geringere angegebene Phytomassegewichte, zum anderen durch geringere Konzentrationswerte im massereichen Stammholz erklärt wer-

den kann. Ein etwa 140-jähriger Kiefernbaumbestand im Berliner Grunewald auf vergleichbarem Standort mit 148 t oberirdischer Trockensubstanz besaß hingegen bei einem 15% höheren Phytomassevorrat als Bayerswald einen vergleichbaren P-Vorrat und einen 23%, 55% und 65% höheren Mg-, Ca- und K-Vorrat (MARKAN 1993, FAENSEN-THIEBES & al. 1996).

In Bayerswald vermag die gesamte Vegetation durch die N-Konzentrationserhöhung in den Nadeln und Wurzeln sowie besonders durch die Massenentfaltung der Bodenvegetation einen annähernd hohen N-Vorrat wie in Hubertusstock aufzubauen. Dieser liegt hier um 75% über den von HEINSDORF & KRAUSS (1990) angegebenen Werten und übertrifft den N-Vorrat des genannten Grunewalder Kiefernbestandes um 21%.

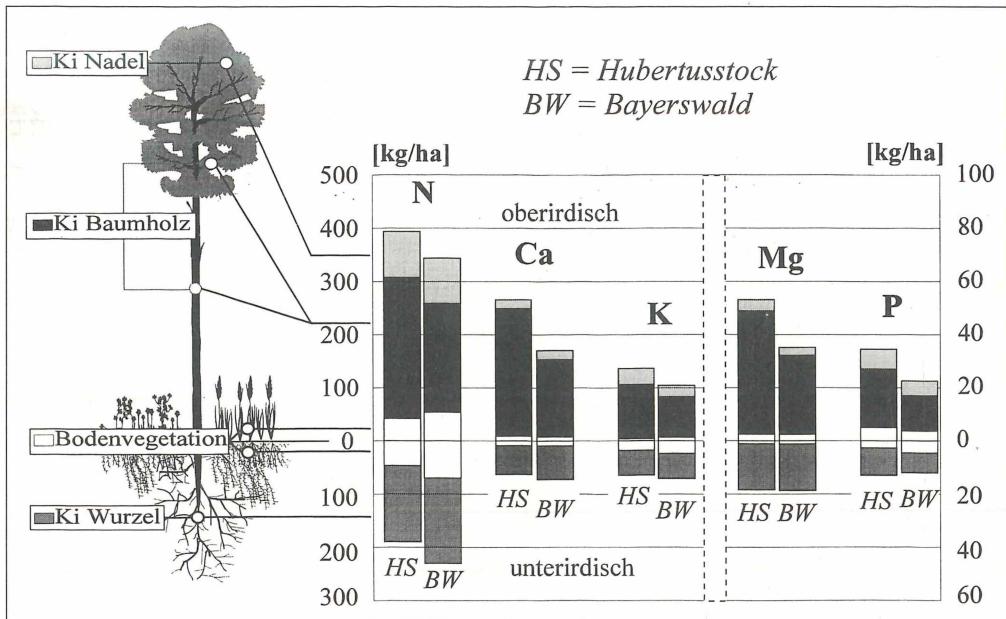


Abb. 2  
Nährstoffvorräte [ $\text{kg ha}^{-1}$ ] in der Phytomasse der  
Untersuchungsbestände

Fig. 2  
Nutrient content [ $\text{kg ha}^{-1}$ ] in phytomass of experimental  
stands

## 5 Schlußfolgerung

Am N-beeinflußten Standort Bayerswald stellt die im Vergleich zum gering N-belasteten Referenzstandort Hubertusstock einseitige Stickstoffanreicherung in den kurzlebigen Baumkompartimenten (Nadeln, Baumrinde, Feinwurzeln) eine starke physiologische Belastung der Kiefern dar. Von vergleichbaren N-beeinflußten Standorten wurden durch Nährstoffungleichgewichte verursachte Ernährungsstörungen mit nachfolgend erhöhter Baummortalität beschrieben (HOFMANN & HEINDSDORF 1990, HOFMANN & al. 1990). Durch Entnahme von geschädigten und abgestorbenen Bäumen am Standort Bayerswald wurden neben Baumanzahl und Phytomassevorrat der langfristig im Baumbestand gebundene Vorrat an Stickstoff und der übrigen Nährelementen reduziert und gleichzeitig indirekt das einseitige Stickstoffangebot für den verbleibenden Einzelbaum zusätzlich erhöht (BOLTE & ANDERS 1995). Auf die Kombination aus erhöhter Bodenbelichtung infolge schad- und eigriffsbedingter Auflichtung des Baumbestandes und hohem Stickstoffeintrag reagiert besonders *Calamagrostis epigejos* mit erhöhtem Wachstum (BORNKAMM & al. 1993, BRÜNN & al. 1996, SEIDLING 1996, BOLTE 1998). Dabei weisen die N-Konzentrationen von *Calamagrostis epigejos* in Bayerswald gegenüber *Avenella flexuosa* und dem in geringer Dichte vor-

