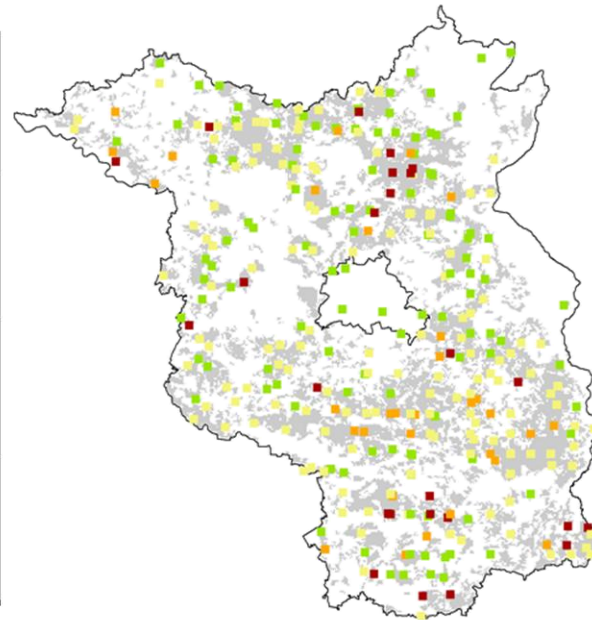
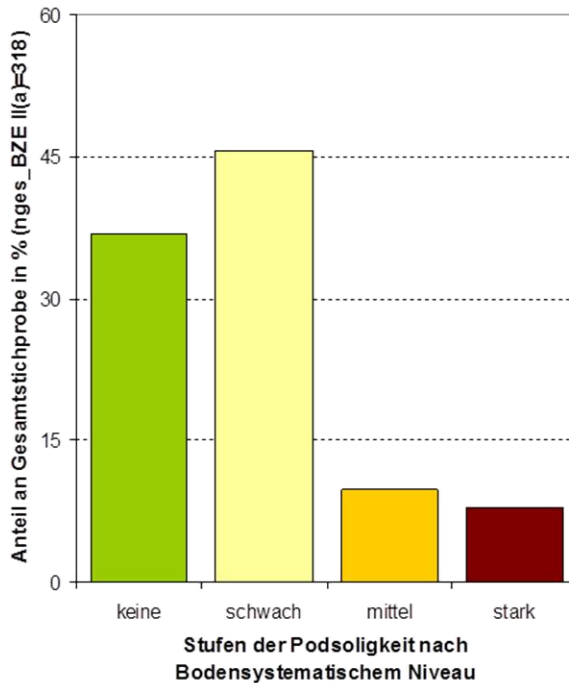




Anlass und Ziel: Die Waldgebiete Brandenburgs unterliegen seit der Reduktion der basisch wirkenden Staubdepositionen durch die Braunkohlenkraft- und Kalkwerke und des dadurch geminderten pH-Pufferungsvermögens des Bodens einer potenziellen Versauerunggefährdung. Der Versauerungszustand äußert sich in den diagnostischen Merkmalen und Ausprägungen der Horizonte und damit der Bodensystematischen Einheiten, die bei Profilaufnahmen und bodenkundlichen Kartierungen bestimmt werden.

Bewertung

gut



Legende: Stufen der Podsoligkeit von BZE II(a)-Profilen in Brandenburg
 (grün=keine; gelb=schwach; orange=mittel; rot=hoch)

Podsolierungsgrad

2.3.3.a

Methodik:

Die Feststellung des Grades der Podsoligkeit bildet eine Grundlage für das Monitoring der künftigen Entwicklung des Versauerungszustandes des Bodens. Basis für die Auswertung waren die Datensätze der Bodenzustandserhebung BZE aus dem Jahr 2006 und der BZE IIa aus dem Jahr 2009. Es lagen 162 bzw. 156 Profile mit den Ansprachen gemäß dem Bodenkundlichen Aufnahmeformblatt nach KA5 vor. Betrachtet wurden die systematischen Niveaus der Bodensystematischen Einheiten (Subvarietät bis Typ), die entsprechend der Intensität und Häufigkeit der Podsoligkeit klassifiziert wurden (siehe Tabelle und Diagramm). Profile mit keinen Podsolierungsmerkmalen repräsentieren die erste Stufe. Die zweite Stufe (schwach podsolig) bilden die Bodensystematischen Einheiten in denen die Podsoligkeit im systematischen Niveau der Varietät oder Subvarietät auftritt. Die dritte Stufe (mittel podsolig) beinhaltet die Einheiten mit der Podsoligkeit im Subtypen-niveau und die vierte Stufe (stark podsolig) sind Podsole im Niveau des Bodentyps.

