

Die Substratgruppe unverlehmter Sand

Jan Evers und Inge Dammann

Ein Ziel bei der Aus- und Bewertung der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) war die stärkere Berücksichtigung einer sinnvollen Gruppierung der BZE-Punkte in standörtliche Einheiten (Substratgruppen), um die Auswertungen einerseits dichter an Prozessen und Rahmenbedingungen forstlicher Standortseinheiten zu orientieren und andererseits die Bewertungen besser in die forstliche Praxis einbinden zu können.

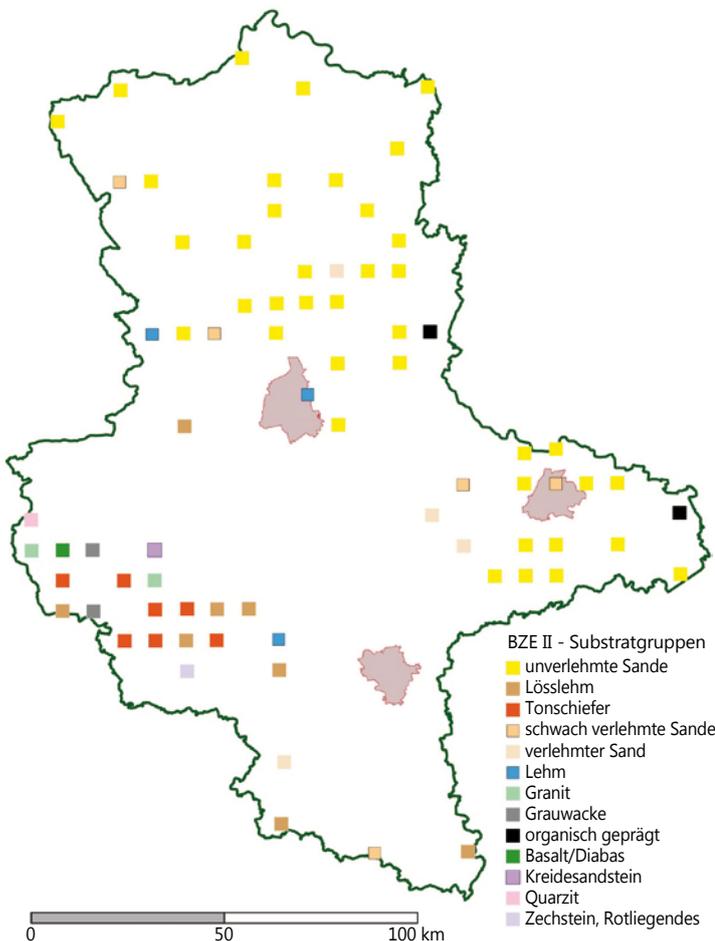
Jedem der 388 BZE II-Punkte in Niedersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt wurde daher eine Substratgruppe zugeordnet. Die Generierung der länderübergreifenden Substratgruppen erfolgte nach den Merkmalen Ausgangssubstrat (Ausgangsgestein), Lagerung (Substrat-Lagerung), Bodenart, Bodenmorphologie und Bodenphysik. In Sachsen-Anhalt kommen im BZE II-Kollektiv bis auf den Buntsandstein, Ton(stein) und Kalkstein alle für Nordwestdeutschland definierten 16 Substratgruppen vor. Für 39 BZE-Punkte (51 %) wurde die Substratgruppe „unverlehmter Sand“ ausgewiesen, diese Substratgruppe tritt damit in der BZE II in Sachsen-Anhalt am häufigsten auf (Abbildung unten).

Nach Schwanecke und Kopp (1994) wird das Land Sachsen-Anhalt durch drei wesentliche Standortsregionen geprägt: das Tiefland im Norden und Nordosten, das Hügelland in der Mitte des Landes und das Mittelgebirge mit Harz und Kyffhäuser im Südwesten. Die meisten Waldstandorte liegen im Tiefland mit 70 % der Waldfläche, gefolgt vom Mittelgebirge mit 19 % und dem Hügelland mit 11 %. Die



