

9 Zeitliche Entwicklung und Bewertung der Baumernährung

MICHAEL MINDRUP, INGE DAMMANN,
ULRIKE TALKNER & KARL JOSEF MEIWES

9.1 Einleitung

Etwa seit den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts hat sich die chemische Blattanalyse zu einem wissenschaftlichen Instrument zur Beurteilung des Ernährungszustandes von Waldbäumen entwickelt, womit Fragen der Vitalität, der Gesundheit und des Zuwachses im Hinblick auf einen erwarteten wirtschaftlichen Ertrag von Waldgehölzen angesprochen sind.

Standen dabei zunächst Fragen nach der Erklärung von Wachstumsstörungen und der Identifizierung von Nährstoffmängeln aufgrund devastiver Vornutzungen im Vordergrund, schlossen sich sehr schnell Untersuchungen zu den Auswirkungen und dem wirtschaftlichen Nutzen einmaliger Stoffzufuhren in die Waldökosysteme an. Dabei wurde im Rahmen von Kalksteigerungs- und Kalkformenversuchen sowie Nährstoffmangelversuchen Fragen nachgegangen, die sich mit den ökosystemaren Auswirkungen in Bezug auf die Mineralisierung schlecht zersetzbarer Humusaufgaben (Rohhumusproblem), aber auch dem direkten Nährstoffausgleich bei wachstumsbegrenzenden Nährstoffmängeln oder Nährstoffungleichgewichten beschäftigten.

Seit den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts kamen Fragestellungen hinzu, die, fußend auf dem vermehrten Auftreten der so genannten Neuartigen Waldschäden, weitere Anstrengungen in Bezug auf die Lösung von Ernährungsdefiziten erforderlich machten. In Versuchen und Fallstudien wurden Maßnahmen zur Kompensation der Folgen der lang anhaltenden sauren Deposition abgeleitet, die inzwischen als Bodenschutzkalkungen mit magnesiumhaltigen Kalken fester Bestandteil der forstbetrieblichen Praxis geworden sind.

Inzwischen hat sich das Monitoring der Ernährungssituation auf Bodendauerbeobachtungsflächen in Wäldern (BDF-F) auch wegen der Erfolge bei der Standardisierung der Probenahmen, der Analytik und der Bewertungs-

schemata der Elementgehalte in Blattorganen zu einem sicheren Diagnoseinstrument entwickelt, um die Reaktion auf veränderte Umweltbedingungen abzubilden, Prognosen über weitere Entwicklungen des Ernährungsstatus abzugeben und auf geeignete Gegenmaßnahmen hinzuweisen. Zu nennen sind hierbei insbesondere Ausgleichsmaßnahmen der Waldbesitzer in Form von Bestandeskalkungen und Empfehlungen zu Nutzungsänderungen der Standorte, wie Baumartenwahl und Nutzung bisher nicht aus den Wäldern entnommener Kompartimente (z. B. Hackschnitzel, Kronenrestholz; DAMMANN, MIDRUP & SCHÖNFELDER 2008, RADEMACHER et al. 2009, RUMPF et al. 2008).

9.2 Bedeutung der Makroelemente für die Waldernährung

Stickstoff (N)

Stickstoff kann von Waldbäumen entweder in der reduzierten Form als Ammonium-N (NH_4^+) oder in der oxidierten Form als Nitrat-N (NO_3^-) aus der Bodenlösung über die Wurzeln aufgenommen werden. Weiter ist bekannt, dass N ebenfalls über die Blattorgane aufgenommen werden kann. Stickstoff dient den Bäumen vor allem zum Aufbau organischer Verbindungen, wie Eiweißkörpern, Peptiden, Aminosäuren, Enzymen und sekundären Pflanzeninhaltsstoffen, und er findet sich deshalb besonders in den photosynthetisch aktiven Blattorganen, ist aber innerhalb der Bäume sehr mobil. Wegen seiner besonderen Bedeutung bei der Photosynthese stellt die Stickstoffversorgung den stärksten das Wachstum begrenzenden Faktor dar. Mangelsymptome sind mit verringerten Blattgrößen, Einschränkungen beim Triebblängenwachstum und Vergilbungserscheinungen verbunden. Stickstoff war über lange Zeit in nicht gedüngten Waldökosystemen als wachstumsbegrenzender Faktor anzusehen. Noch bis in die 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts wurde daher eine wirtschaftlich erfolgreiche N-Düngung in Wäldern durchgeführt. In neuerer Zeit wird dagegen auch ohne Düngung aufgrund des inzwischen länger anhaltenden Eintrages erheblicher N-Mengen mit der atmosphärischen Deposition ein Anstieg im Zuwachsverhalten in Wäldern beobachtet.

Phosphor (P)

Der als Hydrogen- oder Dihydrogenphosphat (HPO_4^- bzw. $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$) von den Baumwurzeln aufgenommene Phosphor spielt eine große Rolle beim Kohlenhydrataufbau der Bäume, er findet sich in Nukleotiden, in der Reserveform des Phytins, und er hat eine hohe Bedeutung bei der Assimilation von Kohlendioxid mit Hilfe des Systems der Photophosphorylierung. Mangelsymptome äußern sich erst in sehr ausgeprägten Schadbildern durch eine blaugrüne Verfärbung der Blattoorgane; daneben zeigt sich bei leichtem Mangel Blühverzögerung. Wenn nicht Phosphor über Düngungsmaßnahmen zugeführt wurde, tritt als einzige wesentliche Quelle die Silikatverwitterung auf, da sowohl die Austräge aus Waldökosystemen als auch die atmosphärischen Einträge sehr gering sind.

Kalium (K)

Die Aufnahme von Kalium erfolgt als einfach positiv geladenes Kation. Kalium spielt durch sein Vorkommen im Zellsaft eine erhebliche Rolle beim Quellungsstatus und den damit verbundenen physiko-chemischen Eigenschaften als Bedingung vieler Stoffwechselforgänge. Die K-Konzentration regelt entscheidend den Turgor der Pflanze, bei einer nicht ausreichenden K-Versorgung ist die Frostresistenz der Bäume verringert. Da K aus älteren in jüngere Blattoorgane verlagert wird, sind Mangelsymptome, wie Gelbspitzigkeit und Blatttrandnekrosen, zuerst bei älteren Blattoorganen zu beobachten. Hinzu kommen bei K-Mangel, wegen des gestörten Wasserhaushalts, die daraus resultierenden Symptome mit hängenden Zweigen und Verkrümmungen.

