

Wald(boden)sanierung

Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz

Geschäftsstelle:

Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft

Institut für Bodenwirtschaft

IMPRESSUM

AUTORENTEAM

Univ.-Doz. Dr. DANNEBERG Otto, Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Wien
Dipl.-Ing. JASSER Christoph, Oberösterreichische Landesregierung, Linz
a.o. Univ.-Prof. Dr. KATZENSTEINER Klaus, Universität für Bodenkultur, Wien
Dipl.-Ing. LUCKEL Wilfried, Salzburger Landesregierung, Salzburg
Dr. MUTSCH Franz, Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien
Dipl.-Ing. REH Michael, LWK für Oberösterreich, Linz
Dipl.-Ing. SCHUSTER Karl, Niederösterreichische LLWK, St. Pölten
Dipl.-Ing. STARLINGER Franz, Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien

Layout

Johanna KOHL

Umschlagentwurf

Christoph JASSER, Johanna KOHL

Bildnachweis

Klaus KATZENSTEINER (Abb.4), Werner PROKSCH (Abb. 3,8), Franz STARLINGER (Abb.1)

Herausgeber

Arbeitsgemeinschaft für Waldveredelung und Flurholzanbau im Auftrag
des Fachbeirates für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz beim
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Herstellung und Druck

Forstliche Bundesversuchsanstalt, Waldforschungszentrum, Seckendorff-Gudent Weg 8, 1131 Wien

Wien, im Oktober 2001



Wald(boden)sanierung

Die vorliegenden Empfehlungen entsprechen den Beschlüssen des Fachbeirates für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz. Der Fachbeirat ist bestrebt, den jeweils neuesten Stand des Wissens zu berücksichtigen; daher werden diese Empfehlungen periodisch aktualisiert.

**BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT,
UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT**

Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz
Geschäftsstelle:
**Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft
Institut für Bodenwirtschaft**



Die vorliegenden Empfehlungen wurden von der Arbeitsgruppe Forst des Fachbeirates für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft ausgearbeitet.

VORSITZENDER DES FACHBEIRATES FÜR BODENFRUCHTBARKEIT UND BODENSCHUTZ:

ETZ Herbert Bundesministerium für LFUW, Wien

MITGLIEDER DER ARBEITSGRUPPE FORST:

Leiter der Arbeitsgruppe:

MUTSCH Franz Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien

Weitere Mitglieder:

FLASCHBERGER Johann	Österreichische Bundesforste AG
HÖBARTH Martin	Präsidentenkonferenz der LWK'n Österreichs, Wien
HOFMAIR Wolfgang	Agrolinz Melamin, Linz
JASSER Christoph	Oberösterreichische Landesregierung, Linz
KATZENSTEINER Klaus	Universität für Bodenkultur, Wien
LEITGEB Ernst	Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien
LUCKEL Wilfried	Salzburger Landesregierung, Salzburg
MAJER Christoph	Bundesministerium für LFUW, Wien
REH Michael	LWK für Oberösterreich, Linz
SCHIMA Johannes	Präsidentenkonferenz der LWK'n Österreichs, Wien
SCHUSTER Karl	Niederösterreichische LLWK, St. Pölten
STEMBERGER Thomas	Präsidentenkonferenz der LWK'n Österreichs, Wien
TSCHIDA Ernst	Burgenländische LWK, Eisenstadt
UNTEREGGER Edgar	LK für Land- und Forstwirtschaft in Steiermark, Graz
WEISS Peter	Umweltbundesamt, Wien

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Ziel.	7
2 Ausgangssituation und Problembeschreibung	8
2.1 Historische Waldnutzung	8
2.2 Neuzeitliche Luftverschmutzung	9
2.3 Folgeschäden	9
2.4 Schwerpunkte des Auftretens - Regionale Eingrenzung	9
3 Diagnose neuartiger Waldschäden	11
3.1 Schäden am Bestand	11
3.2 Schadsymptome des Bodens	14
3.3 Bodenprobenahme	15
3.4 Vegetation	18
4 Problemlösung	20
4.1 Waldbau.	20
4.2 Düngung	23
5 Projektplanung und Beratung	25
6 Förderung	25
Zusatzinformationen	26

Das im Anhang abgebildete Begleitformular für Proben ist bei Forstbehörden und Kammern erhältlich sowie aus dem Internet (<http://fbva.forvie.ac.at>) herunterladbar.



Vorwort

Beinahe 50 % der Fläche Österreichs sind von Wald bedeckt und somit ein landschaftsprägendes Element. Die Aufgaben des Waldes sind vielfältig: Durch die nachhaltige Nutzung des Rohstoffes Holz ist er ein wichtiger Wirtschaftsfaktor, gleichzeitig schützt er vor Naturgefahren, filtert die Luft und das Trinkwasser und dient als Erholungsraum.

Voraussetzung für gesunde und wirtschaftlich tragfähige Wälder sind gesunde Böden, denn bei keiner anderen Kulturgattung sind die ökologischen Wechselwirkungen so vernetzt wie in Waldökosystemen. Schutz und Sicherung von Boden und Wald sind daher vorrangige Anliegen zukunftsweisender Forst- und Umweltpolitik.

Waldbauliche Maßnahmen, wie das Einbringen von standortgerechten Baumarten helfen in vielen Fällen mit, den Boden als Nährstoffquelle zu sichern, die Humusform zu verbessern und das Bodenleben zu aktivieren. Manchmal sind zusätzlich die Zufuhr von Düngern und Bodenhilfsstoffen notwendig, um nachhaltigen Erfolg zu gewährleisten und den Nährstoffkreislauf in Gang zu halten. Die vorliegende Broschüre dient als Leitfaden.

Dem Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz und allen, die am Zustandekommen dieser Broschüre mitgewirkt haben, danke ich herzlich.

