

WALDERNÄHRUNG IN RHEINLAND-PFALZ



Seit den 1980er Jahren werden in Rheinland-Pfalz auf Dauerbeobachtungsflächen und bei landesweiten Übersichtserhebungen Nadel- und Blattproben gewonnen. Die durch chemische Analysen gewonnenen Element-Gehalte geben Hinweise auf den Ernährungszustand der beprobten Bestände. Aktuell stellen die hohen Stickstoffeinträge ein Problem dar, da diese zu einer unausgewogenen Ernährung führen können. Zudem zeigt sich eine Verschlechterung der Phosphor-Ernährung. Die Ernährung mit Calcium und Magnesium hingegen hat sich für viele Waldbestände in Rheinland-Pfalz verbessert.

Nach einem standardisierten Verfahren werden vom Hubschrauber aus oder mit Baumkletterern Äste aus der Baumkrone gewonnen und die Nadeln und Blätter auf deren Inhaltsstoffe analysiert. Die Analyseergebnisse sind im forstlichen Umweltmonitoring ein Indikator für den Ernährungszustand des jeweiligen Waldbestandes und standen von Beginn an auch bei der Ursachenforschung von Waldschäden im Fokus. Detaillierte Daten zur Waldernährung liegen seit den 1980er Jahren für mehr als 40 über Rheinland-Pfalz verteilte Dauerbeobachtungsflächen der Baumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer vor, in denen zum Teil jährlich Blatt- und Nadelproben gewonnen werden. Ebenfalls wichtige Informationen zur Waldernährung stammen aus Übersichtserhebungen, bei denen eine Beprobung auf einem landesweiten Raster stattfindet: 1983 Immissionsökologische Waldzustandserhebung (IWE, 112 Rasterpunkte, nur Fichte beprobt), 1988 Waldernährungserhebung I (149 Rasterpunkte, Fichte und Kiefer beprobt), 2006 Waldernährungserhebung II (165 Rasterpunkte, Buche, Eiche, Fichte und Kiefer beprobt).

Zunehmende Nährstoffungleichgewichte

Phosphor (P) gehört in den ökosystemaren Nährstoffkreisläufen rheinland-pfälzischer Wälder zu den kritischen Elementen, da viele Böden von Natur aus oder durch Waldverwüstung und Übernutzung in früheren Jahrhunderten geringe P-Vorräte aufweisen. Die P-Ernährung wird für die vier Hauptbaumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer zumeist als ungünstig eingestuft. Zudem zeigen die

P-Gehalte bei der Fichte eine signifikante Abnahme auf einem Teil der Dauerbeobachtungsflächen und im Vergleich der beiden landesweiten Übersichtserhebungen.

Alle Hauptbaumarten sind hingegen zum größten Teil ausreichend oder luxuriös mit **Stickstoff** (N) versorgt. N ist auf nahezu allen Standorten in ausreichender Menge vorhanden, was die hohen N-Einträge aus der Emission von Ammoniak aus der Landwirtschaft und von Stickoxiden aus dem Straßenverkehr in die Waldökosysteme widerspiegelt. Das Verhältnis von N zu P zeigt deutlich die Unausgewogenheit in der Ernährung. Viele der beprobten Bestände weisen ein zu weites N/P-Verhältnis auf, was durch N-Überschuss und P-Mangel verursacht wird.

Alle Baumarten weisen eine Zunahme der **Magnesium**-Gehalte in den Blättern und Nadeln auf. Dieser Anstieg ist zum Teil durch die in Rheinland-Pfalz großflächig durchgeführten Bodenschutzkalkungen mit magnesiumreichem Dolomitgesteinsmehl bedingt, wodurch im Zuge der Versauerung verloren gegangenes Magnesium (Mg) und Calcium (Ca) zurückgeführt wird. Aber auch nicht gekalkte Bestände zeigen eine Verbesserung der Mg-Ernährung. Mögliche Gründe für diese Verbesserung können geringere Mg-Verluste mit dem Sickerwasser aufgrund rückläufiger Säurebelastung durch Sulfatfrachten sein. Magnesium wird von Pflanzen zumeist als positiv geladenes Ion (sog. Kation) aus der Bodenlösung als Mg^{2+} aufgenommen. Durch die Abnahme der Säurebelastung

