

Forstwirtschaft



Zustand der Waldböden im Land Brandenburg

Praxisempfehlungen für die nachhaltige
und bodenpflegliche Bewirtschaftung
der Wälder

Zustand der Waldböden im Land Brandenburg

Praxisempfehlungen für die nachhaltige
und bodenpflegliche Bewirtschaftung
der Wälder

FORSTWIRTSCHAFT IN DEUTSCHLAND

Vorausschauend aus Tradition

Impressum:

Herausgeber: Ministerium für Landwirtschaft,
Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg
Landesbetrieb Forst Brandenburg

Autoren: Prof. Dr. Winfried Riek, Dr. Alexander Russ
Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde

Gesamtherstellung: Brandenburgische Universitätsdruckerei und Verlagsgesellschaft Potsdam mbH
Karl-Liebnecht-Straße 24/25
14476 Potsdam (OT Golm)

1. Auflage: 3.000 Exemplare, gedruckt auf PEFC-Papier.

Titelfoto: W. Riek
Fotos im Text: Von den Autoren der Beiträge, wenn nicht anders vermerkt.



Eberswalde, im Dezember 2020

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK) des Landes Brandenburg kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbenden während des Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen. Missbräuchlich sind insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen von Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen und Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung Brandenburgs zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte.

Die BZE-3 wirft ihre Schatten voraus...

Derzeit wird auf Bundes- und Länderebene die Organisation und Durchführung der mittlerweile dritten bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE-3) vorbereitet. Auch in Brandenburg sind entsprechende Vorarbeiten zur Umsetzung der für den Zeitraum 2022 bis 2024 geplanten Geländeuntersuchungen und Laboranalysen in vollem Gange.

Dies ist unser Anlass, die wichtigsten Themen aus dem brandenburgischen Waldbodenbericht Revue passieren zu lassen und zusammenfassend aufzuzeigen, welche Folgerungen sich für die Forstpraxis aus den bislang durchgeführten Bodeninventuren ergeben haben.

Die vorliegende Broschüre liefert eine kurzgefasste Bilanz zum aktuellen Bodenzustand und dessen Entwicklung sowie wissenschaftlich untersetzte Hinweise, um der Bedeutung des Bodens bei der Waldbewirtschaftung gerecht zu werden – beispielsweise durch die Baumartenwahl und Festlegung der forstlichen Nutzungsintensität auf standörtlicher Grundlage. Dieses lohnt sich in vielfacher Hinsicht, denn:

Gesunde Böden sind die Grundlage für produktive und anpassungsfähige Wälder und damit einer nachhaltigen und erfolgreichen Forstwirtschaft!

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Allgemeine Einordnung | 6 |
| Geologische Grundlagen und Waldbodentypen | 8 |
| Waldböden als Kohlenstoffspeicher | 11 |
| Bodenversauerung und Nährstoffversorgung | 13 |
| Wasserhaushalt im Klimawandel | 19 |
| Belastung der Waldböden durch Stickstoffeinträge | 24 |
| Sonstige Schadstoffbelastungen der Waldböden | 27 |
| Böden als Produktionsgrundlage | 30 |
| Schlussbetrachtung und Ausblick | 34 |

Einführung

Zustand und Entwicklung der Waldböden und deren Bedeutung im Klimawandel – dies waren die zentralen Themen des als Doppelband der Eberswalder Forstlichen Schriftenreihe erschienenen Waldbodenberichts für Brandenburg, in dem die Ergebnisse der zweiten bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) dargestellt sind¹. Der Bericht enthält ausführliche statistische Analysen zur Ausprägung und Verteilung zahlreicher Bodenkennwerte und deren Veränderung über die Zeit sowie daraus abgeleitete Szenarien für die Zukunft. Der Waldbodenbericht ist ein wissenschaftlicher Bericht. In der vorliegenden Broschüre wird versucht, die ermittelten Befunde fachlich fundiert so zu präsentieren, dass sie einem breiteren Leserkreis aus der forstlichen Praxis zugänglich werden und bei der Waldbewirtschaftung Berücksichtigung finden können. Die wichtigsten Ergebnisse der BZE werden fragengeleitet zusammengeführt und – soweit es sich ergibt – entsprechende Praxisempfehlungen mit Blick auf die nachhaltige und bodenpflegliche Waldbewirtschaftung ausgesprochen.

Gegenwärtig rückt der Boden verstärkt in den Mittelpunkt des forstlichen und auch des öffentlichen Interesses. Die Waldböden seien so trocken wie noch nie und für die unter Wassermangel leidenden und gestressten Bäume Insektenkalamitäten und Waldbrände vorprogrammiert, so die immer wiederkehrenden Nachrichten der Sommermonate 2018 und 2019. Tatsächlich übernehmen unsere Böden vor dem Hintergrund des regionalen Klimawandels eine immer wichtigere Funktion als Wasser- und Nährstoffspeicher während der von Jahr zu Jahr länger anhaltenden Trockenphasen. Ist die Wasser- und Nährstoffversorgung gestört, so können biotische Faktoren folgenschwere Sekundärschäden hervorrufen und im Extremfall ganze Bestände zum Absterben bringen.

Die Waldbrände der jüngsten Vergangenheit, Stürme und Insektenkalamitäten haben Kahlflecken und aufgelichtete Bestände geschaffen. Auch im Umgang mit diesen kritischen Schädflächen richtet sich die zentrale Frage auf den aktuellen Bodenzustand, um eine standortgerechte und stabile(re) Wiederbewaldung einleiten zu können. Schließlich tragen die als bodenpfleglich und nachhaltig identifizierten Bewirtschaftungsmaßnahmen nicht nur zur Sicherung und Verbesserung von Bodenfruchtbarkeit und Humuszustand bei, sondern stellen darüber hinaus auch ein Regulativ für die forstliche Nutzung mit Blick auf zahlreiche für den Wald von Naturschutzseite geforderte Aspekte dar. Der Boden ist somit auch ein Bindeglied zwischen den am Holzertrag orientierten Ansprüchen und den stärker auf den Naturschutz abzielenden Belangen und könnte die Grundlage für deren Integration in der forstlichen Praxis bilden.

In diesem Kontext sollen die hier dargelegte Zusammenfassung von BZE-Befunden und die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen für die praktische Waldbewirtschaftung einen Beitrag dazu leisten, die multifunktionale Entwicklung der brandenburgischen Wälder (in buchstäblich fundamentaler Art und Weise) zu fördern und zu sichern.

¹ Riek, W., Russ, A., Kühn, D. (2015): Waldbodenbericht Brandenburg. Ergebnisse der landesweiten Bodenzustandserhebung BZE-2 und BZE-2a. Band 1. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe. Bd.60. 172 S.
Riek, W. Russ, A. (2019): Waldbodenbericht Brandenburg. Weitere Ergebnisse der landesweiten Bodenzustandserhebung und Folgerungen für die nachhaltige Waldnutzung. Band 2. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe. Bd.68. 236 S.



Abb.1: Waldbodenbericht Brandenburg, Band 1 und 2

ALLGEMEINE EINORDNUNG

1. Was ist die „Bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald“?

Die Bodenzustandserhebung (BZE) im Wald ist ein Teil des bundes- und europaweiten forstlichen Umweltmonitorings. Auf der Grundlage eines flächenrepräsentativen Stichprobenetzes dient sie der regelmäßigen Erfassung des Bodenzustandes und der Ernährungssituation der Waldbäume. Dabei kommen länderübergreifend harmonisierte Methoden der Probenahme und Analytik zum Einsatz, die in einer entsprechenden Arbeitsanleitung festgeschrieben sind.

Im Land Brandenburg erfolgte die erste Bodenzustandserhebung in den Jahren 1992/93 auf dem 8x8-km-Grundraster der damaligen Waldschadenserhebung (BZE-1). Die Wiederholungsinventur auf diesen Erhebungspunkten wurde in den Jahren 2006 - 2009 durchgeführt (BZE-2). Darüber hinaus erfolgte 2009 - 2011 eine Bodenzustandserfassung auf brandenburgischen Flächen der Bundeswaldinventur ebenfalls im 8x8-km-Raster (BZE-2a). Die Gesamtstichprobe des aktuellen Erhebungsnetzes umfasst 322 Inventurpunkte (bundesweit: ca. 1.900 Punkte). Die dritte Bodenzustandserhebung (BZE-3) ist für den Zeitraum 2022 - 2024 terminiert.

Auf europäischer Ebene ermöglichen die BZE-Daten im Rahmen des sogenannten Level I-Programms die EU-weite Berichterstattung zum Bodenzustand. Diese wird ergänzt durch das Intensivmonitoring des Level II-Programms mit 7 Dauermessflächen im Land Brandenburg.

2. Welche Ziele verfolgt die Bodenzustandserhebung?

Das übergeordnete Ziel der BZE ist es, zuverlässige und bundesweit repräsentative Informationen über den Zustand und die Veränderung von Bodenkennwerten im Wald zu liefern und dadurch die Beantwortung umweltbezogener, forstlicher und bodenschutzrelevanter Fragestellungen zu ermöglichen.

Die BZE ist auf folgende bodenkundlich bedeutende Kernthemen ausgerichtet:

- Kohlenstoffspeicherung
- Bodenversauerung
- Wasserhaushalt und Klimawandel
- Stickstoffsättigung
- Schadstoffbelastung

Neben den umweltspezifischen Gesichtspunkten steht der Boden als natürliche Produktionsgrundlage der Forstwirtschaft im Mittelpunkt. Die Interpretation der gewonnenen Primärdaten mit Blick auf die nachhaltige Nutzung der Wälder erfolgt anhand eines für das Land Brandenburg ausgearbeiteten Indikatorensystems. Die Verallgemeinerung der statistischen Zusammenhänge mit Hilfe von Modellen macht die BZE-Befunde für die Praxis nutzbar. Durch statistische Regionalisierungsansätze lassen sich die gewonnenen Ergebnisse von den Erhebungspunkten in die Waldfläche übertragen.

Durch die regelmäßige Durchführung der BZE wird eine verlässliche Datengrundlage zur Beantwortung vielfältiger forstökologischer Fragestellungen geschaffen und fortgeschrieben. Diese soll den regionalen Forstbehörden, Waldbesitzern und Forstbetrieben als Entscheidungshilfe für waldbauliche Planungen zur Sicherung der Waldbodenfunktionen und Stabilisierung der Waldökosysteme dienen.

3. Wie wird die BZE in Brandenburg durchgeführt und wer ist beteiligt?

Die bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald ist eine Gemeinschaftsaufgabe des Bundes und der Länder. Die Vorbereitung, die fachliche Begleitung und die Koordination der Inventur erfolgen auf Bundesebene durch eine Bund-Länder-Arbeitsgruppe unter der Federführung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft sowie des Thünen-Instituts für Waldökosysteme in Eberswalde.

Im Land Brandenburg obliegt die Koordination und Auswertung der BZE dem Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE). Als Betriebsteil des Landesbetriebes Forst Brandenburg erfüllt das LFE wissenschaftliche Beratungsaufgaben im Gesamtkomplex Wald und Forstwirtschaft. Die Anlage der Bodengruben konnte vollständig durch Waldarbeiter des Landesforstbetriebs bewerkstelligt werden. Überdies unterstützten diese die Absicherung der Zapfenpflücker-Einsätze zur Entnahme von Nadel- und Blattproben. Alle potenziellen Munitionsverdachtsflächen (15 % aller BZE-Punkte) mussten in Absprache zwischen Landesbetrieb Forst und dem Kampfmittelbeseitigungsdienst Brandenburg geprüft und ggf. beräumt werden. Die sich an die Flächeneinrichtung anschließenden Feldarbeiten und die Bodenprobenentnahme wurden als Dienstleistung an private Firmen vergeben.

Darüber hinaus bestand eine enge Zusammenarbeit mit dem Dezernat Bodengeologie des Landesamts für Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR) sowie mit der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE) im Rahmen von gemeinsamen Kooperationsvereinbarungen. Im zentralen ökologischen Labor der HNEE konnten alle anfallenden Bodenanalysen und Analysen von Pflanzenmaterial durchgeführt werden. Das Hochschullabor beteiligte sich hierzu erfolgreich an den erforderlichen bundes- und EU-weiten BZE-Ringtests zur Qualitätskontrolle.

GEOLOGISCHE GRUNDLAGEN UND WALDBODENTYPEN

4. Welches sind die häufigsten Ausgangsgesteine der brandenburgischen Waldböden?

Die für die Bodenbildung oberflächlich anstehenden Ausgangsmaterialien sind überwiegend Lockergesteine aus der Eiszeit. Gletschereis hat Gesteinsmaterial, das ursprünglich im skandinavischen Raum beheimatet war, nach Brandenburg gebracht. Beim Abtauen des Eises wurde dieses Material freigesetzt und durch die Gletscherwasserströme transportiert. Leichte Partikel wurden später vom Wind, der über die vegetationslose Landschaft der Nacheiszeit fegte, großräumig verteilt. In der für die Gesamtwaldfläche repräsentativen BZE-Stichprobe kann zwischen folgenden Ausgangsmaterialien der Bodenbildung unterschieden werden:

Schmelzwasser- und Talsande wurden beim Abtauen des Eises ausgespült und den Endmoränen als sogenannte Sander vorgelagert oder sedimentierten in Form von eiszeitlichen Flussablagerungen in den großen Urstromtälern. Diese Substrate zeichnen sich je nach Alter der Ablagerung durch eine *geringe bis mäßig hohe* Nährstoffnachlieferung aus und besitzen meist eine *geringe* Wasserspeicherkapazität. Bei etwa 75 % der BZE-Stichprobe bilden Schmelzwasser- und Talsande das Ausgangsmaterial der Bodenbildung.

Geschiebelehm und -mergel sind die von Steinen und Blöcken durchsetzten Ablagerungen der Grund- und Endmoränen. Der Lehm ist ein Gemisch verschiedenster Korngrößen von groben Sandkörnern bis zu feinsten Tonpartikeln. Enthält der Geschiebelehm Kalk, spricht man von Geschiebemergel. Die auf diesen Substraten entstehenden Böden sind besonders fruchtbar und stehen daher historisch bedingt eher unter landwirtschaftlicher Nutzung. Bei der Bodenzustandserhebung wurden Geschiebelehme an 13 % und Geschiebemergel lediglich an 3 % der Inventurpunkte nachgewiesen.

Flugsande sind Windablagerungen. Sie verwittern äußerst nährstoffarm, da sie überwiegend aus Quarz bestehen. Entsprechend ist die Fruchtbarkeit der Böden aus Flugsand sehr gering. An fast 15 % der brandenburgischen BZE-Punkte besteht der Oberboden aus Flugsand. Betrachtet man den Untergrund (100 cm Tiefe) findet sich Flugsand nur noch bei etwa 3 % der Stichprobe.

Weitere Ausgangsmaterialien sind auf Nassstandorten gebildete Torfsubstrate sowie durch den Menschen umgelagerte Sedimente im Bereich der Bergbaufolgelandschaften. Sie machen in Summe – je nach betrachteter Bodentiefe – einen Anteil von 3-12 % der BZE-Stichprobe aus.

