

## Ergebnisse der BZE II in Niedersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt

# Ernährung von Buche und Kiefer in Nordwestdeutschland

Inge Dammann, Jan Evers, Uwe Paar und Johannes Eichhorn

*Ausreichend hohe Nährstoffgehalte und deren harmonische Zusammensetzung sind Voraussetzung für die Vitalität, Stabilität und für das Wachstum von Waldbeständen. Ergebnisse von Nadel- und Blattanalysen geben Auskunft über die Versorgung der Waldbäume mit Nährstoffen sowie über die Belastung mit Schadstoffen. Diese Daten sind wichtige Grundlagen zur Bewertung von Versauerung und Eutrophierung, für die Erfolgskontrolle von Luftreinhaltemaßnahmen und Waldkalkungen sowie für die Waldbewirtschaftung (z. B. Energieholznutzung).*

Anhand des einheitlich erhobenen Datensatzes der BZE II in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt zeigt sich, dass sich die effektive Austauschkapazität, die Basensättigung und Elementvorräte (Ca, Mg, K) im Boden nach Substratgruppen und Trophie unterscheiden [9, 10]. Inwieweit sich auch die Ernährungssituation von Buche und Kiefer in Nordwestdeutschland nach Substrat und Trophie unterscheidet, soll im Folgenden dargestellt werden. Hieraus könnten standortsangepasste Daten der Ernährungssituation zur Planung und Bewertung von Waldkalkungen und zum Nährstoffmanagement regionalisiert hergeleitet werden.

Untersucht werden hier die Hauptnährelemente Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Calcium (Ca) und Magnesium (Mg) für die Baumarten Buche und Kiefer. Buche und Kiefer sind die häufigsten Baumarten in Nordwestdeutschland. Die Buchenfläche in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt beträgt 430 000 ha, die Kiefernfläche 630 000 ha [2].

### Buche

Im BZE-Kollektiv kommt die große Standortsbreite der Buche zum Tragen: sie kommt auf Kalk (Niedersachsen und Hessen), Basalt/Diabas (Hessen), Tonschiefer, Ton(stein), Buntsandstein (Hessen und Niedersachsen), Lösslehm und Sand (alle drei Länder) vor.

### Substratgruppen: ungekalkte Buchen-BZE-Punkte in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt

An den ungekalkten Buchen-Stichprobenpunkten wurden überwiegend (67 %) hohe bis sehr hohe **N-Gehalte** festgestellt, lediglich an drei BZE-Punkten zeigt sich ein unzureichender (<20 mg N/g TS) N-Gehalt. Die Buchen auf Basalt/Diabas und Grauwacke weisen mit einem Median von 22,0 bzw. 22,1 mg N/g TS einen vergleichsweise geringen N-Gehalt auf (Abb. 1), auf den Sanden wurden die höchsten N-Werte (25,8 bis 26,6, mg N/g TS) festgestellt. In Hessen liegt der Median mit 23,0 mg N/g TS niedriger als in Niedersachsen und Sachsen-Anhalt (24,9 mg N/g TS). In der Vergangenheit hat Stickstoffmangel das Wachstum in Waldbeständen häufig begrenzt. Aufgrund atmosphärischer N-Einträge reagierten die Wälder mit erhöhten Wachstumsraten. Inzwischen werden die über den Bedarf der Waldökosysteme hinausgehenden N-Frachten zum Problem. Unter anderem treiben sie die Bodenversauerung und die Nährstoffauswaschung weiter voran und ein erhöhtes N-Angebot bewirkt Nährstoffungleichgewichte in der Pflanze [12]. Die überwiegend hohen N-

Gehalte in den Buchenblättern machen deutlich, dass die N-Einträge in die Wälder zu hoch sind. Die N-Versorgung der Bäume hat sich unter dem Einfluss hoher N-Einträge über alle Substratgruppen nivelliert.

Die **P-Versorgung** der Buche variiert in einem nur sehr engen Rahmen: weitgehend unabhängig von der Substratgruppe überwiegen geringe P-Gehalte (Abb. 1). Buchenstandorte auf Basalt/Diabas und schwach verlehnten Sanden liegen relativ am günstigsten.

P gelangt nur in geringen Mengen über die Luft in die Waldbestände, wird aber auch nur wenig aus Waldökosystemen mit dem Sickerwasser ausgetragen. Umso erstaunlicher ist es, dass trotz der sehr unterschiedlichen Bodeneigenschaften die P-Gehalte in den Buchenblättern kaum Unterschiede zwischen den Substratgruppen aufweisen. Die Verwitterungsrate, der Versauerungsgrad und die biologische Aktivität des Bodens werden als wesentliche Einflussgrößen für die Mobilisierung bzw. Fixierung und damit für die Pflanzenverfügbarkeit für P genannt [32]. Allerdings ist die Beziehung zwischen der P-Ernährung und Bodenparametern weiterhin unklar. Es gibt Hinweise, dass erhöhte N-Einträge die Verfügbarkeit von P einschränken. In N-Düngeexperimenten in der Schweiz wurde mit zunehmender N-Zufuhr eine Abnahme der P-Gehalte in den Buchenblättern und ein damit einhergehender Wachstumsrückgang festgestellt [12].

Die als gering bewerteten P-Gehalte in den Buchenblättern stehen im Widerspruch zu der seit etwa 25 Jahren beobachteten Intensivierung der Fruchtbildung der Buche [29, 34] bei gleichbleibend niedrigen P-Blattgehalten, denn in Mastjahren muss sehr viel P für die Fruchtbildung mobilisiert werden. Für eine Buchenfläche im Solling wurden P-Frachten mit dem Streufall von 8,1 kg P/ha in Mastjahren ermittelt, wogegen in Jahren ohne Mast 2,7 kg P/ha festgestellt wurden [19].

Die Daten der BZE II zeigen keine Veränderung der P-Versorgung gegenüber

I. Dammann und Dr. J. Evers sind wissenschaftliche Mitarbeiter der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA), Sachgebiet Wald- und Bodenzustand, Dr. U. Paar leitet das Sachgebiet. Prof. Dr. J. Eichhorn ist Leiter der Abt. Umweltkontrolle der NW-FVA.



**Inge Dammann**  
inge.dammann@nw-fva.de

## Material und Methoden

An 366 Inventurpunkten des systematischen BZE-II-Rasters wurden Nadeln oder Blätter aus der Oberkrone von je drei Probestämmen je Baumart und BZE-Punkt als Mischprobe chemisch analysiert. Buchen wurden an 135, Kiefern an 173 BZE-II-Punkten beprobt. In Niedersachsen wurden zusätzlich 25 Buchen- und 25 Kiefernpunkte des BZE-I-Rasters in die BZE-II-Untersuchung mit einbezogen. Die Beprobung der Buchen fand im Juli/August 2007 statt, die Kiefern wurden im Winter 2007/2008 beprobt. Grundlage für die Erhebung war die Arbeitsanleitung zur BZE im Wald [39].

N wurde mittels Elementaranalyse bestimmt. Die Bestimmung von P, K, Ca und Mg wurde nach Salpetersäure-Druckaufschluss am ICP-AES durchgeführt [21, 22, 23].

Die Datenhaltung und Verrechnung (s. Beitrag auf S. 21-24) erfolgte auf Grundlage des Datenbanksystems ECO [37].

Der Ernährungszustand von Buche und Kiefer wird anhand der jeweils baumartenspezifischen Gehalte und der Verhältnisse der Nährelemente in Blättern und Nadeln charakterisiert. Hierzu wurden die Elementgehalte anhand der fünfstufigen Klassifizierung (sehr gering = Mangel, gering, mittel, hoch, sehr hoch) der AK-Standortskartierung [1], nach [25] und nach [24] bewertet. Die Angaben (mg/g) beziehen sich auf die getrocknete Blatt- bzw. Nadelmasse (Trockensubstanz TS). Bei der Kiefer werden primär die Elementgehalte des jüngsten Nadeljahrganges verwendet, weil dieser die aktuelle Versorgungslage am besten repräsentiert. Als zusätzliches Bewertungskriterium wurde für Mg und P die Konzentration des 2. Nadeljahrganges im Verhältnis zum jüngsten Nadeljahrgang einbezogen.

