

# Bodenzustandserhebung (BZE II) und Standortskartierung

Jan Evers und Uwe Paar

Die bundesweit systematische Stichprobeninventur der Bodenzustandserhebung im Wald ist ein integraler Bestandteil des Forstlichen Umweltmonitorings und gibt vor allem ein umfassendes und flächendeckendes Bild von bodenchemischen Kenngrößen in Waldböden hinsichtlich des aktuellen Zustandes und Veränderungen gegenüber der ersten Inventur. Die BZE-Ergebnisse liefern wichtige Informationen für die Forstliche Standortskartierung, die Kalkungsplanung und/oder die Waldbaukonzepte und Nutzungsstrategien der Länder. Das einheitliche Inventurdesign der BZE bei der Probenahme, der chemischen Analyse und der Datenverarbeitung ermöglicht die folgenden länderübergreifenden Auswertungen, die bisher so nicht möglich waren. Die BZE-Daten aus Schleswig-Holstein standen für diese Auswertung noch nicht zur Verfügung.

Zu den Übersichtserhebungen (Level I) im Rahmen des Forstlichen Umweltmonitorings gehören die Bodenzustandserhebungen. In der Zeit zwischen 2007 und 2009 fand in den Wäldern der Trägerländer der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) Hessen, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein die zweite bundesweite Bodenzustandserhebung (BZE II) statt. Sie folgt der ersten Waldbodenzustandserhebung (BZE I), die in den Jahren 1991 bis 1993 durchgeführt wurde. An 388 in den Trägerländern gelegenen BZE II-Punkten wurden u. a. die austauschbaren Kationen (Ake – effektive Austauschkapazität (Perkolat mit  $\text{NH}_4$ )), die Trockenrohdichte des Feinbodens und der Skelettgehalt im Mineralboden laboranalytisch nach den BZE-Tie-

fenstufen bestimmt. Daraus wurden die Austauschkapazität, die Basensättigung und die Elementvorräte für Calcium, Magnesium und Kalium bis 90 cm Bodentiefe datenbankgestützt berechnet. Zusätzlich wurden zu den Vorräten aus dem Mineralboden die jeweiligen Vorräte im Auflagehumus (Königswasseraufschluss) addiert.

## Trophie

Die Abschätzung der Nährstoffausstattung forstlicher Standorte bildet eine entscheidende Grundlage für eine nachhaltige, ökologisch begründete Waldwirtschaft. Informationen zur Nährstoffausstattung von Waldböden liefern vor allem die Forstlichen Standortskartierungen der Länder über die Einstufung in Trophiestufen, die in Standortskarten für die kartierten Gebiete angegeben werden. Da sich die Verfahren der Forstlichen Standortskartierung in den Bundesländern unterscheiden, sind die ausgewiesenen Trophiestufen zunächst länderspezifisch und nicht ohne Weiteres vergleichbar. In einer länderübergreifenden Arbeitsgruppe von erfahrenen Standortskartierern wurden die Verfahren der Standortskartierung in den Ländern Niedersachsen/Schleswig-Holstein, Hessen und Sachsen-Anhalt nebeneinander gestellt und, sofern möglich, parallelisiert. Auf diese Weise entstanden länderübergreifend sechs Trophiestufen, die die länderspezifischen Stufen ineinander überführen und zusammenfassen. Dies hatte für das differenziertere Verfahren in Niedersachsen/Schleswig-Holstein Vergrößerungen zur Folge, erlaubt aber eine länderübergreifende Verkopplung der Ergebnisse der Forstlichen Standortskartierung.



# Bodenzustandserhebung (BZE II) und Standortkartierung



Substratgruppe: Lösslehm, Trophie: schwach eutroph (1-)

Foto: H. Kasel

## Vergleich der Trophiestufen (bzw. Nährstoffzahl/Nährkraftstufe)

Niedersachsen Schleswig-Holstein Nährstoffzahl	Hessen Trophie	Sachsen-Anhalt Nährkraftstufe
6	1+ = karbonat- eutroph	..RC.. = reich-karbona- tisch bis R
5, 5+	1, 1- = eutroph	..R.. = reich
4+, 5-	2+ = gut mesotroph	..K.. = kräftig
3, 3+, 4-, 4	2 = mesotroph	..M.. = mittel
2+, 3-	2- = schwach mesotroph	..Z.. = ziemlich arm
1, 2-, 2	3 = oligotroph	..A.. = arm

Die Verknüpfung der aus Messdaten der Bodenzustandserhebung berechneten Nährstoffausstattung im Waldboden mit den übergreifenden Trophiestufen aus der Standortkartierung der Länder Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt kann zum einen Rahmenwerte für die Trophiestufen liefern und zum anderen die vorgenommene Parallelisierung validieren. Die Absicherung einer Trophieabschätzung durch die chemische Analyse ist vor allem bei Standorten mit mittlerer Nährstoffausstattung sinnvoll und häufig notwendig. In der Regel werden sehr gute Standorte und schlechte Standorte relativ sicher geschätzt.

Einschränkend für diesen Vergleich ist hinsichtlich des Datensatzes der BZE zu beachten, dass die Analysedaten überwiegend nur den Bereich bis 90 cm Bodentiefe einheitlich abdecken. Es sind zwar teilweise auch tiefere Schichten einbezogen, doch dies ist nicht grundsätzlich der

Fall. Die Bodentiefe bis 90 cm kann zwar als Hauptwurzelraum angesehen werden, dennoch umfasst die Trophieabschätzung der Forstlichen Standortkartierung auch tiefere Bodenschichten. Diese Bereiche können von Wurzeln erschlossen werden und weisen teilweise beträchtliche Nährstoffvorräte auf. Inwieweit dies an konkreten Standorten der Fall ist, lässt sich am Profil nicht sicher einschätzen. In der Regel ist die Durchwurzelung in diesen Bodentiefen gering, weshalb nicht von einer grundsätzlichen Fehleinschätzung des Nährstoffpotenzials bei der Betrachtung der oberen 90 cm Bodentiefe ausgegangen wird. Weiterhin ist zu beachten, dass die Trophieeinschätzung durch den Kartierer nicht nur auf bodenchemischen Kenndaten beruht, sondern die Bestandesgeschichte und die Ausprägung der Bodenvegetation, des Auflagehumus und des Bestandes weitere Informationsquellen darstellen.

In den folgenden Auswertungen sind die Trophiestufen aus der Forstlichen Standortkartierung den Messdaten aus der BZE für die effektive Austauschkapazität, die Basensättigung sowie die Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorräte gegenübergestellt. Als Vergleichsmaßstab sind die forstlich üblichen Bewertungskriterien für diese Parameter farblich hinterlegt, die bundesweit in der Forstlichen Standortaufnahme Verwendung finden.

