

---

## Stickstoff- und Nitratstatus bei der BZE II

WOLFGANG FALK, ULRICH STETTER und STEPHAN RASPE

Durchgehend hohe atmosphärische Einträge von Stickstoff sorgen dafür, dass das Hauptnährelement, das in vorindustriellen Zeiten das Wachstum der Bäume limitiert hat, in den Überfluss gerät und negative Auswirkungen für Waldökosysteme die Folge sind (ABER et al. 1998). Daher zählt die Bestimmung von Stickstoff- und Nitratgehalten in der forstlichen Analytik ebenso wie in der Landwirtschaft zu einer Standarduntersuchung. Für die BZE II liegen dementsprechend N-Werte für Boden und Blätter bzw. Nadeln vor. Bei den Bodenproben wurde neben dem Gesamtstickstoff (bestimmt durch trockene Verbrennung) auch der Nitrat-Stickstoff in einem 1:2-Extrakt analysiert (ein Teil Boden, zwei Teile Wasser). Der Messwert der Nitratkonzentration [mg/l] im 1:2-Extrakt wurde auf eine Konzentration im Boden bei Feldkapazität umgerechnet, um einen vom aktuellen Wassergehalt bei der Probenahme unabhängigen Wert zu erhalten (GENSIOR et al. 2002).

Bei der Geländekampagne wurde der Mineralboden von 140 bis 150 cm als eigene Tiefenstufe beprobt, um eine Nitratkonzentration unterhalb des Hauptwurzelraumes zu erhalten. In diesem Bereich findet kaum noch eine Nitrataufnahme statt und es kann davon ausgegangen werden, dass das gesamte Nitrat in dieser Stufe mit dem Sickerwasser ins Grundwasser ausgetragen wird und zu einer Belastung des Trink- und Oberflächenwassers führt. Aus Gründen der Elektroneutralität wird gleichzeitig mit jedem negativen Nitrat-Ion ein Kation mit ausgewaschen, dies bedeutet, dass es gleichzeitig zu einem Basenverlust kommen kann.

Es konnte zwar nicht an allen Inventurpunkten bis in die Tiefe von 150 cm beprobt werden, dennoch bietet die BZE II ein Datenkollektiv, das eine Auswertung von Nitratkonzentrationen unterhalb des Wurzelraumes ermöglicht. Insgesamt liegen Werte für 271 Inventurpunkte in der Tiefe 140 – 150 cm und weitere 30 Punkte mit Werten für die Tiefe 80 – 140 cm vor, wobei an den meisten Standorten diese Tiefenstufe immer noch unterhalb des Hauptwurzelraumes liegt. Um die Stichprobenanzahl zu erhöhen, wurden beide Datenkollektive vereinigt.

### Zeitliche und räumliche Variation

Die BZE II erlaubt bezüglich der Nitratgehalte einen Überblick über Bayern (FALK und STETTER 2010). Probenahmedesign und Analytik unterscheidet sich aber gegenüber Aufnahmen wie der „Nitratinventur Bayern“ (MELLERT et al. 2005), die speziell für die Bewertung des Stickstoffstatus von Waldökosystemen durchgeführt wurden. Die Bodenprobenahme erfolgte bei der BZE II über einen Zeitraum von Mitte 2006 bis Ende 2008 in den Monaten März bis November, so dass die Werte nur einen Zeitpunkt in einem Jahr abbilden, der letztlich für den Austrag an Nitrat aus der Fläche stehen muss.

Wie unter anderem an den bayerischen Waldklimastationen nachzuweisen ist, unterliegen die Nitratkonzentrationen und Nitratfrachten unterhalb des Wurzelraumes einer Dynamik, die sowohl einen jahreszeitlichen als auch einen langfristigen Trend haben kann. In Abbildung 1 sind Zeitausschnitte von Nitrat-Messwerten an ausgewählten Waldklimastationen für jeweils drei bzw. vier Jahre dargestellt, die mittels Saugkerzen gewonnenen wurden. Die Messwerte der verschiedenen Saugkerzen an der Station Altdorf weisen sehr geringe Nitratgehalte und vor allem keine Variation auf. Sie lassen daher darauf schließen, dass an Standorten, die kaum oder kein Nitrat im Sickerwasser aufweisen, auch in den Bodenproben der BZE II kaum oder kein Nitrat gemessen werden sollte. An diesen Standorten, die Stickstoffeinträge vollständig absorbieren, sollte der einmalige Messwert der BZE II daher repräsentativ sein. An den Waldklimastationen Landau, Sonthofen und Goldkronach, an denen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser deutlich größer 1 mg/l gemessen wurden, ist dies durchgängig für alle Saugkerzen gleichermaßen der Fall. Nur an einzelnen Saugkerzen z. B. an der Station Goldkronach ist für einen kurzen Zeitraum eine Konzentration nahe Null zu beobachten. Um nicht einen für den Standort untypischen Messwert zu erhalten, sollten daher immer Werte mehrerer Messstellen am Standort gemittelt werden. Im Falle der Waldklimastationen werden die Werte mehrerer Saugkerzen gemittelt, im Falle der BZE II werden daher nur die Nitrat-