Bärenthorener-Sand-Braunerde (Stendaler Platte) Foto: W. Schmidt

Substratgruppen in Sachsen-Anhalt



Zuordnung der 76 BZE II-Punkte in Sachsen-Anhalt zu Substratgruppen

Standorte, die durch den unverlehmten Sand geprägt sind, liegen überwiegend im sachsen-anhaltischen Tiefland. Diese Region wird von durch Wasser und Wind verursachten Ablagerungen der letzten Eiszeiten geprägt, vor allem der Warthevereisung. Damit zählt das Tiefland fast ausschließlich zum Altmoränengebiet, nur im Nordosten Sachsen-Anhalts kommen die zum Jungmoränengebiet zählenden Ablagerungen des Brandenburger Stadiums der Weichseleiszeit vor. Im Altmoränengebiet dominieren intensiv verwitterte, eher nährstoffarme Grund- und Endmoränen, Sander und Talsande, die vorwiegend aus sandigen Böden bestehen. Tief entkalkte Sand-Braunerden und Tieflehm-Fahlerden mit mittlerer Nährstoffversorgung sowie ärmere Sand-Podsole und Podsole sind hier vorherrschend.

Auf den Grundmoränenplatten liegen aber auch Lehm- und Tieflehm-Staugleye und holozäne Auen begleiten den Lauf der Elbe und ihre Nebenflüsse in den Talniederungen. Vor allem im Raum Bitterfeld und Dübener Heide hat der ehemalige Braunkohleabbau und der hiermit einhergehende Flugascheeintrag durch Verbrennung der Kohle in Kraftwerken, Industrie und Haushalten die Böden stark beeinflusst.

Im Tiefland treten nach dem Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (2014) häufig weitgehend unverlehmte Niederungssande auf, die bis mehrere Meter mächtig sein können und überwiegend aus Fein- und Mittelsand bestehen, verbreitet aber auch schwach lehmig sein können. Dies sind kaltzeitliche, meist geschichtete Sande mit wechselnden Kiesanteilen, die in ruhiger Strömung vom Wasser abgelagert wurden. Auch die im Tiefland fast ebenso häufig vorkommenden Schmelzwassersande sind weitgehend unverlehmte und damit typische Waldstandorte.

Die Substratgruppe unverlehmter Sand

Zumeist liegen die Schmelzwassersande unter periglazialen (ohne Gletschereinfluss) und/oder durch Wind eingetragene Decken aus Geschiebedecksand, Decklehm oder Flug-sand und Lössen.

Im Einzelnen ist das Tiefland sehr heterogen und wird in fünf forstliche Wuchsgebiete unterteilt. Im Ostniedersäch-sisch-Altmärkischen Altmoränenland überwiegen mäßig nährstoffversorgte Sand-Braunerden, z. T. lehmbeeinflusst und pseudovergleyt, sowie ärmere Sanderflächen mit Braunerde-Podsolen, in Niederungen Sand-Gleye, Gley-Podsole und Flachmoorbildungen und reicheren Auen im Elbtal. Das weichselkaltzeitlich entstandene Mittelbranden-burgische Talsand- und Moränenland ist geprägt durch überwiegend ärmere grundwasserbeeinflusste Sande und Braunerde-Podsole auf Sandern sowie durch lehmbeeinflusste Braunerden mit mittlerer Nährstoffversorgung auf den Moränen. Im Mittleren Nordostdeutschen Altmoränenland sind ärmere Sande, mäßig nährstoffversorgte leh-mige Sande sowie Lehme mit Braunerden, Sand-Gleye und Moorbildungen in den Niederungen sowie reichere Auen in der Elbtalniederung vorherrschend. Mittlere bis ärmere Sande und lehmige Sande sowie Lehme als Braunerden und Braunerde-Podsole sind typisch für den Hohen Flä-ming. Im Düben-Niederlausitzer Altmoränenland sind im Bereich der Moränen mittlere Sand-Braunerden, auf den Sanderflächen mittlere bis ärmere Sand-Braunerden und Sand-Braunpodsole verbreitet, kleinflächig kommen Moore vor. Die Böden sind in Folge des basischen Flugascheeintra-ges häufig eutrophiert.

Im sachsen-anhaltischen Hügelland und Mittelgebirge kommen unverlehmte Sande im BZE II-Kollektiv nicht vor.