Die Bewertung von Ergebnissen der Blatt- und Nadelanalyse erfolgt üblicherweise anhand von Referenzwerten. Die hier verwendeten Ernährungskennwerte [1] sind Bewertungsstandard für überregionale Erhebungen [32], Ergebnis einer umfangreichen Literatursammlung und statistischer Auswertung [25], die Referenzwerte von KRAUSS und HEINSDORF [24] beruhen vorwiegend auf Daten aus den östlichen Bundesländern. Widersprüche und Unzulänglichkeiten der Referenzwerte benennen u. a. [3, 11, 13]. In der vorliegenden Auswertung werden mehrere Bewertungsstandards aufgeführt, um die Bandbreite der gebräuchlichsten Mangelgrenzen aufzuzeigen.

Bei der Bewertung von Elementverhältnissen wurden aufgrund der hohen Stickstoffeinträge die Stickstoffquotienten (Stickstoff/Hauptnährelement) gewählt. Für Buche wurde die Bewertung der Elementverhältnisse nach [11], für Kiefer nach [3] vorgenommen. Das Überangebot an N kann die Ernährung der Bäume in mehrerer Hinsicht beeinträchtigen:

- N fördert die weitere Versauerung der Böden und die Nährstoffauswaschung;
- N fördert das Wachstum der Bäume und erhöht dadurch den Bedarf an P, K, Ca und Mg;
- es können Nährstoffungleichgewichte entstehen.

Eine N-Übersorgung ist insbesondere kritisch, wenn für ein Nährelement Mangelernährung vorliegt.

Die 16 Substratgruppen wurden nach Ausgangssubstrat, Lagerung, Bodenart, Boden-

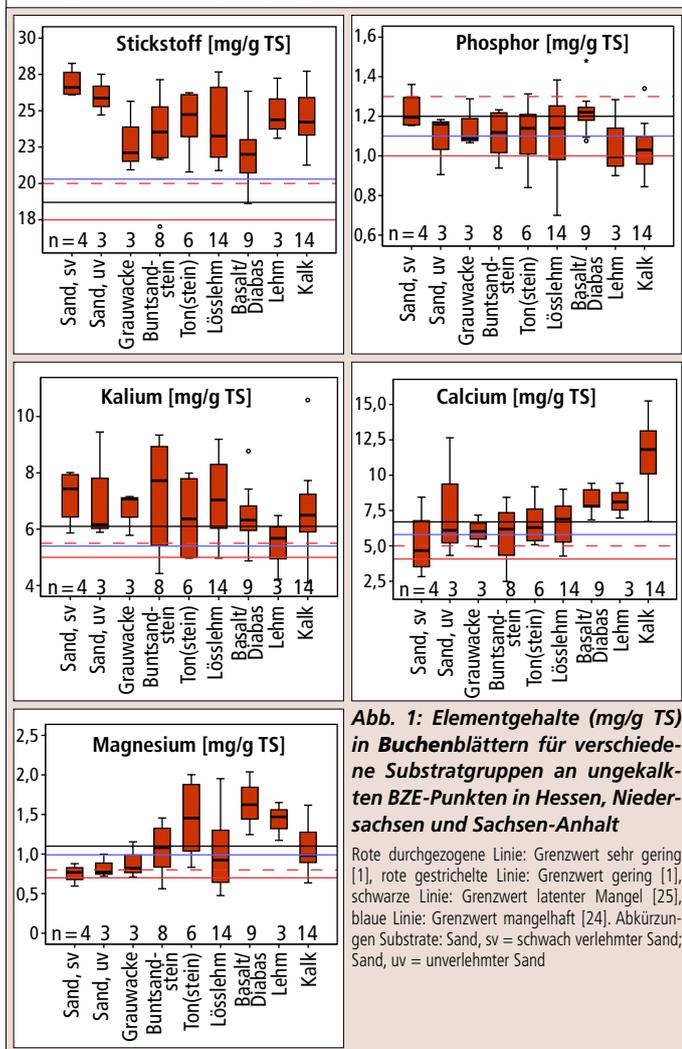
morphologie sowie bodenchemischen und -physikalischen Parametern hergeleitet. Nach diesen Kriterien wurde jeder BZE-Punkt einer Substratgruppe zugeordnet [10]. In einem zweiten Schritt wurde von SCHMIDT et al. [35] eine Parallelisierung der Trophiestufen der Länder generiert. Zur Bestimmung der hier verwendeten länderübergreifenden Trophiestufen wurden für jeden BZE-Punkt die Zeigerarten der ökologischen Artengruppen, die natürliche Waldgesellschaft, der Humuszustand, das Ausgangssubstrat und die Bodenchemie herangezogen.

Die Darstellung der Ernährungssituation erfolgt (1) für ungekalkte BZE-Punkte: alle nicht

gekalkten BZE-Punkte in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt und (2) im Vergleich von nicht gekalkten und gekalkten BZE-Punkten in Hessen und Niedersachsen (Kalkungsvergleich). Beim Kalkungsvergleich wurden ausschließlich die für Buche und Kiefer typischen Standorte betrachtet, die vorrangig für eine Kalkung vorgesehen sind. Sachsen-Anhalt wurde beim Vergleich ausgenommen, da dort seinerzeit lediglich drei BZE-Punkte gekalkt waren. In den Grafiken wurden nur Substratgruppen und Trophiestufen berücksichtigt, auf die mindestens drei BZE-Punkte der jeweiligen Baumart entfallen. Aus der Tab. 1 wird die sehr unterschiedliche Belegung der Straten deutlich.

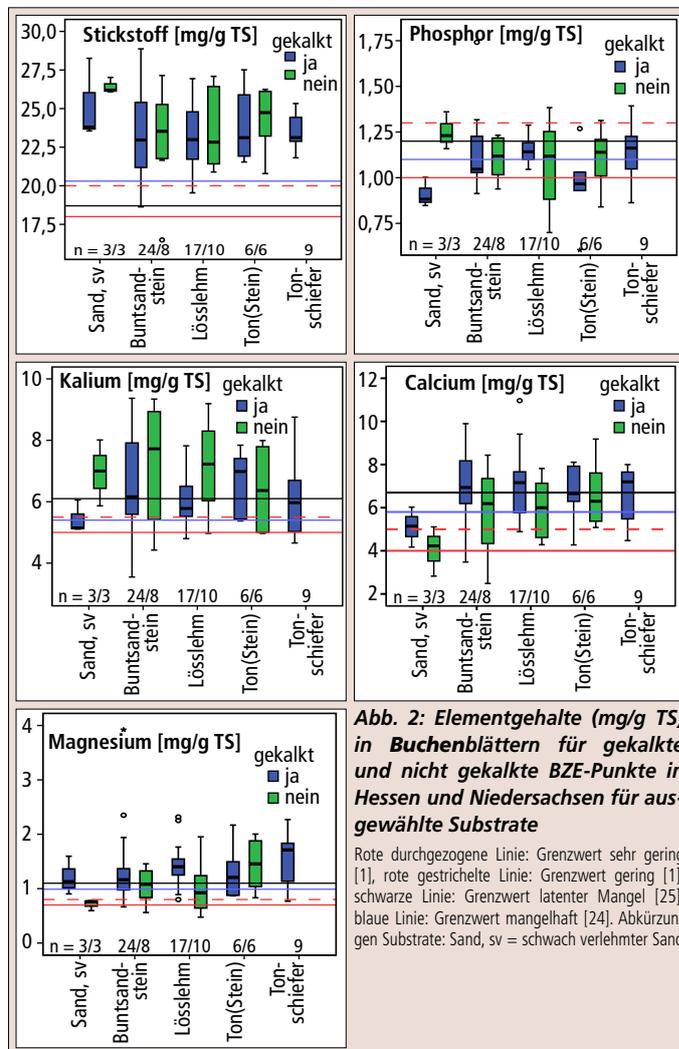
**Tab. 1: Anzahl der BZE-Punkte mit Buche und Kiefer in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt für Substratgruppen und Trophiestufen (n >= 3)**