kommenden *Calamagrostis epigejos* in Hubertusstock z. T. geringere N-Gehalte in einzelnen Pflanzenkompartimenten (oberirdische lebende Pflanzensubstanz, Rhizome) auf (Tab. 2). Dieser »Verdünnungseffekt«, d. h. sinkende N-Konzentration bei ansteigender Pflanzenmasse, wurde von MELLERT & al. (1998) auch bei Arten wie *Rubus idaeus* (L.), *R. fruticosus* (L.) und *Epilobium angustifolium* (L.) auf bayerischen Sturmkahlfächern beobachtet. Die Konzentrationsabnahme bei höherer Phytomasse der Bodenvegetation ist allerdings bei den anderen Nährelementen wie Calcium, Magnesium und Phosphor gegenüber Stickstoff ausgeprägter. So liegt beispielsweise die P-Konzentration in der lebenden oberirdischen Pflanzenmasse von *Calamagrostis epigejos* in Bayerswald um 31% niedriger als in Hubertusstock, die N-Konzentration nur um 9%. Durch den etwa um 29% erhöhten Phytomassevorrat bildet die Bodenvegetation im N-beeinflußten Bestand Bayerswald somit einen deutlich höheren Stickstoffvorrat als in Hubertusstock, der Vorrat der anderen Nährelemente außer Kalium (Ca, Mg, P) bleibt annähernd konstant (Abb. 2). Durch ihre gegenüber dem Baumbestand effizienteren Stickstoffausnutzung (HELMISAARI 1995) ist die Bodenvegetation in Bayerswald in der Lage, einen großen Teil des vom Baumbestand nicht aufgenommenen Stickstoffs während der Vegetationszeit zu binden. Der übrige Teil wird besonders außerhalb der

Vegetationszeit und nach Starkregenereignissen als Ammonium- und Nitrat-Stickstoff z. T. hochkonzentriert mit dem Sickerwasser aus dem System ausgetragen (Tab. 1, vgl. FAENSEN-THIEBES 1997) oder entweicht als gasförmige Stickstoffverbindungen (PAPEN, pers. Mittl.). Nach ANDERS (1996) überstiegen die Stickstoffeinträge im Freiland auf drei mit Bayerswald vergleichbaren Standorten des nordostdeutschen Tieflandes im Zeitraum November 1993 bis Oktober 1994 die des N-Austrags mit dem Sickerwasser um 11 bis 20 kg ha<sup>-1</sup>, so daß in den letzten Jahren von einer Stickstoffakkumulation in Kiefernforstökosystemen der Region ausgegangen werden kann. Inwie weit die Ausbreitung von *Calamagrostis epigejos* durch eine höhere Interzeptionsverdunstung und Evapotranspiration der Bodenvegetation zu einer Verschärfung der vertikalen Konkurrenz zwischen Baumbestand und Bodenvegetation um knappe Bodenwasservorräte während sommerlicher Trockenphasen und damit zu einer weiteren Destabilisierung des Baumbestandes führt, wird gegenwärtig kontrovers diskutiert (RUST et al. 1995; WULF & al. 1996; MÜLLER & al. 1998)

### Danksagung

Diese Untersuchungen wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie im Rahmen des Verbundprojektes »Waldökosystemforschung Eberswalde« (Förderkennzeichen: 0339670 und 0339500C) gefördert.

