

# Die Substratgruppe unverlehmter Sand

Jan Evers, Inge Dammann, Thomas Jensen<sup>1</sup> und Uwe Paar

<sup>1</sup>Niedersächsisches Forstplanungsamt

Jeder der 388 BZE II-Punkte in Niedersachsen (mit Bremen), Hessen und Sachsen-Anhalt wurde einer Substratgruppe zugeordnet. Die Generierung der länderübergreifenden Substratgruppen erfolgte nach den Merkmalen Ausgangssubstrat (Ausgangsgestein), Lagerung (Substrat-Lagerung), Bodenart, Bodenmorphologie und Bodenphysik. In Niedersachsen kommen im BZE II-Kollektiv bis auf den Zechstein und Quarzit alle für Nordwestdeutschland definierten 16 Substratgruppen vor. Für 63 BZE-Punkte (36 %) wurde die Substratgruppe „unverlehmter Sand“ ausgewiesen, diese Substratgruppe tritt damit in der BZE II in Niedersachsen am häufigsten auf (Abbildung unten).

Standorte, die durch unverlehmten Sand bestimmt werden, finden sich in Niedersachsen im Altmoränengebiet des Norddeutschen Tieflands. Diese Flachlandschaft zwischen den Einzugsgebieten der Ems, Weser und Elbe wird von unterschiedlich mächtigen eiszeitlichen, durch Wasser und Wind verursachten Ablagerungen des Quartärs bedeckt und bildet neben dem niedersächsischen Bergland den zweiten geologischen Großraum Niedersachsens. Typische Böden sind basenarme podsoliierte Braunerden, Parabraunerden, Podsole, Gleye, Pseudogleye und regional prägend Nieder- und Hochmoore. Unverlehmte Sande kommen hier als Tal- oder Schmelzwassersande, Terrassenablagerungen und Flugsande sowie als holozäne Dünen vor. Flugsanddecken sind als eine Folge der Heidewirtschaft ebenfalls häufig. Starke Winde verwirbelten Staub und Sand aus der damals durch Frost und Eis geprägten Landschaft; der schwere Sand verwehte nur über kurze Distanzen und häufte sich zu Flugsanddecken und Dünenzügen auf. Flugsanddecken zwischen 1-2 m Mächtigkeit liegen häufig auf höher gelegenen Flächen (Geestflächen, Randalagen der Urstromtäler), aber auch in den Urstromtälern, wie z. B. im Allertal. Der



Schwach podsolige Braunerde bei Lingen

Foto: NW-FVA

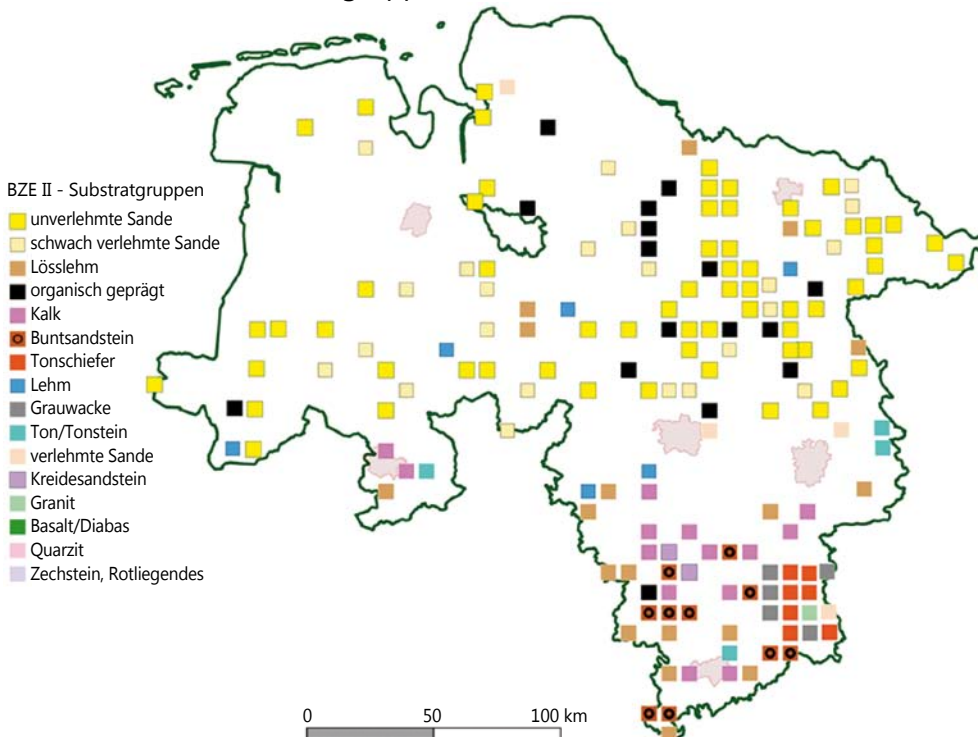
feinere Löss wurde vor allem weiter südlich vor und im Mittelgebirge abgelagert, obwohl Sandlöss, vorwiegend als Lehmsand, auch im Tiefland vorkommen (z. B. Garlstorf, Syke, Uetze). Schmelzwässer bildeten vor dem Eiskörper weitläufige Sand- und Kieskörper, die Sander, vor allem hier kommen unverlehmte Sande regelmäßig vor.