ungekalkte Punkte	Hessen		Niedersachsen		Sachsen-Anhalt		zusammen	
<b>Buche</b>								
unverlehmter Sand	2				1		3	
schwach verlehmter Sand			3		1		4	
Grauwacke	2				1		3	
Buntsandstein	7		1				8	
Ton(stein)	3		3				6	
Lösslehm	8		2		4		14	
Basalt/Diabas	9						9	
Lehm	1		2				3	
Kalk	2		12				14	
<b>Kiefer</b>								
Buntsandstein	3						3	
organisch geprägte Standorte			8				8	
unverlehmter Sand	8		33		33		74	
schwach verlehmter Sand	1		11		5		17	
verlehmter Sand	1		1		4		6	
Lösslehm	4						4	
Kalk	3						3	
<b>Kalkungsvergleich</b>	gekalkt	nicht gekalkt	gekalkt	nicht gekalkt		gekalkt	nicht gekalkt	
<b>Buche</b>								
schwach verlehmter Sand			3	3		3	3	
Buntsandstein	14	7	10	1		24	8	
Lösslehm	4	8	13	2		17	10	
Ton(stein)	3	3	3	3		6	6	
Tonschiefer	8		1			9		
<b>Kiefer</b>								
Buntsandstein	11	3				11	3	
schwach verlehmter Sand			16	11		16	11	
unverlehmter Sand			32	33		32	33	
<b>Trophie, ungekalkte BZE-Pkt.</b>	<b>Hessen</b>		<b>Niedersachsen</b>		<b>Sachsen-Anhalt</b>		<b>zusammen</b>	
<b>Buche</b>								
Karbonat-eutroph	2		8		2		12	
eutroph	14		6		3		23	
gut mesotroph	4		2		4		10	
mesotroph	11		8		2		21	
schwach mesotroph	3						3	
<b>Kiefer</b>								
Karbonat-eutroph	4						4	
eutroph	1				3		4	
gut mesotroph			2		6		8	
mesotroph	13		18		12		43	
schwach mesotroph	4		31		21		56	
oligotroph	1		2		2		5	



**Abb. 1: Elementgehalte (mg/g TS) in Buchenblättern für verschiedene Substratgruppen an ungekalkten BZE-Punkten in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt**

Rote durchgezogene Linie: Grenzwert sehr gering [1], rote gestrichelte Linie: Grenzwert gering [1], schwarze Linie: Grenzwert latenter Mangel [25], blaue Linie: Grenzwert mangelhaft [24]. Abkürzungen Substrate: Sand, sv = schwach verlehmtter Sand; Sand, uv = unverlehmtter Sand



**Abb. 2: Elementgehalte (mg/g TS) in Buchenblättern für gekalkte und nicht gekalkte BZE-Punkte in Hessen und Niedersachsen für ausgewählte Substrate**

Rote durchgezogene Linie: Grenzwert sehr gering [1], rote gestrichelte Linie: Grenzwert gering [1], schwarze Linie: Grenzwert latenter Mangel [25], blaue Linie: Grenzwert mangelhaft [24]. Abkürzungen Substrate: Sand, sv = schwach verlehmtter Sand

der Waldernährungskundlichen Erhebung der BZE I (1987 bis 1993) mit einem bundesweit ermittelten Median der P-Gehalte von 1,2 mg P/g TS [3]. Über eine Verminderung der P-Gehalte in Buchenblättern im Zeitraum 1984 bis 2007 berichten FLÜCKIGER et al. [12]: In der Schweiz nahmen die P-Gehalte in diesem Zeitraum um 27 % ab. Untersuchungen in Frankreich bezifferten die Abnahme zwischen 1967/1971 und 1996/1997 mit 23 % [5].

Das N/P-Verhältnis in den Buchenblättern an den BZE-Punkten der drei Länder ist in allen Substratgruppen mit Werten zwischen 18,0 (Basalt/Diabas) und 23,7 (unverlehmtter Sand) unausgewogen. Die empfohlene Spanne für angemessene Elementverhältnisse in Buchenblättern liegt für Buche nach FLÜCKIGER und BRAUN [11] zwischen 10,0 und 17,1.

Die K-Gehalte der Buchenblätter zeigen eine weitgehend gute K-Versorgung an (Abb. 1). Lediglich auf Lehm sind Defizite der K-Versorgung häufig. Eine sehr weite Spanne und den höchsten Median der K-Gehalte (7,7 mg K/g TS) weisen die Buntsandsteine auf. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die sandigen Buntsandsteine sehr geringe K-Gehalte aufweisen, während auf den tonigen Buntsandsteinen die höchsten K-Gehalte in den Bu-

chenblättern vorzufinden sind. Die Unterschiede zwischen den Ländern sind bei K nur gering ausgeprägt.

Die N/K-Verhältnisse zeigen auf Lehm, dem sandigen Buntsandstein und dem unverlehmtten Sand ungünstige Werte (4,1 bis 5,2). Die empfohlene Spanne [11] liegt zwischen 2,1 und 3,8.

Für Ca sind die Gehalte der Buche auf schwach verlehmtten Sanden (4,7 mg Ca/g TS) am niedrigsten. Die Buchen auf Kalk, Lehm und Basalt/Diabas haben die höchsten Ca-Gehalte. In diesen drei Substratgruppen werden an keinem BZE-Punkt die Mangelgrenzen nach AK Standortkartierung [1], MELLERT und GÖTTLEIN [25] oder KRAUSS und HEINSDORF [24] unterschritten. Insgesamt zeigt sich eine deutliche Staffelung der Ca-Gehalte nach Substratgruppen von den Sanden über Lösslehm zum Kalk. Das Landesmittel (Median) für Buche in Hessen liegt mit 6,8 mg Ca/g TS zwar im Bereich mittlerer Versorgung, ist aber deutlich niedriger als in Niedersachsen (8,8 mg Ca/g TS) und Sachsen-Anhalt (8,3 mg Ca/g TS).

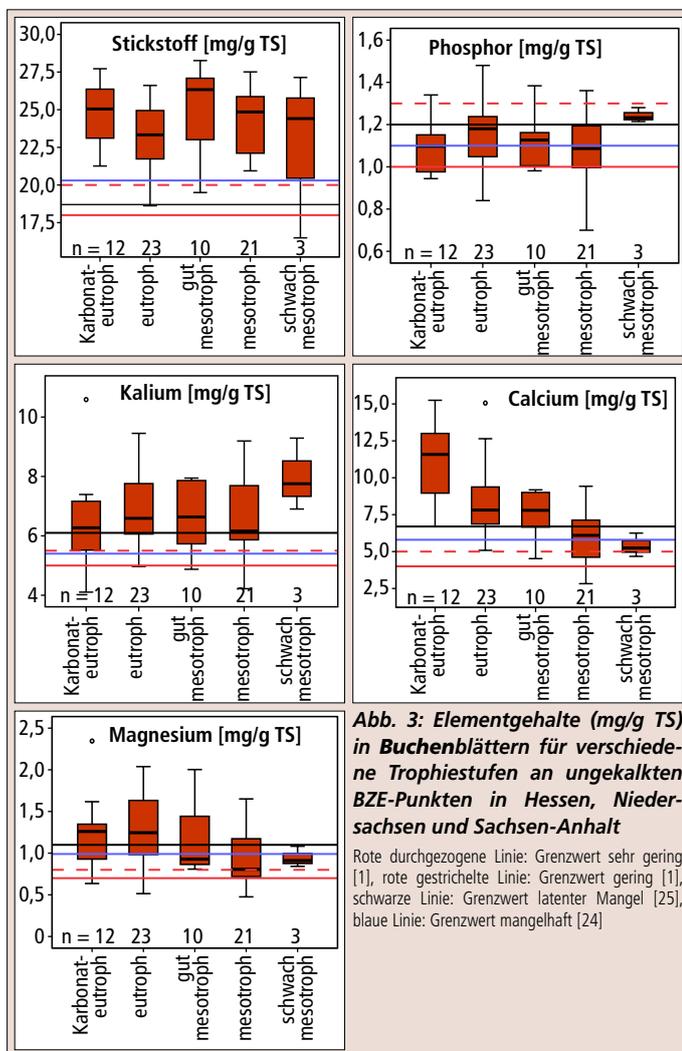
Für Mg liegt der Median nach der AK Standortkartierung [1] in fast allen Substratgruppen mindestens im Bereich mittlerer Gehalte, bei den Sanden treten Mg-Defizite auf. Nach den Grenzwerten

von MELLERT und GÖTTLEIN [25] sind auch die Buchen auf den Substratgruppen Grauwacke, Buntsandstein, Lösslehm und Kalk nicht ausreichend mit Mg versorgt. In Sachsen-Anhalt liegen die Mg-Werte mit einem Median von insgesamt 0,86 mg Mg/g TS im mittleren Bereich, in Niedersachsen auf schwach verlehmtten Sanden und Lösslehm im geringen und sehr geringen Bereich, wohingegen Kalk, Lehm und Ton(stein) hohe bis sehr hohe Mg-Werte zeigen. Auch für Hessen ist die Mg-Versorgung nicht einheitlich: der unverlehmtte Sand zeigt Mg-Defizite, dagegen sind Buchen auf Basalt/Diabas, Lehm, Lösslehm und Ton(stein) gut mit Mg versorgt.

