

# Empfehlungen für das Planen, Anlegen, Behandeln und Auswerten forstlicher Düngungsversuche

im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Forstdüngung zusammengestellt von K. HAUSSER

unter Mitarbeit von E. ASSMANN, F. FRANZ, H. A. GUSSONE, R. KENNEL, G. MITSCHERLICH, G. SEIBT, B. ULRICH und J. WEIHE.

## Inhaltsverzeichnis

- 1.0. Vorbemerkungen
- 2.0. Grundsätzliche Überlegungen zur Anlage von Düngungsversuchen
  - 2.1. Ziel der Versuche
  - 2.2. Planung der Versuche
- 3.0. Anforderungen an den Standort und Kriterien für seine Beurteilung
  - 3.1. Allgemeine Gesichtspunkte
  - 3.2. Klima
  - 3.3. Exposition und Inklination
  - 3.4. Bodenvegetation und Bestand
  - 3.5. Standorts- und Bestandesgeschichte
  - 3.6. Humusprofil
  - 3.7. Bodenprofil
  - 3.8. Kurz-Charakteristik einiger Bodenformen
    - 3.8.1. A-C-Böden auf Kalkgesteinen
    - 3.8.2. Saure Böden im Mittelgebirge
    - 3.8.3. Saure Böden auf sandigen Lockersedimenten im Flachland
    - 3.8.4. Grundwasserbeeinflusste Böden
    - 3.8.5. Saure, staunasse Böden auf altdiluvialen Geschiebelehm
    - 3.8.6. Niedermoore, Hochmoore
  - 3.9. Bodenuntersuchung
  - 3.10. Blatt- und Nadelanalysen
- 4.0. Anforderungen an Versuchsbestände
- 5.0. Versuchsdurchführung
  - 5.1. Begriffe
  - 5.2. Gestaltung des Versuches und der Parzellen
    - 5.2.1. Anzahl der Meßwerte
    - 5.2.2. Ermittlung der erforderlichen Parzellenwiederholung
    - 5.2.3. Planung des biometrischen Lösungsweges
  - 5.3. Versuchsanlage
    - 5.3.1. Die Versuchsanordnung
    - 5.3.2. Größe der Parzellen
    - 5.3.3. Form der Parzellen
  - 5.4. Düngungsvarianten
    - 5.4.1. Nährstoffmangelversuch
    - 5.4.2. Nährstoffsteigerungsversuch
    - 5.4.3. Nährstoffformenversuch
    - 5.4.4. Nährstoffverhältnisversuch
    - 5.4.5. Einfacher Düngungsversuch
    - 5.4.6. Kombinierte Versuche
- 6.0. Düngung
  - 6.1. Düngemittel
    - 6.1.1. Allgemeines
    - 6.1.2. Stickstoffdünger
    - 6.1.3. Phosphatdünger
    - 6.1.4. Kalidünger
    - 6.1.5. Kalkdünger
    - 6.1.6. Mehrnährstoffdünger
  - 6.2. Düngermengen
    - 6.2.1. Allgemeines
    - 6.2.2. Rahmenwerte
  - 6.3. Durchführung der Düngung
  - 6.4. Bezeichnungen und Abkürzungen
    - 6.4.1. Allgemeines
    - 6.4.2. Symbole für Düngemittel
    - 6.4.3. Symbole der Düngungsstufen in Steigerungsversuchen
    - 6.4.4. Bezeichnung der Dünger- und Nährstoffmengen

- 7.0. Praktische Empfehlungen
  - 7.1. Versuchsprotokoll
  - 7.2. Abgrenzung und Markierung der Parzellen
- 8.0. Behandlung der Versuche und Erfolgskontrolle
  - 8.1. Allgemeines
  - 8.2. Kontrolle in Kulturen und Dickungen
    - 8.2.1. Ausfallprozente
    - 8.2.2. Höhenwachstum
    - 8.2.3. Stärkenzuwachs
    - 8.2.4. Astigkeit
    - 8.2.5. Umsetzung
  - 8.3. Kontrolle in Stangenhölzern und älteren Beständen
    - 8.3.1. Brusthöhendurchmesser
    - 8.3.2. Baumhöhe
    - 8.3.3. Bestandesvolumen
    - 8.3.4. Zuwachs
- 9.0. Sonstige Untersuchungen
- 10.0. Literatur

## 1.0. Vorbemerkungen

Seit der Aufstellung des Arbeitsplanes für die Anlage von Forstdüngungsversuchen auf der Tagung der Sektion Ertragskunde des Verbandes Deutscher forstlicher Forschungsanstalten im Jahre 1954 wurden auf diesem Gebiet viele neue Erkenntnisse gewonnen. Die Arbeitsgemeinschaft Forstdüngung beschloß daher, den früheren Arbeitsplan auf den neuesten Stand der Erfahrungen zu bringen und unter vorstehendem Titel neu herauszugeben.

Über Planung, Anlage und Auswertung von Versuchen existiert eine umfangreiche Fachliteratur. Hierauf aufbauend wurden in jüngster Zeit mehrere richtungweisende Vorschläge für die Fortentwicklung des forstlichen Versuchswesens ausgearbeitet, so besonders zur Methode der Versuchsanstellung (JEFFERS 1960, THOMASUS 1962, 1963, 1967). Die in den vorliegenden „Empfehlungen“ enthaltenen Vorschläge zur Versuchsdurchführung stützen sich in wesentlichen Teilen auf die zitierten Veröffentlichungen. Im übrigen sind sie aus den Erfahrungen der Forschungsstellen bei der Bearbeitung von Düngungsversuchen entstanden.