Von den Bodenarten überwiegen in der Substratgruppe unverlehmter Sand die reinen Sande. Häufig kommen sie als schwach schluffige Sande und fein- oder grobsandige

Mittelsande vor. Vereinzelt können in tiefer liegenden Horizonten auch Lehmsande und Lehme auftreten. Die Trockenrohdichten reichen mit 1,1 g/cm<sup>3</sup> im Oberboden vom sehr geringen bis zum mittel-hohen Bereich mit 1,6 g/cm<sup>3</sup> im Unterboden. Die Steingehalte sind mit mittleren 1 % im Oberboden und 4 % im Unterboden i. d. R. niedrig.

Im Wuchsgebiet Ostniedersächsisches Tiefland bilden die teilweise sehr mächtigen, silikatarmen und unverlehmten Schmelzwassersande das bodenbildende Ausgangsmaterial, meist überlagert mit schwach verlehmten, stärker silikathaltigen Geschiebe-Decksanden. Dies sind typische Standorte der Lüneburger Heide. Als Bodentypen treten mehr oder weniger podsoliierte Braunerden bis hin zu Heidepodsolen auf, die häufig durch anthropogene Bodenbearbeitung (Heidedampf-

## Substratgruppen in Niedersachsen



Zuordnung der 173 BZE II-Punkte in Niedersachsen und Bremen zu Substratgruppen



# Die Substratgruppe unverlehmter Sand

pflug, Melioration) umgebrochen wurden. Ein Großteil dieser Böden ist durch historische Entwaldung, lange Freilage, Überweidung und lang ausgeübte Plaggenwirtschaft deutlich verarmt.

Im Wuchsgebiet Niedersächsischer Küstenraum kommen unverlehmte Sande im Schwerpunkt als Flugsanddecken der verwehten, überwiegend drenthestadialen Grundmoräne vor.

Im Wuchsgebiet Mittelwestniedersächsisches Tiefland liegt der Hauptraum der drenthestadialen Vereisung mit aus den Grundmoränen und Endmoränen hervorgegangenen Geestlandschaften, die von Urstromtälern und Schmelzwasserabflussrinnen zerteilt werden. Weder im Warthe-Stadium der Saale-Eiszeit noch in der Weichselkaltzeit wurde dieses Gebiet vereist, sodass es zu starken Abtragungen und Umlagerungen in dieser Rinnenlandschaft kam. Die Geschiebelehmkerne wurden vor allem mit Flugsand überlagert, von Schmelzwassern umgelagert und dann als Terrassensande in den Hauptabflusstälern abgelagert, sodass hier häufiger unverlehmte Sande als bodenbildende Deckschichten vorkommen.