Bewertungsrahmen nach der Forstlichen Standortkartierung (AK Standortkartierung 2003)							
(eff. Wurzelraum mit Auflagehumus)	sehr gering	gering	gering mittel	mittel	mittel hoch	hoch	sehr hoch
Basensättigung (%)	7	20	30	50	70	85	
Ake (kmolc/ha)	50	100	250	500	1000	2000	
Ca (kg/ha)	200	400	800	2000	4000	8000	
Mg (kg/ha)	50	100	200	500	1000	2000	
K (kg/ha)	200	400	600	800	1200	1600	

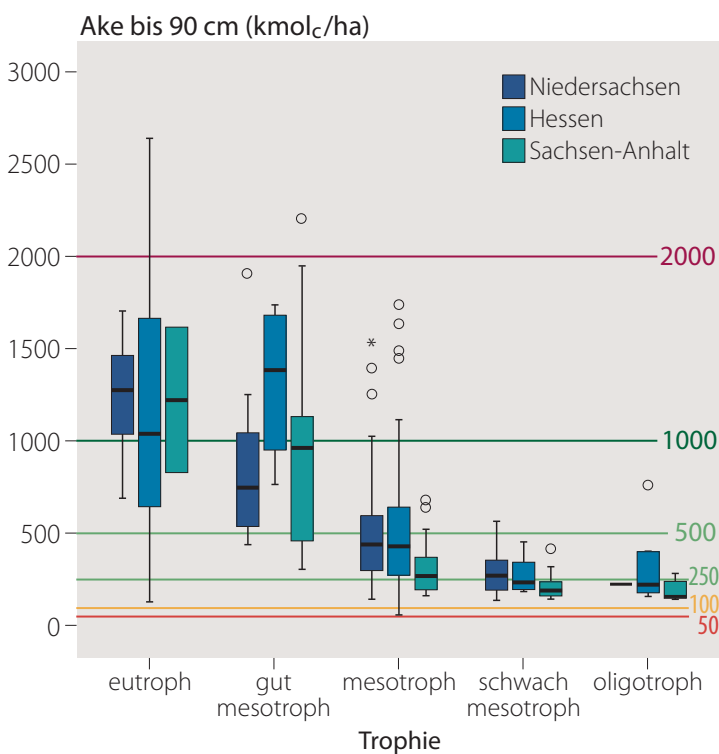
# Bodenzustandserhebung (BZE II) und Standortkartierung



Foto: J. Weymar

auch im mittlerem Bewertungsbereich sowie die mit schwach mesotroph und oligotroph eingestuften BZE-Punkte im unteren mittleren Bewertungsbereich. Diese Abfolge begründet sich darin, dass sich die Ake relativ gut über Feldmethoden durch erfahrene Kartierer an Profilen, Bohrkernen und Substraten abschätzen lässt, da sie eng an den Tongehalt, das Ausgangssubstrat sowie den Kohlenstoffgehalt im Mineralboden gekoppelt ist. Die Bodenvegetation und das Wachstum der Bestände stellen hier ebenfalls einen guten Indikator dar. Ein ähnliches Muster der Ake in den Trophiestufen ergibt sich in Niedersachsen und Sachsen-Anhalt. Eine Ausnahme stellt die gut mesotrophe Stufe in Hessen dar, hier liegen die Werte der Ake noch über der eutrophen Stufe. Ein Grund dafür ist der hohe Skelettgehalt vieler eutropher Standorte z. B. mit Basalt und Diabas, welcher die Feinbodenvorräte deutlich verringert. Diese skelettreichen Standorte sind weniger in der gut mesotrophen als in der eutrophen Stufe vertreten. Auffallend ist für alle drei Bundesländer, dass sich die oligotrophe Stufe nicht von der schwach mesotrophen Stufe über die Ake abgrenzen lässt.

Im Hinblick auf den Parameter Basensättigung ergibt sich ein anderes Bild. Die Basensättigung als wichtiger Indikator für den Bodenzustand kann mit Feldmethoden nicht sicher abge-

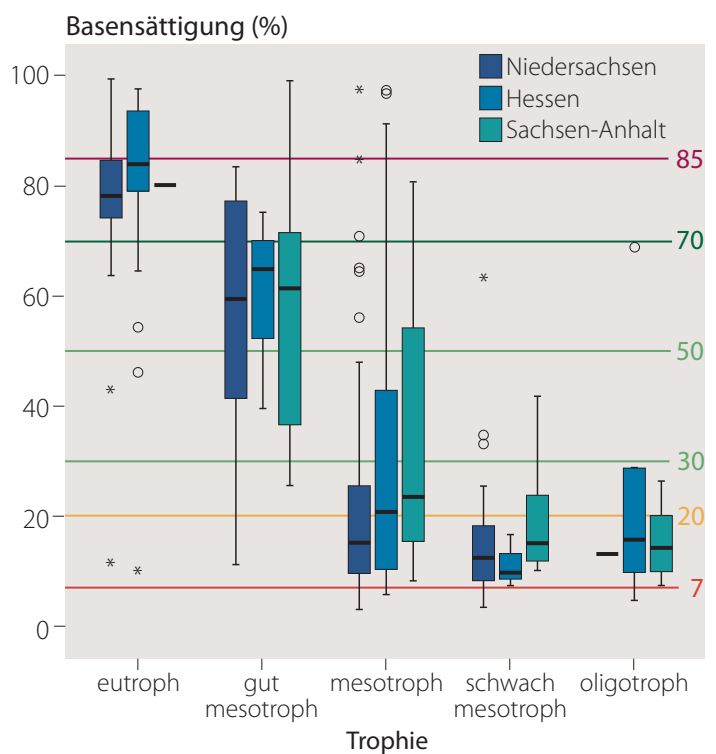


Effektive Austauschkapazität bis 90 cm Bodentiefe der BZE nach Trophiestufen der Forstlichen Standortkartierung der Länder. Die farbigen Linien markieren die Grenzwerte aus der Forstlichen Standortaufnahme (2003).

Der Faktor Waldkalkung wurde in dieser Auswertung nicht gesondert berücksichtigt.

Hinsichtlich der effektiven Austauschkapazität (Ake) lassen sich die Trophiestufen aus der Forstlichen Standortkartierung der Länder im Wesentlichen bestätigen.

Der eutrophe und gut mesotrophe Bereich hebt sich deutlich vom mesotrophen und dieser vom schwach mesotrophen und oligotrophen Bereich ab. Der Median der Ake der mit eutroph und gut mesotroph eingeschätzten BZE-Punkte in Hessen (mittlerer Balken) liegt in der hohen Bewertungsstufe, abgestuft folgt der Median für die mit mesotroph eingeschätzten BZE-Punkte



Basensättigung bis 90 cm Bodentiefe der BZE nach Trophiestufen der Forstlichen Standortkartierung der Länder. Die farbigen Linien markieren die Grenzwerte aus der Forstlichen Standortaufnahme (2003).

schätzt werden, hier ist eine Berechnung auf Basis von bodenchemischen Kenndaten erforderlich. Bei der überwiegenden Anzahl der BZE-Punkte mit mittlerer und geringerer Ake liegen die berechneten Basensättigungen nicht in der entsprechenden Bewertungsstufe, sondern in deutlich schwächeren Stufen. Besonders auffallend ist dies für Niedersachsen. Der Median der mesotrophen Standorte und der überwiegende Teil der schwach mesotroph eingeschätzten BZE-Punkte liegt in Niedersachsen deutlich unter 20 % Basensättigung im Hauptwurzelraum bis 90 cm Bodentiefe. In Hessen liegt der Median der mesotrophen Standorte bei 20 % Basensättigung, im schwach