Da die Düngung die Lebensvorgänge im Wald in vielfältiger Weise verändern kann, sollten bei der Versuchsanstellung möglichst viele der in Frage kommenden Fachrichtungen zusammenwirken. Die Kapazität der forstlichen Forschungsstätten reicht nicht aus, neben sonstigen Aufgaben die Fragen der forstlichen Düngung in der notwendigen Breite zu bearbeiten. Es erscheint deshalb wünschenswert, daß dabei auch künftig interessierte Praktiker noch mehr als bisher mitwirken.

Diesen Praktikern sollen die Empfehlungen ein Bild von den Mindestanforderungen vermitteln, die an eine Versuchsanlage gestellt werden müssen. Da sich nicht alles bis in die letzten Einzelheiten regeln läßt, wird empfohlen, schon bei der Planung von Düngungsversuchen die örtlichen forstlichen Forschungsstellen zu Rate zu ziehen. Planungsfehler können die Versuchsauswertung erschweren oder den Versuchserfolg sogar in Frage stellen. Sie lassen sich in der Regel nach Anlage des Versuchs nicht mehr korrigieren und auch durch noch so subtile biometrische Auswertungsverfahren nicht mehr eliminieren.

Es wurde auch bewußt darauf verzichtet, die Verfahren der Versuchsauswertung im Rahmen der „Empfehlungen“ im einzelnen

darzustellen, weil sich die hierbei angewandten mathematisch-statistischen Methoden ständig weiter entwickeln. Die Auswertung wird daher immer mehr Aufgabe von Spezialisten der elektronischen Datenverarbeitung werden.

## 2.0. Grundsätzliche Überlegungen zur Anlage von Düngungsversuchen

### 2.1. Ziel der Versuche

Die Ziele forstlicher Düngungsversuche bestehen darin, an Beispielen zu prüfen,

- a) in welchem Ausmaß eine Nährstoffzufuhr die Ertragsfähigkeit bestimmter Standorte möglichst nachhaltig zu erhöhen und damit den Holztertrag zu steigern vermag,
- b) welche günstigen oder ungünstigen Nebenwirkungen eine Düngung verursacht, wie z. B. Veränderungen von Holzqualität, Fruktifikation, Benadelung und Nadelabfall, Wurzelwachstum, Bodenflora und -fauna, Bodenbiologie, Nährstoffkreislauf, Wasserhaushalt und von sonstigen biotischen und abiotischen Faktoren,
- c) auf welchen Standorten, bei welchen Baumarten und in welchem Bestandesalter die Erfolge der Düngung betriebswirtschaftlich am günstigsten sind,
- d) welche Folgerungen und Möglichkeiten sich daraus für Waldbau, Forsteinrichtung und Forstschutz ergeben, z. B. Sicherung von Unterbau und Kultur in gewünschtem Verband als Voraussetzung für die Erzielung hochwertiger, geschlossener Bestände mit der Möglichkeit kostensparender schematischer Durchforstungen;  
Sicherung des Anbaus von anspruchsvolleren Baumarten oder von Hilfspflanzen zur Bodenmelioration;  
Verminderung des Pflegeaufwandes durch Abkürzung des Pflegezeitraums;  
schnelleres Überschreiten der Wildverbißgrenze;  
schnelleres Hineinwachsen in vorteilhafte, verkaufsfähige Dimensionen und Holzsorten;  
Veränderung der Widerstandskraft gegen Schädlinge und Pilzbefall.

### 2.2. Planung der Versuche

Eine genaue und streng problemorientierte Versuchsplanung ist die wichtigste Voraussetzung für den Versuchserfolg. Ihr Hauptziel ist, ein Maximum an Information mit einem Minimum an Versuchsarbeit zu gewinnen (BEHRENS 1961). Dies kann nur erreicht werden, wenn

- a) die Fragestellung klar formuliert ist,
- b) die Zahl der innerhalb eines Versuches zu prüfenden Fragen mit den praktischen Erfordernissen der Versuchsanlage, besonders in Hinblick auf den Flächenbedarf, in Einklang zu bringen ist,
- c) die biometrischen Grundsätze der Versuchsplanung beachtet werden,
- d) die Durchführung während der geplanten Laufzeit in Ansehung der Leistungsfähigkeit des Versuchsanstellers gesichert ist.

Die Laufzeit des Versuchs ist mit besonderer Sorgfalt zu planen, da hiervon im wesentlichen die Größe der Parzellen abhängt.

## 3.0. Anforderungen an den Standort und Kriterien für seine Beurteilung

### 3.1. Allgemeine Gesichtspunkte

Die Versuche sollen repräsentativ für großflächig vertretene, also wirtschaftlich belangvolle Standortseinheiten sein, auf denen das Wachstum der Bäume durch Mangel an Nährstoffen und nicht

durch andere Faktoren (Wasser, Wärme, Gründigkeit) begrenzt wird.

Eine erste Orientierung über die Verteilung von Versuchen in einem größeren Waldgebiet sollte daher auf der Grundlage einer Standortkartierung erfolgen. Falls keine Standortkartierung vorliegt, kann die geologische Karte als Anhalt dienen. Da aber auch die Standortkartierung nur auf die Ausscheidung wirtschaftlich sinnvoller, größerer Einheiten ausgerichtet ist und feinere Unterschiede nicht berücksichtigt, muß in jedem Fall die für einen Versuch vorgesehene Fläche auf standörtliche Einheitlichkeit in engerem Sinne überprüft werden.

Der räumliche Bedarf für einen forstlichen Düngungsversuch mit längerer Laufzeit ist meist sehr hoch. Je nach der Zahl der Varianten werden 1-5 ha benötigt. Geeignete Flächen, die allen Ansprüchen hinsichtlich Boden und Bestand genügen, sind in der Regel nicht in dem Ausmaß vorhanden wie gemeinhin angenommen wird. So wird es oft notwendig sein, die Versuchsfragen zu beschränken. In jedem Fall ist es sinnvoller, durch Wiederholung weniger Varianten eine gesicherte Auswertung zu ermöglichen, als viele Varianten ohne Wiederholung zu prüfen.

