



Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR
UMWELT, LANDWIRTSCHAFT,
ERNÄHRUNG, WEINBAU
UND FORSTEN

NÄHRSTOFFVERSORGUNG RHEINLAND-PFÄLZISCHER WÄLDER

Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 76/16



Die Langfassung kann unter:

<http://www.fawf.wald-rlp.de/index.php?id=2601>

heruntergeladen werden



Landesforsten
Rheinland-Pfalz

NÄHRSTOFFVERSORGUNG RHEINLAND-PFÄLZISCHER WÄLDER

Bewertung von Status und Entwicklung der
Waldernährung und Erprobung neuerer Bewertungs-
Verfahren

Martin Greve, Joachim Block, Hans-Werner Schröck, Johannes Schultze,
Willy Werner und Klaus Wies

Zentralstelle der Forstverwaltung
Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft, Rheinland-Pfalz,
Trippstadt 2016

Zusammenfassung

Einleitung und Zielsetzung

Ergebnisse von Nadel-Blattanalysen sind im forstlichen Umweltmonitoring ein Indikator für die Vitalitätseinschätzung von Beständen bzw. des Ökosystems und standen von Beginn an bei der Ursachenforschung von Waldschäden im Fokus. Die Entwicklungstrends in der Waldernährung werden aktuell im Hinblick auf die anthropogen bedingt hohen Stickstoffeinträge und die daraus resultierenden Einflüsse auf die Nährstoffversorgung und die Ausgewogenheit der Ernährung diskutiert. Detaillierte Daten zur Waldernährung liegen seit den 1980er Jahren für über Rheinland-Pfalz verteilte Dauerbeobachtungsflächen sowie aus Übersichtserhebungen auf einem landesweiten Raster vor. Diese Daten wurden in der vorliegenden Arbeit herangezogen, um den aktuellen Stand und die Entwicklung der Waldernährung in Rheinland-Pfalz zu untersuchen. Zugleich sollen auch die Einflüsse von Analyseverfahren, Bestandesalter, Kalkung, Witterung und Kronenzustand diskutiert werden.

Die Ergebnisse der Nadel-Blattanalysen wurden anhand ernährungkundlicher Grenzwerte aus unterschiedlichen Bewertungssystemen bewertet. Zusätzlich wurde als alternative Methode die Compositional Nutirent Diagnosis (CND) verwendet, ein Verfahren das nicht nur die absoluten Elementkonzentrationen, sondern auch die Verhältnisse aller in die Analyse einfließenden Elemente zueinander berücksichtigt und damit Auskunft über die Ausgewogenheit der Ernährung gibt. Des Weiteren wurde anhand der auf den Dauerbeobachtungsflächen erhobenen Streufalldaten die Rückverlagerung von Elementen aus den grünen Nadeln bzw. Blättern vor dem Abwurf betrachtet.

Einflussfaktoren

Die Schwankungen in den Elementkonzentrationen verschiedener Beprobungsjahre an einem Standort machen deutlich, dass die Beurteilung der Ernährung anhand einer einzelnen Probenahme mit Unsicherheiten verbunden ist. Die Unterschiede zwischen den Probenahmeterminen hängen unter anderem von den Witterungsbedingungen wenige Wochen bis Monate vor der Probenahme ab. Insbesondere die Konzentrationen der Elemente K, Mg, Fe, aber auch B und Na zeigen bei den Baumarten Buche, Eiche und Fichte Abhängigkeiten zu verschiedenen klimatischen Kennwerten. Das Gewicht, die Element-Gehalte von 100 Nadeln bzw. Blättern sowie die Element-Verhältnisse zeigen

hingegen nur vereinzelt signifikante Korrelationen zu den Witterungsbedingungen. Veränderungen der Nadel- und Blattspiegelwerte zwischen einzelnen Probenahmeterminen können demnach durch Witterungseinflüsse hervorgerufen werden und bedeuten nicht zwangsläufig eine Veränderung in der Verfügbarkeit von Nährstoffen. Zudem werden die Konzentrationen der Elemente durch Bestandes-interne Faktoren beeinflusst. Zwischen Stärke der Fruktifikation und den auf 100 Nadeln/Blätter bezogenen Element-Gehalten besteht ein signifikant negativer Zusammenhang. Eine Häufung der Fruktifikationsereignisse würde demnach zu einem Trend hin zu niedrigeren Gehalten führen. In der landesweiten Übersichtserhebung zeigt sich zudem, dass die N-, P-, S- und K-Konzentrationen sowie Nadelgewichte vom Alter der Bestände beeinflusst werden.