Mag. Wilhelm Molterer

Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft,
Umwelt und Wasserwirtschaft

Wald(boden)sanierung

1 Ziel

Ziel der Wald(boden)sanierung ist es, den Zustand degradierter Böden und geschädigter Bestände soweit wieder herzustellen, dass eine ökologisch nachhaltige Nutzung ohne Düngung möglich wird.

Gesunde, standortgerecht bestockte Wälder erfüllen die Waldfunktionen am besten und leisten so auch Beiträge zur Stabilisierung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentration und zur Klimaregulation. Durch eine nachhaltige Nutzung und die Substitution fossiler Rohstoffe durch Holz ist eine Bindung von CO₂ auch längerfristig möglich.

Dieses Ziel soll erreicht werden durch:

► Waldbauliche Maßnahmen

In der Waldwirtschaft sind Baumartenwahl und Bewirtschaftungsform wesentliche Steuerungsinstrumente: Beispielsweise kann das Einbringen ökologisch wertvoller Baumarten (insbesondere von standortgerechten Laub- und Pionierholzarten sowie von Tiefwurzlern) den Wurzelraum vergrößern, die Humusform verbessern sowie zu einer Erhöhung der Biodiversität beitragen. Durch diese Maßnahmen kann die Bestandesstabilität erhöht und das Produktionsrisiko vermindert werden.

► Düngung

Vor allem in Form magnesiumbetonter Kalkung soll den negativen biologischen und chemischen Folgen von Bodenversauerung und Nährstoffverarmung (teilweise auch von Stickstoffübersättigung) entgegengewirkt werden.

Bei der Sanierung degradierter Waldökosysteme ist darauf abzielen, die ökologischen Rahmenbedingungen so zu gestalten, dass eine Selbstregulierung des Ökosystems stattfinden kann. So ist beim Einbringen von Laubhölzern auf die Schaffung eines Bodenzustandes zu achten, der entsprechendes Baumwachstum zulässt. Waldbauliche Maßnahmen alleine können bei starken Degradationen kaum oder nur sehr langfristig den gewünschten Erfolg herbeiführen. In solchen Fällen ist die Kombination aus waldbaulichen Maßnahmen und standortsangepasstem Düngereinsatz erforderlich. Düngung dient nicht nur der

Zufuhr von Nährelementen sondern auch dem Ankurbeln des Nährstoffkreislaufes und führt so zu einer allmählichen pH-Erhöhung des Waldbodens.

Langfristig können beide Maßnahmen die Filtereigenschaften des Waldbodens verbessern und sich damit positiv auf die Qualität des Grundwassers auswirken.

2

Ausgangssituation und Problembeschreibung

2.1

Historische Waldnutzung

Die vielfältige Nutzungsgeschichte unserer Wälder und ihre Bewirtschaftung haben zu starken Veränderungen des Bodens geführt.

Eine weit verbreitete historische Nutzungsform war die Streunutzung. Bei dieser wurden Bestandesabfall und Auflagehumus zunächst als Einstreu für das Vieh verwendet und letztlich in der Landwirtschaft als Wirtschaftsdünger ausgebracht. Dieser massive Nährstoffentzug aus dem Wald führte zu Bodenversauerung und der Verdrängung laubbaumreicher Mischwälder durch Nadelwälder, vor allem durch besonders anspruchslose Föhrenwälder. Waldweide und Schneitelung bewirkten zusätzliche Nährelementverluste.

Auch wenn Streunutzung und Schneitelung etwa Mitte des vorigen Jahrhunderts beendet wurden, so wirken deren Folgen bis heute nach. Mitunter lassen Ortsnamen und Flurbezeichnungen alte Nutzungen erkennen, wie beispielsweise "Rechberg", "Kohlstätte", "Pöchtrager" oder "Viehberg".

Der große Holzbedarf durch Hüttenwesen, Salinen oder Glasmanufakturen führte zu einer Übernutzung der Wälder. Fichtenmonokulturen zur Steigerung der Holzproduktion verdrängten nicht nur die ökologisch wichtigen Mischbaumarten sondern legten auch gewaltige Nährelementmengen in Rohhumusdecken fest. Gemeinsam mit der geringen Durchwurzelungstiefe kam es dadurch zu einer Unterbrechung des Nährelementkreislaufs. Darüber hinaus trugen Kahlschläge erheblich zum Austrag von Nährelementen bei, speziell auf seichtgründigen oder sandigen Böden.

Gebietsweise verhindern stark degradierte und versauerte Böden (ein für anspruchsvolle Mischbaumarten ungeeignetes Keimbett), überhöhte Wildbestände und Waldweide das Aufkommen von Mischbaumarten.

Neuzeitliche Luftverschmutzung

Besonders zu Beginn der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts nahmen die Luftverschmutzung und mit ihr die Säureeinträge stark zu.

Dies bewirkte:

- ▶ Weitere pH-Wert-Senkung im Boden.
- ▶ Weitere Auswaschung von Nährelementen.
- ▶ Unausgewogenheit in den Nährelementverhältnissen durch Stickstoff-Einträge.

Folgeschäden

Diese aus den genannten Gründen reduzierte Vitalität der Bestände kann zu Folgeschäden wie beispielsweise Pilz- und Insektenbefall führen (Abbildung 4). Dadurch verlieren die Bestände noch weiter an Vitalität, werden noch labiler und müssen vorzeitig genutzt werden. Durch Verbesserung der Bestandenesernährung ist es aber möglich, die Widerstandskraft der Bäume so weit zu stärken, dass sich die Bestände stabilisieren und Maßnahmen zu einer Bestandesumwandlung ergriffen werden können.