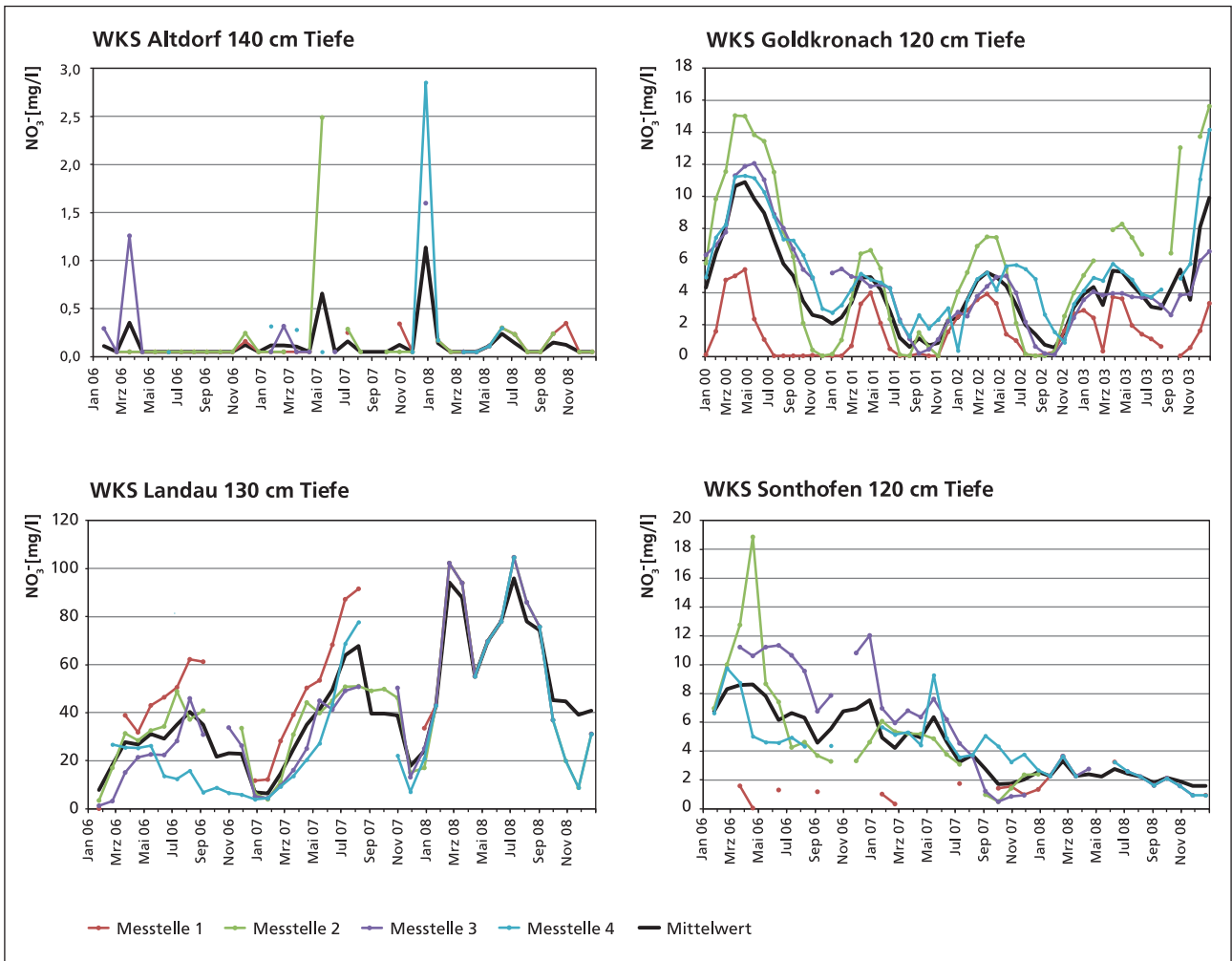


Abbildung 1: Nitratkonzentrationen im Sickerwasser an ausgewählten Waldklimastationen. Dargestellt sind der Mittelwert (schwarze Linie) und die jeweiligen Einzelwerte der Saugkerzen über einen Zeitraum von jeweils drei bzw. vier Jahren. Die y-Achsen unterscheiden sich im Wertebereich.

konzentrationen ausgewertet, die aus einer Mischprobe von mindestens drei Rammkernsondierungen der gleichen Tiefenstufe gewonnen wurden, um extreme Werte aufgrund räumlicher Variabilität zu vermeiden. MELLERT (2003) empfiehlt sogar Mischproben aus 10 bis 20 Proben und verweist auf die in der Landwirtschaft gängige  $N_{\min}$ -Beprobung. Diesen strengen Anforderungen kann hier aufgrund der geringeren Probenanzahl nicht gefolgt werden, die Werte der BZE II sind daher mit einer größeren Unsicherheit behaftet als vergleichbare  $N_{\min}$ -Beprobungen.