Ein ausgewogenes N/Mg-Verhältnis zeigt sich auf Lehm (16,6), Basalt/Diabas (14,0) und Ton(stein) (16,5). Die empfohlene Spanne [11] liegt zwischen 10,4 und 21,5.

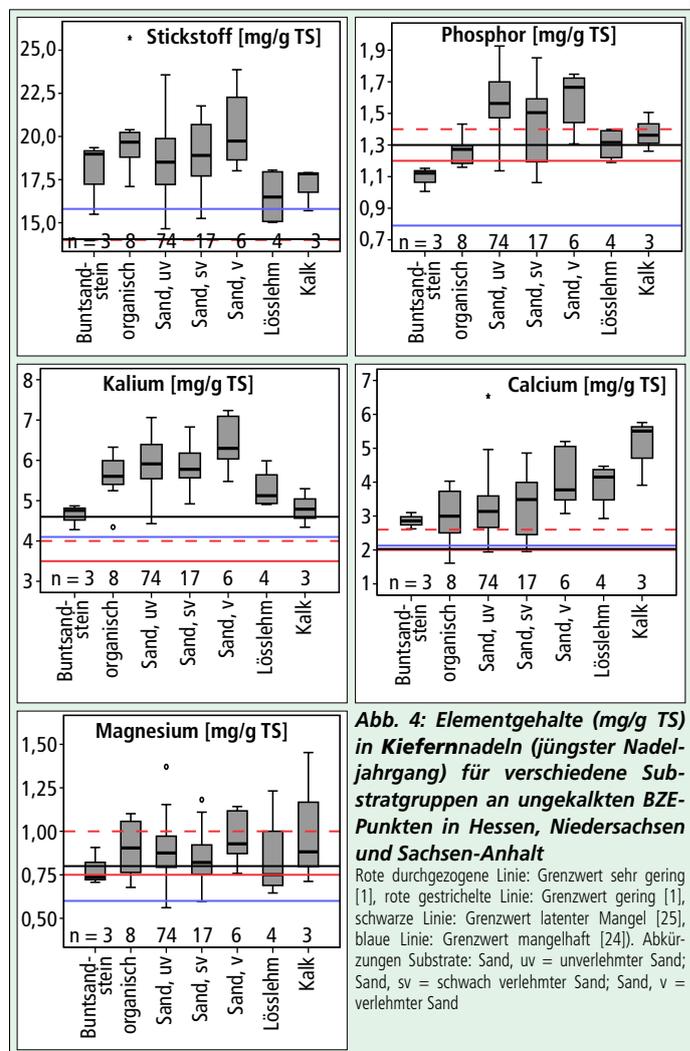
#### Kalkungsvergleich: Buchen-BZE-Punkte in Hessen und Niedersachsen

Für Tonschiefer wurden im BZE-Kollektiv ausschließlich gekalkte Punkte (n = 9) vorgefunden. Die Ergebnisse für diese Gruppe wurden in die Graphik (Abb. 2) aufgenommen, obwohl ungekalkte Flächen fehlen, da die Buche in Hessen auf diesem Substrat einen relevanten Flächenanteil



**Abb. 3: Elementgehalte (mg/g TS) in Buchenblättern für verschiedene Trophiestufen an ungekalkten BZE-Punkten in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt**

Rote durchgezogene Linie: Grenzwert sehr gering [1], rote gestrichelte Linie: Grenzwert gering [1], schwarze Linie: Grenzwert latenter Mangel [25], blaue Linie: Grenzwert mangelhaft [24]



**Abb. 4: Elementgehalte (mg/g TS) in Kiefernadeln (jüngster Nadeljahrgang) für verschiedene Substratgruppen an ungekalkten BZE-Punkten in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt**

Rote durchgezogene Linie: Grenzwert sehr gering [1], rote gestrichelte Linie: Grenzwert gering [1], schwarze Linie: Grenzwert latenter Mangel [25], blaue Linie: Grenzwert mangelhaft [24]). Abkürzungen Substrate: Sand, uv = unverlehmter Sand; Sand, sv = schwach verlehmter Sand; Sand, v = verlehmter Sand

einnimmt. Auf den gekalkten Tonschieferstandorten liegen die Mediane für K, Ca und Mg im Bereich mindestens mittlerer Gehalte (bewertet nach [1]), die P-Gehalte sind gering.

Insgesamt bestehen keine signifikanten Unterschiede der N- und P-Gehalte zwischen den gekalkten und den ungekalkten BZE-Punkten.

Die K-Gehalte der Buchen auf gekalkten Standorten liegen unterhalb der K-Gehalte der ungekalkten Standorte und unterschreiten häufig die Mangelgrenze nach MELLERT und GÖTTLEIN [25]. Insgesamt und für die Buche auf Lösslehm ist dieser Effekt signifikant ( $p < 0,05$ ). Für die Substratgruppe Ton(stein) sind insgesamt keine Unterschiede zu belegen. Untersuchungen zu 13 Buchenversuchsflächen in Hessen, Niedersachsen und Schleswig-Holstein [14] zeigten, dass verminderte K-Gehalte nach Bodenschutzkalkungen negativ mit zunehmenden Ca-Gehalten korrelierten.

Für alle Substratgruppen sind auf den gekalkten BZE-Punkten die Ca-Gehalte höher als auf den ungekalkten. Insgesamt ist dieser Effekt signifikant ( $p < 0,05$ ), aber nicht für einzelne Substratgruppen.

Auch die Mg-Gehalte liegen mit Ausnahme von Ton(stein) auf den gekalkten Punkten höher als auf den ungekalk-

ten, insgesamt und für die Substratgruppe Lösslehm ist dieser Trend signifikant ( $p < 0,05$ ).

Die höheren Mg-Gehalte auf den gekalkten Punkten bewirken eine ebenfalls signifikante ( $p < 0,05$ ) Verbesserung des N/Mg-Verhältnisses, die Mehrzahl der gekalkten BZE-Punkte entfällt in den Bereich harmonischer Ernährung.

### Trophie: ungekalkte Buchen-BZE-Punkte in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt

Die Trophiestufen eutroph (23 BZE-Punkte) und mesotroph (21 BZE-Punkte) sind bei der Buche am häufigsten vertreten. Für die N-, P- und K-Gehalte ergibt sich kein Zusammenhang mit der Trophiestufe, lediglich drei schwach mesotrophe Punkte heben sich mit vergleichsweise erhöhten P- und K-Gehalten ab.

Bei den Ca-Gehalten zeigt sich eine deutliche Abstufung von karbonat-eutroph mit sehr hohen zu eutroph mit hohen Ca-Gehalten. Zwischen eutroph und gut mesotroph bestehen nur geringe Unterschiede. In der Stufe mesotroph liegt die Mehrzahl der Punkte unterhalb der Mangelgrenze nach MELLERT und GÖTTLEIN [25], bei schwach mesotroph liegen alle Punkte unterhalb dieser Schwelle, aber