Für eine zweckmäßige Versuchsanlage ist eine Vororientierung über den spezifischen Nährstoffmangel des ausgewählten Standorts notwendig. Zahlreiche Merkmale, wie Vegetation, Bonität und Wachstumsgang der Bestände, das Aussehen von Blättern und Nadeln, Nadel- bzw. Blattanalysen und Bodenuntersuchungen können jede für sich und vor allem in zusammenfassender Betrachtung Hinweise auf den möglichen Erfolg der Zufuhr bestimmter Nährstoffe geben.

Die bei der Flächenauswahl festgestellten Standortmerkmale und Untersuchungsbefunde sind im Versuchsprotokoll festzuhalten. Im folgenden werden die daraus möglichen Schlußfolgerungen auf den Wasser- und Nährstoffhaushalt skizziert. Dabei wird auf folgende Literatur Bezug genommen:

- A. Forstliche Standortsaufnahme
- B. GUSSONE: Faustzahlen für Düngung im Walde
- C. BAULE-FRICKER: Die Düngung von Waldbäumen

Die Hinweise sind im Folgenden mit A. B. C. bezeichnet.

### 3.2. Klima

Niederschlag und Temperatur beeinflussen sehr stark das Wachstum der Bäume. Düngungsversuche müssen also auch in dieser Hinsicht ein größeres Gebiet repräsentieren. Je günstiger diese klimatischen Faktoren für eine bestimmte Baumart sind, um so eher ist bei unbefriedigendem Wachstum ein Nährstoffmangel anzunehmen. Auch bei gutwüchsigen Beständen kann sich unter optimalen Klimaverhältnissen eine Nährstoffzufuhr noch ertragssteigernd auswirken (Klimacharakterisierung s. A.).

### 3.3. Exposition und Inklination

Düngungsversuche in Hanglagen sind wegen der Standortunterschiede in der Regel sehr problematisch, aber oft nicht zu vermeiden. Hangrichtung und Hangneigung variieren Klima und Bodenwasserhaushalt und sind deshalb innerhalb eines Versuchs möglichst gleich zu halten (Charakterisierung s. A.). An stärker geneigten Hängen können durch Niederschlags- und Schmelzwasser leicht lösliche Düngungsnährstoffe aus gedüngten Flächen verlagert werden (s. auch Abschnitt 5.3.3.).

### 3.4. Bodenvegetation und Bestand

Die Bodenpflanzen können gute Weiser für Azidität, Nährstoffversorgung und Wasserhaushalt (Staunässe) sein. Dabei sollten auch die in Bestandeslücken auftretenden Pflanzen beachtet werden. Unterschiedliche Pflanzengesellschaften können auf Uneinheitlichkeit des Standorts hinweisen (nähere Angaben s. A.).

Auch im Bestand lassen Unterschiede sowohl in der Ertragsleistung als auch im Wachstumsgang auf Standortsunterschiede schließen. Wuchsstockungen bei Fichte und Kiefer beruhen häufig auf ungünstigem biologischem Bodenzustand (extremer N-Mangel). Blatt- oder Nadelverfärbung bei Kulturen und Dickungen können ebenfalls Hinweise auf Nährstoffmangel geben (Farbbilder zum diagnostischen Vergleich bei B. und C).

### 3.5. Standorts- und Bestandesgeschichte

Durch Streunutzung, Streuverwehung, Waldweide, Verheidung oder Plaggennutzung devastierte bodensaure Standorte weisen noch nach Jahrzehnten einen ungünstigen biologischen Bodenzustand und als Folge Stickstoff- evtl. auch Phosphormangel auf. Auf solchen wie auch auf von Natur aus armen Standorten können Düngungsversuche mit Hilfspflanzenanbau gekoppelt werden (s. Abschnitt 5.4.6.). Auf devastierten Kalkstandorten wie auch auf ehemals landwirtschaftlich genutzten Böden kann bei Nadelbäumen Mangel an Kalium und Spurenelementen hinzutreten.

### 3.6. Humusprofil

Das Humusprofil läßt in Abfolge und Mächtigkeit der verschiedenen humosen Bodenhorizonte (O<sub>L</sub>, O<sub>F</sub>, O<sub>H</sub>, A<sub>h</sub>, B<sub>h</sub>), zusammenfassend charakterisiert in der Humusform (z. B. Mull, Moder, Rohhumus), Rückschlüsse auf den biologischen Bodenzustand und damit den Stickstoffhaushalt, in geringerem Ausmaß auch auf den Phosphor-Haushalt, sowie auf die Bodenversauerung zu (s. A. S. 33 ff.). Die Stickstoffernährung der Bäume verschlechtert sich von Mull über den Moder zum Rohhumus und innerhalb dieser Humusformen mit abnehmendem Humusvorrat.

### 3.7. Bodenprofil

Das Bodenprofil läßt in Abfolge und Mächtigkeit der verschiedenen Mineralbodenhorizonte Rückschlüsse auf das durchwurzelbare Bodenvolumen (Gründigkeit), die Sauerstoffversorgung im Wurzelraum und unter Berücksichtigung der Bodenart auf die Speicherkapazität des Wurzelraums für pflanzenverfügbares Wasser (Regenkapazität) zu: (s. A. S. 17, 26, 50, 51).

### 3.8. Kurz-Charakteristik einiger Bodenformen

#### 3.8.1. A-C-Böden auf Kalkgesteinen

Bodentyp: z. B. Rendzina  
Humusform: Mull

Stickstoffversorgung bei genügendem Humusvorrat optimal, bei Nadelbäumen evtl. Unterversorgung mit Kalium, auch Spurenelementen. Regenkapazität um so geringer, je flachgründiger (Wassermangelstandorte); Ausgleich durch tiefreichende Durchwurzelung tonerfüllter Gesteinsspalten möglich.

