

Gesunde Waldböden

Grundlagen einer klimafitten Waldbewirtschaftung



Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft,
Stubenring 1, 1010 Wien

Autorinnen und Autoren (alphabetisch): Matthias Höckner, Christoph Jasser, Klaus
Kastensteiner, Ernst Leitgeb, Kerstin Michel, Franz Starlinger, Gabriele Wieser

Fotonachweis: BFW Dr. Peter Mayer (Titelbild S. 1, Abb. 4 S. 16, Abb. 5 S. 17, Abb. 7 S. 28,
Abb. 8 S. 35), Karl Schuster (Abb. 3 S. 14), LFW Land Oberösterreich Gabriele Wieser (Abb.
6, S. 18)

Wien, 2024. Stand: 17. Dezember 2024

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind
ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger
Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums für Land-
und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft und der Autorin / des Autors
ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin /
des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls
vorgreifen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an
andrea.spanischberger@bml.gv.at.

Vorwort



Mag. Norbert Totschnig, MSc

Ein gesunder Waldboden ist von unschätzbarem Wert. Er bildet die Grundlage unserer Forst- und Holzwirtschaft und erfüllt viele wichtige Funktionen. Zum Beispiel können gesunde Böden Starkregen besser aufnehmen und speichern, was besonders entscheidend ist. Denn unsere Wälder sind zunehmenden Trockenphasen ausgesetzt und dadurch auch anfälliger gegenüber Schäden.

Bodensanierung kann auf degradierten, versauerten und nährstoffarmen Standorten einen wesentlichen Beitrag leisten, um die Vitalität der Wälder zu verbessern. Viele Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer stehen derzeit vor einem Waldumbau, einer Wiederaufforstung nach einem Schadereignis oder möchten unterschiedliche klimaangepasste Baumarten einbringen. Diese Baumartenvielfalt wirkt sich nicht nur positiv auf den Standort aus, sondern minimiert auch das Risiko für Waldschäden wie z.B. durch Insektenbefall.

Bei einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung ermöglichen gesunde Waldböden einen vitalen und funktionierenden Nährstoffkreislauf, der grundsätzlich keinen zusätzlichen Düngemiteleinsatz erfordert. In der Vergangenheit haben historische Waldnutzungen und Luftschadstoffe manche Waldböden belastet und ihre Qualität beeinträchtigt. Die vorliegende Broschüre zeigt unter anderem auf, wann eine Bodensanierung sinnvoll sein kann und welche Schritte und Maßnahmen gesetzt werden können.

Norbert Totschnig
Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft,
Regionen und Wasserwirtschaft

Was ist neu in der Broschüre Vorlage 12/2024

Der Schwerpunkt der ersten Auflage lag vor allem in der Sanierung von Waldböden, die durch Streunutzung und Schneitelung und durch langjährige atmosphärische Schadstoffeinträge degradiert wurden. Auch heute sind die Spuren der historischen Waldnutzungen mancherorts noch feststellbar, der fortschreitende Klimawandel erfordert vielerorts ein Umdenken bei der Baumartenwahl. Das Einbringen von standortstauglichen Baumarten kann eine Verbesserung der Bodeneigenschaften durch Kalkung erforderlich machen, vor allem bei der Umwandlung von Nadelreinbeständen auf Laubmischwaldstandorten.

Diese neue Thematik wurde in die Bearbeitung der zweiten Auflage aufgenommen. Nährstoffansprüche von Laubholzbaumarten wurden aus den Auswertungen der derzeit laufenden Waldtypisierungen neu erarbeitet. Das Bewertungsschema von chemischen Bodeneigenschaften wurde harmonisiert und die Methoden und Normen der chemischen Bodenanalytik aktualisiert. Aus der Literatur wurden neue Schwellenwert für die Nährstoffversorgung in den Nadeln und Blättern zusammengestellt. Verweise auf vorhandene standortkundliche Grundlagen für die Planung von Düngung und Kalkung im Wald wurden ergänzt.

Inhalt

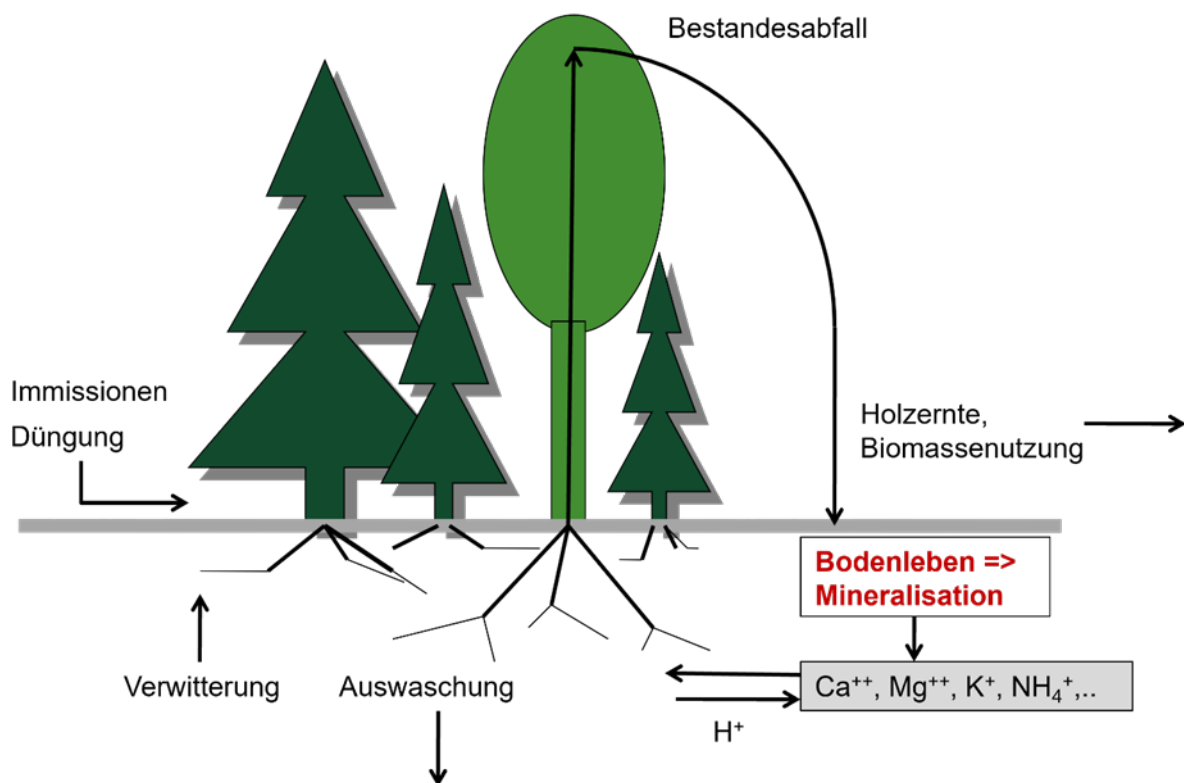
| | |
|---|-----------|
| Vorwort | 3 |
| Was ist neu in der Broschüre Vorlage 12/2024 | 4 |
| 1 Einleitung und Zielsetzungen | 7 |
| 1.1 Waldbodensanierung im Wandel der Zeit..... | 8 |
| 1.2 Zielsetzungen von Waldbodensanierung | 9 |
| 2 Nährstoffmängel und -ungleichgewichte in Wäldern | 12 |
| 2.1 Ursachen von Bodendegradationen | 12 |
| 2.1.1 Historische Waldnutzungen..... | 12 |
| 2.1.2 Atmosphärische Schadstoffeinträge..... | 13 |
| 2.2 Diagnose von Nährstoffmängeln | 14 |
| 2.2.1 Schadsymptome an Bäumen | 14 |
| 2.2.2 Vegetationskundliche Aspekte | 16 |
| 2.2.3 Bodenkundliche Diagnose | 21 |
| 2.2.4 Blatt- und Nadelanalysen..... | 25 |
| 3 Bodenmelioration und Waldbau | 28 |
| 3.1 Baumarten | 28 |
| 3.2 Durchforstung..... | 33 |
| 3.3 Altbestände und Holzernte..... | 33 |
| 3.4 Biomassenentzug..... | 34 |
| 4 Durchführung der Waldbodensanierung | 35 |
| 4.1 Ausschluss-Standorte..... | 35 |
| 4.1.1 Standorts- und bodenkundliche Gründe | 35 |
| 4.1.2 Natur- und Umweltschutz | 36 |
| 4.2 Meliorationsmaßnahmen | 37 |
| 4.2.1 Maßnahmen im Bestand | 37 |
| 4.2.2 Maßnahmen in der Kulturphase..... | 37 |
| 4.3 Mittel zur Meliorationsdüngung..... | 38 |
| 4.4 Ausbringungsmengen und -methoden..... | 38 |
| 5 Projektplanung | 40 |
| 5.1 Erstellung des Sanierungskonzeptes – Checkliste | 40 |
| 5.2 Fachliche Ansprechpartner für die Beratung | 40 |
| 6 Anhang | 41 |
| Bodenprobenahme-Protokoll..... | 41 |
| Abbildungsverzeichnis | 44 |

Literaturverzeichnis45

1 Einleitung und Zielsetzungen

Waldböden zeichnen sich durch eine spezielle Humusdynamik aus. Die Nährstoffkreisläufe sind meist geschlossen, die Produktionszeiträume in der Forstwirtschaft sind lang bei geringer Intensität der Bewirtschaftung. Nährstoffauswaschung und -nachlieferung halten sich in reifen Waldökosystemen meist die Waage, Abbildung 1 zeigt vereinfacht den Nährstoffkreislauf im Wald. Die Holzproduktion kommt daher in der Regel ohne Nährstoffzufuhr (Düngung) aus, sofern nur Holz entnommen wird und es zu keiner intensiven Nutzung von Biomasse kommt, wie dies beispielsweise bei der Vollbaumnutzung der Fall ist.

Abbildung 1: Schematischer Nährstoffkreislauf in Wäldern.



1.1 Waldbodensanierung im Wandel der Zeit

Ursprünglich lag der Schwerpunkt von Düngungs- und Kalkungsmaßnahmen in der Steigerung des Zuwachses von nadelbaumdominierten Beständen. Mit der Zunahme von atmosphärischen Schadstoffen in den 1960 und 1970er Jahren verlagerte sich das Ziel von Düngung und Kalkung auf die Stärkung der Baumvitalität sowie auf die Sanierung von Waldböden, die infolge historischer Waldnutzungen unter Nährstoffarmut und Versauerung litten. Solche verarmten und versauerten Böden boten nur einer anspruchslosen Waldvegetation, die durch Nadelbaumarten dominiert wurde, ausreichende Wachstumsbedingungen. Das Wiedereinbringen anspruchsvollerer Baumarten erfordert daher oft den Einsatz von Kalkung.