Calcium (Ca)

Das Nährelement Calcium wird als zweifach positiv geladenes Kation aus der Bodenlösung aufgenommen. Ca hat für das Längenwachstum von Wurzelzellen, die Integrität und Permeabilität von Membranen sowie wegen seiner zu Kalium antagonistischen Wirkung auf den Quellungsstatus der Zellen eine hohe Bedeutung. Unzureichende Versorgung der Bestände mit Calcium kann infolge der Hemmung der Nitrataufnahme zu verminderter Eiweißsynthese führen. In älteren Blattoorganen wird Ca als schwerlösliches Oxalat, Phosphat oder Carbonat gefunden, während in jüngeren Pflanzen-

teilen die wasserlöslichen Ca-Formen vorherrschen. Calciummangel äußert sich vor allem bei jüngeren Blattoorganen in Spitzendürre und Chlorosen.

Magnesium (Mg)

Dem als zweifach positiv geladenes Kation von den Bäumen aufgenommenen Magnesium kommt als Bestandteil des Chlorophylls (Zentralatom des Chelats) eine besondere Bedeutung bei der Photosynthese und damit dem Kohlenhydrataufbau zu. Weiter wird es bei der Eiweißsynthese als Bestandteil der Ribosomen benötigt und hat Anteil an anderen wichtigen Stoffwechselforgängen, wie dem Phosphortransfer und der Synthese von Acetyl-Coenzym-A. Mg-Mangelsymptome äußern sich in Chlorosen und späteren Nekrosen der Blattoorgane mit anschließendem Blattabfall, einem bei Nadelbäumen mit Mg-Mangel als Goldspitzigkeit bezeichneten häufig beobachteten Schadbild.

Übersichten zur Pflanzenernährung und der Bedeutung einzelner Nährelemente finden sich bei MENGEL & KIRKBY (1982) und MARSCHNER (1986). Informationen zu Vorkommen und Ausprägung von Ernährungsstörungen an Waldgehölzen werden von HARTMANN, NIENHAUS & BUTIN (2007) gegeben.

9.3 Material und Methoden

Daten zu den Elementgehalten in Nadeln und Blättern liegen für den Zeitraum von 1994 (Fichte und Kiefer) bzw. 1995 (Buche und Eiche) bis 2009 vor. Die Beprobung auf den neun Intensiv-BDF-F erfolgte jährlich, auf den Standard-BDF-F in mehrjährigen Intervallen, so dass fünf bis 16 chemische Analysen zur Darstellung der Ernährungssituation der BDF einbezogen werden konnten. Die Analysen wurden in der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt mit den bei KÖNIG, FORTMANN & LÜTER (2009) beschriebenen Methoden durchgeführt.

Für die Bewertung des Ernährungszustandes wurden für die einzelnen Nährelemente die arithmetischen Mittelwerte des Untersuchungszeitraumes gebildet und anhand der fünfstufigen Klassifizierung des ARBEITSKREISES STANDORTSKARTIERUNG (2003) für Kiefer,

Fichte und Buche bzw. anhand der fünfstufigen Klassifizierung nach KRAUSS & HEINSDORF (2005) für Eiche und Douglasie eingestuft.

Für die statistische Analyse des zeitlichen Trends der verschiedenen Elemente wurde ein gemischtes lineares Modell gewählt (PINHEIRO & BATES 2002). Die zeitliche Variable „Jahr“ ging als fester Effekt in das Modell ein, die räumliche Variable „Fläche“ als zufälliger Effekt. Es wurden zwei Modellvarianten verglichen: In der einen Variante wurde nur das absolute Niveau für die Flächen geschätzt, in der anderen zusätzlich zum absoluten Niveau auch das lineare Glied des Zeiteinflusses. Die Modellkomponenten wurden mit der ML(Maximum Likelihood)-Methode geschätzt. Die Modellvariante mit dem kleineren AIC (Akaike's Information Criterion) wurde zur Beurteilung der Trends ausgewählt. Zur Berechnung wurde das Statistikprogramm R (Version 2.9.1) mit der Library „nlme“ verwendet (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2009).

9.4 Ergebnisse

Wegen der für die verschiedenen Baumarten unterschiedlichen Bewertungsrahmen der Ernährungsstufen wird die Ernährungssituation auf den verschiedenen BDF-F entsprechend ihrer Bestockung mit unterschiedlichen Baumarten besprochen. Dabei werden aufgrund ihrer hohen Bedeutung für das Wachstum und die Vitalität der Waldbestände die Gehalte an den Makroelementen Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Calcium (Ca) und Magnesium (Mg) in den Blattorganen der Bäume angesprochen und nach üblichen Klassifizierungsschlüsseln bewertet (Tab. 9.1).

9.4.1 Bewertung des Ernährungszustandes

Buche

N-Gehalte

Die mit Buche bestockten BDF-F in Lüss (F003LSBU), im Solling (F006SLB1), im Göttinger Wald (F009GWBU), in Harste (F008HABU) und in Ihlow (F011IHEI) wiesen mit Stickstoffgehalten von im Mittel 24,1 mg g⁻¹ und in allen Einzelfällen mit Werten von über

22 mg g⁻¹ hohe Gehalte am Nährstoff Stickstoff auf.

P-Gehalte

Die Phosphorgehalte dagegen lagen mit Werten zwischen 1,05 mg g⁻¹ im Göttinger Wald (F009GWBU), 1,17 mg g⁻¹ in Harste (F008HABU), 1,21 mg g⁻¹ in Lüss (F003LSBU) und 1,26 mg g⁻¹ im Solling (F006SLB1) im Bereich der geringen Gehalte; nur in Ihlow (F011IHEI) wurde mit 1,37 mg g⁻¹ eine mittlere P-Ernährung gefunden.

K-Gehalte

Bis auf BDF-F Ihlow (F011IHEI), bei der mit 5,04 mg g⁻¹ nur geringe Kaliumgehalte festgestellt wurden, lagen auf allen anderen Flächen die Werte für Kalium im mittleren oder sehr hohen Bereich der Kaliumversorgung. Dabei wurden mittlere Gehalte im Solling (F006SLB1) mit 5,69 mg g⁻¹ und 6,39 mg g⁻¹ in Harste (F008HABU) gefunden, bei den BDF-F Lüss (F003LSBU) mit 8,28 mg g⁻¹ und 7,70 mg g⁻¹ im Göttinger Wald (F009GWBU) wurde eine sehr hohe Versorgung diagnostiziert.

Ca-Gehalte

Im Göttinger Wald (F009GWBU) und in Harste (F008HABU) lagen die Gehalte der Buchenblätter mit 11,47 bzw. 8,51 mg g⁻¹ im Bereich sehr hoher Calciumversorgung, während sie in Lüss (F003LSBU) mit 6,26 mg g⁻¹ im mittleren Bereich der Ernährung anzusprechen waren. Dagegen wurde in den Blättern im Solling (F006SLB1) mit 3,76 mg g⁻¹ und Ihlow (F011IHEI) mit 3,24 mg g⁻¹ Calciummangel diagnostiziert.