#### 3.8.2. Saure Böden auf pleistocänen, schluffigen oder lehmigen Lockersedimenten und Fließerden im Mittelgebirge

Bodentyp: z. B. Braunerden, Lockerbraunerden, Parabraunerden, evtl. podsolig und pseudovergleyt.  
Humusform: Moder, Rohhumus

Stickstoff- und Phosphorversorgung abhängig vom biologischen Bodenzustand, Kaliumversorgung optimal, Kalkzustand für anspruchsvolle Baumarten wie Edellaubhölzer u. U. nicht ausreichend.

#### 3.8.3. Saure Böden auf pleistocänen, sandigen Lockersedimenten im norddeutschen Flachland

Bodentyp: z. B. die verschiedenen Sand-Braunerden, Podsole, evtl. Grundwassereinfluß  
Humusform: Moder, Rohhumus

Stickstoff-, weniger Phosphorversorgung abhängig vom biologischen Bodenzustand. Versorgung an Kalium, Magnesium und

Phosphor, sowie der Kalkzustand verschlechtern sich mit abnehmendem Silikatgehalt des Sandes (s. A. S. 24 ff.). Nach WITTICH gilt als allgemeine Regel im norddeutschen Diluvium, daß auf Grund der Transportverwitterung ein Sand um so silikatärmer sein wird, je feinkörniger er ist. Die silikatärmsten Sande liegen in den Urstromtälern und Dünen.

#### 3.8.4. Grundwasserbeeinflusste Böden

Bodentyp: z. B. Gleye  
Humusform: (Mull, Moder), Rohhumus

Biologischer Bodenzustand und allgemeine Nährstoffversorgung werden entscheidend durch den Kalkgehalt bzw. pH-Wert und den Sauerstoffgehalt des Grundwassers beeinflusst (s. A. S. 53). Bei hoch anstehendem Grundwasser muß mit Tiefenverlagerung der verschiedenen Düngernährstoffe gerechnet werden.

#### 3.8.5. Saure, staunasse Böden in Plateaulagen der Mittelgebirge sowie auf altdiluvialen Geschiebelehmen der nord- und süddeutschen Vereisung

Bodentyp: z. B. Pseudogley, Stagnogley  
Humusform: Moder, Rohhumus

Stickstoffversorgung abhängig vom biologischen Bodenzustand. Tendenz zur Unterversorgung mit Phosphor wegen Phosphat-einschluß in Konkretionen, Kaliumversorgung in der Regel optimal. Gefahr der Horizontalverlagerung leicht löslicher Düngernährstoffe im Zusammenhang mit Oberflächenabfluß insbesondere bei der Schneeschmelze, selbst bei geringer Hangneigung.

#### 3.8.6. Niedermoore, Hochmoore

Stickstoffversorgung in der Regel ausreichend, dagegen unzureichende Versorgung mit Phosphor und Kalium; Zurückhaltung bei Kalkung angebracht, auch bei Hochmooren mit tiefen pH-Werten.

### 3.9. Bodenuntersuchung

Über die Untersuchungsmethoden zur ökologischen Charakterisierung forstlich genutzter Standorte bestehen größtenteils keine einheitliche Auffassungen.

Falls eine Bodenuntersuchung für erforderlich gehalten wird, ist die Probenahme nach den Richtlinien des den Versuch betreuenden forstlich bodenkundlichen Instituts vorzunehmen. Dieses wird auch die Erhebungen interpretieren.

Allgemein anerkannte Kennzahlen bestehen nur für den Kalkzustand (pH-Wert) und für den Stickstoffzustand (C/N-Verhältnis) (s. A. S. 31 ff. und B. S. 20 ff.).

### 3.10. Blatt- und Nadelanalysen

Die Ergebnisse von Blatt- und Nadelanalysen lassen sich nur aufgrund von Erfahrungen an Düngungsversuchen oder anderen Versuchen richtig interpretieren. Sie können Hinweise auf den Ernährungszustand und damit die Düngebedürftigkeit von Beständen geben. Mit einer derzeit noch nicht angebbaren Wahrscheinlichkeit lassen sich Aussagen darüber machen, ob der Bestand mit bestimmten Nährstoffen unterversorgt ist.

Auch hier ist bei der Probenahme nach den Richtlinien des betreffenden Instituts zu verfahren. Grenzwerte für die Elementkonzentrationen in Blättern und Nadeln verschiedener Baumarten, sowie die Bereiche geringer bzw. hoher Ertragsleistungen sind u. a. bei B, S. 26 zusammengestellt.

## 4.0. Anforderungen an Versuchsbestände

Ein Versuchsbestand muß möglichst in jeder Hinsicht einheitlich sein. Die langfristige Vergleichbarkeit der Parzellen setzt voraus:

in Kulturen und Dickungen  
Einheitlicher Vorbestand;

Gleichheit nach Alter, Herkunft, Qualität der Pflanzen; gleiche Pflanzmethode und Pflanzverband; bei Mischbeständen gleiche Mischungsart und Anteile der Baumarten auf allen Parzellen. (Grundlegende Erstversuche werden zweckmäßig nur in Reinbeständen angelegt.)

#### in älteren Beständen

Gleichheit nach Alter, Herkunft, Begründungsart, bisheriger Behandlung, Bonität; möglichst gleiche Verteilung der Stammzahl auf Durchmesserstufen; Vorratsdifferenzen möglichst nicht größer als 10%; Anteil anderer Baumarten weniger als 10%.

Besonders geeignet für Bestandesdüngungsversuche sind Flächen, deren Wachstumsgang und Vornutzungen möglichst lange vor Anlegung des Versuchs exakt erfaßt wurden, z. B. frühere Ertragsversuchsflächen.