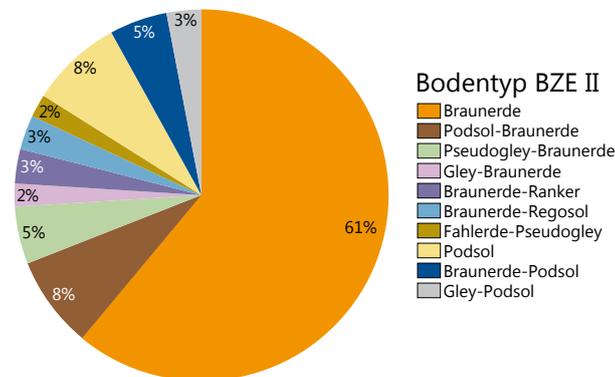
Henningsdorfer-Sand-Braungley (Schollener Platte) Foto: W. Schmidt

Bodentypen

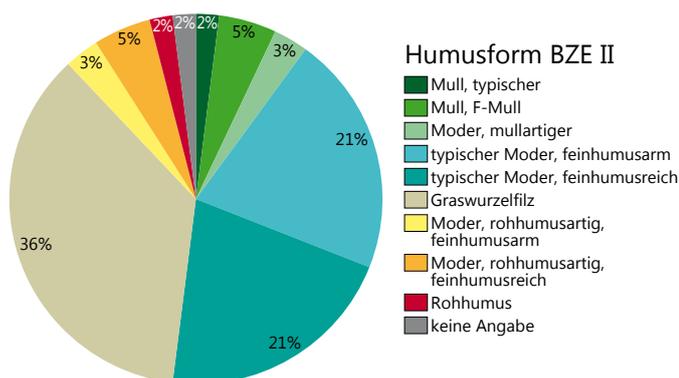
In der Abbildung links ist die prozentuale Verteilung der innerhalb der Substratgruppe unverlehmter Sand vorkom-menden Bodentypen für Sachsen-Anhalt in der BZE II dar-gestellt. Die Gruppe der Braunerden kommt mit Abstand am häufigsten vor: Mit 61 % typische Braunerden, 8 % Pod-sol-Braunerden und 5 % Pseudogley-Braunerden sowie ver-einzelt Gley-Braunerden nehmen die Braunerden insgesam-t drei Viertel der Bodentypen dieser Substratgruppe ein. Die Gruppe der Podsole tritt mit 16 % deutlich zurück. Vereinzelt treten noch Ranker, Regosole und Pseudogleye auf, doch bilden die Braunerden und Podsole die beiden wichtigsten Bodentypen im unverlehmten Sand. Bei der Substratgruppe unverlehmter Sand in Niedersachsen stellt im Gegensatz zu den Ergebnissen in Sachsen-Anhalt die Gruppe der Podsole mit 50 % den höchsten Anteil. Der bodenbildende Prozess der Podsolierung tritt mit seinen Verwitterungs- und Verla-gerungsbedingungen vor allem in sandigen, quarzreichen Substraten auf, ist aber auch an feuchtes Klima gebunden. Da es im Tiefland Sachsen-Anhalts wesentlich trockener als im Tiefland Niedersachsens ist, könnte dies ein Grund für die geringeren Anteile der Podsole im unverlehmten Sand in Sachsen-Anhalt sein. Eine fortgeschrittene Podsolierung weist in der Regel auf eine Nährstoffverarmung im Boden hin und geht häufig mit gestörten biologischen Abbau-bedingungen und schlechten Humusformen einher. Die Podsolierung wird verstärkt durch historisch intensive Hei-de- und Plaggenwirtschaft auf armen Standorten, was mög-licherweise in Sachsen-Anhalt weniger intensiv der Fall war.

Humusformen

Mit 10 % sind in der Substratgruppe unverlehmter Sand mit dem Mull, F-Mull und mullartigem Moder Humusformen (grüne Farben) vertreten, die eher auf deutlich besser mit Nährstoffen versorgten Substraten typisch sind. Dass diese Humusformen auf den von Natur aus ärmeren, unverlehm-ten Sanden vorkommen, liegt an der häufig in Sachsen-



Verteilung der Bodentypen in der Substratgruppe unverlehmter Sand in Sachsen-Anhalt (BZE II)



Verteilung der Humusformen in der Substratgruppe unverlehmter Sand in Sachsen-Anhalt (BZE II)

