
Ergebnisse der BZE II-Ernährungsinventur im Lichte langjähriger Messreihen an Waldklimastationen

HANS-PETER DIETRICH und ULRICH STETTER

Das aktuelle Konzept der Umweltbeobachtung in Bayern kombiniert repräsentative periodische Inventuren, wie die BZE II, mit Referenzdaten aus dem kontinuierlichen und langfristigen Intensivmonitoring an den Waldklimastationen (WKS). Informationen aus beiden Erhebungen können damit sinnvoll verdichtet, Inventurbefunde in ihrer Aussagekraft besser eingeordnet und die räumlich repräsentative Zustandsdiagnose durch Prozesskenntnisse erweitert werden. An den Waldklimastationen werden insbesondere die Besonderheiten von Extremjahren und die Dynamik von Veränderungen sichtbar. Im Spiegel der WKS-Messreihen lassen sich daher die Ergebnisse aus der einmaligen BZE II-Ernährungsinventur auf die Frage überprüfen, wie gut diese über die Jahre betrachtet eine durchschnittliche Ernährungssituation für Bayern abbilden.

Blattspiegelwerte als Indikatoren

Blatt- und Nadelanalysen werden traditionell zur Ernährungsdiagnose von Wäldern genutzt. Ähnlich dem Blutbild beim Menschen gewähren die Nadel- oder Blattspiegelwerte von Waldbäumen einen Einblick in den momentanen Ernährungszustand des jeweiligen Organismus. Sie geben Aufschluss über die Fähigkeit der Bäume, das verfügbare Nährstoffpotential am Standort zu nutzen. Die Diagnose nutzt dabei die integrierende Aussagekraft der Nadel-/Blattspiegelwerte, die sowohl Rückschlüsse auf Bodeneigenschaften zulassen, als auch – bei optimaler Ausprägung – die Voraussetzung für ein gutes Wachstum und die Vitalität des jeweiligen Waldbaumes darstellen.

Bei allen Stuserhebungen in natürlichen Systemen spielt der Zeitpunkt der Aufnahme eine entscheidende Rolle. Je nach Witterungsverlauf, Nährstoffverfügbarkeit und den internen Verteilungsprozessen in der Pflanze unterliegt der Nährstoffhaushalt der Waldbäume stärkeren jährlichen Schwankungen. In den Messreihen an den Waldklimastationen schwanken die Jahreswerte je nach Standort und Element um bis zu 70 % (Calcium) um den langjährigen Mittelwert, der Durchschnitt für alle Hauptnährstoffe liegt bei 10 – 20 % (HEITZ und DIETRICH 2005). Durch die Anwendung einer einheitlichen Methode bei der Probenahme werden Faktoren wie beispielsweise das Lebensalter der Bäume, das Blattalter, die Exposition in der Baumkrone oder die Jahreszeit, die den Nährstoffgehalt der Nadeln und Blätter beeinflussen, weitgehend konstant gehalten. Damit sind die erzielten Analyseergebnisse gut vergleich- und bewertbar.

Mit den Waldklimastationen steht ein Referenzmessnetz in typischen Waldgebieten Bayerns zur Verfügung, an dem seit 1991 kontinuierlich Witterungs- und Umwelteinflüsse und deren Wirkung auf den Wald, z. B. auf die Nährstoffversorgung, den Kronenzustand oder den Zuwachs, gemessen werden (PREUHLER et al. 1992; DIETRICH et al. 2006; DIETRICH und RASPE 2011). Die Messreihen des Intensivmonitoring sind eingebunden in das europaweit standardisierte Level II Messnetz (ICP Forests). In den Erhebungsjahren der BZE II liegen Nährstoffanalysen der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche von 22 Waldklimastationen vor. Abbildung 1 zeigt die Lage der BZE II-Inventurpunkte und der Waldklimastationen für die vier Baumarten. An den WKS wird der Ernährungszustand auf den Schwerpunktstationen und allen Standorten mit Fichte jährlich, an den übrigen WKS im zweijährigen Turnus erhoben. Die Erhebungen aus dem Monitoring sind mit jenen der BZE II-Inventur unmittelbar vergleichbar, da sie den harmonisierten Methodenstandards für Probenahme und Analytik von ICP Forests und BZE II folgen (BMVEL 2005; BMELV 2006; RAUTIO et al. 2010).