Die Beispiele der Waldklimastationen in der Abbildung 1, an denen höhere Konzentrationen gemessen werden, zeigen, dass die Schwankungen im Jahresverlauf und zwischen den Jahren sehr stark sein können. An solchen Standorten ist davon auszugehen, dass auch bei der BZE II erhöhte Nitratkonzentrationen gemessen wurden. Eine Aussage über die genaue Höhe und wie repräsentativ der einmalige Messwert für den Standort im Jahresverlauf ist, kann allerdings nicht gemacht werden. Von den einmalig erhobenen Werten auf ganze Jahre und Frachten sollte daher nicht hochgerechnet werden, ohne die enormen Unsicherheiten abzuschätzen. GENSIOR et al. 2002 haben zwar gute Übereinstimmungen mit Werten an WKS gefunden, die Aussagen können aber nicht eins zu eins für die BZE II übernommen werden. Die Probenahme im Rahmen der BZE II erfolgte in einem großen Zeitfenster, die Daten unterliegen daher großen Schwankungen. Außerdem hatten GENSIOR et al. 2002 auch zusätzlich an den WKS Proben genommen, so dass sie Aussagen zur Repräsentativität machen konnten. Die Waldklimastation Landau mit enormen Nitratwerten und Schwankungen ist ein Beispiel für externe Einflussfaktoren, da sie durch Grundwasserabsenkung beeinflusst ist. Auf solchen Standorten ist bei einer einmaligen Beprobung zwar mit erhöhten Nitratkonzentrationen zu rechnen, eine Hochrechnung auf Frachten ist auch in diesem Fall schwierig.

Als Zwischenfazit kann festgehalten werden, dass der Ansatz der BZE bei der Messung der Nitratwerte unterhalb des Wurzelraums methodisch bedingte Unsicherheiten hat. Diese beziehen sich auf die Größenordnung der geschätzten Austräge. Die Methode als solche steht aber im Einklang mit anderen Untersuchungsansätzen (GENSIOR et al. 2002).

### Stickstoffstatus

Ziel einer Inventur ist es, den aktuellen Status zu beschreiben und ggf. Veränderungen im Vergleich zu vorherigen oder anderen Inventuren zu erkennen. Bezüglich des Stickstoffstatus erhofft man sich Antworten auf die Frage, ob die Waldökosysteme stickstoffgesättigt sind oder nicht. Gesättigte Systeme können keinen weiteren Stickstoff aufnehmen und zeigen entsprechend bei weiteren Einträgen Verluste durch Nitrataustrag mit dem Sickerwasser. Nicht gesättigte Systeme können noch Stickstoff aufnehmen und haben nur sehr geringe N-Verluste mit dem Sickerwasser. Stickstoffmangel bei der Baumernährung ist in Bayern nur in den Kalkalpen und auf Mooren zu befürchten (siehe Beitrag „Waldernährung in Bayern – Ergebnisse der BZE II“ in diesem Band). Zur Einschätzung des Stickstoffstatus werden verschiedene Parameter und Kennwerte zu Rate gezogen, die teils direkt sein können, wie die Menge der atmosphärischen Nitrat- und Ammoniumeinträge, oder indirekt, wie das Verhältnis von Kohlenstoff und Stickstoff in der Humusaufgabe.

Es gibt unterschiedliche Ansätze zur Beschreibung des N-Status bzw. der N-Sättigung. Bei Vorliegen von Depositionsmessungen wie beispielsweise an den Bayerischen Waldklimastationen können kritische Eintragsmengen, sogenannte Critical Loads, bestimmt werden (RASPE et al. 2013). Diese zeigen an, welche Stofffrachten pro Zeitraum in einem Ökosystem deponiert werden können, ohne dass nach derzeitigem Wissen langfristig deutliche Schadwirkungen auftreten. Als Austräge werden bestimmte maximale Frachten vorgeschlagen. Daran anknüpfend kann auch über Konzentrationsmessungen und modellierte oder gemessene Sickerwassermengen die Nitratfracht bestimmt werden (GENSIOR et al. 2002; MELLERT et al. 2005). Ein weiterer Ansatz besteht darin, aus Zusammenhängen an intensiv untersuchten Flächen typische Indikatoren zu bestimmen, die auf eine N-Sättigung hinweisen (SPANGENBERG et al. 2002). Diesem Ansatz sind Grenzen gesetzt, da die Zusammenhänge äußerst komplex sind und einfache Schätzgrößen hier oft nicht alle wichtigen Wirkungsgrößen erfassen. Dennoch wird in diesem Beitrag der Ansatz von ABER et al. (1998) aufgegriffen und versucht, Zusammenhänge zwischen Nitrataustrag und Kenngrößen aufzuzeigen.