## Bodentypen

In der Abbildung unten wird die Vielfalt der vorkommenden Bodentypen in der Substratgruppe unverlehmter Sand in Niedersachsen deutlich. Die Gruppe der Podsole, die durch gebleichte Bodenschichten aufgrund von Verwitterungs- und Verlagerungsbedingungen im feuchten Klima gekennzeichnet sind, ist mit 50 % am häufigsten vertreten. Die Podsolierung tritt bevorzugt bei sandigen, quarzreichen Substraten auf und ist damit in dieser Region für die Substratgruppe typisch. Eine fortgeschrittene Podsolierung

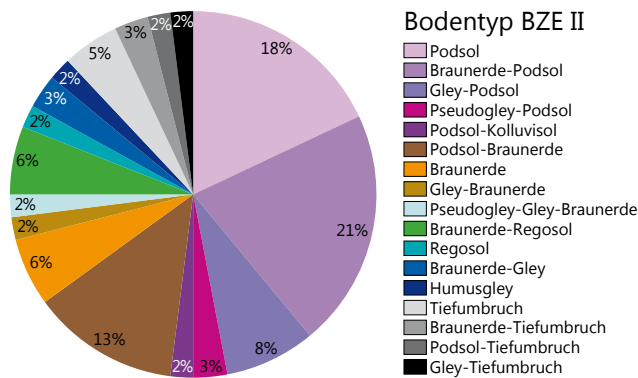


Mäßig podsoliger Braunerde-Regosol zwischen Diepholz und Nienburg Foto: NW-FVA

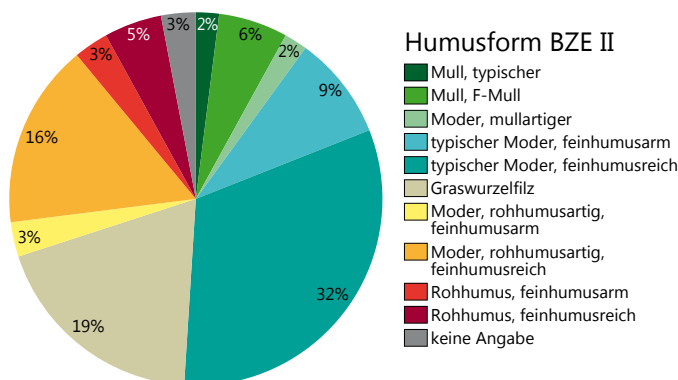
weist in der Regel auf eine Nährstoffverarmung im Boden hin und geht häufig mit gestörten biologischen Abbaubedingungen und schlechten Humusformen einher. Bei 15 % tritt die Podsolierung als bodenbildender Prozess weiter zurück, ist aber noch mit im Namen des Bodentyps vertreten. Es folgen mit 10 % Braunerden, die ebenfalls wasserbeeinflusst sein können. In den Braunerden sind die Kennzeichen einer Nährstoffverarmung und Verlagerung gegenüber den Podsolen deutlich weniger ausgeprägt. Regosole haben einen Anteil an den unverlehmten Sanden von 8 %. Regosole sind durch einen direkten Übergang vom humosen Oberbodenhorizont in ein Lockersediment wie z. B. Dünen definiert. Mit 5 % folgen die von Grundwasser bestimmten Gleye. Anthropogen stark in ihrer natürlichen Schichtung veränderte Böden, wie z. B. Tiefumbruchböden, haben in Niedersachsen einen historisch bedingten, vergleichsweise recht hohen Anteil von 12 % an der BZE II.

## Humusformen

Mit rund 10 % sind in der Substratgruppe unverlehmter Sand mit dem Mull, F-Mull und mullartigem Moder Humusformen (grüne Farben, Abbildung links) vertreten, die eigentlich auf deutlich besser mit Nährstoffen versorgten Substraten zu erwarten wären. Dass diese Humusformen auf unverlehmten Sanden vorkommen, liegt an der häufig durchgeführten Bodenbearbeitung, die als Streifenkultur, Tiefumbruch oder auch als Eschboden die natürliche Lagerung des Auflagehumus im Wald verändert hat. Die typischen Moder-Humusformen (hellblaue Farben) sind mit rund 40 % in dieser Substratgruppe bestimmend. Häufig ist auch der Graswurzelfilz (rund 20 %, ockerfarben), der typischerweise in Verbindung mit Heidelbeere unter Kiefernforsten auftritt. Mit rund 20 %