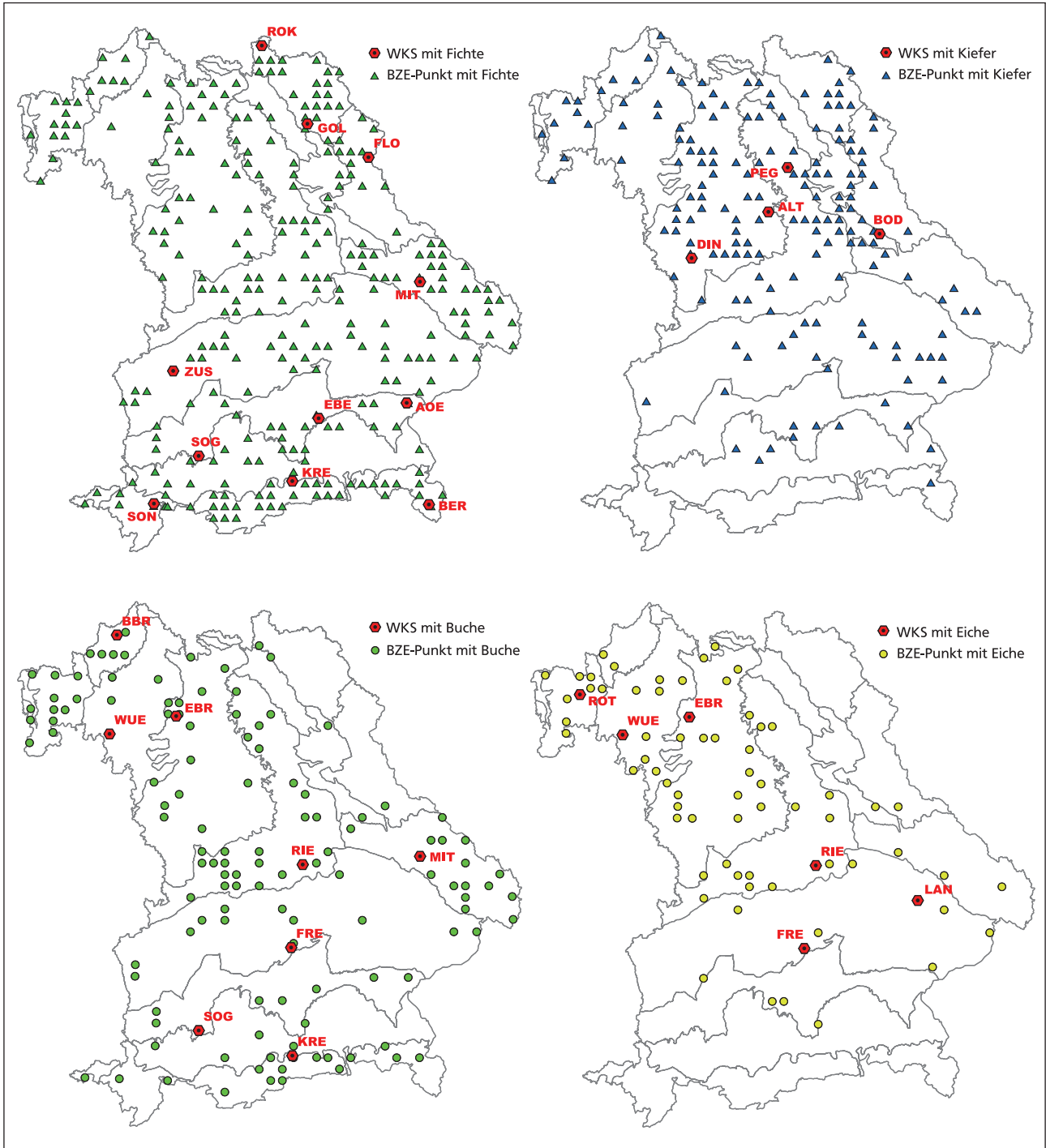


Abbildung 1: Inventurpunkte der BZE II und Lage der Waldklimastationen für die Baumarten Fichte (281 Pkt., 11 WKS), Kiefer (168 Pkt., 4 WKS), Buche (123 Pkt., 8 WKS) und Eiche (65 Pkt., 6 WKS).

Jährliche Variation von Nadel-/Blattentwicklung und Nährelementgehalten

Die Nährstoffaufnahme eines Baumes wird u. a. durch die Standortfaktoren wie die Wasserverfügbarkeit im Boden und die klimatischen Wuchsbedingungen gesteuert; das Wachstum der Blätter und Nadeln ebenso. Gleichzeitig haben Größe, Struktur und Oberfläche der Blattorgane unmittelbare Rückwirkungen auf die chemischen Inhaltsstoffe (Nadel-/Blattspiegelwerte). So kann bei mehrjährigen Erhebungen an dem gleichen Probekollektiv der WKS beobachtet werden, dass in leichteren, kleineren Fichtennadeln, die in Jahren mit geringer Biomasseproduktion gebildet werden, die Konzentrationen verschiedener Nähr- oder Spurenelemente (je Gramm Trockensubstanz) ansteigen (DIETRICH 1995, 2000a). Umgekehrt nehmen in großen schweren Nadeln oftmals die Konzentrationen ab. Diese Effekte sind als Verdünnung bzw. Aufkonzentration bei verändertem Nadelwachstum zu interpretieren. Sie müssen bei der Ernährungsdiagnose – insbesondere von Fichte und Kiefer – in klimatischen Extremjahren und in Jahren starker Fruktifikation berücksichtigt werden (HÖHNE 1964; HEINSDORF 1966; DIETRICH 1997a; HEITZ und DIETRICH 2005). Das als Zellwandbaustein bedeutsame Calcium oder auch die zum Teil mit der Luft verfrachteten, staubförmig auf den Nadeloberflächen abgelagerten Spurenelemente wie z. B. Blei oder Eisen unterliegen bevorzugt diesem Phänomen. Abbildung 2 zeigt die Entwicklung des mittleren Nadelgewichts und der mittleren Calciumgehalte im ersten Nadeljahrgang der Fichtenbestände an den Waldklimastationen im Zeitraum von 1997 bis 2008. In den Jahren 2003 und 2006 war nach Trockenheit und starker Mast bei Fichte der Zuwachs an Biomasse stark eingeschränkt und das Gewicht der neu gebildeten Nadeln deutlich reduziert. Zeitgleich fand eine Aufkonzentration des Calciumgehaltes in den jungen Nadeln statt.