ABER et al. (1998) teilen die Ökosysteme in vier Stufen zunehmender N-Sättigung ein. Entlang des Sättigungsgradienten nehmen die Stickstoffgehalte in den Blättern und Nadeln, Stickstoffmineralisation, Nettoprimärproduktion, Nitrifikation und Nitrataustrag zu, Nährstoffverhältnisse in den Pflanzenorganen ändern sich. In der letzten Stufe zeigen mit Stickstoff überlastete Systeme negative Auswirkungen auf die Nettoprimärproduktion und Stickstoffmineralisation, wohingegen die Nitratausträge exponentiell zunehmen. Diese verallgemeinerte Betrachtung einer Entwicklungsrichtung bei permanent hohen Stickstoffeinträgen wurde aus langjährigen Versuchen abgeleitet. Zur Auswertung der BZE-Daten stehen zwar nicht alle Indikatoren in der gewünschten Qualität zur Verfügung und einige Einflussgrößen, die auf feineren Skalen wirken, fehlen. Da keine echte Zeitreihe besteht, sondern Standorte mit unterschiedlichem Status aufgrund unterschiedlicher regionaler Eintragsregime und Landnutzungen in der Vergangenheit untersucht werden, liegt eine sogenannte „unechte“ Zeitreihe vor. Da aber der Stichprobenumfang groß ist, kann bei gleichzeitig großen Unterschieden dennoch auf Zusammenhänge von Kenngrößen und Nitrataustrag geschlossen werden bzw. können aus der Literatur bekannte Zusammenhänge nachvollzogen werden.

In einem ersten Schritt wurden daher zahlreiche Daten aufbereitet und den Nitratgehalten gegenübergestellt. Mit Hilfe eines flexiblen Analysewerkzeuges, das geringe Anforderungen an die Daten stellt und Wechselwirkungen berücksichtigt, wurden zunächst Bedeutung und Effekte der einzelnen Größen untersucht. Das Ergebnis der Analyse mit Regressionsbäumen (Boosted Regression Trees, ELITH et al. 2008) zeigt Abbildung 2. Auf der x-Achse sind die Werte der Kenngrößen abgebildet, auf der y-Achse die Auswirkungen auf den Nitrataustrag. Werte oberhalb von 0 zeigen einen positiven Zusammenhang mit der Nitratkonzentration, also eine höhere Austragswahrscheinlichkeit an, Werte kleiner 0 deuten auf einen negativen Zusammenhang, also eine geringe Austragswahrscheinlichkeit hin. Die größte Bedeutung haben die Ernährungsdaten der Fichten. Ab einem Stickstoffgehalt