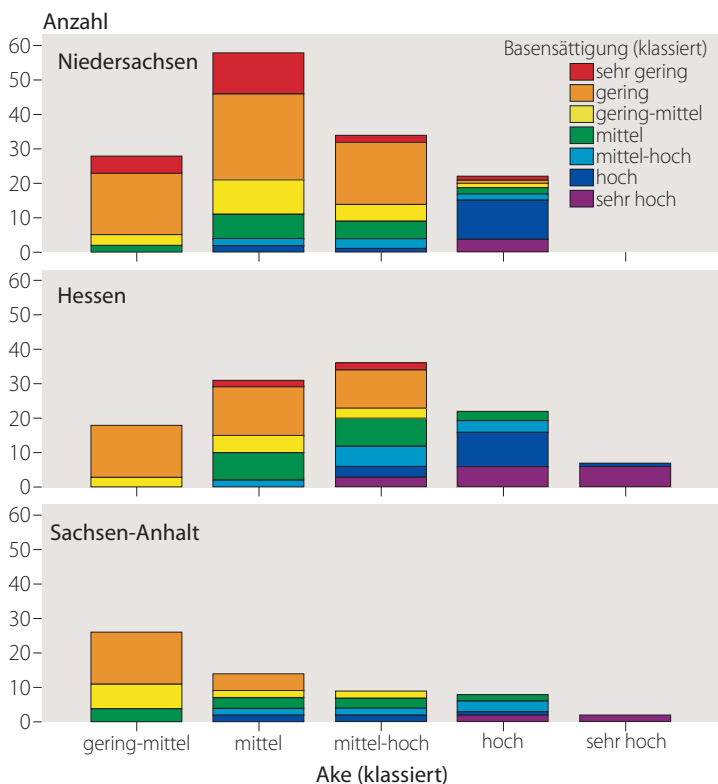
# Bodenzustandserhebung (BZE II) und Standortskartierung



Foto: J. Weymar

mesotrophen Bereich liegen alle Mediane unterhalb dieses Wertes. Dies ist ein Hinweis darauf, dass diese Standorte durch lang anhaltende Säurebelastungen, historisch intensive Nutzungen und/oder relativ geringe Mineralverwitterungsraten aktuell kritische Zustände hinsichtlich der Basensättigung aufweisen.

Die Basensättigung ist ein zentraler Indikator für die Güte des chemischen Bodenzustandes. Sie bestimmt zusammenfassend die Nährstoffversorgung des Mineralbodens und damit wesentlich die Ernährungsbedingungen der Waldbäume. Die Basensättigung drückt aus, wie hoch der relative Anteil der basischen Nährstoffkationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium im Vergleich zur Summe aller Kationen ist, die an negativen Tonmineralteilchen sowie der organischen Substanz im Boden gebunden sind. Eine Bewertung ist anhand des Leitfadens der Forstlichen Standortaufnahme (2003) möglich: Danach gilt in Böden die Basensättigung als gering bei Werten unter 20 %. Dies sind die am stärksten versauerten Waldböden. Der hohe Versauerungsgrad ist im erheblichen Maß eine Folge luftbürtiger, versauernd wirkender Stoffeinträge. Für Böden mittlerer Nährstoffgüte ist eine Basensättigung zwischen 30 % und 50 % definiert und bei gut nährstoffversorgten Standorten erreicht die Basensättigung Werte von über 50 %. Basensättigungen von unter 20 % zeigen an, dass diese Standorte nicht mehr über das Potenzial an austauschbaren Nährstoffen verfügen, welches grundsätzlich bei gegebener Ake an unbelasteten Waldstandorten zur Verfügung gestanden hätte. Bei Basensättigungen unter 20 % wird der Austauscher und die Bodenlösung durch das Kation Aluminium geprägt, Calcium, Magnesium und Kalium liegen in vergleichsweise geringen Anteilen vor. Für Baumwurzeln kann es schwierig werden, unter diesen Bedingungen ausreichend Nährelemente mit den Wurzeln aufzunehmen. Aluminium wirkt in der Bodenlösung in höheren Konzentrationen zudem toxisch gegenüber Pflanzenwurzeln. Die Bodenlösung ist relativ sauer, Schwermetalle werden gelöst und die notwendigen Nährelemente Calcium, Magnesium und Kalium mit dem Sickerwasser ausgetragen. Sie gehen damit dem Ökosystem verloren. Allgemein wird dies als ein Zustand angesehen, in dem ein Waldboden wenig elastisch auf weitere Säureinträge reagieren kann, er in seiner Produktivität eingeschränkt und im Hinblick auf Elemententzüge durch intensive Nutzung wie beispielsweise Vollbaumnutzung empfindlich ist. In diesen Fällen können Kompensationsmaßnahmen in Form von Waldkalkungen sinnvoll sein.