5. Welche Waldbodentypen lassen sich finden? Wie sind diese standortskundlich zu bewerten?

Böden hängen in vielfältiger Weise vom Ausgangsgestein ab. Ihre Entwicklung wird außerdem vom Klima, Wasser, Relief und den Organismen sowie dem Zusammenwirken dieser Faktoren bestimmt. Aus den überwiegend sandigen Substraten sind vor allem *Braunerden* hervorgegangen. Die Braunerde ist der in Brandenburg am weitesten verbreitete Waldbodentyp. An fast zwei Drittel der flächenrepräsentativen BZE-Stichprobe wurden Norm-Braunerden und Subtypen der Braunerde mit unterschiedlichen Podsoligkeitsgraden angetroffen. In dieser Gruppe finden sich die unterschiedlichsten Ausprägungen bodenchemischer Eigenschaften. Deshalb variiert auch die standortskundliche Bewertung der Sandbraunerden in einem recht breiten Spektrum von *ziemlich armen* bis hin zu *kräftigen* Standorten.

Podsole kommen meist auf reinen Sanden vor, die aufgrund des geringen Puffervermögens leicht zur Versauerung neigen. Ihre Verbreitung konzentriert sich auf Standorte der Flugsande sowie Decksande über Tal- und Schmelzwassersanden. Unter den Waldstandorten der BZE-Stichprobe finden sich 7 % Podsole inklusive Übergangsformen zur Braunerde. Standortskundlich sind die Podsole überwiegend als *ziemlich arm* bis *arm* anzusprechen. Handelt es sich jedoch um junge Flugsanddünen, die zudem nur einen geringen Humusgehalt besitzen, haben sich in der Regel noch keine vollständigen Podsol-Horizonte entwickeln können. Hier werden verbreitet *Regosole* angesprochen. In der BZE-Stichprobe liegt deren Anteil bei 6 %. Außer auf Dünen finden sich *Regosole* anthropogen bedingt auch in den Bergbaufolgelandschaften. Dort handelt es sich um besonders junge Böden, die sich bildeten, nachdem die Substrate ab- oder umgelagert wurden.

Auf den Geschiebelehmen der Grund- und Endmoränen haben sich die für diese Standorte charakteristischen *Lessivés* entwickelt. Sie zeichnen sich aus durch die fortgeschrittene Verlagerung von Ton und dessen Anreicherung im Unterboden. Die der Bodenklasse der *Lessivés* zugehörigen *Fahlerden* und *Braunerde-Fahlerden* haben einen Anteil von etwa 8 % an der BZE-Stichprobe. Sie sind standortskundlich überwiegend als *kräftige* Standorte zu bewerten.



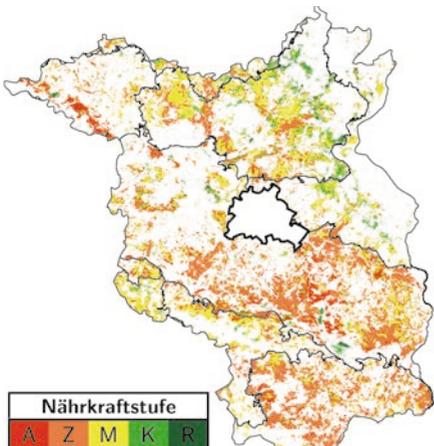
Abb.2: Exemplarische Bodenprofile der Bodenzustandserhebung (v.l.n.r.: mäßig podsolige Braunerde, Braunerde-Fahlerde, Podsol, reliktscher Nassgley)

Böden unter Grundwassereinfluss (*Gleye*) finden sich in Bereichen der Urstromtäler und Flussauen, wo das Grundwasser hoch ansteht. Die Einstufung der Nährkraft hängt hier stark von der chemischen Zusammensetzung des Grundwassers ab und variiert von *ziemlich arm* bis *kräftig*. Durch die großflächige Entwässerung der Niederungen, die bereits im Ausgang des Mittelalters begann, wurden viele der ursprünglichen Gleyböden zu Reliktgleyen mit unterschiedlich stark abgesenkten Grundwasserständen. In der BZE-Stichprobe wurden Gleye an 7 % aller Erhebungspunkte angesprochen.

Weitere in der BZE-Stichprobe auftretende Bodentypen (insgesamt 8 % der Stichprobe) sind die den anthropogen überprägten Böden zugeordneten *Kolluvisole* und *Treposole* (Abschwemmungs- bzw. Tiefumbruchböden) sowie *Stauwasserböden* und *Moore*.

Die standortkundliche Bewertung der Waldböden erfolgt im Land Brandenburg anhand der forstlichen Standorterkundungsanleitung (SEA) für das nordostdeutsche Tiefland. Hierbei basiert die sogenannte Stammnährkraftstufe auf langfristig stabilen Merkmalen, wie Bodentyp, Bodenart, Nährstoffgesamtgehalt und Entkalkungstiefe. Die Flächenanteile der Stammnährkraftstufen an der Gesamtwaldfläche Brandenburgs können wie folgt beziffert werden:

| Bezeichnung | Einstufung der Nährkraft | Anteil an der Waldfläche | |
|-------------|--------------------------|--------------------------|------|
| | | [ha] | [%] |
| A-Standorte | arm | 91.197 | 8,5 |
| Z-Standorte | ziemlich arm | 449.384 | 41,8 |
| M-Standorte | mäßig nährstoffhaltig | 413.911 | 38,5 |
| K-Standorte | kräftig | 108.273 | 10,1 |
| R-Standorte | reich | 13.457 | 1,3 |



Die regionale Verbreitung der Stammnährkraftstufen geht aus dem Kartogramm in Abb.3 hervor. Arme Standorte finden sich vorrangig im Bereich älterer Dünengebiete und in den an diese angrenzenden Talsandbereichen. Z-Standorte werden gehäuft auf älteren Schmelzwassersanden und jungeszeitlichen Dünenbildungen kartiert. M-Standorte sind ebenfalls vorrangig auf Schmelzwassersanden anzutreffen. Dagegen finden sich kräftige Standorte vorrangig im Bereich der Grund- und Endmoränen. Die insgesamt sehr wenigen R-Standorte treten ebenfalls vorrangig im Bereich der Moränen auf, bilden sich bevorzugt aber auch in den Flussauen.

Abb.3: Räumliche Verbreitung der Nährkraftstufen brandenburgischer Waldstandorte

WALDBÖDEN ALS KOHLENSTOFFSPEICHER

6. Wieviel organischen Kohlenstoff (C) speichern die brandenburgischen Waldböden?

Die organischen Kohlenstoffvorräte liegen aktuell im Mittel bei 84 t/ha. In der bundesweiten BZE-Stichprobe sind sie mit durchschnittlich 105 t/ha deutlich höher und auch im Vergleich der einzelnen Bundesländer wird die besondere Humusarmut der Waldböden Brandenburgs sichtbar. Diese waren über Jahrhunderte erheblichen Nutzungsintensitäten mit massiven Humusverlusten ausgesetzt. In welchem Umfang die geringen Kohlenstoffvorräte auf die Einflüsse des Menschen – z. B. durch historische Streunutzung oder Entwässerung einst humusreicher Feuchtstandorte – zurückzuführen sind bzw. welche natürlichen Vorräte standortsspezifisch zu erwarten wären, lässt sich anhand der BZE nicht quantifizieren.

Im bundesweiten Vergleich zeigt sich zudem, dass bei den brandenburgischen Waldböden ein überproportionaler Anteil der organischen Substanz als Auflagehumus vorliegt (Bund: 17 %, Brandenburg: 31 %). Hierzu trägt vor allem die Baumart Kiefer bei. Deren Streu führt infolge der schlechten Zersetzbarkeit in besonderem Maße zu einer „Entkopplung“ des Kohlenstoffhaushalts. Bei Buche und Eiche sind die C-Vorräte der Humusauflage indes deutlich geringer, die des Mineralbodens höher als bei Kiefer. Die Gesamtvorräte an Kohlenstoff – berechnet als Summe des Kohlenstoffs in Auflage und Mineralboden – unterscheiden sich zwischen den drei Hauptbaumarten hingegen nicht.

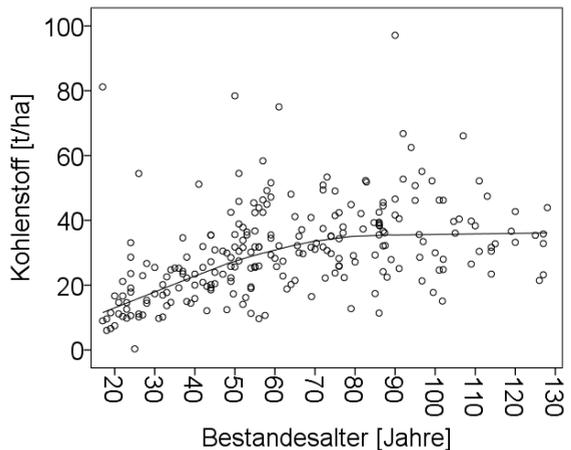


Abb.4: Kohlenstoffvorrat in der Humusauflage von Kiefernbeständen als Funktion des Bestandesalters

Die Klimabedeutung der organischen Bodensubstanz besteht darin, dass in ihr Kohlendioxid aus der Luft über lange Zeiträume gespeichert und der Atmosphäre entzogen wird. Für die langfristige Speicherung ist vor allem der tiefere Unterboden von Bedeutung. Hier sind besonders hohe Anteile an abbauresistenten Humusfraktionen vorhanden. Diese stabilen, an Minerale fixierten und teilweise schon sehr alten Huminstoffe bilden den für die ökologischen Eigenschaften besonders wichtigen „Dauerhumus“ der Böden. In Brandenburg trägt der Boden unterhalb von 30 cm Tiefe derzeit mit 15 % relativ wenig zur Kohlenstoffspeicherung bei. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass noch ein beachtliches Potenzial für die C-Speicherung in Form stabiler Humusverbindungen besteht.

Besonders wichtige Kohlenstoffspeicher sind zudem sämtliche Nassstandorte und Waldmoore. Bei diesen hydromorphen Böden (ca. 10 % der BZE-Stichprobe) liegen die C-Vorräte durch-

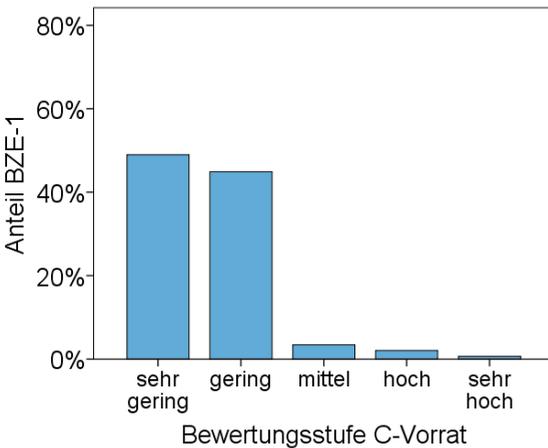
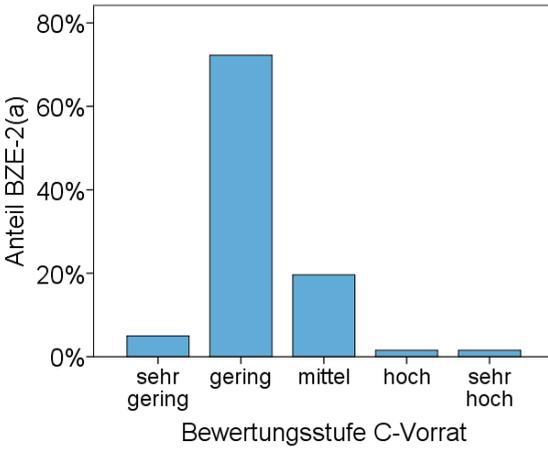


Abb.5: Bewertung der organischen Kohlenstoffvorräte (Humusaufgabe + Mineralboden) im Vergleich von BZE-1 und BZE-2(a)

schnittlich bei 175 t/ha. Moorschutz im Wald – beispielsweise durch die stufenweise Verfüllung von Dränagen und Entwässerungsgräben – ist somit auch ein effektiver Beitrag zur Klimastabilisierung.

7. Wirken die Waldböden derzeit als Senke oder als Quelle für Kohlenstoff? Tragen sie aktuell zum Klimaschutz bei und welche Rolle spielt die Art der Waldbewirtschaftung?

Aus dem zeitlichen Vergleich der brandenburgischen BZE-Daten ergeben sich eindeutige Hinweise darauf, dass die Waldböden gegenwärtig als C-akkumulierende Systeme zu sehen sind, die sich nach den massiven Humusverlusten der Vergangenheit nun sukzessiv regenerieren. So traten bei der Erstinventur Anfang der 1990er Jahre noch überwiegend *sehr geringe* (49 %) C-Vorräte auf. Bei der Wiederholungsinventur 2006 bzw. 2009 hat sich die Bewertung hin zu *geringen* (72 %) und *mittleren* (20 %) Vorräten verschoben und *sehr geringe* Vorräte waren nur noch bei 5 % der Stichprobe vertreten.

Der aus den drei Erhebungszeitpunkten von BZE-1, BZE-2 und BZE-2a abgelei-

tete Trend der jährlichen C-Speicherung liegt bei 1,58 t/ha. Bundesweit wurde eine entsprechende Speicherrate von 0,75 t/ha pro Jahr ermittelt, wobei die stärksten Zunahmen im gesamten norddeutschen Tiefland zu verzeichnen sind (z. B. Mecklenburg-Vorpommern: 1,73 t/ha/a; Niedersachsen: 1,35 t/ha/a). Sie betreffen vor allem den oberen Mineralboden bis 30 cm Bodentiefe. Die exakten Werte der jährlichen C-Speicherraten sind aufgrund von Unsicherheiten zwar mit Vorsicht zu interpretieren. Mit Sicherheit kann aber davon ausgegangen werden, dass die Waldböden gegenwärtig in einem nicht erwarteten Ausmaß Kohlenstoff speichern und damit zum Klimaschutz beitragen. So ist nach dem vorliegenden Datenstand für die gesamte Waldfläche Brandenburgs von einer jährlichen C-Speicherrate in Höhe von ca. 1,7 Mio. Tonnen Kohlenstoff auszugehen, was mit ca. 10 % der jährlichen energiebedingten CO₂-Emissionen des Landes

korrespondiert (Referenzzeitraum: 2000-2013). Unter Berücksichtigung der C-Vorratsanreicherung in der Bestandesbiomasse kann überschlagsmäßig berechnet werden, dass die jährliche CO₂-Kompensation aus der Vorratsänderung in Bestand und Boden knapp einem Viertel der energiebedingten Emissionen des Landes Brandenburg entspricht.