Die Substratgruppe unverlehmter Sand

Anhalt durchgeführte Bodenbearbeitung von Waldböden, z. B. die Streifenkultur. Aber auch der Einfluss von basischen Stäuben, die über Flugaschen langfristig eingetragen wurden, kann die Humusformen verbessern. Es folgen mit 42 % der typische Moder (blaue Farben). Diese Humusform weist auf eine mittlere Nährstoffversorgung und bereits stärkere Versauerung im Mineralboden hin. Typisch für Kiefernwälder ist der Graswurzelfilz, der mit 36 % häufig in Sachsen-Anhalt anzutreffen ist. Humusformen, die auf eine gehemmte Streuzersetzung und einen ungünstigen biologischen Bodenzustand hinweisen, kommen mit 10 % relativ wenig vor (gelbe und rote Farben). In Niedersachsen sind diese Humusformen mit rund 30 % Anteil an den unverlehmten Sanden deutlich häufiger. An 2 % aller Standorte konnte keine Humusform zugewiesen werden.

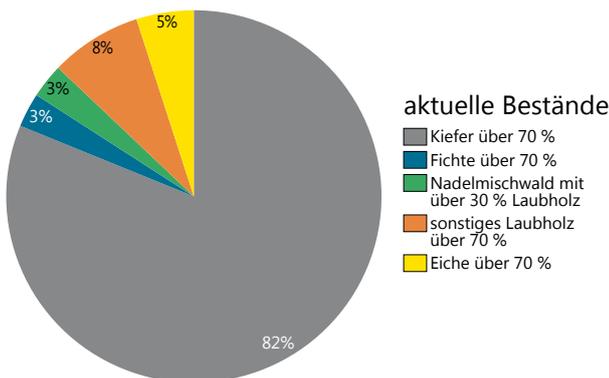
Nährstoffangebot (Trophie)

Die Standorte des unverlehmten Sandes in der BZE II in Sachsen-Anhalt sind überwiegend schwach mesotroph (56 %) oder mesotroph (26 %), nur 10 % wurden als gut mesotroph eingestuft. Vereinzelt finden sich oligotrophe Standorte (z. B. Dünen, Flusssande) oder auch eutrophe Standorte, die durch historische Flugascheinträge hohe Basensättigungen aufweisen.

Natürliche Waldgesellschaften und aktuelle Bestockung

Als natürliche Waldgesellschaft ist im Tiefland Sachsen-Anhalts wie auch in Niedersachsen auf den unverlehmten Sanden überwiegend der Drahtschmielen-Buchenwald anzunehmen. Als Mischbaumarten kommen auf den trockeneren Standorten Trauben- und Stieleiche, auf vernässten Standorten die Stieleiche hinzu und auf den ganz armen, trockenen Standorten auch die Kiefer. Im stärker kontinentalen Bereich wird von Schwanecke und Kopp (1994) der Traubeneichen-Birken-Kiefernwald und auf besseren Standorten der Traubeneichen-Lindenwald mit Hainbuche angegeben.

Der heutige Wald wird auf unverlehmtem Sand in der BZE II in Sachsen-Anhalt zu 80 % aus Kiefernbeständen mit über 70 % Kiefernanteil gebildet (Abbildung unten). Es folgen in weitem Abstand mit jeweils 3 % Bestände aus überwiegend Fichten- oder Nadelmischwald. 8 % nimmt das sonstige Laubholz (vorwiegend Sandbirke) ein, auf 5 % der BZE II-Punkte auf unverlehmtem Sand kommen Eichenbestände vor.



Verteilung der aktuellen Bestände in der Substratgruppe unverlehmter Sand in Sachsen-Anhalt (BZE II)



Biegener-Sand-Rostpodsol (Elbe-Elsterwinkel-Sandterrasse)

Foto: W. Schmidt

Chemische Bodenkenngrößen

Als Folge zwischeneiszeitlicher Verwitterungsprozesse und starker Übernutzung in vorindustrieller Zeit sind die Waldböden, vor allem die Oberböden, häufig versauert. Mit der Industrialisierung, der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung und den hohen luftbürtigen Schwefel- und Stickstoffeinträgen ist die Versauerung auch in die Unterböden vorgedrungen. Dieser Prozess wurde regional noch verstärkt durch die früher weit verbreitete Entnahme von Waldstreu, die Plaggennutzung und die Waldweide für die Versorgung der Bevölkerung mit landwirtschaftlichen Produkten. Der damit einhergehende Biomasseexport führte zu weiterer Nährstoffverarmung der Waldböden. Wichtige bodenchemische Kenngrößen, die die Versauerung und ihre Folgen charakterisieren, sind die Austauschkapazität, die Basensättigung und die Vorräte an Calcium und Magnesium.