Die Freisetzung von Schwefel- und Stickoxiden, die insbesondere bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehen, führte zur verstärkten Bildung des sogenannten „sauren Regens“ und damit verbundenen Umweltproblemen wie die beschleunigte Versauerung von Gewässern und Böden und das massive Absterben von empfindlichen Baumarten („Waldsterben“). Durch Luftreinhaltemaßnahmen konnten die Schwefeldioxidemissionen und somit die Säureeinträge in die Wälder deutlich reduziert werden. Die Stickstoffemissionen und -einträge, die neben versauernd auch eutrophierend, d. h. „überernährend“, wirken, sind jedoch seit den 1980er Jahren weitgehend unverändert. Folgen der weiterhin hohen Stickstoffeinträge sind unter anderem Nährstoffungleichgewichte im Boden und eine damit verbundene Abnahme der Artenvielfalt bzw. Veränderung des Artenspektrums wie das verstärkte Auftreten stickstoffliebender Pflanzen, beispielsweise Holunder und Brennnessel. Des Weiteren werden die Freisetzung klimarelevanter Gase wie Distickstoffoxid („Lachgas“, N_2O) und Nährstoffverluste mit dem Sickerwasser begünstigt, die wiederum die Bodenversauerung beschleunigen. Mögliche Folgeschäden einer verringerten Baumvitalität sind eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber dem Befall mit Schadorganismen (Insekten und Pilze) sowie eine geringere Widerstandsfähigkeit gegenüber Stürmen und Trockenheit. Zu einer Verbesserung des Nährstoffhaushaltes, vor allem zur Beseitigung von Nährstoffungleichgewichten, können jedoch gezielte Düngungs- und Kalkungsmaßnahmen beitragen.

Die gravierenden Auswirkungen des Klimawandels stellen die Waldwirtschaft erneut vor große Herausforderungen. Trockenheit und die daraus folgende Anfälligkeit gegen Borkenkäfer führen regional zu großflächigem Absterben von meist fichtendominierten Beständen. Die Kenntnis der standörtlichen/bodenkundlichen Grundlagen vor Ort ist entscheidend für die Wahl klimafitter Baumarten. Derzeit gibt es in Österreich dazu umfangreiche Standortserhebungen und Modellierungen („dynamische Waldtypisierung“), die detaillierte Bo-

deninformationen bieten. Im Falle eines erforderlichen Baumartenwechsels, z. B. von Nadel- auf Laubbaumarten, kann Düngung oder Kalkung in manchen Fällen erforderlich werden.

→ **Web-Tipp:** Dynamische Waldkartierung Steiermark,
<https://www.agrar.steiermark.at/cms/ziel/151504582/DE/>

1.2 Zielsetzungen von Waldbodensanierung

Bei der Waldbodensanierung durch Kalkung (siehe auch Kapitel 4.2) unterscheidet man zwischen flächigen Maßnahmen für Bestände und punktuellen Maßnahmen bei der Pflanzung. Die flächige Kalkung im Bestand zielt auf die Wiederherstellung des natürlichen Zustandes degradierter Böden ab und ist daher als langfristige Melioration einzustufen. Durch anthropogene Aktivitäten geschädigte Waldökosysteme sollen stabilisiert werden und so wieder ihre standortsspezifische Leistungsfähigkeit und Vitalität erreichen. Gesunde Böden mit vitalen, standortsangepassten Beständen sind im Klimawandel eine solide Basis für die Waldbewirtschaftung. Bei der Kulturdüngung können Düngung und Kalkung eine wichtige Rolle bei der Etablierung künftiger, klimafitter Bestände spielen. Eine Verbesserung der Nährstoffausstattung und der Bodenreaktion kann beim Einbringen von anspruchsvolleren Baumarten eine wichtige Rolle spielen. Aus bodenchemischer Sicht können sich Bodenmeliorationen folgendermaßen günstig auswirken:

- Erhöhung der Basensättigung (siehe Kapitel 2.1.2) im Mineralboden
- Moderate Erhöhung des pH-Wertes, je nach Standort
- Aufbau standortsangepasster Humusformen und Erhöhung der bodenbiologischen Aktivität
- Beseitigung von Nährstoffungleichgewichten
- Verbesserungen der Keimbettbedingungen beim Einbringen von anspruchsvolleren Baumarten

Österreichs Waldstandorte sind vielfältig und durch unterschiedliche Bodeneigenschaften geprägt. Von Natur aus nährstoffarme und saure Böden sollen nicht gedüngt oder gekalkt werden.

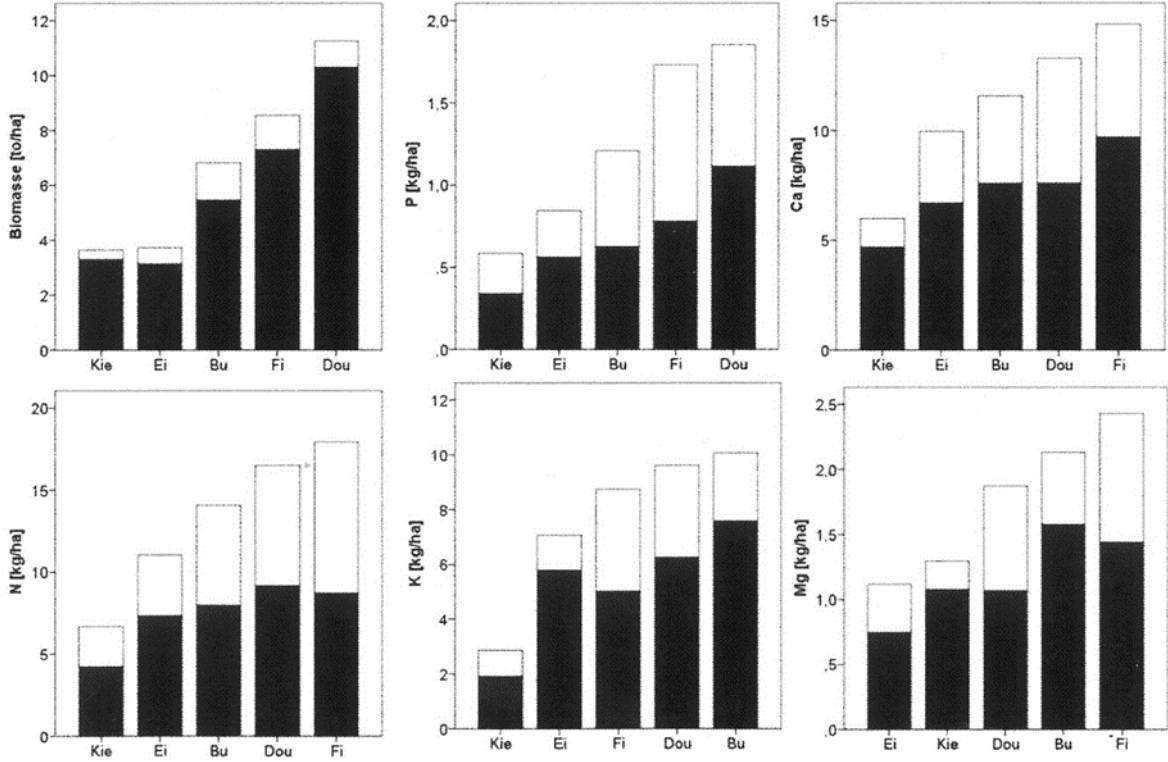
- Gesunde Waldböden benötigen bei einer nachhaltigen Bewirtschaftung keine Düngung oder Kalkung. Die standörtlichen Vorgaben bestimmen das natürliche Ertragsniveau.

Auf bestimmten Böden, wie zum Beispiel flachgründigen Böden und/oder Böden mit einer vorherrschend leichten Bodenart (Sand), können Kalkungen einen unerwünschten Effekt haben, da die durch die Mineralisierung mobil gewordenen Nährstoffe nicht im Boden gehalten werden können und ausgewaschen werden. Ein ähnlicher Effekt ist bei Kalkungen von Altbeständen, die bald geerntet werden, zu beobachten. Auch Nährstoffverluste durch Biomassenentzug können durch Düngung und Kalkung nicht kompensiert werden. Bei der Wahl der Intensität der Biomassennutzung sind die standörtlich vorgegebenen Grenzen zu beachten. Die höchsten Nährelementkonzentrationen [Kalzium (Ca), Magnesium (Mg), Kalium (K), Phosphor (P) und Stickstoff(N)] finden sich im Reisig und in den Nadeln bzw. in den Blättern (siehe Tabelle 1, Englisch und Reiter, 2009). Die Nährelementausstattung im Holz, der mit Abstand größten Biomassenfraktion, ist gering. Daher ist der Entzug von Holz unproblematisch und kann in den meisten Fällen vom Standort verkraftet werden. Darüberhinausgehender, intensiver Entzug der Biomasse (z. B. durch Ganzbaumnutzung) ist auf vielen Standorten problematisch. Pretsch et al. (2014) geben eine Übersicht über den Entzug an Biomasse für verschiedene Baumarten, differenziert nach Nutzungsarten (Abbildung 2).

Tabelle 1: Biomassen- und Nährstoffverteilung eines Fichtenbestandes der 7. Ertragsklasse (Daten nach Englisch und Reiter, 2009).

| Biomassen und Nährstoffverteilung | Biomasse t/ha | N kg/ha | P | K | Ca | Mg |
|-----------------------------------|---------------|---------|------|------|-------|------|
| Holz | 176,6 | 162,1 | 9,3 | 59,7 | 196,0 | 35,7 |
| Rinde | 16,1 | 69,1 | 5,1 | 26,0 | 256,4 | 17,8 |
| Äste | 21,3 | 59,8 | 4,1 | 19,1 | 182,0 | 13,6 |
| Zweige | 17,3 | 105,5 | 9,1 | 36,5 | 123,6 | 18,4 |
| Nadeln | 15,0 | 176,0 | 12,4 | 37,7 | 96,9 | 33,8 |

Abbildung 2: Entzug an Biomasse für verschiedene Baumarten, differenziert nach Nutzungsarten (Pretzsch et al., 2014). Derbholznutzung (dunkler Balken), Nutzung von Reisig (heller Balken) und Vollbaumnutzung (ganzer Balken).