Der Vergleich der BZE-Inventuren zeigt, dass die höchsten Zunahmen der Humus- bzw. Kohlenstoffvorräte in Böden von jungen, aufwachsenden Kiefernbeständen zu finden sind. Betroffen sind insbesondere die in den 1960er bis 1970er Jahren verbreitet durchgeführten Wiederaufforstungen von Kahlschlagsflächen, die infolge von Reparationsleistungen nach dem Zweiten Weltkrieg entstanden waren. Neben diesen speziellen Flächen korrespondiert die Humusakkumulation aber vor allem mit der generellen Erholung unserer Böden nach Jahrhunderten der Übernutzung. Durch bodenpflegliche und humusschonende Waldbewirtschaftung, fortgesetzten Waldumbau und standortangepasste Nutzungsintensitäten kann dieser Prozess auch weiterhin gefördert werden. Das beinhaltet auch, dass angemessene Totholzvorräte im Wald belassen werden. Gleichwohl ist zu beachten, dass die Senkenleistung der Wälder mit dem Alter der Bestände und der Annäherung an Gleichgewichtszustände im Boden allmählich abnehmen wird. Für die CO₂-Bindung als Beitrag zum Klimaschutz kommt daher auch den langfristig in Holzprodukten festgelegten Kohlenstoffmengen und der Kaskadennutzung von Holz eine wachsende Bedeutung zu.

BODENVERSAUERUNG UND NÄHRSTOFFVERSORGUNG

8. Wie ist der aktuelle Versauerungsstatus der Waldböden einzuschätzen und wodurch wird er beeinflusst?

Allgemein sind die brandenburgischen Waldböden tiefgründig sauer und an Basen verarmt. Die Vorräte der basisch wirkenden Nährstoffkationen Calcium, Magnesium und Kalium liegen aktuell meist im *sehr geringen* bis *geringen* Wertebereich. Hierfür sind sowohl natürliche als auch anthropogene (menschgemachte) Faktoren verantwortlich. Eine der wichtigsten natürlichen Ursachen ist das überwiegend sandige und pufferschwache Ausgangsmaterial der Böden, das stark zur Versauerung neigt. Der Mensch hat diese natürliche Versauerungstendenz über lange Zeiträume hinweg durch intensive Bodennutzung und nicht nachhaltige Biomassennentzüge verstärkt. Vor allem die Streunutzung der letzten Jahrhunderte und unregelmäßige Holzentnahmen ließen die Böden an Puffersubstanzen verarmen und versauern.

In der jüngeren Vergangenheit wurde ein großer Teil der Waldfläche zusätzlich durch den atmosphärischen Eintrag von Flugaschen aus der Braunkohleverbrennung beeinflusst. Die Deposition dieser basischen Stäube in die Waldökosysteme kulminierte in den 1970er und 1980er Jahren und wirkte der Bodenversauerung nachhaltig entgegen. Bis heute sind in den ehemaligen Haupteintragsgebieten weit über das natürliche Maß hinausreichende Basenvorräte auf natürlicherweise nährstoffarmen Sandstandorten zu verzeichnen.

Die Wiederholungsinventur der BZE offenbarte nun für viele Kennwerte des Säure-Basen-Zustands der Böden eine Dynamik, die weit über den Erwartungen lag. Für den Zeitraum zwi-

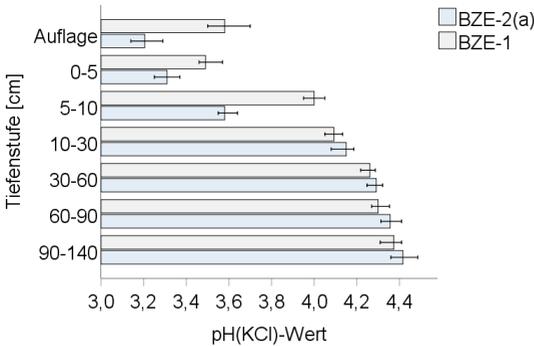


Abb.6: pH-Werte unterschiedlicher Bodentiefen im Vergleich von BZE-1 und BZE-2(a)

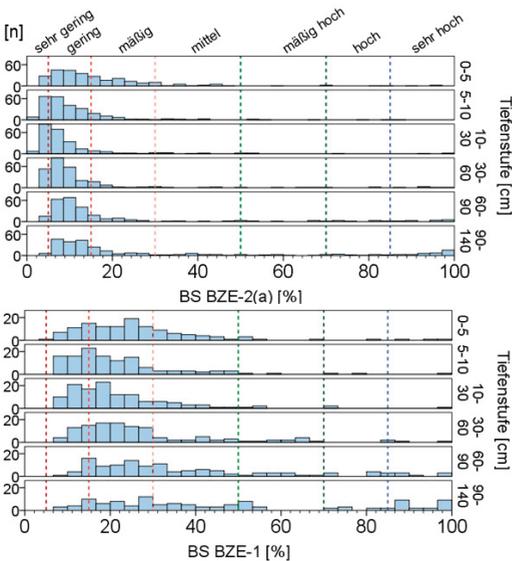


Abb.7: Häufigkeitsverteilung der Basensättigungen (BS) unterschiedlicher Bodentiefen im Vergleich von BZE-1 und BZE-2(a)

schen BZE-1 und BZE-2(a) ist nahezu flächendeckend eine markante (Wieder-)Versauerung vieler Böden zu verzeichnen (Abb.6, Abb.7). Diese steht im unmittelbaren Zusammenhang mit Stilllegungen von Kohlekraftwerken und dem Einsatz von Staubfiltern und emissionsärmeren Energieträgern seit den 1990er Jahren. Die damit einhergehende Abnahme der Baseneinträge und die sich entsprechend verringerten pH-Werte im Oberboden sind vor diesem Hintergrund als Annäherung an den (natürlicheren) Zustand vor der künstlichen Aufbasung durch Flugaschen zu interpretieren.

Andererseits belegen die BZE-Daten, dass auch weniger durch Staubeinträge beeinflusste Inventurpunkte – insbesondere im Norden Brandenburgs – von Abnahmen der Basensättigung zwischen BZE-1 und BZE-2(a) betroffen sind. Diese lassen sich nicht durch eine vorausgegangene künstliche Aufbasung erklären. Die Bodenversauerung korrespondiert hier mit Befunden aus anderen Bundesländern, wo Langzeitstudien von Kalkungsversuchen für die nicht gekalkten Referenzflächen eine Zunahme des Versauerungsgrades belegen.

Ungeachtet der aktuellen Tendenz zur Bodenversauerung lassen sich auf Standorten mit nährstoffreicherem Untergrund, insbesondere unter Laubholzbestockung, sogenannte „Basenpumpeneffekte“ nachweisen. Hierbei werden über die Nährstoffaufnahme im tieferen Untergrund und den Streufall verstärkt basisch wirkende Kationen dem Oberboden zugeführt. Dies hat in Humusaufgaben und humosen Oberböden erhöhte Pufferkapazitäten und entsprechend signifikant

geringere Säuregrade zur Folge. Der Anbau standortsgerechter Laubbaumarten mit ausgeprägter Tiefendurchwurzelung und leicht zersetzbarer Streu empfiehlt sich daher auf allen Standorten mit nährstoffreicherem Untergrund. Durch die Beimischung dieser Baumarten in Nadelholzforsten werden zusätzliche Basenreserven erschlossen und in die ökosystemaren Nährstoffkreisläufe eingebunden.

9. Wie ist die Ernährungssituation der Waldbäume? Werden die Böden auch in Zukunft ausreichend Nährstoffe für das Baumwachstum zur Verfügung stellen?

Die Bewertung von Bodeneigenschaften sollte immer auch in Verbindung mit der Ernährungssituation der Bäume erfolgen. Hierzu werden im Rahmen der BZE Nadel- und Blattproben gewonnen und deren Inhaltsstoffe analysiert. Solange sich anhand dieser Analysen keine Hinweise auf Nährstoffmängel ergeben, ist anzunehmen, dass auch auf versauerten und basenarmen Standorten noch hinreichend Nährstoffreserven erschlossen werden können.

In diesem Zusammenhang wurde durch die BZE die Bedeutung der im tieferen Untergrund gebundenen Basenvorräte für die Nährstoffversorgung der Waldbäume deutlich. Offensichtlich kann der Nährstoffbedarf auf zahlreichen Standorten durch tief anstehende Reserven noch hinreichend gedeckt werden. Des Weiteren lassen die BZE-Auswertungen vermuten, dass pflanzenphysiologische Anpassungsmechanismen an saure Standorte effektiv wirksam sind und zur Vermeidung von Mangelernährung beitragen. So existieren lediglich schwache Zusammenhänge zwischen Ernährung und Standort und die aktuelle Ernährungssituation der Bäume spiegelt nicht die von Entbasung und Versauerung geprägten Hauptwurzelsräume vieler Böden wider.

Die Nadel- und Blattanalysen bei Kiefer, Eiche und Buche führen im Einzelnen zu folgenden Einschätzungen: Die Calciumernährung befindet sich praktisch nie im Mangelbereich. Die Magnesiumernährung stellt sich vor allem für Kiefer und Buche etwas kritischer dar. Bei 14 % der BZE-Punkte (Kiefer) bzw. 8 % (Buche) liegt latenter Magnesiummangel vor. Die überwiegende Mehrheit der Bestände ist jedoch auch mit Magnesium *normal* versorgt. Bei der Kaliumernährung befinden sich 14 % der Kiefernbestände und 6 % der Eichenbestände im latenten Mangelbereich. Die Ernährung mit Phosphor sowie mit allen untersuchten Spurennährstoffen (z. B. Eisen, Mangan, Kupfer und Zink) ist für die drei Hauptbaumarten fast ausschließlich als *normal* einzustufen.

Verlässliche Prognosen zur Ernährung lassen sich aus den vorliegenden BZE-Daten nicht ableiten. Als sicher gilt aber, dass die Nährstoffaufnahme im Zuge des Klimawandels durch verringerte Bodenwasserverfügbarkeiten zukünftig eingeschränkt sein wird. Das Risiko für Nährstoffunterversorgung wird sich infolge der zunehmenden sommerlichen Austrocknungsphasen voraussichtlich erhöhen. Alljährlich durchgeführte Nadel- / Blattanalysen auf ausgewählten forstlichen Dauerbeobachtungsflächen dienen daher dem kontinuierlichen Monitoring der aktuellen Waldernährung. Trendanalysen auf der Grundlage der dabei gewonnenen Zeitreihen über ca. 25 Jahre belegen bislang allerdings noch keine signifikante Verschlechterung der Ernährungssituation.

10. Besteht aktuell die Notwendigkeit, die Waldböden aus Gründen des Bodenschutzes und / oder mit Blick auf die Nährstoffversorgung der Waldbäume zu kalken?

Die Waldkalkung gilt als probates Mittel zur Regeneration anthropogen versauerter Waldböden. In den meisten Bundesländern werden seit den 1980er Jahren großflächige Kalkungsmaßnahmen durchgeführt. Diese sollen dazu beitragen, mögliche Gefährdungen durch Säuretoxizität und versauerungsbedingte Nährelementmängel zu verhindern bzw. abzumildern.

Im Waldbodenbericht Brandenburg werden technische Maßnahmen zum Ausgleich von Nährstoffverlusten, wie Waldkalkung und Rückführung von Nährstoffen durch Düngung in Form von Holzasche, umfassend diskutiert. Die Vor- und Nachteile dieser Maßnahmen werden für den Untersuchungsraum kritisch erläutert und abgewogen. Trotz des aktuell zunehmenden Risikos für Säurestress im Wurzelraum und geringer pflanzenverfügbarer Nährstoffvorräte lässt sich aus den BZE-Daten, insbesondere aus der derzeitigen Ernährungssituation der Hauptbaumarten, keine akute Notwendigkeit für die Kalkung ableiten.

Ausschlaggebend für diese Einschätzung sind vor allem die standörtlichen Besonderheiten im Land Brandenburg, die sich in Verbindung mit den eingetragenen Stäuben aus der früheren Braunkohleverbrennung ergeben. Diese Stäube besaßen hohe Anteile an Calcium und Magnesium, ähnlich wie die bei der Waldkalkung konventionell verwendeten dolomitischen Kalke. Die atmosphärischen Stäube wurden im Nahbereich der Emittenten deponiert sowie durch hohe Schornsteine auch über weitere Strecken transportiert und in die Waldökosysteme aufgrund deren Oberflächenrauigkeit bevorzugt eingetragen.

Für den Ausstoß der Stäube waren vor allem Kohlekraftwerke, aber auch der Braunkohleeeinsatz für den Hausbrand insbesondere in Berlin sowie regional das Rüdersdorfer Zementwerk östlich von Berlin verantwortlich. Mit Hilfe eines Modellansatzes auf der Grundlage von Eintragungsmessungen, Kohleförderstatistiken und einer flächendeckenden Bioindikation der Fremdstoffbelastung können die kumulierten Calciumeinträge im Zeitraum 1945 bis 1990 auf etwa 2,2 t/ha geschätzt werden. Dies entspricht brandenburgweit einer durchschnittlichen Kalkungsmenge von 6 t/ha im Zeitraum von 45 Jahren. Zum Vergleich: bei einer konventionell durchgeführten Säurekompensationskalkung im Wald liegt die übliche Kalkmenge bei 3 t/ha. Insgesamt ist deshalb davon auszugehen, dass die ehemaligen Staubeinträge in den brandenburgischen Waldökosystemen in beachtlichem Umfang zur Säurepufferung beigetragen haben und auf einigen Flächen sogar noch immer maßgeblich zu dieser beitragen.

Andererseits ist in der aktuellen Bodenversauerung – insbesondere mit Blick auf den Klimawandel und möglicherweise anhaltende oder gar zunehmende Stickstoffeinträge - auch ein Gefährdungspotenzial für die Ernährung der Bäume und ihre Vitalität zu sehen. Aus diesem Grund wurden im Nachgang der letzten Bodenzustandserfassung Kalkungsversuche angelegt: Auf insgesamt 16 BZE-Inventurflächen sollen mittel- bis langfristige Auswirkungen der Kalkung unter nordostdeutschen Klima- und Standortsbedingungen geprüft werden. Die Behandlung der ausgewählten Flächen erfolgte im November 2016. Um erste verlässliche Angaben zu den Kalkungseffekten zu erhalten, wurde ein Beobachtungszeitraum von mindestens fünf Jahren eingeplant. Gegenwärtig werden regelmäßig Proben der Bodenlösung gewonnen und die Inhaltsstoffe im Labor analysiert, um das Stoffflussgeschehen kontinuierlich aufzuzeichnen. Im Zuge der BZE-3 soll eine weitere Beprobung der Bodenfestphase auf allen Kalkungsvarianten erfolgen. Die behandelten BZE-Punkte werden dann eine Stichprobe bilden, die mit der Gesamtheit (standörtlich ähnlicher) nicht gekalkter BZE-Punkte statistisch verglichen werden kann, um die Kalkungswirkung auf den Boden- und Baumernährungszustand zu identifizieren.

