

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der  
DBG, AG Waldböden  
Titel der Tagung: Böden verstehen –  
Böden nutzen – Böden fit machen  
Veranstalter: DBG – AG Waldböden  
Termin und Ort der Tagung:  
September 2011, Berlin  
Berichte der DBG (nicht begutachtete  
online Publikation),  
<http://www.dbges.de>

## **Stickstoffzustand nordostdeutscher Waldböden im Vergleich von BZE-1 und BZE-2**

Winfried Riek & Alexander Russ<sup>1</sup>

### **Zusammenfassung**

Im Beitrag werden zwei auf der Grundlage von BZE-Daten Brandenburgs multivariat-statistisch abgeleitete Indikatoren für den Stickstoffstatus vorgestellt. Diese Indikatoren lassen sich für grundwasserferne Standorte mit Kiefernbestockung zur Abschätzung des Gefährdungspotenzials durch Stickstoffeinträge verwenden. Kriterien hierfür sind: Nitratauswaschung, N-Überernährung und die Einschränkung von Biodiversität. Die abgeleiteten Indikatoren sind metrisch skaliert und nehmen in Abhängigkeit von den Ausprägungen der bestimmenden Eingangsgrößen Werte zwischen 0 und 1 an. Hohe Werte verweisen auf ein erhöhtes Gefährdungspotenzial.

Die Indikatoren werden auf den Datensatz der BZE von Mecklenburg-Vorpommern angewandt und für den Vergleich zwischen BZE-1 und BZE-2 in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern eingesetzt. Insgesamt zeigt sich, dass zwischen BZE-1 und BZE-2 eine Verbesserung des N-Zustandes erfolgt ist. Dieses betrifft insbesondere die Erhebungspunkte in Brandenburg, wo von einer extrem ausgeprägten N-Belastungssituation zur Zeit der BZE-1 auszugehen ist.

<sup>1</sup> Hochschule für nachhaltige Entwicklung (FH) und Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde, Alfred-Möller-Str.1, 16225 Eberswalde

Das Risiko für „Stickstoffsättigung“ von Waldstandorten steigt mit zunehmendem Anteil der landwirtschaftlich genutzten Fläche in der Umgebung.

### **Schlüsselworte:**

Bodenzustandserhebung, Nitratauswaschung, Eutrophierung, Biodiversität, Indikatoren

### **Einleitung und Zielstellung**

Einer der Risikofaktoren, denen unsere Wälder ausgesetzt sind, besteht in der Belastung mit Stickstoffverbindungen aus Landwirtschaft, Verkehr und Industrie. Mögliche Folgen der N-Akkumulation in Wäldern sind ein Rückgang der Biodiversität, Ernährungsungleichgewichte der Waldbäume und erhöhte Nitratausträge ins Grundwasser. In der unlängst veröffentlichten Europäischen Stickstoffstudie (Sutton et al. 2011) wird auf die bislang deutlich unterschätzten klimaschädlichen Lachgasemissionen (N<sub>2</sub>O) aus Waldböden hingewiesen.

Der Stickstoffstatus von Waldökosystemen und das Vorliegen von „Stickstoffsättigung“ lassen sich mit Hilfe von verschiedenen in der Literatur genannten Indikatorkenngrößen, wie zum Beispiel atmogenem N-Eintrag, C/N-Verhältnis im Humus, Nitratauswaschung und Baumernährung einschätzen. Problematisch erscheinen hierbei zum einen die meist eingeschränkte Datenverfügbarkeit und zum anderen die in empirischen Daten teilweise auftretenden widersprüchlichen Aussagen je nachdem welche der empfohlenen Indikatoren man zur Beurteilung des N-Status heranzieht.

Das Ziel des vorliegenden Beitrags ist die Darstellung des Stickstoffstatus am Beispiel nordostdeutscher Waldböden auf der Grundlage eines aus verschiedenen N-Indikatoren der Bodenzustandserhebung (BZE) multivariat-statistisch abgeleiteten integrierenden Kennwertes.