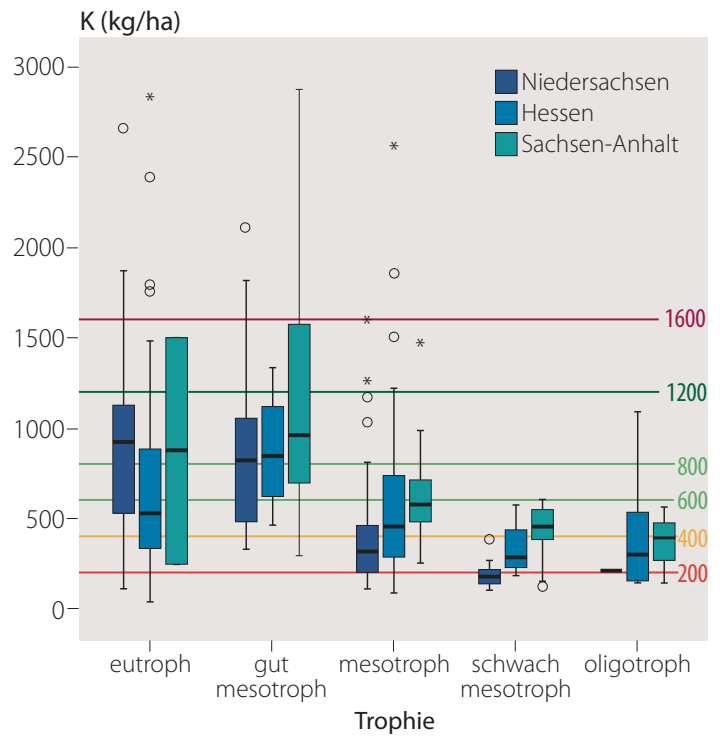
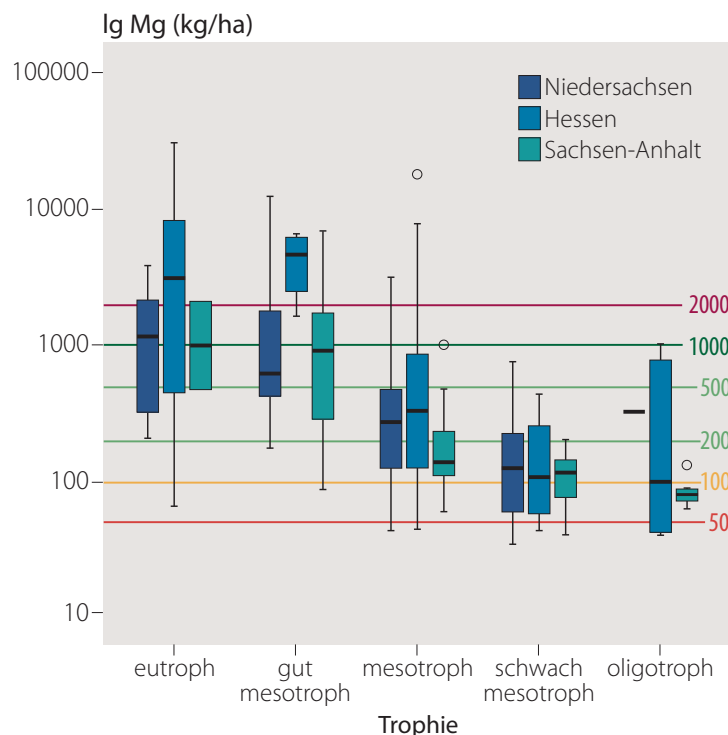
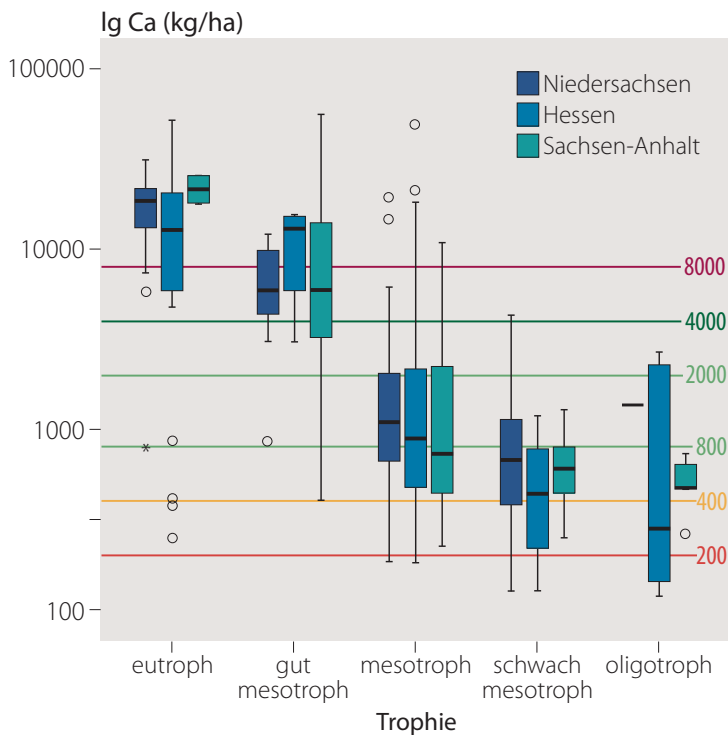
Bewertungsstufen der Basensättigung über Ake-Bewertungsstufen der BZE (Bewertungsstufen nach Forstlicher Standortaufnahme 2003)

Die Gegenüberstellung der Ake-Bewertungsstufen von gering-mittel bis sehr hoch im Hauptwurzelraum mit den entsprechenden Stufen der Basensättigung zeigt, dass BZE-Punkte bei einer mittleren bis hohen Ake geringe bis sehr geringe Werte der Basensättigung aufweisen können. Dies ist sehr deutlich in Niedersachsen zu erkennen, in den Ake-Stufen mittel-hoch und mittel weisen 60 % der BZE-Punkte Basensättigungen von durchschnittlich unter 20 % auf. In der gering-mittleren Ake-Stufe sind es sogar 80 % der BZE-Punkte. In Hessen ist die Diskrepanz zwischen aktueller Basensättigung und Ake etwas geringer. In Sachsen-Anhalt weisen in der mittleren Ake-Stufe 40 % der BZE-Punkte Basensättigungen von unter 20 % auf, in der gering-mittleren Stufe sind es 60 %. Die Ake-Stufe sehr gering kommt im BZE-Kollektiv aller drei Bundesländer nicht vor.

# Bodenzustandserhebung (BZE II) und Standortkartierung

Neben der Ake und Basensättigung ist die Abschätzung der austauschbar gebundenen Nährelementvorräte Calcium, Magnesium und Kalium für eine Beurteilung der Trophiestufe wichtig. Auch hier können mit Feldmethoden über die Kenntnis der Ausgangssubstrate, der Bodenarten, der Ausprägung der Bodenvegetation und dem Wachstum der Waldbäume Abschätzungen vorgenommen werden. Interessant ist es nun zu sehen, inwieweit sich die Abschätzungen im Gelände vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Länderverfahren der Standortkartierung über die einheitliche Berechnung der Bodenvorräte durch die chemische Analyse der BZE darstellen.

Die Gegenüberstellung der Trophiestufen aus der Standortkartierung und der Ergebnisse der BZE II für die Nährelemente



Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorräte der BZE-Punkte nach Trophiestufen aus der Forstlichen Standortkartierung (Maßstab logarithmisch für Ca und Mg, eingezeichnet sind die jeweiligen Grenzen der Bewertungsbereiche für die Elemente aus der Forstlichen Standortaufnahme (2003))

mentale Calcium, Magnesium und Kalium zeigen, dass sich die besseren Trophiestufen und die schwächeren Trophiestufen deutlich vom mittleren Trophiebereich abgrenzen. Zwischen dem oligotrophen und schwach mesotrophen Bereich konnten keine gesicherten Unterschiede festgestellt werden. Standorte mit mittlerer Trophieeinschätzung weisen in Hessen und Niedersachsen überwiegend auch mittlere Werte bei den Calcium- und Magnesiumvorräten im Hauptwurzelaum auf. In Sachsen-Anhalt liegen die Calcium- und Magnesiumvorräte in der mesotrophen Stufe vorwiegend im gering-mittleren Bereich. Calcium und Magnesium sind im Gegensatz zu Kalium relativ fest am Austauscher gebunden und korrelieren damit eng mit der Ake. Die Ake ließ sich, wie dargestellt, relativ gut mit Feldmethoden abschätzen.



Foto: J. Evers

# Bodenzustandserhebung (BZE II) und Standortkartierung



Foto: M. Schmidt

Die Streuungen sind jedoch erheblich. Beispielsweise beim Calciumvorrat im mesotrophen Bereich liegen das 25 %-Perzentil sowie das 75 %-Perzentil eine Trophiestufe tiefer bzw. höher; die höchsten bzw. niedrigsten 5 % fallen sogar in den eutrophen bzw. oligotrophen Trophiebereich. Dies zeigt, dass jeweils 25 % der mesotrophen BZE-Punkte mindestens eine Bewertungsstufe unterschätzt bzw. überschätzt werden, diese Standorte sind hinsichtlich der Calciumversorgung eine Stufe besser bzw. schlechter. Die Unterschiede zwischen den Bundesländern bezogen auf eine Trophiestufe sind hinsichtlich Calcium relativ gering, damit können die Trophiestufen zwischen den Bundesländern als vergleichbar angesehen werden. Das bedeutet, dass die unterschiedlichen Verfahren der Standortkartierung in den drei Ländern über das Verfahren der Parallelisierung vergleichbare Trophieeinstufungen hinsichtlich Calcium erzeugen.