### Literatur

- ANDERS, S. (ed.), 1996: Waldökosystemforschung Eberswalde – Struktur, Dynamik und Stabilität von Kiefern- und Buchenwaldökosystemen unter Normal- und multiplen Streßbedingungen im nordostdeutschen Tiefland. – Mitt. Bundesforsch. anst. Forst- u. Holzwirtsch. Hamburg 182: 109 S.
- BECK, W., 1990: Zur Quantifizierung und Modellierung der oberirdischen Nettoprimärproduktion ausgewählter Kiefernökosysteme im Tiefland der DDR. – Diss. A der Akad. d. Landwirtschaftswiss. Berlin, 89 S., Anhang 72 S.
- BOLTE, A. & S. ANDERS, 1995: Zur Rolle der Bodenvegetation bei der Destabilisierung stickstoffbelasteter Kiefernforstökosysteme. – Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol. 29, 4: 151–155.
- BOLTE, A. & W. BECK, 1997: Stickstoffsättigung und Destabilisierung von Kiefernökosystemen. – AFZ / Der Wald 52: 593–595.
- BOLTE, A. & A. BILKE, 1998: Wirkung der Bodenbelichtung auf die Ausbreitung von *Calamagrostis epigejos* (L.) ROTH in den Kiefernforsten Nordostdeutschlands. – Forst und Holz 53, im Druck.
- BORNKAMM, R., MEYER, G. & K. MARKAN, 1993: Über die Wirkung von Kronenschluß und Düngung auf die Entwicklung von Waldbodenarten eines Kiefernforstes in Berlin-Spandau. – Phytoecologia 23: 601–610.
- BRÆKKE, F. H. & B. HÅLAND, 1995: Above ground biomass and mineral element distribution in a Scots pine stand of a virgin low-shrub pine bog. – Medd. Skogforsk. 47, 7: 1–17.
- BRINGMARK, L., 1977: A bioelement budget of an old Scots pine forest in central Sweden. – Silva Fennica 11: 210–209.
- BRÜNN, S., GRIES, D. & W. SCHMIDT, 1996: Reaktion von *Calamagrostis epigejos* (L.) ROTH auf Unterschiede im Licht- und Stickstoffangebot. – Verh. Ges. Ökol. 26: 775–780.
- BURGER, H., 1948: Holz, Blattmenge und Zuwachs. IX. Die Föhre. – Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes. 25: 435–493.
- CORNELIUS, R. & A. FAENSEN-THIEBES, 1990: Photosynthese, Wasserhaushalt, Biomassenproduktion und Pflanzeninhaltsstoffe. Abschlußbericht Ballungsraumnahe Waldökosysteme. – Selbstverlag Umweltbundesamt u. Senatsverwalt. Stadtentwickl. Umweltsch., Berlin: 65–79.
- FAENSEN-THIEBES, A. (ed.), 1997: Das Forschungsvorhaben »Ballungsraumnahe Waldökosysteme« (BallWÖS) 1986–1992 in Berlin. – Landschaftsentw. u. Umweltforsch. 106: 121 S.
- FAENSEN-THIEBES, A., SCHENK, B., MARKAN, K. & R. CORNELIUS, 1996: Mineral- und Biomassen in zwei Kiefern-Eichenbeständen und ihre künftige Entwicklung. – Verh. Ges. Ökol. 25: 105–114.
- FIEDLER, H. J. & H. HÖHNE, 1984: Das NPK-Verhältnis in Kiefernadeln als arteigene Erscheinung und Mittel zur Ernährungsdiagnose. – Beitr. f. d. Forstwirtsch. 18, 3: 128–132.
- FIEDLER, H. J., NEBE, W. & F. HOFFMANN, 1973: Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. – G. Fischer Verlag, Jena: 481 S.
- HEINSDORF, D. & H.-H. KRAUSS, 1990: Schätztafeln für Trockenmasse und Nährstoffspeicherung von Kiefernbeständen. – IFE-Ber. Forsch. u. Entwickl., Inst. f. Forstwissenschaften Eberswalde 18: 77 S.
- HELMISAARI, H.-S., 1995: Nutrient cycling in *Pinus sylvestris* stands in eastern Finland. – Plant and Soil 168–169: 327–336.
- HOFMANN, G. & D. HEINSDORF, 1990: Zur landschaftsökologischen Wirkung von Stickstoff-Emissionen aus Tierproduktionsanlagen insbesondere auf Waldbestände. – Tierzucht 44: 500–504.
- HOFMANN, G.; HEINSDORF, D. & H.-H. KRAUSS, 1990: Wirkung atmogener Stickstoffeinträge auf Produktivität und Stabilität von Kiefern-Forstökosystemen. – Beitr. f. d. Forstwirtsch. 24, 2: 59–73.