### **Verwendete Daten**

Die Bodenzustandserhebung wurde in Brandenburg in den Jahren 1992/93 (BZE-1) und 2006/2007 (BZE-2) an 167 Punkten des bundesweiten 8x8 km Stichproben-netzes durchgeführt. Die Vorgaben der BZE-Anleitung (Wellbrock et al. 2006)

wurden weitgehend berücksichtigt. Davon abweichend erfolgte in Brandenburg die Beprobung des Mineralbodens ab 5 cm (BZE-1) bzw. 10 cm Tiefe (BZE-2) horizontweise aus den Stirn- bzw. Seitenwänden des Profils. Die Tiefenstufe 0-5 cm und die Humusaufgabe wurden bei der BZE-1 an jeweils drei repräsentativen Stellen in Profilhöhe beprobt. Bei der BZE-2 wurden die Tiefenstufen 0-5 cm, 5-10 cm und die Humusaufgabe an acht Satellitenpunkten beprobt. Die Probennahme erfolgte im Mineralboden volumenbezogen ausschließlich mit Hilfe von Stechzylindern. An jedem Satelliten wurden die Mineralboden- und Humusproben mit je zwei Wiederholungen entnommen. Aus allen gewonnenen Einzelproben der Satelliten wurden tiefenstufenweise Mischproben hergestellt.

### Methodische Vorgehensweise

Die Definition eines kritischen N-Zustandes wurde an den folgenden Gefährdungspotenzialen festgemacht:

- Grund- und Trinkwasserkontamination durch Nitratauswaschung
- N-Überernährung und Nährelementungleichgewichte der Waldbäume
- Verlust an Biodiversität durch N-Eutrophierung.

In einem ersten Schritt wurden diejenigen grundwasserfernen mit Kiefer bestockten BZE-Punkte ermittelt, an denen wirkungsbezogene Schwellenwerte wie folgt überschritten werden:

- $\text{NO}_3$  im wässrigen 1:2-Extrakt  $> 10$  mg/l (in Anlehnung an Riek, 2009)
- N-Konzentration in 1-jährigen Kiefernadeln  $> 17$  g/kg (vgl. AK Standortkartierung, 2003)
- mittlere N-Zahl nach Ellenberg  $> 5$  und gleichzeitig Humusform Graswurzelfilzmoder, rohhumusartiger Moder oder Rohhumus

Für die Trennung zwischen den so ermittelten 26 und weiteren 106 Stichprobepunkten wurde eine Diskriminanzanalyse durchgeführt und mit den Einflussgrößen mit signifikanten Trenneigenschaften ein Logit-Modell abgeleitet.

Als potenzielle Einflussgrößen in der schrittweise Diskriminanzanalyse wurden die folgenden Kennwerte berücksichtigt: Nitratkonzentration im Sickerwasser (wässriger 1:2-Extrakt); N-Gehalt im 1. Nadeljahrgang von Kiefern; mittlere N-Zahl nach Ellenberg, Humusform, Bodentyp und Substrattyp jeweils codiert als Dummy-Variable; C/N-Verhältnisse, pH-Wert, Basensättigung, Elementvorräte und -konzentrationen von Bodenblöcken diverser Tiefenabschnitte.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Diskriminanzanalyse wurden zwei Logit-Modelle hergeleitet. Das erste Modell berücksichtigt die Einflussgrößen mit maximalen Trenneigenschaften, im zweiten (vereinfachten) Modell wurden nur diejenigen Kennwerte berücksichtigt, welche im allgemeinen aus Bodendatenbanken verfügbar sind (keine Ernährungs- und Vegetationsdaten und keine Nitratgehalte im wässrigen 1:2-Extrakt).