Bewertung des Ernährungszustandes

Die durch die chemischen Analysen erhaltenen Gehalte der Nährelemente in den Nadeln und Blättern werden üblicherweise anhand von Grenzwerten bewertet. In der Literatur sind für die Nährelemente jeweils Schwellen für eine mangelhafte, normale und luxuriöse Ernährung angegeben, die sich je nach Baumart unterscheiden. Gehalte im Bereich „normal“ sind unbedenklich und stehen für eine ausreichende bis optimale Versorgung der Pflanze mit diesem Nährstoff. Liegen die Gehalte darunter liefert dies Hinweise auf eine unzureichende Verfügbarkeit. Reduziertes Wachstum und Mangelsymptome wie Blatt- bzw. Nadelvergilbungen, Verfärbungen oder Wuchsanomalien sind die Folge. Gehalte über dem Normalbereich können sich je nach Nährstoff ebenfalls negativ auf die Vitalität auswirken. So reduziert eine hohe Verfügbarkeit von Stickstoff die Widerstandskraft gegenüber Fraßschädlingen und Pilzkrankungen. Ein Überangebot von Spurennährstoffen wie Mangan kann zu Störungen des Wachstums oder zu Schadsymptomen führen.

Da die Gehalte nicht nur von der Verfügbarkeit des Nährstoffs am Wuchsort, sondern beispielsweise auch durch Witterung, Fruktifikation, Nadel- bzw. Blattgewicht oder Baumalter bestimmt werden, ist eine Erweiterung der etablierten Verwendung von Grenzwerten sinnvoll. Dazu gehören Verhältnisse zwischen zwei oder mehreren Nährstoffen, was die Ausgewogenheit der Ernährung betrachtet und die durch den Einsatz von Grenzwerten erhaltenen Ergebnisse für die Interpretation gut ergänzt. Auch hier liegen für verschiedene Baumarten und Nährstoffkombinationen Werte aus der Literatur vor. Die Verlagerung von Nährstoffen aus alten Blättern und Nadeln vor deren Abwurf im Herbst kann ebenfalls ergänzende Informationen über die Ernährungssituation liefern. Dahinter steckt die Annahme, dass ein Nährstoff an einem Standort im Mangel stärker verlagert wird als an einem Standort mit ausreichender Verfügbarkeit. Elemente im Überschuss können sich sogar in alten Blättern anreichern, da diese von der Pflanze im übertragenen Sinne als Abfalleimer zur Entsorgung benutzt werden.

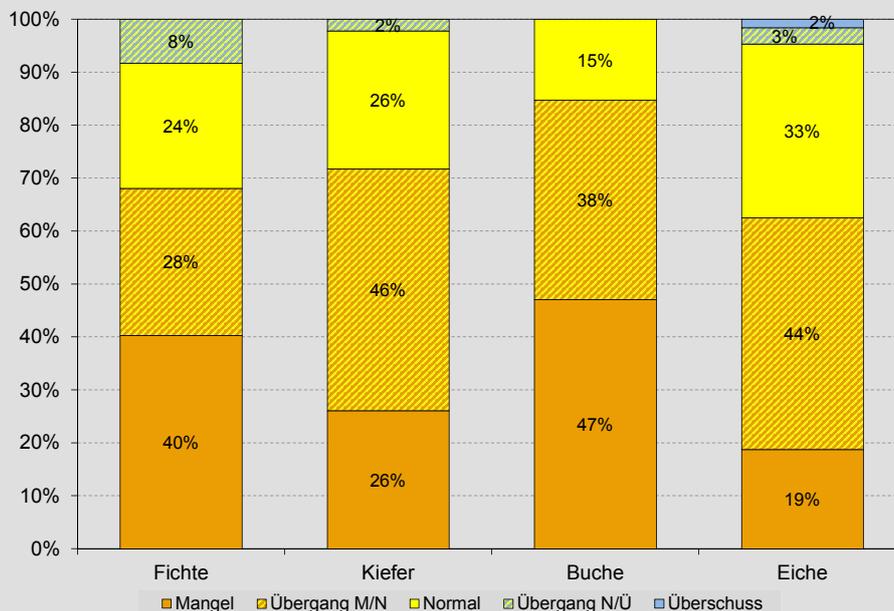
können die Konzentrationen anderer Kationen (wie Mangan oder Aluminium) im Sickerwasser zurückgehen, wodurch die Mg-Aufnahme durch die Wurzel weniger stark durch diese konkurrierenden Kationen behindert wird. Denkbar ist auch eine geringere Auswaschung von Mg aus den Blättern und Nadeln im Kronenraum aufgrund der gestiegenen pH-Werte im Niederschlag.