Mg-Gehalte

Im Göttinger Wald (F009GWBU), in Harste (F008HABU) und in Ihlow (F011IHEI) konnten mit Gehalten von 1,20, 1,01 bzw. 1,36 mg g⁻¹ hohe Ernährungsstufen für Magnesium festgestellt werden, während in Lüss (F003LSBU) mit 0,97 mg g⁻¹ ein mittlerer Gehalt und im Solling (F006SLB1) mit 0,73 mg g⁻¹ ein nur wenig über der Mangelgrenze liegender Gehalt gefunden wurde.

Fichte

N-Gehalte

Auf allen mit Fichte bestockten BDF-F wurden Stickstoffgehalte in den Nadeln gefunden, die einen mittleren bis sehr hohen Ernährungsstatus anzeigen. Im Solling (F007SLF1), im Jungbestand in der Hilsmulde (F019HIMJ) und in Spanbeck (F020SPFI) lagen diese mit 14,7, 14,0 bzw. 14,9 mg g⁻¹ im mittleren Bereich. Im Altbestand der Hilsmulde (F017HIMA), in der Wingst (F010WIFI) und in der Langen Bramke (F005LBNH) wurden mit 15,6, 16,2 bzw. 15,1 mg g⁻¹ hohe Stickstoffgehalte gefunden, und auf dem Hilskamm (F016HIKA) lagen sie mit 17,0 mg g⁻¹ an der Grenze zum sehr hohen Bereich.

P-Gehalte

Bis auf die BDF-F Spanbeck (F020SPFI) mit 1,41 mg g⁻¹ und Wingst (F010WIFI) mit 1,48 mg g⁻¹ wurde auf allen anderen Fichtenstandorten eine nur geringe bis sehr geringe Phosphornahrung der Fichtenbestände gefunden. So bewegten sich die P-Gehalte der Nadeln im Solling (F007SLF1), in der Langen Bramke (F005LBNH) und beim Jungbestand der Hilsmulde (F019HIMJ) mit 1,39, 1,38 bzw. 1,36 mg g⁻¹ im Bereich der geringen Versorgung. Für die Bestände der Altfichte in der Hilsmulde (F017HIMA) und auf dem Hilskamm (F016HIKA) dagegen lagen die Gehalte mit 1,14 bzw. 1,17 mg g⁻¹ im Phosphor-Mangelbereich.

K-Gehalte

Auf keinem der Fichtenstandorte wurden Kaliumgehalte festgestellt, die unterhalb einer ausreichenden Versorgung mit diesem Nährstoff lagen. So zeigten die Fichten im Solling (F007SLF1), auf dem Hilskamm (F016HIKA), im Jungbestand der Hilsmulde (F019HIMJ), in Spanbeck (F020SPFI) und in der Wingst (F010WIFI) mit 4,92, 4,25, 4,72, 4,43 bzw. 4,67 mg g⁻¹ eine mittlere Kaliumversorgung. Im Altbestand der Hilsmulde (F017HIMA) und in der Langen Bramke (F005LBNH) wurden mit 5,26 bzw. 5,37 mg g⁻¹ hohe Kaliumgehalte festgestellt.

Ca-Gehalte

Nur auf einem der Fichtenstandorte, nämlich in der Langen Bramke (F005LBNH), wurde mit 1,55 mg g⁻¹ ein geringer Calciumgehalt der Nadeln gemessen, während auf den anderen Standorten die Ca-Ernährung als mittel bis hoch zu bewerten war. So wurden im Solling (F007SLF1), auf dem Hilskamm (F016HIKA) und in der Wingst (F010WIFI) mit 2,11, 2,28 bzw. 2,73 mg g⁻¹ mittlere Ca-Gehalte gefunden, im Altbestand und dem Jungbestand der Hilsmulde (F017HIMA bzw. F019HIMJ) sowie in Spanbeck (F020SPFI) wurden die Gehalte mit 3,83, 3,67 bzw. 3,82 mg g⁻¹ als hoch angesprochen.

Mg-Gehalte

Die Magnesiumversorgung der Fichtenbestände wies verbreitet auf eine angespannte Situation bei diesem Nährelement hin. Lediglich auf zwei der Untersuchungsflächen, im Alt- und Jungbestand in der Hilsmulde (F017HIMA bzw. F019HIMJ), wurden mit 1,03 bzw. 1,11 mg g⁻¹ mittlere Mg-Gehalte gefunden. Auf dem Hilskamm (F016HIKA) zeigten sich mit 0,80 mg g⁻¹, ebenso wie in Spanbeck (F020SPFI) und in der Wingst (F010WIFI) mit 0,84 bzw. 0,94 mg g⁻¹, nur noch geringe Gehalte, während im Solling (F007SLF1) und in der Langen Bramke im Harz (F005LBNH) mit 0,61 bzw. 0,58 mg g⁻¹ bereits mit sehr geringen Gehalten die Mangelgrenze an diesem Nährstoff erreicht war.

Eiche

N-Gehalte

Auf den untersuchten Eichenstandorten konnte durch die Blattanalyse eine mittlere bis hohe Stickstoffversorgung festgestellt werden. Wurden in Lüss (F003LSBU) mit 22,4 und in der Görde (F013GDEI) mit 24,1 mg g⁻¹ bereits mittlere N-Gehalte gefunden, lagen diese in Ehrhorn (F002EHEI) mit 27,8, im Drömling (F015DREI) mit 26,3, in Herrenholz (F014HEEI) mit 26,9 und in Ihlow (F011IHEI) mit 28,4 mg g⁻¹ im Bereich hoher Stickstoffversorgung.

P-Gehalte

Die Phosphorversorgung bei der Eiche lag auf vier der sechs BDF-F, nämlich Lüss (F003LSBU) mit 1,51, Ehrhorn (F002EHEI) mit 1,73, Herrenholz (F014HEEI) mit 1,54 und Ihlow (F011IHEI) mit 1,92 mg g⁻¹ im mittleren Bereich. In der Göhrde (F013GDEI) wurde mit 2,41 mg g⁻¹ ein hoher P-Ernährungsstatus gefunden, während im Drömling (F015DREI) mit 1,07 mg g⁻¹ ein nur geringer Gehalt festgestellt wurde.

K-Gehalte

Die Kaliumversorgung bei der Eiche zeigte auf allen BDF-F ein einheitlich gutes Versorgungsbild mit diesem Nährstoff. Über alle sechs Eichenstandorte gesehen lagen die Gehalte im Bereich von 7,16 bis 9,41 mg g⁻¹ und damit innerhalb einer hohen Kaliumernährungsstufe.