Bodensystematisches Niveau	Stufe Podsoligkeit	BZE II(a) Anzahl Profile
	keine	117
Subvarietät und Varietät	schwach	145
Subtyp	mittel	31
Typ	stark	25

Ergebnis:

201 Profile der 318 untersuchten Profile, d.h. ca. 63 % der Gesamtstichprobe weisen Podsolierungsmerkmale auf. 46% sind durch schwache Podsolierungsgrade gekennzeichnet. Knapp 10% sind mittel podsolig, während knapp 8% als echte Podsole in Erscheinung treten. Bei 37% der betrachteten BZE-Profilen ist bei der Bodenansprache keine Podsoligkeit festgestellt worden.

Wertung:

Die Podsoligkeit in den Wäldern Brandenburgs befindet sich bislang auf geringem Niveau. Vor dem Hintergrund, dass die Böden bereits durch ihre Ausgangsgesteine zu großen Teilen sauer prädisponiert sind, ist der momentane Versauerungszustand auf Basis der Podsolierungsgrade als normal einzuschätzen, wenngleich bemerkt werden muss, dass Vergleichsdaten fehlen. Chemische Indikatoren deuten auf Versauerungstendenzen hin.

Maßnahmen zur Zielerreichung:

Beobachtung der Versauerungsentwicklung, Kalkungsversuche

Quelle: Forstliche Umweltkontrolle **Monitoring-Verfahren:** BZE

Datenhalter: LFE **Bearbeiter:** J. Hannemann

Referenzen, Datenabruf: Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5), 5. Aufl., Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, www.forst.brandenburg.de

2.3.3 Versauerungszustand

2.3.3a Bodentypenanteile

2.3.3b Kationenaustauschkapazität

2.3.3c Azidität

2.3.3d Austauscherbelegung



Anlass und Ziel: Saure Niederschläge und übermäßige Biomassenutzung haben in der Vergangenheit natürliche Versauerungsprozesse intensiviert und in vielen Waldböden zur Verarmung an „basischen“ Kationen geführt. Die Erfassung der Versauerungsdynamik dient dazu, die Risiken hinsichtlich Schwermetallmobilisierung, Verlust an Biodiversität, Ernährungsmangel und insgesamt für eine erhöhte Stressanfälligkeit der Waldbäume zu minimieren.

Bewertung



austauschbare Kationen nach Tiefenstufen

2.3.3b1

Methodik:

Grundlage für die Betrachtung der effektiven Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) sind die flächenrepräsentativen Stichproben der ersten (BZE-1, n=147, Aufnahme: 1992/93) und zweiten Bodenzustandserhebung (BZE-2 bzw. BZE-2a, n=322, Aufnahme 2007 bzw. 2009). Die angewandten Methoden folgen der bundesweiten Arbeitsanleitung zur BZE (BMELV 2006). Als Balkendiagramme werden die Mediane und 95%-Konfidenzbereiche der KAK_{eff} tiefenstufenweise dargestellt (Einheit: mmol_c/kg Feinboden). Für die Umrechnung der Horizontdaten in einheitliche Tiefenstufen wurden die einzelnen Profile rechnerisch zunächst in 1 cm mächtige Schichten zerlegt. Bei der Aggregation dieser Datensätze zu Tiefenstufen wurden die Konzentrationen jeder 1 cm mächtigen Schicht mit der Trockenrohddichte gewichtet.

Ergebnis:

Die effektive Kationenaustauschkapazität hat im Hauptwurzelraum signifikant zugenommen. Ab 30cm Tiefe ist kein Unterschied zwischen den beiden Inventuren erkennbar. Es ist davon auszugehen, dass die Zunahme der KAK_{eff} unmittelbar auf die Zunahme der organischen Substanz im Hauptwurzelraum zurückzuführen ist. Dieses korrespondiert mit dem Befund starker Kohlenstoffzunahmen im Mineralboden (vgl. Indikatorblatt 2.3.1b).

Wertung:

Die Bewertung der im Rahmen der Bodenzustandserhebung gewonnenen Analysedaten erfolgt auf der Grundlage etablierter Bewertungssysteme, die bei Riek & Wolff (2007) zusammengefasst sind. Die aktuellen mittleren effektiven Kationenaustauschkapazitäten sind im Oberboden als *gering* (< 40 mmol_c/kg) bis *gering/mittel* (40-70 mmol_c/kg) zu bewerten. Im Unterboden und Untergrund treten Werte im *sehr geringen* Bereich (<10 mmol_c/kg) auf. Die Zunahme der Austauschkapazität (auf niedrigem Niveau) ist sehr positiv zu bewerten, da hierdurch zusätzliche Austauscherplätze für Nährstoffkationen entstehen und sich die Nährkraft des Standortes verbessert.