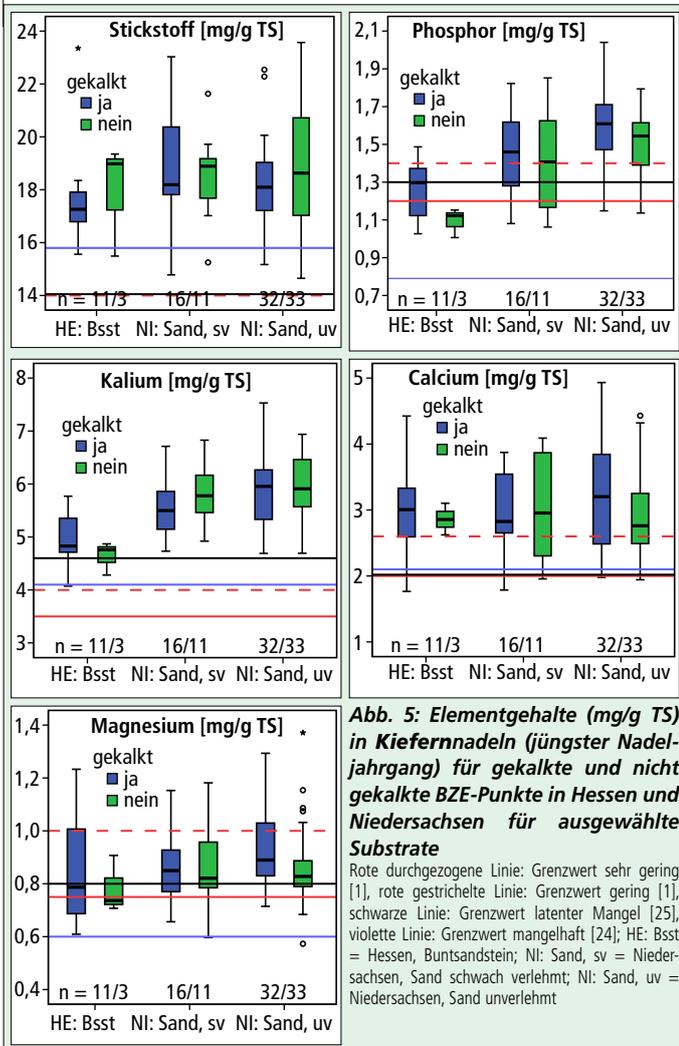
noch oberhalb der Mangelgrenze nach AK Standortskartierung [1]. Die Länderwerte für Ca unterscheiden sich vor allem in der Trophiestufe eutroph, in der mesotrophen Stufe liegen die Länderwerte in vergleichbarer Höhe. Der Gradient von Karbonat-eutroph zu mesotroph zeigt sich in allen drei Ländern.

Die Ca-Aufnahme erfolgt umso stärker, je mehr Ca zur Verfügung steht. Da Ca-Vorräte im Boden für zahlreiche Bodenprozesse wie pH-Werte, Pufferung und Pflanzenverfügbarkeit anderer Nährstoffe bedeutsam sind [16], sind die Ca-Vorräte eine wesentliche Größe für die Bestimmung der Trophie. Dies spiegelt sich in den Ca-Gehalten der Buchenblätter wider.

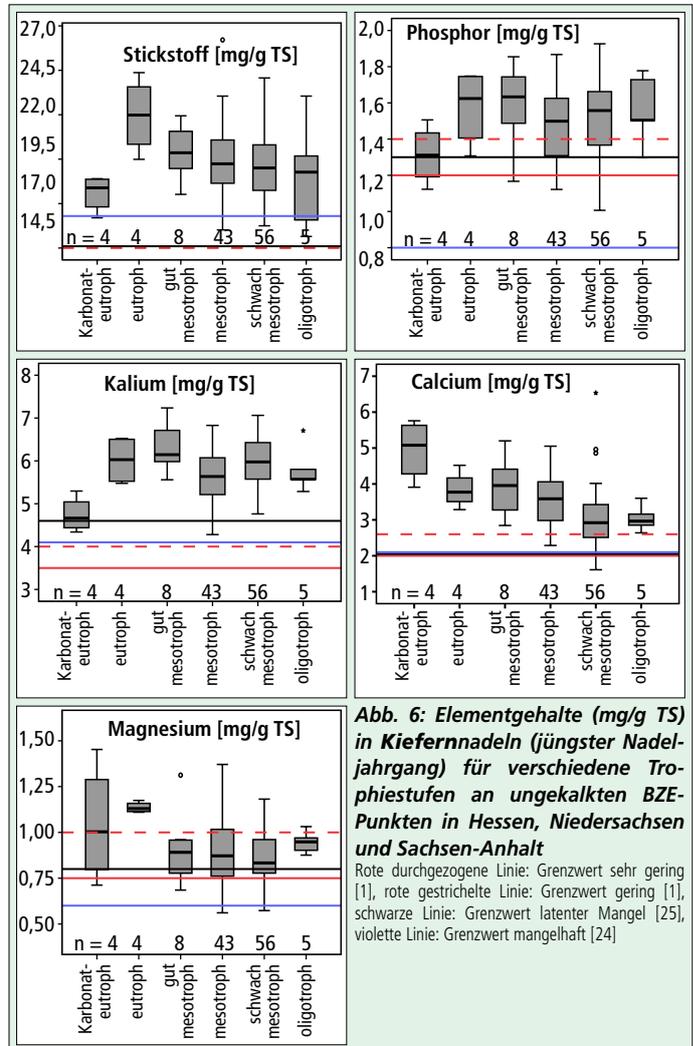
Die Mg-Gehalte sind für Karbonat-eutroph und eutroph etwa gleich, fallen aber von eutroph über gut mesotroph zu mesotroph ab.

### Kiefer

Die Kiefer wurde vor mehr als zweihundert Jahren als neue Waldgeneration auf Heide- und devastierten Laubholzflächen angebaut. Sie ist heute im niedersächsischen Tiefland und im Norden Sachsen-Anhalts weit verbreitet. In Hessen kommt die Kiefer hauptsächlich in der Rhein-



**Abb. 5: Elementgehalte (mg/g TS) in Kiefernadeln (jüngster Nadeljahrgang) für gekalkte und nicht gekalkte BZE-Punkte in Hessen und Niedersachsen für ausgewählte Substrate**  
 Rote durchgezogene Linie: Grenzwert sehr gering [1], rote gestrichelte Linie: Grenzwert gering [1], schwarze Linie: Grenzwert latenter Mangel [25], violette Linie: Grenzwert mangelhaft [24]; HE: Bsst = Hessen, Buntsandstein; NI: Sand, sv = Niedersachsen, Sand schwach verlehmt; NI: Sand, uv = Niedersachsen, Sand unverlehmt



**Abb. 6: Elementgehalte (mg/g TS) in Kiefernadeln (jüngster Nadeljahrgang) für verschiedene Trophiestufen an ungekalkten BZE-Punkten in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt**  
 Rote durchgezogene Linie: Grenzwert sehr gering [1], rote gestrichelte Linie: Grenzwert gering [1], schwarze Linie: Grenzwert latenter Mangel [25], violette Linie: Grenzwert mangelhaft [24]

Main-Ebene vor, im Norden von Hessen ist sie als Mischbaumart in Buchenbeständen vertreten.

Die BZE-Stichprobe weist für alle drei Länder einen Schwerpunkt der Kiefer auf den Sanden aus, in Hessen kommt die Kiefer außerdem auf Kalk, Lösslehm und Buntsandstein vor (Tab. 1).

### Substratgruppen: ungekalkte Kiefern-BZE-Punkte in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt

Die N-Gehalte der Kiefern auf den ungekalkten BZE-Punkten sind überwiegend als sehr hoch (> 17 mg N/g TS, [1]) zu klassifizieren, nur auf Lösslehm entfällt der Median der N-Gehalte in den Bereich hoher Gehalte. Am höchsten sind die N-Gehalte auf verlehmtten Sanden und den organisch geprägten Standorten (Abb. 4). Wie bei der Buche zeigt sich hier deutlich der Einfluss der atmosphärischen N-Einträge in einem nivellierenden Effekt über alle Substratgruppen und Regionen.

Die P-Versorgung der Kiefer auf Sand liegt überwiegend oberhalb der Grenzwerte für P-Mangel sowohl nach AK Standortkartierung [1] als auch nach MELLERT und GÖTTLEIN [25]. Beim schwach verlehmtten Sand handelt es sich bei den Kiefern-Punkten mit geringen P-Gehalten

um BZE-Punkte in Niedersachsen. Bei den anderen Substratgruppen sind Länderunterschiede weniger ausgeprägt. Am niedrigsten sind die P-Gehalte der Kiefern auf Buntsandstein. KRAUSS und HEINSDORF [24] setzen den Grenzwert zur ausreichenden Versorgung sehr viel niedriger an (0,79 mg P/mg TS), hiernach wären alle hier untersuchten Kiefern ausreichend mit P versorgt. Nach BMELF [3] liegt der Grenzwert für eine N-Übersorgung bei einem N/P-Verhältnis > 10, danach befinden sich alle Kiefern im Bereich disharmonischer N/P-Verhältnisse (11,6 bis 16,9).