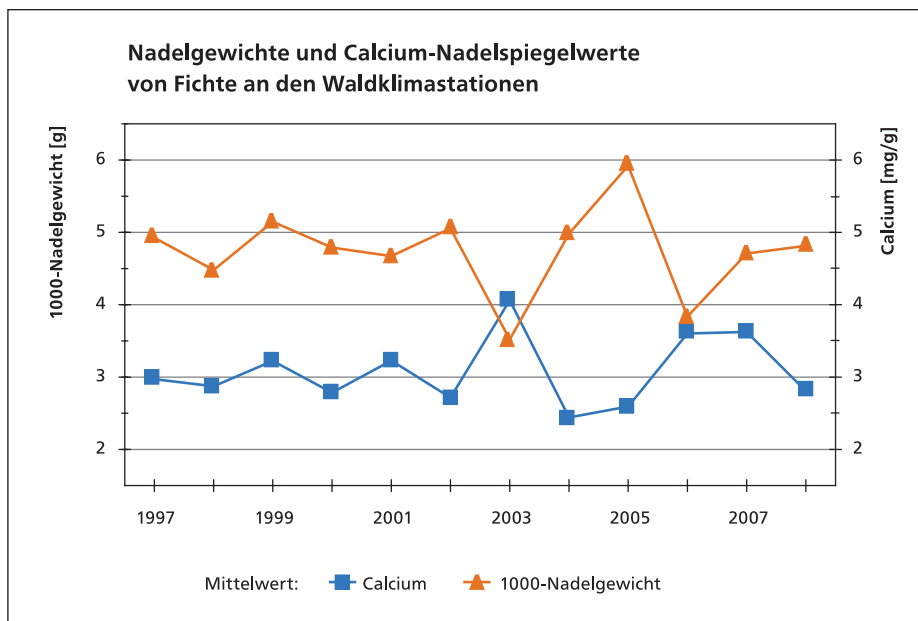


Abbildung 2:
Zeitreihen des mittleren Nadelgewichts und des mittleren Calciumgehaltes im ersten Nadeljahrgang von neun WKS-Fichtenbeständen.

Für die meisten im Energie- und Kohlenhydratstoffwechsel der Pflanzenzelle bedeutsamen Nährelemente ist die Pflanze allerdings bestrebt, einen möglichst konstanten Nährstoffspiegel aufrecht zu erhalten und einen ausgewogenen Nährstoffhaushalt sicher zu stellen. Weniger beeinflusst von der Nadelgewichtsentwicklung oder auch von den unterschiedlichen Niederschlagsbedingungen zeigen sich beispielsweise die Gehalte der Hauptnährelemente Stickstoff und Schwefel (HUNGER 1970; SAUTER 1991). Die Nährstoffversorgung eines Waldbestandes kann dennoch im Laufe der Jahre auch auf dem gleichen Standort erheblich variieren und über einen sehr großen Wertebereich schwanken. Wie das Beispiel des besonders gut stickstoffernährten WKS-Fichtenbestandes in Altötting zeigt (Abbildung 3), kann die Spannweite dabei von der Schwelle zur geringen Versorgung bis zum starken Überschuss reichen. In schwach ernährten Beständen kann in einzelnen Jahren auch die Mangelgrenze unterschritten werden. Abbildung 4 verdeutlicht dies am Beispiel der schlecht mit Magnesium versorgten Fichten, die an der WKS Mitterfels auf einem basenarmen Gneisverwitterungsboden stocken.