Ca-Gehalte

Die Calciumernährung der untersuchten Eichenbestände wies eine angespannte Situation auf. Während die Gehalte nur noch in der Göhrde (F013GDEI) mit 6,73 und im Drömling (F015DREI) mit 5,76 mg g⁻¹ eine mittlere Calciumversorgung widerspiegeln, lag diese in Lüss (F003LSBU) mit 4,86, in Ehrhorn (F002EHEI) mit 4,68, in Herrenholz (F014HEEI) mit 4,88 und in Ihlow (F011IHEI) mit 3,75 mg g⁻¹ in der Stufe der geringen Ca-Ernährung.

Mg-Gehalte

Die Magnesiumversorgung von fünf der sechs untersuchten Eichenstandorte zeigte das Bild einer mittleren Versorgung an. So lagen die Blattgehalte an Magnesium im Bereich zwischen 1,40 im Drömling (F015DREI), 1,52 in der Göhrde (F013GDEI) und jeweils 1,59 mg g⁻¹ in Ehrhorn (F002EHEI) und Herrenholz (F014HEEI); mit einem Gehalt von 2,31 mg g⁻¹ wies der Bestand in Ihlow (F011IHEI) eine hohe Mg-Versorgung auf. Lediglich in Lüss (F003LSBU) wurde mit 1,19 mg g⁻¹ der Bereich einer geringen Mg-Ernährung angezeigt.

Kiefer

N-Gehalte

Die Stickstoffernährung der untersuchten Kiefernbestände lag mit 16,1 mg g⁻¹ in Fuhrberg (F004FUKI) und 16,5 mg g⁻¹ in Ehrhorn (F012EHKI) in der Stufe der hohen N-Versorgung; in Augustendorf (F021AUKI) zeigte sich mit 20,5 mg g⁻¹ eine sehr hohe Ernährungsstufe im Bereich des Luxuskonsums bei der Baumart Kiefer.

P-Gehalte

Während die Kiefernbestände mit Nadelgehalten von 1,55 mg g⁻¹ in Fuhrberg (F004FUKI) und 1,66 mg g⁻¹ in Augustendorf (F021AUKI) eine mittlere Phosphor-Ernährungsstufe aufwiesen, konnte in Ehrhorn (F012EHKI) mit 1,24 mg g⁻¹ nur eine geringe Versorgung mit Phosphor festgestellt werden.

K-Gehalte

Auf allen drei untersuchten Kiefernstandorten wiesen die Blätter mit Kaliumgehalten von 5,03 mg g⁻¹ in Ehrhorn (F012EHKI), 5,49 mg g⁻¹ in Fuhrberg (F004FUKI) und 6,01 mg g⁻¹ in Augustendorf (F021AUKI) eine hohe Ernährungsstufe auf.

Ca-Gehalte

Die Calciumernährung wurde mit Werten von 2,68 mg g⁻¹ in Augustendorf (F021AUKI), 2,73 mg g⁻¹ in Ehrhorn (F012EHKI) und 2,93 mg g⁻¹ in Fuhrberg (F004FUKI) auf allen drei Standorten als hoch angesprochen.

Mg-Gehalte

Demgegenüber lagen die Magnesiumgehalte der Nadeln auf allen drei Standorten mit Werten von 0,83 mg g⁻¹ in Augustendorf (F021AUKI), 0,86 mg g⁻¹ in Ehrhorn (F012EHKI) und 0,90 mg g⁻¹ in Fuhrberg (F004FUKI) bereits unterhalb einer optimalen Ernährungsstufe im Bereich geringer Magnesiumversorgung.

Douglasie

N-, P-, K-, Ca- und Mg-Gehalte

Die Nadeln der mit Douglasie bestockten BDF-F in Westerberg (F001WEFI) wiesen einen als hoch bewerteten N-Gehalt von 21,0 mg g⁻¹ auf.

Sowohl beim Phosphor mit 1,09 mg g⁻¹, beim Kalium mit 5,64 mg g⁻¹ als auch beim Calcium mit 3,39 mg g⁻¹ wurden dagegen nur geringe Ernährungsstufen festgestellt, während die Magnesiumversorgung in einem mittleren Bereich von 1,07 mg g⁻¹ als ausreichend beurteilt wurde.

Tab. 9.1: Elementgehalte in Blattorganen der Waldbestände von Intensiv- und Standard-BDF-F in Niedersachsen. Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) in mg g⁻¹. Farbliche Hinterlegung charakterisiert die Ernährungsstufe für Kiefer, Fichte und Buche nach ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG (2003) bzw. für Eiche und Douglasie nach KRAUSS & HEINSDORF (2005).

Baumart	BDF-F	N		P		K		Ca		Mg	
		MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Buche	Löss	22.4	2.5	1.21	0.12	8.28	1.45	6.26	1.13	0.97	0.34
Buche	Solling	24.5	1.8	1.26	0.13	5.69	1.40	3.76	0.76	0.73	0.19
Buche	Göttinger Wald	24.5	2.0	1.05	0.12	7.70	1.38	11.47	1.97	1.20	0.40
Buche	Harste	24.5	2.3	1.17	0.12	6.39	1.47	8.51	1.38	1.01	0.29
Buche	Ihlow	24.5	2.6	1.37	0.14	5.04	1.12	3.24	0.66	1.36	0.29
Buche	alle	24.1	2.3	1.19	0.16	6.77	1.80	7.04	3.36	1.02	0.37
Eiche	Löss	22.4	2.4	1.51	0.24	8.28	1.81	4.86	1.17	1.19	0.21
Eiche	Ehrhorn	27.8	2.1	1.73	0.27	8.33	1.24	4.68	0.97	1.59	0.32
Eiche	Drömling	26.3	2.7	1.07	0.20	7.71	1.40	6.73	1.65	1.40	0.42
Eiche	Göhrde	24.1	2.8	2.41	0.35	9.41	1.16	5.76	1.19	1.52	0.44
Eiche	Herrenholz	26.9	2.6	1.54	0.19	8.44	1.45	4.88	1.00	1.59	0.46
Eiche	Ihlow	28.4	2.8	1.92	0.36	7.16	1.94	3.75	1.01	2.31	0.29
Eiche	alle	25.9	3.4	1.69	0.43	8.24	1.63	4.94	1.36	1.56	0.48
Fichte	Solling	14.7	1.5	1.39	0.16	4.92	1.04	2.11	0.60	0.81	0.14
Fichte	Hilskamm, Altfichte	17.0	2.0	1.14	0.12	4.25	1.03	2.28	0.52	0.80	0.17
Fichte	Hilsmulde, Altfichte	15.6	1.6	1.11	0.15	5.26	1.10	3.83	0.74	1.03	0.23
Fichte	Hilsmulde Jungfichte	14.0	2.0	1.36	0.13	4.72	1.11	3.67	1.25	1.11	0.21
Fichte	Lange Bramke	15.1	1.4	1.38	0.19	5.37	0.92	1.55	0.62	0.98	0.16
Fichte	Spanbeck	14.9	1.4	1.41	0.16	4.43	0.81	3.82	1.13	0.84	0.15
Fichte	Wingst	16.2	1.5	1.48	0.18	4.67	1.07	2.73	0.95	0.94	0.17
Fichte	alle	15.3	1.8	1.35	0.19	4.84	1.07	2.73	1.21	0.81	0.26
Kiefer	Augustendorf	20.5	1.7	1.66	0.15	6.01	0.77	2.68	0.72	0.83	0.13
Kiefer	Ehrhorn	16.5	1.4	1.24	0.15	5.03	0.62	2.73	0.58	0.86	0.15
Kiefer	Fuhrberg	16.1	1.7	1.55	0.15	5.49	0.70	2.93	0.75	0.90	0.12
Kiefer	alle	18.0	2.6	1.50	0.23	5.56	0.81	2.77	0.70	0.86	0.14
Douglasie	Westerberg	21.0	3.0	1.09	0.11	5.64	0.74	3.39	0.59	1.07	0.12