Für die Kiefer besteht nach den Bewertungsrahmen von AK Standortkartierung [1], MELLERT und GÖTTLEIN [25] sowie KRAUSS und HEINSDORF [24] für 95 % der Kiefern-Punkte kein K-Defizit. Die Kiefern auf Kalk und Buntsandstein zeigen einen mittleren K-Gehalt, in den übrigen Substratgruppen liegt der K-Gehalt im hohen Bereich [1]. Bei den K-Gehalten zeigen sich kaum Länderunterschiede. Die N/K-Verhältnisse weisen für alle Substratgruppen ungünstige Verhältnisse (3,1 bis 4,0) aus, der Grenzwert [3] liegt bei > 2,3.

Insgesamt decken die Mediane der Substratgruppen eine Spanne von mittleren (Buntsandstein, unverlehmtter Sand, organisch geprägte Standorte) bis zu sehr ho-

hen Ca-Gehalten (Kalk, Lösslehm) ab. 80 % der beprobten Kiefern sind nach den hier verwendeten Ernährungskennwerten mindestens ausreichend mit Ca versorgt. Für die Ca-Grenzwerte bestehen auffallend geringe Diskrepanzen zwischen den Referenzwerten. In der Substratgruppe der schwach verlehmtten Sande gibt es deutliche Unterschiede zwischen den Ländern, am niedrigsten liegen die Werte in Niedersachsen. In der Gruppe der unverlehmtten Sande liegen die Länderwerte näher zusammen, in Niedersachsen sind aber auch hier die Werte geringer als in den anderen Ländern. Hervorzuheben ist hier der von Flugasche beeinflusste unverlehmtte Sand in Sachsen-Anhalt mit hohen Ca-Werten.

Für die Kiefer sind Kalk und Lösslehm eher untypische Substrate, an den untersuchten Punkten stocken vor allem Laubhölzer mit Beimischung von Kiefer. Die Kiefern an diesen Punkten zeigen aber deutlich, dass sie auf die Verfügbarkeit von Ca mit erhöhten Ca-Werten in den Nadeln reagierten.

Für alle Standorte ergibt sich ein harmonisches N/Ca-Verhältnis (3,1 bis 6,8) weit unter dem Grenzwert (> 17).

Rund zwei Drittel der untersuchten Kiefern an ungekalkten BZE-Punkten zeigen eine unzureichende bis mangelhafte

Mg-Ernährung (bewertet nach [1]). Eine Differenzierung nach Substratgruppen lässt sich nicht ableiten, auf Buntsandstein und Lösslehm zeigt sich die Tendenz zu besonders niedrigen **Mg-Werten**. Bei den Länderwerten gibt es nur geringfügige Unterschiede. Auch die N/Mg-Quotienten (17,8 bis 26,3) sprechen für eine angespannte Mg-Versorgung, lediglich 13 % der Kiefernpunkte weisen ein harmonisches N/Mg-Verhältnis auf (Grenzwert > 17). Nach KRAUSS und HEINSDORF [24], die den Grenzwert für eine ausreichende Mg-Ernährung mit 0,6 mg Mg/g TS angeben, wären 95 % der Kiefernpunkte ausreichend mit Mg versorgt.

#### Kalkungsvergleich: Kiefern-BZE-Punkte in Hessen und Niedersachsen

Die Ergebnisse zum Kalkungsvergleich (Abb. 5) werden für Hessen und Niedersachsen getrennt behandelt, da die Sande in Hessen von der Kalkung ausgeschlossen sind [17], in Niedersachsen aber eine bedeutsame Fläche einnehmen.

Bei den **N-Gehalten** der Kiefer zeigt sich kein offenkundiger Kalkungseffekt, eine leichte Tendenz zu niedrigeren N-Gehalten auf gekalkten Punkten ist sichtbar.

Die **P-Gehalte** der gekalkten Standorte sind gegenüber den ungekalkten erhöht (beim unverlehmten Sand signifikant [ $p < 0,1$ ]). Für die Verbesserung der P-Versorgung auf gekalkten Standorten in Niedersachsen können mehrere Faktoren verantwortlich sein: auf einigen Standorten in Niedersachsen wurde bei der Kalkung auch P zugesetzt. Außerdem kann durch die Kalkung die Pflanzenverfügbarkeit von P auf sauren Standorten erhöht worden sein [15].

Für **K** lässt sich kein eindeutiger Effekt feststellen. Gleiches gilt für die **Ca-Werte** der Kiefer auf Buntsandstein (Hessen) und schwach verlehmtten Sanden (Niedersachsen). Beim unverlehmten Sand waren die Ca-Gehalte auf den gekalkten Punkten signifikant ( $p < 0,1$ ) gegenüber den ungekalkten Punkten erhöht.

Die **Mg-Versorgung** war an den gekalkten Punkten besser als an den ungekalkten (signifikant ( $p < 0,05$ ) für unverlehmten Sand). Eine Erhöhung der Mg-Gehalte bis in den Bereich mittlerer Versorgung (bewertet nach [1]) wurde jedoch nicht erreicht.

Da bei der Versorgung der Kiefer Engpässe am ehesten bei Mg und P zu vermuten sind, wurde für diese beiden Elemente in Anlehnung an REEMTSMA [30] ein weiteres, von den Ernährungsstufen unabhängiges Bewertungskriterium genutzt, indem die Gehalte des ersten und zweiten Nadeljahrganges gegenübergestellt wur-



Abb. 7: Braunerde-Podsol aus unverlehmtem Sand

den. Nach REEMTSMA [30] findet bei Versorgungsschwächen mit der Mobilisierung in den jüngsten Nadeljahrgang ein Entzug aus den älteren Nadeljahrgängen statt, dies äußert sich in geringeren Gehalten in älteren Nadeln.

Bei den 120 ungekalkten Kiefern-BZE-Punkten zeigt die Gegenüberstellung der Gehalte, dass die Nadeln des zweiten Nadeljahrganges im Mittel 9 % weniger P enthalten als die Nadeln des jüngsten Nadeljahrganges, für Mg beträgt die Differenz 30 %. Dies deutet auf eine Verlagerung von P und Mg in den jüngeren Nadeljahrgang und somit auf einen Versorgungsengpass für diese beiden Nährstoffe hin. Eine Gewichtung der P- und Mg-Gehalte mit den Nadelgewichten des jeweiligen Nadeljahrganges führt zu vergleichbaren Ergebnissen. Unterschiede zwischen gekalkten und ungekalkten BZE-Punkten bestehen nicht, auch eine Differenzierung nach Substratgruppen war nicht feststellbar.

#### Trophie: Kiefern-BZE-Punkte in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt

Die Mehrzahl der 120 Kiefern-Stichprobenpunkte liegt in der mesotrophen (43) und der schwach mesotrophen (56) Trophiestufe (Abb. 6). Die Kiefern auf karbonat-eutrophen Standorten zeigen die niedrigsten **N-Gehalte**, am höchsten sind die N-Gehalte in der eutrophen Stufe. Von der eutrophen bis zur oligotrophen Stufe gibt es eine Abnahme der N-Gehalte.

Für **P** und **K** liegen die Gehalte auf den karbonat-eutrophen Standorten am niedrigsten, die übrigen Trophiestufen zeigen mehr oder weniger einheitliche Werte. Die K- und P-Gehalte in den Trophiestufen unterscheiden sich zwischen den Ländern. Am niedrigsten liegen die K- und P-Gehalte in den jeweiligen Trophiestufen in Hessen, gefolgt von Niedersachsen, in Sachsen-Anhalt sind sie am höchsten.

Die **Ca-Gehalte** zeigen einen deutlichen Gradienten von Karbonat-eutroph zu oligotroph. Länderunterschiede treten bei den schwach mesotrophen Standorten auf.

Beim **Mg** lassen sich die Karbonat-eutrophen und die eutrophen Standorte von den übrigen Trophiestufen, die einheitlich niedrigere Mg-Gehalte anzeigen, abgrenzen. Nur in der eutrophen Stufe sind die Mg-Kiefernadelgehalte mittel.