11. In welchen Fällen und unter welchen Bedingungen sollten zukünftig Kalkungsmaßnahmen durchgeführt werden?

Wenn die Böden durch den Klimawandel zukünftig stärker austrocknen und sich das Risiko für

Nährstoffunterversorgung erhöht, könnten Kalkungsmaßnahmen möglicherweise einen Beitrag zur Stabilisierung der Waldökosysteme leisten. Die Kalkung kann zur Vertiefung des Wurzelraums beitragen, den Humusgehalt im Mineralboden erhöhen und die Verfügbarkeit von Wasser und Nährstoffen insgesamt verbessern. Im Waldbodenbericht Brandenburg wurden für den Fall, dass in Zukunft verstärkt Calcium- und Magnesiummängel eine Rolle spielen werden, Kriterien für die Kalkungswürdigkeit der Standorte ausgearbeitet und ein umfassendes Prüfschema für die Waldkalkung entwickelt.

Die hergeleitete potenzielle Kalkungskulisse basiert auf einem eigens für die Standortverhältnisse von Brandenburg entwickelten Kriterienkatalog und umfasst landesweit ca. 16,5 % der Gesamtwaldfläche (Abb.8). Betroffen sind vor allem Standorte, die im Untergrund bindige Schichten aufweisen und deren Austauscher aufgrund langanhaltender Basenauswaschung und Mineralverwitterung überwiegend mit Kationsäuren belegt sind. Bei den stark versauerten Standorten der Substrattypen Tieflehm oder lehmunterlagerter Sand bzw. der Stammnährkraftstufen M^+ , Z^+ und K sind deutlich günstigere Kalkungseffekte als auf reinen Sandsubstraten zu erwarten. Für Sandböden, die sich durch eine natürlicherweise starke Oberbodenversauerung und Basenarmut auszeichnen, wird anhand des Ansatzes indes nur ein geringer potenzieller Kalkungsbedarf, deutlich unter der Praktikabilitätsschwelle von 3 t/ha, ermittelt.

Auf der Karte in Abb.8 fallen die hohen Flächenanteile der Kalkungskulisse im Wuchsgebiet Hoher Fläming auf. In diesem vergleichsweise kleinen Wuchsgebiet befinden sich 86 % der Waldfläche (ca. 21.000 ha) innerhalb der Kulisse potenzieller Kalkungsflächen. Die altpleistozänen Böden aus meist bindigem Moränenmaterial weisen in dieser Region hohe akkumulierte Säuremengen auf.

Sollten in Zukunft Bestände von akuter Mangelerkrankung betroffen sein, ist gemäß des im Waldbodenbericht hergeleiteten Prüfschemas zunächst zu eruiieren, ob sich diese Bestände innerhalb der Kalkungskulisse befinden. Für den Fall, dass dies zutrifft, ist auf den Flächen kurzfristig eine bodenkundliche Beprobungskampagne einzuleiten. Sollten hierbei die für das Land Brandenburg erarbeiteten Prüfkriterien bezüglich der Ausprägung von pH-Wert, Basensättigung und C/N-Verhältnis erfüllt sein, ist in einem weiteren Schritt zu prüfen, ob die Kalkung mit den lokalen Waldfunktionen und Schutzziele vereinbar ist. Hierzu sind Informationen aus der Waldbiotop- und Waldfunktionenkartierung sowie der wasserwirtschaftlichen und naturschutzfachlichen Planungen heranzuziehen.

Wenn akute Ernährungsmängel in Beständen auftreten, die sich nicht innerhalb der Kulisse befinden, sollte von einer Kalkung abgesehen

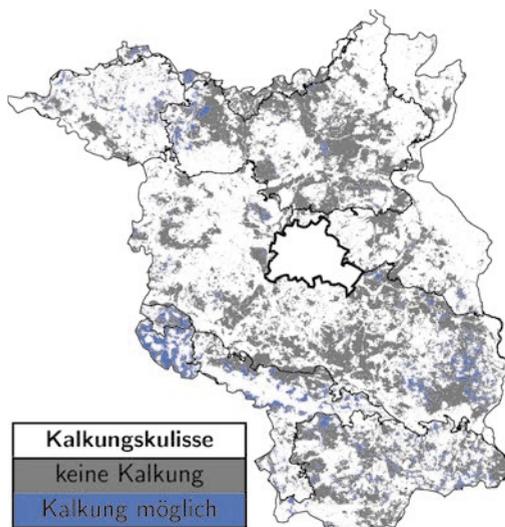


Abb.8: Potenzielle Kalkungskulisse zur Kompensation von Basenverlusten für die Gesamtwaldfläche des Landes Brandenburg

werden, die Baumarteneignung geprüft und nach einer Ursachenanalyse ggf. andere waldbauliche Maßnahmen eingeleitet werden.

Die Rückführung von Nährstoffen durch Düngung, insbesondere in Form von Holzasche, ist für die spezifischen Standortsbedingungen im Land Brandenburg so gut wie nicht erforscht und stellt bis auf Weiteres keine Option zur Kompensation von Nährstoffverlusten dar. Diesbezüglich sind die langfristigen Ergebnisse der angelegten Kalk-Düngungsversuche auf den ausgewählten BZE-Flächen abzuwarten.

12. Zeigt der Waldumbau Wirkungen auf den chemischen Bodenzustand?

Bislang wurde im Land Brandenburg vollständig auf Bodenschutzkalkungen verzichtet. Der möglichen Bodendegradation durch den Eintrag atmosphärischer Säurebildner („saurer Regen“) wurde im Rahmen von Waldumbauprogrammen durch eine bodenpflegliche Baumartenwahl entgegengewirkt. Der Grundgedanke ist hierbei, dass zwischen Vegetation (Bestand) und Standort wechselseitige Beziehungen bestehen und die Pflanzengemeinschaften Einfluss auf die abiotischen Eigenschaften der Waldökosysteme, wie Bestandesinnenklima und eben auch Humus- und Oberbodenzustand, nehmen.

Insbesondere der Umbau von Kiefernreinbeständen in standortgerechte Mischbestände soll in diesem Zusammenhang einen Beitrag zur nachhaltigen Sicherung der Bodenfruchtbarkeit leisten. Inwieweit dieses gelungen ist, lässt sich anhand der BZE-Befunde allerdings statistisch nur schwer erfassen, da auf der Basis von Inventurdaten generell kein Vergleich unterschiedlicher Behandlungsvarianten möglich ist. Hierzu wäre eine Versuchsanstellung mit spezifischem Flächendesign und weitgehend konstanten Rahmenbedingungen besser geeignet. Gleichwohl lassen sich bei entsprechender Datenfilterung verschiedene Tendenzen ableiten, welche die positiven Effekte der Laubbestockung auf den Boden belegen. Es kann gezeigt werden, dass sich bei identischer standörtlicher Ausgangssituation allein durch den Einfluss der Baumart unter Laubholzbestockung eine günstigere Humusform und bessere Basenausstattung als unter Kiefer einstellt.

So liegen für konstante Standortsbedingungen die pH-Werte in der Humusaufgabe unter Kiefer signifikant niedriger als unter Buche und Eiche. Zwischen letzteren lassen sich bei großer Streuung keine eindeutigen Unterschiede erkennen. Im mineralischen Oberboden unterscheiden sich die pH-Werte zwischen allen Baumarten jedoch nur geringfügig und lassen keine Interpretation zu. Bei der Basenausstattung im Oberboden stellen sich die Unterschiede zwischen den Baumarten je nach Ausgangsmaterial unterschiedlich dar: Bei den Reinsanden mit geringen Basengehalten im Untergrund sind keine Unterschiede zwischen den Baumarten festzustellen. Bei den lehmigen Substraten mit höherer Nährkraft im Untergrund liegen die Basensättigungen unter Kiefer signifikant niedriger als unter Eiche und Buche, die sich indes nicht signifikant voneinander unterscheiden.

All diese Ergebnisse unterstützen die aktuellen Bestrebungen, durch Waldumbau und Erhöhung des Laubholzanteils einen Beitrag zum Bodenschutz und zur nachhaltigen Sicherung der Bodenfruchtbarkeit zu leisten. Mit Blick auf die bodenmeliorative Wirkung ist der Waldumbau somit auf geeigneten Standorten mit Nachdruck fortzusetzen.

Besonders in naturfernen Kiefernreinbeständen sind derzeit bedeutende Nährstoffmengen im Auflagehumus gespeichert. Diese Nährstoffe können bei nicht bodenpfleglicher Waldbewirtschaftung freigesetzt werden und dem System rasch verloren gehen. Auf die Einhaltung humusschonender Verfahren bei der Holzernte und -rückung ist vor allem in diesen Beständen gewissenhaft zu achten. Durch den Umbau der Kiefernreinbestände kann zumindest langfristig eine kontinuierliche Restabilisierung des pflanzenverfügbaren Nährstoffpools eingeleitet werden. Um dabei das Risiko einer kurzfristigen Nährstoffauswaschung zu reduzieren, empfiehlt es sich, im Rahmen der Umbaumaßnahmen eine Pflanzlochkalkung vor der Laubholzeinbringung durchzuführen. Die vorzugsweise mit dolomitischem Gesteinsmehl durchzuführende Maßnahme bedeutet hier eine präventive Verbesserung der Startbedingungen beim Waldumbau.

WASSERHAUSHALT IM KLIMAWANDEL

13. Wie wird der Wasserhaushalt der Waldökosysteme aktuell eingestuft? Mit welchen Veränderungen durch den Klimawandel ist zu rechnen?

Der Themenkomplex Wasserhaushalt und Klimawandel wird im Waldbodenbericht sowohl auf der Basis der BZE-Inventurpunkte als auch mit Hilfe von verallgemeinerten und für die Gesamtwaldfläche regionalisierten Befunden aus BZE und Level II-Programm behandelt.

Das Ausmaß von Wassermangel kann mithilfe der Wasserhaushaltsmodellierung abgeschätzt werden. Ein geeigneter Kennwert ist das Wasserdefizit, berechnet als Differenz der realen und potenziellen Evapotranspiration ($ET_{\text{real}} - ET_{\text{pot}}$), also der tatsächlichen und theoretisch möglichen Gesamtverdunstung. Während die potenzielle Verdunstung (ET_{pot}) ausschließlich auf klimatischen Steuergrößen beruht, ist für die tatsächliche Verdunstung (ET_{real}) zusätzlich auch die im Wurzelraum der Pflanzen verfügbare Bodenwassermenge ausschlaggebend. Im selben Maße wie diese abnimmt, vergrößert sich der Betrag des standörtlichen Wasserdefizits. Bezogen auf die grundwasserferne Waldfläche Brandenburgs liegt das jährliche Wasserdefizit schon heute mit durchschnittlich -98 l/m^2 deutlich im negativen Bereich. Die Wasserhaushaltsmodellierung mit Daten aus Klimaszenarien deutet auf eine Zunahme dieses Defizits, das demnach bis zum Ende des 21. Jahrhunderts bei durchschnittlich -165 l/m^2 liegen wird.

Dass sich der regionale Klimawandel tiefgreifend auf die lokalen Standortsbedingungen unserer

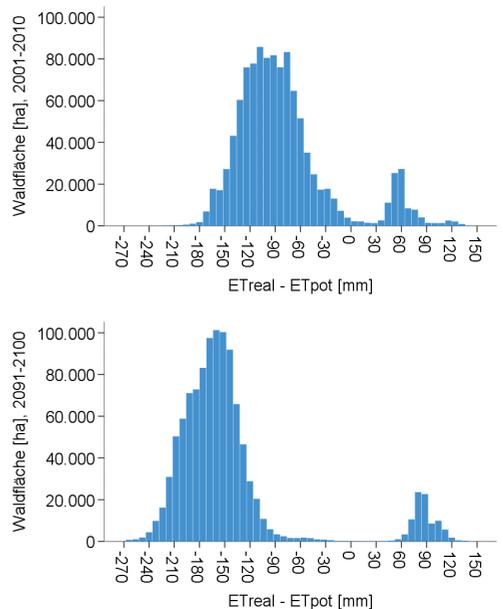


Abb.9: Regionalisiertes Wasserdefizit $ET_{\text{real}} - ET_{\text{pot}}$ der Gesamtwaldfläche im Vergleich der Dekaden 2001-2010 und 2091-2100

Waldbestände auswirken und das Trockenstresspotenzial erhöhen wird, bestätigen sowohl die Wasserhaushaltsmessungen auf Intensivmessflächen des Level II-Programms als auch Modellszenarien für die Inventurpunkte der BZE. Für den Zeitraum 1996-2017 wurden auf den sechs Level II-Dauerbeobachtungsflächen durchschnittlich 42 bis 77 Trockenstresstage pro Jahr ermittelt. Damit korrespondieren aktuell durchschnittlich 68 Tage auf allen BZE-Punkten. Unter veränderten Klimabedingungen werden auf den BZE-Punkten für die Dekade 2091-2100 hingegen durchschnittlich 141 Trockenstresstage erwartet, was wiederum größenordnungsmäßig der Anzahl an Trockenstresstagen auf den sechs Level II-Flächen im extremen Trockenjahr 2018 entspricht (131 bis 152 Tage). Das Jahr 2018 steht somit hinsichtlich der Anzahl an Trockenstresstagen für ein zum Ende des 21. Jahrhunderts zu erwartendes Durchschnittsjahr. Tage mit Trockenstress sind hierbei definiert als Tage, an denen die tatsächliche Verdunstung (ET_{real}) weniger als 70 % der potenziellen (ET_{pot}) ausmacht. Unter diesen Bedingungen ist in Waldbeständen von deutlichen Vitalitäts- und Zuwachseinbußen auszugehen.

14. Auf welchen Standorten wird in Zukunft verstärkt Wassermangel und Trockenstress auftreten?

Der spezifische Einfluss von Wassermangel auf die Baumvitalität wird im Waldbodenbericht anhand von Daten der Waldzustandserhebung (WZE) untersucht. Nach den vorliegenden Ergebnissen stellen die berechneten Wassermangelkennwerte (z.B. $ET_{\text{real}} - ET_{\text{pot}}$) zentrale Steuergrößen für die Kronenverlichtung der Kiefer dar. Dabei zeigt sich, dass die Abhängigkeit des Kronenzustands vom Wasserhaushalt bei der BZE-1 deutlich stärker ausgeprägt ist als bei der BZE-2(a). Dieses wird darauf zurückgeführt, dass die Kiefer zur Zeit der BZE-1 aufgrund der höheren atmosphärischen Schadstoffbelastung insgesamt größerem Stress ausgesetzt war und dieses eine gegenüber den Witterungseinflüssen vermutlich erhöhte Vulnerabilität (Verletzlichkeit) der Bäume bedeutete. Die Ausprägung von Trockenstress hängt also stets auch vom Zusammenwirken von Wasserhaushalt und weiteren potenziellen Belastungsfaktoren am Standort ab.