2 Nährstoffmängel und -ungleichgewichte in Wäldern

2.1 Ursachen von Bodendegradationen

Hauptursachen für die Degradation, das heißt die dauerhafte Verschlechterung des Zustandes und der Funktionen von Waldböden, sind

- jahrhundertelange Streunutzungen und Waldweide, Nährstoffverluste durch Holzernte, insbesondere Nutzungen im Baumverfahren
- standortswidrige Reinbestände
- Versauerung und Eutrophierung infolge des Eintrags von Luftschadstoffen
- Verdichtung durch das Befahren mit schweren Holzerntemaschinen
- Bodenerosion auf Kahlflächen, speziell in Hanglagen

2.1.1 Historische Waldnutzungen

Die Streunutzung war eine weit verbreitete Form des Entzuges von Waldbiomasse. Bestandesabfall und Auflagehumus wurden als Einstreu für das Vieh verwendet und dann in der Landwirtschaft als Wirtschaftsdünger ausgebracht. Diese massiven Nährstoffverluste führten auch zu einer deutlichen Versauerung des Waldbodens. Auf Laubmischwaldstandorten kam es zur Entmischung von Baumarten und in weiterer Folge zu einem verstärkten Auftreten von anspruchslosen Baumarten, wie zum Beispiel der Weißkiefer. Schneitelung (Gewinnung von Aststreu) und die Waldweide verstärkten zusätzlich die Nährstoffverluste. Obwohl diese historischen Nutzungsformen schon längst erloschen sind, sind Nährstoffverarmung und Bodenversauerung auf diesen Standorten oft heute noch im Oberboden zu bemerken. Mitunter lassen Ortsnamen und Flurbezeichnungen alte Nutzungen erkennen, wie zum Beispiel „Kohlstätte“, „Pöchträger“ oder „Viehberg“.

Der große Holzbedarf durch Hüttenwesen, Salinen und Glasindustrie führte vielerorts zu einer Übernutzung der Wälder, Fichtenmonokulturen zur Steigerung der Holzproduktion verdrängten ökologisch wertvolle Mischbaumarten. Dies führte zu einer Verringerung des durchwurzelbaren Bodens, zur Einschränkung der bodenbiologischen Aktivität, insbesondere der Regenwürmer, zur Bildung von ungünstigen Humusformen, zu Strukturverlust des

Oberbodens und zur Reduktion des Puffervermögens durch beginnende Podsolierung. Kahlschläge, speziell auf sandigen, flachgründigen Böden, trugen durch die Unterbrechung des Nährstoffkreislaufes zusätzlich zum Austrag von Nährstoffen bei.

Der größte Bedarf einer Waldbodensanierung liegt in den bodensauren Fichten- und Kiefernwäldern, die infolge der oben beschriebenen Übernutzungen aus ursprünglich laubholzreichen Wäldern entstanden sind, besonders auf basenarmen Grundgesteinen, wie Granit, Gneis, Quarzschotter etc. Diese Kombination aus ungünstigem geologischen Ausgangsmaterial und historischen Waldnutzungen findet sich oft in der Böhmisches Masse (Mühl- und Waldviertel, Dunkelsteinerwald), in Teilen der Zentralalpen (Steirischer Alpenrand, Bucklige Welt, Unterkärnten, Grauwackenzone) und im nördlichen beziehungsweise südlichen Alpenvorland, vor allem auf quarzreichen Schottern.

2.1.2 Atmosphärische Schadstoffeinträge

Bodenversauerung, Nährstoffverluste und Eutrophierung, die zur sogenannten chemischen Bodendegradation zählen, sind eng miteinander verknüpft. Da die weiterhin zu hohen Einträge an Stickstoff von den Waldökosystemen nicht vollständig verwertet werden können, wird ein Teil des Stickstoffs mit dem Sickerwasser in Form von Nitrat ausgewaschen. Der Austrag erfolgt immer gemeinsam mit basisch wirkenden Kationen, d. h. Kalzium, Kalium und Magnesium. Nitratverluste mit dem Sickerwasser haben somit den gleichen Effekt wie der direkte Eintrag von sauer wirkenden Verbindungen aus der Atmosphäre oder Nährstoffentzüge durch Ganzbaumernte: eine Abnahme an basisch wirkenden Nährstoffkationen und ein damit verbundenes Absinken des pH-Wertes. Neben der Beeinträchtigung der Nährstoffversorgung der Bäume wird hierdurch die biologische Aktivität im Boden vermindert, wodurch in weiterer Folge die Einarbeitung und Zersetzung von Pflanzenresten abnimmt, sodass der Nährstoffmangel weiter verschärft wird.

Eine (beschleunigte) Versauerung von Böden zeigt sich außer in sinkenden pH-Werten daran, dass sich die sogenannte Basensättigung, das heißt der Anteil der basisch wirkenden Kationen an der Gesamtheit aller Kationen am Austauscherkomplex, der Kationenaustauschkapazität (KAK), verringert. Im Gegenzug nehmen sauer wirkende Kationen zu, zu denen Aluminium, aber auch Eisen und Mangan zählen. Hierdurch kann das Wurzelwachstum gehemmt bzw. Wurzeln geschädigt und damit die Nährstoffaufnahme beeinträchtigt werden.

2.2 Diagnose von Nährstoffmängeln

Degradationsbedingte, sanierungsbedürftige Nährstoffmängel lassen sich in Wäldern durch bodenmorphologische und vegetationskundliche Befunde bzw. durch Boden- und Nadel- bzw. Blattanalysen diagnostizieren.

2.2.1 Schadsymptome an Bäumen

Ausgeprägte Nährstoffmängel zeigen sich oft durch charakteristische Veränderungen an den Assimilationsorganen. Zu diesen Anzeichen zählen Verfärbungen der Blätter bzw. Nadeln, Nekrosen und veränderte Blattgrößen. Es ist aber zu beachten, dass auch andere biotische und abiotische Stressfaktoren (Frost, Trockenstress, Pilzbefall, etc.) ähnliche Symptome hervorrufen können. Nährstoffmängel sind oftmals auch durch das geologische Ausgangsmaterial bedingt. Auf Kalk und Dolomit, besonders auf Rendzinen in den nördlichen Kalkalpen, treten Nährstoffmängel bei praktisch allen Baumarten auf. Laubabwerfende Baumarten haben hier fast immer Probleme bei der Versorgung mit Kalium und Eisen, immergrüne Nadelbäume hingegen bei der Aufnahme von Phosphor, Stickstoff und Kalium (Weis et al., 2014). Hohe Kalziumkonzentrationen im Boden beeinträchtigen die Aufnahme von Kalium. Auf Böden aus sauren, kristallinen Ausgangsgesteinen wie Granit, Gneis und Quarzit, welche häufig im Mühl- und Waldviertel anzutreffen sind, ist oft mit Magnesiummangel zu rechnen.

In der Tabelle 2 sind die wichtigsten Schadsymptome an Nadeln und Blättern zusammengefasst, die durch einen Nährstoffmangel hervorgerufen werden können. Bei den Makronährstoffen betreffen die meisten Nährstoffmängel die Elemente Kalium und Magnesium. Ein Kalziummangel macht sich meist indirekt über die Bodenversauerung bemerkbar. Nährstoffmängel begünstigen den Befall von Bäumen durch Schadorganismen. So wird Magnesiummangel oft in Zusammenhang mit dem Auftreten des Sirococcus-Triebsterbens in Zusammenhang gebracht (Anglberger et al., 2003). Halmschlager und Katzensteiner (2017) konnten zeigen, dass eine Verbesserung der Nährstoffversorgung durch wasserlösliche Ca- und Mg- Dünger den Sirococcus Befall bei Fichte verminderte und dass sich die betroffenen Bäume wieder erholten.

Tabelle 2: Mangelsymptome bei einigen Makronährstoffen.

| Ursache | Symptome |
|------------------------|---|
| Magnesiummangel | Gelbe Spitzen bei älteren Nadeln, Gelbfärbung der Blätter zwischen den Blattnerven, bevorzugt an der Oberseite. |
| Kaliummangel | Vergilbungen und grünliche Verfärbungen der älteren Nadeln bzw. Blätter, die von den Nadelspitzen und Blatträndern ausgehen, und rasch zu Nadelspitzen- bzw. Blattrandnekrosen führen |
| Phosphormangel | Dunkle, rotviolette bis graugrüne Verfärbungen vor allem der älteren Nadeln und Blätter, gehemmter Wuchs. |

Die nachfolgende Abbildung zeigt typische Kaliummangelsymptome bei Fichten.

Abbildung 3: Kaliummangel mit typischen Verfärbungen, die von den Nadelspitzen ausgehen (Foto: Karl Schuster).



2.2.2 Vegetationskundliche Aspekte

2.2.2.1 Standortsanzeiger

Da die einzelnen Pflanzenarten jeweils unterschiedliche standörtliche Verhältnisse für ihr Gedeihen brauchen, ermöglicht die Analyse der Bodenvegetation eine erste Orientierung über den chemischen Bodenzustand (Nährelementversorgung, pH-Wert). Dabei muss zwischen anspruchsvollen und anspruchslosen Arten unterschieden werden. Erstere zeigen durch ihr Vorkommen, dass die hohen Anforderungen, die sie an die Nährstoffversorgung stellen, aktuell auch erfüllt werden. Anspruchslose Arten (Magerkeitszeiger) können prinzipiell auch an gut versorgten Standorten wachsen, sind aber weniger konkurrenzstark und relativ lichtbedürftig. Sie werden also an nährstoffreichen Standorten in der Regel bald durch konkurrenzstarke Mitbewerber verdrängt. An nährstoffarmen Standorten treten sie dagegen dominant auf. Ihr Vorkommen gemeinsam mit anspruchsvollen Arten ist oft ein Hinweis auf eine Verarmung und Versauerung des Hauptwurzelsraums, z. B. durch historische Streunutzung, wohingegen anspruchsvolle Arten, die am selben Standort vorkommen, eine höhere Basensättigung im Unterboden und in den Humushorizonten anzeigen. Es handelt sich bei den Magerkeitszeigern Großteils um Zwergsträucher und Gräser. Als Faustregel gilt: Je kleiner, schmaler und hartlaubiger die einzelnen Blätter sind, umso anspruchsloser ist die Pflanze und zeigt damit ungünstige Standortverhältnisse an.

Diese Beurteilung anhand von Zeigerpflanzen kann ohne viel Sach- und Zeitaufwand im Gelände erfolgen. Basenzeiger geben einen Hinweis, dass ein Standort auch für anspruchsvolle Edellaubbäume geeignet ist. Die wichtigsten Basenzeiger sind:

- Bingelkraut (*Mercurialis perennis*)
- Waldmeister (*Galium odoratum*)
- Sanikel (*Sanicula europaea*), Abbildung 4
- Goldnessel (*Galeobdolon luteum* agg.)
- Kriechender Günsel (*Ajuga reptans*)
- Wald-Erdbeere (*Fragaria vesca*)

Abbildung 4: Üppige Bodenvegetation mit Sanikel, die Nährstoff- und Basenreichtum anzeigt (Foto: Dr. Peter Mayer).



