

100x **über die Düngung** **im Wald**

**Grundsätze der Verbesserung
der Waldböden
und der Ernährung der Waldbestände
durch Düngung**

Václav Nárovec



LESNICKÁ PRÁCE
2002

Anschrift des Verfassers:

Ing. Václav Nárovec, CSc.

Versuchsanstalt für Forstwirtschaft und Jagdwesen – Versuchsstation Opočno

Na Olivě 550

CZ - 517 73 Opočno

E-mail: narovec@vulhmop.cz

<http://vulhm.opocno.cz/en/homepages/narovec/index.html>

Lektor:

Dipl.-Ing. Fritz Mrazek

Übersetzung:

Dipl.-Ing. Josef Švolba

Lektoren der Übersetzung:

Dr. Jochen Kleinschmit, Dipl.-Ing. Hubertus Schröder

© 2002 by Lesnická práce, s.r.o., Verlag und Edition,
PO Box 25, Zámek 1, CZ - 281 63 Kostelec nad Černými lesy

Translation © Josef Švolba, 2002

Cover © Lesnická práce, s.r.o., 2002

Text © Václav Nárovec, 1995, 2001

Photo © Václav Nárovec, 2002

ISBN 80-86386-21-X

Inhalt

| | |
|---|-----------|
| Vorwort | 5 |
| Grundsätze der Verbesserung der Waldböden und der Ernährung der Waldbestände durch Düngung | 7 |
| I. Einleitung | 7 |
| II. Planung und Projektierung der Düngungsmaßnahmen | 8 |
| III. Aufgabe der Düngung bei der Bewirtschaftung der Wälder | 8 |
| IV. Einfluss der Industrieemissionen auf Boden und Ernährung der Waldbestände | 9 |
| V. Kreislauf der Nährstoffe in Waldökosystemen | 10 |
| VI. Beurteilung der Notwendigkeit von operativen Nährstoffeingriffen | 11 |
| VII. Auswertung der Ergebnisse von Blattanalysen | 13 |
| VIII. Projektierung von operativen Düngungseingriffen | 14 |
| IX. Grunddüngung von Waldböden | 16 |
| X. Düngung bei Erneuerung von Waldbeständen in Immissionsregionen | 20 |
| XI. Empfohlene Dokumentation über Walddüngung | 23 |
| XII. Gesetz über Dünger und ergänzende Rechtsvorschriften | 23 |
| XIII. Aufstellung verwendeter Abkürzungen | 24 |
| Tabellen | 25 |
| Verwendete Literatur | 29 |



Dipl.-Ing. Václav Nárovec (24.3.1960 Kraslice, Krs. Sokolov) setzte nach der Absolvierung der Forstfachlichen Lehranstalt in Abertamy (1977) und der Mittleren Technischen Forstschule in Písek (1981) das Studium des forstlichen Ingenieurwesens an der Forstfakultät der Landwirtschaftlichen Hochschule in Brno/Brünn fort. Nach Beendigung des Studiums im Jahre 1985 trat er eine Stelle in der Versuchsanstalt für Forstwirtschaft und Jagdwesen – Versuchsstation Opočno an. In den Jahren 1988 – 1994 bearbeitete er mit Ing. Vratislav Dušek, CSc. die Problematik „Düngung in Baumschulen“ (Auftrags-Nr.: R-331-109-02) und „Erhaltung der Bodenproduktionsfähigkeit in den Baumschulen“ (N03-329-869-03-08). Unter der Führung von Doz. Ing. Vladimír Peřina, CSc. und Ing. František Šach, CSc. hat er sich im gleichen Zeitraum an der Bearbeitung der Ressortforschungsaufgaben „Bodenvorbereitung und Melioration für künstliche Verjüngung“ (R-331-108-02) und „Melioration der Waldböden zur Verbesserung der Funktionswirksamkeit des Waldfonds“ (N03-329-868-03) beteiligt. Seit 1995 ist er selbständiger Bearbeiter des Forschungsprojektes „Begründung und Waldbau von Kiefernbeständen der I. Altersstufe in den durch anthropogene Tätigkeit geschädigten Waldökotopen“ (Auftrags-Nr.: RE329-92-9206-03). In der Sammlung LESNICKÁ KNIHOVNA (Forstbibliothek), Edition PĚSTOVÁNÍ LESA (Waldbau) – (Verlag LESNICKÁ PRÁCE, s.r.o) hat er im Jahr 2000 eine Arbeit „Dizyklisches Wachstum der Kieferntriebe und waldbauliche Korrekturmaßnahmen in den jüngsten Kulturen“ veröffentlicht.

Vorwort

Chemische Melioration der Waldböden und Nachdüngung der Waldbestände sind bei uns in den letzten 20 Jahren ein Gegenstand erhöhten Interesses der Forstpraxis und auch der angewandten forstlichen Forschung im Bereich des Waldbaus. Die Aufmerksamkeit konzentriert sich vor allem auf die Erneuerung der durch anthropogene Immissionen zerstörten (bzw. bis jetzt aktuell geschädigten) Wälder; in denen die Verwendung von Düngern ein bedeutendes Element darstellt, das die Aufforstung der Immissionskahlfächen und die Sicherung der Forstkulturen unterstützt.

Die vorgelegte Publikation fasst die Teilerkenntnisse, die aus der Bearbeitung des Ressortforschungsauftrags (Nr: N03-329-869-03) „Melioration der Waldböden zur Verbesserung der Funktionswirksamkeit des Waldfonds“ hervorgehen, zusammen. Diese Teilaufgabe wurde in den Jahren 1991 – 1994 in der Versuchsanstalt für Forstwirtschaft und Jagdwesen – Versuchsstation Opočno bearbeitet, und zwar im Rahmen des Projektes „Stabilisierung und Entwicklung der produktiven und nichtproduktiven Waldfunktion der durch Industrieimmissionen beeinflussten Wälder“ (Koordinator: RNDr: Marian Slodičák, CSc.).

Die Arbeit stellt den aktuellen Text der Auswertung „Grundsätze der Verbesserung der Waldböden und der Ernährung der Waldbestände durch Düngung“ (weiter nur „Grundsätze“) vor, der von der Expertenkommission am 14. 12. 1994 bei dem abschließenden Opponentenverfahren des besagten Forschungsprojektes angefordert und durch diese Kommission im Januar 1995 genehmigt wurde. Aus bestimmtem Blickwinkel erweist sich das jetzige Erscheinen der Publikation vor allem als eine zeitgemäße Einsicht in die Problematik der Düngung von Waldböden und Kulturen, denn die Mehrheit der aktuellen in der Publikation aufgeführten Informationen wurde nicht wesentlich verändert und bleibt mit der ersten Quelle identisch, die im Januar 1995 veröffentlicht wurde. Im Ausgangstext (erste Ausgabe) wurden nur einige Abschnitte aktualisiert, bzw. nur diejenigen, die nach dem 1. September 1998 im Zusammenhang mit dem Inkrafttreten des Gesetzes Nr: 156/1998 Slg., über Dünger, Hilfsbodenstoffe, pflanzliche Hilfspräparate und Substrate und über die agro-chemischen Untersuchungen von landwirtschaftlichen Böden, korrigiert werden mussten.

Die vorliegende zweite Version obenerwähnter Arbeit wurde bei der Veranstaltung der gesamtstaatlichen Konferenz zu „50 Jahre waldbaulicher Forschung in Opočno“ (12. und 13. September 2001) präsentiert, deren Ziel es ist, die Erkenntnisse der Waldbauforschung, die in der vorausgehenden fünfzigjährigen Geschichte der Versuchsanstalt in Opočno gewonnen wurden, zusammenzufassen. Der Entwurf der „Grundsätze“ respektiert dabei die frühere Absicht aus den Jahren 1994/95, d.h. die Zusammenstellung eines Hilfsmittels, das der Forstpraxis die Beurteilung und folgende Entscheidung erleichtern sollte, ob, wann und auf welche Weise man auf den Waldböden düngen soll. Eingegliedert wurde hier deshalb auch die Problematik der Düngung bei der Walderneuerung in den Regionen unter dem Einfluss der Industrieimmissionen. Die veröffentlichten „Grundsätze“ hatten und haben den Charakter von Empfehlungen oder unverbindlichen methodischen Weisungen. Sie sind in nummerierte Glieder (Abschnitte), zusammengestellt in Abteilungen (Kapitel), nach den einzelnen thematischen Bereichen geordnet. Die Arbeit trägt die neue Bezeichnung: „Hundertmal über die Düngung im Wald“.

Opočno, August 2001



Motto:

**„Der Waldboden ist neben dem Holzvorrat das größte Kapital,
mit dem der Förster zweckdienlich wirtschaften muss,
dass es erhalten bleibt und seine Fruchtbarkeit erhöht wird.“**

Bohumil Mařan, 1948

Grundsätze der Verbesserung der Waldböden und der Ernährung der Waldbestände durch Düngung

I. Einleitung

1. Die Düngung ist eine zielbewusste Tätigkeit, bei der wir dem Nährstoffmilieu der Pflanzen Düngungsmittel (Dünger) liefern. In der Forstwirtschaft regulieren wir vor allem den Nährstoffvorrat im Boden hinsichtlich der Menge und seines Wechselverhältnisses oder wir verabreichen den Forstgehölzen die Nährstoffe direkt in einer leicht aufnehmbaren Form. Wenn wir die Produktionsfähigkeit der Böden durch Düngung regulieren (also die Ernährungsbedingungen verbessern, d.h. die physikalischen, chemischen und biologischen Bodeneigenschaften), dann reden wir über die Grunddüngung (Bodendüngung), wenn der Zustand der Bestandesernährung durch Düngung direkt beeinflusst wird, geht es um die operative Düngung (d.h. Düngung in den Forstkulturen und Beständen).

2. Die erwähnten zwei Grundtypen der Düngung in Wäldern gliedern sich nach unterschiedlichen Gesichtspunkten. Zu denen gehört insbesondere die terminologische Gliederung der Düngung der Wälder nach der Funktion im Düngungssystem (Produktionsdüngung, diagnostische Düngung, Regenerationsdüngung u.ä.), nach der Applikationszeit der Dünger nach Art und Alter der Waldbestände (z.B. Düngung der Lignikulturen, Düngung der Forstkulturen bei der Pflanzung, Düngung in den Kulturen, Düngung der Vornutzungsbestände u.a.), nach der Applikationszeit der Dünger im Rahmen der Vegetationsperiode (Nachdüngen, Spätdüngung), nach der Einbringung der Dünger in vertikaler und horizontaler Richtung (lokale Düngung, Streifendüngung, ganzflächige Düngung, Schichtdüngung u.a.), nach Art der Verteilung der Dünger auf der Fläche (z.B. Ernährung durch Assimilationsorgane), nach der ausgewählten Applikationstechnik (Erddüngung, Flugzeugdüngung), nach Art der verwendeten Dünger (organische Düngung, Düngung mit Phosphordünger usw.) u.ä.

3. Die tschechische Terminologie erörtert detailliert die terminologische Norm ON 48 0002 „Waldbau“ (gültig ab August 1991), bzw. „Forstliches Lexikon“, das vom Ministerium der Landwirtschaft der Tschechischen Republik im Jahre 1994 herausgegeben wurde.

II. Planung und Projektierung der Düngungsmaßnahmen

4. Die Düngung der Wälder ist eine zweckmäßige waldbauliche Maßnahme. Sie ist ein unteilbarer Bestandteil des Komplexes von weiteren waldbaulichen Maßnahmen auf den Waldböden. Die Ziele, die die Düngung der Wälder verfolgt, auch die Art der Realisierung der Düngung der Wälder, sind für einzelne Bestände (Lokalitäten) grundsätzlich individuell. Die konkreten standörtlichen, waldbaulichen, technischen, organisatorischen, ökonomischen und anderen Bedingungen übertragen sich als Grundbedingung auf die Entscheidungen über die Art der Durchführung von Düngungs- und Meliorationsmaßnahmen auf den Waldböden.