Ernährungsstufe	Farbe
sehr gering	rot
gering	orange
mittel	gelb
hoch	hellgrün
sehr hoch	dunkelgrün

In Abbildung 9.1 bis 9.5 ist der bewertete Ernährungszustand gemäß der Verteilung der BDF-F in Niedersachsen sowie entsprechend der unterschiedlichen Bestockung mit den Wirtschaftsbaumarten Buche, Eiche, Kiefer, Fichte und Douglasie dargestellt.

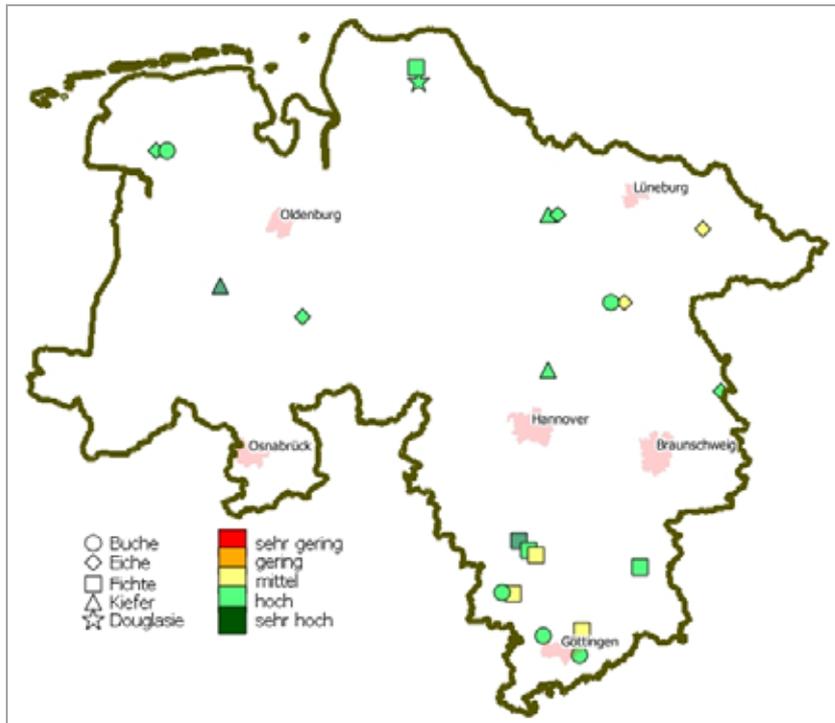


Abb. 9.1: Bewerteter Stickstoff-Ernährungszustand von Waldbeständen auf BDF-F in Niedersachsen.

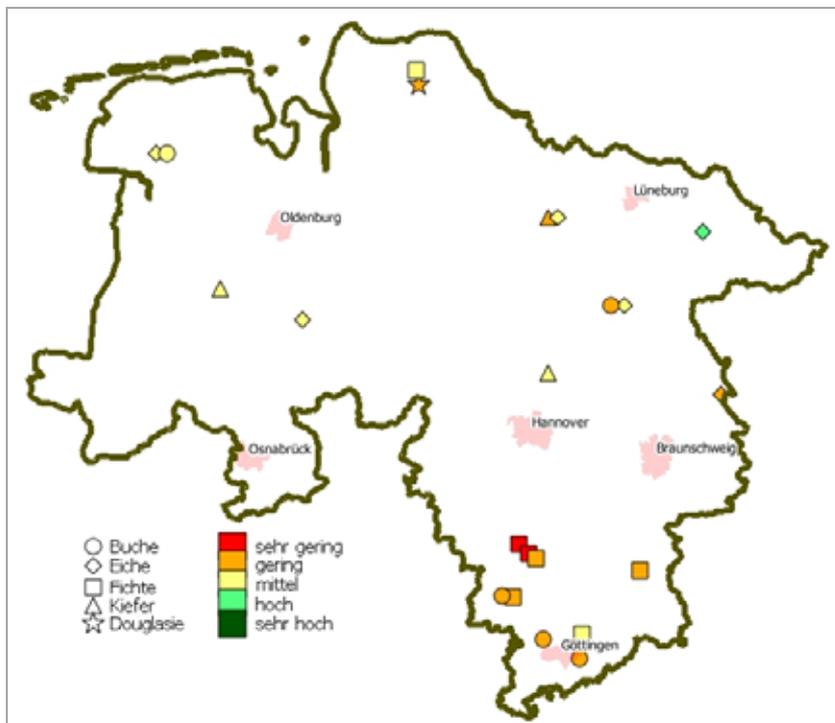


Abb. 9.2: Bewerteter Phosphor-Ernährungszustand von Waldbeständen auf BDF-F in Niedersachsen.