Die für die Versorgung der Vegetation ausschlaggebende nutzbare Wasserspeicherkapazität der Böden liegt in der BZE-Stichprobe fast ausschließlich in den drei Klassen *gering* (60-90 l/m²), *mittel* (90-120 l/m²) und *hoch* (120-180 l/m²). Extrema im *sehr geringen* oder *sehr hohen* Wertebereich treten dagegen kaum auf. Hinsichtlich der Ausprägung von Wassermangel und Trockenstress sind Böden mit hohen nutzbaren Wasserspeicherkapazitäten, wie humusreiche Böden und Böden aus bindigem oder feinsandreichem Ausgangssubstrat, im Vorteil, weil sie hohe Mengen des Winterniederschlages speichern und in der Vegetationszeit bei reduzierten Sommerniederschlägen und erhöhten potenziellen Verdunstungsraten den Pflanzen zur Verfügung stellen können. Ungünstigere Bedingungen herrschen indes auf Böden mit grobkörnigerem Substrat, was in Brandenburg unter Wald den häufigeren Fall darstellt.

Trotz grundsätzlich besserer Wasserverfügbarkeit kann es auf Lehmlandorten bei anhaltender Austrocknung durch Verhärtung der Bodenaggregate und Bildung von Schrumpfrissen zu Schäden am Feinwurzelsystem kommen, in deren Folge die Wasser- und Nährstoffaufnahme zusätzlich erschwert wird. Inwieweit dieses in Zukunft vermehrt der Fall sein wird, hängt vom weiteren Verlauf und Ausmaß des regionalen Klimawandels ab.

Auf den aktuell vom Grundwasser beeinflussten Standorten können sich ebenfalls Risiken entfalten, wenn es unter veränderten Klimabedingungen zu reduzierten Sickerwasserraten und ei-

ner verminderten Grundwasserneubildung kommt. Für den Stichzeitraum der BZE-2(a) wurden für 24 % der Waldfläche frühjährliche Grundwasserflurabstände <3 m, für 15 % der Waldfläche <2 m und für 6 % der Waldfläche <1 m kalkuliert. Hier ist die Zunahme von Trockenstress davon abhängig, ob es trotz Klimawandel gelingt, stabile Grundwasserstände zu sichern. In den betroffenen Gebieten sollten deshalb forstliche Maßnahmen auf den Erhalt und die Verbesserung des Landschaftswasserhaushaltes ausgerichtet werden. Für die Erhöhung der Grundwasserneubildungsrate wird dem Umbau von Kiefernreinbeständen in Laubmischwälder eine große Bedeutung beigemessen. Zudem können Stau- und Renaturierungsmaßnahmen zur Wiederherstellung von Kleingewässern, Söllen und Moorniederungen einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Grundwassersituation im Wald leisten.

15. Welche Folgerungen ergeben sich hinsichtlich der Baumartenwahl aus den mit BZE-Daten und Klimamodellen durchgeführten Szenariorechnungen?

Die Bestände, die heute verjüngt werden, müssen sowohl das aktuelle Klima als auch das für die Zukunft prognostizierte aushalten bzw. „klimaplastisch“ auf letzteres reagieren können. Übergeordnetes Ziel sollte es aus Gründen der Risikostreuung sein, möglichst baumartenreiche Mischwaldgesellschaften anstelle der aktuell noch dominierenden monotonen Reinbestände bzw. artenarmen Mischbestände zu entwickeln. Dabei kann es auch eine Option sein, in aktuell naturnahen Reinbeständen durch Artenbeimischung eine höhere Klimaplastizität zu fördern und zu entwickeln.

Neben der standörtlichen Nährkraft entscheidet der Bodenwasserhaushalt maßgeblich über die Anbaueignung der verschiedenen Baumarten. Bereits heute tritt Wassermangel auf der Mehrzahl der Waldstandorte als wachstumslimitierender Faktor in Erscheinung und wird infolge des Klimawandels voraussichtlich noch weiter an Bedeutung für die artspezifische Anbaueignung gewinnen.

Im Rahmen der erweiterten BZE-Auswertungen wurde ein statistischer Ansatz zur Ableitung von Empfehlungswahrscheinlichkeiten für 20 verschiedene Baumarten entwickelt. Diesem Wahrscheinlichkeitsansatz liegen die empirischen Kenntnisse über die aktuelle Beziehung zwischen Bestandeszieltyp und Standortseigenschaften wie Wasserverfügbarkeit, Wärmehaushalt und Nährstoffversorgung zugrunde, die modellhaft anhand der zu erwartenden Klimadaten in die Zukunft projiziert wurde. Zu beachten ist hierbei, dass die berechneten Empfehlungswahrscheinlichkeiten keine ökologischen Standortsgrenzen definieren, sondern aufgrund ihrer methodischen Orientierung am Bestandeszieltyp vor allem das leistungsorientierte Standortsspektrum aufzeigen.

Aus der Zusammenschau der empfohlenen mittleren und maximalen Baumartenanteile an der Bestandeszusammensetzung in Tab.1 geht die Vielzahl an kombinatorischen Möglichkeiten hervor, die auch unter veränderten Klimabedingungen innerhalb gleichartiger Standortverhältnisse bei der Baumartenwahl bestehen bleiben. Dieses wird in besonderem Maße dem Anspruch gerecht, durch die Begründung und Entwicklung arten- und variantenreicher Mischbestockungen mit je nach Standort 4 bis >6 verschiedenen Baumarten forstbetriebliche Risiken zu reduzieren, z. B. durch:

- die effektivere Nutzung der Ressourcen im gesamten Wurzelraum,
- die Verringerung von Zuwachsverlusten bei eintretenden Störungen,
- die Sicherung einer dauerhaften Waldbedeckung bei Vitalitätsverlust oder Ausfall einer Baumart,
- die Sicherung der natürlichen Verjüngungsfähigkeit nach Kalamitäten sowie
- die Erhöhung der Strukturvielfalt und damit die Verbesserung des Waldinnenklimas durch Beschattung und Erhaltung der Luftfeuchtigkeit.

Auffallend ist der sich nach diesen Klimastudien abzeichnende Dominanzverlust der Rotbuche selbst auf Standorten, wo sie nach der konventionellen Ausweisung von Bestandeszieltypen bislang eine führende Rolle einnahm. Nach den vorliegenden Ergebnissen fallen die Anteile der Rotbuche an der künftigen Artenzusammensetzung auf diesen Standorten meist niedriger aus als die von Hainbuche, Eiche und Winterlinde. Insbesondere die beiden schattenverträglichen sowie trockenheitstoleranteren Baumarten Hainbuche und Winterlinde könnten möglicherweise auf zahlreichen Standorten die derzeitige Rolle der Rotbuche übernehmen, wenngleich sie hinter deren Ertragsleistung (und aktuellem Marktwert) zurückbleiben.

Insgesamt resultiert aus den vorliegenden Befunden, dass für die Entwicklung von stabilen Waldbeständen zukünftig vermehrt an warm-trockene Standorte angepasste Baumarten wie Eiche und Winterlinde oder ggf. auch die standortsfremde Robinie berücksichtigt werden sollten. Zudem wird deutlich, dass besonders auf den ärmeren Standorten die Pionierbaumarten Kiefer und Birke auch zukünftig eine wichtige Rolle spielen werden. Auf geeigneten Standorten ergeben sich aber auch in der Zukunft zahlreiche Anbaumöglichkeiten für die aus wirtschaftlicher Sicht besonders interessanten Edellaubbaumarten (v. a. Spitzahorn, Bergahorn, Vogelkirsche und Flatterulme) sowie für die standortsfremden Nadelholzbaumarten Douglasie und Küstentanne.

Die hier gezeigte sowie weitere im Rahmen der Auswertung und Flächenübertragung von BZE-Daten generierte Tabellen können bei der Baumartenwahl entscheidungsunterstützend eingesetzt werden und der Entwicklung von standortgerechten Waldtypen unter sich verändernden Klimabedingungen dienen¹.

¹ Riek, W., Russ, A., Grüll, M. (2020): Zur Abschätzung des standörtlichen Anbaurisikos von Baumarten im Klimawandel im nordostdeutschen Tiefland. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 69. 49-71.

Tab. 1: Empfohlene Baumartenanteile unterschiedlicher Standortcluster zur Risikominimierung im Klimawandel. Dargestellt sind die empfohlenen Orientierungswerte (fett) und maximalen Obergrenzen der Baumartenanteile, abgeleitet mithilfe eines Rechenmodells zur Entscheidungsunterstützung unter Verwendung szenarischer Klimadaten der Dekade 2091-2100 für Standortcluster nach dem Nordostdeutschen Standorterkundungsverfahren (SEA95)

| Standortcluster | DGL | ELA | GBI (MBl) | GKI | HBU | KTA | RBU | REI | RER | ROB | TEI/SEI | SEI | WLI | EDL |
|---------------------|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|
| fnR1 mNR1 tNR1 | | | | | 11 | 25 | | | 27 | 45 | | 18 | 20 | 44 |
| fnR2 mNR2 tNR2 | | | | | 17 | 30 | 9 | 15 | 8 | 15 | | 21 | 25 | 13 |
| fZ2g mZ2g tZ2g | 5 | 20 | 3 | 15 | 23 | 30 | 44 | 50 | | | 8 | 30 | 7 | 35 |
| mR3 | 8 | 10 | 7 | 10 | 4 | 5 | 15 | 20 | 6 | 15 | 16 | 20 | 23 | 35 |
| fZ2 mZ2 | 5 | 15 | 4 | 15 | 23 | 30 | 41 | 45 | 8 | 20 | 8 | 25 | 8 | 35 |
| fA2g mA2g tA2g | 3 | 10 | 3 | 5 | 27 | 40 | 52 | 60 | 8 | 15 | 5 | 15 | 2 | 10 |
| fA2 mA2 | 5 | 15 | 4 | 5 | 23 | 35 | 43 | 45 | 8 | 13 | 8 | 25 | 8 | 30 |
| tZ2 (tA2 mA3 fZ3) | 7 | 10 | 5 | 10 | 14 | 20 | 20 | 30 | 6 | 10 | 13 | 25 | 18 | 35 |
| tM2 (mM3 mK3 tK3) | 9 | 15 | 7 | 10 | 6 | 10 | | | 11 | 15 | 16 | 20 | 10 | 20 |
| (inkl. M+) | | | | | | | | | | | | | | |
| mK2 tK2 | 10 | 15 | 8 | 10 | | | | | 10 | 15 | 13 | 15 | 11 | 15 |
| frZ mR2 tR2 | | | | | 12 | 15 | 8 | 10 | 11 | 15 | 9 | 15 | | 8 |
| mR2g tR2g | | | | | | | | | | | | | | 15 |
| fnK3 mNK3 tNK3 | | | | | | | | | | | | | | |
| fK1 mK1 tK1 | 9 | 20 | 7 | 20 | | | | | 12 | 15 | 17 | 20 | 11 | 15 |
| fnR3 mNR3 tNR3 | | | | | 13 | 20 | 7 | 15 | 7 | 15 | | | | 9 |
| fr1 mR1 tR1 | | | | | | | | | | | | | | 20 |
| fnA3 mNA3 tNA3 | | | | | | | | | | | | | | |
| fA1 mA1 tA1 | 4 | 10 | 3 | 5 | 25 | 35 | 42 | 60 | 7 | 15 | 6 | 15 | 8 | 30 |
| fnZ3 mNZ3 tNZ3 | | | | | 3 | 10 | 1 | 5 | 1 | 5 | | | | |
| fZ1 mZ1 tZ1 | | | | | | | | | | | | | | |
| fnM2 mM2 (inkl. M+) | 8 | 25 | 6 | 15 | 13 | 20 | 18 | 30 | 7 | 25 | | | 12 | 25 |
| fnM3 mNM3 tNM3 | | | | | | | | | 5 | 25 | 7 | 20 | 15 | 30 |
| fnM1 mM1 tM1 | 6 | 20 | 5 | 15 | 13 | 20 | 13 | 20 | 9 | 30 | 4 | 15 | 3 | 20 |
| fnM2g mM2g tM2g | 7 | 20 | 6 | 15 | 14 | 20 | 21 | 30 | 6 | 20 | 3 | 10 | 3 | 20 |
| fkZ | 10 | 15 | 7 | 10 | 6 | 10 | 6 | 10 | 10 | 25 | 8 | 10 | 10 | 15 |
| fnK1 mNK1 tNK1 | | | | | 11 | 15 | 7 | 10 | 10 | 25 | 8 | 10 | 10 | 15 |
| fnM1 mNM1 tNM1 | | | | | 13 | 15 | 6 | 10 | 5 | 10 | 24 | 40 | 18 | 30 |
| fnK2 mNK2 tNK2 | | | | | 14 | 25 | 8 | 10 | | | | | 13 | 30 |
| fnM2 mM2 tNM2 | 6 | 10 | 5 | 10 | 7 | 10 | | | 25 | 35 | | | 13 | 30 |
| fnM3 mNM3 tNM3 | 3 | 10 | 3 | 10 | 9 | 25 | 2 | 10 | 2 | 10 | 30 | 35 | 6 | 20 |
| fnA1 mNA1 tNA1 | | | | | 11 | 25 | 5 | 15 | 3 | 25 | 4 | 5 | 14 | 15 |
| fnZ1 mNZ1 tNZ1 | | | | | 10 | 25 | 4 | 15 | 2 | 10 | 2 | 10 | 30 | 35 |
| fnA2 mNA2 tNA2 | 1 | 5 | 0 | 5 | 28 | 55 | 33 | 55 | 12 | 50 | 9 | 15 | 2 | 10 |
| fnZ2 mNZ2 tNZ2 | | | | | 12 | 50 | 9 | 15 | 2 | 10 | 5 | 15 | 3 | 20 |
| tA3 tZ3 | | | | | 26 | 35 | 47 | 60 | | | 9 | 20 | | 9 |
| tM3 (inkl. M+) | | | | | 16 | 25 | 23 | 35 | 8 | 15 | | | 15 | 25 |
| | | | | | 8 | 15 | | | | | 20 | 30 | 7 | 10 |
| | | | | | | | | | | | | | 3 | 5 |

Baumarten: DGL = Douglasie, ELA = Europäische Lärche, GBI = Gemeine Birke, GKI = Gemeine Kiefer, HBU = Hainbuche, KTA = Küstentanne, MBI = Moorbirke, RBU = Rotbuche, REI = Roteiche, RER = Roterle, ROB = Robinie, SEI = Stieleiche, TEI = Traubeneiche, WLI = Winterlinde, EDL = Edellaubholz

BELASTUNG DER WALDBÖDEN DURCH STICKSTOFFEINTRÄGE

16. Welche Gefährdungspotenziale bestehen in Verbindung mit den atmosphärischen Stickstoffeinträgen in die Wälder?

Als essenzielles Makronährelement, das von den Pflanzen in besonders großen Mengen benötigt wird, war Stickstoff (N) noch bis vor etwa 50 Jahren der wichtigste wachstumslimitierende Standortsfaktor. Seither wird der N-Status der Waldökosysteme in hohem Maße durch anthropogene N-Immissionen beeinflusst. Das sind zum einen die aus Verbrennungsprozessen im Kfz-Verkehr und bei der Energiegewinnung vor allem in Wärmekraftwerken freiwerdenden Stickoxide und zum anderen das bei der landwirtschaftlichen Produktion – insbesondere der Tierhaltung – freigesetzte Ammoniak. Aufgrund ihrer hohen Oberflächenrauigkeit sind die Stickstoffeinträge in Wälder generell höher als die des Offenlandes.