Verteilung der Bodentypen in der Substratgruppe unverlehmter Sand in Niedersachsen (BZE II)



Verteilung der Humusformen in der Substratgruppe unverlehmter Sand in Niedersachsen (BZE II)

# Die Substratgruppe unverlehmter Sand

sind schlechtere Moderhumusformen (rohhumusartiger Moder, orange und rote Farben) sowie mit 8 % Rohhumusformen vertreten. Diese deutlich schlechteren Humusformen weisen auf sehr ungünstige Nährstoffversorgungen und sehr arme Waldstandorte hin. An 3 % aller Standorte konnte keine Humusform zugewiesen werden.

## Nährstoffangebot (Trophie)

Die Standorte des unverlehmten Sandes in der BZE II in Niedersachsen sind entweder schwach mesotroph (51 %) oder mesotroph (46 %), vereinzelt finden sich oligotrophe Standorte (z. B. Dünen). Auch gut mesotrophe Standorte, wie z. B. meliorierte Tiefumbruchböden bzw. bei einer Unterlagerung von Lehm oder Ton kommen vor.

## Natürliche Waldgesellschaften und aktuelle Bestockung

Auf den grundwasserfernen Standorten der unverlehmten Sande im Tiefland Niedersachsens ist der artenarme Drahtschmielen-Buchenwald als natürliche Waldgesellschaft anzunehmen. Die Buche setzt sich auch auf diesen Standorten langfristig gegenüber allen anderen Baumarten durch. Im Zuge der Wiederbewaldung von Heideflächen oder auch offener Binnendünen bildet die Kiefer die Pionierbaumart, wird dann aber von Eiche und Buche verdrängt, wenn diese Standorte nicht extrem verarmt sind (Heinken 1995). Die Stieleiche kommt auf den stärker Grundwasser beeinflussten oder vernässten Standorten hinzu und kann dort auch z. B. mit der Birke prägend werden, die Traubeneiche findet sich als Mischbaumart in den trockeneren Regionen. Der Wuchsbezirk Hohe Heide zählt zum Kerngebiet eines natürlichen Fichtenvorkommens im nordwestdeutschen Bereich.

Die heutige Baumartenverteilung im niedersächsischen Tiefland ist stark durch den Menschen geprägt. So gehen die Eichenbeimischungen auf grundwasserfernen Standorten zumeist auf eine historische Förderung der Eichen zurück. Vor rund 200 Jahren wurde auf durch Übernutzung, Streunutzung oder Waldweide entwaldete Flächen die Kiefer als neue Waldgeneration angebaut. Somit bestimmt die Kiefer – oft mit eingemischter Fichte - auf Standorten mit unverlehmten Sanden der BZE II das Waldbild im Tiefland von Niedersachsen wesentlich (Abbildung unten). Die überwiegend reinen Kiefernbestände mit über 70 % Kiefernanteil machen gut 70 % aller BZE II-Standorte dieser Substratgruppe aus. Es folgen in weitem Abstand mit jeweils 6 % Bestände aus überwiegend Fichten oder anderen Na-

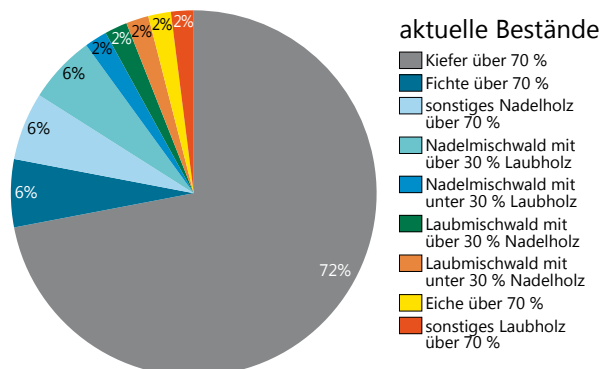
delhölzern, wie z. B. Douglasie, Lärche und Sitkafichte sowie Mischbestände überwiegend mit Nadelholz und Anteilen von Laubholz zwischen 30-70 %. Vereinzelt kommen auch Laubholz-Mischbestände vor, mit Stieleiche, Buche, aber auch Birke und Edellaubholz. Auch in den Kiefernbeständen ist meistens Laubholz eingemischt, das aber insgesamt Anteile von unter 30 % hat.