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 250 kmol_c je Hektar durchschnittlicher Austauschkapazität (summiert bis 90 cm Bodentiefe) liegt die Substratgruppe unverlehmter Sand in Sachsen-Anhalt auf der Grenze zwischen dem mittleren und gering-mittleren Bewertungsbereich nach der AK-Standortskartierung (2016). Damit ist die mittlere Austauschkapazität der unverlehmten Sande in Sachsen-Anhalt um 50 kmol_c je Hektar geringer als

Die Substratgruppe unverlehmter Sand

bei den unverlehmten Sanden in Niedersachsen. Die Spannbreiten sind jedoch recht hoch, sie reichen vom gering-mittleren Bewertungsbereich mit 140 kmol_c je Hektar bis zum mittel-hohen Bewertungsbereich mit über 900 kmol_c je Hektar (BZE II). Im Vergleich mit den anderen Waldstandorten in Sachsen-Anhalt zählen die unverlehmten Sande zusammen mit den Quarzen im Mittel zu den Standorten mit den geringsten Austauschkapazitäten. Die (schwach) verlehmten Sande, Lehme und Lösslehme sowie die Standorte des Berglandes (z. B. Tonschiefer) weisen deutlich höhere mittlere Austauschkapazitäten auf. Das Mittel der Austauschkapazität aller Waldstandorte in Sachsen-Anhalt der BZE II liegt bei 520 kmol_c je Hektar und damit doppelt so hoch wie die Austauschkapazität der unverlehmten Sande.

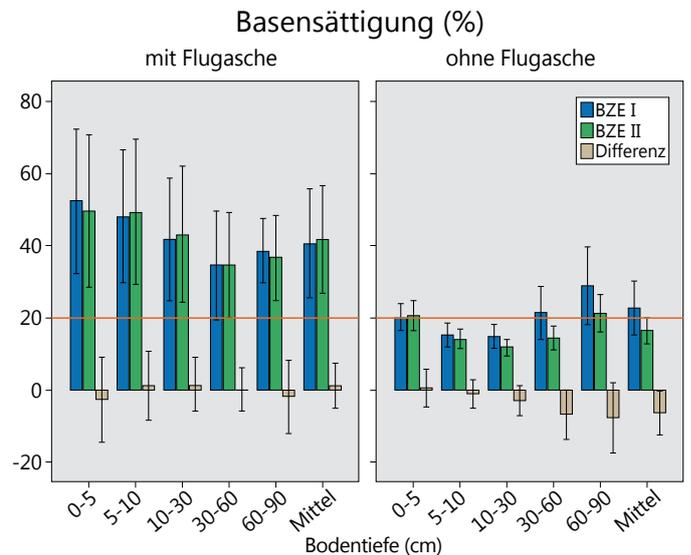
Basensättigung

Im Zuge fortschreitender Bodenversauerung werden die an der Pufferung beteiligten basischen Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium vom Austauscher 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 bis 50 % definiert und bei gut nährstoffversorgten Standorten erreicht die Basensättigung Werte über 50 %.

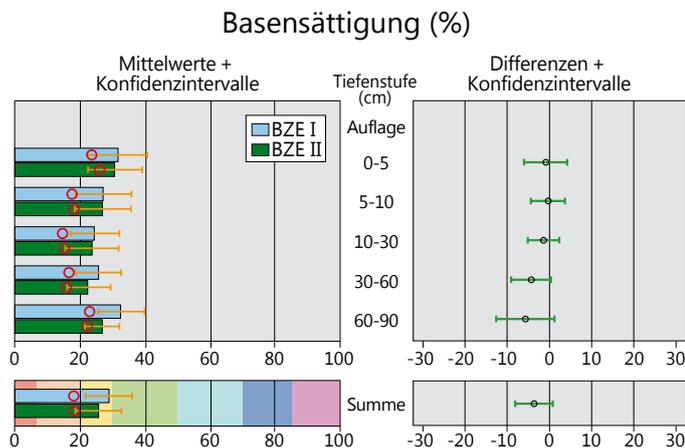
Bei den unverlehmten Sanden in Sachsen-Anhalt ergeben sich zum Zeitpunkt der BZE II auf Profilebene knapp 26 % durchschnittliche Basensättigung, was eine gering-mittlere Basenversorgung anzeigt. Der Durchschnitt für alle Waldstandorte in Sachsen-Anhalt ist deutlich höher und liegt mit 37 % im mittleren Bewertungsbereich. Die jeweils höchsten Werte in der BZE II nach Tiefenstufen finden sich in 0-5 cm Bodentiefe (Abbildung unten), hier ist der Einfluss organischer Substanz und der Flugascheeinfluss noch am höchsten. Mit zunehmender Bodentiefe sinken die Werte bis auf 23 % in der Tiefenstufe 30-60 cm, in 60-90 cm steigen sie