Die abgeleiteten Wahrscheinlichkeitsfunktionen generieren Werte zwischen 0 und 1, die als multivariat definierte integrierende Indikatoren für den N-Status verwendet werden können. Werte nahe 0 verweisen auf ein geringes, Werte nahe 1 auf ein hohes Risiko hinsichtlich der o. g. N-Gefährdungspotenziale. Zu beachten ist, dass die „hot-spots“ der Nitratauswaschung, nämlich grundwasserabgesenkte Waldstandorte, die erhöhten Mineralisierungsprozessen unterliegen und auf denen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser  $> 50$  mg/l beobachtet werden (Riek, 2009), von dieser Auswertung ausgeschlossen wurden.

### Ergebnisse

Im Ergebnis führen die Diskriminanzmodelle zu einer richtigen Fallzuordnung („Trefferwahrscheinlichkeit“) von 97,1 % (Modell 1) bzw. 83,6 % (Modell 2). Die entsprechenden Wahrscheinlichkeitsfunktionen lauten wie folgt:

$$P_{\text{Mod1}} = 1 / (1 + (11.469 * (0.0551^{-8.025 + 0.136 \text{VAR1} + 0.578 \text{VAR2} - 0.019 \text{VAR3} - 0.036 \text{VAR4} - 0.476 \text{VAR5}})))$$

VAR1 = NO<sub>3</sub>-Konzentration Bodenlösung [mg/l]  
 VAR2 = N-Gehalt Nadel 1. Njg. [mg/kg]  
 VAR3 = C/N-Verhältnis Humusauflage  
 VAR4 = C/N-Verhältnis 0-30cm Tiefe  
 VAR5 = Dummy-Variable (1 für Humusform Mull oder mullartiger Moder; sonst 0)

$$P_{Mod2} = 1 / (1 + (2.2858 * (4.9809^{-3.112 + 1.729} VAR1 - 5.116 \log(VAR2) + 0.090 VAR3 + 0.058 VAR4)))$$

VAR1 = Dummy-Variable (1 für Humusform Mull oder mullartiger Moder; sonst 0)  
 VAR2 = Kalium [kmolc/ha] in 0-30cm Tiefe  
 VAR3 = C/N-Verhältnis Humusauflage  
 VAR4 = C/N-Verhältnis 0-30cm Tiefe

Die beiden Indikatoren für den N-Status  $P_{Mod1}$  und  $P_{Mod2}$  wurden jeweils hinsichtlich ihrer Abhängigkeit von standörtlichen Straten sowie hinsichtlich räumlicher Muster untersucht. Hierbei zeigen sich tendenziell geringere Werte (das heißt ein geringeres N-Gefährdungspotenzial) bei den bodenbiologisch wenig aktiven stark podsoligen Braunerden und Podsolen. Des Weiteren zeigt sich eine Abhängigkeit von der Streuzusammensetzung, wonach in Beständen mit reiner Kiefernadelstreu geringere Werte von  $P_{Mod1}$  und  $P_{Mod2}$  zu verzeichnen sind als in Beständen mit Nadel- und Blattstreu. Hervorzuheben sind regionale Muster, die auf einen Einfluss von landwirtschaftlich genutzten Flächen der Umgebung des BZE-Punktes hinweisen. Abb. 1 demonstriert dieses anhand von Boxplots in denen die in drei Gruppen eingeteilten Indikatorwerte  $P_{Mod1}$  und  $P_{Mod2}$  dem landwirtschaftlich genutzten Flächenanteil in einem Umkreis von 1000 m gegenübergestellt sind. In diese Auswertung wurden zusätzlich auch BZE-Punkte von Mecklenburg-Vorpommern einbezogen. Die Ermittlung der Flächenanteile erfolgte auf der Grundlage des CORINE-Landcovers; eine tiefer gehende Analyse mit Hilfe von hochaufgelösten Landnutzungsdaten ist derzeit im Rahmen einer Masterarbeit in Bearbeitung (vgl. Schirmmacher, M.).