Schwerpunkte des Auftretens - Regionale Eingrenzung

Der größte Bedarf einer Wald(boden)sanierung liegt in den bodensauren Fichten- und Föhrenwäldern vor, die infolge der oben beschriebenen historischen Übernutzung (Streunutzung, ...) aus ursprünglich laubholzreichen Wäldern entstanden sind (Abbildung 1). Derartige Waldbestände treten in diesen Gebieten gehäuft auf (Abbildung 2 [Karte]), wo die folgenden Voraussetzungen zusammentreffen:

- ▶ Basenarmes Grundgestein (Granit, Gneis, Quarzschotter, ...).
- ▶ Intensive Waldstreunutzung in der Vergangenheit.

In den Häufungsgebieten solcher Waldtypen liegen je nach Standort unterschiedliche Verhältnisse vor. Neben stark degradierten Beständen können inner-



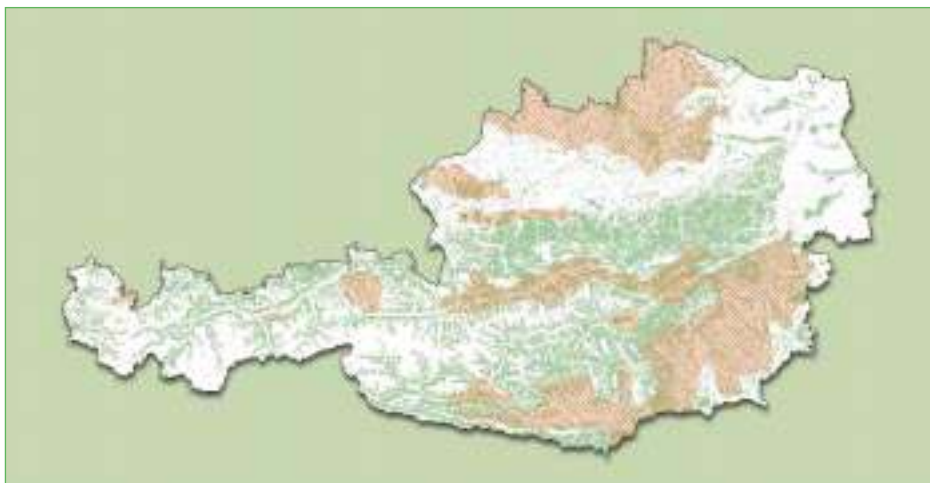
Abbildung 1:
Föhrenwald mit Besenheide (Dobrowa,
Kärnten)

Abbildung 2:
Problemgebiet rot schaffiert

halb kurzer Distanz auch gut mit Nähr-
elementen versorgte Böden vor-
kommen. Andererseits können selten
und kleinflächig auch außerhalb der
nachfolgend umrissenen Gebiete
sanierungswürdige Bestände stehen.

Die geografischen Häufungsgebiete
für degradierte bodensaure Nadel-
wälder sind:

- ▶ **Böhmische Masse**
(Mühl- und Waldviertel, Sauwald,
Dunkelsteiner Wald)
- ▶ **Teile der Zentralalpen**
(Steirischer Alpenrand, Bucklige
Welt, Unterkärnten, Drau- und
Gailtal, Mur-Mürz-Furche, Grau-
wackenzzone)
- ▶ **Nördliches Alpenvorland**
Gebiete mit quarzreichen Schot-
tern (Hausruckschotter, Weilhart-
forst)
- ▶ **Südöstliches Alpenvorland**
Vor allem Gebiete mit Quarz-
schotter



3.1.1 Sichtbare Symptome

In Tabelle 1 sind Schadsymptome von Waldbäumen angeführt, deren Ursache Nährelementmangel sein kann; neben den Hauptnährelementen wird auch das Spurenelement Mangan beschrieben. Doch können auch andere Spurenelementmängel zu Verfärbungen und Wuchsanomalien führen, treten aber in den genannten Schadgebieten (siehe 2.4) selten als alleiniger Mangel auf.

Tabelle 1: Schadsymptome an Waldbäumen

Ursache	Symptome
Magnesiummangel	Gelbspitzigkeit älterer Nadeln, Gelbverfärbung der Blätter zwischen den Blattnerven – vorwiegend an der Oberseite der Nadeln oder Blätter (Abbildung 3); besonders ausgeprägt im zeitigen Frühjahr
Kaliummangel	Gelbgrüne, schmutziggrüne Verfärbung an Nadelspitzen und Blatträndern beginnend, Absterben der Nadeln von der Spitze her
Stickstoffmangel	Gelbgrüne, fahle Verfärbung der Blätter oder Nadeln, Blattorgane und Triebe kurz
Phosphormangel	Rotviolette, graugrüne Verfärbung der Nadeln oder Blätter, Wuchshemmung
Manganmangel	Blassgrüne, ockergelbe Verfärbung jüngerer und neu ausgetriebener Nadeln

Für eine genauere Ursachendiagnose ist ein Fachmann nötig. Ähnliche Schadsymptome können unterschiedliche Ursachen haben. Nekrosen (Absterben von Gewebe) und Verfärbungen können auch durch Trockenheit, Immissionen, Schadpilze und Insekten hervorgerufen werden. Gerade das gemeinsame



Abbildung 3:
Magnesiummangel an Fichte

Abbildung 4:
*Neuartige Waldschäden im Böhmerwald:
Nadelvergilbung infolge Magnesiummangel,
Triebsterben durch Pilzbefall*



Auftreten von unterschiedlichen Schadursachen erschwert eine eindeutige Zuordnung.

Abbildung 4 zeigt ein typisches Schadbild eines Bestandes im Böhmerwald: Ältere Nadeljahrgänge der Fichten sind deutlich vergilbt – Ausdruck des ausgeprägten Magnesiummangels. Gleichzeitig weist das Absterben von Ästen im oberen Kronenbereich auf einen Pilzbefall hin. Schäden durch Zweigpilze – in diesem Fall durch *Sirococcus* – sind häufig eine Folge von Nährelementmangel.