- HÜTTL, R. F., 1991: Die Nährelementversorgung geschädigter Wälder in Europa und Nordamerika. – Freiburger Bodenkndl. Abh. 28: 440 S.
- KONOPATZKY, A., 1995: Untersuchungen zum langjährigen Oberbodenstzustandswandel in den Waldökosystemen der Dübener Heide. In: HÜTTL, R. F., BELLMANN, K. & W. SEILER (HRSG.): Atmosphärensanierung und Waldökosysteme. – Umweltwissenschaften 4, Blottner Verlag, Taunusstein: 210–226.
- KOPP, D. & W. SCHWANECKE, 1994: Standörtlich-naturräumliche Grundlagen ökologiegerechter Forstwirtschaft. – Deutscher Landwirtschafts-Verlag, Berlin: 248 S.
- KUNZE, S., FIEDLER, H. J. & M. HEINZE, 1995: Wachstumsschädigung der Kiefernbestände in der Dübener Heide durch Immissionen und Trockenstress zwischen 1965 und 1988. – Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol. 29, 4: 156–159.
- MÄLKÖNEN, E., 1974: Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. – Comm. Inst. For. Fenn. 84: 87 S.
- MARKAN, K., 1993: Biomasse und Pflanzeninhaltsstoffe. Abschlußbericht Ballungsraumnahe Waldökosysteme. – Selbstverlag der Senatsverwalt. Stadtentwickl. Umweltsch., Berlin: 73 S.
- MELLERT, K.-H., KÖLLING, C. & K. E. REHFUESS, 1998: Vegetationsentwicklung und Nitrataustrag auf 13 Sturmkahlfächern in Bayern. – Forstarchiv 69: 3–11.
- MÜLLER, J., BOLTE, A., BECK, W. & S. ANDERS, 1998: Bodenvegetation und Wasserhaushalt von Kiefernforstökosystemen. – Verh. Ges. Ökol. 28 (dieser Band).
- OVINGTON, J.-D., 1957: Dry-matter production by *Pinus sylvestris* L. – Ann. Bot., N.S. 21: 287–314.
- OVINGTON, J. D., 1959a: Mineral content of plantations of *Pinus sylvestris* L. – Ann. Bot., N.S. 23: 75–88.
- OVINGTON, J. D., 1959b: The circulation of minerals in plantations of *Pinus sylvestris* L. – Ann. Bot., N.S. 23: 229–239.
- RAMANN, E., 1881: Beiträge zur Statik des Waldbaus. I. Die Kiefer. – Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwes. 13: 417–433.
- RODIN, L. E. & N. I. BAZILEVICH, 1967: Production and mineral cycling in terrestrial vegetation. – Oliver and Boyd, Edinburgh – London: 288 S.
- ROTHMALER, W. (Begr.), 1990: Exkursionsflora von Deutschland Bd. 2, Gefäßpflanzen, 15. Aufl. – Volk u. Wissen, Berlin, 639 S.
- RUST, S., LÜTTSCHWAGER, D. & R. F. HÜTTL, 1995: Transpiration and hydraulic conductivity in three Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands with different air pollution histories. – Water, Air and Soil Pollution 3, 85: 1677–1682.
- SEIDLING, W., 1996: Zur Wachstumsbegrenzung von *Calamagrostis epigejos*-Beständen auf forstlichen Kulturflächen und in Kiefernforsten. – Verh. Ges. Ökol. 26: 781–788.
- SIMON, K.-H. & K. WESTENDORFF, 1991: Stoffeinträge mit dem Niederschlag in Bestände des nordostdeutschen Tieflandes in den Jahren 1985 – 1989. – Beitr. f. d. Forstwirtsch. 25, 4: 177–180.
- STEINER, A.; BOLTE, A., SCHNEIDER, B. U. & R. F. HÜTTL, 1997: Phytomasse- und Stickstoffverteilung in unterschiedlich stickstoffbeeinflußten Kiefernforstökosystemen des nordostdeutschen Tieflandes. – Mitt. Deutsch. Bodenkdl. Ges. 85, II: 1041–1044.
- VYSKOT, M., 1983: Young Scots pine in biomass. – Rozpisy Ceskoslovenské Akademie Ved Praha 93, 4: 148 S.
- WILL, H., 1882: Untersuchungen über das Verhältnis von Trockensubstanz und Mineralstoffgehalt im Baumkörper. – Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwes. 14: 209–225, 265–280.
- WOLFF, B. & W. RIEK, 1997: Deutscher Waldbodenbericht 1996. Bd. 1: Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald von 1987–1993 (BZE). – Bundesmin. Ernähr., Landwirtsch. u. Forsten, Bonn: 144 S.
- WULF, M., LÜTTSCHWAGER, D., FORKERT, J. & R. F. HÜTTL, 1996: Untersuchungen zum Deckungs- und Transpirationsgrad ausgewählter Pflanzenarten der Krautschicht in Kiefernbeständen. – Angew. Bot. 70: 165–171.

## Adressen

Dipl.-Geogr. Andreas Steiner  
 Dr. Bernd Uwe Schneider  
 Prof. Dr. Reinhard Franz Hüttl  
 Brandenburgische Technische Universität Cottbus  
 Lehrstuhl für Bodenschutz und Rekultivierung  
 Postfach 10 13 44  
 D-03013 Cottbus  
 eMail: steiner@tu-cottbus.de

Dipl.-Forstw. Andreas Bolte  
 Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Eberswalde  
 Institut für Forstökologie und Walderfassung  
 Alfred-Möller-Str. 1  
 D-16225 Eberswalde  
 eMail: bolte@ewpc.bar.shuttle.de

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [28\\_1997](#)

Autor(en)/Author(s): Bolte Andreas, Hüttl Reinhard F., Steiner Andreas,  
Schneider Bernd Uwe

Artikel/Article: [Phytomasse- und Nährelementvorräte unterschiedlich  
stickstoffbeeinflußter Kiefernbestände \(\*Pinus sylvestris L.\*\) des  
nordostdeutschen Tieflandes 421-428](#)