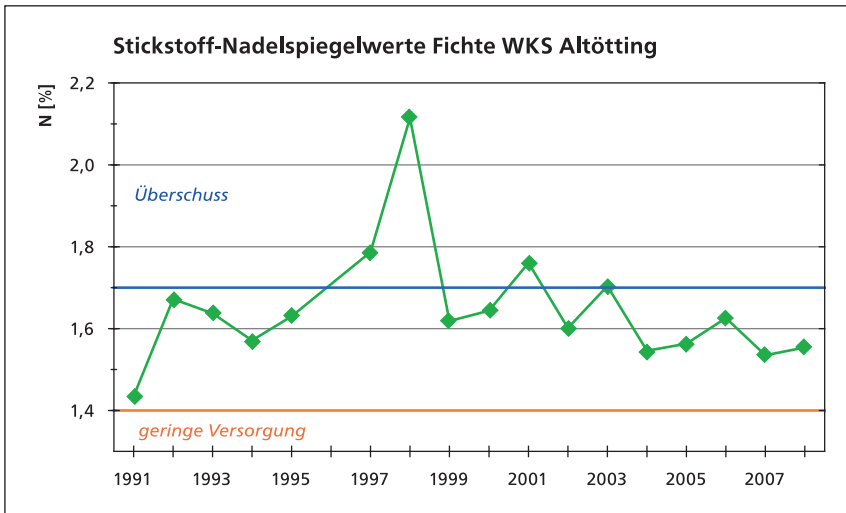


Abbildung 3:
Zeitreihe der Stickstoffgehalte im ersten Nadeljahrgang von Fichte an der Waldklimastation Altötting. Bewertung nach WOLFF und RIEK (1997).

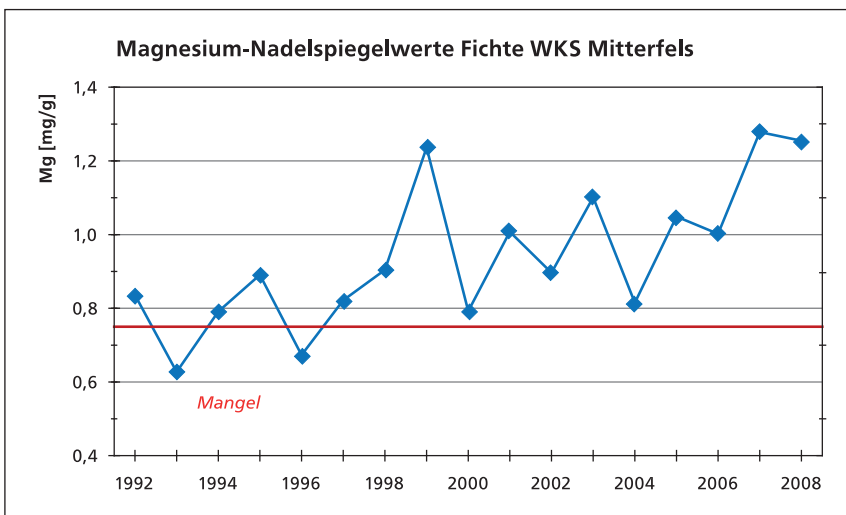


Abbildung 4:
Zeitreihe des Magnesiumgehalts im ersten Nadeljahrgang von Fichte an der Waldklimastation Mitterfels. Bewertung nach WOLFF und RIEK (1997).

Im Laub von Buchen und Eichen verursachen Trockenjahre bei den Stickstoff-, Schwefel- und Phosphorgehalten weniger starke Abweichungen vom langjährigen Mittel als dies beispielsweise bei Nadelbäumen der Fall ist (DIETRICH 1997b, 2000b). Höhere Stickstoff-, Phosphor und Schwefelgehalte treten bei Buchen und Eichen oft in Jahren mit gutem Blattwachstum auf. Dabei bleibt die gesamte Ernährungssituation ausgewogen, was durch stabile Nährelementrelationen zum Ausdruck kommt (DIETRICH 1995).

Bei der Ernährungsinventur der BZE II wurden die vorgenannten Erkenntnisse beachtet und die Flexibilität im vorgegebenen Zeitrahmen für die Probenahme in den Jahren 2006 – 2008 genutzt. Nach Anzeichen für eine starke Blüte und Fruktifikation im Frühjahr 2006 wurde die Beprobung der Hauptbaumarten Fichte und Buche auf das Jahr 2007 verschoben. Im Rückblick konnte dadurch auch ein möglicherweise ungünstiger Einfluss einer Trockenphase im Jahr 2006 (ZIMMERMANN und RASPE 2007) auf das Inventurergebnis vermieden werden.

Inventurdaten im Vergleich mit langjährigen Messreihen an den Waldklimastationen

Für die Aussagekraft der BZE II-Daten ist es wichtig, einen Überblick über die Situation der Waldernährung im Probenahmejahr vor dem Hintergrund der eingangs beschriebenen Effekte zu haben, vor allem was die Auswirkung von Extremjahren betrifft. Die mehrjährigen Messungen an den WKS erlauben eine zeitliche Einordnung der BZE-Befunde. Als Bewertungsmaßstab wird dazu die prozentuale absolute Abweichung des jährlichen WKS-Wertes vom zugehörigen langjährigen Stationsmittelwert herangezogen. Dieses Vorgehen gleicht das unterschiedliche Niveau der Waldernährung durch die verschiedenen Standorteigenschaften der einzelnen Waldklimastationen aus und kann als Streuungsmaß verstanden werden. Tabelle 1 gibt einen Überblick über den