Grundsätzlich lassen sich auch bei Magnesium die Trophiestufen der Forstlichen Standortkartierung durch die BZE II Ergebnisse bestätigen. Auch sind die Kartierungen der Bundesländer hinsichtlich des Magnesiumvorrates vergleichbar, wobei der mittlere Bereich in Sachsen-Anhalt durch die Kartierung eher überschätzt wird. Wie bereits bei Calcium sind auch bei Magnesium die Streuungen erheblich und umfassen bis zu zwei Trophiestufen in beide Richtungen.

Im Unterschied zu Calcium und Magnesium liegen die Kaliumvorräte der BZE II-Punkte in den als mesotroph kartierten Bereichen im geringen bis mittleren (Hessen und Sachsen-

Anhalt) und geringen Bewertungsbereich (Niedersachsen). Die Kaliumvorräte werden damit im Gelände durch die Standortkartierung für den mesotrophen Bereich teilweise deutlich überschätzt. Die mit gut mesotroph und eutroph kartierten Bereiche weisen entsprechend höhere Kaliumvorräte auf, die dem mittleren bis hohen Bewertungsbereich entsprechen. Sie liegen allerdings eher an den unteren Grenzen dieser Bewertungsbereiche. Die Mediane im eutrophen und gut mesotrophen Bereich heben sich wenig von einander ab. Eine Ausnahme bilden die als eutroph kartierten BZE-Punkte in Hessen, hier liegen die Kaliumvorräte der BZE II-Punkte mit 530 kg/ha Kalium im mittleren Bereich, also zwei Trophiebewertungsstufen unter der Einschätzung der Standortkartierung. Auch dies kann mit hohen Skelettgehalten vorwiegend bei den Substraten Basalt und Diabas, aber auch den Kalken erklärt werden. Die Überschätzung der Kaliumvorräte setzt sich im unteren Trophiebereich fort, die als schwach mesotroph eingeschätzten Bereiche liegen mit Ausnahme von Sachsen-Anhalt nicht im mittleren bis geringen, sondern im geringen bis sehr geringen Bewertungsbereich. Die Kaliumvorräte sind in Sachsen-Anhalt in den jeweiligen Trophiestufen bis auf den eutrophen Bereich deutlich höher als in Niedersachsen und Hessen.

Insbesondere die Ergebnisse für Kalium sind bedeutsam für die Zuweisung von Ausschlussflächen für die Vollbaumnutzung: die Daten der BZE II belegen, dass die tatsächlichen Kaliumvorräte im mesotrophen und schwach mesotrophen Standortsbereich deutlich geringer sind als die abgeschätzten Trophiestufen nach der Forstlichen Standortkartierung erwarten lassen.



Substratgruppe: Buntsandstein, Trophie: mesotroph (2)

Foto: H. Kasel

# Bodenzustandserhebung (BZE II) und Standortkartierung

## Substratgruppen

Neben der Trophieeinstufung lassen Angaben aus der Forstlichen Standortkartierung zu den Ausgangssubstraten Abschätzungen zu Nährstoffvorräten und Gefährdungspotenzialen zu. Tone, Kalke und Basalte beispielsweise haben grundsätzlich deutlich höhere Nährstoffvorräte als Buntsandsteine und Sande. Auch hier kann die BZE Informationen vorhalten, um typische Substrate hinsichtlich ihrer chemischen Bodenzustände zu charakterisieren. Dazu wurden BZE-Punkte mit ähnlichen Merkmalsausprägungen im Mineralboden zu Substratgruppen zusammengefasst.

Die Verteilung der in Hessen vorkommenden Substratgruppen in der BZE II sind in der Tabelle dargestellt. Es überwiegt bei weitem die Substratgruppe Buntsandstein mit insgesamt

28 %, wobei 16 % auf die sandige und 12 % auf die mehr tonige Ausprägungen des Buntsandsteins entfallen. Es folgen die Lösslehme und Basalte/Diabase mit jeweils 14 % sowie die Tonschiefer mit 12 % Anteil an dem BZE-Kollektiv. Die unverlehnten Sande vorwiegend in der Rhein-Ebene, die Grauwacken und die Substratgruppe der Ton- und Tonsteine haben jeweils ungefähr 5 % Anteil. Mit wenig BZE-Punkten sind die schwach verlehnten Sande, Kalke, Lehme, Quarzite, Zechsteine, Granite und verlehnten Sande in BZE-Kollektiv vertreten (summarisch 16 %). Die Substratgruppen Granit und verlehnte Sande mit jeweils nur einem BZE-Punkt werden nicht in den folgenden Verteilungen dargestellt.

Die Substratgruppen unterscheiden sich deutlich hinsichtlich der effektiven Austauschkapazität im Mineralboden. Erwartungsgemäß weisen die unverlehnten Sande relativ die

### Beschreibung der Substratgruppen

Substratgruppe	Substrate/Bodenarten	Kriterien/Merkmale/Herkunft
Granit	grusig, sandig, schluffige Lehme	Plutonite
Tonschiefer	überwiegend lehmige Tone	z. B. devonische Schieferformationen, Hunsrückschiefer
Grauwacke	sandige bis tonige Lehme	z. B. unterkarbonische Grauwacken, Kulmgrauwacken
Zechstein/Rotliegendes	verlehnte Sande bis tonige Lehme	Perm: Dolomite, Kalksteine bzw. Sandsteine, Konglomerate
Buntsandstein	reine Sande bis schluffig, lehmige Sande, teilweise mit Tonsteinwechsellagerung	kalkfreie Buntsandsteinformationen
Substratuntergruppe: Buntsandstein (tonig)	im Unterboden: sandige Lehme, tonige Lehme, sandige Tone, stark lehmige Sande, tonige Sande	kalkfreie Buntsandsteinformationen
Substratuntergruppe: Buntsandstein (sandig)	über alle Bodentiefen reine Sande, schwach schluffige Sande bis schwach lehmige Sande	kalkfreie Buntsandsteinformationen
Quarzit	schluffige Lehme, sandige, tonige Schluffe	devonische Quarzite
Kalk	überwiegend lehmig Tone bis tonige, schluffige Lehme	z. B. Muschelkalk, Keuper, Jura, Geschiebemergel, Kalkgehalt mind. C4 (karbonatreich)
Kreidesandstein	schwach verlehnte bis verlehnte Sande	z. B. Hilssandstein, untere Kreidezeit
Basalt/Diabas	überwiegend schluffige Lehme	silikatreiche tertiäre Ergussgesteine und devonische Diabase
unverlehnte Sande	Sande und Kiese, Reinsande, schwach schluffige Sande geringmächtige schluffige Bänder toleriert	Flugsande, Talsande, Wasserabsätze Rheinweiß- (Kalk) und Flugaschenstandorte, Mergelsande und -kiese; Pleistozän und Holozän
schwach verlehnte Sande	schwach lehmige Sande, schluffige Sande	Geschiebedecksande, Sandlöße, Wasserabsätze > 20 cm Rheinweiß- (Kalk) und Flugaschenstandorte, Mergelsande und -kiese; Pleistozän und Holozän
verlehnte Sande	verlehnte Sande, schluffige Sande, tonige Sande	Geschiebedecksande, Lösssande, Wasserabsätze > 50 cm Rheinweiß- (Kalk) und Flugaschenstandorte, Mergelsande und -kiese; Pleistozän und Holozän
Lehm	stark lehmige Sande bis tonige Lehme	Hochflutlehme, Auenlehme, Geschiebelehme; Pleistozän und Holozän
Ton(stein)	sandige, schluffige, lehmige Tone bis reine Tone	Röt, tertiäre Tone, Marschen, Beckenablagerungen, hier werden auch schluffige Feinstsande toleriert
Lösslehm	feinsandig lehmige Schluffe bis schluffig-schwach tonige Lehme	Mächtigkeit > 70 cm (auch Kolluvien) über silikatarmen oder silikatreichem Ausgangssubstrat; Pleistozän und tlw. Holozän
organisch geprägte Standorte	organisch geprägte Standorte über diversen Substraten	Hochmoortorf, Niedermoortorf, Übergangsmoor bis Quellmoor, auch Anmoor; Spätpleistozän und Holozän