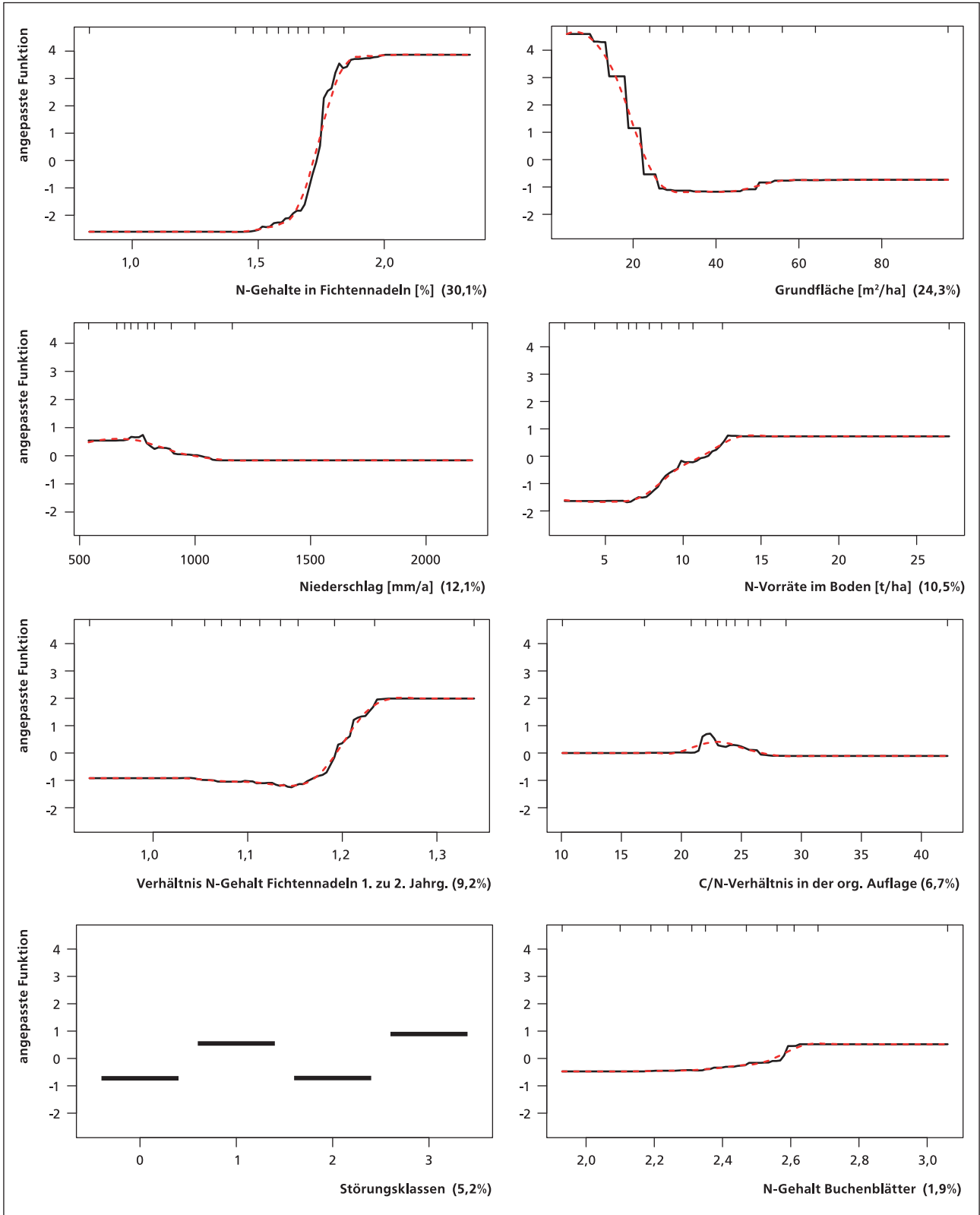


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Ernährungs-, Bestands- sowie Bodenparametern und den Nitratkonzentrationen unterhalb des Wurzelraums. Analyse mit der Methode Boosted Regression Trees. Die rote gestrichelte Linie ist eine Trendkurve. Zahlen in Klammern geben den relativen Einfluss des Parameters wieder. Schwarze Quer-Linien bei dem Index „Störung“ beruhen darauf, dass diese Größe in Form von Klassen vorliegt.

von 1,7 % in den einjährigen Nadeln steigt die Wahrscheinlichkeit für höhere Nitratgehalte im Boden unterhalb des Hauptwurzelaumes an. Dieser Wert stimmt exakt mit der Grenze zwischen normaler Stickstoffversorgung und N-Überernährung für die Baumart Fichte in der Literatur überein (BERGMANN 1993; WOLFF und RIEK 1997; STEFAN et al. 1997; MELLERT und GÖTTLEIN 2012). Die Stickstoffernährung der Buchen zeigt ebenfalls diesen Effekt, allerdings ist aufgrund der geringen Anzahl von Probestämmen der Gesamteinfluss auf das Modell gering. Der Schwellenwert von ca. 2,6 % Stickstoff in den Blättern liegt etwas über dem Grenzwert zum N-Überschuss von 2,5 % bei Buche (BERGMANN 1993; WOLFF und RIEK 1997; STEFAN et al. 1997).