Parameter	Baumart	prozentuale absolute Abweichung vom Stationsmittelwert [%]					Messwerte		
		MW 2007	Min. 1993 - 2008	MW 1993 - 2008	Max. 1993 - 2008	Vgl. MW 2007 zu MW 1993-2008	MW WKS 2007	MW WKS	MW BZE II
1000-Nadel- oder 100-Blatt-Gewicht [g]	Fichte	14	6	13	24	▲	4,5	4,8	4,5
	Kiefer	5	1	7	20	▼	13,1	13,1	15,7
	Buche	11	8	15	45	▼	11,9	11,0	12,7
	Eiche	22	11	20	47	▲	24,1	22,1	19,6
Stickstoff [%]	Fichte	8	2	5	10	▲▲	1,60	1,51	1,61
	Kiefer	4	0	6	12	▼	1,57	1,52	1,74
	Buche	5	3	5	10	▼	2,40	2,51	2,35
	Eiche	4	2	4	9	▼	2,66	2,72	2,70
Phosphor [mg/g]	Fichte	7	4	7	11	▼	1,8	1,7	1,6
	Kiefer	5	3	6	11	▼	1,4	1,5	1,5
	Buche	6	2	5	11	▲	1,3	1,3	1,2
	Eiche	10	4	9	17	▲	1,6	1,6	1,6
Kalium [mg/g]	Fichte	8	6	11	18	▼	5,2	5,1	6,2
	Kiefer	6	4	8	19	▼	5,2	5,5	5,4
	Buche	7	4	9	19	▼	7,2	7,3	7,2
	Eiche	12	0	8	12	▲▲	7,9	8,7	8,2
Calcium [mg/g]	Fichte	23	9	17	32	▲	3,7	3,2	5,1
	Kiefer	10	2	13	27	▼	2,8	2,6	3,2
	Buche	8	3	10	23	▼	7,1	7,3	7,7
	Eiche	15	6	12	18	▲	8,1	8,2	7,4
Magnesium [mg/g]	Fichte	11	8	12	17	▼	1,1	1,0	1,2
	Kiefer	8	1	12	36	▼	0,9	0,8	1,1
	Buche	12	5	13	26	▼	1,4	1,5	1,5
	Eiche	6	6	9	13	▼	1,9	2,0	1,8

Tabelle 1: Für die Hauptnährelemente bzw. Nadel-/Blattgewichte sind die prozentualen absoluten Abweichungen (nur positive Vorzeichen) der Nadel-/Blattspiegelwerte bzw. -gewichte vom (Waldklima-)Stationsmittelwert als Mittelwert für 2007 und als Minimum, Mittelwert und Maximum der Jahre 1993 – 2008 für die Hauptbaumarten dargestellt (Fichte n = 159, Kiefer n = 42, Buche n = 91, Eiche n = 74). Weiterhin die arithmetischen Mittelwerte für die Hauptnährelementgehalte in den Nadeln oder Blättern bzw. die Nadel-/Blattgewichte der Hauptbaumarten von WKS und BZE II. Symbole für den Vergleich von Mittelwert 2007 zum Mittelwert 1993 – 2008 der prozentualen absoluten Abweichungen vom Stationsmittelwert:

- ▼ MW 2007 ≤ MW 93 - 08 = geringe – mittlere Abweichung
- ▲ MW 2007 > MW 93 - 08 und näher am Mittel- als am Maximalwert = mittlere Abweichung
- ▲▲ MW 2007 > MW 93 - 08 und näher am Maximal- als am Mittelwert = höhere Abweichung.

durchschnittlichen Wert je Baumart und Hauptnährelement bzw. Nadel-/Blattgewicht für 2007 sowie die Minimal-, Maximal- und Mittelwerte an den WKS im Zeitraum 1993 – 2008. Dabei sind die Mittelwerte (Spalte „*MW 1993 – 2008*“) und insbesondere die Maxima (Spalte „*Max. 1993 – 2008*“) als Indikator für Extreme von Bedeutung. Beispielsweise stammt der Maximalwert für Calcium bei Fichte mit 32 % aus dem Trockenjahr 2003, in dem bayernweit sehr hohe Ca-Gehalte festgestellt wurden (vgl. Abbildung 2). Die maximalen Abweichungen für die 1000-Nadelgewichte bei Fichten treten in den Jahren 2003 und 2005 auf. Die konkrete Richtung, in die die Nadel-/Blatt- gehalte und -gewichte an den WKS im Jahr 2007 abweichen, also ob sie höher oder niedriger als das langjährige WKS-Mittel sind, kann aus dem Vergleich der Messwerte in Tabelle 1 abgelesen werden.