5. Die Planung und Realisierung der Walddüngung muss konsequent die örtlichen Verhältnisse berücksichtigen. Deren Beschreibung und Konkretisierung wird durch einen Komplex vorprojektierter Aufklärungsarbeiten sichergestellt. Notwendig ist in der Regel die Beurteilung des Ernährungszustandes und der Ernährungsbedingungen der Waldbestände durch eine Nährstoffanalyse (bei der Planung der operativen Düngung) oder der Meliorationsuntersuchung (im Fall der Planung der Grunddüngung).

6. Grundsätzlich soll für jeden Fall der Walddüngung ein eigenes Düngungsprojekt erstellt werden. Der Umfang und die Qualität des Düngungsprojekts müssen so sein, das sie:

- die Beurteilung der Defizit- (limitierten) Faktoren der Ernährung der Gehölze und der Produktionsfähigkeit der Waldböden,
- die Bestimmung der Art ihrer Regulierung, ermöglichen.

7. In einfachen Fällen führen die Vorbereitung, Planung und Projektierung der Walddüngung die beauftragten Arbeitskräfte des Waldbesitzers, bzw. des Nutznießers der Waldböden durch. In komplizierteren Fällen ist die Düngung der Wälder ein unteilbarer Objektbestandteil anderer waldbaulicher in der Regel durch spezialisierte Arbeitskräfte durchgeführter Maßnahmen (ÚKZÚZ – Zentrale landwirtschaftliche Kontroll- und Prüfungsanstalt, VÚLHM – Versuchsanstalt für Forstwirtschaft und Jagdwesen – Jiloviště-Strnady u.a.).

8. Den Beratungsdienst für die Forstpraxis (Waldbesitzer) stellen für Ernährung und Düngung der Waldbestände die beauftragten Dienststellen (ÚKZÚZ, VÚLHM Jiloviště-Strnady u.a.) sicher.

III. Aufgabe der Düngung bei der Bewirtschaftung der Wälder

9. Bei den heutigen mitteleuropäischen Verhältnissen ist die Walddüngung vor allem auf die direkte oder indirekte Lieferung solcher Nährstoffe ausgerichtet, die im gegebenen Ökotyp bei Wachstum und Gesundheitszustand der Bestände limitiert (defizitär) sind. Die Walddüngung konzentriert sich deshalb vor allem auf die Bestände, die ein akutes Nährstoffdefizit und Ernährungsstörungen aufweisen (operative Düngung), und weiter auf die Böden, auf denen die erfolgreiche Walderneuerung infolge nicht entsprechenden Zustandes der Bodeneigenschaften begrenzt ist (Grunddüngung – Bodenmelioration – bei Erneuerung der Bestände).

- 10.** Die Walddüngung kommt in beschränktem Umfang auch in solchen Fällen in Betracht, bei denen der Zustand und die Bedingungen der Ernährung für Wachstum und Entwicklung der Bestände zwar nicht limitierend sind, sondern wenn es notwendig ist, die Ernährung und somit auch den Gesundheitszustand der Waldbestände schnell (in der Regel einmalig) zu verbessern. Zu diesen Fällen gehört z.B. Düngung für schnelle Überwindung der Schädigung durch biotische Schädlinge oder abiotische Faktoren und die Verbesserung der Bedingungen für die Fruktifikation der Bestände durch Düngen.
- 11.** Die Verbesserung der Waldproduktionsfunktion durch Düngen, wenn man den Nährstoffvorrat im Boden reguliert oder wenn man die Industriedünger im Bestand mit dem Ziel der Holzproduktions- oder Biomassenerhöhung einsetzt, wird heute wenig berücksichtigt und kommt nur in Ausnahmefällen zur Geltung (z.B. bei intensivem Anbau von Lignikulturen).
- 12.** Die Walddüngung hat eine spezifische Stellung im Komplex waldbaulicher Maßnahmen besonders bei der Walderneuerung in durch Industrieimmissionen am meisten geschädigten Gebirgsregionen der Tschechischen Republik. Grund sind gleichzeitige anthropogen bedingte chemische Änderungen der Waldböden in Immissionsregionen und der Einfluss der anthropogenen Immissionen auf die Ernährungsstörungen und Verschlechterung des Gesundheitszustandes der Waldgehölze.
- 13.** In einzelnen Regionen (natürlichen Waldgebieten) bestehen leicht unterschiedliche immissions-ökologische Situationen, weshalb die Strategie der Walddüngung (Planung und Projektierung der Düngungsmaßnahmen) diese regionalen Unterschiede berücksichtigen muss.

IV. Einfluss der Industrieimmissionen auf Boden und Ernährung der Waldbestände

- 14.** Im Erzgebirge, das durch Immissionen stark belastete Gebirgswälder repräsentiert, verläuft in der sauren Zone oberer Horizonte des Mineralbodens eine Protonenpufferung durch Freisetzung mobiler Aluminiumverbindungen in die Bodenlösung. Im Mineralboden wird nur eine kleine Menge alkalischer Kationen (Ca, Mg) absorbiert. Der Nährstoffvorrat ist an die organische Bodensubstanz gebunden.
- 15.** Im Adlergebirge, das ebenfalls durch Immissionen stark belastete Gebirgswälder repräsentiert, erreicht die Bodenbelastung durch Protonen und Anionen starker Säuren ein Niveau, das mit den Waldböden des Erzgebirges vergleichbar ist. Die etwas günstigere Bodenreaktion und der Nährstoffvorrat im Boden gegenüber dem Zustand im Erzgebirge sind durch die Unterschiede in Dauer und Intensität der Immissionsbelastung und durch die chemische Zusammensetzung des Muttergesteins verursacht. Die Buchenbestände tragen hier gegenüber der Fichte weniger zur Bodenversauerung bei. Die Sättigung des Bodenabsorptionskomplexes durch Aluminiumverbindungen hat trotzdem ein sehr hohes Übergewicht gegenüber den Kationen. Der Chemismus der Böden des Adlergebirges limitiert vor allem der sehr niedrige Gehalt von Mg und Ca im Boden.
- 16.** In den Waldböden unter den Fichtenbeständen im Böhmerwald, der die durch Immissionen weniger belasteten Regionen repräsentiert, sind trotz niedriger Deposition von Protonen die oberen Bodenhorizonte stark versauert und im Bodenabsorptionskomplex des ganzen effektiven Bodenprofils (Rhizosphäre) überwiegen die Aluminium-Ionen. Auch in diesem natürlichen Waldgebiet kommt es weiterhin zur Verringerung der Vorräte von Ca und Mg im Boden.

17. Allgemein beeinflusst das stark saure Bodenmilieu in Gebirgswäldern bei der Protonenpufferung die Destruktion der Bodenkolloide und entstandene Produkte der Zerlegung (Al), die durch Bodenwasser in die tiefere Horizonte transportiert werden, verursachen eine Beschränkung der Bodenabsorptionskapazität für die alkalischen Kationen. Die Auslaugung von Kationen, die Destruktion von Tonmineralen und die Translokation von Produkten der Zerlegung beschränken die Entwicklung der Produktionsfähigkeit der Böden. Die Änderungen der Bodenchemie, die durch saure Deposition hervorgerufen werden, führen zu Ernährungsstörungen von Waldbeständen.

18. Der Ernährungszustand der Waldbestände in Immissionsgebieten weist eine große Zeit- und Raumdifferenzierung auf. Aus diesem Grund ist es notwendig, bei der Projektierung der Düngungs- und Meliorationsmaßnahmen auf den Waldboden, die lokalen Verhältnisse zu berücksichtigen (siehe Abschnitt 4).

19. In den letzten Jahren haben die bei uns durchgeführten Untersuchungen des Ernährungszustandes der Waldbestände insbesondere auf die Problematik des Magnesiumdefizits bei der Ernährung der Gehölze hingewiesen. Es hat sich ebenfalls ein Zusammenhang zwischen dem Magnesiummangel in der Ernährung und der Defoliation der Bestände gezeigt. Das Vorkommen von Störungen in der Ernährung der Waldbestände in Folge des Kaliumdefizits tritt in unseren Verhältnissen mehr oder weniger vereinzelt auf. Lokal wurde ein Mangel an Kalzium und Phosphor in der Bestandesernährung festgestellt.

20. Im Düngungssystem der Wälder in Immissionsgebieten ist deshalb in der heutigen Zeit am aktuellsten einerseits der Ausgleich des akuten Mangels eines bestimmten Nährstoffes in der Bestandesernährung durch die operative Düngung (in der Regel eine Düngung mit Kalk- und Magnesiumdünger) und andererseits die Kompensation der sauren Niederschläge durch eine Applikation von basischen Meliorationssubstanzen.

V. Kreislauf der Nährstoffe in Waldökosystemen

21. Die Lösung der Regradierung der Waldböden (Standorten), die durch Einfluss von Immissionen oder durch langfristige Schädigung natürlicher bodenbildender Verhältnisse degradiert wurden, durch die Grunddüngung erfordert, die Kontinuität der Ernährungs- und Energiezyklen im Waldökosystem zu berücksichtigen. Entscheidende Bedeutung für den Nährstoffkreislauf in Waldböden hat der Humushorizont. Der Zustand von Bodenhumushorizonten ist deshalb ein wichtiger Weiser für die praktische Projektierung der Meliorationsmaßnahmen auf den Waldböden (siehe weiter Abschnitt 6 I).

22. Die Degradation der Nährstoffkreislaufprozesse (Transformation von organischen Stoffen) ist ein Grundausdruck der Bodendegradation. Zweck der Meliorationsmaßnahmen auf den Waldböden sind Eingriffe, die die gebundenen Prozesse der Transformierung von Stoffen und Energie freistellen. Die chemische Bodenmelioration (Grunddüngung) erfüllt hier eine Funktion des Anfangsimpulses der Regradierungsprozesse. Ihre Grundlage ist die Lieferung der basischen Kationen (Ca, bzw. auch Mg). Einen Beitrag für den energetischen Wert des Nährstoffkreislaufes liefern parallelen Applikationen der Phosphordünger. Erst nach der Normalisierung des Nährstoffkreislaufes durch Kalk und Phosphor kann sich die Wirkung der zusätzlichen Stickstoffdüngung mit Industriedünger als positiv erweisen.

23. Eine unverzichtbare Rolle bei der Sicherung der Regradierung des Nährstoffkreislaufes im Ökosystem nimmt dabei die Standortwahl der entsprechenden Verjüngungs- und Betriebsziele mit notwendiger Beimischung von tiefwurzelnden Laubgehölzen ein. Alleinige Bodendüngung als solche, ohne Anknüpfung an die weiteren waldbaulichen Maßnahmen (Auswahl der Baumartenstruktur und der entsprechenden Phytotechnik), hat meistens eine minimale Wirkung auf die Herbeiführung des Regradierungsprozesses im Ökosystem.

24. Durch einen Komplex waldbaulicher Maßnahmen (inklusive der Düngung) auf den degradierten Waldböden ist es notwendig:

- ein hohes Niveau des Nährstoffkreislaufes im Ökosystem und seine Stabilität sicherzustellen,
- ein Meliorationsverfahren bei der Walderneuerung, bei der Vorbereitung der Verjüngung oder in jüngerem Alter auch unter dem Bestand so einzuordnen, dass der Folgebestand (besonders im 20. bis 40. Jahr nach der Begründung) unter den regradierten Bedingungen aufwächst (Auswahl der Zeit von Düngerapplikationen aus der Sicht des Bestandesumtriebs),
- wenn möglich die Elemente der chemischen Bodenmelioration im Zusammenwirken mit mechanischer Bodenbearbeitung und biologischer Melioration auszunutzen (Komplex von gegenseitig verstrickten und miteinander verknüpften Meliorationsmaßnahmen),
- die fehlenden Nährstoffe auf ein Niveau zu ergänzen, das ihre wirkungsvolle Verwertung im Ökosystem ermöglicht (Auswahl von geeigneten Düngungsarten, deren Dosierungen, Intervalle der Wiederholungseingriffe, Folge der Düngungsmaßnahmen).