Sturmgefährdete und verlichtete Bestände sind nicht brauchbar.

Die letzte Durchforstung sollte mindestens 2 Jahre zurückliegen. Es ist falsch, eine nicht gegebene Homogenität durch eine Durchforstung ausgleichen zu wollen. Unterschiede, die sich auf den Zuwachs auswirken, können durch eine Kovarianzanalyse eliminiert werden.

## 5.0. Versuchsdurchführung

### 5.1. Begriffe

Versuchstechnische Beobachtungseinheit ist der **Düngungsversuch**.

Der Düngungsversuch ist nach einem streng auf das Versuchsziel ausgerichteten Anlageplan in

**Versuchsglieder** (Prüfglieder)

unterteilt. Ein Versuchsglied repräsentiert eine Variante der Versuchsbehandlung. Es ist im Versuch durch

**Parzellen**

vertreten. Eine Parzelle — in der Literatur auch als Teilstück, Teilfläche oder Feld bezeichnet — stellt damit eine Flächenwiederholung eines gegebenen Versuchsgliedes dar. Jedes Versuchsglied sollte mit mindestens zwei Parzellen (= Wiederholungen) im Versuch vertreten sein (s. hierzu Abschnitt 5.2.2.).

Eine Parzelle besteht aus der

**Meßfläche**

auf der die Beobachtungsdaten erhoben werden, und dem gleichbehandelten

**Umfassungstreifen**,

der die Parzelle gegenüber Nachbarparzellen und nach außen abgrenzt.

In besonderen Fällen, z. B. bei Versuchen in Hanglage, wird zwischen den Parzellen die Anlage von nicht gedüngten Isolierstreifen empfohlen.

Mehrere Düngungsversuche mit gleichen Versuchszielen bilden eine

**Düngungsversuchsreihe**.

### 5.2. Gestaltung des Versuches und der Parzellen

#### 5.2.1. Anzahl der Meßwerte

Die biometrischen Grundlagen der Versuchsdurchführung werden in den bekannten Lehr- und Handbüchern von LINDER (1953), MUDRA (1958), COCHRAN-COX (1964) und JEFFERS (1960) — die beiden letztgenannten Bücher sind in englischer Sprache abgefaßt — ausführlich und in allgemein verständlicher Form dargestellt.

Nach der Formulierung der Versuchsfragestellung ist festzulegen, mit welcher Mindest-Genauigkeit die zu ihrer Beantwortung

erforderlichen Einzel-Informationen aus den Meßwerten gewonnen werden sollen.

Die Genauigkeit eines Meßwertes wird als Differenz des prozentischen Vertrauensbereiches seines arithmetischen Mittels zu 100% bestimmt:

$$G = 100\% - s_{\bar{x}}\% \cdot t$$

Hierin bedeutet  $s_{\bar{x}}\%$  den prozentischen Aufnahmefehler des Meßwertes und  $t$  den auf die zugeordnete Freiheitsgrad-Zahl bezogenen Grenzwert der  $t$ -Verteilung für eine vorgegebene Überschreitungswahrscheinlichkeit  $p$  (i. d. R. für  $p = 0,05$ ).

Bei Düngungsversuchen werden allgemein Genauigkeitsschwellen von 90% bzw. 95% zugrunde gelegt.

Die geforderte Genauigkeit der Versuchsaussage kann nur dann erreicht werden, wenn für jedes Prüfglied — hier: für jede Düngungsvariante — eine Mindestanzahl von Meßwerten zur Verfügung steht. Die insgesamt erforderliche Meßwertanzahl für alle Parzellen (Wiederholungen) eines Prüfgliedes wird in erster Linie durch die Variabilität der Meßwerte bestimmt:

$$N = \left( \frac{s\% \cdot t}{100\% - G} \right)^2$$

Zugrunde gelegt wird der Variationskoeffizient  $s\%$  desjenigen Meßwertes, der die größte Variabilität aufweist. Unter den in die Versuchsbeobachtung einbezogenen Ertrags-elementen ist dies i. d. R. der laufende Volumenzuwachs, wie die folgende Gegenüberstellung der Variationskoeffizienten der wichtigsten Ertrags-elemente zeigt. Die einfachen Variationskoeffizienten betragen i. D. bei mittelalten und älteren Beständen

- 15 bis 25 Prozent bei der Baumhöhe
- 25 bis 35 Prozent beim Brusthöhendurchmesser
- 30 bis 45 Prozent beim Stammvolumen
- 35 bis 50 Prozent beim laufenden Zuwachs

Um eine hinreichende Genauigkeit des Beobachtungsergebnisses innerhalb der gesamten Laufzeit des Versuches zu gewährleisten, sollte hierbei der Erwartungswert des Variationskoeffizienten für denjenigen Zeitpunkt der Versuchsbeobachtung zugrunde gelegt werden, an dem die größte Variabilität zu erwarten ist. Dieser Zeitpunkt liegt bei einigen Ertrags-elementen bereits am Anfang, bei zahlreichen anderen mehr am Ende der Laufzeit des Versuches.

Die erforderliche *Mindest-Stammzahl je Prüfglied* beträgt je nach den Versuchsbedingungen (einschließlich einer geringen Sicherheitsquote) etwa 50 bis 80. Hierbei wird eine Auswertung der Versuchsaufnahmen mit Hilfe multivariater oder auf multiple Kovarianzanalysen gestützter Verfahren vorausgesetzt. Diese bewirken gegenüber den bisher angewandten Methoden des ertragskundlichen Vergleiches, etwa mit Hilfe eines  $t$ -Testes oder einer einfachen Streuungserlegung, i. d. R. eine nennenswerte Verminderung des Versuchsfehlers und einen hohen Informationsgewinn (siehe hierzu Abschnitt 5.2.3.).