Maßnahmen zur Zielerreichung

Keine Maßnahmen erforderlich

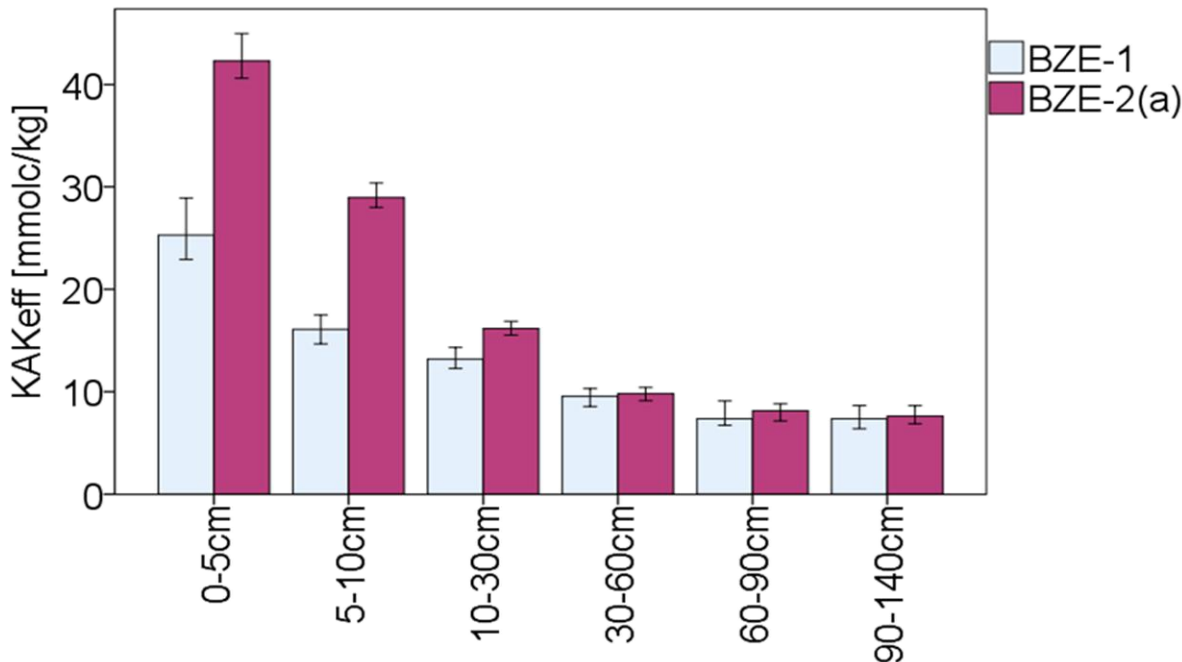
Monitoring-Verfahren: Bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE)

Datenhalter: LFE

Bearbeiter: Riek, W.

Referenzen, Datenabruf:

Riek, W. et al. (2015): Zustand und Entwicklung der brandenburgischen Waldböden. Ergebnisse der landesweiten Bodenzustandserhebungen BZE-2 und BZE-2a. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe. (in Vorbereitung). BMELV (2006): Arbeitsanleitung für die zweite bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). 2. Aufl., BMELV (Hrsg.). GAFA (2006): Handbuch Forstliche Analytik - Eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich. Gutachterausschuss Forstliche Analytik. BMVEL (Hrsg.). Riek, W., Wolff, B. (2007): Bodenkundliche Indikatoren für die Auswertung der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme Reihe B, Bd.74. Göttingen.



Legende: Mediane und 95%-Konfidenzbereiche der effektiven Kationenaustauschkapazität in unterschiedlichen Tiefenstufen des Mineralbodens im Vergleich von BZE-1 (Probennahme: 1992/93) und BZE-2(a) (Probennahme: 2006 bzw. 2009).