#### Zusammenfassende Bewertung

Die ernährungskundliche Erhebung im Rahmen der BZE II gibt als Momentaufnahme den Ernährungszustand im Jahr 2007 wieder. Da der Ernährungsstatus u. a. aufgrund von Witterungseinflüssen jährlichen Schwankungen unterliegt, ist die Aussagekraft von einmaligen Erhebungen eingeschränkt. Außerdem beziehen sich die Einstufungen zur Substratgruppe und zur Trophie im Wesentlichen auf die oberen 90 cm des Bodens (BZE-II-Beprobungstiefe), Waldbäume sind aber prinzipiell in der Lage, auch tiefere Nährstoffquellen zu erschließen. Trotz dieser Einschränkungen können einige zusammenfassende Bewertungen getroffen werden, die z. T. mit Ergebnissen von langjährigen Versuchsfeldern (z. B. zum Kalkungsvergleich) übereinstimmen.

#### Buche

Auf den ungekalkten Standorten zeichnet sich die Ernährung der Buche auf der Substratgruppe Basalt/Diabas durch günstige Ca-, Mg- und eingeschränkt auch K- und P-Gehalte bei gleichzeitig vergleichsweise niedrigen N-Gehalten aus. Buchen auf Kalk, Lehm und Grauwacke zeigen überwiegend keine Engpässe bei Ca und Mg. Diese Standorte sind damit aus walder-nährungskundlicher Sicht risikoarm.

Die Lösslehme, Ton(steine) und Buntsandsteine sind sehr heterogen, bei K, Ca und Mg kommen sowohl Mangelsituationen als auch gute Versorgung vor. Auch unterscheidet sich die Ernährungssituation zwischen den Ländern in diesen Substratgruppen am meisten. Hier sind lokale Untersuchungen notwendig, um konkrete Empfehlungen geben zu können. Die Ernährung der Buche auf sandigem und tonigem Buntsandstein sollte differenziert betrachtet werden. Die Buche auf Sand ist gut mit K versorgt, bei Ca und Mg zeigen sich Defizite.

Die P-Ernährung der Buche lässt sich zurzeit nicht abschließend bewerten. Hierzu sind weitere Untersuchungen zur Verfügbarkeit von P im Boden sowie zum Einfluss von N auf die P-Versorgung der Buchen nötig.

Mit der Kalkung lassen sich die Ca- und

Mg-Versorgung auf den untersuchten Substraten (schwach verlehmtter Sand, Buntsandstein, Lösslehm, Ton(stein), Ton-schiefer) verbessern, Mangelsituationen weitgehend beheben und damit Risiken mindern. Allerdings sind die abnehmenden K-Gehalte zu beachten.

Zwischen den Ca-Gehalten der Buchenblätter und der Trophie besteht ein enger Zusammenhang. Die Ca-Gehalte nehmen von karbonat-eutroph zu schwach mesotroph hin ab. Die Mg-Gehalte sind für die karbonat-eutrophen und eutrophen Standorte besser als auf den gut mesotrophen, mesotrophen und schwach mesotrophen Standorten. Für N, P und K ist keine Abhängigkeit von der Trophie erkennbar. Damit ermöglichen die Ca- und Mg-Gehalte in Buchenblättern eine tendenzielle Ableitung der Trophie ungekalkter Standorte.

### Kiefer

Im Kerngebiet der Kiefer, auf den Sanden, ist auf den ungekalkten Standorten die Versorgung der Kiefer mit Ca, K und

P ausreichend. Die Kiefern auf verlehmtten Sanden zeigen tendenziell günstigere Gehalte an P, K, Ca und Mg. Ernährungsdefizite treten vor allem auf Standorten auf, die für die Kiefer eher untypisch sind (Kalk, organisch geprägte Standorte). Mg-Defizite sind über alle Substratgruppen weit verbreitet.

Auf den gekalkten BZE-Punkten sind die P- und Mg-Gehalte höher als auf den ungekalkten Punkten. Auf den unverlehmtten Sanden in Niedersachsen gilt dies auch für die Ca-Gehalte. Mit Kalkungsmaßnahmen kann die durchgehend unzureichende Mg-Versorgung etwas verbessert werden, aber nicht substanziell. Der angespannten Mg-Ernährungssituation der Kiefer und der nur geringen Verbesserung dieser Defizite durch die Kalkung sollte weiter nachgegangen werden.

Auch bei der Kiefer ist eine Differenzierung der Ca-Gehalte von reichen Standorten abnehmend zu den ärmeren Standorten festzustellen. Für N zeigt sich die Tendenz abnehmender Gehalte von eutroph zu oligotroph, während P, K und

Mg kaum mit der Trophie korrelieren. Die Ca-Gehalte in Kiefernadeln sind somit ein deutlicher Indikator für die Trophiestufe ungekalkter Standorte.

### Mit einer Differenzierung der BZE-Punkte nach Substratgruppen

kann die Ernährung der Buche und der Kiefer detaillierter dargestellt und zu Handlungsempfehlungen für die Waldbehandlung (z. B. Kalkung, Vollbaumnutzung) genutzt werden. Die Trophiestufen sind hierfür weniger geeignet, da sich die P- und K-Gehalte der Buchenblätter und Kiefernadeln nicht nach Trophiestufen unterscheiden, die Ca-Gehalte (tendenziell für die Buche auch die Mg-Gehalte und für die Kiefer die N-Gehalte) lassen sich für eine Einordnung ungekalkter Standorte nutzen. Ernährungskennwerte für die Bewertung von Blatt- und Nadelgehalten unterscheiden sich z. T. erheblich. Es wird empfohlen, für die Bewertung des Ernährungszustandes von Waldbäumen eine Gruppe von Referenzsystemen zu verwenden.

### Literaturhinweise:

#### Gemeinsames Literaturverzeichnis für die drei Beiträge zu den Ergebnissen der BZE II für die Bundesländer Niedersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt, S. 4-10, 11-15 und 16-20

[1] AK STANDORTSKARTIERUNG (2003): Forstliche Standortaufnahme. Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen. 6. Auflage, IHW-Verlag, Eiching, 352 S. [2] BMVEL (2004): Die zweite Bundeswaldinventur – BWI<sup>2</sup>. Zu den Bundeswaldinventuren 2001 bis 2002 und 1986 bis 1988. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.), 87 S. [3] BMELF (1997): Deutscher Waldbodenbericht 1996 – Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald von 1987-1993 (BZE). Bonn, Band I, 141 S. [4] DAMMANN, I.; EVERS, J.; PAAR, U.; EICHHORN, J. (2013): Ergebnisse der BZE II in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt: Ernährung von Buche und Kiefer in Nordwestdeutschland. AFZ-DerWald, Nr. 14, S. 4-10. [5] DUQUESNAY, A.; DUPOUEY, J. L.; CLEMENT, A.; ULRICH, E.; LE TACON, F. (2000): Spatial and temporal variability of foliar mineral concentration in beech (*Fagus sylvatica*) stands in northeastern France. *Tree Physiology*, 20, S. 13-22. [6] EVERS, J.; PAAR, U. (2012): Bodenzustandserhebung (BZE I und BZE II) – Wie hat sich der Bodenzustand in Hessens Waldböden verändert? In: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.): Waldzustandsbericht 2012 für Hessen, S. 31-35. [7] EVERS, J.; SCHMIDT, W.; PAAR, U. (2012): Die BZE I und BZE II – Wie hat sich der Bodenzustand in Sachsen-Anhalts Waldböden verändert? In: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.): Waldzustandsbericht 2012 für Sachsen-Anhalt, S. 22-28. [8] EVERS, J.; PAAR, U. (2012): Bodenzustandserhebungen (BZE I und BZE II) – Wie hat sich der Bodenzustand in Niedersachsens Waldböden verändert? In: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.): Waldzustandsbericht 2012 für Niedersachsen, S. 22-28. [9] EVERS, J.; PAAR, U.; EICHHORN, J. (2013): Bestätigten Ergebnisse der BZE die Trophieeinschätzung der Standortskartierung? AFZ-DerWald, Nr. 14/2013, S. 11-15. [10] EVERS, J.; PAAR, U.; SCHMIDT, W.; EICHHORN, J. (2013): Substratgruppen in der BZE als Brücke zur forstlichen Standortskartierung. AFZ-DerWald, Nr. 14 S. 16-20. [11] FLÜCKIGER, W.; BRAUN, S. (2003): Critical limits for nutrient concentrations and ratios for forest trees – a comment. Additional Documents – Working Group Presentations, S. 273-280. [12] FLÜCKIGER, W.; BRAUN, S.; MAINIERO, R.; SCHÜTZ, K.; THOMAS, V. (2011): Auswirkungen erhöhter Stickstoffbelastung auf die Stabilität des Waldes ([www.bafu.admin.ch/wald/](http://www.bafu.admin.ch/wald/)). [13] GÖTTLEIN, A.; BAIER, R.; MELLERT, K. H. (2011): Neue Ernährungskennwerte für die forstlichen Hauptbaumarten in Mitteleuropa – Eine statistische Herleitung aus van den Burg's Literaturzusammenstellung. AFJZ, 182, S. 173-186. [14] GUCKLAND, A.; PAAR, U.; DAMMANN, I.; EVERS, J.; MEIWES, K. J.; MINDRUP, M. (2011): Einfluss der Kalkung