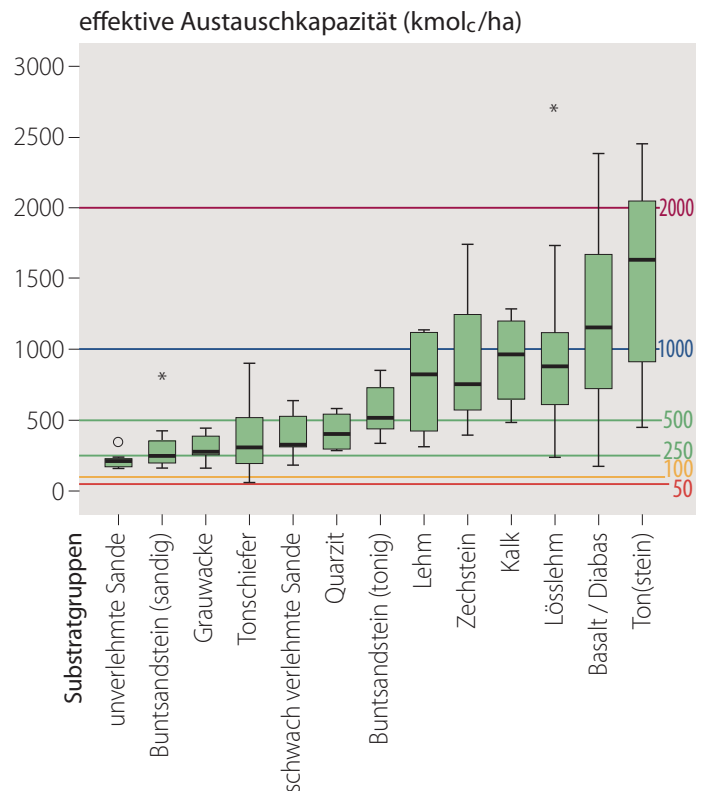
# Bodenzustandserhebung (BZE II) und Standortkartierung

geringste effektive Austauschkapazität im unteren mittleren Bewertungsbereich zwischen 100 und 250 kmol<sub>c</sub>/ha auf. Es folgen die Mediane der Substratgruppen Buntsandstein (sandige Ausprägung), Grauwacke, Tonschiefer, schwach verlehmtete Sande sowie Quarzit im mittleren Bewertungsbereich zwischen 250 und 500 kmol<sub>c</sub>/ha. Im mittel-hohen Bewertungsbereich liegen die Mediane der Substratgruppen Buntsandstein (tonige Ausprägung), Lehm, Zechstein, Kalk und Lösslehm und im hohen Bewertungsbereich zwischen 1000 und 2000 kmol<sub>c</sub>/ha erwartungsgemäß die Basalte/Diabase und Ton(steine). Austauschkapazitäten über 2000 kmol<sub>c</sub>/ha effektive Austauschkapazität kommen vereinzelt in den Substratgruppen Lösslehm, Basalt/Diabas und Ton(stein) vor. Die höchste Austauschkapazität von über 5000 kmol<sub>c</sub>/ha hat ein Ton(stein) bei Homberg, hier ist im Boden auch Basalt eingemischt. Die geringste Austauschkapazität findet sich bei einem flachgründigen, sehr steinigen Boden aus Tonschiefer bei Bischoffen, hier wurden nur 60 kmol<sub>c</sub>/ha Austauschkapazität gemessen. Es wird an diesen Werten deutlich, wie weit die Spanne in der Austauschkapazität bei Waldböden reichen kann und wie wichtig die Kenntnis der Substrate bei der Einschätzung von Standortpotenzialen ist. Insgesamt liegen 77 % aller BZE-Punkte in Hessen hinsichtlich ihrer Austauschkapazität im weiten mittleren Bereich zwischen 100-1000 kmol<sub>c</sub>/ha. 17 % der BZE-Punkte liegen mit ihrer effektiven Austauschkapazität zwischen 1000 und 2000 kmol<sub>c</sub>/ha im hohen Bereich und 5 % mit über 2000 kmol<sub>c</sub>/ha im sehr hohen Bewertungsbereich. Im geringen Bereich zwischen 50 und 100 kmol<sub>c</sub>/ha liegt nur ein BZE-Punkt, der sehr geringe Bereich (unter 50 kmol<sub>c</sub>/ha) ist im BZE-Kollektiv Hessens nicht vertreten.

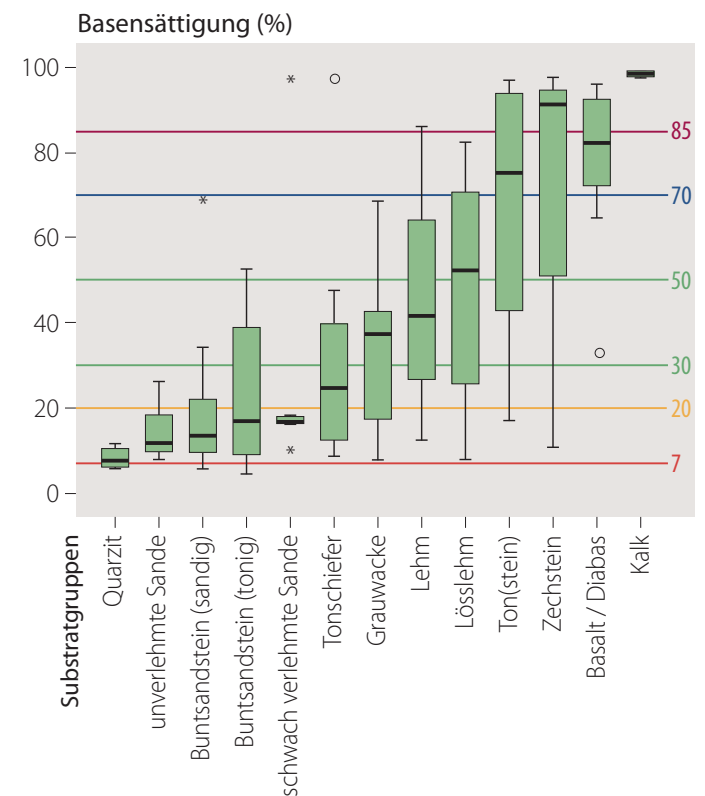
Bei der durchschnittlichen Basensättigung bis 90 cm Bodentiefe zeigt sich im Vergleich zur Austauschkapazität ein anderes Bild. Die Mediane der Substratgruppen in geringen bis mittleren Bewertungsräumen der effektiven Austauschkapazität vor