## Chemische Bodenkenngrößen

### Austauschkapazität

Eine der wichtigsten bodenchemischen Kenngrößen ist die Austauschkapazität als Summe der Konzentrationen der leicht mobilisierbaren Kationbasen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium sowie der Kationsäuren Aluminium, Eisen, Mangan und Protonen.

Mit rund 300 kmol<sub>c</sub> je Hektar durchschnittlicher Austauschkapazität (summiert bis 90 cm Bodentiefe) fällt die Substratgruppe unverlehmter Sand in Niedersachsen in den mittleren Bewertungsbereich nach der AK-Standortskartierung (2016). Die Spannbreiten sind jedoch recht hoch, sie reichen mit 140 kmol<sub>c</sub> je Hektar vom gering-mittleren Bewertungsbereich bis zum hohen Bewertungsbereich mit über 1000 kmol<sub>c</sub> je Hektar (BZE II). Im Vergleich mit den anderen Waldstandorten in Niedersachsen zählen die unverlehmten Sande zusammen mit den schwach verlehmten Sanden im Mittel zu den Standorten mit den geringsten Austauschkapazitäten. Die verlehmten Sande, Tone und Lösslehme sowie die Standorte des Berglandes (z. B. Buntsandsteine, Tonschiefer, Kalke) weisen deutlich höhere mittlere Austauschkapazitäten auf.



Verteilung der aktuellen Bestände in der Substratgruppe unverlehmter Sand in Niedersachsen (BZE II)



Gley-Podsol bei Jever

Foto: NW-FVA



# Die Substratgruppe unverlehmter Sand

## Basensättigung

Im Zuge fortschreitender Bodenversauerung werden die an der Pufferung beteiligten basischen Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium vom Austausch durch die sauren Kationen Aluminium, Eisen, Mangan und Wasserstoff-Ionen verdrängt. Die Austauschkapazität bleibt dabei weitgehend konstant, es verringert sich jedoch die Basensättigung, also der relative Anteil der basischen Nährstoffkationen im Vergleich zur Summe aller Kationen am Austauscher. Ein starkes Absinken der Basensättigung im Mineralboden ist eine Folge luftbürtiger, versauernd wirkender Stoffeinträge. Eine Basensättigung unterhalb von 20 % wird als gering, unter 7 % als sehr gering eingestuft. Diese Werte werden in den am stärksten versauerten Waldböden erreicht. Für Böden mittlerer Nährstoffgüte ist eine Basensättigung von 30-50 % definiert und bei gut nährstoffversorgten Standorten erreicht die Basensättigung Werte von über 50 %.

Bei den unverlehmten Sanden in Niedersachsen ergeben sich zum Zeitpunkt der BZE II auf Profilebene knapp 15 % durchschnittliche Basensättigung, welches eine geringe Basenversorgung anzeigt. Dieser Durchschnitt ist nur halb so hoch wie der für Niedersachsen insgesamt mit 30 %. Die jeweils höchsten Werte in der BZE I und II nach Tiefenstufen finden sich in 0-5 cm Bodentiefe (Abbildung unten), hier ist der Einfluss organischer Substanz und der Waldkalkung noch am höchsten. Mit der Bodentiefe sinken die Werte deutlich ab und liegen zwischen 11 und 20 %. Damit liegt die durchschnittliche Basensättigung der unverlehmten