Es besteht Forschungsbedarf, wie die genannten Einflüsse bei der Bewertung des Ernährungszustandes anhand von ernährungskundlichen Grenzwerten berücksichtigt werden können. Die Pflanzenphysiologie sollte bei der Interpretation stärker mit einbezogen werden. Bis dahin sind die Elementkonzentrationen ein allgemeiner, integrierender Indikator der Änderungen im Ökosystem anzeigt, jedoch keine sichere Schlüsse auf deren Ursachen oder Auswirkungen auf den Bestand zulässt. Der Einsatz alternativer Bewertungsverfahren liefert ergänzende Ergebnisse.

Alternative Bewertungsverfahren

Die Auswertung der in Rheinland-Pfalz erhobenen Daten macht deutlich, dass aufgrund der vielen Einflussfaktoren auf die Element-Konzentrationen in Nadeln und Blättern eine Interpretation derselben, losgelöst von Informationen über die interne Verlagerung, die Rückführung von Elementen mit dem Streufall und ohne Vitalitätsindikatoren nur eingeschränkt möglich ist.

Die Berücksichtigung der internen Verlagerung von Elementen stellt eine Erweiterung zu einer rein auf die Konzentrationen der grünen Nadeln/Blätter ausgerichteten Bewertung der Ernährungssituation dar. Die Ergebnisse liefern zusätzliche Hinweise auf eine Über- oder Unterversorgung mit bestimmten Nährelementen. Allerdings differieren die rheinland-pfälzischen Dauerbeobachtungsflächen in ihrer Ernährungssituation wenig, sondern liegen alle auf einem ähnlichen (niedrigen) Niveau. Für gesicherte Aussagen über das Verhalten bei Überschuss oder extremem Mangel wären entweder Flächen mit einem steileren Gradienten in der Nährstoffversorgung oder die Anlage von Düngeversuchen notwendig.

Die CND ist eine Ergänzung zu den ernährungskundlichen Grenzwerten, die Hinweise auf unpassende Grenzwerte liefern kann und hilft zwischen standörtlichen oder großflächig auftretenden Effekten zu unterscheiden. Allerdings wird bei der CND eine Referenz zur Bewertung benötigt, die (wie auch bei

den ernährungskundlichen Grenzwerten) nicht für Bestände unterschiedlicher Zuwachphasen, Provenienzen oder Standorte vorliegt.

Angesichts der Schwächen der jeweiligen Verfahren wurden diese parallel eingesetzt und deren Ergebnisse gemeinsam interpretiert, um aussagekräftigere Bewertungen der Ernährungssituation der Wälder in Rheinland-Pfalz treffen zu können.

Waldernährung

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass Phosphor (P) in den ökosystemaren Nährstoffkreisläufen rheinland-pfälzischer Wälder zu den kritischen Elementen gehört. Die **P-Ernährung** wird für die vier Hauptbaumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer als ungünstig eingestuft und zeigt für Fichte eine signifikante Abnahme auf einem Teil der DBF und zwischen den Übersichtserhebungen. Problematisch ist für die Bewertung, dass die Pflanzenverfügbarkeit des im Boden vorhandenen P von dessen Bindungsformen abhängt und sich nur eingeschränkt über die routinemäßig erhobenen Gesamt-P-Vorräte herleiten lässt. Auch die Bilanzierung ist aufgrund der geringen P-Flüsse in und aus sowie innerhalb des Ökosystems mit erheblichen Unsicherheiten verbunden. Bis detailliertere Informationen zum P-Status von Wäldern vorliegen, sollte bei der Bewirtschaftung auf einen möglichst geringen P-Austrag mit der Holzernte geachtet werden. Möglich wäre eine Rückführung des entzogenen P durch eine Beimischung - beispielsweise von Holzasche und/oder Rohphosphat - zu dem bei der Bodenschutzkalkung ausgebrachten dolomitischen Kalk.