Weiterhin zeigt sich, dass Standorte mit einer Bestandsgrundfläche kleiner als 20 m<sup>2</sup>/ha häufig erhöhte Nitratkonzentrationen haben. Die Daten zur Grundfläche auf den Inventurpunkten stammen aus der BWI-Zwischeninventur 2008, die an einem Teil der BWI-Trakte durchgeführt wurde. Eine Abnahme der Grundflächen zwischen BWI<sup>2</sup> und der Inventur 2008, die auf eine Störung des Bestands und damit evtl. geringe Stickstoffaufnahme der Vegetation schließen lassen könnte, beeinflussen das Modellergebnis nur sehr schwach (nicht dargestellt). Die Erklärungskraft dieser Größe wird von der Variable Grundfläche fast völlig übernommen. Die Stickstoffvorräte des Bodens zeigen das erwartete Muster: Höhere Vorräte weisen auf eine höhere Wahrscheinlichkeit eines Nitrataustrags hin. Das Verhältnis der Stickstoffgehalte des ersten und zweiten Nadeljahrgangs von Fichte zeigt, dass bei höheren N-Gehalten in den Nadeln des ersten Jahrgangs im Vergleich zu den N-Werten des zweiten ein Hinweis auf höhere Nitratausträge besteht. Dies steht allerdings im Widerspruch zur Aussage des AK Standortskartierung (2003), der den umgekehrten Effekt beschreibt. Der von BORKEN und MATZNER (2004) beschriebene Zusammenhang von C/N-Verhältnis der Humusaufgabe und erhöhtem Nitrataustrag bei einem Verhältnis enger 25 konnte mit den vorliegenden Daten und dem eingesetzten Analysewerkzeug in der Tendenz zwar bestätigt werden, allerdings ist der Effekt im Modell schwach. Der ebenfalls von BORKEN und MATZNER (2004) aufgrund einer Analyse deutschlandweiter Level II-Daten vermutete Zusammenhang zwischen hohen Niederschlägen und damit erhöhten Einträgen zeigt sich nicht in den bayerischen Daten. Allerdings ist zu beachten, dass es in den Alpen sehr hohe Niederschläge und vermutlich aufgrund geringer Emissionen teils sehr geringe Einträge hat (vgl. WKS Berchtesgaden in RASPE et al. 2013). Insofern zeichnet der Parameter Jahresniederschlag eher schwach und spiegelt die in Bayern herrschende Baumartenverteilung wider: In kühleren Gebieten mit höheren Niederschlägen gibt es hohe Fichtenanteile, die im Vergleich zu den im Winter laubabwerfenden Buchen vermehrt Stickstoff aus der Luft auskämmen (HUBER et al. 2008). Dieses Muster wird von der Verteilung der Emissionsquellen überlagert, die sich vermehrt dort finden, wo die Bevölkerungsdichte hoch ist. Eine aus Geländebeschreibung und BWI erstellte Bewertung von Störgrößen zeichnet ebenfalls. Die Klasse 0 steht für keinen Hinweis auf Störungen, Klasse 1 steht für Lücken im Bestand, Klasse 2 für anthropogene Ablagerungen oder Aufschüttungen, Klasse 3 für Grünland, Acker, Weide bis in 100 m Entfernung. Sowohl Bestandesstörungen als auch Grünland, Acker und Weide in unmittelbarer Entfernung gehen mit erhöhten Nitratkonzentrationen einher. Insgesamt liefert das Regressionsbaummodell gute Hinweise auf die Datenstruktur und Zusammenhänge, die Erklärungskraft ist allerdings zu gering, um damit Vorhersagen machen zu können.

### Indikatoren als Bewertungsgrößen

Mit den Ergebnissen der Regressionsbäume wurde versucht, den Ansatz von ABER et al. (1998) auf die Daten der BZE II zu übertragen. Dazu wurden in einem ersten Schritt elf Index-Größen in Tabelle 1 zusammengestellt und klassifiziert. Die Auswahl der Indices und Festlegung der Klassengrenzen ist eine mögliche Schwachstelle dieses Ansatzes, da sie gutachterlich getroffen werden muss. Ziel der Auswertung war es, die Risikoeinstufungen den Nitratkonzentrationen gegenüberzustellen, um zu prüfen, ob die Index-Größen in der Summe ein letztlich einfaches Vorhersagemodell zum Status des Standorts bezüglich Stickstoffsättigung ergeben. In Tabelle 2 wird in einem zweiten Schritt die Anzahl der Index-Größen mit der höchsten Bewertungsstufe, die für Stickstoffsättigung steht, den Nitratkonzentrationen gegenübergestellt. Im besten Fall würden sich die Werte in dieser Kontingenztafel auf einer absteigenden Diagonale häufen. Auffällig ist, dass bei Nitratkonzentrationen größer 10 mg/l die Anzahl der Häufigkeit der Index-Größen mit der höchsten Bewertungsstufe breit streut. Es fallen insbesondere die neun Standorte auf, die kaum Hinweise auf Stickstoffsättigung haben (Häufigkeit 1 und gleichzeitig Klasse  $\geq$  10 mg/l). Vier Standorte haben Nitratkonzentrationen größer 20 mg/l und fünf knapp über 10 mg/l.