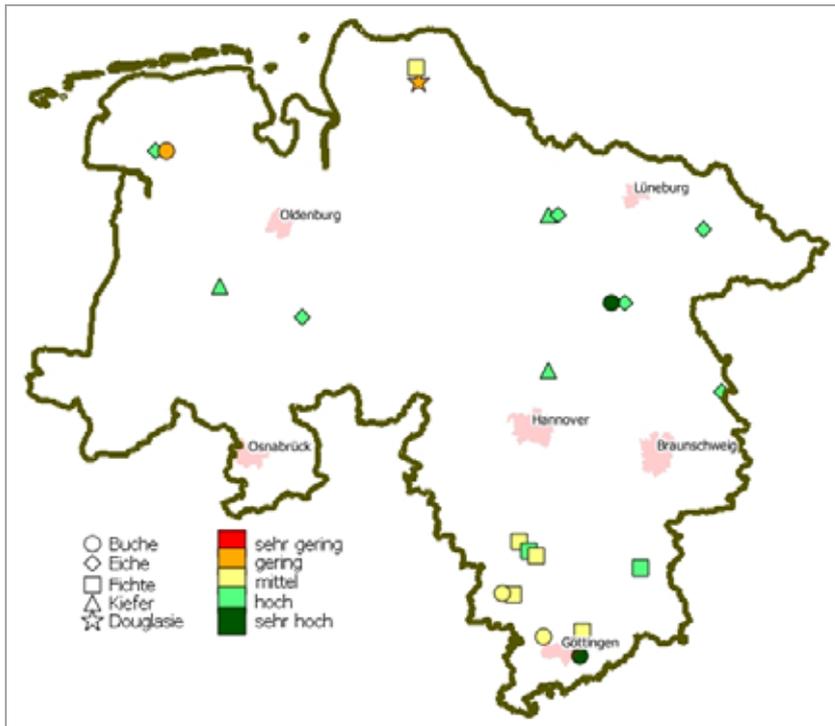


Abb. 9.3: Bewerteter Kalium-Ernährungszustand von Waldbeständen auf BDF-F in Niedersachsen.

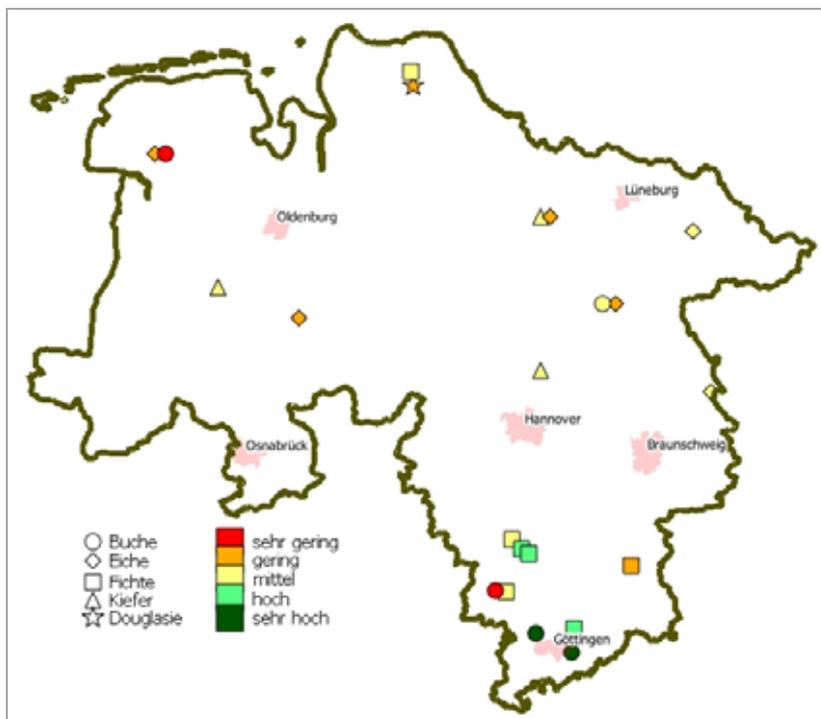


Abb. 9.4: Bewerteter Calcium-Ernährungszustand von Waldbeständen auf BDF-F in Niedersachsen.

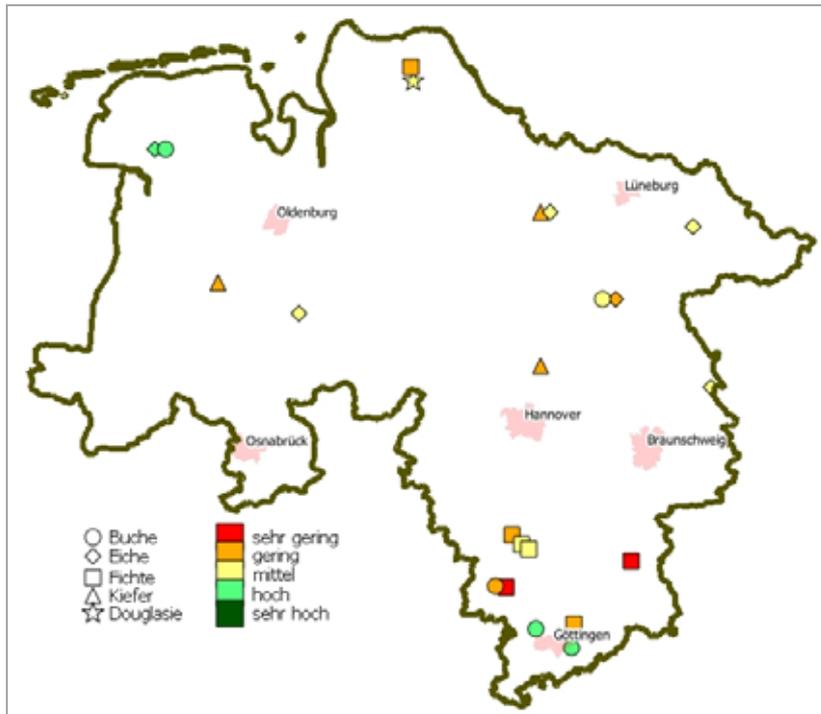


Abb. 9.5: Bewerteter Magnesium-Ernährungszustand von Waldbeständen auf BDF-F in Niedersachsen.

9.4.2 Trends des Ernährungszustandes

Stickstoffernährung

Bei Buche und Fichte sind für den Untersuchungszeitraum statistisch abgesicherte Zunahmen der N-Gehalte in Blättern oder Nadeln mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 5 % ($p < 5\%$) bzw. unter 1 % ($p < 1\%$) festzustellen (Tab. 9.2). Die anderen Baumarten weisen tendenziell ebenfalls zunehmende N-Gehalte auf. Die Trends lassen sich allerdings bisher nicht statistisch absichern.

Phosphorernährung

Für die Buche, die Fichte und die Douglasie wurden zwar zeitliche Trends der Zunahme der P-Gehalte in den Blattorganen beobachtet, diese konnten statistisch aber nicht abgesichert werden. Dagegen zeigten die Eiche und die Kiefer abnehmende P-Gehalte, die statistisch ebenfalls nicht signifikant waren (Tab. 9.2).

Kaliumernährung

Bei der Buche wurden signifikant ($p < 5\%$) zunehmende, bei der Fichte hochsignifikant ($p < 0,1\%$) abnehmende K-Gehalte in Blättern bzw. Nadeln festgestellt (Tab. 9.2). Die anderen Baumarten (Eiche, Kiefer und Douglasie) wiesen tendenziell zunehmende K-Gehalte in Blättern oder Nadeln auf.