2 Zustands- / Wirkungsindikatoren

2.3 Bodenzustand

2.3.3 Versauerungszustand

2.3.3a Bodentypenanteile

2.3.3b Kationenaustauschkapazität

2.3.3c Azidität

2.3.3d Austauscherbelegung

Stichtag: 31.12.2009

Stand: 31.12.2014

Periode: 15 Jahre

Beginn: 1992/93

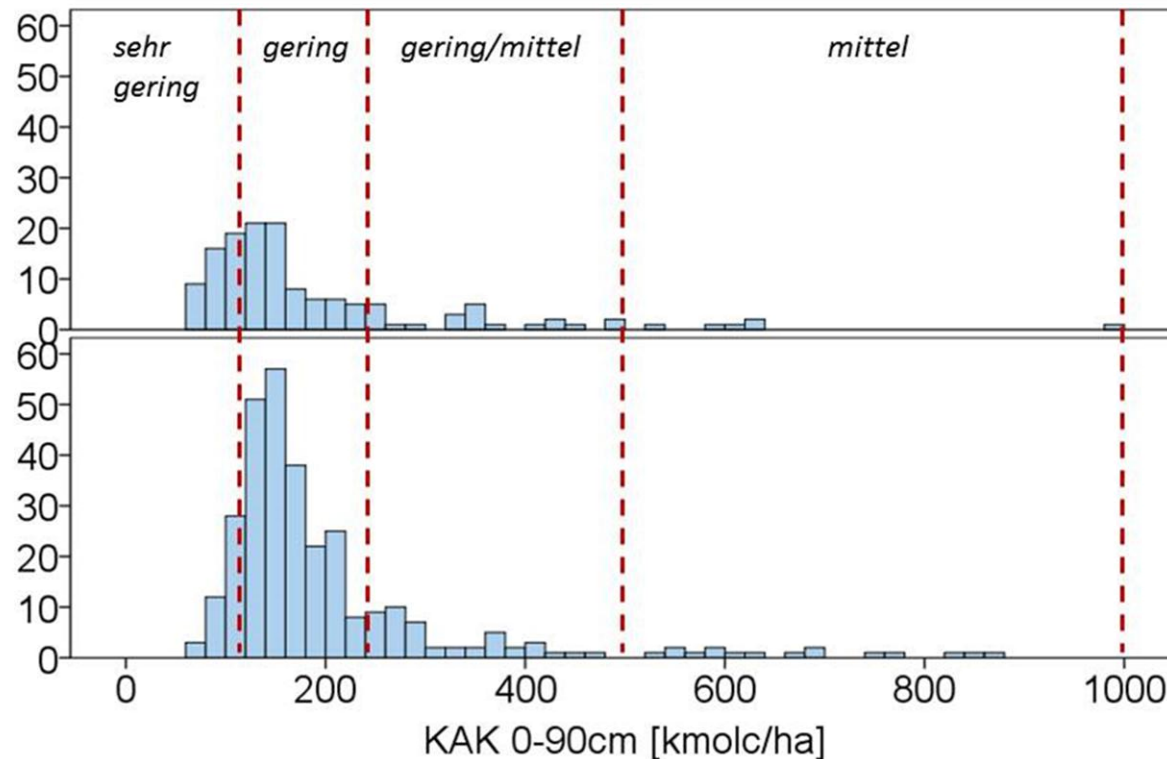
Menge austauschbarer Kationen

2.3.3b2

Methodik:

Grundlage für die Betrachtung der Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff} bzw. bei carbonathaltigen Böden KAK_{pot}) sind die flächenrepräsentativen Stichproben der ersten (BZE-1, n=147, Aufnahme: 1992/93) und zweiten Bodenzustandserhebung (BZE-2 bzw. BZE-2a, n=322, Aufnahme 2007 bzw. 2009). Die angewandten Methoden folgten weitgehend der bundesweiten Arbeitsanleitung zur BZE (BMELV 2006). Aus den tiefenstufenweise vorliegenden Daten wurden Mengen für Bodenblöcke berechnet (Einheit: $kmol_c/ha$ Feinboden).

Anlass und Ziel: Saure Niederschläge und übermäßige Biomassennutzung haben in der Vergangenheit natürliche Versauerungsprozesse intensiviert und in vielen Waldböden zur Verarmung an „basischen“ Kationen geführt. Die Erfassung der Versauerungsdynamik dient dazu, die Risiken hinsichtlich Schwermetallmobilisierung, Verlust an Biodiversität, Ernährungsmangel und insgesamt für eine erhöhte Stressanfälligkeit der Waldbäume zu minimieren.



Legende: Histogramme der effektiven Kationenaustauschkapazität im Mineraboden (0-90cm Tiefe) im Vergleich von BZE-1 (Probennahme: 1992/93) und BZE-2(a) (Probennahme: 2006 bzw. 2009). Auf der Ordinate der Diagramme ist die Anzahl der BZE-Punkte dargestellt.

Ergebnis:

Exemplarisch sind die Mengen austauschbarer Kationen im Bodenblock 0-90cm Tiefe im Vergleich von BZE-1 und BZE-2(a) als Histogramme dargestellt. Auf den gesamten mineralischen Bodenkörper von 0-90cm Tiefe bezogen lassen sich zwischen den beiden Inventuren keine signifikanten Unterschiede absehen. Die Verteilungen von BZE-1 und BZE-2(a) weisen jedoch auf eine leichte Abnahme des Anteils der Punkte mit besonders niedrigen Werten hin. Hierin spiegelt sich die Kohlenstoffzunahme der Stichprobe wider (vgl. Indikatorblatt 2.3.1b), da die organische Substanz als Austauscher wirkt.