3.1.2 Blatt- und Nadelanalysen

Chemische Blatt- oder Nadelanalysen haben sich für die Beurteilung der Nährelementversorgung von Waldbäumen seit langem bewährt. Für die wichtigsten heimischen Baumarten stehen Richt- und Grenzwerte für die Hauptnährelemente zur Verfügung (Tabelle 2). Für Föhre gelten ähnliche Grenzwerte wie für Fichte. Trotz der hohen Aussagekraft von Nadelanalysen müssen vor einer Ableitung

notwendiger Maßnahmen auch die anderen Befunde berücksichtigt werden, da ein Auftreten von Mangelgehalten nicht notwendigerweise mit Mangelsymptomen einhergehen muss. Für die Beurteilung der Nährelementversorgung ist es meist ausreichend, wenn für ein Schadgebiet eine begrenzte Anzahl von Analysen durchgeführt wird.

Es ist daher notwendig, mit den Forstberatern der Forstbehörde oder Landwirtschaftskammer Kontakt aufzunehmen.

Tabelle 2: Nährelement-Richtwerte für Fichte und Buche [mg/g Trockenmasse]

		Stickstoff (N)	Phosphor (P)	Kalium (K)	Calcium (Ca)	Magnesium (Mg)
Fichte (1. Nadeljahrgang)	Mangel	< 12-13	< 1,1-1,2	< 4,0-4,5	< 1,0-2,0	< 0,7-0,8
	Optimale Versorgung	>15	>1,5	>6,0	>3,0	>1,0
Buche	Mangel	< 19	< 1,5	< 10	< 3,0	< 1,5
	Optimale Versorgung	>25	>3,0	>15	>10,0	>3,0

Vorgangsweise für die Entnahme von Blatt- oder Nadelproben:

- ▶ Zeitpunkt:
Nadelbäume – Oktober bis Feber
Laubbäume – Zweite Augushälfte
- ▶ Drei bis fünf herrschende Bäume auf einer einheitlichen Fläche ohne erkennbare sonstige Schäden (Schältschäden, Rückeschäden, Borkenkäfer, ...).
- ▶ Pro Baum ein bis zwei Probeäste aus der obersten Lichtkrone (bei Fichte: siebenter Quirl von oben).
- ▶ Probenversand in neuen Plastiksäckchen möglichst schnell an die Untersuchungsstelle (maximal eine Woche Zeitabstand zwischen Probenahme und Einlangen im Labor; Plastiksäckchen nach Möglichkeit mit Luftlöchern versehen).
- ▶ Bei einer Probenaufbereitung im Gelände ist für Nadelbäume eine Auftrennung in den jüngsten (ersten) Nadeljahrgang und zweiten Nadeljahrgang vorzunehmen.
- ▶ Falls erforderlich, können die Proben von den Einzelbäumen – nach Nadeljahrgang getrennt – zu Mischproben vereinigt werden.

In einem Begleitformular sind alle für die Analyse und Bewertung notwendigen Angaben zu machen (siehe Anhang).

Formen und Merkmale der Bodendegradation:

- ▶ Verarmung an Nährelementen und Versauerung – bewirkt durch:
 - Erhöhten Biomasseentzug (Streunutzung, Schneitelung, Weide, Ganzbaumernte),
 - Säureeintrag und Säureproduktion, Basenauswaschung,
 - Einengung des Wurzelraumes (Baumartenwechsel, Monokulturen),
 - Erosion
- ▶ Verlust an biologischer Aktivität (Regenwürmer),
- ▶ Bildung ungünstiger Humusformen (z.B. inaktiver Rohhumus) und damit Verschlechterung der Nährelementverfügbarkeit aber auch des Wasser- und Wärmehaushaltes,
- ▶ Verlust an Puffervermögen, Beginn von Podsolierung (Humusverlust, Tonzerfall und -verlagerung, Auftreten toxisch wirkender Al-Ionen im Oberboden und deren Austrag mit dem Sickerwasser),
- ▶ Strukturverlust, insbesondere im Oberboden

Die Versauerung der Waldböden ist ein wichtiger Aspekt des Bodenzustandes. Ein unmittelbares Maß für den Säurezustand ist der leicht zu messende pH-Wert. Ein niedriger pH-Wert allein bedeutet jedoch keine Notwendigkeit zur Düngung.

Bessere Aussagen über den Bodenzustand als der pH-Wert liefert die Messung der **austauschbaren Kationen**. Die austauschbaren Kationen können über die Pflanzenwurzeln leicht aufgenommen werden. Die Summe aller austauschbaren Kationen (Kalium, Natrium, Calcium, Magnesium; Aluminium,

Tabelle 3: Bewertung von Kationen-Austauschkapazität und Basensättigung

	KAK mmol _c /kg		Basensättigung %
extrem niedrig	≤ 25	extrem niedrig	≤ 5
sehr niedrig	26 - 50	sehr niedrig	5,1-10
niedrig	51-100	niedrig	10,1-15
mittel	101-200	mäßig - ausreichend	15,1-30
hoch	> 200	ausreichend - hoch	> 30

Eisen, Mangan und Wasserstoff [H]) wird als **Kationen-Austauschkapazität** (KAK; Einheit: Millimol Ladungseinheit (c) pro kg Boden) bezeichnet. Die KAK ist ein wichtiges Maß für die Filter- und Pufferwirkung des Bodens. Für die Ernährung der Pflanzen sind die basischen Kationen Kalium, Calcium und Magnesium von wesentlicher Bedeutung. Ihr Anteil an der gesamten KAK ist die **Basensättigung** (BS). Für eine Bewertung der Böden hinsichtlich der Basensättigung und damit des Versauerungsgrades siehe Tabelle 3. Eine ausreichende Versorgung mit Magnesium liegt bei einem Anteil von zumindest 2 % Magnesium an der KAK (Magnesiumsättigung) vor.