Von den sechs Parametern, die jeweils für die vier Hauptbaumarten dargestellt sind, liegen die Abweichungen für 2007 (Spalte „*MW 2007*“) in zwei Drittel der Fälle unter oder beim Mittelwert der prozentualen absoluten Abweichung für den Gesamtzeitraum und zeigen damit eine durchschnittliche Situation der Waldernährung an (▼ in Tabelle 1). Die Abweichungswerte für die Magnesiumgehalte der Hauptbaumarten liegen beispielsweise im Jahr 2007 zwischen 6 und 12 %, die zugehörigen Mittelwerte für den Zeitraum 1993 – 2008 erstrecken sich von 9 – 13 %. Nach Baumarten betrachtet überschreiten die Werte von Kiefer für 2007 bei keinem Element und von Buche nur bei einem Element die langjährige mittlere Abweichung. Etwas über dem Durchschnitt aber deutlich entfernt von den Maximalwerten liegen die Abweichung für die Nadel-/Blattgewichte und die Calciumgehalte von Fichte und Eiche sowie die Phosphorgehalte von Buche und Eiche (▲ in Tabelle 1). Die mittlere Abweichung für die Stickstoff-Nadelspiegelwerte bei Fichte tendiert stärker zum Maximum als zum Mittelwert (▲▲ in Tabelle 1). Die Messwerte liegen höher als das langjährige Mittel. Dies spricht für ein Jahr mit einer besseren N-Versorgung der Fichte, aber nicht für ein Extremjahr. Lediglich bei den Kalium-Blattspiegelwerten von Eiche erreicht die Abweichung den Maximalbereich. Die K-Gehalte sind im Jahr 2007 an den WKS deutlich niedriger als das langjährige Mittel. Betrachtet man allerdings die Bewertung der K-Versorgung nach WOLFF und RIEK (1997), liegt der Elementgehalt von 2007 ebenso wie das langjährige Mittel in der Stufe *hoch*.

Folgerungen für die Ernährungsdiagnose der BZE II

Da die WKS-Werte aus dem Probenahmejahr der BZE II mit einzelnen Ausnahmen annähernd im Bereich der Durchschnittswerte aus den langjährigen WKS-Messreihen liegen, ist davon auszugehen, dass die Ergebnisse der einmaligen BZE II-Aufnahme den durchschnittlichen Ernährungszustand der Baumarten an den jeweils untersuchten Standorten wiedergeben. Die Interpretation der Ergebnisse wird nicht durch „ungewöhnliche“ Ereignisse wie zum Beispiel warm trockene Witterung oder starke Fruktifikation verfälscht (vgl. auch den Beitrag „Waldzustand bei der BZE II“ in diesem Band).

Darüber hinaus zeigt der Vergleich der BZE II-Daten mit den Werten der im Jahr der Inventur an den WKS beprobten elf Fichten-, acht Buchen- und sechs Eichenbestände, dass sie den bei der BZE II ermittelten Wertebereich für die meisten Nährelemente gut repräsentieren (Abbildung 5). Die Referenzstichprobe der bayernweit verteilten WKS enthält sowohl schwächer versorgte Standorte als auch Standorte mit guter Nährstoffversorgung. Im Durchschnitt entspricht die festgestellte Nährstoffversorgung von Fichte, Buche und Eiche an den WKS weitgehend jener aus dem wesentlich größeren Probekollektiv der BZE II. Die vier Waldklimastationen mit Kiefern weichen dagegen in ihrer Nährstoffausstattung von der Verteilung der landesweiten Inventur ab. Zwar sind die vier Kiefern-WKS räumlich gut verteilt, stocken aber bevorzugt auf ärmeren Sandböden Mittelfrankens und der Oberpfalz. Basen- und stickstoffreichere Kiefernstandorte gehören nicht zu den WKS Referenzen. Die an den WKS Standorten ermittelten Nadel- und Blattgewichte ordnen sich im Aufnahmejahr der Inventur ebenfalls gut in den Wertebereich der Ergebnisse für ganz Bayern ein (Abbildung 6). Somit weicht die durchschnittliche Nährstoffversorgung im Jahr 2007 an den WKS nur wenig von den Durchschnittswerten aus dem repräsentativen Kollektiv der Inventur ab. Konzeptbedingt treten extreme Nährstoffmängel oder Anreicherungen von Schadstoffen durch lokal erhöhte Einträge, beispielsweise beim Schwefel oder Stickstoff, an den Waldklimastationen nicht auf: An den WKS sollten jeweils typische Standortbedingungen einer Region abgebildet werden. Die Extreme des Mangels oder der Überernährung werden von einer räumlich repräsentativen landesweiten Inventur hingegen besser erfasst.