Wertung:

Die Bewertung der im Rahmen der Bodenzustandserhebung gewonnenen Analysedaten erfolgt auf der Grundlage etablierter Bewertungssysteme, die bei Riek & Wolff (2007) zusammengefasst sind. Danach liegt die Mehrheit der Inventurpunkte im Bereich der Bewertungsstufen *gering/mittel* ($100-250 kmol_c/ha$) und *mittel* ($250-500 kmol_c/ha$). Der Anteil der Werte im *geringen* und *sehr geringen* Bereich ($KAK_{eff} < 100 kmol_c/ha$ bzw. $< 50 kmol_c/ha$) treten bei der BZE-1 auf 19% der Inventurpunkte und bei der BZE-2(a) nur noch auf 5% der Stichprobe auf. Insbesondere für Sandböden ist dieser Befund der Zunahme von Austauscherpotenzial positiv zu bewerten.

Maßnahmen zur Zielerreichung

Keine Maßnahmen erforderlich

Monitoring-Verfahren: Bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE)

Datenhalter: LFE

Bearbeiter: Riek, W.

Referenzen, Datenabruf: Riek, W. et al. (2015): Zustand und Entwicklung der brandenburgischen Waldböden. Ergebnisse der landesweiten Bodenzustandserhebungen BZE-2 und BZE-2a. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe. (in Vorbereitung). BMELV (2006): Arbeitsanleitung für die zweite bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). 2. Aufl., BMELV (Hrsg.). GAFA (2006): Handbuch Forstliche Analytik - Eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich. Gutachterausschuss Forstliche Analytik. BMVEL (Hrsg.). Riek, W., Wolff, B. (2007): Bodenkundliche Indikatoren für die Auswertung der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme Reihe B, Bd.74. Göttingen.



Anlass und Ziel: Saure Niederschläge und übermäßige Biomassenutzung haben in der Vergangenheit natürliche Versauerungsprozesse intensiviert und in vielen Waldböden zur Verarmung an „basischen“ Kationen geführt. Die Erfassung der Versauerungsdynamik dient dazu, die Risiken hinsichtlich Schwermetallmobilisierung, Verlust an Biodiversität, Ernährungsmangel und insgesamt für eine erhöhte Stressanfälligkeit der Waldbäume zu minimieren.

Stichtag: 31.12.2009
 Stand: 31.12.2016
 Periode: 15 Jahre
 Beginn: 1992/93

pH(KCl) nach Tiefenstufen

2.3.3c

Methodik:

Grundlage für die Betrachtung der Bodenazidität sind die flächenrepräsentativen Stichproben der ersten (BZE-1, n=147, Aufnahme: 1992/93) und zweiten Bodenzustandserhebung (BZE-2 bzw. BZE-2a, n=322, Aufnahme 2007 bzw. 2009).

Ergebnis:

Die pH-Werte haben im gesamten Bodenprofil abgenommen. In der Humusaufgabe und im mineralischen Oberboden bis 60cm Tiefe sind die Unterschiede signifikant. Besonders drastisch ist die Zunahme der Bodenazidität im Auflagehumus und Oberboden, wo aktuell die Mehrheit der untersuchten Böden (89%) dem Aluminium-Eisen-Pufferbereich (pH < 3.8) oder Eisenpufferbereich (pH < 3.2) zuzuordnen sind. In der Tiefenstufe 0-5cm waren bei der BZE-Erstinventur nur 9% dem Eisenpufferbereich zuzuordnen; bei der BZE-2 sind es bereits 45% der Inventurpunkte.

Bewertung



Wertung:

Die Wertung der im Rahmen der Bodenzustandserhebung gewonnenen Analysedaten erfolgt auf der Grundlage etablierter Bewertungssysteme, die bei Riek & Wolff (2007) zusammengefasst sind. Danach besteht aufgrund der Zuordnung zu Pufferbereichen im Oberboden Säurestress durch toxische Kationsäurekonzentrationen in der Bodenlösung. Es ist davon auszugehen, dass die bodenbiologische Aktivität auf der Mehrheit der Standorte durch die hohe Bodenazidität begrenzt wird. Dass auch der Unterboden – insbesondere unter Kiefernbeständen mit schwer zersetzbarer Streu - über Basenpumpeneffekte nicht zur Verbesserung dieser Verhältnisse beiträgt, geht aus den teilweise extrem niedrigen pH-Werten des Auflagehumus hervor. Hier liegen die pH-Werte auf 18% der Standorte unter 2,8 mit Extremwerten um 2,5.