VI. Beurteilung der Notwendigkeit von operativen Nährstoffeingriffen

25. Die operative Düngung der Wälder ist vor allem bei den Beständen notwendig, die ein akutes Nährstoffdefizit und deswegen Ernährungsstörungen aufweisen. Ein unbefriedigender Gesundheitszustand von Waldbeständen aus Mangel an Grundnährstoffen ist keinesfalls ein einzelnes Phänomen und bezieht sich auf Bestände praktisch aller Altersklassen. Zur Störung der Ernährung von Gehölzen kommt es besonders in Gebieten mit starkem Immissionseinfluss. Der Zustand der Bestandesernährung weist dabei eine große räumliche und zeitliche Differenzierung auf.

26. Voraussetzung für Planung und Projektierung von Düngungseingriffen ist die Beurteilung des Ernährungszustandes der Bestände und die Untersuchung der Störungsursachen in der Ernährung der Gehölze (s.g. Ernährungsanalyse).

27. Bei der Ernährungsanalyse lassen sich zwei grunddiagnostische Methoden anwenden:

- Bestimmung von Störungen in der Ernährung der Gehölze auf der Basis der visuellen Symptome (Wachstumodynamik der Gehölze, morphologische Abweichungen im Wachstum und Entwicklung der Gehölze, Mangelerscheinungen),
- Untersuchung des Ernährungszustandes der Gehölze nach dem Ergebnis von anorganischen Pflanzenanalysen (insbesondere der Blattanalyse).

28. Die aufgeführten Grundmethoden können nach Bedarf durch weitere Untersuchungen ergänzt werden, z.B. durch Beurteilung der Ernährungsbedingungen der Gehölze durch physikalische Bodenanalysen, biologische Bodentests, diagnostische Düngung, durch Vergleich des Ernährungszustandes der Bestände untereinander oder zwischen einzelnen Bestandteilen, ausführliche anatomische und physikalische Untersuchungen der Pflanzenproben u.a.

29. Durch Beurteilung von morphologischen Veränderungen der Assimilationsorgane der Gehölze (Länge und Volumen der Blätter, Blattform, Länge der Triebe) und Veränderungen in der Blattverfärbung (Manglerscheinungen) kann man meistens nur die Erscheinungen des akuten Nährstoffmangels in der Ernährung wahrnehmen. Den chronischen (latenten) Mangel an pflanzlichen Nährstoffen kann die visuelle Diagnostik in der Regel nicht aufdecken. Die Farbveränderungen können nämlich auch durch andere Einflüsse (Frost, Wirkung der Immissionen u.ä.) hervorgerufen (verzerrt) werden.

30. Auf den akuten Stickstoffmangel kann man bei Gehölzen insbesondere nach folgenden visuellen Symptomen schließen: blass- (hell-) grüne bis vergilbte (gelbgrüne) Färbung aller Blätter (Nadeln), die Blattfärbung tritt auf der Blattfläche gleichmäßig ohne scharfe Übergänge auf, bei Nadelgehölzen bezieht sie sich auf alle Nadeljahrgänge, die Blätter und Nadeln sind oft markant verkleinert, das Längenwachstum der Triebe ist reduziert.

31. Auf akuten Phosphormangel kann man bei Waldgehölzen vor allem nach folgenden visuellen Symptomen schließen: rötliche, violettrote bis kupferbraune Färbung auf Blättern und Nadeln, Flecken an Blättern sind markanter am Rand der Blattspreitenfläche vertreten, Nadelabfall von Triebspitzen.

32. Auf akuten Kaliummangel weisen bei Gehölzen vor allem folgende visuellen Symptome hin: gelbe, auch braune Verfärbung nur an Nadelspitzen oder am Rand der Blattspreitenfläche, die Blätter sind an den Rändern etwas eingewickelt, später werden die Blattränder bräunlich (nekrotisch), bei Nadeln gehen allmählich die gelben Spitzen in grüne Färbung des Basisteils über; später sind die Nadelspitzen nekrotisch (braun) mit scharfem Übergang zu dem gelben Teil, die Nadeln behalten ihre normale Größe, bei gleichzeitigem Stickstoffmangel werden dann die Nadeln auch im Basisteil gelblich.

33. Auf akuten Magnesiummangel kann man bei Gehölzen bei folgenden Manglerscheinungen schließen: bei Laubgehölzen sind die Blätter vergilbt, später mit hellbraunen Flecken zwischen der Nervatur; bei Nadelgehölzen sind Nadeln der älteren Jahrgänge vergilbt (meistens ab 3. oder 4. Jahrgang) während der jüngste Nadeljahrgang grün bis dunkelgrün ist; bei der Kiefer zeigt sich der Magnesiummangel durch typische Vergilbung (mit Übergängen bis zur Orange- oder Goldfarbe) der Nadelspitzen mit scharfem Übergang zur grünen Nadelbasis.

34. Die wichtigste Methode für die Bewertung des Ernährungszustandes von Waldbeständen sind anorganische Pflanzenanalysen, bzw. solche der Blätter (s.g. Blattanalyse). Das Ernährungsniveau wird dabei nach der Konzentration der Nährstoffe in den Blättern beurteilt, bzw. im jüngsten Jahrgang der Nadeln bei nicht laubabwerfenden Nadelbäumen. Die Konzentration der Nährstoffe bezieht sich auf die s.g. hundertprozentige Blattrockensubstanz (die durch Austrocknen der Proben bis zum konstanten Gewicht bei 105 °C festgestellt wird). Mit Hilfe von Auswertungstabellen werden die aktuellen Nährstoffkonzentrationen in Blättern mit minimalen (tabellarischen) Werten der Nährstoffkonzentration für die Sicherstellung der optimalen Ernährung der Gehölze verglichen (siehe weiter).

35. Bei der Entnahme von Blätter- oder Nadelproben für die chemische Analyse ist es notwendig, folgende Grundsätze zu beachten:

- die Proben entnimmt man grundsätzlich vom oberen Kronenteil, bei Nadelgehölzen aus dem 1. Quirl (in einigen Fällen ist die Entnahme vom 3. oder 4. Quirl erlaubt),
- Nadelproben bei nicht laubabwerfenden Nadelbäumen werden während der Vegetationsruhe (Oktober bis Februar) entnommen, bei den Laubgehölzen und der Lärche in der Zeit vor der Herbstverfärbung und dem Abfall der Blätter (d.h. Entnahme im Laufe des Augusts bis September),
- die Größe (Volumen) der entnommenen Proben und ihre Anzahl hängen von dem verlangten Ausmaß und der Qualität der Nährstoffanalyse ab: für die Charakteristik des Ernährungszustandes eines Bestandes (Lokalität) sind praktisch 3 bis 7 Blattproben nötig, dabei sollte jede Probe ein Gewicht von 80 bis 100 g frischer Blätter haben, um nach Aufarbeitung der Proben mindestens 5 – 10 g der Blatttrockensubstanz analysieren zu können.

36. Nähere Einzelheiten über die Probenentnahme für die Blattanalyse bei Waldgehölzen beschreibt Bulletin TEI, Serie Různé/Verschiedenes, Nr. 1/73 (Autor Materna, J.: Odběr vzorků pro listovou analýzu. Jiloviště-Strnady, VÚLHM 1973. 2 s.)

37. Bei der Vergabe von chemischen Analysen an Labors sollten solche analytischen Arbeitsstätten bevorzugt werden, die über ein ausgearbeitetes und eingeführtes System der Qualitätssicherstellung verfügen (Quality Assurance, QA). QA ist ein Komplex technischer, metrologischer und organisatorischer Maßnahmen zur Sicherung von Richtigkeit und Präzision der Labormessungen (also auch die Voraussetzung für die entsprechende Qualität der Blattanalysergebnisse).

VII. Auswertung der Ergebnisse von Blattanalysen

38. Zur Auswertung des Ernährungszustandes von Beständen nach den Blattanalysergebnissen werden verschiedene Auswertungstabellen verwendet. Dabei geht man vom Vergleich der aktuellen Konzentration der Elemente in Blättern mit den „Grenz-“ Werten des Nährstoffinhalts zur Sicherung eines bestimmten Niveaus der Ernährung der Gehölze aus. Das Beispiel einer Auswertungstabelle, die für die Gemeine Fichte und die Waldkiefer unter mitteleuropäischen Bedingungen ausgearbeitet wurde, ist in der Tab. I angeführt.

39. Für unsere einheimischen Hauptbaumarten (Fichte, Kiefer, Buche) wird empfohlen, die Tab. 2 zu benutzen. Diese Tabelle ist für die Grundausswertung des Ernährungszustandes von Beständen ab der 2. Altersstufe aufwärts nutzbar. Für die Jungkulturen, bzw. Bestände der 1. Altersstufe (Baumhöhe 0,5 bis 3,5 m) werden die Werte empfohlen, die in der Tab. 3 aufgeführt sind.

40. Der Vergleich aktueller Ergebnisse von Blattanalysen mit Grenzwerten, die in den Auswertungstabellen aufgeführt sind, bietet nur die Ausgangsinformation über den Ernährungszustand der Bestände. Schlussfolgerungen von Blattanalysen müssen nicht immer ganz eindeutig sein. Der Grund hierfür ist die Tatsache, dass die Nährstoffkonzentrationen in Blättern dynamischen Än-

derungen unterliegen, in Abhängigkeit von der Intensität der Bildung pflanzlicher Biomasse. In Frühphasen des Wachstums (in jüngsten Kulturen) kann die Wuchsentensität der Biomasse (Trockensubstanz) der Intensität der Aufnahme von pflanzlichen Nährstoffen vorausgehen. Die Folge ist eine vorübergehende Konzentrationsabnahme der Elemente in pflanzlichen Geweben. Deshalb kann man hauptsächlich bei den jüngsten Forstkulturen das Limit der Auswertungstabellen zu einem nicht überschreitbaren Richtwert heranziehen (ein Beispiel kann vorübergehendes Sinken der Stickstoffkonzentration in Nadeln von Pflanzen unter Gebirgsbedingungen sein, das diesen Reflex der Pflanzenadaptation auf die neue Umwelt darstellt, bei der die ungenügende Entwicklung des Wurzelsystems zur Sicherstellung der erforderlichen Nährstoffaufnahme aus der Umwelt nicht ausreicht).

41. Nicht einmal das Erreichen „optimaler“ Werte der Konzentration der Elemente in Blättern muss auf der anderen Seite bedeuten, dass der Ernährungszustand der Bestände „optimal“ und ohne Probleme ist. z.B. kann die erhöhte Stickstoffaufnahme zu einer Disharmonie der Gehölzernährung führen, bei der die Dynamik der Stickstoffaufnahme der Aufnahme anderer Elemente, insbesondere der Kationen, nicht entspricht. Dieser Situation kann man heute z.B. bei jungen Kiefernkulturen in Regionen mit einer Deposition der Stickstoffverbindungen begegnen. Die hohen Stickstoffgaben führen zum Anwachsen der Biomasse der Pflanzen, während die unausgewogene Aufnahme anderer Elemente sich bei Mangel des Blattapparats offenbart. Die Erfahrungen zeigen, dass diese Erscheinungen in jungen Kiefernkulturen meistens nur vorübergehenden Charakter besitzen.

42. Die Auswertung der Blattanalysen ergänzt man mit einer Bewertung von Beziehungen zwischen einzelnen Nährstoffen, evt. mit weiteren Untersuchungen (Nährstoffbilanz in anderen Pflanzenorganen, detaillierte physiologische Untersuchungen). In schwierigen Fällen, in denen eine eindeutige Ableitung nicht möglich ist, welches Element die Ernährung der Gehölze begrenzt, oder in denen die Ernährungsstörungen durch Wirkung anderer kritischer Faktoren überdeckt sind, empfiehlt man, die Auswertung des Ernährungszustandes mit spezialisierten Fachberatungsstellen zu besprechen (siehe Abschnitt 8), vor allem mit OAPVR ÚKZÚZ.