→ Arten wie die Brombeere (*Rubus fruticosus* agg.) kommen zwar in geringerer Häufigkeit auch an mäßig nährstoffarmen Standorten vor, haben aber ihr Optimum an gut versorgten Standorten und meiden extrem nährstoffarme Verhältnisse mit einer Basensättigung von weniger als 15 %. Wo die Brombeere vorkommt, besteht daher keine Notwendigkeit für eine Waldbodensanierung.

Die verbreitetsten Säure- und Magerkeitszeiger sind:

- Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*)
- Drahtschmiele (*Avenella flexuosa*), Abbildung 5
- Weißmoos (*Leucobryum* sp.)

Abbildung 5: Spärliche, von Drahtschmiele dominierte Bodenvegetation – typisch für nährstoffarme und saure Standorte. Das hier außerdem vorkommende Wald-Habichtskraut (*Hieracium murorum*) zeigt aber schon etwas bessere Verhältnisse an, die an der oberen Grenze der Kalkungswürdigkeit liegen (Foto: Dr. Peter Mayer).



Besonders nährstoffarme Verhältnisse zeigen an:

- Besenheide (*Calluna vulgaris*), Abbildung 6
- Preiselbeere (*Vaccinium vitis-idaea*)

Abbildung 6: Besenheide als Zeiger für extrem nährstoffarme Oberbodenverhältnisse – oft bedingt durch ehemalige Streunutzung (Foto: Gabriele Wieser).



Zeiger für Standortdegradation durch historische Nutzungsformen sind heute oft als Relikte in den entsprechenden Beständen zu finden. Dornige Sträucher und Zwergsträucher sind häufig Relikte ehemals praktizierter Waldweide, wie etwa Wacholder (*Juniperus communis*). Arten mit Schwerpunkt ihres Vorkommens in Weiderasen weisen ebenfalls auf Waldweide hin, wie etwa der Bürstling (*Nardus stricta*). Durch extremere Formen der Streunutzung wurden Besenheide (*Calluna vulgaris*) und Preiselbeere (*Vaccinium vitis-idaea*) gefördert.

→ Eine Übersicht über die wichtigsten Standortsanzeiger findet man bei Schaufler und Starlinger (2023).

2.2.2.2 Nicht kalkungswürdige Bestände

Nicht alle Wälder sind durch menschlichen Einfluss versauert. Es gibt auch von Natur aus saure Böden. Dort sind Kalkungen nicht zielführend und sollen daher auch nicht erfolgen. Nachfolgend werden die wichtigsten von Natur aus bodensauren Waldtypen erläutert.

Bodensaure Hochlagen-Fichtenwälder kommen in den Alpen oberhalb von 1400–1700 m vor. Da hier vor allem die klimatischen Verhältnisse und nicht die Nährstoffversorgung auf das Baumwachstum begrenzend wirken, ist eine Düngung meist nicht angebracht.

Die ursprünglichen Standorte der bodensauren Weißkiefernwälder befinden sich auf flachgründigen, skelettreichen Böden auf Rücken oder in Steilhanglage über armen oder schwer verwitterbaren Gesteinen (Granit, Gneis, Quarzit). Auf Grund der gering entwickelten Böden ist hier keine nachhaltige Düngungswirkung zu erwarten; außerdem wird hier das Baumwachstum zusätzlich durch die schlechte Wasserversorgung begrenzt. Weiter verbreitet sind dagegen durch Streunutzung und Waldweide entstandene bodensaure Weißkiefernwälder. Sie sind meist aus eichen- oder buchenreichen Wäldern hervorgegangen und stocken auf mehr oder weniger durchschnittlichen Standorten mit gut entwickelten Böden (sekundäre Kiefernwälder). Sie weisen meist deutliche Merkmale einer Standortdegradation auf und sind damit sanierungswürdig.

Kiefern- und Fichtenwälder auf Torfböden findet man in nicht zu nassen, meist randlichen Bereichen von Mooren. Die meisten Bestände findet man auf Hochmooren, einige auch auf sauren Niedermooren. Schwarzerlenbestände auf Anmooren und Niedermooren sind dagegen gut mit Nährstoffen versorgt. Eine Düngung muss auf allen diesen Standorten aus Gründen des Natur- und Umweltschutzes unterbleiben. Grundsätzlich ist bei allfälligen Düngungsmaßnahmen auf den Schutz des Grundwassers (z. B. Wasserschutzgebiete, siehe Wasserrechtsbescheid) Rücksicht zu nehmen.

Natürliche Fichten- und Fichten-Tannen-Wälder der unteren und mittleren Berglagen sind in den Zentralalpen weit verbreitet. Aber speziell in den unteren Berglagen sind ebenfalls viele Standorte auch unter heutigen Klimabedingungen für Laubbaumarten geeignet, etwa für Bergahorn, Stieleiche oder Rotbuche. In den Randalpen und außerhalb der Alpen sind Fichtenwälder durch die Bewirtschaftung aus buchenreichen Wäldern entstanden (sekundäre Fichtenwälder). In Anbetracht des Klimawandels ist in weiten Bereichen der heutigen Fichtenwälder mit einer Verschiebung der Standortseignung von der Fichte hin zu Laubbaumarten zu rechnen. Für eine Entscheidung über Düngungsmaßnahmen sind hier weiter-

gehende Untersuchungen (Zeigerpflanzen, Bodenprofil, Bodenchemie, Nadelanalysen) besonders wichtig. Insbesondere gilt das, wenn eine Entscheidung über die Einbringung von anspruchsvollen Baumarten getroffen werden soll.

2.2.3 Bodenkundliche Diagnose

Eine feldbodenkundliche Diagnose anhand eines Bodenprofils erlaubt eine erste Einschätzung des Nährstoff- und Wasserhaushaltes.

- Detaillierte Anleitung zur Forstlichen Standortskartierung siehe Englisch und Kilian (1998).

Wichtige Parameter sind dabei Humusform, Merkmale für Bodenbildungsprozesse, wie zum Beispiel Podsolierung, Bodenart, Skelettgehalt, Gründigkeit und geologisches Ausgangssubstrat. Nach diesen geländebodenkundlichen Befunden sind in manchen Fällen detaillierte Analysen notwendig. Bodenanalysen erlauben genauere Aussagen über die Nährstoffausstattung und die Bodenversauerung.

2.2.3.1 Bodenbeprobung

Die Auswahl der Probenahmestellen und Anzahl der Proben sind wichtig für die Interpretation der Analyseergebnisse. Fehler bei der Bodenbeprobung im Gelände können im Labor nicht mehr korrigiert werden. Die Probenahmestellen müssen auf einer standortkundlich möglichst einheitlichen Fläche (z. B. hinsichtlich Lage, Bodentyp, Gründigkeit, Wasserhaushalt, etc.) liegen. Bei unterschiedlichen Teilflächen ist eine getrennte Beprobung sinnvoll. Bei der Auswahl der Probenahmestellen sind offenkundige Störungen im Bestand oder Boden wie zum Beispiel Rückegassen, Fuchsbauten oder Windwurfteiler zu meiden. Von Bestandesrändern sollte mindestens eine halbe Baumlänge Abstand eingehalten werden, auch sollte die Probenahmestelle nicht unmittelbar neben einem Baum liegen, um Einflüsse durch Stammablauf und Kronentraufe auszuschließen. Ist eine spätere Wiederholungsbeprobung angedacht, empfiehlt sich eine GPS-Vermarkung der Probenahmestellen. Auf einer standortkundlich homogenen Fläche von ein bis zwei Hektar können mehrere Einzelproben zu einer Mischprobe vereinigt werden. In der Regel reichen hier fünf bis zehn Einzelproben im Mineralboden für eine Mischprobe pro Tiefenstufe aus. Der Auflagehumus wird mit einem Stechrahmen von definierter Größe (z. B. 25 x 25 cm) geworben. Es genügen drei bis fünf Stechrahmen für die Bildung einer Mischprobe. Die Bodenprobenahme im Wald kann in der Regel ganzjährig erfolgen.

Humusproben werden mit Hilfe eines Stechrahmens bis zur Oberkante des Mineralbodens entnommen. Wurzeln und Pflanzenmaterial werden dabei an den Seitenwänden des Stechrahmens mit einer Schere abgeschnitten, Äste bzw. Zweige, die einen Durchmesser von 2 cm übersteigen, verworfen.

Im Mineralboden erfolgt die Probenahme grundsätzlich nach festen Tiefenstufen, üblicherweise in 0–5 cm, 5–10 cm, 10–20 cm, 20–40 cm und 40–80 cm Bodentiefe. Das Probematerial kann aus den Wänden einer Profilgrube oder mittels eines Hohlbohrers (Durchmesser 7 cm) gewonnen werden. Die Anzahl der Tiefenstufen richtet sich jedoch nach der Fragestellung und kann entsprechend variieren. Als Minimum wird eine Tiefenstufe im Oberboden (0–5 cm) und eine in größerer Bodentiefe (beispielsweise 20–40 cm) empfohlen. Je Tiefenstufe werden bereits im Gelände die Einzelproben zu einer Mischprobe vereinigt. Pro Tiefenstufe werden mindestens 500 g Mineralboden, für den Auflagehumus 100 g in geeignete Probenbehälter, beispielsweise Plastiksäckchen, abgefüllt. Die Beprobung des Mineralbodens erfolgt mit einem kleinen Spaten aus einer Profilgrube, nachdem der Auflagehumus entfernt worden ist. Alternativ kann – außer in sandigen oder skelettreichen Böden – auch ein Hohlbohrer mit einem Durchmesser von 7 cm benutzt werden. Die Probenbehälter (Plastiksäckchen) sind eindeutig (Flächenbezeichnung, Tiefenstufe und Datum) und dauerhaft, beispielsweise mit einem wasserfesten Filzstift, zu beschriften und fest zu verschließen, um zu verhindern, dass Probenmaterial verlorengelht bzw. es zu Vermischungen kommt. Sollte eine baldige Einsendung nicht möglich sein, sind die Probenbehälter offen aufzubewahren, damit das Material nicht verschimmelt, und erst unmittelbar vor dem Transport zu verschließen. Die Proben sollten nicht in der Sonne oder im überhitzten Auto gelagert werden. Bei jeder Probenahme sollte ein Probenahmeprotokoll angefertigt werden, um wichtige Eckpunkte festzuhalten.

→ Ein Muster eines Protokolls zur Bodenbeprobung befindet sich im Anhang.

2.2.3.2 Methoden der Bodenanalytik

Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Bodenuntersuchungen zu gewährleisten, sollten diese immer nach standardisierten Verfahren (Normen) durchgeführt werden. Tabelle 3 gibt einen Überblick über mögliche Untersuchungsparameter einschließlich der aktuell in Österreich geltenden Normen.