Die langjährig erhöhte Stickstoffdeposition hat vielerorts zur N-Überfrachtung von natürlicherweise nährstoffarmen Waldökosystemen geführt. Mögliche Folgen hiervon sind die Eutrophierung der betroffenen Standorte mit negativen Effekten auf die Biodiversität, Nitratausträge in das Grundwasser, Bodenversauerung und Entbasung sowie mögliche Ungleichgewichte bei der Baumernährung.

Neben diesen negativen Effekten wirkt sich der eingetragene Stickstoff jedoch auch als Wachstumsbeschleuniger aus. Das belegen die aktuellen Zuwächse der Wirtschaftsbaumarten, die insbesondere auf natürlicherweise nährstoffärmeren Standorten ein dort gemeinhin nicht zu erwartendes Niveau erreichen. Dabei ist zu bedenken, dass unter N-Eintragsbedingungen auch ein höherer Anspruch an andere essenzielle Nährelemente und ein höherer Wasserbedarf besteht, der gedeckt werden muss. Das forstbetriebliche Risiko kann daher durch die Kombination von Stickstoffbelastung und Klimawandel (Wassermangel) zukünftig zunehmen, insbesondere auch infolge der damit ebenfalls einhergehend erhöhten Disposition gegenüber Insekten- und Pilzbefall.

17. Weisen die Bodendaten auf eine Stickstoffbelastung der Waldökosysteme hin? Wie ist diese aktuell zu bewerten?

Die im Humus gemessenen C/N-Verhältnisse (Relationen von organischem Kohlenstoff zu Gesamtstickstoff) sind zwischen BZE-1 und BZE-2(a) deutlich angestiegen. Die jeweiligen Mittelwerte liegen bei 23,1 (BZE-1) bzw. 26,4 (BZE-2(a)) und unterscheiden sich höchst signifikant voneinander. Eine entsprechende Entwicklung lässt sich vor allem in Kiefernbeständen beobachten: Während hier bei der BZE-1 noch C/N-Verhältnisse von 20-30 vorherrschten, lagen sie bei der BZE-2 gehäuft zwischen 30-40 und damit in einem Bereich, wie er vor den massiven N-Einträgen der 1970er und 1980er Jahre noch allgemein verbreitet war. Auf natürlicherweise nährstoffarmen Sandstandorten ist diese Tendenz vor allem unter Aspekten der Biodiversität und des Naturschutzes positiv zu bewerten.

Eine Entwarnung ist aber dennoch nicht angezeigt, da die langfristig kritischen Belastungsgrenzen nach dem sogenannten Critical-Load-Ansatz immer noch auf weiten Flächenanteilen überschritten werden. Critical Loads sind kritische Belastungsgrenzwerte für atmogene Stoffeinträge bei deren langfristig anhaltender Überschreitung es zu einer Schädigung der betroffenen Ökosysteme kommen kann. Die für die BZE-Stichprobe kalkulierten Critical Loads liegen im Mittel bei etwa 6 kg N/ha/a und werden durchschnittlich um ca. 10 kg N/ha/a überschritten. Die Stickstoffbelastung ist also auf lange Sicht gesehen immer noch deutlich zu hoch und erfordert eine Senkung der Emissionen vor allem in der Landwirtschaft.

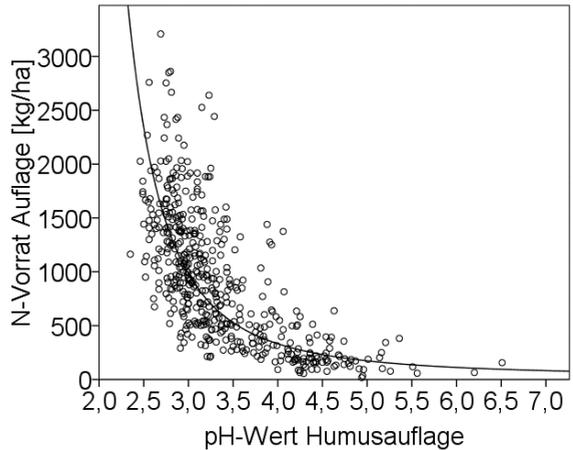


Abb.10: Stickstoffvorrat in der Humusaufgabe in Abhängigkeit vom pH-Wert

Auf vielen Standorten stellt die Humusaufgabe mit Blick auf die darin ermittelten teils sehr hohen Stickstoffmengen einen relativ labilen N-Speicher dar. Besonders unter stark sauren Bedingungen (niedriger pH-Wert, Abb.10) sind hohe Mengen an Stickstoff in der Auflage gebunden. Durch plötzliche Aktivierung von Mineralisierungsprozessen – beispielsweise nach Kalamitäten oder auch bei kahlschlagartiger Holzernte – kann es zur Freisetzung und erhöhten Auswaschung von Nitrat und ggf. zur Grundwasserkontamination kommen. Waldbaulich ist dieses Gefahrenpotenzial zu beachten und die Holzernte entsprechend humusschonend durchzuführen. Auf N-belasteten Standorten lassen sich N-Überschüsse zudem durch Waldumbaumaßnahmen in die Biomasse einbinden und in Form von Dauerhumus verstärkt im Mineralboden fixieren.

Das N-Austragsrisiko wurde auf allen BZE-Punkten mit Hilfe der Sickerwassermodellierung und anhand von gemessenen Nitratkonzentrationen im wässrigen Bodenextrakt abgeschätzt. Im Ergebnis kann davon ausgegangen werden, dass nach den in der Literatur verfügbaren Schwellenwerten auf etwa einem Viertel der Waldfläche eine erhöhte Nitratverlagerungsgefahr besteht ($\text{NO}_3^- > 10 \text{ mg/l}$), die zu einem Belastungspotenzial für das Grundwasser und einem verstärkten Risiko der Bodenversauerung führt. Etwa die Hälfte der Waldfläche befindet sich indes in einem intermediären Übergangsbereich mit gegenüber natürlichen Systemen nur leicht erhöhten Nitratkonzentrationen und -auswaschungsraten und auf einem weiteren Viertel der Waldfläche besteht keinerlei nachweisbare Stickstoffbelastung.

Da die Probennahme der BZE-2a schon mehr als 10 Jahre zurückliegt, sind die Erwartungen an die BZE-3 groß, weitere Hinweise zur aktuellen Stickstoffbelastung und zur Absicherung möglicher Trends zu erlangen.

18. Wie stellt sich die Stickstoffernährung der Waldbäume dar? Gibt es Nährstoffimbilanzen oder Vitalitätseinbußen durch Stickstoffeintrag?

Die bei der BZE aufgenommenen bodenchemischen Indikatoren zur Kennzeichnung der Stickstoffverfügbarkeit lassen eine deutliche Korrelation zur Stickstoffernährung der Bäume erkennen. So sind die Stickstoffgehalte in den Nadeln der Kiefer ab Nitratkonzentrationen im wässrigen Bodenextrakt von >10 mg/l tendenziell erhöht und befinden sich dann zunehmend im Bereich von Luxusernährung. Diese gilt als klarer Hinweis auf erhöhte atmosphärische Stickstoffeinträge. In der BZE-2(a)-Stichprobe sind 36 % aller Kiefernbestände hiervon betroffen. Trotz dieser Einschätzung stellt sich die Problematik der N-Überernährung im Vergleich mit anderen Bundesländern im Land Brandenburg weniger schwerwiegend dar; denn vornehmlich befinden sich die Werte im Normalbereich (56 % aller Kiefernbestände) und teilweise sogar im Bereich von latentem Mangel (8 %).

Neben den absoluten Stickstoffgehalten der Nadeln und Blätter werden in der Literatur die Relationen von Stickstoff zu anderen Nährelementen zur Einschätzung von Nährstoffimbilanzen empfohlen. Erwähnenswerte Überschreitungen von kritischen Schwellen dieser Relationen finden sich lediglich für das N/Mg-Verhältnis, das auf „Disharmonien“ zwischen den Elementen Stickstoff und Magnesium bei 7 % aller Kiefernbestände hinweist. Somit erscheinen insbesondere Standorte, die sich durch eine sehr geringe Magnesiumausstattung auszeichnen, als störanfällig gegenüber erhöhtem Stickstoffeintrag. Weitere Bodenversauerung und anhaltende N-Depositionen könnten hier zunehmende Nährstoffimbilanzen induzieren.

Anzumerken ist abschließend, dass die integrierende Auswertung von BZE-Daten und Daten der Waldzustandserhebung (WZE) keinerlei negative Einflüsse von potenzieller N-Überernährung auf die Vitalität der Bäume erkennen lässt. Die Befunde bestätigen vielmehr, dass die Benadelung und mutmaßlich auch die Produktivität der Baumart Kiefer durch die verbesserte Stickstoffverfügbarkeit zunächst gefördert wird. Die WZE bildet somit vor allem noch den Anfang der mit überhöhten Stickstoffeinträgen verbundenen Wirkungsketten ab, in deren Verlauf aber das Auftreten von Schäden durch eine erhöhte Disposition gegenüber biotischen und abiotischen Faktoren zunehmend wahrscheinlich wird. Direkte Schäden durch Stickstoffeinträge erscheinen aktuell vor allem lokal begrenzt in unmittelbarer Emittentennähe denkbar, z. B. im direkten Einflussbereich von Massentierhaltungsanlagen. Das BZE-Raster als Teil eines flächenrepräsentativen Stichprobenansatzes ist zur Identifizierung solcher Hotspots jedoch nicht ausgerichtet.

SONSTIGE SCHADSTOFFBELASTUNGEN DER WALDBÖDEN

19. Wie belastet sind die Waldböden durch Schwermetalle und andere Schadstoffe? Werden die Bodenlebewesen hierbei beeinträchtigt?

Bedingt durch die geringen geogenen Grundgehalte des überwiegend sandigen Ausgangsgesteins der brandenburgischen Waldböden befinden sich selbst die Spitzenwerte der Schwermetallgehalte weit unter denen anderer Regionen in Deutschland. Wirkungsbezogene Schwellenwerte werden daher in Brandenburg fast ausnahmslos eingehalten, sodass Beeinträchtigungen der für den Streuabbau wichtigen Bodenlebewesen insgesamt kaum zu erwarten sind.

Trotz der absolut gesehen niedrigen Schadstoffgehalte veranschaulichen die BZE-Befunde in Erweiterung des Begriffs der Archivfunktion von Böden deren besondere Bedeutung für die Langzeitarchivierung anthropogener Veränderungen des chemischen Klimas, d. h. insbesondere der Verbreitung von Luftschadstoffen und damit verbundener Stressfaktoren für die Wälder. So lassen sich die aktuellen Schadstoffgehalte der BZE-Standorte mit Hilfe eines statistischen Verfahrens – der sogenannten Hauptkomponentenanalyse – im Wesentlichen auf drei Umweltkomponenten zurückführen, deren akute Wirksamkeit teilweise schon mehrere Jahrzehnte zurückliegt:

Erste Hauptkomponente:

Die bedeutendste Komponente kennzeichnet das Ausmaß der früheren Belastung durch Rauchgase und Flugaschen aus der Braunkohleverbrennung und den damit verbundenen Eintrag entsprechender Schadstoffe in die Waldböden. Insbesondere das Element Arsen vermag die Depositionen aus der ehemaligen Braunkohleverbrennung noch anzuzeigen. Unter sauren Oberbodenbedingungen blieb das Element über Jahrzehnte hinweg stabil im Humus eingebunden und spiegelt in der BZE-Stichprobe noch heute regional differenziert den Einfluss entsprechender Depositionen der 1970er und 1980er Jahre wider. Mit Arsen eng assoziiert ist das Element Chrom sowie spezifische organische Schadstoffe, wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und die Verbindung Hexachlorbenzol (HCB), die ebenfalls auf Emissionen aus technogenen Verbrennungsprozessen zurückzuführen und im „Gedächtnis des Bodens“ festgehalten sind.

Da die Gehalte der genannten Stoffe die atmogene Belastungssituation der Wälder zur Zeit der BZE-1 gut widerspiegeln, bilden sie als indirekte Belastungsindikatoren eine wichtige Grundlage für die Kausalanalyse der damaligen Waldschäden. Dementsprechend lassen sich hochsignifikante Zusammenhänge zwischen den genannten Schadstoffen und den prozentualen Nadelverlusten der Kiefer im Zeitraum der BZE-Erstinventur nachweisen. Sie sind Beleg für die grundsätzliche Bedeutung der Luftschadstoffe im damaligen Ursachenkomplex der sogenannten „neuartigen Waldschäden“.



Foto: POISSON, Berlin

Abb.11: Schadstoffgehalte im Waldboden liegen weit unter den Grenzwerten für Kinderspielflächen.

In den Waldböden werden durch die dritte Hauptkomponente zum Ausdruck gebracht. Im Forstschutz wurden in Brandenburg Lindan-Präparate in Verbindung mit DDT-Anwendungen Anfang der 1980er Jahre eingesetzt. Besonders relevant war die großflächige Anwendung in den Wäldern zwischen 1982 und 1984 zur Bekämpfung von Nonne und Begleitarten (Forleule, Triebwickler, Borkenkäfer u. a.). Die entsprechenden Spurenstoffe liegen sowohl in der Humusaufflage als auch im Mineralboden der brandenburgischen Inventurpunkte aktuell noch in Konzentrationen vor, die die Werte des bundesweiten BZE-Kollektivs teils um ein Vielfaches übertreffen. Zu beachten ist jedoch, dass sich die absoluten Konzentrationen auch dieser chemischen Verbindungen aktuell weit unter den beispielsweise für Kinderspielflächen vorgeschriebenen Referenzwerten nach Bundesbodenschutzverordnung befinden und auch keinerlei ökologische Wirkungen auf Bodenlebewesen oder Pflanzenwurzeln davon auszugehen drohen.

Zweite Hauptkomponente:

Die zweite der abgeleiteten Hauptkomponenten steht primär für die Gehalte an Zink und Cadmium sowie an Kupfer, Blei, Nickel und die Stoffklasse der Polychlorierten Biphenole (PCB). Auch hier sind es technogene Quellen, die zu erhöhten Gehalten in den Waldböden führen. In Frage kommen metallverarbeitende Industrien und Kraftwerke sowie Emissionen aus dem Kfz-Verkehr insbesondere durch Reifenabrieb und Verbrennungsrückstände.

Dritte Hauptkomponente:

Die Anwendung der heute nicht mehr zugelassenen Pflanzenschutzmittel DDT und Lindan und der damit einhergehende Schadstoffeintrag in die Waldböden werden durch die dritte Hauptkomponente zum Ausdruck gebracht.