3.3

Bodenprobenahme

3.3.1 Auswahl der Probeflächen

Die Probenahme darf nur aus einem möglichst einheitlichen Bereich erfolgen, welcher durch Standort und Bestand vorgegeben ist.

Wichtige Standortmerkmale (siehe auch Begleitformular) sind:

- ▶ Lage (z.B. Oberhang, Mulde; eben, geneigt)
- ▶ Gründigkeit (z.B. seicht-, mittel-, tiefgründig)
- ▶ Wasserverhältnisse
- ▶ Bodentyp

Ist die Fläche bezüglich Standort und Bestand sehr uneinheitlich, so ist sie in möglichst einheitliche Teilflächen zu zerlegen, die getrennt zu beproben sind.

3.3.2 Probenahmestellen

Bei der Auswahl der Probenahmestellen ist zu beachten:

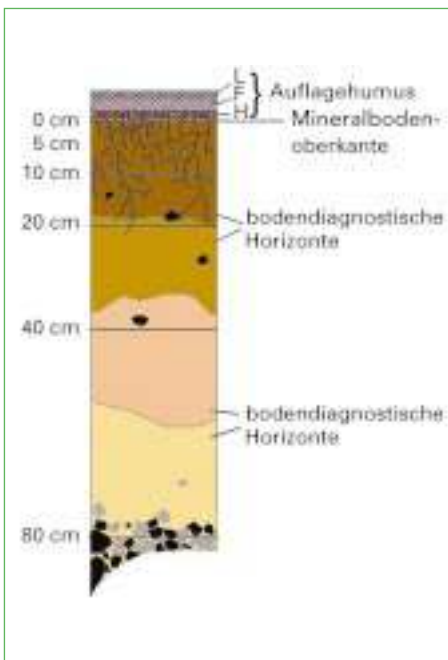
- ▶ Einen angemessenen Abstand von Straßen, Wegen, Rückegassen und Fahrspuren einhalten (~ 5 m).
- ▶ Die Nähe von Windwurfstellern, Mietenplätzen, Wurzelstöcken, Fuchsbauen und dgl. meiden.
- ▶ Mindestabstand zu Bestandesrändern beträgt ~ 5 m.

- ▶ Im Altbestand wegen des Stammablaufs auf ausreichenden Abstand vom Stammfuß von Laubbäumen achten (1 – 2 m, abhängig von der Hangneigung). Ebenso ist bei Nadelbäumen die Beeinflussung durch die Kronentraufe zu meiden.
- ▶ Bei Mischbeständen Ausgewogenheit der Probenahme unter Nadel- und Laubholz sicherstellen.

3.3.3 Probenanzahl

Für ausgewählte einheitliche Flächen und bei einheitlicher Bodenbeschaffenheit sowie einheitlichem Bestand genügt es, 1 Mischprobe für eine Flächengröße von 1-2 ha zu entnehmen. Als Anhaltspunkt gilt, dass nicht weniger als 5-8 Einzelproben, gleichmäßig über die Fläche verteilt, zu einer Mischprobe vereinigt werden sollen.

Abbildung 5:
Schema eines Bodenprofils mit Unterteilung nach Tiefenstufen (in cm) und nach bodendiagnostischen Horizonten



3.3.4 Art der Probenahme

Vor der Entnahme des Mineralbodens ist der Auflagehumus zu entfernen. Unter Auflagehumus wird der mehr oder weniger stark zersetzte Bestandabfall (Blatt- und Nadelstreu) verstanden. Der Auflagehumus lässt sich häufig recht gut vom darunter liegenden Mineralboden entfernen. Die Mächtigkeit des Auflagehumus ist in das Begleitformular einzutragen. Der Mineralboden wird nach fixen Tiefenstufen (meist: 0-10 cm, 10-20 cm) beprobt (siehe Abbildung 5).

Die Bodenprobenahme kann in der Regel ganzjährig erfolgen.

Da eine fachgerechte Bodenprobenahme wesentlich für aussagekräftige Analysenergebnisse ist, wird empfohlen, Experten bei der Durchführung der Bodenprobenahme heranzuziehen.

3.3.5 Menge, Kennzeichnung und Transport der Probe

Die Bodenproben werden je Fläche und Tiefenstufe zu einer Mischprobe vereint und in Plastiksäckchen abgefüllt. Steine und Wurzeln sollen schon vor Ort aus der Probe entfernt werden. Die Mindestmenge einer Mischprobe soll zwischen 500 – 1000 g Boden liegen. Die Probesäckchen sind mit wasserfestem Filzstift möglichst im unteren Drittel deutlich lesbar zu beschriften. Die Proben sind so zu kennzeichnen, dass eine eindeutige Zuordnung zum Probenprotokoll jederzeit möglich ist. Die für die Probe notwendigen Angaben sind im Begleitformular (siehe Anhang) auszufüllen.

Auf folgende Punkte ist zu achten:

- ▶ Plastikkärtchen mit denselben Angaben wie auf dem Probesäckchen zur Probe dazu legen.
- ▶ Plastiksäckchen so verschließen, dass kein Probenmaterial verloren geht oder miteinander vermischt wird.
- ▶ Proben möglichst kühl aufbewahren und möglichst rasch (innerhalb einer Woche) zur Untersuchungsstelle transportieren.
- ▶ Lagern in der Sonne oder im überhitzten Auto vermeiden.
- ▶ Verzögert sich der Transport zur Untersuchungsstelle, so sollen die Proben in einem durchlüfteten Raum bei geöffnetem Plastiksäckchen vortrocknet werden.