Podsol-Braunerde im Wendland

Foto: NW-FVA

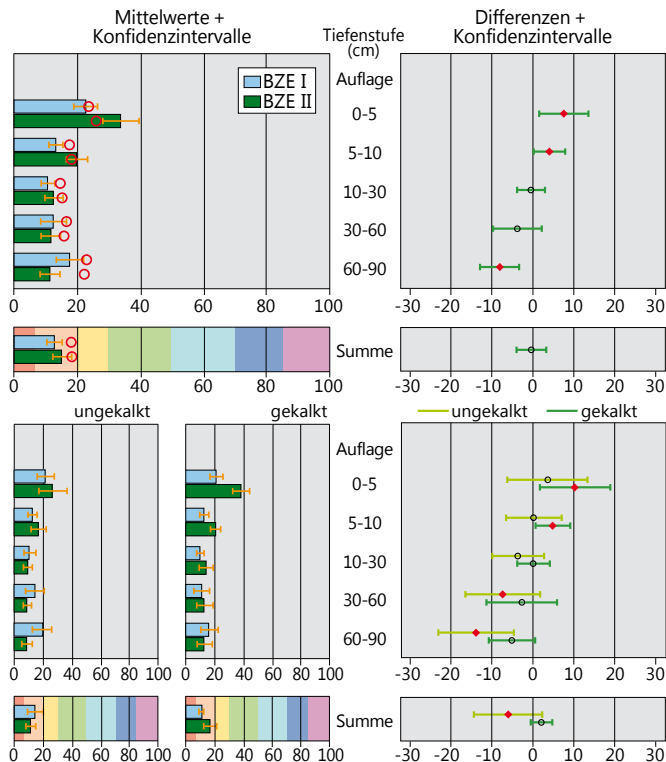
Sande in Niedersachsen unter 10 cm Bodentiefe deutlich unter dem Länderdurchschnitt von Niedersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt (rote Kreise, Abbildung links, Teilgrafik links oben).

Basensättigungen von unter 20 % zeigen an, dass diese Standorte nicht mehr über das Potential an austauschbaren Nährstoffen verfügen, welches grundsätzlich bei gegebener Austauschkapazität an vergleichbaren, unbelasteten Waldstandorten zur Verfügung stand. In diesem Milieu wird der Austauscher und die Bodenlösung durch das Kation Aluminium geprägt. Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium 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. In diesen Fällen können Kompensationsmaßnahmen in Form von Waldkalkungen sinnvoll sein. Daher wurden in Niedersachsen rund 60 % der Standorte des unverlehmten Sandes gekalkt.

## Veränderung der Basensättigung

In allen Bodentiefen werden kritische Werte von unter 15 % Basensättigung erreicht: im Oberboden bis 10 cm betrifft dies zwischen 30-40 %, im Unterboden ab 10 cm 70-80 % aller BZE-Punkte des unverlehmten Sandes. Die Basensättigung insgesamt hat jedoch im Oberboden von der BZE I zur BZE II zugenommen, in 0-5 und 5-10 cm Bodentiefe signifikant. Im Unterboden in 60-90 cm Bodentiefe hat sie signifikant abgenommen. Die deutliche Zunahme der Basensättigung im Oberboden ist durch Waldkalkungen begründet, die Abnahme im Unterboden durch eine weitere Bodenversauerung. Im ungekalkten Kollektiv ist die Basensättigung zum Zeitpunkt der BZE II deutlich niedriger als im gekalkten Kollektiv. Damit zeigt sich, dass eine Waldkalkung wirksam

## Basensättigung (%)



Basensättigung der Substratgruppe unverlehmter Sand ( $n=63$ ) in niedersächsischen Waldböden als Mittelwert für die BZE I und II (linke Spalte) und Differenz ( $BZE II - BZE I$ ) (rechte Spalte) nach Tiefenstufen und Summe bis 90 cm, jeweils als Gesamtergebnis (obere 4 Grafiken) und nach ungekalkt ( $n=29$ ) / gekalkt ( $n=32$ ) (untere 6 Grafiken); zwei BZE-Punkte entfallen, da der Kalkungsstatus nicht geklärt werden konnte.