Substratgruppen der BZE-Punkte in Hessen

Substratgruppe	Anzahl	Prozent
Buntsandstein (sandig)	22	15,8
Buntsandstein (tonig)	17	12,2
Lösslehm	20	14,4
Basalt / Diabas	20	14,4
Tonschiefer	16	11,5
unverlehmte Sande	8	5,8
Grauwacke	7	5,0
Ton(stein)	7	5,0
schwach verlehmtete Sande	5	3,6
Kalk	4	2,9
Lehm	4	2,9
Quarzit	4	2,9
Zechstein (Rotlage)	3	2,2
Granit	1	0,7
verlehmte Sande	1	0,7



Verteilung der effektiven Austauschkapazität im Mineralboden bis 90 cm Bodentiefe nach Substratgruppen der BZE II in Hessen



Verteilung der mittleren Basensättigung im Mineralboden bis 90 cm Bodentiefe nach Substratgruppen der BZE II in Hessen

allen basenarmer Ausgangsgesteine (Buntsandstein, Quarzit, Sande, Tonschiefer) liegen bezüglich der Basensättigung in geringeren Bewertungsbereichen als bei der effektiven Austauschkapazität. Kritische Zustände unter 20 % Basensättigung kommen grundsätzlich mit Ausnahme der Basalte/Diabase und Kalke in allen Substratgruppen vor. Hohe bis sehr hohe



# Bodenzustandserhebung (BZE II) und Standortkartierung

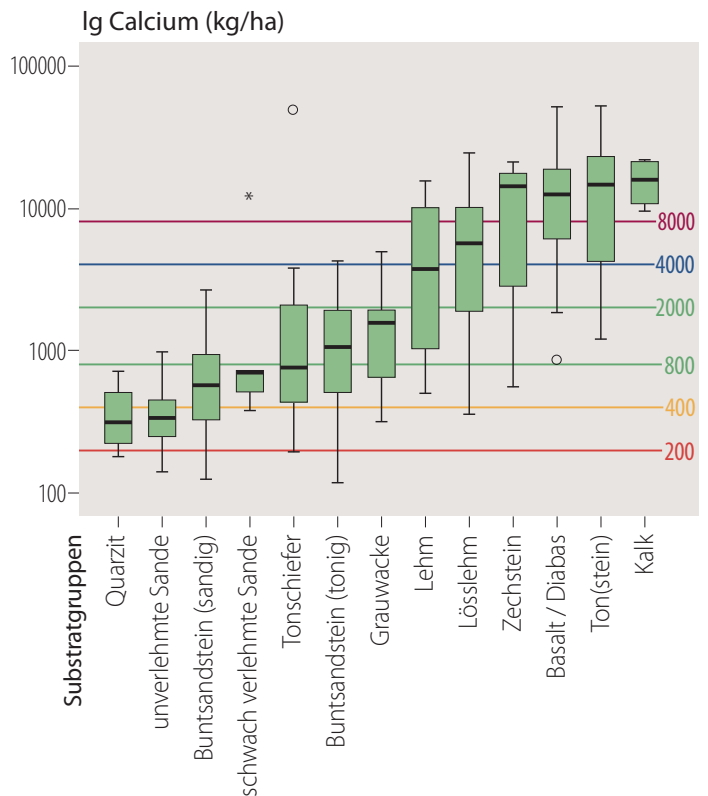
Mediane der durchschnittlichen Basensättigung bis 90 cm Bodentiefe finden sich im Ton(stein), Zechstein, Basalt/Diabas und Kalk. Die Streuung der durchschnittlichen Basensättigung innerhalb einiger Substratgruppen ist erheblich, besonders beim Lösslehm, Ton(stein) und Zechstein. Von der geringen bis sehr hohen Bewertungsstufe werden alle Bereiche mit BZE-Punkten in diesen Substratgruppen abgedeckt. Die Trophiestufe aus der Standortkartierung ist jedoch geeignet, die Spannen bei fehlender Analyse weiter zu differenzieren (hier nicht dargestellt).

Damit ist die Verteilung der Basensättigung in den Bewertungsstufen gegenüber der effektiven Austauschkapazität deutlich zu schlechteren Bewertungsstufen hin verschoben: 41 % entfallen auf geringe Bewertungsstufen unter 20 % Basensättigung, 34 % liegen im mittleren Bereich zwischen 20-70 % Basensättigung und 25 % in hohen Bewertungsstufen über 70 % Basensättigung.

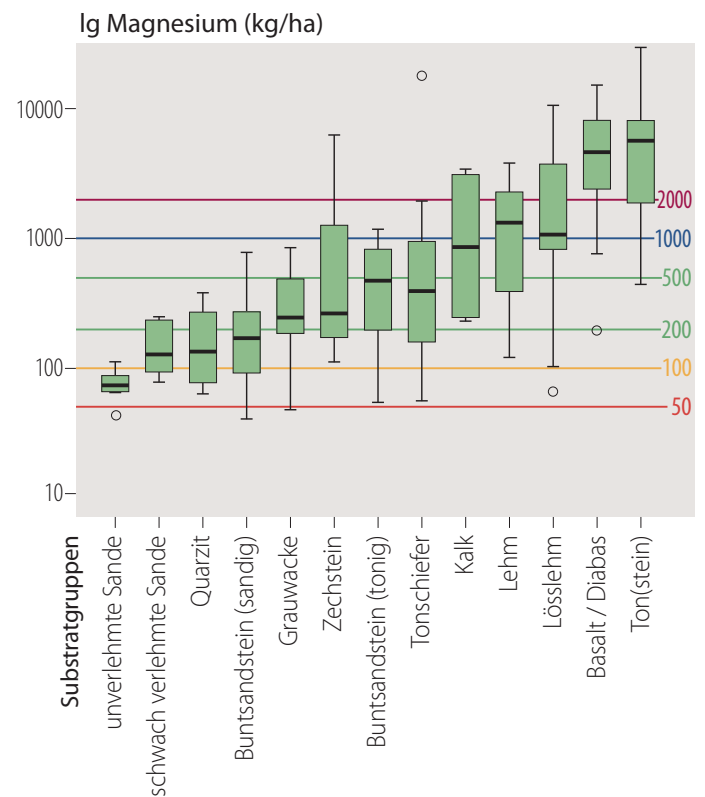
Die Verteilungen der Calciumvorräte nach Substratgruppen weisen für die Quarzite und unverlehmte Sande geringe Vorräte aus. Es folgen mit etwas höheren Vorräten in der gering bis mittleren Bewertungsstufe für Calcium die Mediane des Buntsandsteins (sandige Ausprägung), schwach verlehmte Sande und Tonschiefer sowie in der mittleren Bewertungsstufe Buntsandstein (tonigere Ausprägung) und Grauwacke. Lehm und Lösslehm, Zechstein, Basalt/Diabas, Ton(stein) und Kalk sind erwartungsgemäß im Mittel hoch bis sehr hoch mit Calcium versorgt, wobei bei Lösslehm und Ton(stein) auch gering-mittlere Calciumvorräte vorkommen können. Über das gesamte Kollektiv der BZE-Punkte betrachtet entfallen 19 % in den geringen Bewertungsbereich für Calciumvorräte unter 400 kg/ha im Hauptwurzelraum, der überwiegende Anteil mit 47 % der BZE-Punkte deckt den mittleren Bereich zwischen 400-4000 kg/ha ab und 34 % aller BZE-Punkte liegen über dem mittleren Bereich mit hohen bis sehr hohen Calciumvorräten über 4000 kg/ha.