Index-Größe\Klasse	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Quelle für Schwellenwert
NO <sub>3</sub> [mg/l]	< 2,5	< 5	< 10	≥ 10	Nitratinventur, Mellert et al. 2005
C/N-Verhältnis Humusauflage	< 16	< 20	< 25	≥ 25	Borken und Matzner 2004, AK Standortskartierung 2003
N-Vorräte Boden [t/ha]	< 2,5	< 5	< 10	≥ 10	AK Standortskartierung 2003
N-Gehalte Fichten- und Kiefernadeln, 1. Jg. [%]	< 1,4	< 1,5	< 1,7	≥ 1,7	Wolff und Riek 1997
N-Gehalte Buchenblätter [%]	< 2	< 2,2	< 2,5	≥ 2,5	Wolff und Riek 1997
N-Gehalte Fichtenadeln Verhältnis 1. zu 2. Jahrgang	-	< 0,95	< 1,15	≥ 1,15	entsprechend BRT neu eingeteilt; Randbedingung: Nadelgewichte 1. zu 2. Jahrgang < 1,05
Grundfläche [m <sup>2</sup> /ha] 2008	> 70	> 40	> 20	≤ 20	Entsprechend BRT, ergänzt
Sonstige Einflussgrößen	kein Acker od. Grünland im Umfeld lt. Aufnahme	Acker, Grünland weiter als 100 m	Acker, Grünland in 50-100 m	Acker, Grünland bis in 50 m	Eigene Einteilung, Waldrandeffekte laut Spangenberg 2002
Elementverhältnis N/Mg der Fichtennadeln	< 14	< 22	< 30	≥ 30	Wolff und Riek 1997
N-Gehalte Eichenblätter [%]	< 2	< 2,5	< 3	≥ 3	Wolff und Riek 1997
Fichte am Standort	nein	-	-	ja	Borken und Matzner 2004

Tabelle 1: Einteilung der Index-Größen mit vermeintlichem Bezug zu Stickstoffsättigung in vier Klassen, die mit Messwerten der Nitratkonzentration unterhalb des Wurzelraums in Beziehung gesetzt werden.

		Häufigkeit der Klasse „sehr hoch“ für die Index-Größen der Tabelle 1								
		0 mal	1 mal	2 mal	3 mal	4 mal	5 mal	6 mal	7 mal	Summe
NO <sub>3</sub> - Konzentrations- klassen [mg/l]	< 2,5	3	12	19	8	4	3	0	0	49
	< 5	3	17	23	29	9	4	0	0	85
	< 10	2	12	22	26	12	7	1	0	82
	≥ 10	0	9	26	20	15	7	3	1	81
Summe		8	50	90	83	40	21	4	1	297

Tabelle 2: Verteilung der Häufigkeit der Index-Größen in der Klasse „sehr hoch“ im Vergleich mit Messwerten der Nitratkonzentration. Die Häufigkeit der Index-Größen in der höchsten Klasse ist ein Hinweis auf Stickstoffsättigung unterhalb des Wurzelraums.

Bei der Betrachtung der im Gelände vor der Probenahme gemachten Fotos fällt auf, dass allen diesen neun Inventurpunkten gemeinsam ist, dass die Bodenproben in Bereichen genommen wurden, die mehr oder weniger aufgelichtet waren (Abbildung 3). Die Entnahme von Bäumen führt zu erhöhtem Lichteinfall, steigenden Bodentemperaturen in der Vegetationsperiode und einem Anstieg des Anteils am Niederschlag, der auf den Boden trifft (Bestandsniederschlag). Diese Veränderungen können zu einem Humusabbau führen. Der freigesetzte Stickstoff kann dann gegebenenfalls von der Vegetation nicht vollständig aufgenommen werden, da der dezimierte Altbestand weniger Stickstoff verbraucht und die Bodenvegetation gegebenenfalls erst noch aufkommen muss. Durch den erhöhten Bestandsniederschlag und die reduzierte Transpiration steigt die Sickerwassermenge, wodurch vermehrt Nitrat aus dem Wurzelraum ausgewaschen wird (WEIS et al. 2008). Es wurde versucht, Störungen des Bestands über den Parameter Grundfläche abzubilden. Es ist aber schwierig, eine zum





Abbildung 3: Fotos vom jeweiligen Mittelpunkt von vier Inventurpunkten auf den Probekreis für die Bodenproben (Radius 10 m). Die Nitratkonzentrationen unterhalb des Wurzelraumes lagen bei diesen Punkten über 20 mg/l obwohl es kaum Hinweise auf Sättigung durch die ermittelten Indices gab. Allen gemeinsam ist eine zumindest teilweise Auflichtung des Baumbestandes.

Probenahmezeitraum passende BWI-Aufnahme der Bestandssituation zu finden. Da sich mit dem Aufkommen einer Bodenvegetation die Stickstoffmenge, die diese Vegetation aufnimmt, von einer Vegetationsperiode zur nächsten ändern kann, ist ein Abstand von bis zu zwei Jahren zwischen Beprobung bei der BZE II und Bestandsaufnahme durch die Zwischeninventur 2008 wahrscheinlich schon zu groß. Allerdings ermöglicht überhaupt erst die Zusammenlegung der Inventurnetze in Bayern eine solche Auswertung.