VIII. Projektierung von operativen Düngungseingriffen

43. Die Ergänzung der Defizitelemente bei der Ernährung der Gehölze durch operative Düngung kommt in Beständen beliebiger Altersstufe in Betracht. Nach dem Alter und der Dichte der Bestände (bzw. der Erreichbarkeit der Bestände für die Applikationstechnik) wird über flächige oder lokale Düngerapplikation entschieden. Der punktuellen Düngerapplikation gibt man Vorrang in den jüngsten, noch nicht erschlossenen Beständen oder im anderen Extrem in alten lückigen (lichten) Beständen.

44. Die Zeit der Düngungsapplikation wählt man so, dass die Gehölze eine maximale Menge der durch Dünger verabreichten Nährstoffe aufnehmen können. Die geeignetste Zeit für die operative Düngung der Wälder liegt allgemein im Frühling. Leicht lösliche Dünger sollen erst dann appliziert werden, wenn das Wurzelwachstum der Gehölze im Frühjahr anfängt und die dargereichten Nährstoffe von Gehölzen aufgenommen werden können. Mit Stickstoffdünger darf man in der Vegetationsperiode nicht zu spät düngen, damit die Jahrestriebe der Gehölze im Herbst das Wachstum ordnungsgemäß beenden und verholzen können (der äußerste in der Literatur erwähnte Termin ist in der Regel die Julimitte). Kalk- und Phosphordünger kann man meistens das ganze Jahr applizieren. Die Frage eventueller Ap-

pplikation auf den Schnee muss stets sorgfältig überlegt werden (Schneebewegung und mögliche Verlagerung der Dünger).

45. Auswahl des Düngers, seine Dosierung und Art der Applikation werden grundsätzlich individuell für jede Lokalität festgelegt.

46. Die Grundsätze der Anwendung von flüssigen Industriedüngern beschreibt das Bulletin TEI, Serie Pěstování/Waldbau, Nr: I/90 (Autor: J. Materna, 1990).

47. Bei geeigneter Anwendung von Flüssigdünger (richtige Dosis und Konzentration des Düngers, geeignete Zeit und Art der Applikation) können schnell akute Fälle des Nährstoffmangels in Waldbeständen beseitigt werden. Risiken, die aus den Eigenschaften der Flüssigdünger hervorgehen (Beschädigung der Assimilationsorgane durch hohe Dosierung des Düngers bei ungünstigen meteorologischen Verhältnissen, Abschwemmung des Düngers in den Boden bei folgenden Niederschlägen), relativ niedrige Dosis des Düngers pro 1 ha und hohe Kosten zumeist bei ihrer Flugapplikation beschränken die Anwendung von Flüssigdünger auf spezifische Fälle der Walddüngung (z.B. außergewöhnlich wertvolle Schutzbestände in unzugänglichen Terrainbedingungen, wo die schnelle Wirksamkeit des Eingriffs gefordert ist und wo die ökonomischen Standpunkte zweitrangig sind).

48. Von den Industriedüngern verwendet man zur operativen Düngung auch feste Pulver- oder Granulatdünger. Aus der Sicht des Nährstoffinhalts geht es entweder um Einkomponenten-, bei Bedarf auch um Mehrkomponenten-Dünger:

49. Zur operativen Beseitigung der Störungen in der Stickstoffernährung bevorzugt man Stickstoffdünger mit Stickstoff, der in Nitratform gebunden ist (Salpeter). Physiologisch sauer wirkendes schwefelsaures Ammoniak hat in der Forstwirtschaft beschränkte Verwendung (es wird nur in spezifischen Fällen der Düngung auf alkalischen Böden oder in Gebieten mit Deposition von alkalischen Kationen verwendet). Verwendung des Harnstoffs ist an Böden mit genügendem Vorrat an organischer Substanz gebunden (bei Umwandlung der Stickstoffverbindungen erfüllt die organische Substanz eine Rolle bei der Absorption der Zerlegungsprodukte). Beim Harnstoff tritt auch das Risiko der Verluste von appliziertem Stickstoff durch Verflüchtigung des Ammoniaks in die Luft hinzu.

50. Bei Beseitigung der Ernährungsstörungen der Gehölze durch Phosphor sind Superphosphate und Zitratphosphate, evt. gemahlene Rohphosphate oder Mehle mit P-Inhalt verwendbar. Auf den stark sauren Waldböden und auf alkalischen biologisch wenig aktiven Böden kann es zur Retrogradation des applizierten Phosphors auf unlösliche Formen des Phosphors kommen. Um diesem Risiko vorzukommen, werden vorangehende Meliorationsinstandsetzungen ungünstiger Bodeneigenschaften erforderlich (z.B. Senkung der Bodensäure durch Applikationen basischer Meliorationsmaterialien).

51. Zur Beseitigung der Ernährungsstörungen der Gehölze durch Kalium und Magnesium haben sich schwefelsaure Kali-Magnesium-Dünger des Typs Kieserit bewährt. Kalium- und Magnesiumsalze mit Chlorinhalt haben in der Forstwirtschaft beschränkte Verwendung (man verwendet sie insbesondere nicht für auf Chlor empfindliche Nadelgehölze). Ausgeprägter Mangel nur an Kalium wird mit Kaliumsulfat, akute Ernährungsstörungen durch Magnesium durch in Wasser schnell löslichem Magnesiumsulfat (s.g. Bittersalz) oder durch Kieserit korrigiert. Auf Lokalitäten im Gebirge mit ausgeprägten Mangelerscheinungen des Magnesiums wird die Verwendung beider Dünger gemeinsam mit Dolomitmalkstein empfohlen.

52. Die Auswahl der Düngerdosierungen muss stets die lokale Bedingungen berücksichtigen (Applikationstechnik, Terrainverhältnisse, Düngerstreuaufwendungen, Beschränkungsfaktoren aus der Sicht der wasserwirtschaftlichen Waldfunktion, Naturschutz u.ä.).

53. Einmalige Dosierungen der Industriedünger sollten nicht 100 bis 150 kg r.N, 150 bis 180 kg r.N, P, 200 kg r.N, K und 120 kg r.N, Mg pro 1 Hektar übersteigen. Dagegen applizieren wir nicht getrennt feste Industriedünger, die niedriger als 10 kg r.N, P, 25 kg r.N, K und 10 kg r.N, Mg pro 1 ha haben (aus der Sicht der Effektivität kann man es ökonomisch nicht begründen; weiter entsteht das Problem der Wahl der Applikationstechnik und der Sicherstellung von regelmäßigem Ausbringen des Düngers auf der Fläche).

54. Bei der Ausrechnung der Düngerdosierungen ist es erforderlich, den Umstand zu berücksichtigen, dass oben aufgeführte empfohlene Dosierungen (siehe Abschnitt 53) reine Elemente – Nährstoffe (d.h. als r.N, P, K, Mg u.ä.) sind, während die Inhalte der Nährstoffe in Industriedüngern öfters als Oxyde ausgedrückt werden (d.h. P_2O_5 , K_2O , MgO u.ä.). Das erfordert, bei den Ausrechnungen der Dosierungen von Industriedünger die Umrechnung der Elemente auf Oxyde, bzw. umgekehrt, zu berücksichtigen. Prinzipiell geht die Umrechnung aus den Verhältnissen der Atomvalenzen einzelner Elemente in den Verbindungen hervor. Die Umrechnungskoeffizienten von einigen wichtigen Nährstoffen sind in der Tabelle 4 aufgeführt.

55. Die Festlegung der Flächendosierung für konkrete Industriedünger wird nach folgender Formel durchgeführt:

$$h = \frac{M \cdot 100}{z}, \text{ wo}$$

h = Menge des applizierten Düngers (in kg/ha),

M = Düngungsmenge des gegebenen Nährstoffes (in kg/ha),

z = Nährstoffinhalt im verwendeten Dünger (in %) ist.

56. Die allgemeine rechtliche Bedingung für die Verwendung konkreter Industriedünger zur Walddüngung ist ihre Registrierung (siehe § 4 und 5 des Gesetzes Nr. 156/1998 Slg. über Dünger, Hilfsbodenstoffe, pflanzliche Hilfspräparate und Substrate und über agro-chemische Untersuchungen der landwirtschaftlichen Böden), die das Ressort der Agrochemie, des Bodens und der Pflanzenernährung ÚKZÚZ, die Abteilung der Registrierung der Dünger durchführt (Adresse: Za Opravnou 4, CZ - 156 06 Praha/Prag 5 – Motol).

IX. Grunddüngung von Waldböden

57. Mit der Grunddüngung liefern wir dem Boden Nährstoffe zum Zweck der Regulierung ungünstiger Bodeneigenschaften, bzw. zur Verbesserung der Wachstumsverhältnisse (Fruchtbarkeit) des gegebenen Standortes. Ziel ist in der Regel die Aktivierung und Intensivierung des Nährstoffkreislaufes im Waldökosystem (siehe Kap. V). Chemische Melioration der Waldböden (Grunddüngung) erfüllt hier die Funktion des Anfangsimpulses der Regradierungsprozesse.

58. Grundlage für die Projektierung der Bodengrundsüdüngung auf gegebener Fläche sind in der Regel die Ergebnisse detaillierter Pedologieuntersuchungen der fraglichen Lokalität. Die Pedologie-, bzw. Meliorationsuntersuchung führen spezialisierte Arbeitsstätten durch. Nach § 11 des Gesetzes Nr. 156/1998 Slg., über Dünger, Hilfsbodenstoffe, pflanzliche Hilfspräparate und Substrate und über agro-chemische Untersuchungen der landwirtschaftlichen Böden ist mit der Ermittlung von Bodeneigenschaften der Forstflächen die ÚKZÚZ beauftragt, die die chemischen Probenanalysen und die Auswertung der Ergebnisse dieser chemischen Analysen durchführt. Bei den einzelnen Projekten der Waldflächendüngung stehen für die Probenentnahmen ausschließlich juristische oder physische Personen zur Verfügung, die vom Landwirtschaftsministerium der Tschechischen Republik beauftragt wurden (z.B. ÚHÚL).

59. Die Grunddüngung der Waldböden wird in der Regel bei Feststellung ungeeigneter Humusformen, bei Anwachsen der Bodenazidität, die zur Bildung eines ungesättigten Absorptionskomplexes führt, bei der Feststellung markanter Nährstoffverarmung des Bodens u.ä. appliziert. Die Grunddüngung der Waldböden wird gewöhnlich durch ganzflächige Streuung der langzeitwirkenden Dünger auf die Waldflächen durchgeführt. (Waldböden, vor allem in Gebieten mit markantem Einfluss klimatischer Bedingungen, tendieren auf den ärmeren Standorten bei ungenügender Zersetzung des Abfalls zur Bildung vom Rohhumus. Ungeeignete Wirtschaftsmethoden in der Vergangenheit, wie die Streunutzung, Kahlschlagwirtschaft, Begründung von Nadelmonokulturen auf ungeeigneten Standorten u.ä., und die sich vertiefende Bodenversauerung unter dem Einfluss von anthropogenen Immissionen führen zur anhaltenden Verbreitung der Degradationsstadien der Waldökosysteme. Anhäufung der schwer zersetzbaren Rohhumusmasse führt zur Blockierung von Nährstoffen, die in der organischen Substanz enthalten sind, mit der Folge der chemischen Bodendegradation. Ausdruck dieses Prozesses ist die fortschreitende Bodenversauerung, der Verlust der Absorptionseigenschaften in oberen Bodenschichten und die Gesamtabenkung der biologischen Bodenaktivität. Folge der Bodenveränderungen sind Verminderung des Wachstums der Kulturen oder der Bestände, Verminderung der Widerstandsfähigkeit der Gehölze gegen biotische Schädlinge, Störungen in der Ernährung der Bestände, Verminderung der Fruktifikation der Bestände, Beschränkung bis Einstellung der Naturverjüngung des Waldes u.ä.).