Stickstoff (N) ist hingegen auf nahezu allen Standorten in ausreichender Menge vorhanden und spiegelt die hohen N-Einträge in die Waldökosysteme wieder. Zwar wird bei der Fichte die **N-Ernährung** je nach Bewertungssystem unterschiedlich eingestuft, jedoch liefert das Datenmaterial ausreichend Hinweise, um auch bei dieser Baumart von einer ausreichenden N-Ernährung auszugehen. Obwohl die absoluten N-Konzentrationen bei Fichte gering ausfallen und dementsprechend ungünstig durch die ernährungskundlichen Grenzwerte bewertet werden, liegt N trotzdem in einem ausreichend engen Verhältnis zu den restlichen Nährstoffen in den Nadeln vor. Ebenfalls ein Indiz für eine ausreichende N-Verfügbarkeit ist die verglichen mit Literaturwerten geringe Verlagerung von N aus den Nadeln vor dem Streufall an den Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz.

Der Vergleich der N-Ernährung verschiedener Baumarten deutet ebenfalls auf einen großflächig auftretenden, die jeweilige Standorteigenschaft überlagernden Einfluss der hohen N-Deposition auf die Bestandesernährung hin. Dafür spricht auch, dass Unterschiede im N/P-Verhältnis verschiedener

Bestände weniger von Unterschieden der N-, sondern vornehmlich von Unterschieden der P-Konzentrationen bestimmt werden. Die ausreichende N-Ernährung führt zusammen mit der großflächig verbesserten Mg-Ernährung zu einem höheren P-Bedarf, den viele Bestände nicht decken können.

Der Anstieg der **Mg-Konzentrationen** in den Nadeln und Blättern ist zum Teil durch die in Rheinland-Pfalz großflächig durchgeführten Bodenschutzkalkungen bedingt. Da jedoch bei allen Baumarten auch nicht gekalkte Bestände eine Zunahme der Mg-Konzentrationen aufweisen, ist zudem von einer landesweiten Verbesserung der Mg-Ernährung auszugehen.

Mögliche Gründe für diese Verbesserung können geringere Mg-Verluste mit dem Sickerwasser aufgrund rückläufiger Sulfatfrachten sein. Zudem können durch eine Abnahme der Säurebelastung die Konzentrationen anderer Kationen (H^+ , Mn^{2+} , Al^{3+}) im Sickerwasser zurückgehen, wodurch die Mg-Aufnahme durch die Wurzel weniger stark durch diese konkurrierenden Kationen behindert wird. Denkbar ist auch eine geringere Auswaschung von Mg im Kronenraum aufgrund der gestiegenen pH-Werte im Niederschlag.

Trotz der verbesserten Mg-Ernährung darf nicht außer Acht gelassen werden, dass die ökosystemaren Stoffbilanzen von Mg auf einem Großteil der Waldstandorte in Rheinland-Pfalz schon ohne oder bereits bei geringer Nutzung defizitär sind. Die Verbesserung der Mg-Ernährung sollte demnach nur als kurzfristige Erholung gesehen werden. Längerfristig ist auf Standorten mit basenarmen Ausgangsgesteinen ohne Kalkung von einer angespannten Mg-Versorgung auszugehen.

Die **Ca-Ernährung** wird ebenfalls für einen Großteil der Bestände als normal oder besser bewertet. Im Gegensatz zu Mg weisen jedoch hauptsächlich gekalkte Bestände eine signifikante Zunahme der Ca-Konzentrationen in Nadeln und Blättern auf.

Die **K-Ernährung** wird für den Großteil des BZE II-Kollektivs und der DBF als normal oder im Überschuss bewertet. Allerdings zeigt die Fichte eine Abnahme der Kalium-Konzentrationen. Die CND liefert Hinweise, dass dies mit der großflächigen Verbesserung der Magnesium- und Calcium-Ernährung zusammenhängt und nicht durch eine schlechtere K-Verfügbarkeit bedingt ist. Höhere Konzentrationen von anderen Kationen in den Nadeln und Blättern führen dazu, dass eine geringere Menge K^+ zum Ladungsausgleich benötigt wird. Zusätzlich könnte die Abnahme der SO_2 -Belastung einen Rückgang der K-Konzentrationen bewirken, da dadurch weniger K^+ zur der Entgiftung von stomatär aufgenommenem SO_2 benötigt wird.