Weiterhin ist der Tabelle 2 zu entnehmen, dass erst ab einer Häufung von drei bis vier Index-Größen in der Stufe *sehr hoch* die Tendenz deutlich wird: Je mehr Indices auf eine Stickstoffsättigung hinweisen, desto eher ist auch Nitrat unterhalb des Wurzelraumes zu finden. Es gibt eine große Anzahl von Standorten, die schon deutliche Hinweise auf eine Stickstoffsättigung haben, aber nicht in allen Fällen Nitratausträge aufweisen (Spalten „Häufigkeit“ 2 mal und 3 mal in Tabelle 2). Diese Standorte können allerdings bei weiterhin erhöhten Einträgen ihre Ausgleichs- und Schutzfunktion im Stoffkreislauf verlieren und vermehrt Nitrat abgeben.

Die Grenzen des dargestellten Ansatzes liegen in der Schwierigkeit, sinnvolle Klassengrenzen festzulegen, in dem Aufwand, Blatt- und Nadelspiegelwerte zu generieren und der Tatsache, dass nicht alle für den Stickstoffstatus relevanten Größen vorliegen. Außerdem gibt es eine große Menge an BZE II-Punkten, für die keine klare Aussage zur Stickstoffsättigung gemacht werden kann. Die gemeinsame Betrachtung von Ernährungs- und Bodendaten liefert zwar nicht die klaren Zusammenhänge, die man sich grundsätzlich wünscht, sie deutet aber an, dass z. B. bei der komplexen Frage nach der Stickstoffsättigung eines Standorts eine einseitige Betrachtung ein unvollständiges Bild liefert. Bei der Auswertung der Daten muss also beachtet werden, dass einige für die Nitratdynamik

unterhalb des Wurzelraumes wichtige Größen, wie die Störungen am Inventurpunkt (Ernte, Windwurf, Borkenkäferkalamitäten), Sickerwassermengen im aktuellen Jahr oder die Nähe zu Emittenten (Waldrandeffekt), bei einer Inventur nur unzureichend erfasst werden können. Sie haben aber enormen Einfluss auf den Nitrataustrag (SPANGENBERG 2002; WEIS et al. 2008).

### **Stickstoffsättigung ist weiter ein Thema**

Trotz der aufgezeigten Grenzen der Aussagekraft einer landesweiten Inventur wie der BZE II, die anders als Intensiv-Monitoringflächen nicht primär funktionale Zusammenhänge aufzeigen soll, ist die Messung von Nitratkonzentrationen sinnvoll, um den aktuellen Zustand bezüglich Stickstoffsättigung beschreiben zu können. Die Einschränkung der Aussagekraft durch einmalige Messung über einen größeren Zeitraum in ganz Bayern gilt vor allem für die genaue Höhe der Konzentration und der gegebenenfalls daraus abgeleiteten Frachten. Sofern ein Schwellenwert genutzt wird, um Inventurpunkte mit und ohne Nitrataustrag zu differenzieren und damit grundsätzlich Aussagen zur Dimension der Stickstoffsättigung gemacht werden, ist die exakte Höhe der Frachten nicht die einzige entscheidende Größe. Mit einem Schwellenwert von 2,5 mg/l als Annahme für relevanten Nitrataustrag kann aus der BZE II abgeleitet werden, dass 83 % aller bis mindestens zur Tiefenstufe 8 beprobten Punkte zumindest geringe Mengen Nitrat ins Grundwasser abgeben. Diese hohe Zahl kann dahingehend interpretiert werden, dass große Teile der Waldfläche Bayerns ausreichend mit Stickstoff versorgt sind und vermutlich weitere Einträge nicht mehr im notwendigen Maß abpuffern können. Räumlich ist besonders das Wuchsgebiet „Tertiäres Hügelland“ betroffen, die Alpen zeigen die geringsten Werte. Bei einem Schwellenwert von 10 mg/l (MELLERT et al. 2005) bleiben noch 27 % der Trakte, die mit großer Wahrscheinlichkeit deutliche Mengen Nitrat verlieren. Räumlich fallen hier die Wuchsgebiete „Fränkischer Keuper und Albvorland“, „Bayerischer Wald“, „Tertiäres Hügelland“ und „Schwäbisch-Bayerische-Schotterplatten- und Altmoränenlandschaft“ auf. Die Prozentzahlen untermauern bisherige Studien wie die „Nitratinventur Bayern“ (MELLERT et al. 2005) und zeigen, dass das Thema der hohen Stickstoffeinträge weiterhin aktuell ist und einer Lösung bedarf, damit die Waldböden ihre natürliche Funktion als Abbau- und Ausgleichsmedium insbesondere zum Schutz des Grundwassers im Sinne des Bundesbodenschutzgesetzes erfüllen können.