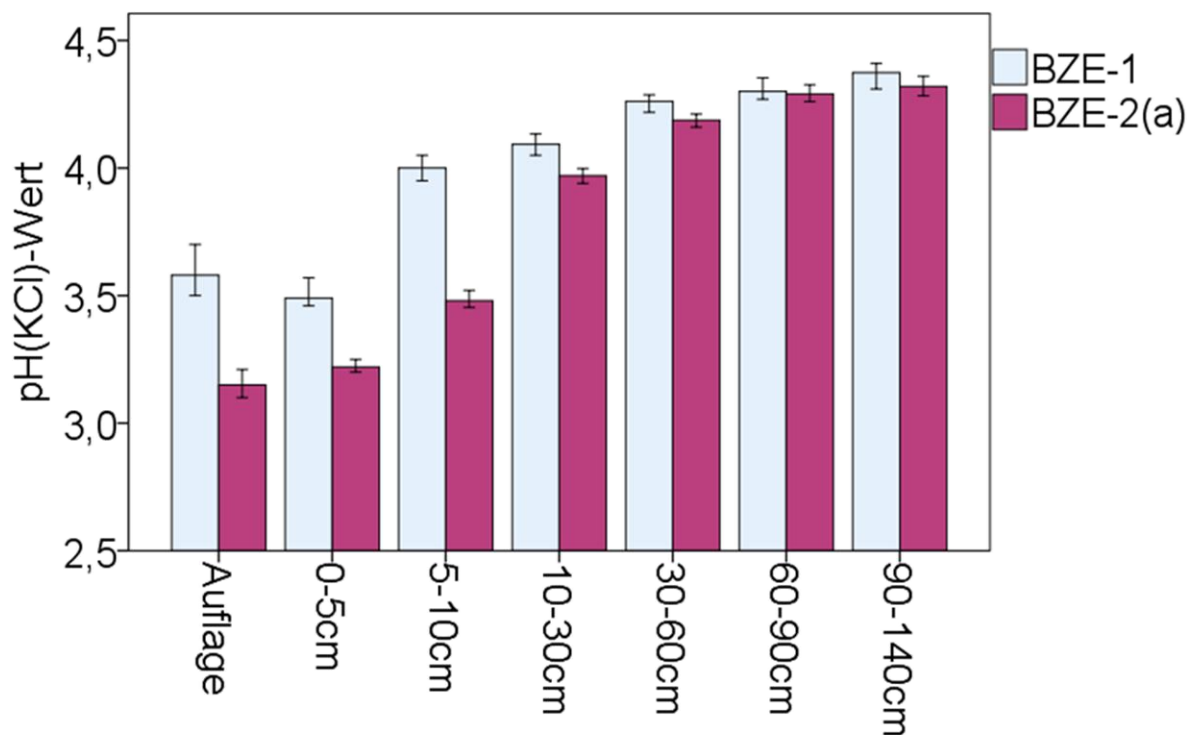
Maßnahmen zur Zielerreichung:

Nutzung von Basenpumpeneffekten durch Waldumbau auf geeigneten Flächen; Reduktion der Nutzungsintensität; Anlage von Referenzflächen zur Beobachtung der Kalkungswirkung; weitere Reduktion versauernd wirkender Stickstoffeinträge durch Luftreinhaltemaßnahmen.

Monitoring-Verfahren: Bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE)

Datenhalter: LFE

Bearbeiter: Riek, W.



Legende: Mediane und 95%-Konfidenzbereiche pH(KCl)-Werte in unterschiedlichen Tiefenstufen des Mineralboden und der Humusaufgabe im Vergleich von BZE-1 (Probennahme: 1992/93) und BZE-2(a) (Probennahme: 2006 bzw. 2009).

Referenzen, Datenabruf: Riek, W. et al. (2015): Zustand und Entwicklung der brandenburgischen Waldböden. Ergebnisse der landesweiten Bodenzustandserhebungen BZE-2 und BZE-2a. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe. (in Vorbereitung). BMELV (2006): Arbeitsanleitung für die zweite bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). 2. Aufl., BMELV (Hrsg.). GAFA (2006): Handbuch Forstliche Analytik - Eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich. Gutachterausschuss Forstliche Analytik. BMVEL (Hrsg.). Riek, W., Wolff, B. (2007): Bodenkundliche Indikatoren für die Auswertung der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme Reihe B, Bd.74. Göttingen.



Anlass und Ziel: Saure Niederschläge und übermäßige Biomassenutzung haben in der Vergangenheit natürliche Versauerungsprozesse intensiviert und in vielen Waldböden zur Verarmung an „basischen“ Kationen geführt. Die Erfassung der Versauerungsdynamik dient dazu, die Risiken hinsichtlich Schwermetallmobilisierung, Verlust an Biodiversität, Ernährungsmangel und insgesamt für eine erhöhte Stressanfälligkeit der Waldbäume zu minimieren.