20. Durch welche waldbaulichen Maßnahmen lässt sich die Filterfunktion der Böden für Schadstoffe verbessern?

Einen Ansatzpunkt bildet hierbei die Umsetzung einer humusschonenden und störungsarmen Waldbewirtschaftung, d. h. vor allem die Vermeidung großflächiger Kahlhiebs und die Förderung bodenschonender Ernteverfahren. Im Humus erfolgt die Bindung und Immobilisierung von Schwermetallen, wodurch sowohl deren potenzielle Schädigung gegenüber Bodenlebewesen als auch die Auswaschungsgefahr in das Grundwasser herabgesetzt wird oder zeitlich verzögert erfolgt. Wie anhand der BZE-Auswertungen gezeigt werden konnte, ist darauf zu achten, dass die Humus- bzw. Kohlenstoffgehalte im Mineralboden nicht unter kritische Schwellenwerte gelangen, weil sonst insbesondere bei den Elementen Cadmium, Kupfer, Zink und Blei eine forcierte Mobilisierung erfolgt. Die Förderung von Laubbaumarten in Mischbeständen stellt vor diesem Hintergrund eine wichtige Voraussetzung für die Humusbildung und Festlegung potenziell toxischer Spurenstoffe dar.

Viele Schadstoffe sind bei niedrigen pH-Werten deutlich mobiler als bei hohen. Von besonderer Bedeutung ist dies auf den einst von Flugaschen belasteten Flächen, bei denen die

spezifische Eintragungssituation in der Vergangenheit einerseits zum Anstieg der pH-Werte und andererseits zu erhöhten Schwermetallkonzentrationen geführt hat. Durch die Absenkung der pH-Werte im Zuge der (Wieder-)Versauerung kommt es hier tendenziell zur Mobilisierung von Schadstoffen. Auf geeigneten Standorten kann durch den Umbau von Kiefernreinbeständen in Laubholz-mischbestände der Versauerung und somit auch der potenziellen Schadstoff-freisetzung entgegengewirkt werden. Bodenschutzkalkungen erscheinen indes im Regelfall unter Aufwand-Nutzen-Abwägungen in diesem Zusammenhang nicht sinnvoll.

Als besondere Senke für Schwermetalle erwiesen sich die Waldmoore und Anmoorstandorte der BZE-Stichprobe. Vor allem in Emittentennähe binden sie sehr große Mengen der einge-tragenen potenziell toxischen Spurenstoffe und stellen dadurch gleichermaßen ein Risiko dar, wenn es durch Torfmineralisierung infolge von Grundwasserabsenkung zur Freisetzung der Schadstoffe kommt. Es ist also darauf zu achten, die Moore zu erhalten und den Abbau der Torfkörper zu verhindern, um Schwermetallfreisetzungen dauerhaft zu vermeiden.

Für das Auftreten von einzelnen Extremwerten innerhalb der BZE-Stichprobe konnten fast immer die wahrscheinlichen Ursachen anhand der im Gelände vermerkten Hinweise identifiziert werden. So lassen sich extrem hohe Schwermetallkonzentrationen mehrfach durch den Auftrag von ortsfremdem (belastetem) Bodenmaterial, wie beispielsweise künstlichen Substraten für den Wegebau oder durch Müllablagerungen in unmittelbarer Nähe der entnommenen Boden-proben begründen. Hier bestehen Möglichkeiten durch die lokale Forstverwaltung potenzielle Kontaminationsquellen auszuschließen. Die Forstbehörden tragen dabei durch ihre regional gut vernetzte Öffentlichkeitsarbeit aktiv zur Sensibilisierung der Bevölkerung bei. Nicht zuletzt ist die konsequente Erfassung und Beseitigung illegaler Ablagerungen in den Wäldern ein essenzieller Baustein für die dauerhafte Gewährleistung der Filterfunktion von Waldböden.

21. Haben sich die in den vergangenen Dekaden durchgeführten Luftreinhaltemaßnahmen auf die Qualität der Waldböden ausgewirkt?

Der Vergleich luftbürtiger Schadstoffgehalte im Boden weist je nach Element auf mehr oder weniger deutliche Ab-nahmen der Werte zwischen BZE-1 und BZE-2(a) hin, was als Bestätigung der Wirksamkeit von Luftreinhaltemaßnahmen während der vergangenen Jahr-zehnte gedeutet wird. So haben sich – entsprechend der stark verringerten Bleiemissionen aus dem Kfz-Verkehr – die mittleren Bleigehalte in der Humusaufgabe höchst signifikant reduziert. Auch für die Elemente Kupfer, Chrom und Nickel sind höchst signifikante Re-

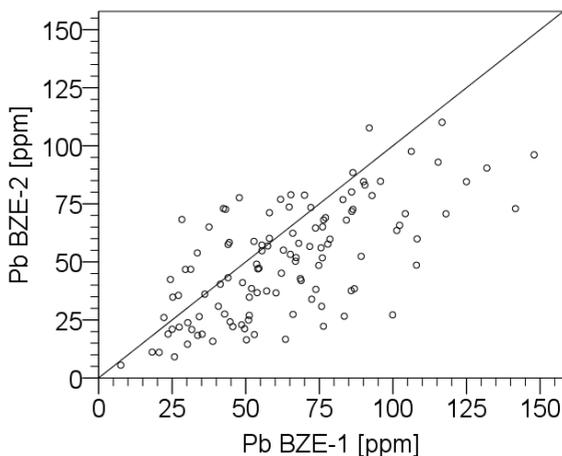


Abb.12: Gegenüberstellung der Gehalte von Blei (Pb) im Auflagehumus von BZE-1 und BZE-2(a) (Punkte unterhalb der Diagonalen weisen auf eine Abnahme der Pb-Gehalte hin)

duktionen der Gehalte im Auflagehumus zu verzeichnen. Als Ursache kommen reduzierte Elementeinträge, aber auch erhöhte Auswaschungsraten infolge gesunkener pH-Werte in Frage. Um das ökotoxische Schadpotenzial der hier betrachteten Stoffe auf ein Minimum zu beschränken, sind die bundes- und landesweit durchgeführten Maßnahmen der Luftreinhaltung auch in Zukunft erfolgreich fortzusetzen.

BÖDEN ALS PRODUKTIONSGRUNDLAGE

22. Von welchen Bodeneigenschaften hängt die Produktivität der Forststandorte hauptsächlich ab? Gefährdet die Biomassenutzung die Böden und ist die Produktivität gefährdet?

Die Begriffe Produktivität und Bodenfruchtbarkeit werden häufig synonym verwendet, denn auf fruchtbaren Böden können auch nachhaltig hohe Erträge produziert werden. Infolge der Nutzung eines Bodens verändert sich dessen natürliche Fruchtbarkeit, was sich entsprechend in der Ertragsleistung niederschlägt. Unter wirtschaftlichen Aspekten stellt daher die Förderung der Bodenfruchtbarkeit eine Kernaufgabe des waldbaulichen Handelns dar.

Die Fruchtbarkeit der brandenburgischen Waldböden ergibt sich vor allem aus ihrem individuellen Wasser- und Nährstoffhaushalt. Dabei ist die Nährstoffverfügbarkeit wiederum auch von der Wasserversorgung abhängig, weil Nährstoffe nur über die Bodenlösung aufgenommen werden können. Die Verbesserung der Wasserspeicherfähigkeit der Böden durch eine humusschonende und humusbildende Bewirtschaftung der Bestände ist daher ein Ansatzpunkt zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit wie gleichermaßen auch der Leistungsfähigkeit der Standorte.

Generell waren in Brandenburg während der vergangenen Jahrzehnte hohe Zuwachsleistungen zu verzeichnen. Als deren Ursachen kommen u. a. die im Boden akkumulierten Nährstoffeinträge aus der Luft – aktuell v. a. Stickstoffeinträge und ehemals Basen aus Flugaschen der Braunkohleverbrennung – in Frage. Ein Absinken des hohen Zuwachsniveaus ist insbesondere auf natürlicherweise schwächeren Standorten zu erwarten, die über Jahrzehnte aufgebastet wurden oder von erhöhten Stickstoffeinträgen betroffen waren. Die bei der BZE und auf Intensivmessflächen des Umweltmonitorings gewonnenen Zeitreihen zur Ernährung der wichtigsten Wirtschaftsbaumarten geben allerdings bislang noch keine Hinweise auf eine ertragswirksame Verschlechterung der Nährstoffversorgung.

Gleichwohl muss ein konsequentes Nährstoffmanagement insbesondere auch aufgrund der trockenheitsbedingt eingeschränkten Nährstoffverfügbarkeit zukünftig eine zentrale Rolle für die Sicherung der Produktivität und Bodenfruchtbarkeit spielen. Nach den BZE-Befunden ist davon auszugehen, dass es im Zuge von weiterer Entbasung und Versauerung vor allem mit Blick auf das Hauptnährelement Magnesium zu Mangelsituation kommen kann. Damit sich der Nährstoffexport in angemessenem Rahmen bewegt, sind standortsangepasste Nutzungsintensitäten bei der Waldbewirtschaftung einzuhalten. Für die BZE-Stichprobe konnte gezeigt werden, dass der Nährelementexport im Vergleich zum Biomasseexport mit Intensivierung der Holznutzung überproportional zunimmt. So liegt die mittlere Trockenmasse bei Vollbaumnutzung von Kiefernbeständen gegenüber der Stammholznutzung bei ca. 113 %; der dadurch bewirkte Verlust an Nährelementen erhöht sich hingegen auf 130 % bei Magnesium und Calcium und auf fast

170 % bei Kalium. Die Ursache hierfür besteht im Wesentlichen darin, dass der Rindenanteil bei schwächerem Holz und Feinreisig höher als beim Stammholz ist und in der Rinde erhebliche Mengen an Nährstoffen gespeichert sind.

Die stoffliche Nachhaltigkeit der forstlichen Nutzung wurde zum einen für die BZE-Punkte anhand von aufwändigen ökosystembezogenen Stoffbilanzen eingeschätzt und zum anderen für die Gesamtwaldfläche durch die Bilanzierung von Nährstoffentzügen mit der Ernte und im Boden verfügbaren Elementvorräten. Die beiden methodisch unterschiedlichen Herangehensweisen führen übereinstimmend zu dem Befund, dass die nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit bei konventioneller Nutzungsintensität (Nutzung des Schaftholzes mit Rinde) auf der überwiegenden Mehrheit der brandenburgischen Waldstandorte gewährleistet ist.

Flächenhaft erhöhte Risiken der Übernutzung bestehen zum Beispiel im Bereich des Altmoränenlandes im Nordwesten Brandenburgs (Abb.13). Punktuell können jedoch in ganz Brandenburg Gebiete mit lokal erhöhtem Risiko auftreten. Die im Kartogramm in Abb.13 rot gekennzeichneten sensitiven Bereiche umfassen insgesamt 28 % der Waldfläche. Ausgehend vom Vorsorgeprinzip wird auf übernutzungsgefährdeten Standorten in besonderem Maße empfohlen, adäquate Mengen an Schlagabraum im Bestand zu belassen. Dieses umfasst die konsequente Umsetzung konkreter forstlicher Maßnahmen wie

- Verzicht auf die Nutzung von Holz unterhalb der Derbholtzstärke (< 7 cm)
- flächiges Belassen von Ästen, Reisig und Nadeln/Blättern nach der Holzernte auf dem Waldboden
- Vermeidung von bestockungsarmen Situationen und Kahllagen der Böden (inkl. konsequentem Waldschutz zur Vermeidung von flächigen Kalamitäten)
- Verzicht auf die vollständige Entnahme von Schlagabraum nach Sturmwurf oder Waldbrand.

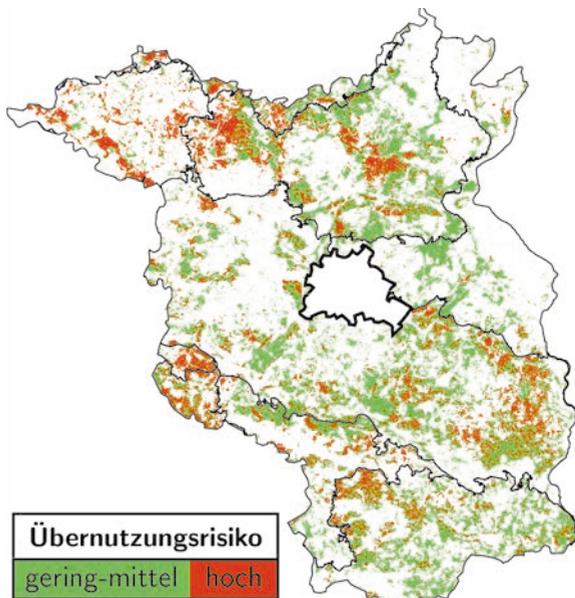


Abb.13: Standörtliches Übernutzungsrisiko bei konventioneller Nutzungsintensität (Grundlage für die Einschätzung bildet das lokal am stärksten limitierende Nährelement, szenarisch kalkuliert für die jeweilige Hauptbaumart des Bestandeszieltyps)

23. Wäre eine Intensivierung der Holzernte (z.B. in Form von Vollbaumnutzung) standortsverträglich und nachhaltig?

Auf Standorten mit geringem Übernutzungsrisiko kann die intensivierete Holznutzung einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Um den Anteil erneuerbarer Energien zu erhöhen und zur

Erreichung der Klimaschutzziele des Bundes und der EU, ist die nachhaltige Holznutzung für energetische Zwecke essenziell. Vor diesem Hintergrund werden im Waldbodenbericht Brandenburg Nutzungspotenziale mit Blick auf die Vollbaumernte unter Beachtung der Nachhaltigkeit baumartenspezifisch abgeleitet und anwendungsnah in Form von Kartogrammen dargestellt (Abb. 14). Ihre Grundlage bildet die mögliche Anzahl an Umtriebszeiten, die in Form von vier adäquaten Vulnerabilitätsstufen (Empfindlichkeitsstufen) wie folgt klassifiziert wird:

| | |
|---------|--|
| Stufe 1 | ... keine Vollbaumernte empfohlen |
| Stufe 2 | ... eine Umtriebszeit mit Vollbaumnutzung möglich |
| Stufe 3 | ... 2 bis 10 Umtriebszeiten mit Vollbaumnutzung möglich |
| Stufe 4 | ... mehr als 10 Umtriebszeiten mit Vollbaumnutzung möglich |

Nach den Ergebnissen von Modellstudien mit BZE-Daten ist für die Baumart Kiefer auf 55 % der brandenburgischen Waldfläche von mindestens einer möglichen Umtriebszeit mit Vollbaumnutzung auszugehen. Für die Laubbaumarten indes werden bei den A-, Z- und M-Standorten nur geringe Flächenanteile mit möglicher Vollbaumnutzung ermittelt. Am geringsten stellt sich die Standortverträglichkeit der Vollbaumnutzung bei der Baumart Buche dar. Selbst auf etwa einem Drittel der K-Standorte ist hier von Vollbaumnutzung abzuraten. Bei den beiden heimischen Eichenarten ist indes bei ca. 90 % der K- und R-Standorte von mindestens einer möglichen Umtriebszeit mit Vollbaumnutzung auszugehen. Bezogen auf die Gesamtwaldfläche liegt dieser Anteil bei ca. 30 %. Für die Baumart Douglasie werden insgesamt die höchsten Nutzungspotenziale ermittelt, die nur auf A- und Z-Standorten eingeschränkt sind. Auf 81 % der Gesamtwaldfläche wäre die Vollbaumnutzung von Douglasie über mindestens eine Umtriebszeit möglich.