# Die Substratgruppe unverlehmter Sand

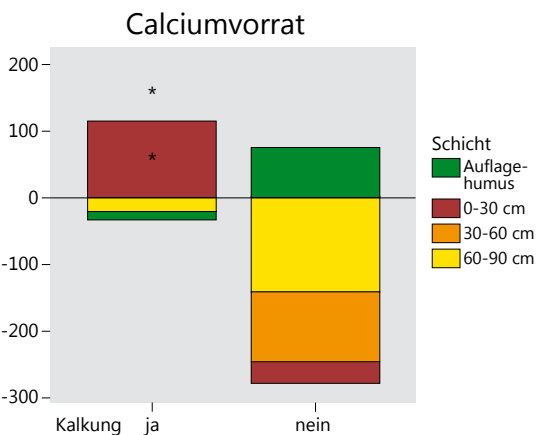
einer weiteren Bodenversauerung entgegenwirkt, die Folgen langjähriger Versauerung im Oberboden abmildert und langfristig einer weiteren Nährstoffverarmung dieser Standorte vorbeugt.

## Veränderung der Calcium- und Magnesiumvorräte

Im gekalkten Kollektiv der unverlehmten Sande kam es zu signifikanten Zunahmen von Calcium im oberen Mineralboden bis 30 cm Bodentiefe und zu leichten, aber kaum relevanten Verlusten im Auflagehumus und Bodenschichten unter 30 cm Bodentiefe (Abbildung unten). Bezogen auf die BZE I erhöhten sich die Calciumvorräte um 30 %. Im ungekalkten Kollektiv dagegen erhöhten sich nur die Calciumvorräte im Auflagehumus, in allen Bodenschichten kam es zu deutlichen Calciumverlusten. Summiert über das Profil sind dies Verluste von 25 % bezogen auf die BZE I. Aufgrund der hohen Streuungen und geringen Stichprobenzahl sind diese Ergebnisse jedoch nicht signifikant.

Die Magnesiumvorräte haben im gekalkten Kollektiv des unverlehmten Sandes auf Profilebene, bezogen auf die Vorräte der BZE I, um 70 % zugenommen, im ungekalkten Kollektiv um 30 % abgenommen. Besonders deutlich und signifikant waren die Zunahmen in 0-30 cm Bodentiefe.

Die Ergebnisse zeigen, dass es trotz des Rückgangs der Säureeinträge auf ungekalkten Standorten der unverlehmten Sande in Niedersachsen zu Calcium- und Magnesiumverlusten aus dem Mineralboden gekommen ist. Auf gekalkten Standorten war dies nicht der Fall. Auf ungekalkten Standorten verringert sich die Basensättigung weiter, auf gekalkten Standorten steigt sie an. Stellvertretend für die silikatarmen Waldstandorte heißt dies, dass Kompensationsmaßnahmen durch Waldkalkungen dringend fortzuführen sind. Grundsätzlich be-



Differenzen der Calciumvorräte (kg je Hektar) der BZE II zur BZE I nach Tiefenstufen der Substratgruppe unverlehmter Sand (gekalkt (n=23) und ungekalkt (n=15) in Niedersachsen

deutet dies ebenfalls, dass auch politisch weiterhin die Verringerung von Säureeinträgen mit Nachdruck verfolgt werden sollte. Für das niedersächsische Tiefland sind dies vor allem die Säureeinträge bedingt durch Stickstoff, hier vor allem von Ammoniak aus der Landwirtschaft.

## Ernährungssituation der Waldbäume

In der Substratgruppe unverlehmter Sand in Niedersachsen ist die Kiefer am häufigsten vertreten (siehe Tabelle unten). Die Bewertung der Ernährungssituation von Kiefer, Fichte, Eiche und Buche erfolgt anhand der Mediane für die Hauptnährstoffe (Stickstoff, Kalium, Phosphor, Calcium und Magnesium) sowie der Stickstoffquotienten zum Zeitpunkt der BZE II (2007).