Ein Vergleich des N-Status zwischen BZE-1 und BZE-2 lässt sich anhand von  $P_{Mod2}$  durchführen. Für den Indikator  $P_{Mod1}$  liegen aus der BZE-1 indes nicht alle benötigten Eingangsgrößen vor. Der Vergleich zeigt, dass die Streuung der Werte in den beiden

betrachteten Bundesländern zwischen den Inventurzeiträumen abgenommen hat (Abb.2).

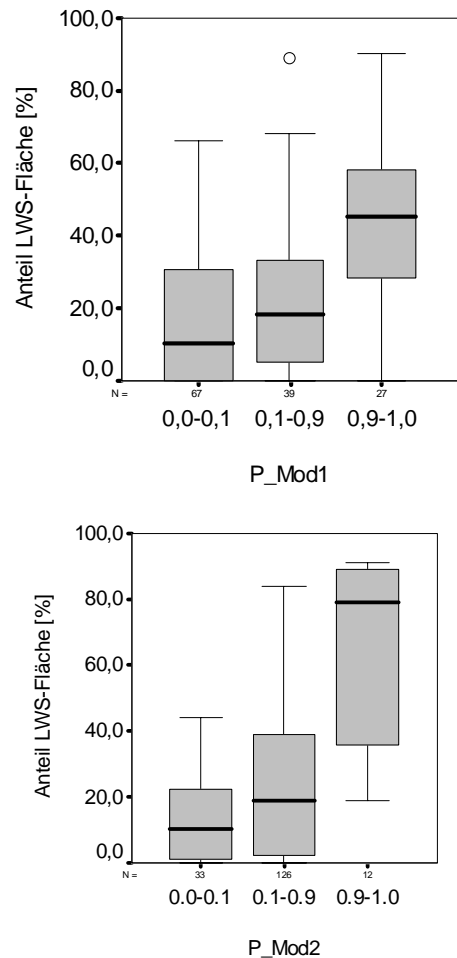


Abb.1: Prozentualer Anteil der landwirtschaftlich genutzten Fläche im Umfeld der BZE-Punkte in Abhängigkeit von  $P_{Mod1}$  und  $P_{Mod2}$  (BZE-Punkte in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern)

Sowohl in Brandenburg als auch in Mecklenburg-Vorpommern waren zur Zeit der BZE-1 noch mehr Punkte mit erhöhten Werten zu verzeichnen als zur BZE-2. Bemerkenswert ist, dass sich in Brandenburg nicht nur die Streubreite verändert hat, sondern auch das durchschnittliche Niveau der Werte (Median) zur Zeit der BZE-1 deutlich höher lag. Dieser Befund deckt sich damit, dass die Stickstoffeinträge seit den 1990er Jahren insgesamt stark zurückgegangen sind (Einert & Barth 2001) und unterstreicht die Einschätzung von Publikationen zur Stickstoffsituation aus den 1980er Jahren, wonach die damalige Belastung durch den „Schadfaktor Stickstoff“ eine extrem destabilisierende und in letzter Konsequenz bis zum Absterben von

Beständen gehende Wirkung in den brandenburgischen Kiefernforsten zeigte (vgl. Heinsdorf 2007).