#### 5.2.2. Ermittlung der erforderlichen Parzellenviederholung

Im dritten Abschnitt der Versuchsplanung wird die Zahl der erforderlichen Wiederholungen eines Prüfgliedes innerhalb eines Düngungsversuches bestimmt.

Die Wiederholungen sind bei den herkömmlichen Versuchsanordnungen Flächenwiederholungen, deren Summe die im Abschnitt 5.2.1. beschriebene Mindeststammzahl umfassen muß. Bei den in jüngster Zeit vorgeschlagenen Versuchsanordnungen mit Einzelbaum-Parzellen entspricht die Wiederholungszahl unmittelbar der Anzahl der in den Versuch einbezogenen, nach bestimmten ertragskundlichen Merkmalen (soziale Baumklasse, Baumhöhe, Brusthöhendurchmesser u. ä.) und statistischen Auswahlverfahren bestimmten Probestämme mit einer gegebenen Versuchsbehandlung.



Die Anzahl der erforderlichen Wiederholungen  $r$  wird bestimmt aus der die gewünschte Signifikanzgrenze beschreibenden prozentischen Differenz  $/D\%$  zwischen den Mittelwerten der Prüfglieder, ferner aus der Quadratwurzel aus der zu erwartenden Fehlervarianz (in Prozent)  $s_F\%$  und dem zugeordneten Wert der  $t$ -Verteilung:

$$r = 2 \cdot \left( \frac{s_F\% \cdot t}{D\%} \right)^2$$

Die in Düngungsversuchen erforderliche Zahl der Flächenwiederholungen je Prüfglied schwankt — je nach den spezifischen Versuchsbedingungen und der zugrunde gelegten biometrischen Problemsituation — im Durchschnitt zwischen 2 und 5. Es sollten daher grundsätzlich keine Düngungsversuche mehr angelegt werden, in denen die einzelnen Prüfglieder nicht mindestens zweifach wiederholt (d. h. mit  $r = 2$ ) vertreten sind<sup>1)</sup>.

### 5.2.3. Planung des biometrischen Lösungsweges

Die Planung von Düngungsversuchen sollte grundsätzlich von der Voraussetzung ausgehen, daß zur biometrischen Beschreibung des Versuchsergebnisses über die derzeit praxisüblichen Verfahren hinaus in Zukunft auch Verfahren der multiplen Kovarianzanalyse und der multivariaten Analyse angewandt werden. Bei der Vorbereitung der biometrischen Auswertung der Aufnahmeergebnisse empfiehlt es sich, die forstlichen Forschungsinstitute zu Rate zu ziehen, denen elektronische Datenverarbeitungsanlagen zur Verfügung stehen.

### 5.3. Versuchsanlage

Forstliche Düngungsversuche sind Parzellenversuche. Es werden Flächen abgeteilt, die so groß sind, daß jeder „Parzellenbestand“ den Gesamtbestand repräsentiert oder — bei Kulturversuchen — später repräsentieren kann.

Düngungsversuche an einzelnen Bäumen sind ebenfalls möglich (sog. Einzelbaumdüngungsversuche). Sie können dort Bedeutung erlangen, wo Standortausformung und Bestandesschluß so sehr wechseln, daß sich bei Anlage eines Parzellenversuchs die Einzelparzellen nicht mehr untereinander vergleichen lassen (VIRO 1967, WEIHE 1967). Diese Versuchsart befindet sich jedoch vor allem hinsichtlich der Zuwachskontrolle noch in der Erprobung und wird daher hier nicht behandelt.

#### 5.3.1. Versuchsanordnung

Die Versuchsanordnung regelt Anzahl und Größe der Parzellen und ihre räumliche Verteilung. Sie richtet sich nach:

Versuchsziel,

Größe und Form der verfügbaren, nach Standort und Bestand einheitlichen Fläche und

Zahl der Düngungsvarianten.

Die mathematische Statistik hat in den letzten Jahren für die verschiedensten Versuchsfragestellungen Pläne für Versuchsanordnungen ausgearbeitet, von denen die Pläne für lateinische Quadrate, vollständige und unvollständige Blockanlagen und Faktoren-Versuche mit einem bis drei Faktoren für die Planung von Düngungsversuchen in erster Linie in Betracht kommen. Mit Hilfe dieser Versuchspläne können die biometrischen Erfordernisse der Versuchsanordnung mit der verfügbaren Versuchsfläche in Einklang gebracht werden.

#### 5.3.2. Größe der Parzellen

Im Versuchsplan wird die räumliche Anordnung der Prüfglieder auf der Versuchsfläche in zufälliger, gerechter und in be-

<sup>1)</sup> Unvollständige Versuchsanordnungen mit spezifischen Auswertungsplänen, die Prüfgliedwiederholungen von  $r = 1$  zulassen, sollen hierbei außer Betracht bleiben.

stimmten Fällen auch in systematischer Verteilung festgelegt. Kleinste Flächeneinheiten innerhalb des Versuchs sind die Parzellen. Ihre Meßflächengröße wird in erster Linie durch die errechnete Mindeststammzahl bestimmt, deren Meßwerte die Entwicklung des Prüfgliedes kennzeichnen sollen. Die Mindest-Stammzahl hängt vom Bestandesalter, der Baumartenzusammensetzung, der geplanten Beobachtungsdauer und der Art der in die Beobachtung einbezogenen Ertrags-elemente ab. Die durchschnittliche Mindeststammzahl je Meßfläche errechnet sich als

$$n = \frac{N}{r}$$

Bei Annahme einer Ausgangsstammzahl mittlerer Größenordnung und mäßiger Durchforstungsintensität<sup>2)</sup> sowie einer Laufzeit des Versuches vom An- und Aufwuchsstadium bis etwa zum Alter 100 ist eine Meßflächengröße von rd. 0,08 bis 0,10 ha erforderlich. Hierbei wird eine zweifache Wiederholung der Prüfglieder unterstellt. Der Umfangsstreifen jeder Meßfläche sollte in länger laufenden Düngungsversuchen mindestens 7,5 m, i. d. R. 10 m breit sein. Der Flächenbedarf erhöht sich, wenn eine geringe Ausgangsstammzahl oder eine intensivere Bestandesbehandlung vorgesehen ist. Größere Versuchspartellen sind ebenfalls erforderlich, wenn neben der Düngung andere Fragen, wie z. B. Bodenbearbeitung, im Versuch erprobt werden sollen. In diesem Fall sind Partellengrößen (Meßfläche + Umfang) von mindestens 0,30 ha anzusetzen.