Im Median befinden sich die Hauptnährelementgehalte der Kiefernadeln im Normalbereich und die Stickstoffquotienten zeigen ausgewogene Verhältnisse an. Die Magnesiumgehalte der Kiefern auf ungekalkten BZE II-Punkten weisen zu 36 % latenten Mangel auf, an den gekalkten BZE II-Punkten sind es dagegen 16 %. Weitere signifikante Effekte der Kalkung sind die verbesserten N/P-, N/Ca- und N/Mg-Verhältnisse der gekalkten gegenüber den ungekalkten BZE II-Punkten.

Auch die Elementgehalte der Fichte auf unverlehmtem Sand entfallen mehrheitlich in den Normalbereich. Die N/K-Verhältnisse allerdings sind unabhängig vom Kalkungsstatus unausgewogen. Zusätzlich sind auf den gekalkten BZE II-Punkten die N/P-Verhältnisse und bei den ungekalkten BZE II-Punkten die N/Ca-Verhältnisse unausgewogen.

Bei der Eiche auf unverlehmtem Sand sind – wie auch auf anderen Substraten – die N/P-Verhältnisse überwiegend unausgewogen. Eichenblätter auf ungekalkten BZE-Punkten zeigen latenten Mangel an Calcium und Magnesium und entsprechend ungünstige Stickstoffquotienten.

Für die Buchen werden ebenfalls normale Elementgehalte, aber unausgewogene Stickstoffquotienten (N/P, N/K, N/Ca) festgestellt.

Insgesamt zeigen die Blatt- und Nadelanalysen der Hauptbaumarten auf unverlehmtem Sand in Niedersachsen hohe Stickstoffgehalte sowie eine gute Versorgung (Normalbereich) mit Phosphor, Kalium, Calcium und Magnesium an. Bei Fichte, Eiche und Buche treten häufig unausgewogene Stickstoffquotienten auf. Nach Kalkung ist eine Verbesserung der Calcium- und Magnesiumversorgung festzustellen.

## Elementgehalte und Stickstoffquotienten

Baumart	Kalkungsstatus	Anzahl BZE-Punkte	Elementgehalte (mg/g)					Stickstoffquotient			
			Stickstoff N	Phosphor P	Kalium K	Calcium Ca	Magnesium Mg	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg
Kiefer		65	18	1,6	5,9	2,9	0,9	11,5	3,1	6,2	21,4
	ja	32	18	1,6	6,0	3,2	0,9	11,4	3,1	5,5	20,3
	nein	33	19	1,5	5,9	2,8	0,8	12,0	3,1	6,6	22,5
Rotfichte		12	18	1,5	5,0	4,5	1,2	11,5	3,7	4,0	14,1
	ja	7	18	1,5	5,1	4,6	1,5	12,1	3,7	3,9	12,6
	nein	5	17	1,6	4,9	3,2	1,0	11,3	3,8	5,6	16,8
Eiche		10	27	1,4	7,6	5,2	1,3	20,0	3,7	5,4	20,6
	ja	3	27	1,3	7,5	5,2	1,8	22,5	3,7	5,0	16,2
	nein	5	27	1,4	7,3	4,9	1,2	21,3	3,7	5,5	22,2
Rotbuche		4	27	1,2	6,3	6,6	1,4	21,2	4,4	4,0	19,9

- Elementgehalt im latenten Mangelbereich bzw. Stickstoffquotient unausgewogen
- Elementgehalt im Normalbereich bzw. Stickstoffquotient ausgewogen
- Elementgehalt oberhalb des Normalbereichs

Mediane der Elementgehalte und Stickstoffquotienten in Nadeln (1. Nadeljahrgang) und Blättern von Kiefer, Fichte, Eiche und Buche an BZE-Punkten auf unverlehmten Sanden insgesamt und getrennt in gekalkte und ungekalkte BZE-Punkte. Aufgrund der geringen Stichprobenanzahl der Buche wurde hier keine Unterteilung in gekalkte und ungekalkte BZE-Punkte vorgenommen. Bewertung der Elementgehalte nach Göttlein (2015) und der Stickstoffquotienten nach Mellert u. Göttlein (2012)