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

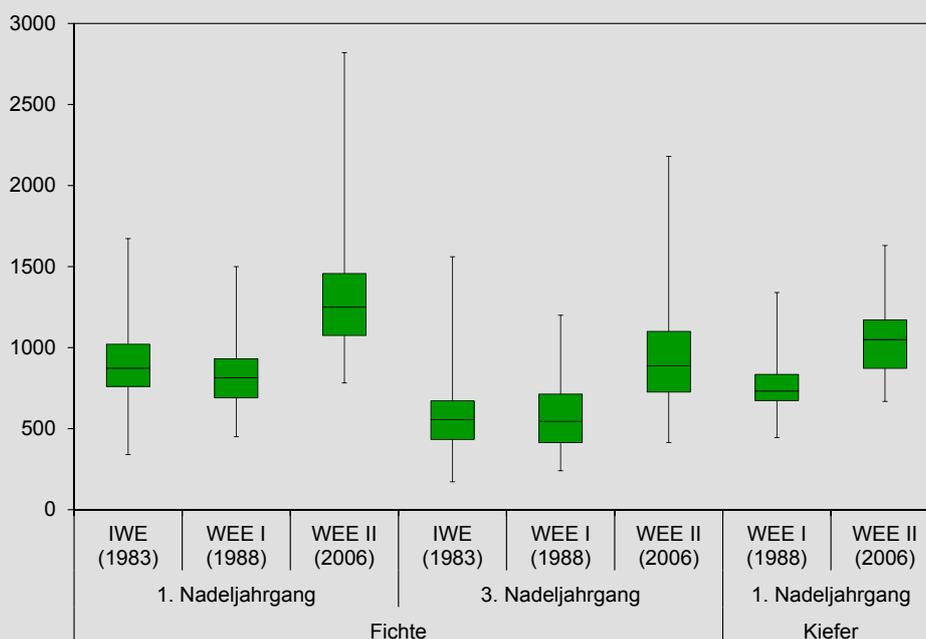
Die **Kalium**-(K)-Ernährung wird für den Großteil der Bestände in Rheinland-Pfalz als „normal“ oder

„im Überschuss“ bewertet. Allerdings zeigt die Fichte einen leichten Rückgang der Kaliumgehalte. Die Elementverhältnisse liefern Hinweise, dass dies mit der großflächigen Verbesserung der Magnesium- und Calcium-Ernährung zusammenhängt und nicht durch eine schlechtere K-Verfügbarkeit bedingt ist. Höhere Gehalte von anderen Kationen in den Nadeln und Blättern führen dazu, dass diese einen Teil der Aufgaben von K im Stoffwechsel der Pflanze übernehmen können (wie beispielsweise den Ladungsausgleich) und dadurch eine geringere Menge K^+ benötigt wird. K wird auch bei der Entgiftung von Schwefeldioxid benötigt, das über die Oberfläche der Blätter und Nadeln aufgenommen wird. Die Abnahme der Schwefeldioxidbelastung durch Luftreinhaltemaßnahmen kann deshalb auch einen Rückgang der K-Gehalte bewirken, da

Bewertung der Phosphor-Gehalte der 2006 bei der Waldernährungserhebung über ganz Rheinland-Pfalz beprobten Bestände. Der Großteil befindet sich im Übergang zum oder im Mangelbereich.