Calciumernährung

Bei den Baumarten Buche, Fichte, Eiche und Kiefer zeigten sich tendenzielle Zunahmen der Ca-Gehalte in Blättern bzw. Nadeln; bei der Douglasie nahmen diese im Zeitverlauf dagegen ab, wobei die Trends statistisch nicht abgesichert werden konnten (Tab. 9.2).

Magnesiumernährung

Bei der Buche wurde eine signifikante ($p < 5\%$) und bei der Fichte eine hochsignifikante ($p < 0,1\%$) Zunahme der Mg-Gehalte in den Nadeln beobachtet (Tab. 9.2).

Tab. 9.2: Trends der Elementgehalte von N, P, K, Ca und Mg in Blattorganen der Baumarten Buche, Eiche, Fichte, Kiefer und Douglasie auf BDF-F in Niedersachsen im Zeitraum 1994–2009. Fichte, Kiefer, Douglasie: 1. Nadeljahrgang.

	Buche	Eiche	Fichte	Kiefer	Douglasie
N	↑ *	↑ n. s.	↑ **	↑ n. s.	↑ n. s.
P	↑ n. s.	↓ n. s.	↑ n. s.	↓ n. s.	↑ n. s.
K	↑ *	↑ n. s.	↓ ***	↑ n. s.	↑ n. s.
Ca	↑ n. s.	↑ n. s.	↑ n. s.	↑ n. s.	↓ n. s.
Mg	↑ *	↓ n. s.	↑ ***	↑ n. s.	↑ n. s.

Trends: ↑ zunehmend; ↓ abnehmend.

Irrtumswahrscheinlichkeiten: * $p < 5\%$, ** $p < 1\%$, *** $p < 0,1\%$.

Bei Kiefer und Douglasie nahmen die Mg-Gehalte in den Nadeln tendenziell zu, während die Werte in den Eichenblättern tendenziell abnahmen, ohne dass diese Trends signifikant waren.

9.4.2.1 Nährstoffrelationen und Langzeitrend

In der Waldernährungslehre ist es üblich, nicht nur die Gehalte an Nährstoffen in den Blattorganen und ihre zeitliche Entwicklung zu beurteilen, sondern auch Nährstoffrelationen der Kernnährstoffe ergänzend als Indikatoren heranzuziehen (INGESTAD 1979, 1982 u. 1989; OREN & SCHULZE 1989, FIEDLER & HÖHNE 1987, HÜTTL 1988). Ein solcher Indikator ist der Quotient aus Bc zu N, d. h. die Summe der basischen Kationen Ca, Mg und K (Bc), geteilt durch Stickstoff, jeweils ausgedrückt in mol.

Auf den BDF-F im Solling mit Buche (F006SLB1) und Fichte (F007SLF1) wird der Ernährungszustand der Bäume durch Nadel- bzw. Blattanalyse seit 1968 beobachtet.

In Abbildung 9.6 ist die Entwicklung des Quotienten Bc/N auf diesen Flächen seit 1968 dargestellt. Es zeigen sich bei beiden Baumarten starke Veränderungen der Nährstoffrelationen im Verlaufe der letzten 40 Jahre. Dabei konvergieren die zu Beginn der Untersuchungen im Jahr 1968 stark unterschiedlichen Bc/N-Werte bis zum Jahr 2010 auf ein sehr ähnli-

ches, gegenüber dem Ausgangszustand wesentlich niedrigeres Niveau.

Bei der Fichte halbiert sich die Bc/N-Relation von etwa 0,34 auf 0,18 mol mol⁻¹, während sie bei der Buche lediglich von 0,2 mol mol⁻¹ auf 0,16 mol mol⁻¹, d. h. um 20 %, abnimmt, hier allerdings von einem niedrigeren Ausgangswert.

Die dargestellten Muster weisen für den vierzigjährigen Untersuchungszeitraum sowohl bei der Buche als auch bei der Fichte auf eine Verschlechterung zu einer disharmonischen Ernährungssituation hin. Verantwortlich hierfür war bei der Fichte eine starke Zunahme der N-Gehalte, verbunden mit einer Abnahme der Ca- und K-Gehalte bei niedrigen Mg-Gehalten.

Bei der Buche lagen die N-Gehalte der Blätter schon zu Beginn der Beobachtung auf hohem Niveau und erhöhten sich in den sehr hohen Bereich, gleichzeitig nahmen, wie bei der Fichte, die Ca- und K-Gehalte in den Blättern stark ab, und die Mg-Gehalte blieben auf einem geringen Niveau.

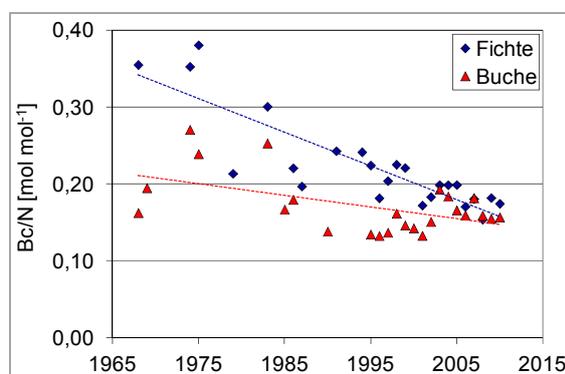


Abb. 9.6: Nährstoffrelationen von Bc zu N (basic cation: molare Summe aus Calcium, Magnesium und Kalium; N: Stickstoff) in Blattorganen im langjährigen Trend auf BDF-F im Solling mit Buche (F006SLB1) und Fichte (F007SLF1).

9.5 Zusammenfassung

Zur Beurteilung des Ernährungszustandes und zur Beschreibung seiner zeitlichen Entwicklung wurden im Zeitraum von 1994 bis 2009 auf den forstlich genutzten Flächen des niedersächsischen Bodendauerbeobachtungsprogramms Untersuchungen zur Baumernährung durchgeführt. Dazu wurden auf den Intensiv-BDF-F im jährlichen Abstand, auf den Standard-BDF-F im mehrjährigen Abstand nach standardisierten Methoden Nadel-/Blattproben gewonnen, chemisch analysiert und die für die Beurteilung der Ernährungssituation wichtigen Elementgehalte bestimmt. Es erfolgte eine nach Standorten und Baumarten differenzierte Bewertung des Ernährungszustandes der Wälder anhand üblicher Klassifizierungsschlüssel. Eine Beurteilung der zeitlichen Entwicklung der Ernährungssituation wurde mit Hilfe regressionsanalytischer statistischer Verfahren vorgenommen.

Die anhaltend hohe, oft über dem Bedarf wüchsiger Bestände liegende atmosphärische Stickstoffdeposition spiegelte sich im N-Ernährungsstatus der Bestände wider, der auf drei Viertel der BDF-F als hoch bis sehr hoch bewertet wurde und auf den restlichen Flächen im mittleren Bereich lag. Für die wichtigen Wirtschaftsbaumarten Buche und Fichte wurde eine statistisch signifikante Zunahme des Stickstoffgehalts in den Blattoorganen nachgewiesen.