Als Richtwert für die erforderliche Flächengröße einer Parzelle (= Größe der Meßfläche zuzüglich des Umfangsstreifens) in Düngungsversuchen mit einer geplanten längeren Beobachtungszeit sind unter durchschnittlichen Versuchsbedingungen ( $30 \text{ m} \times 2 \times 7,5 \text{ m}$ )<sup>2</sup>  $\approx 0,20$  ha anzusetzen.

Düngungsversuche mit kürzerer Laufzeit — z. B. Versuche bis zum ausgehenden Dickungs- oder Stangenholzalter — haben einen wesentlich geringeren Flächenbedarf. Für Versuche mit einer geplanten Beobachtungszeit bis zum ausgehenden Dickungsalter genügt — bei Annahme der gleichen, im vorangegangenen Absatz genannten Versuchsbedingungen — eine Meßflächengröße von 0,02 bis 0,04 ha und eine Umfangsstreifen-Breite von 2 m.

Bevor jedoch ein Versuch mit kleinsten Partellengrößen angelegt wird, sollte sorgfältig geprüft werden, ob die Versuchsfragestellung innerhalb der vorgesehenen kurzen Laufzeit zufriedenstellend beantwortet werden kann. Die bisherige Versuchserfahrung hat gezeigt, daß die Laufzeiten der Versuche zum Erreichen des Versuchszieles i. a. eher zu kurz als zu lang bemessen worden sind. Eine Fortführung eines für kurze Laufzeit geplanten Versuches über das Ende der vorgesehenen Beobachtungsperiode hinaus ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn genügend große Parzellen zur Verfügung stehen.

#### 5.3.3. Form der Parzellen

Die im Abschnitt 5.3.1. genannten Pläne für die Anlage von Düngungsversuchen gehen von einer rechteckigen Form der Parzellen aus. Diese vereinfacht die Versuchsarbeit wesentlich. Darüber hinaus sind auch andere Flächenformen, wie z. B. Trapeze oder unregelmäßige Vielecke anwendbar.

Bei rechteckigen Parzellen sollte das Verhältnis von Länge zu Breite die Größenordnung 2,5 : 1 nicht überschreiten. Das gilt auch für Versuche an Hängen oder im Gebirge. Der Einfluß der Hanglage auf den Zuwachs kann durch entsprechende Anordnung der Teilstücke erfaßt werden. Um die Auswirkungen eines möglichen Abflusses von Düngestoffen auf die Nachbar-Parzellen gering zu halten, sind bei Versuchen in Hanglage größere Abstände zwischen den Parzellen in Hangrichtung einzuhalten.

<sup>2)</sup> ASSMANN bezeichnet Beginn und Turnus einer Bestandsbehandlung zusammenfassend als Durchforstungsintensität (1961, S. 212 f.).

## 5.4. Düngungsvarianten

Zahl und Art der Düngungsvarianten ergeben sich aus dem Versuchsziel und dem Stand der Erkenntnisse. Danach unterscheidet man ähnlich wie im landwirtschaftlichen Versuchswesen verschiedene Versuchstypen, die nachstehend angegeben werden.

Bei forstlichen Düngungsversuchen ist die Anlage vollständiger Versuche, also die Berücksichtigung aller Varianten eines Versuchstyps wegen Platzmangel selten möglich und aufgrund der Erkenntnisse aus Boden- und Nadelanalysen oder früheren Versuchsergebnissen auch meist nicht notwendig. In jedem Fall ist es besser, auf eine weniger interessante Variante zu verzichten und dafür mehr Wiederholungen der wichtigsten Parzellen einzusetzen.

Eine Kombination verschiedener Versuchstypen kann die Forschungsergebnisse verdichten.

Falls räumlich möglich, ist es zweckmäßig, bei Anlage eines Versuchs mehr Parzellen als notwendig ungedüngt zu belassen. Auf diesen Reserveflächen kann später, wenn erste Ergebnisse vorliegen, die für den betreffenden Standort festgestellte Optimaldüngung wiederholt oder enger variiert werden.

### 5.4.1. Nährstoffmangelversuch

Nährstoffmangelversuche werden angelegt, wenn *nicht* bekannt ist, bei welchen Nährstoffen ein das Wachstum begrenzender Mangel vorliegt oder wenn zu befürchten ist, daß durch die Düngung mit einem bestimmten Nährstoff ein Mangel an anderen Nährstoffen induziert wird.

Ein vollständiger mehrfaktorieller Nährstoffmangelversuch für forstliche Untersuchungen müßte folgende Varianten haben:

NPK - NP - NK - PK - N - P - K - O  
NPKCa - NPCa - NKCa - PKCa - NCa - PCa - KCa - Ca

Aus diesem Schema werden aufgrund der Standorts- und Bestandesbeurteilung die Varianten ausgewählt, die zur Lösung einer bestimmten Versuchsfrage notwendig sind.

### 5.4.2. Nährstoffsteigerungsversuch

Um die günstigste Dosierung eines Nährstoffs zu ermitteln, wird dieser in verschiedenen Mengen gegeben. Man steigert in mehreren (geometrischen) Stufen und hält die anderen Nährstoffe konstant.