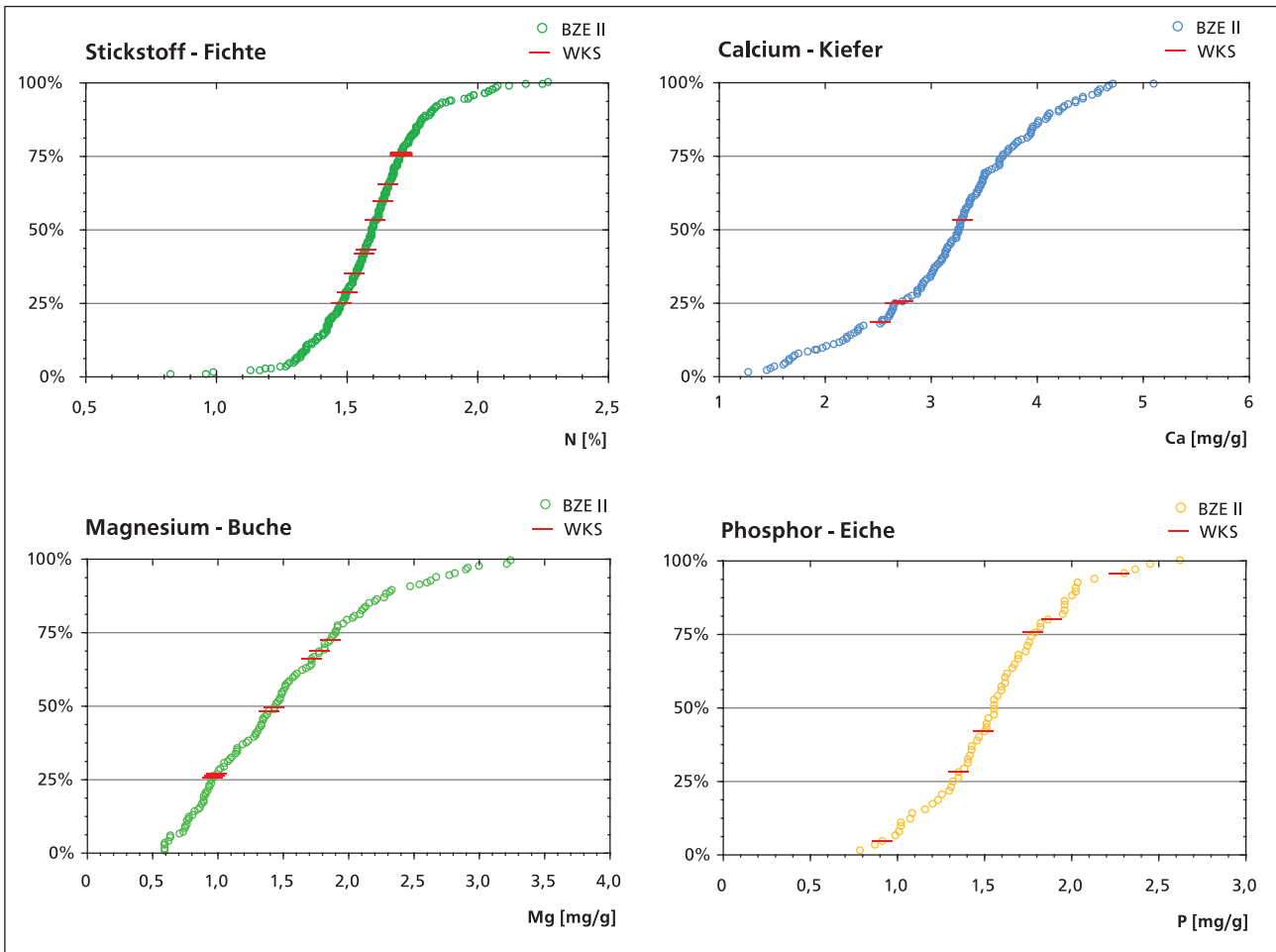


Abbildung 5: Häufigkeits-Summenkurven der Stickstoff- bzw. Calcium-Nadelspiegelwerte von Fichte bzw. Kiefer (1. Jahrgang) und Magnesium- bzw. Phosphor-Blattspiegelwerte von Buche bzw. Eiche bei der BZE II in Bayern und der Waldklimastationen im Inventurjahr. Um die Position der WKS-Elementgehalte in den Verteilungskurven zu ermitteln, wurde diesen jeweils der Prozentwert des entsprechenden BZE-Elementgehaltes zugewiesen.