auf die Bestandesernährung. AFZ-DerWald, Nr. 6/2011, S. 23-25. [15] HAYNES, R. J. (1982): Effects of liming on phosphate availability in acid soils. *Plant and Soil* 68, S. 289-308. [16] HEINSDORF, D. (2007): Ernährung und Nährstoffansprüche der Kiefer im Standortsspektrum des nordostdeutschen Tieflandes. In: Die Kiefer im nordostdeutschen Tiefland – Ökologie und Bewirtschaftung. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Bd. 32. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg. [17] Hessisches Ministerium des Inneren und für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz (1996): Bodenschutzkalkung. Merkblatt 31, 23 S. [18] HÖLZER, W. (2004): Gutachten zur Machbarkeit der Verknüpfung von Daten der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) mit Daten der Standortskartierung. BMVEL, Referat 533, Bonn 44 S. und Anhang. [19] KHANNA, P. K.; FORTMANN, H.; MEESENBURG, H.; EICHHORN, J.; MEIWES, K. J. (2009): Biomass and Element Content of Foliage and Aboveground Litterfall on the Three Long-Term Experimental Beech Sites: Dynamics and Significance. In: Brumme, R. u. Khanna, P. K. (Hrsg.): Functioning and Management of European Beech Ecosystems. *Ecol. Studies* 208, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 183-205. [20] KÖLLING, C. (2005): Gesunder Boden – gesunder Wald. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), 10 S. [21] KÖNIG, N.; FORTMANN, H. (1996): Probenvorbereitungs-, Untersuchungs- und Elementbestimmungsmethoden des Umweltanalytiklabors der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt und des Zentrallabors II des Forschungszentrums Waldökosysteme. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Bd. 49., Reihe B., Göttingen, 435 S. [22] KÖNIG, N.; FORTMANN, H. (1999): Probenvorbereitungs-, Untersuchungs- und Elementbestimmungsmethoden des Umweltanalytiklabors der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt und des Zentrallabors II des Forschungszentrums Waldökosysteme. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Bd. 58-59, Reihe B., Göttingen. [23] KÖNIG, N.; FORTMANN, H.; LÜTER, K. L. (2009): Probenvorbereitungs-, Untersuchungs- und Elementbestimmungsmethoden des Umweltanalytik-Labors der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt. 2. Ergänzung: 1999-2008. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Bd. 75-78, Reihe B., Göttingen. ([www.nw-fva.de/fileadmin/user\\_upload/Verwaltung/Publikationen/2009/BerForschZ-Band75ReiheB.pdf](http://www.nw-fva.de/fileadmin/user_upload/Verwaltung/Publikationen/2009/BerForschZ-Band75ReiheB.pdf)). [24] KRAUß, H. H.; HEINSDORF, D. (2005): Ernährungsstufen für wichtige Wirtschaftsbaumarten. Beitr. Forstwirtschaft. u. Landschafts-ökol. 39 (4), S. 172-179. [25] MELLERT, K. H.; GÖTTLEIN, A. (2012): Comparison of new foliar nutrient thresholds derives from van den Burg's literature compilation with established central European references. *Eur. J. Forest Res.* [26] NW-FVA (2010): Merkblatt Bodenschutzkalkungen in Niedersachsen und Sachsen-Anhalt. 26 S. ([www.ml.niedersachsen.de](http://www.ml.niedersachsen.de)). [27] OVERBECK, M.; SCHMIDT, M.; FISCHER, C.; EVERS, J.; SCHULZE, A.; HÖVELMANN, T.; SPELLMANN, H. (2011): Ein statistisches Modell zur Regionalisie-

rung der nutzbaren Feldkapazität von Waldstandorten in Niedersachsen. *Forstarchiv* 82, S. 92-100. [28] PAAR, U.; EVERS, J.; ULLRICH, T.; KÖNIG, N.; SCHULZE, A.; DAMMANN, I.; EICHHORN, J. (2013): Waldbodenzustand in Hessen. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (in Bearbeitung). [29] PAAR, U.; GUCKLAND, A.; DAMMANN, I.; ALBRECHT, M.; EICHHORN, J. (2011): Häufigkeit und Intensität der Fruktifikation der Buche. AFZ-DerWald, Nr. 6/2011, S. 26-29. [30] REEMTSMA, J. B. (1986): Der Magnesium-Gehalt von Nadeln niedersächsischer Fichtenbestände und seine Beurteilung. *AFZ* 10, S. 196-200. [31] REUSS, J. O. (1983): Implications of the Calcium-Aluminium Exchange System for the Effect of Acid Precipitation on Soils. *J. Environ. Qual.*, Vol 12, Nr. 4, S. 591-595. [32] 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 u. Holz* 63, S. 37-40. [33] RÜSS, A.; RIEK, W.; MARTIN, J. (2011): Zustand und Wandel der Waldböden Mecklenburg-Vorpommerns. *Mitteilungen aus dem Forstlichen Versuchswesen Mecklenburg-Vorpommern*, 9, 108 S. [34] SCHMIDT, W. (2006): Zeitliche Veränderung der Fruktifikation bei der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) in einem Kalkbuchenwald (1981-2004). *AFZ*, 177, S. 9-19. [35] SCHMIDT, W.; STÜBER, V.; ULLRICH, T.; PAAR, U.; EVERS, J.; DAMMANN, K.; HÖVELMANN, T.; SCHMIDT, M. (2013, in Vorbereitung): Synopse der Hauptmerkmale der forstlichen Standortskartierungsverfahren der Nordwestdeutschen Bundesländer. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt. [36] SCHULZE, A.; EVERS, J.; HÖVELMANN, T. (2013): Grundlagen und Möglichkeiten der Verwaltung und Auswertung der Daten der Bodenzustandserhebung (BZE), Bodeninventuren (Intensives Monitoring) und Standortskartierungen im Zuständigkeitsbereich der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt. NW-FVA Göttingen, Abt. Umweltkontrolle, interne Dokumentation. [37] SCHULZE, A.; EVERS, J. (2013): Konzeption und Realisierung einer übergreifenden Datenorganisation für die Bodenzustandserhebung, AFZ-DerWald, Nr. 14 S. 21-24. [38] ULLRICH, T.; MEIWES, K. J.; KÖNIG, N.; KHANNA, P. (1984): Untersuchungsverfahren und Kriterien zur Bewertung der Versauerung und ihrer Folgen. *Der Forst- und Holzwirt* 39, Nr. 11, S. 278-286. [39] WELBROCK, N.; AYDIN, C.-T.; BLOCK, J.; BUSSIAN, B.; DECKERT, M.; DIEKMANN, O.; EVERS, J.; FETZER, K. D.; GAUER, J.; GEHRMANN, J.; KÖLLING, C.; KÖNIG, N.; LIESEBACH, M.; MARTIN, J.; MEIWES, K. J.; MILBERT, G.; RABEN, G.; RIEK, W.; SCHÄFFER, W.; SCHWERHOFF, J.; ULLRICH, T.; UTERMANN, J.; VOLZ, H.-A.; WEIGEL, A.; WOLFF, B. (2006): Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) Arbeitsanleitung für die Außenaufnahmen. Hrsg. BMELV, Berlin, 413 S. [40] WOLFF, B.; HÖLZER, W.; BONK, D.; FRÖMDLING, D.; BARITZ, R. (1999): Harmonisierung von Ergebnissen der forstlichen Standortskartierung. *Forst und Holz*, 54, Nr. 10, S. 291-298.