60. Die beschriebenen negativen Erscheinungen der Verminderung der Produktionsfähigkeit des Waldstandortes werden durch die Grunddüngung behoben, die sich auf die gemeinsame Anwendung langzeitwirkender Kalk- und Phosphordünger stützt (siehe Abschnitt 22). Parallele Anwendung von Kalium- und Kaliummagnesiumdünger kommt unter unseren Verhältnissen nur in spezifischen Fällen in Betracht. Auf den Böden mit primär oder sekundär niedrigem Magnesiumgehalt werden basische Meliorationsmaterialien mit Mg-Anteil bevorzugt (Dolomitskalksteine oder Silikatgesteinsmehle mit Mg-Inhalt).

61. Die Dosierung der Kalkdünger richtet sich nach dem aktuellen Stand des Bodenabsorptionskomplexes, dem Wert der Bodenazidität; dabei werden vor allem die Mächtigkeit der Humushorizonte (Stärke des Bodenhorizonts A_F und A_{H1}), bzw. andere Faktoren (z.B. Hangneigung) berücksichtigt. Die Grundübersicht für empfohlene Kalkdüngermengen, bei Respektierung dieser Kriterien, auf Standorten der Gebirgs- und Tieflagen ist in den Tabellen 5 und 6 aufgeführt. In der Regel werden auf die Waldflächen die Mengen im Rahmen von 400 bis 1600 kg r.N. Ca pro 1 Hektar (d.h. umgerechnet 1,0 bis 4,0 Tonnen Kalkstein pro 1 ha) aufgebracht.

62. Mit den Kalkdüngern werden in der Grunddüngung parallel die Phosphordünger in Mengen von 40 bis 80 kg r. N. P pro 1 ha appliziert. Von der Düngung mit Phosphordünger wird nur auf mit Phosphor gutversorgten Böden Abstand genommen. Die Applikation von Phosphordüngern soll der Aktivität von Bodenorganismen dienen und dadurch die Bodenregradierungsprozesse intensivieren (siehe Abschnitt 22).

63. Zur Einreicherung des Kalziums verwendet man meistens Karbonatgesteinsmehle (gemahlene Kalksteine, Dolomite) oder basische Silikatmehle (zerkleinerte und gemahlene eruptive oder umgewandelte Gesteine mit hohem Ca- und Mg-Gehalt). Im Vergleich mit Karbonaten weisen Silikatgesteine eine langsamere Wirkung auf die Bodenchemie auf. Auch die Zufuhr anderer Nährstoffe (Kalium und Phosphor) oder von Spurelementen in das Ökosystem ist bei Silikatgesteinen bedeutend, darüber hinaus die Wirksamkeit der Silikate auf die physikalischen Bodeneigenschaften (durch Verwitterungseinfluss lehmiger Minerale). Als Nachteil von Silikatgesteinen erweist sich die Notwendigkeit, höheres Volumen von Meliorationsmaterialien auf eine Flächeneinheit zu applizieren, was die Ausbringungsgesamtkosten erhöht. Im Ausland pflegt dieses Problem in der Regel so gelöst zu werden, dass die geeignete Karbonat- und Silikatgesteine mit verschiedenen Anteil gemischt und zusammen appliziert werden. Der Karbonatbestandteil des Düngers wirkt in naheliegender Zeit nach der Applikation schneller, der Zusatz von Silikatgestein stellt eine längerfristige Wirksamkeit des Düngers sicher.

64. Laut Auslandsliteratur wirkt oberflächenhaft ausgebrachter Kalkdünger, ohne Einarbeitung in den Boden, bis in eine Tiefe von 30 cm über den gegenwärtigen Zeitraum hinaus bis hin zu einigen Jahrzehnten. Aus im Ausland durchgeführten Beobachtungen geht z.B. hervor, dass noch nach zwanzig Jahren nahezu 70 % des zugeführten Kalziums in der Rhisosphäre der Gehölze absorbiert wurde.

65. Für die Grunddüngung der Wälder erweisen sich gemahlene natürliche Phosphate als die besten Phosphordünger, von Industriedüngern bieten sich z.B. die Superphosphate an. Je nach Bedarf kann die Dosierung der Naturphosphate bis um 50 % erhöht werden (gegenüber der im Abschnitt 62 aufgeführten Angabe), da sie sich nur schwierig aus dem Boden ausschwämmen lassen. In der Regel kann man sie parallel zum Naturkalkdünger ausbringen (Kalkstein, Dolomit, Silikatgesteinsmehle).

66. Wenn man zur Grunddüngung auch andere Dünger als Kalk- und Phosphordünger verwendet (Kalium-, Magnesium-, ausnahmsweise auch Stickstoffdünger), eventuell auch deren Kombinationen, wird die Applikationsmenge der Dünger nach ihrer chemischen Zusammensetzung, nach den Eigenschaften der Dünger und nach der Meliorationsmaßnahme bestimmt.

67. Empfohlene Kalkdüngermengen (siehe Abschnitt 61) kann man in den konkreten Fällen um 25 bis 30 % erhöhen (max. auf 2000 kg r. N. Ca pro 1 ha). Die Erhöhung der Applikationsmengen der Dünger bezieht sich in der Regel auf:

- Standorte auf schweren lehmigen und tonlehmigen Böden,
- Standorte der kalten Klimate bei der Rohhumusschicht über 10 – 15 cm,
- sehr dichte Nadelbaumbestände, die nach und nach in Bestände mit wertvollen Laubgehölzen (Buche) überführt werden sollen.

68. Im Gegensatz zu den weiter (unten) spezifizierten Bedingungen werden sich die empfohlenen Mengen der Kalkdünger (aufgeführt im Abschnitt 61) etwa (mindestens) um 25 % verringern:

- bei lichten oder verlichtenden Beständen,
- in Beständen, in denen die waldbaulichen Eingriffe parallel geplant werden, bei denen es zur Verringerung der Bestandesdichte kommt (Jungwuchspflege, Durchforstungen),
- da, wo die mechanische Einarbeitung des Düngers in die obere Bodenschicht durchgeführt wird,
- in den Lokalitäten, in denen es noch nicht zum Kronenschluss der Kulturen oder der Naturverjüngung gekommen ist.

69. Unter dem Gesichtspunkt der Wirkung auf die chemischen Abläufe im Waldboden ist es in der Regel möglich, die Kalkdünger (Karbonat- und Silikatgesteinsmehle) in jeder Jahreszeit zu applizieren (siehe Abschnitt 44). Aus Sicht der Touristikhäufigkeit und Grundsätzen des Naturschutzes sind Kalkdünger in einzelnen Naturwaldregionen im Vorfrühling oder Spätherbst am besten für die Ausbringung geeignet. Die Teilbeschränkung (Empfehlung) gilt vor allem für gemahlene oder mikrogemahlene Dünger; keineswegs für die granulierten Dünger:

70. Zum Erreichen der erforderlichen Rohhumuszersetzung in Endnutzungsbeständen ist es nötig, die Meliorationseingriffe spätestens 5 bis 10 Jahre vor Beginn der Waldverjüngung durchzuführen. Unter ungünstigen klimatischen Bedingungen fängt man mit der Grunddüngung der Waldböden schon in einem 20 Jahre umfassenden Zeitraum vor dem eigentlichen Beginn der Walderneuerung an.

71. Die Applikation von Kalkdüngern zur Unterstützung der Naturverjüngung von Beständen oder des Laubbaumunterbaus in Nadelbaumbeständen hat Sinn, solange es nicht durch Auslichtung beim Schirmschlag zur natürlichen Mineralisation des Rohhumus und der oberen Humusschicht gekommen ist.

72. In stärker ausgelichteten Altbeständen, die zur Verjüngung vorgesehen sind, nimmt man von der Ausbringung der Kalkdünger Abstand, solange die Humusdeckschicht geringer als 4 cm ist und die Indikatorpflanzen einen günstigen Verlauf der Mineralisation anzeigen. Bodenmelioration durch Kalkung und Applikation von basischen Silikatmehlen wird dann erst nach der Bestandeseerneuerung durchgeführt (im Stadium des geschlossenen schwachen Stangenholzes oder später).

73. Die mechanische Einarbeitung von Kalk- und Phosphordüngern in den Boden beschleunigt die Rohhumuszersetzung. Bei der Bodenbearbeitung kommt es aber in den Beständen zu beträchtlichen Wurzelbeschädigungen (Risikoerhöhung der Infektionsverbreitung durch Holzpilze und Erhöhung der Windwurfgefahren). Deshalb ist es notwendig, die mechanische Einarbeitung von Düngern in den Boden auf die dringlichsten Fälle zu beschränken.

74. Bei der Meliorationskalkung auf Kahlflächen sind die ökologischen Risiken der Kalkdüngung beträchtlich (schnelle Humusmineralisation, Verlust von Nährstoffen, starke Flächenverunkrautung). Das gilt vor allem bei Einarbeitung von Karbonatmehlen durch Fräsen oder Pflügen in den Boden. Sie wird daher nur in Ausnahmefällen durchgeführt, wenn durch Meliorationserkundung eine nachweisbare chemische Bodendegradierung, evt. Einfluss von Immissionen, bestätigt wurde.

75. Die Wirksamkeit der Ausbringung basischer Silikatgesteine zur Grunddüngung von Waldböden unter Beständen wurde unter unseren Bedingungen noch nicht überprüft. Im Bayern und Österreich gewonnene Erkenntnisse deuten langfristig gesehen auf eine Verbesserung der Bodenverhältnisse hin. Positive Wirkungen kann man vor allem auf körnigen, leicht sandigen oder im Gegensatz auf schweren, tonigen Böden erwarten, die arm an Basenelementen sind. Die basischen Silikatmehle verwitern langfristig und beeinflussen den Prozess der Bodenversauerung nur beschränkt. Ihre Anwendung unter Beständen ist daher beschränkt und nach den bisherigen Auslandserkenntnissen in durchlichteten Beständen oder auf Kahlflächen ökologisch möglich. Ein Nachteil ist die Verwendung hoher Mengen von Meliorationsmaterialien. Sie werden dort empfohlen, wo man bei Verwendung von Karbonatgesteinen (Kalkung) eine risikoreiche Ausschwemmung des Stickstoffs auf durchlässigen Böden erwarten kann.

76. Der Grundsatz, dass das Genehmigungsverfahren beendet sein muss, bzw. dass die Registrierung der Dünger bei dem OAPVR erfolgt sein muss (siehe Abschnitt 56), ist auch für alle Kalkdünger inklusive basische Silikatmehle gültig.

X. Düngung bei Erneuerung von Waldbeständen in Immissionsregionen

77. Die Düngung bei der Verjüngung der Waldbestände in Immissionsgebieten schließt die Elemente der Grunddüngung von Waldböden sowie die der operativen Düngung der begründeten Kulturen, mit ein. Für die Düngung von Beständen in Immissionsregionen gelten voll die Grundsätze, die im Abschnitt 58 aufgeführt wurden. In Immissionsgebieten ist es nötig, dass sich Meliorations- und Düngungsmaßnahmen aneinander anschließen und somit ein in sich abgeschlossenes Düngungssystem bilden. Das Düngungssystem muss dabei an die Reihenfolge anderer waldbaulicher Maßnahmen bei der Walderneuerung anknüpfen und mit ihnen einen unteilbaren Komplex bilden.

78. Unter unseren Verhältnissen werden die Folgen der Düngung bei der Walderneuerung in Immissionsgebieten nicht nur an die Degradation des Nährstoffkreislaufes im Ökosystem durch Grunddüngung oder an die operative Beseitigung der akuten Störungen bei der Ernährung der Gehölze beobachtet, sondern auch ihre weiteren Wirkungen. Dazu gehören vor allem die Beseitigung des negativen Einflusses der sauren Depositionen auf den Boden und auf Waldbestände durch Kompensationsdüngung und die Verbesserung der Wachstumsbedingungen für die begründeten Waldkulturen (Düngung in den Kulturen). Gemeinsames Ziel des Komplexes von Düngungs- und Meliorationsmaßnahmen bei der Walderneuerung in Immissionsgebieten ist vor allem die erfolgreiche Vollendung der Waldverjüngung und die Sicherung der angelegten Kulturen.