Tabelle 3: : Ausgewählte Parameter für die Analyse von Waldbodenproben.

| Untersuchungsparameter | Beschreibung | ÖNORM |
|---|---|----------------|
| pH-Wert (Bodenacidität) | Maß für die Bodenreaktion; Messung in CaCl ₂ -Lösung | ÖNORM EN 15933 |
| Organischer Kohlenstoff (C_{org}) | In kalkfreien Böden entspricht der Gehalt an C _{org} dem Gesamtkohlenstoffgehalt. In kalkhaltigen Böden muss der Karbonatgehalt bestimmt und der C _{org} -Gehalt rechnerisch ermittelt werden. | ÖNORM L 1080 |
| Gesamtstickstoff (N_{tot}) | Der N _{tot} -Gehalt umfasst organisch gebundenen Stickstoff sowie die anorganischen Stickstoffspezies Ammonium (NH ₄ ⁺) und Nitrat (NO ₃ ⁻). | ÖNORM EN 16168 |
| Austauschbare Kationen, effektiv | Analyse der Einzelkationen K ⁺ , (Na ⁺), Ca ²⁺ , Mg ²⁺ (basisch) und Mn ²⁺ , Al ³⁺ , Fe ³⁺ , H ⁺ (sauer); Berechnung der Kationenaustauschkapazität und der Basensättigung | ÖNORM L 1086-1 |
| Nähr- und Schadelemente im Säureaufschluss | Pseudototal, d. h. näherungsweise Gesamtgehalte von Nährelementen wie Phosphor, Schwefel, Kalium und Magnesium sowie potenziell toxischen Elementen wie Cadmium, Kupfer, Chrom oder Blei | ÖNORM EN 16173 |

2.2.3.3 Bewertung der Bodenanalysen

Grundsätzlich ist zu beachten, dass die nachfolgende Bewertung eine generelle Beurteilung des Bodennährstoffhaushaltes darstellt. Für Waldböden gibt es aufgrund der natürlichen Standortvielfalt keine allgemeingültigen bodenchemischen Zielwerte, die angestrebt werden sollten. Eine Bodenmelioration muss sich daher immer am natürlichen Standortpotenzial und am Grad der anthropogenen Degradation orientieren. Dabei können chemische Bodenanalysen wertvolle Hinweise geben.

Die Bodenacidität (pH-Wert), also der Säuregehalt, ist ein wichtiger Parameter des Bodenzustandes. In der Waldbodenanalytik bezieht sich die Angabe des pH-Wertes auf einen CaCl₂-Auszug. Der natürliche Schwankungsbereich der Bodenacidität liegt in einem weiten Bereich zwischen ca. pH 3,3 (sehr stark sauer) und pH 7,9 (sehr schwach alkalisch; siehe Tabelle 4). Höhere (alkalischere) pH-Werte sind in Waldböden nicht zu finden. Bodendegra-

dationen können zusätzliche pH-Wert-Absenkungen verursachen und einen Sanierungsbedarf erfordern. Entscheidender als der pH-Wert ist die Basensättigung. Diese soll jedenfalls über 15 % liegen. Niedrige pH-Werte sind keine ausreichende Basis für eine Waldbodensanierung. Zudem sind diese im Wald meist deutlich niedriger als in der Landwirtschaft. Auch Böden mit einem pH-Wert im Bereich von 4 können noch eine ausreichende Basensättigung aufweisen.

Tabelle 4: Bewertung der Acidität von Waldböden, pH-Werte in CaCl₂ Auszug gemessen.

| Bodenacidität | pH-Wert-Bereich |
|------------------------|-----------------|
| Sehr schwach alkalisch | < 7,9–7,2 |
| Neutral | < 7,2–6,8 |
| Sehr schwach sauer | < 6,8–6,1 |
| Schwach sauer | < 6,1–5,4 |
| Mäßig sauer | < 5,4–4,7 |
| Stark sauer | < 4,7–4,0 |
| Sehr stark sauer | < 4,0–3,3 |
| Extrem sauer | < 3,3 |

Die Analytik der austauschbaren Kationen gibt einen sehr guten Einblick in die Nährstoffverfügbarkeit im Boden, da sie leicht von den Baumwurzeln aufgenommen werden können. Die Summe aller austauschbarer Kationen (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Fe³⁺, Al³⁺, Mn²⁺, H⁺) bildet die Kationenaustauschkapazität, die Einheit für diesen Parameter ist Millimol Ladungsäquivalente pro kg Boden [mmol_c kg⁻¹]. In der Waldbodenanalytik wird die Kationenaustauschkapazität auf den aktuellen pH-Wert bezogen und als effektive Kationenaustauschkapazität bezeichnet. Sie gibt Auskunft über das Speichervermögen von Kationen in Böden und hängt vom Humusgehalt, von der Bodenart und vom pH-Wert ab.

In Waldböden kann die Basensättigung (siehe Kapitel 2.1.2) Werte zwischen 100 % (wie dies vor allem in Kalkböden durch die Kalziumsättigung der Fall ist) und unter 10 % annehmen. Die effektive Kationenaustauschkapazität und die Basensättigung sind zwei Schlüsselparameter für die Beurteilung des Nährstoffhaushaltes in Waldböden (Tabellen 5 und 6).

Tabelle 5: Klassifikation der Kationenaustauschkapazität.

| Bewertung | Effektive Kationenaustauschkapazität [mmolc kg ⁻¹] |
|-------------|--|
| Sehr gering | < 30 |
| Gering | 30–60 |
| Mittel | 61–100 |
| Hoch | 101–200 |
| Sehr hoch | 201–400 |
| Extrem hoch | > 400 |

Tabelle 6: Klassifikation der Basensättigung.

| Bewertung | Basensättigung [%] |
|-------------|--------------------|
| Sehr gering | < 5 |
| Gering | 5–15 |
| Mäßig | 16–30 |
| Mittel | 31–50 |
| Hoch | 51–80 |
| Sehr hoch | > 80 |

Auf versauerten Standorten mit einer Basensättigung unter 10 % ist jedenfalls eine Bodenschutzkalkung erforderlich und bis 15 % Basensättigung sinnvoll (soweit keine Ausschlusskriterien vorliegen), insbesondere bei der Einbringung anspruchsvollerer Laubbaumarten.

2.2.4 Blatt- und Nadelanalysen

Chemische Analysen von Blatt- und Nadelproben geben Aufschluss über die Belastung mit Schadstoffen und über den Ernährungszustand der Bäume. Sie zeigen die aktuelle Ernährungssituation auf, eine etwaige Mangelversorgung lässt aber nicht zwingend auf deren Ursache schließen. Daher müssen die Ergebnisse der Blatt- und Nadelanalysen immer in Zusammenhang mit anderen Befunden interpretiert werden, wenn Düngungs- und Kalkungsmaßnahmen daraus abgeleitet werden sollen. Das Österreichische Bioindikatornetz (BIN)

des Bundesforschungszentrums für Wald (BFW) gibt österreichweit einen Überblick über Messdaten von insgesamt 14 Parametern, aus denen die Versorgung der Bäume mit den wichtigsten Makronährstoffen Stickstoff, Phosphor, Kalium, Kalzium und Magnesium seit 1983 ersichtlich ist.

→ Web-Tipp: BIN-Online, www.bioindikatornetz.at

2.2.4.1 Methodik und Bewertung der Blatt- und Nadelanalysen

Bei der Probenahme und -vorbereitung ist folgendes zu beachten (vgl. auch Anhang 3, 2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen in der Fassung von 23.08.2011). Die Probenahme bei Nadelbäumen muss im Herbst erfolgen, die Proben der Laubbäume sind im September zu gewinnen. Die Probenahme sollte drei bis fünf herrschende Bäume auf einer einheitlichen Fläche umfassen. Die Proben werden stets im obersten Kronenteil genommen (bei Nadelbäumen am 6. und 7. Quirl, bei Laubbäumen ist eine Mischprobe zu ernten). Bei Nadelbäumen ist eine Auftrennung der Probe in den jüngsten (ersten) und in den zweiten Nadeljahrgang empfehlenswert.

Im Unterschied zu den Bodenanalysen gibt es für manche Baumarten Richtwerte für die Nährstoffversorgung in den Nadeln beziehungsweise in den Blättern. Mellert und Göttlein (2012) haben Schwellenwerte für die Makronährstoffe Stickstoff, Phosphor, Kalium, Kalzium und Magnesium für die Baumarten Fichte, Weißkiefer, Buche, Stiel- und Traubeneiche, basierend auf der Literaturzusammenstellung von van den Burg (1990), neu bearbeitet und aktualisiert (Tabelle 7). Daneben geben auch Nährstoffverhältnisse, wie zum Beispiel das N/P- Verhältnis, Auskunft über einseitige Versorgung oder Ungleichgewichte in der Ernährung.

Tabelle 7: Kritische Konzentrationen der Makronährstoffe in den Nadeln und Blättern von Fichte und Buche (Mellert und Göttlein, 2012, Konzentrationen in mg g⁻¹).

| Fichte | Normalbereich | Latenter Mangel | Mangel |
|---------------|----------------------|------------------------|---------------|
| N | 17,5–14,0 | 14,0–11,8 | < 11,8 |
| P | 2,2–1,5 | 1,5–1,0 | < 1,0 |
| K | 8,2–5,2 | 5,2–3,5 | < 3,5 |
| Ca | 6,8–3,5 | 3,5–1,3 | < 1,3 |
| Mg | 1,3–0,8 | 0,8–0,5 | < 0,5 |
| Buche | Normalbereich | Latenter Mangel | Mangel |
| N | 23,2–18,7 | 18,7–18,5 | <18,5 |
| P | 1,9–1,2 | 1,2–1,1 | <1,1 |
| K | 9,7–6,1 | 6,1–3,2 | < 3,2 |
| Ca | 14,0–6,7 | < 6,7 | < 6,7 |
| Mg | 2,3–1,1 | < 1,1 | < 1,1 |

3 Bodenmelioration und Waldbau

Maßnahmen der Bodenmelioration sollten unbedingt in Zusammenhang mit dem waldbaulichen Ziel gesehen werden. Nur ein übergeordnetes Gesamtkonzept führt zu einer erfolgreichen Wald- (Boden-) Sanierung, da waldbauliche Maßnahmen maßgeblich zur nachhaltigen Zustandsverbesserung beitragen können. Dabei sind die folgenden waldbaulichen Aspekte zu beachten.