Die Ergebnisse einer Bodenuntersuchung sind nur bei ausreichender Kenntnis des Standortes sinnvoll zu interpretieren. Daher soll es nach Möglichkeit von jeder beprobten Fläche ein Probenahmeprotokoll geben, welches sich aus der Standorts- und Bodenbeschreibung zusammensetzt. Im Anhang ist das Muster eines solchen Begleitformulares angeführt.

3.3.6 Bodenanalysen

Bei Auftragsvergabe muss darauf geachtet werden, dass die Bodenuntersuchungen nach den einschlägigen Normen durchgeführt werden, um Vergleichbarkeit und Interpretierbarkeit zu ermöglichen. Untersuchungsparameter und Methoden sind in Tabelle 4 aufgezählt. Die Methoden 1-4 werden für jede Untersuchung empfohlen.

Tabelle 4: Untersuchungsparameter und Methoden für die Bodenanalyse

Untersuchungsparameter	Genauere Beschreibung	ÖNORM
1) pH-Wert	pH(CaCl ₂)	ÖNORM L 1083
2) Gesamt-Stickstoff	N _{tot} nach Kjeldahl oder N _{tot} durch trockene Verbrennung	ÖNORM L 1082 ÖNORM L 1095
3) Organischer Kohlenstoff (Humus)	C _{org}	ÖNORM L 1080
4) Austauschbare Kationen inkl. Kationen-Austauschkapazität und Basensättigung	K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , (Na ⁺); Mn ⁺⁺ , Al ⁺⁺⁺ , Fe ⁺⁺⁺ , H ⁺	ÖNORM L 1086-1
5) Elemente im Säureauszug	P, K, Ca, Mg; Mn, Cu, Zn,	ÖNORM L 1085
6) Mobile Spurenelemente	Fe, Mn, Cu, Zn,	ÖNORM L 1089

3.4 Vegetation

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).

Diese Ansprache kann ohne viel Sach- und Zeitaufwand im Gelände erfolgen:

► Die verbreitetsten **Säure- und Magerkeitszeiger** sind:

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

► **Besonders nährstoffarme Verhältnisse** zeigen an:

- Besenheide (*Calluna vulgaris*)
- Preiselbeere (*Vaccinium vitis-idaea*)

Es handelt sich bei den Magerkeitszeigern großteils um Zwergsträucher und Gräser. Als Faustregel kann gelten:

Je kleiner, schmaler und hartlaubiger die einzelnen Blätter sind, um so anspruchsloser ist die Pflanze und zeigt somit schlechte Bodenverhältnisse an.

- ▶ Folgende Arten sind **Zeiger für Standortdegradation** durch frühere Nutzungsformen. Sie 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 Vorkommensschwerpunkt 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.
- ▶ **Zeiger für günstige Verhältnisse** sind:
 - Zartlaubige oder großblättrige Kräuter, wie der Sauerklee (*Oxalis acetosella*) und der Waldmeister (*Galium odoratum*).

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 die wichtigsten **von Natur aus bodensauren Waldtypen**:

- ▶ **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 Rotföhrenwälder** befinden sich auf flachgründigen, skelettreichen Böden auf Rücken oder in Steilhanglage über armen oder schwer verwitterbaren Gesteinen (Gneis, Granit). 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 Rotföhrenwälder. Sie sind meist aus eichen- oder buchenreichen Wäldern hervorgegangen und stocken auf mehr oder weniger durchschnittlichen Standorten mit gut entwickelten Böden (sekundäre Föhrenwälder). Sie weisen meist deutliche Merkmale einer Standortdegradation auf und sind damit sanierungswürdig.*

- ▶ Natürliche **bodensaure Fichten- und Fichten-Tannen-Wälder der unteren und mittleren Berglagen** sind in den Zentralalpen weit verbreitet.

Bodensaure Fichtenwälder in den Randalpen und außerhalb der Alpen sind durch die Bewirtschaftung aus buchenreichen Wäldern entstanden (sekundäre Fichtenwälder). Für eine Entscheidung über Düngungsmaßnahmen sind hier weitergehende Untersuchungen (Bodenchemie, Nadelanalysen) besonders wichtig.

- ▶ **Föhren- 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. Eine Düngung muss hier aus Gründen des Natur- und Umweltschutzes unterbleiben.

4 Problemlösung

4.1 Waldbau

Ursache für viele Waldschäden ist neben Streunutzung, saurem Grundgestein und saurem Regen meist auch ein zu hoher Fichten- oder Föhrenanteil. Für eine langfristig wirksame Sanierung ist daher das Einbringen tiefwurzelnder Baumarten (z.B. Tanne) und Laubholz erforderlich.

Als weitere Maßnahme können Durchforstungseingriffe die Mineralisierung fördern und so Nährelementreserven in den Kreislauf zurückführen. Kahlschläge dagegen bewirken oft einen Verlust an Nährelementen.

4.1.1 Jungbestände (Dickungen, Stangenhölzer)

- ▶ Durchforstung (Z-Baum-Auszeige und Anlage von Rückegassen). Durch mehr Licht am Boden erfolgt eine bessere Umsetzung der Humusschicht.
- ▶ Vorhandene Mischbaumarten, insbesondere Tanne und Laubhölzer, sind im Zuge von Durchforstungsmaßnahmen zu fördern. Auf die Regelung der Wildfrage wird besonders verwiesen.