Stichtag: 31.12.2009
 Stand: 31.12.2016
 Periode: 15 Jahre
 Beginn: 1992/93

Basensättigung

2.3.3d

Methodik:

Grundlage für die Betrachtung der Basenanteile am Austauschkomplex bilden die flächenrepräsentativen Stichproben der ersten (BZE-1, n=147, Aufnahme: 1992/93) und zweiten Bodenzustandserhebung (BZE-2 bzw. BZE-2a, n=322, Aufnahme 2007 bzw. 2009). Für die Umrechnung der Horizontdaten in einheitliche Tiefenstufen wurden die einzelnen Profile rechnerisch zunächst in 1 cm mächtige Schichten zerlegt. Bei der Aggregation dieser Datensätze zu Tiefenstufen wurden die Konzentrationen jeder 1 cm mächtigen Schicht mit der Trockenrohddichte gewichtet.



Bewertung

Ergebnis:

Die Basensättigung hat zwischen BZE-1 und BZE-2(a) in erheblichem Maß abgenommen. Diese Abnahme betrifft das gesamte Bodenprofil insbesondere auch den Untergrund der sich hinsichtlich der Austauscherbelegung in vielen Fällen kaum noch vom Oberboden unterscheidet. Es treten zunehmend flache Tiefengradienten der Basensättigung in Erscheinung, was auf nur geringe Pufferreserven im Unterboden hinweist. Hierbei ist zu beachten, dass zahlreiche Standorte durch Baseneinträge aus Staubdepositionen aus der Braunkohleverbrennung in der Vergangenheit aufgebast worden sind und sich diese Vorräte nun durch Pufferprozesse aufgebraucht haben. In diesen Fällen sind die geringen Basensättigungsgrade wahrscheinlich naturnäher als die durch Aufbasung künstlich erhöhten Werte.

Wertung:

Die Bewertung der im Rahmen der Bodenzustandserhebung gewonnenen Analysedaten erfolgt auf der Grundlage etablierter Bewertungssysteme, die bei Riek & Wolff (2007) zusammengefasst sind. Im Hauptwurzelraum (0-30cm Tiefe) weisen 10% der Inventurpunkte *sehr geringe* Basensättigungen auf (BS < 5%) und 70% *geringe* Werte (BS < 15%). Die Bewertung des Basensättigungsgrades der Böden sollte stets in Verbindung mit der Ernährungssituation der Bäume betrachtet werden. Solange hier keine ausgeprägten Nährstoffmängel auftreten, besteht offensichtlich noch die Möglichkeit für die Waldbäume, sich kleinräumig auftretende Nährstoffreserven zu erschließen.

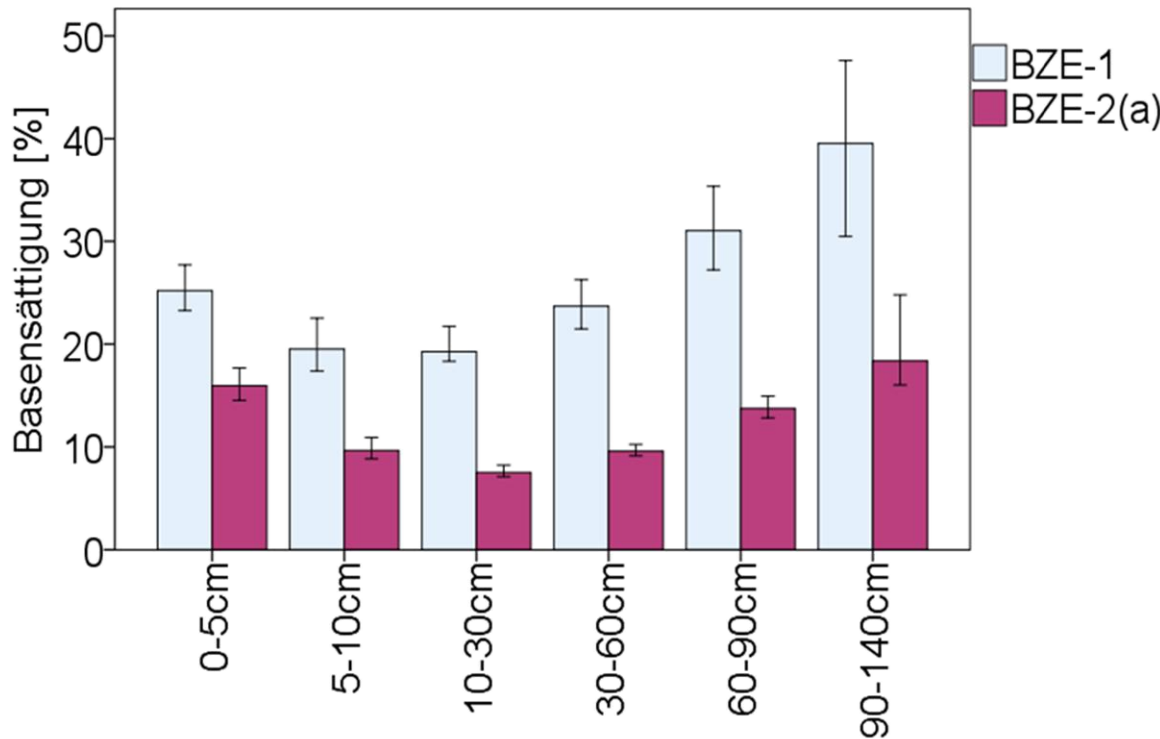
Maßnahmen zur Zielerreichung: Auf Standorten mit geringer Basensättigung ist bei der Bewirtschaftung in besonderem Maße auf Nachhaltigkeit zu achten und der Nährstoffexport mit der Biomasseentnahme so gering wie möglich zu halten. Durch Waldumbau sind auf geeigneten Flächen mögliche Basenpumpeneffekte zu nutzen.