3.1 Baumarten

Die Bodeneigenschaften sind einerseits maßgeblich für das Baumwachstum, diese können andererseits aber auch von den Bäumen beeinflusst werden. So können Baumwurzeln zum Beispiel durch die Durchwurzelung von tieferen Bodenhorizonten das Nährstoffpotenzial voll ausschöpfen und in den Nährstoffkreislauf einbringen, während dieser Effekt bei Baumarten, die den Boden nur oberflächlich erschließen können, ausbleibt. Abbildung 7 zeigt einen Boden, der durch intensive Streunutzung degradiert wurde und durch Nährstoffverarmung, Versauerung, mangelnde Durchwurzelung und Entkoppelung des Nährstoffkreislaufes gekennzeichnet ist. Die inaktive Rohhumusauflage und die Tonzerstörung im Oberboden sind deutlich zu erkennen. Der fahlbleiche Horizont unter der Humusauflage zeigt die Tonzerstörung und Humusverlagerung durch starke Säurebildung an. Blanke Quarzkörner bleiben zurück, während sich in tieferen Bodenschichten Anreicherungshorizonte bilden. Tiefwurzeln Baumarten können diese Nährstoffe erschließen und wieder in den Kreislauf bringen.

Abbildung 7: Podsolierung eines Bodens, begünstigt durch intensive Streunutzung. Die eingeschränkte Durchwurzelung durch die Fichte ist klar zu erkennen. Die Feinwurzeln im tieferen Mineralboden stammen ausschließlich von der Drahtschmiele (Foto: Dr. Peter Mayer).



© 2013 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
Leitgeb - Waldböden
ISBN: 978-3-527-32713-3 07.5.4.1.1

Weiters hat die anfallenden Blatt- und Nadelstreu mit ihrer unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung wie etwa dem Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis (C/N) einen deutlichen Einfluss auf die Bodenacidität und auf die Aktivität des Bodenlebens. Vor allem standortswidrige, sekundäre Fichtenreinbestände auf Laubmischwaldstandorten können zusätzliche degradationsbedingte Versauerungsschübe auslösen. Wurzelkräftige Laubbäume und tiefwurzelnde Nadelbaumarten wie die Tanne (aber auch die Douglasie) können auf diesen Standorten den Boden durch die bessere Aufschließung des Bodens und durch die Bildung aktiver Humusformen erheblich verbessern. In diesem Zusammenhang können Pionierbaumarten wie zum Beispiel Eberesche, Birke und Zitterpappel eine große Rolle spielen. Diese anspruchslosen Baumarten verjüngen sich oft von selbst, vor allem bei der Verjüngung von Beständen auf Kalamitätsflächen, und sind daher ökologisch sehr wertvoll. Bei der Einbringung von standortstauglichen Laubhölzern auf Standorten, die von Nadelhölzern dominiert wurden, treten oft Probleme mit der Nährstoffversorgung auf, die mit Düngung und

Kalkung in der Anwuchsphase (vor allem durch Pflanzlochdüngung) behoben werden können. Besonderes Augenmerk muss in dieser Phase auf den erhöhten selektiven Verbiss dieser Baumarten und auf entsprechende Schutzmaßnahmen gelegt werden.

Abgesehen von den Eichenarten haben die meisten Laubholzbaumarten für die Wertholzproduktion höhere Ansprüche an den pH-Wert und an die Nährstoffversorgung (Basensättigung). Neben der Basensättigung ist auch die effektive Kationenaustauschkapazität (siehe Kapitel 2.2.3.3) ein wichtiger Schlüsselparameter; die effektive Kationenaustauschkapazität sollte grundsätzlich größer als 60 mmolc kg^{-1} sein, um ein qualitativ ansprechendes Wachstum der meisten Laubbäume zu gewährleisten. Tabelle 8 zeigt die Standortansprüche der wichtigsten Laubbaumarten. Dabei wird zwischen den minimalen Ansprüchen für das Vorkommen und den erhöhten Ansprüchen für die Wertholzproduktion unterschieden. Die Hainbuche und die beiden Lindenarten sind als dienende Baumarten bei der Wertholzproduktion speziell für Eiche von Bedeutung.

Tabelle 8: Baumartenansprüche und Ausschlusskriterien („KO“) für die Wertholzproduktion. Die Werte für die Basensättigung (BS) und dem pH-Wert (pH) verstehen sich als Mindestwerte für das Vorkommen und die Wertholzeignung, die Empfindlichkeit gegenüber physikalischen Stressoren ist nach dem „Ampelsystem“ bewertet, „n.a.“ bedeutet, dass keine Richtwerte angegeben werden konnten.

Referenztiefe: 0–80 cm Mineralboden.

| Baumart | BS [%] Mineralboden | | pH [CaCl ₂] Mineralboden | | KO-Kriterium | Staunässe | Trockenheit | Hoher Anteil an Grobboden |
|--------------|---------------------|----------|--------------------------------------|----------|--|-----------|-------------|---------------------------|
| | Vorkommen | Wertholz | Vorkommen | Wertholz | | | | |
| Bergahorn | 25 | 60 | 3,8 | 5,0 | Überflutung > 2 Tage | | | |
| Spitzahorn | 25 | 60 | 3,8 | 5,0 | | | | |
| Traubeneiche | 5 | 10 | 3,0 | 3,0 | Überflutung > 2 Tage | | | |
| Stieleiche | 5 | 15 | 3,0 | 3,0 | | | | |
| Roteiche | 5 | 20 | 3,0 | 3,8 | Kalk im Boden, Überflutung | | | |
| Buche | 5 | 20 | 3,0 | 3,8 | Überflutung, anstehendes Grundwasser | | | |
| Esche | 35 | 65 | 4,0 | 5,0 | | | | |
| Vogelkirsche | 20 | 55 | 3,8 | 4,2 | | | | |
| Walnuss | 25 | 50 | 3,8 | 4,2 | | | | |
| Schwarznuss | 35 | 65 | 4,0 | 5,0 | | | | |

| Baumart | BS [%] Mineralboden | | pH [CaCl ₂] Mineralboden | | KO-Kriterium | Staunässe | Trockenheit | Hoher Anteil an Grobboden |
|-------------|---------------------|----------|--------------------------------------|----------|--|-----------|-------------|---------------------------|
| | Vorkommen | Wertholz | Vorkommen | Wertholz | | | | |
| Hainbuche | 20 | n.a. | 4,0 | n.a. | | | | |
| Winterlinde | 15 | n.a. | 4,0 | n.a. | | | | |
| Sommerlinde | 15 | n.a. | 4,0 | n.a. | Überflutung, anstehendes Grundwasser | | | |

3.2 Durchforstung

Durchforstungen greifen in die Konkurrenzverhältnisse der Bäume mit dem Ziel ein, die Stabilität und Wertleistung des Bestandes zu steigern. Neben den ökonomischen Überlegungen wirken sich Durchforstungseingriffe auch auf die Ökologie eines Standortes aus (Leitgeb und Englisch, 2014). Die Veränderung des Bestandesklimas begünstigt das Bodenleben. Ein vermehrtes Licht-, Wärme- und Wasserangebot führt zu einer erhöhten Aktivität des Bodenlebens und dadurch zu einem stärkeren Abbau der organischen Substanz im Boden (Mineralisierung). Die gebundenen Nährstoffe werden somit wieder pflanzenverfügbar, die Form des Auflagehumus und die Bodenvegetation sind wichtige Indikatoren für diesen Vorgang. Durchforstete Bestände unterstützen daher die Wirkung von Düngung und Kalkung. Vorhandene, ökologisch wertvolle Mischbaumarten, insbesondere Tanne und Laubhölzer, sind im Zuge von Durchforstungsmaßnahmen wirksam freizustellen.

3.3 Altbestände und Holzernte

Großflächige Waldnutzungen und Kalamitäten durchbrechen den Nährstoffkreislauf in Wäldern, Nährelemente werden ausgetragen und gehen für die Waldernährung verloren. Dies ist besonders auf humusarmen und sandigen Böden, die nur wenige Nährstoffe speichern können, oft zu beobachten. In stark geneigten Lagen sind flachgründige Böden zusätzlich von der Erosion des Oberbodens betroffen. Wird ein Waldumbau, also eine Änderung der Baumartenzusammensetzung, eventuell kombiniert mit einer Bodensanierung angedacht, ist die rechtzeitige Entnahme von Einzelbäumen oder Baumgruppen für die Einbringung von Mischbaumarten empfehlenswert. Die Auflockerung des Bestandes sorgt wie bei der Durchforstung für ein Bestandesklima, welches die bodenbiologische Aktivität und in weiterer Folge die Nährstofffreisetzung durch Mineralisierung begünstigt. Viele Mischbaumarten brauchen eine ausreichende Lichtstellung für die Verjüngungsentwicklung. Neben der Gefährdung durch Wildverbiss und die daraus folgende Entmischung von Baumarten ist auch auf die Vergrasungsgefahr zu achten, die meist von den Standortverhältnissen abhängt. Die sich während der Auflichtung und auf Freifläche einstellende Schlagvegetation hat aber neben der Konkurrenz zur Verjüngung auch positive Aspekte. Bis zu einem gewissen Grad können Nährstoffe in ihrer Biomasse vorübergehend gespeichert werden, die sonst ausgetragen würden. Für den Unterbau besonders geeignet sind Schattbaumarten wie Buche und Tanne, je nach den standörtlichen Gegebenheiten. Vorhandene Pionierbaumarten wie Vogelbeere, Zitterpappel und Birke wirken als „Basenpumpen“ und verbessern den Humus.

Diese Baumarten sind daher unbedingt zu belassen. In speziellen Fällen ist auch die Anlage eines temporären Vorwaldes aus Pioniergehölzen zur Verbesserung der Wuchsbedingungen für den Folgebestand überlegenswert.

Die Naturverjüngung weist gegenüber der künstlichen Verjüngung folgende Vorteile auf:

- Im Regelfall kostengünstiger, hohe Stückzahlen möglich
- Keine Wurzeldeformation durch Pflanzung
- Regional angepasste Herkünfte (abhängig vom Altbestand)
- Geringerer Pflegebedarf in der Kulturphase.

Sind die gewünschten Baumarten des Folgebestandes nicht vorhanden, müssen diese durch Pflanzung eingebracht werden. Dabei besteht die Möglichkeit einer Pflanzlochdüngung mit Durchmischung des Oberbodens. Idealerweise ist dabei eine Handvoll kohlesaurer Magnesiakalk mit dem Boden aus dem Pflanzloch zu vermischen. Oft bietet sich auch eine Kombination aus beiden Verjüngungsmethoden an. Winkelpflanzungen sind für Meliorationsmaßnahmen nicht geeignet.