4.1.2 Altbestände

- ▶ Auflockerung geschlossener Altbestände durch Entnahme von Einzelbäumen (vor allem kranker, beschädigter oder schlechtwüchsiger Bäume).
- ▶ In aufgelockerten Bereichen und in Bestandeslücken werden die notwendigen Mischbaumarten eingebracht. Vor etwaigen Aufforstungsmaßnahmen ist zu prüfen, ob nicht auch Naturverjüngung möglich ist (ev. Bodenverwundung, Zäunung). Naturverjüngung ist möglich, wenn Keimlinge und Mutterbäume vorhanden sind. Bei überhöhtem Wildbestand ist eine Zäunung notwendig.

Die Naturverjüngung weist gegenüber der Aufforstung folgende Vorteile auf:

- ▶ Im Regelfall kostengünstiger.
- ▶ Keine Wurzeldeformation durch Pflanzung.
- ▶ Regional angepasste Herkünfte (abhängig vom Altbestand!).
- ▶ Geringerer Pflegebedarf in der Kulturphase.



Wenn eine Naturverjüngung nicht möglich ist oder der Altbestand von ungeeigneten Herkünften stammt, ist die Pflanzung notwendig.

*Abbildung 6:
Femelloch*

4.1.3 Pflanzung

Für die Baumartenwahl ist die natürliche Waldgesellschaft zu beachten.

Geeignete Baumarten sind:

- ▶ **Rotbuche:** Für Standorte ohne Frostgefährdung und Staunässe.
- ▶ **Roteiche, Douglasie:** Für trockene, stark degradierte Standorte; Douglasienanteil maximal 50 %.
- ▶ **Lärche:** Mischung mit Buche (Lärchenanteil maximal 50 %). Keine Lärche bei ausgeprägt staunassen Böden.
- ▶ **Bergahorn:** Nicht auf trockenen Standorten.
- ▶ **Esche:** Bei guter Wasserversorgung ohne Staunässe.
- ▶ **Traubeneiche** oder **Stieleiche:** In wärmeren Lagen.
- ▶ **Tanne:** Für nahezu alle Standorte außer auf frostgefährdeten und trockenen Standorten.

Je nach natürlicher Waldgesellschaft ist der Anteil der Fichte (Föhre) zu begrenzen, auch wenn sie sich sehr gut natürlich verjüngt. Gutes Jugendwachstum von Fichten auf problematischen Standorten (z.B. Pseudogleyböden) darf nicht dazu verleiten, spätere Stabilitätsprobleme (z.B. Windwurf) zu vernachlässigen.

Für den Unterbau besonders geeignet sind Schattbaumarten wie Buche und Tanne; lichtere Stellen können auch mit Ahorn aufgeforstet werden.

Vorhandene Pionierbaumarten wie Vogelbeere, Aspe und Birke sind zur Humusverbesserung zu belassen.

Für die Wahl der richtigen Herkunft ist das **Zulassungszeichen** unbedingt zu beachten.

► **Pflanzverband:**

Gruppenmischung; im Schatten weitere Abstände als im Licht.

► **Pflanzengröße:**

Kleinere Pflanzen zeigen bessere Anwuchserfolge, außer auf stark verunkrauteten Standorten.

► **Pflanzmethode:**

Bei Waldsanierungen ist die Winkelpflanzung ungeeignet! **Notwendig ist die Lochpflanzung mit Durchmischung des Bodens.**

► **Pflanzenbehandlung:**

Geeignete Pflanzen bester Qualität und sorgfältige Lochpflanzung sparen Arbeit und Geld.

Während der Lagerung sind die Wurzeln vor dem Austrocknen zu schützen. Beim Einpflanzen sind Beschädigungen der Wurzeln und ein zu tiefes Einsetzen ebenso zu vermeiden wie eine zu starke Bodenverfestigung (besonders auf bindigen Böden).

Abbildung 7: Lochpflanzung



Für die Laubbaumarten (vor allem Bergahorn und Esche) ist für ein entsprechendes Wachstum eine relativ hohe Basensättigung (> 30 %) erforderlich. Die übliche oberflächliche Ausbringung von Düngemitteln wirkt sich erst nach mehreren Jahren auf tiefere Bodenschichten aus. Daher ist meist eine Pflanzlochdüngung erforderlich. Bei der Pflanzlochdüngung soll eine Handvoll kohlenaurer Magnesiakalk eingebracht und gut mit dem Bodenmaterial vermischt werden.

In vielen Fällen ist ohne Zufuhr von Nährelementen eine Vitalitätsverbesserung des Waldes in absehbarer Zeit nicht möglich. Eine schablonenhafte Düngung ist jedoch abzulehnen; bei offensichtlichem Auftreten unterschiedlicher Standortstypen ist zumindest eine grobe Abgrenzung angebracht. Die Düngung darf nur aufgrund der zusätzlichen Befunde von Boden- und Nadelanalysen erfolgen. Schadsymptome alleine erlauben keinen eindeutigen Rückschluss auf die Nährelementmängel.

Anhand der Analysen wird ein Düngungsvorschlag erarbeitet, der unter anderem die Düngerart und die Düngermenge festlegt. Bei den meisten Sanierungsfällen konnte ein ausgeprägter Mg-Mangel in Verbindung mit geringer Basensättigung festgestellt werden. Im allgemeinen sind daher reine NPK-Dünger wegen des meist vorliegenden Mg-Mangels und des im Auflagehumus ohnehin vorhandenen oder über Niederschläge eingetragenen Stickstoffs nicht zielführend. Meist wird daher die Düngung mit magnesiumreichen karbonatischen Gesteinsmehlen (z.B. kohlensaurem Magnesiakalk) empfohlen. Auf manchen Standorten kann eine Kalidüngung notwendig sein. Die üblichen Ausbringungsmengen für Gesteinsmehle liegen bei einmaliger Ausbringung zwischen 1800 und 3500 kg/ha.