Commerauer-Sand-Gleysaumpodsol (Lüchow-Salzwedeler-Niederung)
Foto: W. Schmidt



Durchschnittliche Basensättigung der BZE II-Punkte auf unverlehmtem Sand in Sachsen-Anhalt mit Flugasche (n=12) und ohne Flugasche (n=27) sowie die Differenzen zwischen BZE I und II. Die orangene Linie kennzeichnet 20 % Basensättigung



Basensättigung der Substratgruppe unverlehmter Sand in Sachsen-Anhalt (n=39)

bis auf 28 %. Damit liegt die durchschnittliche Basensättigung der unverlehmten Sande in Sachsen-Anhalt deutlich über dem Länderdurchschnitt von Niedersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt (rote Kreise, Abbildung links, Teilgrafik links oben). Signifikante Veränderungen hat es zwischen der BZE I und II in Sachsen-Anhalt bei der Basensättigung in keiner Tiefenstufe und auch nicht im Profilmittel gegeben. In der Tendenz sind die durchschnittlichen Werte jedoch in den Tiefenstufen 30-60 und 60-90 cm in der BZE II deutlich geringer (Abbildung links, Grafik rechts oben).

Ein wichtiger Einflussfaktor auf die Bodenchemie in den Waldböden Sachsens-Anhalts ist der historische Flugascheeinfluss. Bei den BZE-Punkten in Sachsen-Anhalt wurde anhand der Lage zu Regionen mit viel Industrie (z. B. Raum Bitterfeld-Dübener Heide), naheliegender Braunkohleabbau oder (ehemaliger) Kraftwerke versucht, den Flugascheeinfluss als Faktor in die Auswertungen und Bewertungen einzubeziehen. In der Abbildung oben sind die BZE II-Punkte