- Web-Tipp: Informationen zur Wahl der richtigen Herkunft, www.herkunftsberatung.at

3.4 Biomassenentzug

Wie bereits in Kapitel 1 ausgeführt ist die Biomasse ein äußerst wichtiges Nährstoff Reservoir. Sämtliche Biomassefraktionen ausgenommen Holz sollten bei Bestandes Eingriffen (Durchforstung, Endnutzung) immer im Wald zurückbleiben. Nur wenn es der Standort erlaubt, sind intensive Biomasseentzüge bei der Endnutzung wie etwa die Vollbaumnutzung ökologisch vertretbar (Englisch und Reiter, 2009). Dies ist aber selten der Fall. Da bei einer Bodenmelioration die Beseitigung von Nährstoffmängeln stets im Vordergrund steht, ist ein intensiver Entzug der Biomasse bei der Holzernte ein Ausschließungsgrund. Auch können Düngung und Kalkung nicht zur Kompensation von Nährstoffverlusten durch Biomasseentzug dienen, die standörtlichen Beschränkungen können dadurch nicht aufgehoben werden.

4 Durchführung der Waldbodensanierung

In degradierten Wäldern ist manchmal eine Waldbodensanierung erforderlich, um die Vitalität und Leistungsfähigkeit der Bäume wiederherzustellen. Auch bei Änderungen in der Baumartenzusammensetzung kann Nährstoffzufuhr beziehungsweise Kalkung das Ankommen der neu eingebrachten Baumarten erleichtern. Die Zufuhr von Nährstoffen bedarf aber in jedem Fall einer eingehenden Analyse der aktuellen Nährstoffsituation, um ungewünschte oder gegenteilige Effekte zu vermeiden. Dazu zählen Geländebefunde, wie etwa eine grobe Erkundung der standörtlichen Verhältnisse und eine Bewertung des Bestandes. Bodenchemische Analysen erlauben einen weiteren Einblick in die Ernährungssituation, in Spezialfällen liefern Nadel- und Blattanalysen zusätzliche Details. Sanierungskonzepte müssen auch die Waldbehandlung miteinbeziehen und die standörtlichen Vorgaben berücksichtigen. Schablonenhafte Düngung und Kalkung sind nicht zu befürworten.

4.1 Ausschluss-Standorte

Standorte, die nicht gedüngt und/oder gekalkt werden dürfen, sind entweder aufgrund der bodenkundlichen Natur auszuschließen oder scheiden aus Gründen des Natur- und Umweltschutzes aus. Primäre, von Natur aus nährstoffarme und saure Böden sind grundsätzlich nicht sanierungsbedürftig (siehe Kapitel 2.2.2.2), auch wüchsige Bestände auf gut nährstoffversorgten Böden, die keine Degradationserscheinungen aufweisen, sind nicht düngewürdig.

4.1.1 Standorts- und bodenkundliche Gründe

Chemische Bodenmeliorationen greifen durch Nährstoffzufuhr und Erhöhung des pH-Wertes in den natürlichen Nährstoffkreislauf unserer Wälder ein. Dadurch wird unter anderem auch die Aktivität des Bodenlebens und in weiterer Folge die Mineralisierung angekurbelt. Dieser an sich günstige Effekt birgt aber auch die Gefahr, dass zu viele Nährstoffe mobilisiert werden und, bei geringem Speichervermögen im Boden, auch verloren gehen können (Abbildung 8). Herrschen folgende Boden- und Standortseigenschaften vor, ist von Düngung und Kalkung Abstand zu nehmen:

Flachgründige und/oder Böden mit überwiegend sandiger Bodenart, wie zum Beispiel Sande und lehmarne Schotterdecken. Dazu zählen vor allem die Bodentypen Ranker (auf Silikat) und Rendzina (aus Kalk)

- Kalkstandorte, ausgenommen oberflächlich entkalkte Braunlehme
- Vernässte Böden, wie zum Beispiel Stagnogleye und Nassogleye
- Böden mit ungünstigem Wärmehaushalt, insbesondere zu kalte Standorte und stark vernässte Böden
- Böden in stark geneigtem Gelände und Steillage, auf Kuppen und Rücken; extreme Sonnhänge

Abbildung 8: Flachgründiger, sandiger Boden (Ranker) in stark geneigtem Gelände mit geringem Nährstoffspeicher – ungeeignet für Kalkung (Foto: Dr. Peter Mayer).



© 2013 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
Leitgeb - Waldböden
ISBN: 978-3-527-32713-3 05.3.4.1.1

4.1.2 Natur- und Umweltschutz

Aus Gründen des Natur- und Umweltschutzes müssen folgende Standorte von Düngung und Kalkung ausgeschlossen werden:

- Ökologisch sensible und schützenswerte Biotope, wie zum Beispiel Moore, nährstoffarme Primärstandorte, Felsfluren und andere Sonderbiotope
- Naturschutzgebiete (Naturdenkmäler). In Ausnahmefällen ist Rücksprache mit der Naturschutzbehörde zu halten
- Wasserschutzgebiete (Zone 1; die Abklärung ist durch wasserrechtliche Bescheide möglich) und Gebiete in unmittelbarer Nähe von Flüssen, Bächen und Mooren (25 m Abstand)
- Naturwälder im optimumsnahen Zustand

4.2 Meliorationsmaßnahmen

Die Kalkung kann entweder im Bestand („Bestandesdüngung“) oder in der Kulturphase („Kulturdüngung“) erfolgen. Dabei werden unterschiedliche Zielsetzungen verfolgt.

4.2.1 Maßnahmen im Bestand

Im Bestand steht die Erhöhung der Baumvitalität im Vordergrund, die Steigerung des Zuwachses kann dabei ein möglicher positiver Nebenaspekt sein. Ein kalkungswürdiger Bestand sollte folgende Kriterien erfüllen: Die Stammzahl sollte dem Bestandesalter entsprechen, im Stangenholz sollten zu dichte Bestände zuerst durchforstet werden. Eine Kalkung kurz vor der Endnutzung des Bestandes (ca. 5 Jahre vor der Nutzung) ist nicht optimal, da dabei die Gefahr besteht, dass mobilisierte Nährstoffe in der Verjüngungsphase verloren gehen. Die sich einstellende Schlagvegetation kann einen vorübergehenden Nährstoffverlust zwar verringern aber nicht verhindern, kleinflächige Nutzungen sind immer vorteilhaft. Weiters ist zu berücksichtigen, dass der Bestand auch noch genügend Zeit für eine entsprechende positive Wachstumsreaktion haben muss.

4.2.2 Maßnahmen in der Kulturphase

Ziel ist die Vitalität und das Wachstum des heranwachsenden Bestandes („der Kultur“) günstig zu beeinflussen oder der Forstpflanze gleich bei der Pflanzung günstige Anwuchsbedingungen zu verschaffen. Letzteres ist meistens dann erforderlich, wenn neue, anspruchsvollere Baumarten in ehemalige (Nadel-)Reinbestände eingebracht werden. Im Zuge der Pflanzung wird Düngemittel mit Bodenmaterial im Pflanzloch vermischt. Die Durchmischung verbessert in der Regel auch durch leichtere Einsickerung von Niederschlagswasser die Wasserversorgung der jungen Pflanzen. Bei bindigen Böden ist eine zu starke Verdichtung im

Bereich des Pflanzloches zu vermeiden. Eine Düngung nach der Aufforstung („obenauf“) sollte erst nach ein bis zwei Jahren erfolgen, um der frisch gesetzten Pflanzen Zeit für die Einwurzelung zu geben.

4.3 Mittel zur Meliorationsdüngung

Die Kalkung wirkt sich durch die Erhöhung der Basensättigung positiv auf die Aktivität und auf die Zusammensetzung des Bodenlebens aus und führt in der Regel zur Ausbildung von Humusformen, die eine beschleunigte Mineralisierung der organischen Substanz anzeigen. Der Effekt einer Kalkung auf die Dynamik des Nährstoffkreislaufes kann lange anhalten. Die Kalkung ist ein probates Mittel, um den Basenhaushalt von Böden zu stabilisieren und anthropogen bedingten Versauerungen zu begegnen. Grundsätzlich bringt eine ausgewogene Nährstoffzufuhr, also die Ergänzung aller mangelnden Nährstoffe, den besten Effekt. Bei den meisten Sanierungsfällen ist eine verminderte Basensättigung in Verbindung mit Magnesiummangel gegeben. Daher wird eine Düngung mit magnesiumreichen Gesteinsmehlen (z. B. kohlenaurer Magnesiumkalk) empfohlen, wo aus Erfahrung die beste langfristige Wirksamkeit gegeben ist. Diese Mittel wirken langsam, so dass das bodenchemische Milieu durch allmähliche, moderate Erhöhung des pH-Werte schonend beeinflusst wird. Durch eine feine Vermahlung wird die Wirkung erhöht. Vermahlungsgrad und Anteile des Kalk- und Magnesiumgehaltes sind für kohlenaurer Magnesiumkalk in der österreichischen Düngemittelverordnung 2004 (BGBl. II Nr. 100/2004) geregelt.

Der Einsatz von Mehrnährstoffdünger, wie N-P-K Düngemittel, ist heute nicht mehr zweckmäßig, da Stickstoff ohnedies atmosphärisch eingetragen wird und viele Wälder von Stickstoffeutrophierung betroffen sind (siehe Kapitel 2.1.2). In Spezialfällen kann eine Kaliumdüngung erforderlich sein, manchmal kann auch eine Unterstützung der mineralischen Düngung durch Gründüngung zielführend sein.

4.4 Ausbringungsmengen und -methoden

Für die Düngung mit magnesiumreichen Kalken und Gesteinsmehlen werden die in Tabelle 9 aufgelisteten Mengen empfohlen.

Tabelle 9: Empfohlene Ausbringungsmengen für magnesiumreiche, karbonatische Gesteinsmehle bei einmaliger Ausbringung.

| Kulturdüngung | |
|---------------------------|-------------------------------|
| Obenauf | ca. 40–80 g pro Pflanze |
| Pflanzlochdüngung | ca. 50 g pro Pflanze |
| Bestandesdüngung/-kalkung | 2500–3500 kg ha ⁻¹ |

Die Obergrenze für die Bestandesdüngung/-kalkung mit magnesiumreichen, karbonatischen Gesteinsmehlen von 3500 kg ha⁻¹ für eine einmalige Gabe darf nicht überschritten werden, um allzu große Störungen des Bodenlebens zu verhindern. Bei der Bemessung der Ausbringungsmenge geben die Basensättigung und der pH-Wert wichtige Hinweise. Nur bei sehr stark sauren Böden mit geringer Basensättigung sollte die Obergrenze der Ausbringungsmenge in Betracht gezogen werden. Der pH-Wert sollte idealerweise maximal um eine halbe Einheit langsam erhöht werden. Eine zu rasche und intensive Anhebung des pH-Wertes kann die Ausbreitung von Wurzelfäule (vor allem bei Fichten) begünstigen.