79. Ausgangselement der Düngung in Immissionsgebieten ist die Durchführung der Bodengrunddüngung mit 5 bis 10- (20-) jährigem Vorsprung vor dem Anfang der Bestandesverjüngung (Abschnitt 70).

80. Mit 2 bis 3-jährigem Vorsprung vor der Aufforstung der zur Verjüngung vorgesehenen Flächen (spätestens aber vor der Bodenvorbereitung für die Aufforstung) wird eine Kontrolle des Bodenzustandes der zur Verjüngung anstehenden Bestände (vor allem die Beurteilung der Qualität und der Quantität des Humushorizontes, Laborbestimmung der Bodenazidität und der Eigenschaften des Bodenabsorptionskomplexes, bzw. des Nährstoffgehalts im Boden) durchgeführt und auf ihrer Basis wird über die Notwendigkeit der chemischen Bodenmelioration durch basische Melio-

rationsgesteine (Karbonat- oder Silikatmehle) oder durch andere Dünger und über die Art ihrer Applikationen auf den Boden, bzw. in den Boden, entschieden.

81. Die Regulierung der Bodenchemie (Applikation der basischen Materialien oder der Mangelnährstoffe im Boden) wird entweder ganzflächig auf dem verjüngten Bestand (noch vor dem Bestandeshieb), oder erst bei der Bodenvorbereitung für die Aufforstung durchgeführt. Die Düngerauswahl und die Art ihrer Applikation hängen von den lokalen Verhältnissen ab. Als Unterlagen müssen die Ergebnisse der Bodenkontrolle dienen, bzw. die Erhebung der Bodeneigenschaften der von ÜKZÜZ untersuchten Waldflächen. Angaben zu den Düngungsmengen, die in den Abschnitten 53, 61 und 62 aufgeführt sind, haben für die Düngung in Immissionsgebieten nur Orientierungscharakter.

82. Je nach den Möglichkeiten kann ein Teil der Kalk- und Phosphordünger direkt in die Pflanzlöcher appliziert werden. Es wird eine sorgfältige Durchmischung der gelieferten Meliorationsmaterialien mit dem Mineralboden und der organischen Bodenmasse empfohlen. Bei Verwendung von gemahlenem Kalkgestein wird eine Menge von ca. 0,1 bis 0,5 kg pro Pflanzloch verwendet, bei den Silikatgesteinsmehlen kann man diese Menge auf 0,3 bis 1,0 kg pro Pflanzloch erhöhen. Im Bedarfsfall wird in das Pflanzloch noch eine kleine Menge Phosphor, Kali- oder Magnesiumindustriedünger (10 bis 20 g Dünger pro Pflanzloch) beigemischt.

83. Durch Grunddüngung vor Anfang der Walderneuerung und durch Düngung bei der Vorbereitung des Standortes (des Bodens) für die Aufforstung werden die Voraussetzungen für ein erfolgreiches Herauswachsen der begründeten Kulturen geschaffen. Eine Folgemaßnahme der Düngung bei der Walderneuerung in Immissionsgebieten ist die Düngung in angelegten Kulturen.

84. Die Düngung bei der Begründung forstlicher Kulturen fällt manchmal zeitlich mit den Meliorationsmaßnahmen in den Boden bei der Vorbereitung des Standortes für Aufforstung zusammen. Durch die Applikation der basischen Meliorationsmaterialien oder der Phosphordünger bei der Bodenvorbereitung zur Aufforstung verfolgt man vor allem die Verbesserung der Bodenchemie der Aufforstungsflächen. Die Ziele der Kulturdüngung sind ein wenig unterschiedlich. Es geht dabei vor allem um die Wachstumsstimulierung der Waldkulturen und um die Verbesserung ihres Gesundheitszustandes, bzw. ihrer Widerstandskraft gegen die Wirkung von Klimastress, Einfluss von Immissionen und biotischen Schädlingen.

85. Düngung in angelegten Kulturen und jungen Beständen führt man ebenfalls dann durch, wenn sich ein Defizit von Bioelementen in der Ernährung von Kulturen ergibt oder wenn man im Verlauf der Erziehung jüngerer Bestände die eingesprengten Gehölze mit natürlich hohen Standortsansprüchen (Laubbaumarten in Fichten- oder Kieferbeständen) unterstützen sollte.

86. Zur Verbesserung des Wachstums und des Gesundheitszustandes von Forstkulturen, die in Immissionsregionen angelegt wurden, verwendet man in der Regel Mehrkomponentendünger mit Stickstoffgehalt (kombinierte Dünger des Typs NPK) oder nur Einkomponentendünger (vor allem Stickstoffdünger; bzw. andere Einkomponentendünger; wenn das Wachstum der Kultur durch einen konkreten Nährstoff limitiert ist).

87. Geschlossene Dickungen und Schwachholzbestände werden indessen nicht mit stickstoffhaltigem Dünger gedüngt. Einer der Gründe beruht auf dem Interesse an der Verringerung der Individuenzahl, ein weiterer darauf, dass Stickstoffdüngung zu erhöhter Bildung relativ schwacher, schwer absetzbarer (verwertbarer) Sortimente führt. Darüber hinaus verlängert Düngung den Zeitraum der natürlichen Astreinigung von Bäumen. Nach den ersten Pflegemaßnahmen (Säuberungen, Jungwuchspflege) belassenes und nachfolgend vermodernendes Reisig unterstützt dann zusammen mit der punktuellen Bodenverwundung die natürliche Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit und ein höheres Bestandeswachstum.

- 88.** Die Düngerauswahl für die Düngung von Kulturen in Immissionsgebieten, ihre Dosierung und die Art der Applikation werden grundsätzlich individuell für einzelne Lokalitäten bestimmt.
- 89.** Die ganzflächige Düngung von neu begründeten und früher begründeten Forstkulturen, die jünger als 5 Jahre sind, ist außergewöhnlich; hier überwiegen die Applikationen von Pulver- und Granulatdünger auf die Bodenoberfläche bei einzelnen Pflanzen (s.g. individuelle Düngung „auf Platz“) oder es setzen sich hier (insbesondere in den letzten Jahren) Spezialtypen von Industriedüngern, die vorzugsweise für Nachdüngung von Forstgehölzpflanzen in Kulturen, bzw. in Immissionsregionen, entwickelt wurden, durch.
- 90.** Die Düngung von Forstkulturen durch schnell löslichen festen Industriedünger in der Zeit der Aufforstung (s.g. Düngung „in Pflanzloch“) ist in spezifischen Fällen anwendbar. Der Grund ist das Risiko der Beschädigung von Pflanzenwurzeln durch hohe Konzentration von Salzen in der Bodenlösung bei ungünstigem Witterungsverlauf nach der Applikation, weiter die beschränkte Möglichkeit der Pflanzen, unmittelbar nach der Pflanzung gelieferte Nährstoffe aufzunehmen (Adaptation der Pflanzen an die neue Umwelt, Entwicklung des Pflanzenwurzelsystems) und mögliche Pflanzenausfälle durch Eingehen unmittelbar nach der Pflanzung u.ä. Zur Düngung „in Pflanzloch“ werden deshalb vor allem spezielle Typen von Industriedüngern bevorzugt, die die Nährstoffe langfristig in das Bodenmilieu freigeben. Dieses Erfordernis erfüllen einige formierte, granuliert, umhüllte oder pulverisierte Industriedünger, die speziell für Düngung in Waldkulturen hergestellt werden.
- 91.** Bei der Wahl der Düngermengen berücksichtigt man den aktuellen Zustand der Kultur. Eine empfohlene Dosierung für Düngung von Kulturen unterschiedlichen Alters mit gängigen Arten von Industriedüngern gibt Tabelle 7 an.
- 92.** Aus Sicht des Kulturalters führt man die Anfangs- (Erst-) Düngung der Kultur gewöhnlich frühestens 1 bis 2 Jahre nach der Pflanzung durch, spätestens im 4. Jahr nach der Pflanzung. Den Düngungseingriff wiederholt man in Immissionsgebieten nach Bedarf 2 bis 4 mal, bis die Kultur geschlossen ist.
- 93.** Die Düngung der Kultur mit Stickstoff- und Mehrkomponentendünger mit Stickstoffgehalt ist notwendigerweise in einer Zeitperiode durchzuführen, in der die gelieferten Nährstoffe von den Pflanzen voll aufgenommen werden können, d.h. im Frühjahr in der Zeit des Austreibens neuer Triebe, spätestens dann bis Mitte Juli. Die Sommer- und Herbst- (Spät-) Stickstoffdüngung der Waldkulturen ist, mit Ausnahme spezifischer Fälle, in der Regel nicht erlaubt. Dieses gilt allgemein auch für die Kulturdüngung in Immissionsgebieten, die im Abschnitt 44 aufgeführt sind.
- 94.** Wenn die applizierten festen Industriedünger an Vegetationsorganen der Pflanzen anhaften, sind diese zweckmäßigerweise abzuschütteln, da einige Typen dieser Dünger die Beschädigung von Pflanzengewebe durch „Verbrennung“ hervorrufen können.
- 95.** Den Komplex der Düngermaßnahmen bei der Walderneuerung in Immissionsgebieten ergänzt man je nach Bedarf um die Kompensationsdüngung mit basischen Meliorationsmaterialien. Nach 3 - 5 Jahren von der Kulturanlage her gesehen (bzw. von der letzten Applikation basischer Meliorationsstoffe) führt man auf den Flächen ergänzende Bodenanalysen durch. Auf ihrer Basis entscheidet man über einen eventuellen Bedarf an Kalkung der Kulturen. Ziel der Maßnahme ist es, die anthropogene Azidität der Waldböden zu regulieren, bzw. den Einfluss der sauren Depositionen am Ökosystem zu kompensieren.

XI. Empfohlene Dokumentation über Walddüngung

96. Für jeden Fall der Düngerapplikationen auf dem Waldbodenfonds sollten schriftliche, bzw. kartierte und andere Dokumentationsmaterialien über die realisierten Meliorations- und Düngungsmaßnahmen ausgearbeitet und archiviert werden.

97. Die Grunddokumentation über Walddüngung sollte beinhalten:

- Auswertung der Natur- und Produktionsbedingungen der interessierenden Lokalitäten,
- Angaben über durchgeführte Entnahmen der Boden- und Blattproben und die Art ihrer Verarbeitung (Karte der Bodenprofilgruben oder des Bodenprofilnetzes, Beschreibung der Bodenprofile, Vorbereitungstechnik der Probengemische, Art der Probenübergabe an das Labor, Übersicht der durchgeführten Laboranalysen, Beschreibung analytischer Methoden u.ä.),
- Evidenzlisten der Boden- und Blattanalysen, bzw. Laborprotokolle und Ausgaben (Empfehlung der Düngerdosierungen),
- Angaben der Betriebsevidenz über realisierte Maßnahmen (technologische Karten der Walddüngung),
- Ergebnisse der Qualitätskontrolle der applizierten Dünger.

XII. Gesetz über Dünger und ergänzende Rechtsvorschriften

98. Den rechtlichen Grundrahmen auf dem Sektor der Verbesserungen der Waldböden und der Ernährung der Waldbestände durch Düngung liefert das Gesetz Nr. 156/1998 Slg.^{*)} über Dünger, Hilfsbodenstoffe, pflanzliche Hilfspräparate und Substrate und über agro-chemische Untersuchungen landwirtschaftlicher Böden (Düngergesetz), in der Fassung des Gesetzes Nr. 308/2000 Slg., und ihrer weiteren Durchführungsverordnungen: Verlautbarung des MZe ČR Nr. 474/2000 Slg., über die Bestimmung der Anforderungen an Dünger; Verlautbarung des MZe ČR Nr. 273/1998 Slg., über Entnahmen und chemische Analysen der Düngerproben, in der Fassung der Verlautbarung Nr. 475/2000 Slg., der Verlautbarung des MZe ČR Nr. 274/1998 Slg., über Lagerung und Art der Verwendung der Dünger, in der Fassung der Verlautbarung Nr. 476/2000 Slg., der Verlautbarung des MZe ČR Nr. 275/1998 Slg., über agro-chemische Untersuchungen landwirtschaftlicher Böden und der Ermittlung von Bodeneigenschaften der Waldflächen, in der Fassung der Verlautbarung Nr. 477/2000 Slg.