Monitoring-Verfahren: Bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE)

Datenhalter: LFE

Bearbeiter: Riek, W.

Referenzen, Datenabruf: Riek, W. et al. (2015): Zustand und Entwicklung der brandenburgischen Waldböden. Ergebnisse der landesweiten Bodenzustandserhebungen BZE-2 und BZE-2a. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe. (in Vorbereitung). BMELV (2006): Arbeitsanleitung für die zweite bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). 2. Aufl., BMELV (Hrsg.). GAFA (2006): Handbuch Forstliche Analytik - Eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich. Gutachterausschuss Forstliche Analytik. BMVEL (Hrsg.). Riek, W., Wolff, B. (2007): Bodenkundliche Indikatoren für die Auswertung der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme Reihe B, Bd.74. Göttingen.



Legende: Mediane und 95%-Konfidenzbereiche der Basensättigung in unterschiedlichen Tiefenstufen des Mineralbodens im Vergleich von BZE-1 (Probennahme: 1992/93) und BZE-2(a) (Probennahme: 2006 bzw. 2009).

Indikator 2.3.3 Versauerungszustand

Zusammenfassende Charakteristik der Merkmale

Merkmale		Veränderung	Erläuterung
a	Bodentypenanteile nach Podsoligkeitsgrad	Erstaufnahme	Die Podsoligkeit der Waldböden Brandenburgs befindet sich auf geringem Niveau
b1	Kationenaustauschkapazität nach Tiefenstufen	angestiegen	Anstieg bedingt durch Zunahme der organischen Bodensubstanz
b2	Menge austauschbarer Kationen	angestiegen	Anstieg bedingt durch Zunahme der organischen Bodensubstanz
c	Azidität	angestiegen	Anstieg der Azidität durch Verlust an Puffersubstanz
d	Austauscherbelegung (Basensättigung)	abgesunken	Verlust von Puffersubstanz

Gesamtbewertung:

Der zwischen BZE-1 und BZE-2(a) konstatierte Zuwachs der organischen Bodensubstanz wirkt sich positiv auf die Höhe der Kationenaustauschkapazität aus. Das Nährkraftpotenzial der Standorte hat sich durch die Humuszunahme somit verbessert. Gleichmaßen ist über den bisherigen Inventurzeitraum eine ausgeprägte Bodenversauerung zu verzeichnen, die sich in signifikant abnehmenden Basensättigungen und sinkenden pH-Werten äußert.

Die Bewertung der Basensättigungen sollte stets auch in Verbindung mit der Ernährungssituation der Bäume betrachtet werden. Solange hier keine bedeutenden Nährstoffmängel auftreten, ist anzunehmen, dass aktuell auch auf den basenarmen Standorten noch hinreichend Nährstoffreserven im Wurzelraum erschlossen werden können.

Hinsichtlich der Dynamik von pH-Wert und Basensättigung ist besonders zu beachten, dass zahlreiche Waldstandorte durch großflächige Staubeinträge aus der Braunkohleverbrennung in der Vergangenheit (1970er, 1980er Jahre) „aufgebast“ worden sind. Die Verringerung der Basensättigung kann auf den betroffenen Standorten somit als Aufbrauch dieser künstlich eingetragenen Basen gedeutet werden.