Auch wenn die Bewertung der **S-Ernährung** teils ungünstig ausfällt, dürfte S den Beständen in ausreichender Menge zu Verfügung stehen. Die Auswertung der Daten der WEE II mittels CND gibt

Hinweise, dass die vier Baumarten die S-Aufnahme über die Wurzeln steuern können und diese aufgrund anderer Nährstoffe im Mangel, wie beispielsweise P, reduzieren. Da auch heute noch die S-Deposition die S-Aufnahme der Bestände und die S-Festlegung in der Biomasse deutlich überschreitet, dürften die teils ungünstigen Bewertungen der S-Ernährung bei Fichte und Kiefer durch unpassende Referenzen bedingt sein.

Die ernährungskundliche Einwertung von **Spurenelementen** anhand von Grenzwerten ist unsicher, was sich deutlich an den stark voneinander abweichenden Bewertungen des WEE II-Kollektivs zeigt. Die Ergebnisse deuten auf eine ausreichende Versorgung der Kiefern-Bestände mit Eisen (Fe), Mangan (Mn), Kupfer (Cu), Zink (Zn) und Bor (B) hin. Für Fe, Mn und Zn gilt dies auch für Fichte, jedoch wird je nach Bewertungsgrundlage die B- und Cu-Versorgung teils als mangelhaft eingestuft. Bei Buche und Eiche ist insbesondere die Cu-, Fe- und Zn-Ernährung als kritisch anzusehen. Bei der Fe-Bewertung zeigen sich deutlich die Unterschiede zwischen den in der Literatur angegebenen Grenzwerten. So werden beispielsweise nach Göttlein et al. (2011) alle Buchenbestände dem Mangelbereich zugeordnet, während nach Göttlein (2015) mehr als 60 % eine normale Fe-Versorgung aufweisen. Die Mn-Ernährung liegt sowohl für Buche als auch für Eiche im Normal- oder Überschussbereich, sodass wie bei Kiefer und Fichte nicht von einem Mn-Mangel auszugehen ist. Vielmehr ist insbesondere auf devonischen Standorten mit einer Belastung der Bestände durch die große Menge an mobilem Mn im Ökosystem zu rechnen (vgl. Block et al. 2016). Die B-Ernährung wird für etwa ein Drittel der Buchen- und Eichenbestände als mangelhaft bewertet.

Die **Bodenschutzkalkung** führt insbesondere zu einem Anstieg der Mg- und Ca-Konzentrationen. Durch den Anstieg der Konzentrationen dieser beiden Elemente kann es zudem zu einem Absinken der K-Konzentrationen kommen, was jedoch nicht als eine Verschlechterung der K-Ernährung gedeutet werden kann. Vielmehr werden element-unspezifische Funktionen von K^+ durch andere Kationen übernommen. Falls ein bestehender Mg-Mangel durch die Kalkung behoben wird, steigt der Bedarf an anderen Elementen. Es ist zu erwarten, dass anstelle von Mg vermehrt P limitierend wirkt und die P-Konzentrationen in Nadeln und Blättern der aufwachsenden Bestände als im Mangel bewertet werden – insbesondere auf Standorten der Sande des Buntsandsteins, die geringe P-Bodenvorräte aufweisen. Für diese Standorte sollte über eine Rückführung von P durch eine Beimischung von Holzasche und/oder Rohphosphat diskutiert werden. Eine Beeinflussung der Löslichkeit von P und der P-Aufnahme des Bestandes durch die Kalkung konnte nicht festgestellt werden.



Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR
UMWELT, LANDWIRTSCHAFT,
ERNÄHRUNG, WEINBAU
UND FORSTEN

Kaiser-Friedrich-Straße 1
55116 Mainz

www.mulewf.de
www.wald-rlp.de