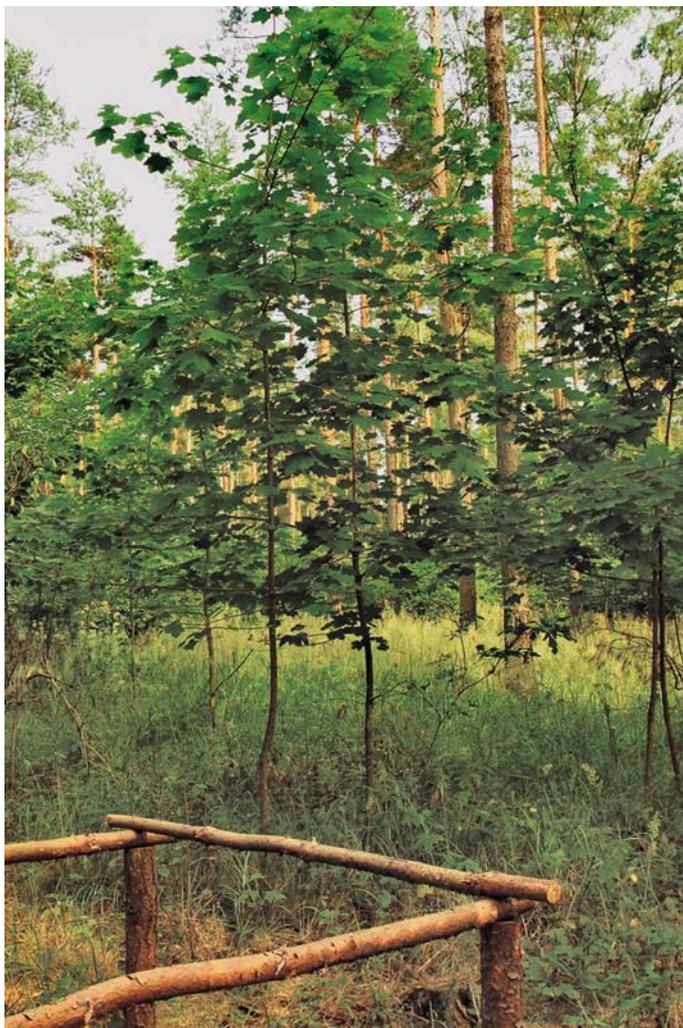
Die Substratgruppe unverlehmter Sand

auf unverlehmtem Sand hinsichtlich ihrer durchschnittlichen Basensättigung in Tiefenstufen und nach Flugascheeinfluss differenziert dargestellt. In allen Tiefenstufen und im Profilmittel sind die durchschnittlichen Basensättigungen im Flugasche beeinflussten Kollektiv mit Werten zwischen 34 und 50 % deutlich höher als im Vergleichskollektiv ohne Flugascheeinfluss mit Werten zwischen 15 und 22 %. Die Standorte ohne Flugascheeinfluss unterschreiten in der BZE II in den Bodentiefen 5-60 cm und im Profilmittel 20 % Basensättigung und sind damit ähnlich kritisch zu beurteilen wie die ungekalkten Standorte dieser Substratgruppe in Niedersachsen. In der Tendenz verringerte sich die Basensättigung auf den Punkten ohne Flugasche von der BZE I zur BZE II. 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.



Typischer Moder in einem Kiefernbestand

Foto: NW-FVA

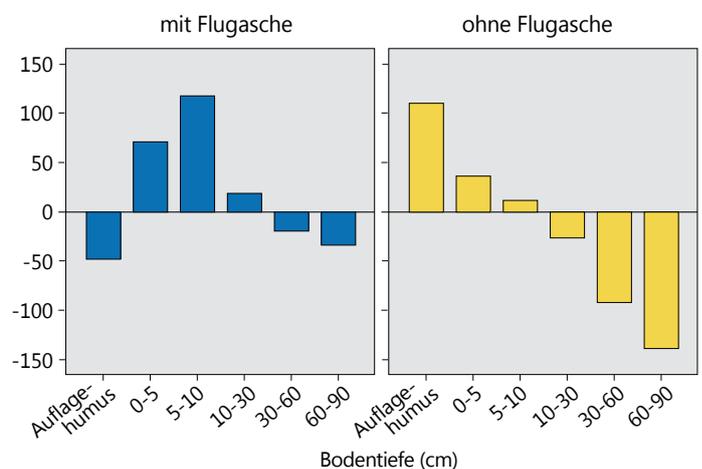


Unverlehmter Sand mit Flugascheeinfluss mit Bergahorn in der Verjüngung
Foto: W. Schmidt

Veränderung der Calcium- und Magnesiumvorräte

Im von Flugasche beeinflussten Kollektiv der unverlehmten Sande in Sachsen-Anhalt haben die Calciumvorräte insgesamt um rund 8 % bezogen auf den Vorrat der BZE I zugenommen. Die Zunahmen traten in der obersten Bodenschicht bis 30 cm Bodentiefe auf und kompensierten die Abnahmen im Auflagehumus und tieferen Mineralboden. Im von Flugasche unbeeinflussten Kollektiv dagegen kam es ab 10 cm Bodentiefe zu deutlichen Abnahmen, die auf

Differenzen der Calciumvorräte der BZE II zur BZE I (kg/ha)



Differenzen der Calciumvorräte der BZE II zur BZE I in Sachsen-Anhalt nach Tiefenstufen für die Substratgruppe unverlehmter Sand, getrennt nach Flugasche beeinflusst (n=11) und unbeeinflusst (n=17)

Die Substratgruppe unverlehmter Sand

das Gesamtprofil bezogen einen Verlust von 13 % im Vergleich zur BZE I bedeuten. Aufgrund der hohen Streuungen und geringen Stichprobenzahl sind diese Ergebnisse jedoch nur für die Zunahmen im Auflagehumus und oberem Mineralboden 0-5 cm und Abnahmen im unteren Mineralboden 60-90 cm im nicht von Flugasche beeinflussten Kollektiv signifikant.