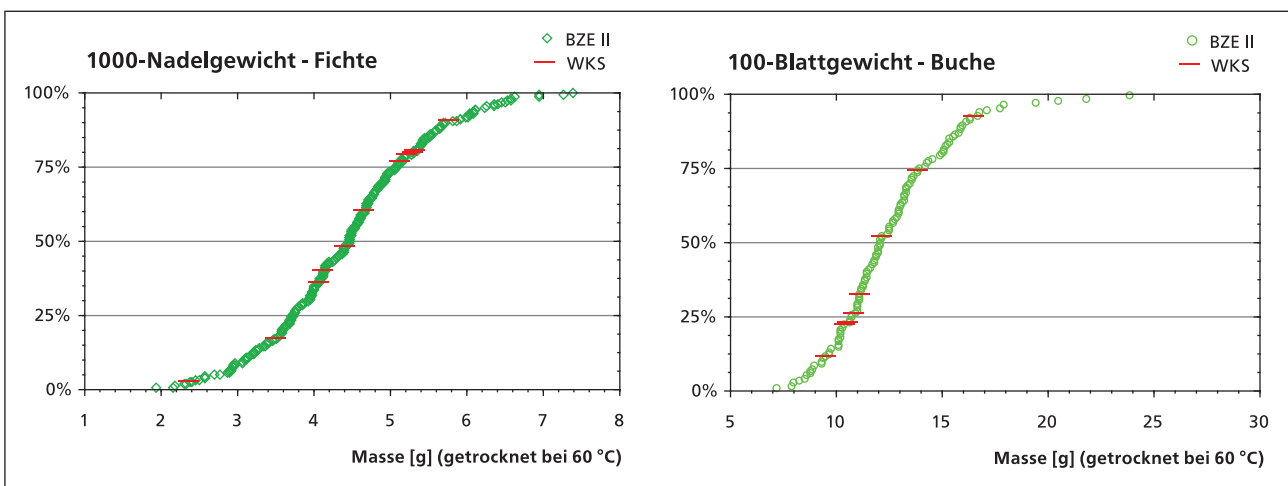


Abbildung 6: Häufigkeits-Summenkurven der Nadelgewichte (1. Jahrgang) der Fichte und Blattgewichte der Buche bei der BZE II in Bayern und der Waldklimastationen im Inventurjahr. Um die Position der WKS-Werte in den Verteilungskurven zu ermitteln, wurde diesen jeweils der Prozentwert des entsprechenden BZE-Wertes zugewiesen.

Dynamische Entwicklungen der Waldernährung, wie z. B. Trends abnehmender Schwefelbelastung (RIEK und DIETRICH 2000), können mit einer einmaligen Inventur nicht erkannt werden. Abbildung 7 zeigt die Entwicklung der S-Nadelspiegelwerte von Fichte an der WKS Flossenbürg. Die Station steht beispielhaft für eine starke Belastung durch grenzüberschreitende Schadstoffverfrachtungen in Nordostbayern vor dem Wirksamwerden der Rauchgasentschwefelung und weiterer Maßnahmen zur Luftreinhaltung (StMLF 2003). Der alleinige Vergleich der Daten aus zwei Erhebungen mit großem zeitlichem Abstand, wie der Waldbodeninventur 1987 (WBI) und der BZE II 2007, lässt keinen sicheren Schluss über Veränderungen zu, da die beispielhaft dargestellten kurzfristigen Schwankungen nicht wahrgenommen werden und die erwähnten Auswirkungen von Extremjahren zu Fehlinterpretationen führen können. Allerdings kann ein Vergleich dabei helfen aufzuzeigen, ob sich der erwartete Unterschied aus den kontinuierlichen Messungen an den WKS wiederfindet und in welcher Intensität er sich gegebenenfalls landesweit abbildet. Hier ergänzen sich Inventur und Monitoring sinnvoll. Der Vergleich der BZE II-Ernährungsinventur mit den langjährigen Messreihen der Waldklimastationen zeigt, dass die Werte der BZE II in der Regel durchschnittliche Ernährungsbedingungen abbilden. Die BZE II-Daten geben den Zustand der Waldernährung in Bayern gut wieder.

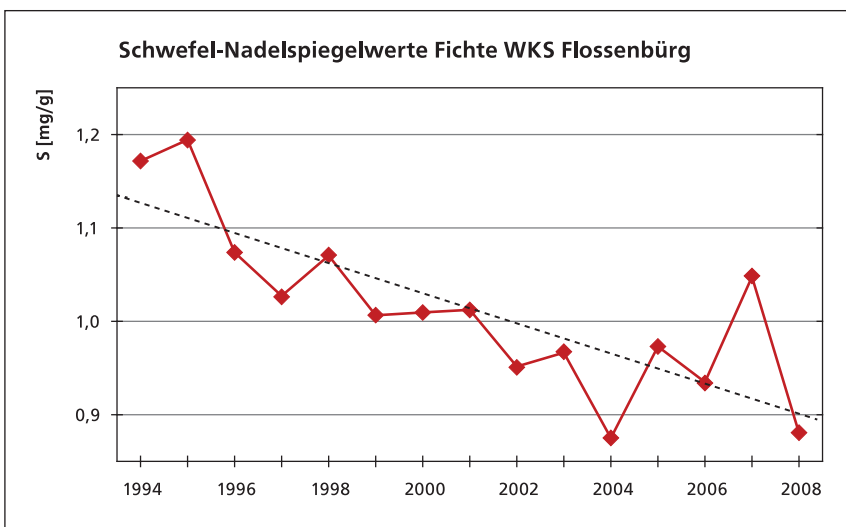


Abbildung 7:
Zeitreihe des Schwefelgehalts im
ersten Nadeljahrgang von Fichte
an der Waldklimastation Flossen-
bürg mit Trendlinie.