*) Slg. = (die) Sammlung der Gesetze der Tschechischen Republik; orig. in Tschechisch: Zákon číslo 156/1998 Sbírky zákonů ČR

99. Der § 6 (Düngung der Waldflächen) der Verlautbarung des MZe ČR Nr. 274/1998 Slg. über Lagerung und Art der Verwendung der Dünger, in der Fassung der Verlautbarung Nr. 476/2000 Slg. setzt fest, dass man die Dünger auf den Waldflächen verwendet nach:

- der Auswertung der Ergebnisse von chemischen Analysen der Böden und Bestände,
- den äußeren Merkmalen der Störungen der Ernährung, des Wachstums und der Entwicklung der Bestände und ihres Gesamtzustandes,
- den Standortbedingungen,
- den Ergebnissen der früheren Verwendung der Dünger in Beständen.

100. Beilage Nr. 6 (§ 5 Ermittlung von Bodeneigenschaften der Waldflächen) der Verlautbarung des MZe ČR Nr. 275/1998 Slg., über agro-chemische Untersuchungen landwirtschaftlicher Böden und Ermittlung von Bodeneigenschaften der Waldflächen, in der Fassung der Verlautbarung Nr. 477/2000 Slg., setzt verbindliche Prinzipien der chemischen Untersuchungen bei Planung und Projektierung von Düngungsmaßnahmen auf den Waldflächen, bzw. „bei Ermittlungen von Bodeneigenschaften der Waldflächen, die zum Zweck der Vorbereitung von Vorschlägen für Sanierungsmaßnahmen und für die Regulierung des Wasserregimes in Wäldern durchgeführt werden“, fest. Der § 4 (Entnahme der Bodenproben von Waldflächen) der oben zitierten Verlautbarung beschreibt ebenfalls die verbindlichen Regeln für die Entnahme der Bodenproben auf Waldböden.

XIII. Abkürzungsverzeichnis

| | |
|--------|---|
| MZe ČR | Landwirtschaftsministerium der Tschechischen Republik (Prag) |
| OAPVR | Ressort für Agrochemie, Böden und Pflanzenernährung (ÚKZÚZ Prag) |
| ON | Ressortnormen |
| QA | Quality Assurance (Qualitätskontrolle, Sicherung der Güte) |
| ÚHÚL | Forsteinrichtungsanstalt (Brandýs nad Labem) |
| ÚKZÚZ | Zentrale landwirtschaftliche Kontroll- und Prüfungsanstalt |
| VÚLHM | Versuchsanstalt für Forstwirtschaft und Jagdwesen (Jíloviště-Strnady) |
| r. N. | „reine“ Nährstoffe |

Tabellen

Tabelle 1a Gehalte der auf den Ernährungszustand weisenden Elemente in Fichten- und Kiefernadelnrockensubstanz
(nach Gussone u. Koll. 1991)

| Element | Einheit | Gemeine Fichte | | Waldkiefer | |
|-----------|---------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| | | Bereich des Mangels | Bereich des Optimums | Bereich des Mangels | Bereich des Optimums |
| N | % | < 1,3 | 1,5 - 2,0 | < 1,4 | 1,6 - 2,0 |
| P | % | < 0,13 | 0,15 - 0,20 | < 0,14 | 0,16 - 0,22 |
| K | % | < 0,35 | 0,45 - 0,80 | < 0,35 | 0,45 - 0,90 |
| Ca | % | < 0,1 - 0,2 | 0,3 - 1,3 | < 0,1 - 0,2 | 0,3 - 2,0 |
| Mg | % | < 0,06 - 0,07 | 0,09 - 0,25 | < 0,06 - 0,07 | 0,09 - 0,13 |
| Fe | ppm | < 20 | 30 - 180 | < 20 | 30 - 180 |
| Mn | ppm | < 10 - 20 | 30 - 6000 | < 10 - 20 | 30 - 6000 |
| Zn | ppm | < 10 - 15 | 30 - 60 | < 10 - 15 | 30 - 60 |
| Cu | ppm | < 2-3 | 3 - 7 | < 2 | 3 - 7 |

Tabelle 1b Gehalte der auf Immissions-Umweltbelastung weisenden Elemente in Fichtennadeln
(nach Gussone u. Koll. 1991)

| Element | Einheit | Nichtbelastete Umwelt | Mittelbelastete Umwelt | Hochbelastete Umwelt |
|-----------|---------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| S | ppm | < 1000 | 1000 - 1300 | > 1300 |
| F | ppm | < 5 | 5 - 8 | > 8 |
| Cl | ppm | < 700 | 700 - 2000 | > 2000 |

Tabelle 2 Nährstoffkonzentration (in % des Trockensubstanzvolumens) in den Assimilationsorganen der Hauptwirtschaftsgehölze, die auf die Ernährungsstufe hinweist (verändert nach Hüttel 1986)

| Element | Ernährungszustand | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------|
| | unzureichend (defizitär) | ausreichend (entsprechend) | gut (optimal) |
| Nährstoffkonzentration in % | | | |
| GEMEINE FICHTE | | | |
| N | < 1,20 (1,30) | 1,30 - 1,50 | > 1,50 |
| P | < 0,11 (0,12) | 0,12 - 0,15 | > 0,15 |
| K | < 0,30 (0,40) | 0,40 - 0,60 | > 0,60 |
| Ca | < 0,10 (0,20) | 0,20 - 0,30 | > 0,30 |
| Mg | < 0,06 (0,07) | 0,07 - 0,10 | > 0,10 |
| WALDKIEFER | | | |
| N | < 1,35 (1,40) | 1,40 - 1,60 | > 1,60 |
| P | < 0,12 (0,13) | 0,13 - 0,16 | > 0,16 |
| K | < 0,35 (0,40) | 0,40 - 0,65 | > 0,65 |
| Ca | < 0,10 (0,20) | 0,20 - 0,35 | > 0,35 |
| Mg | < 0,06 (0,07) | 0,07 - 0,10 | > 0,10 |
| ROTBUCHE | | | |
| N | < 1,80 (1,90) | 1,90 - 2,50 | > 2,50 |
| P | < 0,15 | 0,15 - 0,30 | > 0,30 |
| K | < 0,90 (1,00) | 1,00 - 1,50 | > 1,50 |
| Ca | < 0,30 | 0,30 - 1,00 | > 1,00 |
| Mg | < 0,12 (0,15) | 0,15 - 0,30 | > 0,30 |

Werte in Klammern gelten für nährstoffreichere Standorte

Tabelle 3 Konzentration der Elemente (in % des Trockensubstanzvolumens) im jüngsten Nadeljahrgang ausgewählter Gehölze in Beständen der I. Altersstufe, die auf den Ernährungszustand hinweist (verändert nach Taylor 1991)

| Element | Gemeine Fichte | | Waldkiefer | | Weißtanne, Douglasie | |
|---------|---|---------|------------|---------|----------------------|---------|
| | E r n ä h r u n g s z u s t a n d | | | | | |
| | defizitär | optimal | defizitär | optimal | defizitär | optimal |
| Prvek | N ä h r s t o f f k o n z e n t r a t i o n i n % | | | | | |
| N | < 1,15 | > 1,60 | < 1,10 | > 1,50 | < 1,20 | > 1,50 |
| P | < 0,13 | > 0,18 | < 0,12 | > 0,14 | < 0,16 | > 0,22 |
| K | < 0,30 | > 0,70 | < 0,30 | > 0,55 | < 0,50 | > 0,80 |
| Mg | < 0,05 | > 0,10 | < 0,05 | > 0,09 | < 0,07 | > 0,12 |

Tabelle 4 Umrechnungskoeffizienten von Grundnährstoffen (Umrechnung von Verbindungen auf Elemente und umgekehrt)

| Von | auf | Koeffizient |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------|
| P ₂ O ₅ | P | 0,44 |
| PO ₄ | P | 0,33 |
| P | P ₂ O ₅ | 2,29 |
| P | PO ₄ | 3,07 |
| P ₂ O ₅ | PO ₄ | 1,34 |
| PO ₄ | P ₂ O ₅ | 0,75 |
| K ₂ O | K | 0,83 |
| K | K ₂ O | 1,20 |
| CaO | Ca | 0,71 |
| Ca | CaO | 1,40 |
| CaCO ₃ | Ca | 0,40 |
| Ca | CaCO ₃ | 2,50 |
| CaCO ₃ | CaO | 0,56 |
| CaO | CaCO ₃ | 1,79 |
| MgO | Mg | 0,60 |
| Mg | MgO | 1,66 |
| MgCO ₃ | Mg | 0,29 |
| Mg | MgCO ₃ | 3,47 |
| MgO | MgCO ₃ | 2,01 |
| MgCO ₃ | MgO | 0,48 |

Tabelle 5 Empfohlene Dosierung der Kalkdünger (in kg r.N. Ca auf 1 ha) bei Grunddüngung der Waldböden in Gebirgs-Ökosystemen (nach Walenzik 1990)

| Stärke des Subhorizonts | Werte der Bodenreaktion pH in KCl | | | | |
|-------------------------|-----------------------------------|------------|-------------|------------|------------|
| | < 2,5 | | 2,6 - 2,9 | | 3,0 - 4,0 |
| A ₀₋₁₀ in cm | H a n g n e i g u n g i n % | | | | |
| | < 15 | 15 - 40 | < 15 | 15 - 40 | 0 - 40 |
| < 2 | - * | - * | - * | - * | - * |
| 2 - 5 | 600 - 800 | 400 - 600 | 400 - 600 | - * | - * |
| 5 - 10 | 800 - 1000 | 700 - 1000 | 600 - 1000 | 600 - 800 | 400 - 1000 |
| > 10 | 1000 - 1600 | 800 - 1400 | 1000 - 1300 | 800 - 1200 | 600 - 1200 |

Erläuterungen:

- * Kalkdünger werden nicht appliziert oder nur ausnahmsweise in Dosierungen nach dem ausgearbeiteten Meliorationsprojekt

A₀₋₁₀ Stärke der oberen Humusschicht ohne Waldstreu (nur Fermentationsschicht F und Humifikationsschicht H)

Tabelle 6 Empfohlene Dosierungen der Kalkdünger (in kg r.N. Ca auf 1 ha) bei der Grunddüngung der Waldböden in Tief-Ökosystemen
(nach Walenzik 1990)

| Stärke des Subhorizonts A_{FH} v cm | Werte der Bodenreaktion pH in KCl | | |
|--|-----------------------------------|-----------|-----------|
| | < 2,5 | 2,6 - 2,9 | 3,0 - 3,5 |
| < 1 | - * | - * | - * |
| 1 - 3 | 400 - 600 | 200 - 400 | - * |
| 3 - 5 | 600 - 800 | 400 - 600 | 200 - 400 |
| > 5 | 800 - 1200 | 600 - 900 | 400 - 600 |

Erläuterungen:

- * Kalkdünger werden nicht appliziert oder nur ausnahmsweise nach dem ausgearbeiteten Meliorationsprojekt
 A_{FH} Stärke der oberen Humusschicht ohne Waldstreu (nur Fermentationsschicht F und Humifikationsschicht H)

Tabelle 7 Empfohlene Mengen verschiedener Industriedünger für lokale Applikationen in angelegten Forstkulturen (in g pro eine Pflanze)
(verändert nach Gussone u. Koll. 1991)

| Dünger | Dosierung des Düngers (in g pro 1 Pflanze) | | |
|---|--|--------------|---------------|
| | A l t e r d e r K u l t u r | | |
| | 1-2 | 3-4 | 5-6 (7) |
| mehrkomponenten NKP-Dünger (11-11-14) | 10 - 15 (20) | 25 - 40 (50) | 50 - 75 (90) |
| Amoniak-Salpeter mit Kalkstein (LAV 27 % N) | 5 - 10 (12) | 15 - 25 (30) | 30 - 45 (50) |
| Kalk- Salpeter (LV 15 % N) | 8 - 15 (18) | 20 - 35 (40) | 50 - 75 (90) |
| Superphosphat (17 % P_2O_5) | 15 - 30 (40) | 30 - 45 (50) | 50 - 90 (100) |
| schwefelsaures Kali (50 % K_2O) | 4 - 6 (8) | 10 - 18 (25) | 25 - 40 (50) |
| schwefelsaures Magnesium (16 % MgO) | 5 - 8 (10) | 10 - 20 (25) | 25 - 35 (45) |