Für einen hohen Anteil der Waldfläche lässt sich aus den BZE-Befunden konstatieren, dass die intensive Holzentnahme bei Vollbaumnutzung mit Blick auf die nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit je nach Baumart und Standort überwiegend als kritisch einzuschätzen ist. Zu beachten ist zudem, dass die Ableitung der dargestellten Vulnerabilitätsstufen ausschließlich auf den verfügbaren Vorräten der Elemente Calcium, Magnesium und Kalium basiert. Mögliche Beeinträchtigungen der Böden lassen sich daher für die nach diesem Ansatz maximal vertretbaren Nutzungsintensitäten nicht immer vollständig ausschließen. So wirken sich zu starke Nutzungen auch nachteilig auf den Humusvorrat und infolgedessen auf Bodengefüge, Austausch- und Wasserspeicherkapazitäten aus. Die Produktivität dieser Standorte könnte sich durch die verschlechterte Wasser- und Nährstoffversorgung bei zusätzlich zunehmender Sommertrockenheit deutlich reduzieren. Erinnerung sei in diesem Zusammenhang daran, dass schon Wiedemann (1935)² geringe Humusgehalte und die dadurch reduzierten Wasserspeicherkapazitäten im Boden als Ursache für auffällig schlechtes Wachstum von Kiefernbeständen erkannte.

² Wiedemann E. (1935): Über Schäden durch Streunutzung im deutschen Osten. Forstarchiv 11, 386-390

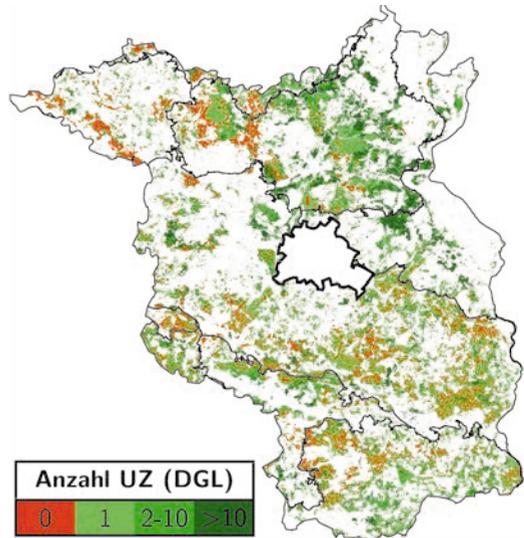
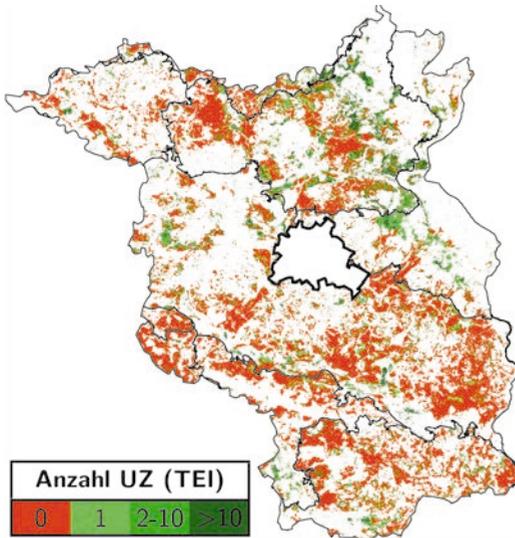
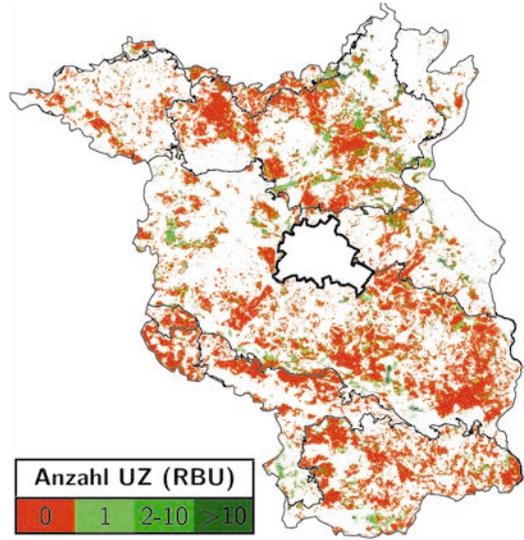
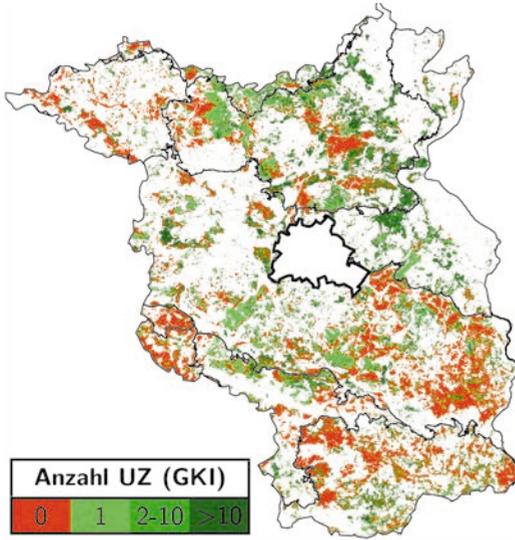


Abb.14: Anzahl der möglichen Umtriebszeiten (UZ) mit Vollbaumnutzung unter Berücksichtigung der stofflichen Nachhaltigkeit exemplarisch für die Baumarten Gemeine Kiefer, Rotbuche, Traubeneiche und Douglasie

SCHLUSSBETRACHTUNG UND AUSBLICK

24. Sind die Ergebnisse für die Gesamtwaldfläche repräsentativ? Wie sieht die Qualitätssicherung für die erhobenen Daten aus?

Wir bezeichnen eine Stichprobe als repräsentativ, wenn von ihr der sichere Schluss auf die Grundgesamtheit erlaubt ist, deren Zusammensetzung sie möglichst genau abbilden soll. Die BZE-Stichprobe wurde hinsichtlich ihrer Repräsentativität anhand der Legendeneinheiten der brandenburgischen Karte der potenziell-natürlichen Vegetation (pnV) überprüft. Die pnV kann als Summenausdruck aller ökologisch wirksamen Standortseigenschaften und Naturraumressourcen betrachtet werden. Sie spiegelt indirekt die natürliche standörtliche Vielfalt der aktuellen Waldfläche wider, die vorherrschenden Bodentypen und deren Ausgangsmaterialien, die makro- und mesoskaligen Klimaausprägungen sowie die daraus resultierenden Bodenwasserhaushaltsbedingungen und standörtlichen Nährstoffverfügbarkeiten. Unter diesem Aspekt sind die Haupt- und Untergruppen der pnV bestens für Analysen der standörtlichen Flächenrepräsentativität von Inventurnetzen geeignet.

Im Ergebnis der durchgeführten Repräsentanzanalysen sind die flächenmäßig relevanten Haupttypen der pnV in der BZE-Stichprobe anteilig in akzeptablem Umfang vertreten. Die in der BZE nicht vorkommenden Haupttypen machen nur ca. 0,25 % der aktuellen Waldfläche aus. Auch bei Berücksichtigung von pnV-Untergruppen werden lediglich 0,92 % der Waldfläche Brandenburgs durch die BZE nicht berücksichtigt. Die nicht vertretenen Untergruppen sind überwiegend sehr selten und machen an der Gesamtfläche jeweils meist weniger als 500 ha, in einigen Fällen sogar weniger als 100 ha, aus.

Die Datengewinnung an den BZE-Punkten wie auch die Durchführung der Laboranalysen werden von umfangreichen Qualitätskontrollen begleitet. Bei den über viele Jahre realisierten Labor-Ringtests untersuchen die beteiligten Labore regelmäßig standardisierte Boden- und Pflanzenproben. Die Auswertung der Ergebnisse zeigt, ob die Abweichungen zwischen den Laboren in einem vertretbaren Rahmen liegen, ob es systematische Abweichungen gibt und wo Verbesserungsbedarf besteht. In der Bund-/Länder-Arbeitsgruppe „BZE“ erfolgt die Abstimmung aller landesweit eingesetzten Methoden. Alle zulässigen Verfahren sind in einer Arbeitsanleitung zur Durchführung der BZE bzw. im Handbuch der Forstlichen Analytik (HFA) festgehalten und detailliert beschrieben³. Durch gründliche Schulungen zur Probenahme und Bodenansprache wird sichergestellt, dass die Aufnahmeteams korrekt nach der Arbeitsanleitung vorgehen, nur zugelassene Geräte zur Probenahme einsetzen und diese richtig handhaben.

Schließlich kommen bei der Datenverarbeitung automatisierte Plausibilitätskontrollen zum Einsatz und im Falle von zweifelhaften Analyseergebnissen sind die Bodenproben einer Wiederholungsuntersuchung zu unterziehen.

³ BMELV (2006): Arbeitsanleitung für die zweite bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). 2. Aufl. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bonn.

GAFA (2005): Handbuch Forstliche Analytik - Eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich. Gutachterausschuss Forstliche Analytik (Hrsg.). Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn.

25. Wie kann die BZE der Forstpraxis dienen und wie unterscheidet sie sich von der Forstlichen Standortkartierung?

Eine der essenziellen Voraussetzungen für die zielgerechte Planung und Durchführung waldbaulicher Maßnahmen ist die Forstliche Standortkartierung. Bei einem Zielmaßstab von 1:10.000 liefert die Standortkarte im Land Brandenburg räumlich hochaufgelöste Daten, die seit den 1950er Jahren im Verlauf von mehreren Jahrzehnten erarbeitet worden sind. Die Klassifizierung und Bewertung der Standortfaktoren Nährkraft, Wasserhaushalt und Klima bildet die Grundlage für viele forstliche Entscheidungen, insbesondere hinsichtlich der Auswahl standortgemäßer Baumarten und Verjüngungsverfahren.

Neben den existierenden Standortkarten, die den Stand der Erkenntnisse zum Zeitpunkt der Aufnahme wiedergeben, werden regelmäßig durch die BZE aktuelle – simultan und flächenrepräsentativ erhobene – Bodenzustandsdaten bereitgestellt. Modellmäßig aus diesen Primärdaten abgeleitete Ökosystemkenngrößen (z. B. zu pflanzenverfügbaren Nährstoffvorräten, Verwitterungsraten, Nährstoffverlusten mit dem Sickerwasser sowie Nährstoffentzügen durch geplante Holzerntemaßnahmen) können über statistische Regionalisierungsansätze auf der Basis der Forstlichen Standortkarte, digitaler Höhenmodelle und weiterer Geoinformationen in die Fläche übertragen werden. Entsprechende Ansätze wurden bereits erfolgreich erprobt und zur Generierung von Standortinformationen an den Punkten eines brandenburgweiten 100x100-m-Stützstellennetzes eingesetzt. Vor allem die der Standortkarte zu entnehmenden und zeitlich kaum variablen bodenphysikalischen Eigenschaften, die sich aus den sogenannten Stammstandortsformen ableiten lassen, bilden zentrale Steuergrößen für die flächenscharfe Übertragung von Befunden aus den Monitoring-Programmen. Damit können aktuelle Bodenzustands- wie auch Klimadaten in die lokale Standortkennzeichnung einfließen und unter Anwendung von Wasser- und Stoffhaushaltsmodellen für die Praxis nutzbar gemacht werden – beispielsweise mit Blick auf die Einschätzung der Nährstoffnachhaltigkeit, die Abschätzung des Risikos von Trockenstress für etablierte und alternative Baumarten sowie die Wahl der Baumartenzusammensetzung unter Berücksichtigung von Klimaveränderungen.

Zukünftig ist von einem wachsenden Bedürfnis von forstlichen Beratungsstellen und Waldbesitzern nach thematisch aufbereiteten und aggregierten Standortinformationen auszugehen. Für die Beantwortung vielfältiger Fragen der ressourcenschonenden Waldbewirtschaftung und Risikoabschätzung ist der Brückenschlag zwischen traditioneller Standortkartierung und forstlichem Umweltmonitoring zu bewältigen und ein Standortinformationssystem zu schaffen, für das die hohe räumliche Auflösung „klassischer“ Standortkarten mit den im Rahmen des Forstlichen Umweltmonitorings erhobenen Daten und neu entwickelten Methoden und Modellen zu kombinieren ist. Durch diese Verbindung können aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse noch besser für die zukunftsorientierte forstliche Beratung und Förderpolitik nutzbar gemacht werden.

26. Wie geht es mit der Bodenzustandserhebung in Brandenburg weiter?

Die Forstwirtschaft steht durch den Klimawandel vor großen Aufgaben: Die Anpassung der Wälder an die Herausforderungen der Zukunft erfordert regelmäßige und kontinuierliche Aktualisierungen der Boden- und Standortinformationen. 30 Jahre nach der BZE-Erstinventur werden planmäßig im Frühjahr 2022 die Geländeaufnahmen für die nächste Bodenzustandserhebung

starten. Die Grundlage für diese bundesweite Inventur bildet die „Verordnung über Erhebungen zum Zustand des Waldbodens“ des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BZE-Verordnung – BZEV), mit deren termingerechtem Inkrafttreten zum 14.07.2020 nun alle Ampeln auf Grün stehen und auch im Land Brandenburg die Ausschreibung der Bodenprobenentnahme als erstem Meilenstein der BZE-3 erfolgen kann. Dabei ist die Gewinnung von Analysematerial aus mindestens 1.700 Einzelbohrungen an 217 Inventurpunkten zu bewältigen.

Manche aus den bisherigen Bodenzustandserhebungen abgeleiteten Trendergebnisse bedürfen noch der weiteren statistischen Absicherung. Sie werden sich durch die kommende Inventur und daraus berechnete Zeitreihen weiter quantifizieren lassen. Daher sehen wir gespannt der nächsten Bodenzustandserhebung im Land Brandenburg entgegen.

**Ministerium für Landwirtschaft,
Umwelt und Klimaschutz
des Landes Brandenburg**

**Landesbetrieb Forst Brandenburg
Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde**

Alfred-Möller-Straße 1
16225 Eberswalde

Telefon: 03334 2759-100

Fax: 03334 2759-206

E-Mail: lfe@lfb.brandenburg.de

Internet: www.forst.brandenburg.de

**WALDWIRTSCHAFT
- ABER NATÜRLICH**