Nicht gedüngt werden dürfen:

- ▶ Schutzwürdige Biotope: Moore und arme Primärstandorte, Felsfluren und andere Sonderbiotope.
- ▶ Naturschutzgebiete (Naturdenkmäler).
- ▶ Wasserschutzgebiete (Zone I).
- ▶ Naturwälder im optimumnahen Zustand.
- ▶ Versuchs- und Beobachtungsflächen.

Wirkungslos und daher nicht zielführend ist die Düngung auf primär leistungsschwachen Standorten, bei denen nicht die Nährelementversorgung den Minimumfaktor darstellt:

- ▶ Durchlässige, trockene und seichtgründige Standorte (lehmarne Schotterböden, Sand).
- ▶ Kalkstandorte, außer oberflächlich entkalkte Braunlehme. Steilhänge, extreme Sonnhänge, Kuppen.
- ▶ Zu kalte Standorte.
- ▶ Primär nasse Böden.

4.2.1 Ausbringungsmethoden

- ▶ **Verblasegeräte:** Voraussetzung ist staubförmiger Dünger, sowie ein Netz aus Rückewegen. Entfernung zwischen den Rückewegen maximal 100 m. Die Rückewege müssen mit schweren Traktoren befahrbar sein und eine Mindestbreite von 3 m aufweisen (Abbildung 8).
- ▶ **Kreiselstreuer:** Kleinflächen im traktorbefahrbaren Gelände, granuliertes Material notwendig.
- ▶ **Händische Ausbringung:** Kleinflächen im schwierigen Gelände, granuliertes Material.
- ▶ **Hubschrauber:** Bei schlechter Erschließung und größeren Flächen.



Abbildung 8:
Kalkausbringung durch Verblasung

Die komplexe Betrachtung der Wald(boden)sanierung setzt eine begleitende Beratung voraus, um den Waldbesitzer sowohl fachlich also auch förderungs-technisch zu unterstützen.

Folgende Punkte sind zu beachten:

- ▶ Erkennen der Notwendigkeit einer Wald(boden)sanierung und Unterscheidung zu natürlich bodensauren Standorten.
- ▶ Erarbeitung eines Sanierungskonzeptes zwischen Beratern und Waldeigentümern.
- ▶ Begleitung während des Projektes.
- ▶ Kontakt zu den wissenschaftlichen Stellen (Bodenproben, Nadelanalysen, sonstige Untersuchungen).
- ▶ Umsetzung der vorgeschlagenen Sanierungsmaßnahmen wie Düngung und waldbauliche Maßnahmen.
- ▶ Hilfestellung bei der Beantragung von Förderungen.

Eine wesentliche Rolle spielt die Beratung bei Projekten mit einer Vielzahl von (Klein-) Waldbesitzern, die mit der fachlichen Beurteilung von Wald(boden)sanierungen häufig überfordert sind. Die Zusammenführung solcher Wald(boden)sanierungen zu einem einzigen Großprojekt unter Beiziehung eines Beraters ist daher sinnvoll. Darüber hinaus ist der gemeinsame Einkauf von Betriebsmitteln für die Sanierung (Dünger, Kalk, Pflanzen, ...) wesentlich günstiger.

Die Waldsanierung wird als Teilmaßnahme im Förderprogramm "Ländliche Entwicklung – Forstwirtschaft" in der Maßnahmengruppe 6.2.1 "Erhaltung und Verbesserung des wirtschaftlichen und ökologischen Wertes der Wälder" gefördert.

Dabei werden sowohl Unterbau, Umwandlungen, Pflegemaßnahmen als auch Dünge- und Kalkungsmaßnahmen mit bis zu 60 % der anfallenden Nettokosten gefördert. Auch Untersuchungskosten (Bodenanalysen, Nadelanalysen, ...) sind in diesem Programm förderbar.

Fragen bezüglich der Abwicklung der Projekte beantworten die Waldbaureferenten der Länder und die Forstberater der Landwirtschaftskammern des jeweiligen Bundeslandes.

ZUSATZINFORMATIONEN

Ansprechpartner für die Beratung:

► **Behörden auf Landes- und Bezirksebene:**

- Die Landesforstdirektionen und Landesforstinspektionen sowie die Bezirksforstinspektionen.
- Kammern für Land- und Forstwirtschaft auf Landes- und Bezirksebene.
- Forstliche Bundesversuchsanstalt: Seckendorff-Gudent-Weg 8, A-1131 Wien - Tel.: 01 87838-1204, Fax: 01 87838-1250.

Bei den Ansprechpartnern sind auch die Begleitformulare erhältlich oder über das Internet herunterzuladen: "<http://fbva.forvie.ac.at/300/1224.html>"

WALD(BODEN)SANIERUNG**BEGLEITFORMULAR**Bodenprobe Nadel-/Blattprobe

(Zutreffendes ankreuzen)

AUFTRAGGEBER

Name

Adresse

Telefon

Fax

Email

RECHNUNGSEMPFÄNGER (wenn nicht ident mit Auftraggeber)

Name

Adresse

Telefon

Fax

Email

PROBENAHEMEDATUM:**ORT DER PROBENAHEME:****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 / Seegrass / Astmoos-Heidelbeer-Drahtschmiele / Heidelbeer-Trockentyp / Torfmoos-Heidelbeer-Drahtschmiele /**Natürliche Waldgesellschaft:****Bestockung:**

Baumartenanteile:

Bestandesalter Bestockungsgrad:

Bestandesschäden:**ANZAHL DER PROBEN:****Liste der BODENproben** (u.U. Beiblatt – Probennummer, Parzellennummer, Entnahmetiefe, Anmerkung...)**Liste der NADEL-/BLATTproben** (u.U. Beiblatt – Probennummer, Baumart, Nadeljahrgang, Verfärbung, Anmerkung ...)