Werte in Klammern gelten für Laubgehölze

Verwendete Literatur

- ALLEN, L.: Forest fertilizers. Nutrient amendment, stand productivity and environmental impact. *Journal of Forestry*, 85, 1987, č. 2, s. 37 – 46.
- BAULE, H., FRICKER, C. F.: Die Düngung von Waldbäumen. I. Auflage. München, Bayerischer Landwirtschaftsverlag 1967. 259 s.
- BERGMANN, W.: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Entstehung, visuelle und analytische Diagnose. 2. Auflage. Jena, G. Fischer-Verlag 1988. 762 s.
- EVERS, F. H.: Die Düngung der Forstkulturen. *Holz-Zentralblatt*, 95, 1969, č. 116, s. 1768, 1770.
- FIEDLER, H. J. et al.: Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. I. Auflage. Jena, Gustav Fischer-Verlag 1973. 481 s.
- GUSSONE, H. A. et al.: Forstliche Düngung. I. Auflage. Bonn, Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AID) 1991. 16 s.
- HOFFMANN, J., LÖFFLER, A.: Hnojenie semenných sadov. Krátke informácie č. 24/1989. Zvolen, VÚLH 1989. 3 s.
- HUBER, B.: Kalkung und Düngung durch Granulat ist ökosystem-verträglicher. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 44, 1989, č. 37, s. 984.
- HUBER, B.: Verwendung von Gesteinsmehlen jetzt auch wirtschaftlich interessant. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 49, 1994, č. 4, s. 204 – 205.
- HÜTTL, R. F.: „Neuartige“ Waldschäden und Nährelementversorgung von Fichtenbeständen (*Picea abies* Karst.) in Südwestdeutschland. *Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen*, Heft 16. Freiburg im Breisgau, Albert-Ludwigs-Universität 1985. 195 s.
- HÜTTL, R. F.: Forest fertilisation: results from Germany, France and the Nordic countries. I. ed. London, Fertiliser Society 1986. 40 s.
- HÜTTL, R. F.: „Neuartige“ Waldschäden, Ernährungsstörungen und Düngung. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 42, 1987, č. 12, s. 289 – 299.
- HYNEK, V.: Degradace lesních půd. *Lesnická práce*, 80, 2001, č. 1, s. 18 – 20.
- JIRGLE, J.: Význam vápnění půd pro obnovu lesa v Krušných horách. In: *Vápnění lesních půd v imisních oblastech. Sborník příspěvků z konference. Ústí nad Labem, Dům techniky ČSVTS 1986*, s. 45 – 54.
- KAUPENJOHAN, M., ZECH, W.: Waldschäden und Düngung. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 44, 1989, č. 37, s. 1002 – 1008.
- KILIAN, W. a kol.: Die Düngung im Wald. II. Teil. Anleitung zur Walddüngung. I. Auflage. Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft 1994. 41 s.

KRAUSS, H. H. et al.: Untersuchungen zu Ernährung und Wachstum wirtschaftlich wichtiger Nadelbaumarten im Tiefland der DDR. Beitr. Forstwirtschaft, 20, 1986, č. 4, s. 156 – 164.

KROTH, W. et al.: Forstwirtschaftliche Massnahme bei neuartige Waldschäden. Angewandte Wissenschaft. Heft 368. Münster-Hiltrup, Landwirtschaftsverlag 1989. 93 s.

LEDINSKÝ, J.: Hnojení půd v lesních kulturách. In: Hnojení půd v lesních porostech. Sborník referátů ze semináře. Praha, ČSAZ-ÚVTI 1971, s. 22 – 30.

LEDINSKÝ, J.: Výsledky komplexního hnojení lesních kultur. [Závěrečná zpráva resortního výzkumného úkolu]. Jíloviště-Strnady, VÚLHM 1985. 9 s.

LHOTSKÝ, J. et al.: Meliorace půd před zalesněním. I. vyd. Praha, Stát. zeměd. nakl. 1962. 213 s.

LHOTSKÝ, J. et al.: Degradace lesních půd a jejich meliorace. I. vyd. Praha, Státní zemědělské nakladatelství 1987. 234 s.

LOCHMAN, V.: Studium antropogenně podmíněných půdotvorných procesů v lesních půdách. In: Lochman, V. a kol.: Zásady zlepšování lesních půd a výživy lesních porostů hnojením. [Realizační výstup projektu N03-329-869-03]. Jíloviště-Strnady, VÚLHM 1995, s. 2 – 5.

LOKVENEC, T.: Příprava ploch k zalesnění. In: Peřina, V. a kol.: Obnova a pěstování lesních porostů v oblastech postižených průmyslovými imisemi. I. vyd. Praha, Státní zemědělské nakladatelství 1984, s. 112 – 118.

LOKVENEC, T.: Zkušenosti s hnojením sazenic tabletami. Lesnická práce, 66, 1987, č. 7, s. 299 – 301.

LOMSKÝ, B. et al.: Revitalizace lesních porostů na LČR LS Horní Blatná. Lesnická práce, 79, 2000, č. 6, s. 254 - 256.

LÖFFLER, A.: Prihnojovanie lesných porastov. Metodiky výskumu na pomoc praxi č. 1/1980. Bratislava, Príroda 1980. 50 s.

MACKŮ, J.: Příspěvek k metodice hnojení obnovovaných lesních porostů. Lesnická práce, 65, 1986, č. 3, s. 109 – 112.

MARKART, G.: Erst analysieren, dann düngen! Österreichische Forstzeitung, 102, 1991, č. 5, s. 18 – 20.

MAŘAN, B.: Úvod. In: Mařan, B., Káš, V.: Biologie lesa. I. díl. Pedologie a mikrobiologie lesních půd. I. vyd. Praha, Melantrich 1948, s. 8.

MATERNA, J.: Výživa a hnojení lesních porostů. I. vyd. Praha, Stát. zeměd. nakl. 1963. 227 s.

MATERNA, J.: Hnojení smrkových porostů. Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do praxe č. 19/1964. Praha, ÚVTI MZLVH 1964. 21 s.

MATERNA, J.: Odběr vzorků pro listovou analýzu. Bulletin TEI, série Různé, č. 1/73. Jíloviště-Strnady, VÚLHM 1973. 2 s.

MATERNA, J.: Biologické, ekologické a technické předpoklady používání průmyslových hnojiv v lesních porostech. In: Zvyšování produktivnosti lesů hnojením a meliorací půd. Sborník příspěvků z celostátní konference. Praha, ČSAZ 1979, s. 75 – 85.

MATERNA, J.: Kapalná hnojiva a jejich použití ke hnojení v lesních porostech. Bulletin TEI, série Pěstování, č. 1/90. Jíloviště-Strnady, VÚLHM 1990. 8 s.

- MATERNA, J., LEDINSKÝ, J.: Některé výsledky použití hnojivých tablet Fertilin. Lesnická práce, 66, 1987, č. 8, s. 374 – 375.
- MATERNA, J., MAJER, V.: Hnojení smrkových a borových porostů. Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do praxe č.V-3/1970. Praha, ČSAZ-ÚVTI 1970. 41 s.
- MRAZEK, F.: Erste Auswertung eines langfristigen Douglasien-Düngungsversuchs auf einem altpleistozänen mittleren Sandstandort. Beitr. Forstwirtschaft, 23, 1989, č. 1, s. 29 – 32.
- NÁROVEC, V.: Soustava hnojení v lesních školkách s tradičním pěstováním sadbového materiálu na minerální půdě. Zprávy lesnického výzkumu, 37, 1993, č. 2, s. 30 – 33.
- NÁROVEC, V.: Přihnojování lesních kultur tvarovanými hnojivy. In: Stosowanie proekologicznych nawózow Silvamix w leśnictwie i szkółkach leśnych. Sborník referátů z česko-polského semináře. Komorní Lhotka, 6. 3. 1996. Znojmo, Ecolab 1996, s. 1 – 16.
- NÁROVEC, V. a kol.: Zásady zlepšování lesních půd a výživy lesních porostů hnojením. [Realizační výstup etapy výzkumného úkolu N03-329-869-03]. 1. vyd. Opočno, VÚLHM - Výzkumná stanice 1995. 31 s.
- NÁROVEC, V., JURÁSEK, A.: Několik poznámek k přihnojování lesních kultur. Lesnická práce, 79, 2000, č. 4, s. 176 – 177.
- NÁROVEC, V., ŠTĚNIČKA, S.: Zkušenosti s hnojivými tabletami Preform. Lesnická práce, 70, 1991, č. 12, s. 365 – 368.
- NĚMEC, A.: Hnojení lesních kultur. Meliorace krnících kultur a porostů. 1. vyd. Praha, Brázda 1950. 437 s.
- NĚMEC, A.: Meliorace degradovaných lesních půd. 1. vyd. Praha, Státní zemědělské nakladatelství 1956. 291 s.
- REHFUESS, K. E.: Zu: Bodenkundliche Forschung im Zusammenhang mit den neuartigen Waldschäden. (Entgegnung auf eine Stellungnahme von B. Ulrich in AFZ 43/1988, Seite 1171.) Allgemeine Forst Zeitschrift, 44, 1989, č. 15, s. 390 – 392, 394 – 396.
- SAUTER, U.: Versuche zur Wirkung von sulfatisch, carbonatisch und silikatisch gebundenem Magnesium auf ... Sickerwasserbefrachtung. Forstl. Forschungsberichte München 1991. Nr. 114. 442 s.
- TAYLOR, C. M. A.: Forest Fertilisation in Britain. Forestry Comission Bulletin 95. London, HMSO 1991. 45 s.
- WALENDZIK, R. J.: Wytyczne nawożenia lasu. 1. vyd. Warszawa, Instytut Badawczy Leśnictwa 1990. 32 s.
- WALENDZIK, R. J., KLOCEK, A.: Zpráva o výzkumu hnojení smrkových, bukových a modřínových lesních výsadeb a jednotlivých a skupinových výsadeb javoru a limby lesním pomalu rozpustným hnojivem Silvamix® na terénu nadlesnictví Szklarska Poręba (období výzkumu 1997 - 1998). In: Speciální lesní pomalu rozpustná tableťovaná a prášková hnojiva Silvamix®. 1. vyd. Znojmo, Ecolab Znojmo 2000, s. 33 – 39.
- ZÖTTL, H.W.: Ernährung und Düngung der Fichte. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 109, 1990, č. 2/3, s. 130 – 137.

Adresse des Verlages:

Lesnická práce, s.r.o.
Verlag und Edition
PO Box 25, Zámek I
CZ - 281 63 Kostelec nad Černými lesy

Tel./Fax: +420 321 679 413-4
E-mail: predplatne@lesprace.cz
<http://www.silvarium.cz>

Dipl.-Ing. Václav Nárovec

Hundertmal über die Düngung im Wald

**Grundsätze der Verbesserung der Waldböden
und der Ernährung der Waldbestände durch Düngung**

Herausgegeben im Jahr 2002 von
Lesnická práce, s.r.o., Kostelec nad Černými lesy

2. Ausgabe

Verantwortlicher Redakteur
Dipl.-Ing. Oto Lasák

DTP und graphische Gestaltung
Lesnická práce, s.r.o.

Übersetzung
Dipl.-Ing. Josef Švolba

Lektoren der Übersetzung
Dr. Jochen Kleinschmit, Dipl.-Ing. Hubertus Schröder

Druck
Druckerei Jan Průša Klučov

ISBN 80-86386-21-X