Die Magnesiumvorräte haben sowohl im Flugasche beeinflussten als auch Flugasche unbeeinflussten Kollektiv zugenommen. Die Zunahmen von 46 % bezogen auf den Vorrat der BZE I (mit Flugasche) und 19 % (ohne Flugasche) sind signifikant.

Die Ergebnisse zeigen, dass es trotz des Rückgangs der Säureeinträge bei den unverlehmten Sanden in Sachsen-Anhalt in der Tendenz zu einer verringerten Basensättigung im Unterboden und zu Calciumverlusten aus dem Mineralboden gekommen ist. Die bis zur Wende regional im Bereich größerer Industriekomplexe und Kohlekraftwerke zusätzlich eingetragenen basischen Stäube wirkten einer weiteren Versauerung entgegen, belasten aber die Waldböden mit Schwefel und Schwermetallen zusätzlich. Zwar ist die Belastung der Böden durch den Schwefeleintrag aufgrund der Luftreinhaltemaßnahmen deutlich zurückgegangen; allerdings sind in den Böden noch erhebliche Säuremengen (Altlasten) gespeichert. Zusätzlich ist der luftbürtige Eintrag von Stickstoff weiterhin zu hoch. Regelmäßige Bodenuntersuchungen im Rahmen von Übersichtserhebungen und des Intensiven Monitorings sowie auf Versuchsflächen der Forstlichen Umweltkontrolle sind deshalb von besonderer Wichtigkeit, um Bodenveränderungen und -prozesse zu dokumentieren, zu verstehen und ggfs. Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Ernährungssituation der Kiefer

In der Substratgruppe unverlehmter Sand in Sachsen-Anhalt ist die Kiefer die Hauptbaumart. Fichte, Buche und Eiche kommen auf dieser Substratgruppe selten vor (1-3 BZE-Punkte) und werden hier nicht dargestellt. Die Bewertung der Ernährungssituation der Kiefer 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 Kiefernadelgehalte für Phosphor, Kalium, Calcium und Magnesium im Normalbereich und die Stickstoffquotienten zeigen ausgewogene Verhältnisse an (Tabelle rechts). Dies gilt sowohl für BZE II-Punkte mit und ohne Flugascheeinfluss. An keinem BZE II-Kiefern-punkt auf unverlehmtem Sand ist (latenter) Mangel an Phosphor, Kalium oder Calcium festgestellt worden. Dagegen zeigt sich latenter Magnesiummangel an sechs von 33 Punkten, wobei sich tendenziell eine etwas schlechtere Magnesiumversorgung an den BZE-Punkten ohne Flugascheeinfluss zeigt. Hier sind latenter Magnesiummangel und unharmonische N/Mg-Verhältnisse mit 22 % bzw. 35 % häufiger als an Punkten mit Flugascheeinfluss (10 %). Die Stickstoffgehalte in den Kiefernadeln haben seit der BZE I zugenommen und liegen 2007 meist (79 %) oberhalb des Normalbereichs.



Die Standorte der Substratgruppe unverlehmter Sand sind zu 80 % mit Kiefer bestockt
Foto: W. Schmidt

Elementgehalte und Stickstoffquotienten

| Baumart | Flugasche-einfluss | 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 | | 33 | 18 | 1,6 | 6,0 | 3,3 | 0,9 | 11,1 | 3,1 | 5,5 | 20,4 |
| | ja | 10 | 19 | 1,7 | 5,9 | 3,5 | 1,0 | 10,9 | 3,1 | 5,3 | 20,1 |
| | nein | 23 | 18 | 1,6 | 6,0 | 3,2 | 0,9 | 11,5 | 3,1 | 5,7 | 20,6 |

Elementgehalt im Normalbereich bzw. Stickstoffquotient ausgewogen
 Elementgehalt oberhalb des Normalbereichs

Mediane der Elementgehalte und Stickstoffquotienten in Kiefernadeln (1. Nadeljahrgang) an BZE-Punkten auf unverlehmtem Sand insgesamt und getrennt nach Flugascheeinfluss. Bewertung der Elementgehalte nach Göttlein (2015) und der Stickstoffquotienten nach Mellert u. Göttlein (2012)