Für die Kulturdüngung kommt nur die manuelle Ausbringung in Frage, bei der Bestandesdüngung/-kalkung gibt es zusätzlich noch folgende Methoden:

- Verblasegeräte: Diese eignen sich nur für staubförmigen Düngemittel, eine geeignete Bestandeserschließung (Rückegassen) ist Voraussetzung. Die Rückegassen müssen drei Meter breit sein und deren Abstand zueinander darf maximal 100 Meter betragen.
- Kreiselstreuer: Auf Kleinflächen im ebenen Gelände können granulierten Dünger mit dem Traktor und Kreiselstreuer ausgebracht werden. Dabei sollte die Befahrung nur auf Rückgassen erfolgen, ein flächiges Befahren des Bestandes ist zu vermeiden.
- Hubschrauber: Diese Ausbringungsmethode für granulierten Dünger kann bei schlechter Erschließung und bei großen Flächen angewendet werden.

5 Projektplanung

5.1 Erstellung des Sanierungskonzeptes – Checkliste

- Feststellung des Meliorationsbedarfs
 - Ziel der Bodensanierung
 - Waldbauliche Zielsetzung
 - Ausschluss-Standorte
 - Risikoabschätzung von Meliorationsmaßnahmen
- Planung der Waldbodensanierung
 - Sichtung allfällig vorhandener Daten
 - Befunderhebung
 - Standortserkundung
 - Bodenanalysen
 - Blatt- und Nadelanalysen
 - Ermittlung der Ausbringungsmengen und -methoden

5.2 Fachliche Ansprechpartner für die Beratung

Bei der Umsetzung ist jedenfalls die Beratung der Waldbesitzer durch BBK und Bezirksförster notwendig, um die Kalkungswürdigkeit und Ausschlusskriterien zu erheben.

- Landesforstdirektionen und Bezirksforstinspektionen
- Kammer für Land- und Forstwirtschaft auf Landes- und Bezirksebene

Bei standortkundlichen Fragen und bei Fragen zur Boden- und Nadel/Blattanalysen:

- Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Institut für Waldökologie und Boden,
- Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien,
<https://www.bfw.gv.at/fachinstitute/waldoekologie-boden/>

6 Anhang

Bodenprobenahme-Protokoll

Wald(Boden)Sanierung Begleitformular

Bodenprobe Nadel-/Blattprobe (Zutreffendes ankreuzen)

| | | | | | | | | | |
|--|------|---|------------|---|----------------------------|--------------------------------|----|---|----|
| Bodenprobenahme-Protokoll | | | | | | | | | |
| Auftraggeber | | | | | | | | | |
| Name | | | | | | | | | |
| Adresse | | | | | | | | | |
| Telefon | | | Fax | | | Email | | | |
| Rechnungsempfänger (wenn nicht ident mit Auftraggeber) | | | | | | | | | |
| Name | | | | | | | | | |
| Adresse | | | | | | | | | |
| Telefon | | | Fax | | | Email | | | |
| Probenahmedatum: | | | | | Ort der Probenahme: | | | | |
| Beschreibung der Fläche (u. U. Skizze auf Beiblatt): | | | | | | | | | |
| Geländeform: Kuppe, Ober-, Mittel-, Unterhang, Mulde, Grabeneinhang, Ebene, Talboden | | | | | | | | | |
| Hangneigung | | | in % | | | Seehöhe in m | | | |
| Exposition: | eben | N | NO | O | SO | S | SW | W | NW |
| Grundgestein: Gneis / Granit / Schiefer / Schotter / Flysch / Kalk / Feinsedimente | | | | | | | | | |
| Bodentyp: Braunerde / pods. Braunerde / Podsol / vergleyte Braunerde / Gley /Anmoor / Braunlehm / Rendsina / Ranker / | | | | | | | | | |
| Auflagehumus in cm Rohhumus/moderartiger Rohh./Moder/mullartiger Moder/ Mull | | | | | | | | | |
| Grobanteil | | | in % | | | Gründigkeit in cm | | | |
| Wasserhaushaltsstufen: trocken, mäßig trocken, mäßig frisch, frisch, sehr frisch, feucht, nass | | | | | | | | | |
| Vegetationstyp: Sauerklee-Schattenblümchen / Seegras / Astmoos-Heidelbeer-Drahtschmiele / Heidelbeer-Trockentyp / Torfmoos-Heidelbeer-Drahtschmiele / | | | | | | | | | |
| Natürliche Waldgesellschaft: | | | | | | | | | |

Bodenprobenahme-Protokoll

Bestockung:

Baumartenanteile:

Bestandsalter..... Bestockungsgrad:

Bestandsschäden:

Anzahl der Proben:

Liste der Bodenproben (u. U. Beiblatt – Probennummer, Parzellenummer, Entnahmetiefe, Anmerkung ...)

Liste der Nadel-/Blattproben (u. U. Beiblatt – Probennummer, Baumart, Nadeljahrgang, Verfärbung, Anmerkung ...)

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Biomassen- und Nährstoffverteilung eines Fichtenbestandes der 7. Ertragsklasse (Daten nach Englisch und Reiter, 2009). | 10 |
| Tabelle 2: Mangelsymptome bei einigen Makronährstoffen. | 15 |
| Tabelle 3: : Ausgewählte Parameter für die Analyse von Waldbodenproben..... | 23 |
| Tabelle 4: Bewertung der Acidität von Waldböden, pH-Werte in CaCl ₂ Auszug gemessen..... | 24 |
| Tabelle 5: Klassifikation der Kationenaustauschkapazität. | 25 |
| Tabelle 6: Klassifikation der Basensättigung..... | 25 |
| Tabelle 7: Kritische Konzentrationen der Makronährstoffe in den Nadeln und Blättern von Fichte und Buche (Mellert und Göttlein, 2012, Konzentrationen in mg g ⁻¹). | 27 |
| Tabelle 8: Baumartenansprüche und Ausschlusskriterien („KO“) für die Wertholzproduktion. Die Werte für die Basensättigung (BS) und dem pH-Wert (pH) verstehen sich als Mindestwerte für das Vorkommen und die Wertholzeignung, die Empfindlichkeit gegenüber physikalischen Stressoren ist nach dem „Ampelsystem“ bewertet, „n.a.“ bedeutet, dass keine Richtwerte angegeben werden konnten. Referenztiefe: 0–80 cm Mineralboden. | 31 |
| Tabelle 9: Empfohlene Ausbringungsmengen für magnesiumreiche, karbonatische Gesteinsmehle bei einmaliger Ausbringung. | 39 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Schematischer Nährstoffkreislauf in Wäldern..... | 7 |
| Abbildung 2: Entzug an Biomasse für verschiedene Baumarten, differenziert nach Nutzungsarten (Pretzsch et al., 2014). Derbholznutzung (dunkler Balken), Nutzung von Reisig (heller Balken) und Vollbaumnutzung (ganzer Balken). | 11 |
| Abbildung 3: Kaliummangel mit typischen Verfärbungen, die von den Nadelspitzen ausgehen (Foto: Karl Schuster). | 15 |
| Abbildung 4: Üppige Bodenvegetation mit Sanikel, die Nährstoff- und Basenreichtum anzeigt (Foto: Dr. Peter Mayer)..... | 17 |
| Abbildung 5: Spärliche, von Drahtschmiele dominierte Bodenvegetation – typisch für nährstoffarme und saure Standorte. Das hier außerdem vorkommende Wald-Habichtskraut (<i>Hieracium murorum</i>) zeigt aber schon etwas bessere Verhältnisse an, die an der oberen Grenze der Kalkungswürdigkeit liegen (Foto: Dr. Peter Mayer). | 18 |
| Abbildung 6: Besenheide als Zeiger für extrem nährstoffarme Oberbodenverhältnisse – oft bedingt durch ehemalige Streunutzung (Foto: Gabriele Wieser). | 19 |
| Abbildung 7: Podsolierung eines Bodens, begünstigt durch intensive Streunutzung. Die eingeschränkte Durchwurzelung durch die Fichte ist klar zu erkennen. Die Feinwurzeln im tieferen Mineralboden stammen ausschließlich von der Drahtschmiele (Foto: Dr. Peter Mayer). | 29 |
| Abbildung 8: Flachgründiger, sandiger Boden (Ranker) in stark geneigtem Gelände mit geringem Nährstoffspeicher – ungeeignet für Kalkung (Foto: Dr. Peter Mayer). | 36 |

Literaturverzeichnis

Anglberger, H., Sieghardt, M, Katzensteiner, K. und Halmschlager, E. (2003). Needle nutrient status of Sirococcus shoot blight-diseased and healthy Norway spruces. For. Path. 33 (2003) 21–29. Blackwell Verlag, Berlin. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1439-0329.2003.00305.x>

Englisch, M. und Kilian, W. (1998). Anleitung zur Forstlichen Standortskartierung in Österreich. FBVA-Berichte 104. Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien.

Englisch, M. und Reiter, R. (2009). Standortliche Nährstoff- Nachhaltigkeit der Biomassenutzung. BFW-Praxisinformation 19: 13-15.

Halmschlager, E. und Katzensteiner, K. (2017). Vitality fertilization balanced tree nutrition and mitigated severity of Sirococcus shoot blight on mature Norway spruce. For. Ecol. Man., vol. 389, 96-104. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1439-0329.2003.00305.x><https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.12.019>

Leitgeb, E. (2013). Waldböden – Ein Bildband der wichtigsten Bodentypen aus Österreich, Deutschlands und der Schweiz. Wiley-VCH. 387 Seiten.

Leitgeb, E. und Englisch, M. (2014): Auswirkungen von Durchforstungseingriffen auf Boden und Bestand. BFW-Praxisinformation 35: 20-23.

Mellert, K.H. und Göttlein, A. (2012). Comparison of new foliar nutrient thresholds derived from van den Burg's literature compilation with established central European references. Eur. J. Forest Res. Volume 131, 1461-1472.

Schaufler, J. und Starlinger, F. (2023). Pflanzen wissen alles über den Standort. Teil 1 und 2, Waldverband aktuell, Ausgabe Steiermark (2), Ausgabe Tirol und Vorarlberg (3), 10-12.

Van den Burg, J. (1990). Foliar analysis for determination of tree nutrient status—A compilation of literature data; 2. Literature 1985-1989. „de Dorschkamp“ Institute for Forestry and Urban Ecology, Wageningen, Niederlande.

Weis, W., Blumethal, B. und Göttlein, A. (2014): Wälder der nördlichen Kalkalpen: Ernährung, Wasser- und Stoffhaushalt. LWF aktuell 99, 38-41.

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft

Stubenring 1, 1010 Wien

bml.gv.at