Entwicklung der Mg-Gehalte im ersten und dritten Nadeljahrgang bei der Fichte und im ersten Nadeljahrgang bei der Kiefer im Zeitraum der drei in Rheinland-Pfalz erfolgten landesweiten Übersichtserhebungen. Für beide Baumarten ist ein Anstieg zwischen 1988 und 2006 zu erkennen. 1983 wurden nur Fichtenbestände beprobt. Buche und Eiche wurden erst 2006 in die Beprobung mit aufgenommen, sodass noch keine landesweite Entwicklung abzuleiten ist.



dadurch weniger K^+ zur Entgiftung benötigt wird. Die Luftreinhaltemaßnahmen führen auch zu geringeren Schwefel-(S)-Gehalten in Blättern und Nadeln. Da aber auch heute noch die S-Deposition die S-Aufnahme der Bestände und die längerfristige S-Festlegung in der Biomasse deutlich überschreitet, ist großflächig von einer ausreichenden S-Verfügbarkeit auszugehen.

Die ernährungkundliche Bewertung von Spurenelementen ist unsicherer als die der Hauptnährstoffe, da sich die chemischen Analysen aufgrund der geringen Mengen schwieriger gestalten. Auch findet man in der Literatur weniger und teils stark voneinander abweichende Angaben, welche Gehalte als „ausreichend“ angesehen werden. 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 liegen die Cu-, Fe- und Zn-Gehalte der Blätter unterhalb des Normalbereichs. 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 im Zuge der Bodenversauerung freigesetzte, große Menge an mobilem Mn im Ökosystem zu rechnen. Die B-Ernährung wird für etwa ein Drittel der Buchen- und Eichenbestände als „mangelhaft“ bewertet. Ob die bei verschiedenen Spurennährstoffen zum Teil in den Mangelbereich fallenden Gehalte das Wachstum und die Vitalität der Bäume tatsächlich beeinträchtigen, bedarf allerdings noch weiterer Forschung.

Weitere Reduktion der Stickstoffeinträge erforderlich

Der hohe Eintrag von Stickstoff führt dazu, dass dieser früher begrenzende Nährstoff in vielen Waldökosystemen in großen Mengen vorhanden ist. Dadurch steigt der Bedarf an anderen Nährstoffen. Insbesondere der höhere Phosphor-Bedarf kann auf vielen Standorten nicht vollständig gedeckt werden. Das Wachstum der Waldbestände wird daher in vielen Fällen nicht mehr durch

Stickstoff, sondern zunehmend durch Phosphor begrenzt. Bei Calcium und Magnesium hingegen hat sich die Ernährungssituation seit Beginn der Untersuchungen in den 1980er Jahren verbessert. Auch wenn gegenwärtig kein großflächiger Mangel bei diesen beiden Elementen mehr auftritt, darf nicht außer Acht gelassen werden, dass ein Großteil der Waldstandorte in Rheinland-Pfalz nur geringe Calcium- und Magnesium-Vorräte im Boden, eine häufig nur verschwindend geringe Nachlieferung aus der Mineralverwitterung und dementsprechend defizitäre Bilanzen dieser Nährstoffe aufweist. Viele dieser Standorte verarmen daher weiter an diesen wichtigen Nährstoffen. Treibende Kraft sind dabei die nicht nur düngend, sondern auch versauernd wirkenden Stickstoffeinträge. Weitere, die Stickstoffbelastung senkende Luftreinhaltemaßnahmen sind daher dringend erforderlich, um die Böden vor weiterer Versauerung und Nährstoffverarmung zu schützen, Nitratstickstoff-Belastungen des Grundwassers vorzubeugen und um Schäden am Bestand durch eine unausgewogene Ernährung zu verhindern. Zudem ist eine nährstoffnachhaltige Bewirtschaftung unserer Wälder zwingend geboten, indem die Nutzung von Holz und forstlicher Biomasse weiterhin dem Standortpotential entspricht. Darüber hinaus müssen Standorte mit hoher Säurebelastung, defizitären Ca- und Mg-Bilanzen und geringen Vorräten dieser Nährelemente vor weiterer Ca- und Mg-Verarmung geschützt werden. Deshalb wird dort, wo es nötig ist, weiterhin eine Bodenschutzkalkung vorgenommen.