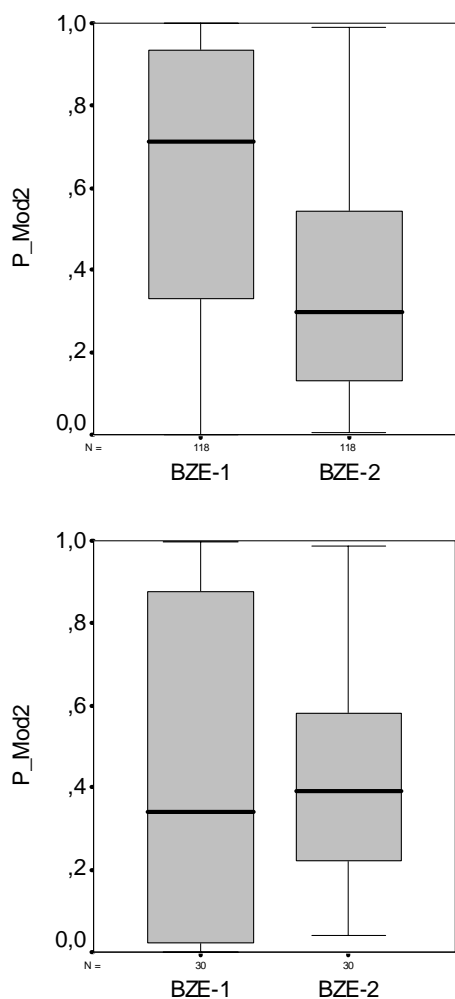


Abb.2: Vergleich der BZE-1 und BZE-2-Stichprobe von Brandenburg (oben) und Mecklenburg-Vorpommern (unten) hinsichtlich der berechneten  $P_{Mod2}$ -Werte

### Schlussfolgerungen

Die beiden vorgestellten Logit-Modelle lassen sich für eine multivariate Einschätzung des Risikos hinsichtlich der oben aufgeführten Gefährdungspotenziale durch „Stickstoffsättigung“ einsetzen. Die Anwendung auf die (unabhängige) Stichprobe der BZE-Daten von Mecklenburg-Vorpommern zeigt, dass der Einsatz dieser Funktionen für grundwasserferne Standorte des nordostdeutschen Tieflands plausible Werte liefert. Für Kiefernbestände erscheinen die Funktionswerte der Logit-Modelle geeignet, den atmosphärischen N-Eintrag insbesondere aus landwirtschaftlich genutzten Flächen im Umfeld der Waldstandorte wirkungsbezogen zu bewerten.

### Literatur

AK Standortkartierung (2003): Forstliche Standortaufnahme - Begriffe, Definitionen, Einteilung, Kennzeichnungen, Erläuterungen. 6. Aufl., Eiching bei München. 352 S.

Einert, P., Barth, R. (2001): Deposition von Luftschadstoffen in Waldbeständen Brandenburgs. In: Forstliche Umweltkontrolle – Ergebnisse aus zehnjährigen Untersuchungen zur Wirkung von Luftverunreinigungen in Brandenburgs Wäldern. Landesforstanstalt Eberswalde (Hrsg.). Eberswalde. 79-96.

Heinsdorf, D. (2007): Zur Stickstoffproblematik der Kiefernwälder im nordostdeutschen Tiefland. In: Die Kiefer im nordostdeutschen Tiefland – Ökologie und Bewirtschaftung. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band XXXII. 167-181.

Riek, W. (2009): Quantifizierung des Risikos für Nitrataustrag aus brandenburgischen Waldökosystemen auf der Grundlage chemischer Oberbodeneigenschaften. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe / Wald im Klimawandel – Risiken und Anpassungsstrategien. Band 42. 93-100.

Schirmacher, M.: Nachbarschaftseffekte von Landwirtschaft auf Bodenkennwerte und Waldernährung an BZE-Punkten. Masterarbeit am Fachbereich Wald und Umwelt der HNE Eberswalde. (in Bearbeitung)

Sutton, M.A. et al. (2011): The European Nitrogen Assessment. Sources, Effects and Policy Perspectives. Cambridge University Press. 664 S.

Wellbrock, N. et al. (2006): Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II), Arbeitsanleitung für Außenaufnahmen. Bonn. 431 S.

### Danksagung

Für die Überlassung des Datenmaterials von Mecklenburg-Vorpommern danken wir Herrn Jan Martin, Landesforst Mecklenburg-Vorpommern. Für die Berechnung der Zeigerwerte nach Ellenberg bedanken wir uns bei Dr. Falko Hornschuch, HNEE.