Über die Hälfte der untersuchten BDF-F wies mit geringen bis sehr geringen P-Gehalten in den Blattoorganen eine angespannte Phosphorversorgung auf, wobei besonders die Bestände mit Buche, Fichte und Douglasie betroffen waren; die Phosphorernährung der Eichen- und Kiefernbestände wurde dagegen als weitgehend ausreichend beurteilt. Wegen nicht nachgewiesener Trends sind bei der P-Ernährung keine durchgreifenden Veränderungen zu erwarten.

Die Kaliumversorgung der Bestände auf den BDF-F bietet keinen Anlass zur Besorgnis. Bezogen auf die zeitliche Entwicklung wies die Baumart Fichte allerdings einen statistisch abgesicherten abnehmenden Trend im K-Ernährungsstatus auf, wobei das Niveau der Ernährung als mittel bis hoch beurteilt wurde. Diese Entwicklung muss daher mit Augenmerk weiter verfolgt werden.

Auf einem Drittel der BDF-F zeigten sich geringe bis sehr geringe Calciumgehalte, wobei keine auf die Baumarten bezogenen Trends abgesichert wurden.

Auf über der Hälfte der untersuchten BDF-F wurde für den Nährstoff Magnesium nur eine geringe bis sehr geringe Versorgung gefunden. Bezogen auf die Baumarten wiesen die Buchenbestände die beste und die Nadelholzbestände mit Fichte und Kiefer die schlechteste Ernährung auf; die Eiche und die Douglasie waren zwischen ihnen angesiedelt. Bei Fichte und Buche wurde eine statistisch signifikante Verbesserung der Ernährungssituation auf allerdings niedrigem Ausgangsniveau statistisch nachgewiesen.

Das Niveau der Gehalte an Calcium und Magnesium in der Blattoorganen, insbesondere der Nadelgehölze, verdeutlicht die Notwendigkeit, im Zuge von Bodenschutzkalkungen diese Nährstoffe nachzuführen.

Durch die Erhebungen des Ernährungszustandes von Waldbeständen auf den Intensiv- und Standard-BDF-F des niedersächsischen Bodendauerbeobachtungsprogramms konnte der aktuelle Waldernährungszustand zuverlässig erfasst, beschrieben und bewertet werden.

Die regelmäßige Wiederholung der Erhebung erlaubte es, mit Hilfe geeigneter statistischer Methoden Ernährungstrends zu erkennen und abzusichern.

Damit hat sich das Monitoring der Ernährungssituation auf BDF-F mittels der chemischen Nadel-Blatt-Analyse als ein Instrument bewährt, um die Reaktion der Bestände auf veränderte Umweltbedingungen abzubilden, Prognosen über weitere Entwicklungen des Ernährungsstatus abzugeben und auf geeignete Gegenmaßnahmen hinzuweisen.

9.6 Quellen

- ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG (2003): Forstliche Standortskartierung. Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen. – 6. Aufl.; Eching (IHW).
- DAMMANN, I., MINDRUP, M. & SCHÖNFELDER, E. (2008): Entwicklung der Kalium-, Calcium- und Magnesium-Nährstoffversorgung von Waldbeständen in Niedersachsen und ihre Bedeutung für die Biomassenutzung. Energieholz und Nachhaltigkeit, Teil 3: Waldernährung. – Forst und Holz **63**: 41–44.
- FIEDLER, H. J. & HÖHNE, H. (1987): Relationen der Kernnährstoffe in Fichtennadeln und ihre Abhängigkeit von biologischen Faktoren. – Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie **21**: 17–21.
- HARTMANN, G., NIENHAUS, F. & BUTIN, H. (2007): Farbatlas Waldschäden - Diagnose von Baumkrankheiten. – Stuttgart (Ulmer).
- HÜTTL, R. F. (1988): Forest decline and nutritional disturbances. – In: COLE, D. W. & GESSEL, S. B. (eds.): Forest site evaluation and long-term productivity: 180–186.
- INGESTAD, T. (1979): Mineral nutrition requirements of *Pinus silvestris* and *Picea abies* seedlings. – *Physiologia Plantarum* **45**: 373–380.
- INGESTAD, T. (1982): Relative addition rate and external concentration; driving variables used in plant nutrition research. – *Plant, Cell & Environment* **5**: 443–453.
- INGESTAD, T. (1989): Quantitative mineral nutrition of forest trees. – Lecture given at the 1989 Marcus Wallenberg Prize Symposium; Marcus Wallenberg Foundation, Falun (Sweden).
- KÖNIG, N., FORTMANN, H. & LÜTER, K.-L. (2009): Probenvorbereitungs-, Untersuchungs- und Elementbestimmungsmethoden des Umweltanalytik-Labors der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt. 2. Ergänzung: 1999–2008. – Berichte Forschungszentrum Waldökosysteme **B**: 75–78.
- KRAUSS, H.-H. & HEINSDORF, D. (2005): Ernährungsstufen für wichtige Wirtschaftsbaumarten. – Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie **39**: 172–179.
- MARSCHNER, H. (1986): Mineral Nutrition of Higher Plants. – 674 S.; London (Academic Press).
- MENGEL, K. & KIRKBY, E. A. (1982): Principles of Plant Nutrition. – 655 S., International Potash Institute; Worblaufen-Bern.
- OREN, R. & SCHULZE, E.-D. (1989): Nutritional disharmony and forest decline: A conceptual model. – In: SCHULZE, E.-D., LANGE, R. & OREN, R. (eds.): Forest decline and air pollution. – *Ecological Studies* **77**: 425–443; Berlin (Springer).
- PINHEIRO, J. C. & BATES, D. M. (2000). Mixed-Effects Models in S and S-Plus. – 528 S.; Berlin (Springer).
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2009): R: A language and environment for statistical computing. – <<http://www.R-project.org>>, R Foundation for Statistical Computing, Vienna (Austria), [ISBN 3-900051-07-0].
- RADEMACHER, P., KHANNA, P. K., EICHHORN, J. & GUERICKE, M. (2009): Tree Growth, Biomass, and Elements in Tree Components of Three Beech Sites. – In: BRUMME, R. & KHANNA, P. K. (eds.): Functioning and Management of European Beech Ecosystems. – *Ecological Studies* **208**: 105–136.
- RUMPF, S., KHANNA, P. K., BAUHUS, J., MEIWES, K. J., KOHLER, M. & SCHÖNFELDER, E. (2008): Phosphorversorgung - Zustand und Tendenzen sowie ihre Bedeutung für die Energieholznutzung. Energieholz und Nachhaltigkeit, Teil 3: Waldernährung. – Forst und Holz **63**: 37–40.