Eingehende Informationen zur Waldernährung in Rheinland-Pfalz finden Sie im Mitteilungsband 76/16, der auf der Internetseite der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft heruntergeladen werden kann:
<http://www.fawf.wald-rlp.de/index.php?id=2601>

Hauptnährstoffe

Phosphor (P) wird für die Synthese von Phospholipiden und Nucleinsäuren sowie im Energiestoffwechsel benötigt und ist innerhalb der Pflanzen gut verlagerbar. Phosphor kommt im Boden in verschiedenen organischen und anorganischen Bindungen vor und wird von der Vegetation in Form von Phosphat aus der Bodenlösung aufgenommen. Die Pflanzenverfügbarkeit des vorhandenen Phosphors hängt von den vorhandenen Phosphor-Bindungsformen und dem pH-Wert ab, wodurch sie schwierig vorherzusagen ist.

Stickstoff (N) steht in der Biomasse mengenmäßig nach Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O) und Wasserstoff (H) an vierter Stelle und wird für den Aufbau von Proteinen, Nucleinsäuren, Chlorophyll und Phytohormonen benötigt. Durch diese zentrale Rolle in der Pflanzenernährung ist die N-Verfügbarkeit ein bestimmender Faktor für das Wachstum. Sie wird nicht nur von den N-Gehalten und -Vorräten im Boden, sondern auch durch den Umsatz der organischen Substanzen bestimmt. Ein Überangebot von N kann andererseits die Aufnahme anderer Nährelemente behindern und zu einem Nährstoffungleichgewicht führen. Zudem kann sich dadurch die Anfälligkeit gegenüber Schädlingen erhöhen und die Frostresistenz abnehmen.

Kalium (K) ist für den Wasserhaushalt der Pflanze von entscheidender Bedeutung, da über die K-Gehalte die Quellungsregulation, der Turgor sowie die stomatäre Leitfähigkeit gesteuert werden. Des Weiteren wird K zum Ladungsausgleich, zur Stabilisierung des pH Wertes und zur Enzymaktivierung benötigt. K liegt in der Pflanze hauptsächlich als Ion K^+ vor, wodurch es höchst mobil ist und einer starken Auswaschung unterliegt. Eine K Mangelversorgung oder eine Ungleichgewicht zu anderen Nährstoffen kann die Anfälligkeit gegenüber Krankheitserregern erhöhen sowie die Frostresistenz herabsetzen.

Calcium (Ca) wirkt bei der Quellungsregulation als Antagonist zu K. Des Weiteren wird Ca als Enzymaktivator, beim Aufbau und der Stabilisierung des Zellgerüsts und zur Signalübertragung benötigt. Die Mobilität von Ca innerhalb der Pflanze ist gering, was mit der Zeit zu einer starken Ca-Anreicherung, jedoch ohne das Auftreten von Toxizitätssymptomen, führen kann. Allerdings unterliegt es wie K auch einer Auswaschung aus den Nadeln und Blättern im Kronenraum.

Magnesium (Mg) hat als Zentralatom des Chlorophylls eine wichtige Funktion bei der Photosynthese. Zudem trägt es zum Ladungsausgleich bei, ist Enzymaktivator und Bestandteil von Enzymen. Verglichen mit Ca ist Mg innerhalb der Pflanze besser verlagerbar, weshalb Mg-Mangelsymptome auch zuerst an älteren Blättern und Nadeln auftreten, von denen aus Mg mobilisiert und in jüngere Blätter transportiert wird.

Schwefel (S) wird von Pflanzen beim Aufbau von Proteinen für die enthaltenen schwefelhaltigen Aminosäuren wie Cystein und Methionin benötigt. S wird in Form von Sulfat aus dem Boden oder gasförmig aus der Luft als SO_2 aufgenommen. Eine Speicherung von S ist als Sulfat oder durch den Einbau in Lipide mit schwefelhaltigen funktionellen Gruppen möglich.