Substratgruppe: unverlehmte Sande, Trophie: schwach mesotroph (2-)  
Foto: H. Kasel



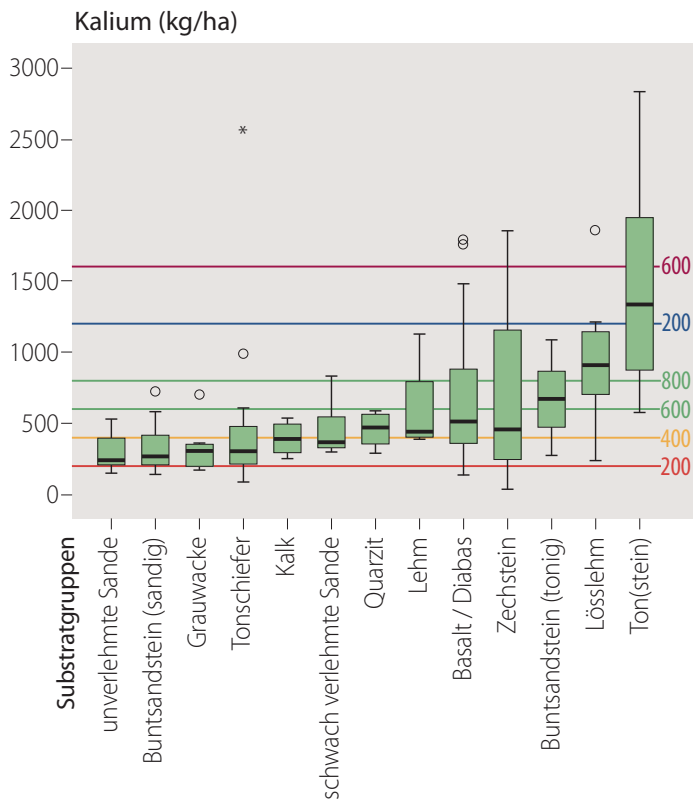
Verteilung der Calciumvorräte im Auflagehumus und Mineralboden bis 90 cm Bodentiefe nach Substratgruppen der BZE II in Hessen (Maßstab logarithmiert)



Verteilung der Magnesiumvorräte im Auflagehumus und Mineralboden bis 90 cm Bodentiefe nach Substratgruppen der BZE II in Hessen (Maßstab logarithmiert)

Bei den Magnesiumvorräten zeigt sich eine ähnliche Verteilung der Substratgruppen wie bei Calcium. Der Quarzit liegt bei Magnesium in der Bewertung eine Stufe höher im Vergleich zu Calcium im gering-mittleren Bewertungsbereich, gehört je-

# Bodenzustandserhebung (BZE II) und Standortkartierung



Verteilung der Kaliumvorräte im Auflagehumus und Mineralboden bis 90 cm Bodentiefe nach Substratgruppen der BZE II in Hessen

doch wie bei Calcium auch zu den relativ am geringsten mit Magnesium versorgten Standorten. Zechstein und Kalk weisen bei Magnesium geringere Bewertungsstufen als beim Calcium auf. Die Verteilung nach Bewertungsstufen von Magnesium ist der von Calcium jedoch sehr ähnlich: 16 % aller BZE-Punkte haben geringe bis sehr geringe Magnesiumvorräte, 50 % mittlere und 34 % hohe Magnesiumvorräte.

Die Kaliumvorräte nach Substratgruppen zeigen im Unterschied zu den Verteilungen der Calcium- und Magnesiumvorräte eine deutlich geringere Ausstattung an. Die BZE-Punkte der Substratgruppen unverlehmte und schwach verlehmte Sande, Buntsandstein (sandige Ausprägung), Grauwacke, Tonschiefer und Kalk liegen mit ihrem Median in der geringen Bewertungsstufe für die Kaliumvorräte. Im gering-mittleren Bereich finden sich Quarzit, Lehm, Basalt/Diabas-Standorte sowie Zechstein. Im mittleren Bewertungsbereich ist der Buntsandstein der tonigen Ausprägung, es folgen Lösslehm mit Kaliumvorräten im mittleren bis hohen Bereich sowie Ton(stein) im hohen Bewertungsbereich. Auffallend ist neben den grundsätzlich deutlich geringer bewerteten Kaliumvorräten insgesamt, dass Kalk und Basalt/Diabas mit den höchsten Vorräten bei Calcium und Magnesium nun in den gering bis mittleren Bewertungsbereich bei Kalium fallen. Insgesamt liegen 40 % aller BZE-Punkte im geringen, 51 % im mittleren und 9 % im hohen Bewertungsbereich für Kalium. Diese Verteilung ist deutlich günstiger als die Verteilung in Niedersachsen, aber ungünstiger als die in Sachsen-Anhalt.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Trophieabschätzung in der Forstlichen Standortkartierung trotz unterschiedlicher Länderverfahren grundsätzlich wichtige bodenchemische Kenngrößen zutreffend abschätzt. Bei der Basensättigung und dem Kaliumvorrat im Mineralboden jedoch überschätzen alle Verfah-



Substratgruppe: Tonschiefer, Trophie: gut mesotroph (2+) Foto: H. Kasel

ren die aktuellen Zustände auf Basis der BZE-Daten erheblich. Dies trifft allerdings noch am wenigsten in Sachsen-Anhalt zu. Die Basensättigung und vor allem auch die Kaliumvorräte sind in den jeweiligen Trophiestufen höher als in den Ländern Niedersachsen und Hessen. Die Gegenüberstellung der Messwerte mit den Einstufungen der Forstlichen Standortkartierung an konkreten BZE-Punkten zeigt teilweise erhebliche Streuungen. Dies liegt zum einen in der fehlenden Einbeziehung der chemischen Analyse in der Standortkartierung begründet, macht aber auch die Grenzen der chemischen Analyse vor dem Hintergrund anderer Faktoren (erfasste Bodentiefe, Vegetation, Auflagehumus) in der Trophieansprache deutlich. Es hat sich aber auch bestätigt, dass die bodenchemische Analyse eine wichtige Stütze für die Trophieabschätzung in der Forstlichen Standortkartierung darstellt. Daraus können bodenchemische Rahmenwerte für Trophiebereiche und typische Substratgruppen abgeleitet und als Schätzhilfe für die Praxis genutzt werden. Dies verbessert die Erkennung von Nährstoffpotenzialen, kritischen Zuständen und darauf aufbauender Maßnahmenplanung wie Waldkalkung, Biomassennutzung und Baumartenwahl. Weiterer Forschungsbedarf besteht vor allem darin, die gängigen Bewertungsstufen bodenchemischer Kennwerte mit Standort-Leistungsmodellen zu verbessern.