Beispiel: Stickstoffsteigerungsversuch:  
N<sub>1</sub>PKCa - N<sub>2</sub>PKCa - N<sub>3</sub>PKCa - PKCa - O

### 5.4.3. Nährstoffformenversuch

Zur Düngung mit einem bestimmten Nährstoff können verschiedene Handelsdüngemittel verwendet werden, welche diesen Nährstoff nicht in der gleichen chemischen Konzentration oder Form sowie u. U. zusätzlich andere Elemente enthalten. Dadurch kann die Wirkung auf Pflanze und Boden verschieden sein.

Bei Nährstoffformenversuchen werden gleiche Reinnährstoffmengen in Form verschiedener Düngemittel gegeben. Im Prinzip sollte nur *ein* Nährstoff getestet werden, während die anderen Nährstoffe in Form und Menge konstant zu halten sind: z. B. bei gleicher Grunddüngung von P und Ca gleiche Mengen an N, einmal als Kalkammonsalpeter, zum anderen als Harnstoff.

Oft liegen aber nicht nur die Hauptnährstoffe der betreffenden Handelsdüngemittel in chemisch verschiedener Form vor, sondern auch die Nebenbestandteile. Auch dies ist bei der Beurteilung der Ergebnisse von Nährstoffformenversuchen zu beachten.

Beispiel: 40er Kali — Kalimagnesia oder  
Hüttenkalk — kohlen. Kalk

### 5.4.4. Nährstoffverhältnisversuch

Bei diesem Versuchstyp werden die *qualitativen* Proportionen zwischen den verschiedenen Nährstoffen *untersucht*. Dabei wird nicht nur ein Nährstoff innerhalb der *Kombination* gesteigert, sondern auch alle anderen. Im Idealfall wird jede Stufe eines Nährstoffes mit jeder Stufe der anderen Nährstoffe kombiniert (Mehrfaktorenversuch).

Beispiel: N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>1</sub> - N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> - N<sub>3</sub>P<sub>3</sub>K<sub>3</sub> - N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> - N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub> - usw.

### 5.4.5. Einfacher Düngungsversuch

Wegen Platzmangel kann es notwendig und bei sehr gründlicher Voruntersuchung auch möglich sein, *ein* Versuch auf wenige Parzellen zu beschränken und dann nur *die* mit hoher Sicherheit optimale Nährstoffkombination zu testen. Auch hier gilt, daß es wichtiger ist, Wiederholungen anzulegen, als weitere Varianten. Dieser Versuchstyp sollte als „einfacher Düngungsversuch“ bezeichnet werden.

Beispiel: NP - O - NP - O

### 5.4.6. Kombinierte Versuche (Mehrfaktorenversuche)

Eine Kombination von verschiedenen *der* vorstehend genannten Versuchstypen kann die Forschungsergebnisse verdichten.

Werden Düngungsversuche durch die *gleichzeitige* Untersuchung anderer waldbaulicher Maßnahmen *ergänzt*, so sollten — wenn möglich — alle Parzellen des Düngungsversuchs parallel mit der betreffenden Behandlung laufen.

Beispiel: NPK - NP - NK - PK - O  
(+ Lupine): NPKLup - NPLup - NKLup - PKLup - Lup  
(ohne Düngung)

Falls der zur Verfügung stehende Platz *eine* vollständige Anlage mit o. a. Schema nicht zuläßt, sollte auf *jedem* Fall die ungedüngte Fläche eine behandelte (ungedüngte) *Parallele* erhalten.

Beispiele: NPK - NP - NK - PK - O  
(+ Lupine): PKLup - Lup (ohne Düngung)

In gleichem Sinne ist bei der *Kombination* mit Durchforstungs-, Bodenbearbeitungs- oder Unkrautbekämpfungsversuchen zu verfahren.

## 6.0. Düngung

### 6.1. Düngemittel

#### 6.1.1. Allgemeines

Die am Markt befindlichen Handelsdüngemittel sind im allgemeinen den Bedürfnissen der Landwirtschaft oder des Gartenbaus angepaßt. Sie unterscheiden sich in Nährstoffgehalt und Nährstoffformen und werden entsprechend den Anforderungen dieser Wirtschaftszweige häufig verändert. Speziell *die* Düngemittel, die den eigentümlichen Anforderungen der Forstwirtschaft entsprechen, gibt es noch nicht.

Im folgenden werden die bei der Walddüngung gebräuchlichen und auch im Handel erhältlichen Mineraldünger besprochen. Es wird nicht auf spezielle Spurennährstoffdünger, auf Gesteinsmehle und auf organische Handelsdüngemittel eingegangen. Ihre Anwendung ist entweder auf extreme Standorte und besondere Kulturen, wie z. B. Pflanzgärten, beschränkt oder für die Walddüngung unrentabel.

Die angegebenen Preise sollen Vergleiche ermöglichen. Sie entstammen dem Statistischen Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 1966/67 und sind Jahresdurchschnittspreise für lose Ware bei Bezug von 15 bzw. 20 t *frachtfrei* Empfangsstation.

### 6.1.2. Stickstoffdünger

Bezeichnung	% N	Stickstoff-Form	Nebenbestandteile	DM/kg N
Kalksalpeter	15,5	NO <sub>3</sub>	28 % CaO	1,27
Kalkammonsalpeter	23	1/2 NO <sub>3</sub> 1/2 NH <sub>4</sub>	33 % CaCO <sub>3</sub>	1,05
Ammonsulfat-salpeter	26	1/4 NO <sub>3</sub> 3/4 NH <sub>4</sub>		1,05
Schwefelsaures Ammoniak	21	NH <sub>4</sub>		1,05
Kalkstickstoff	18 - 22	CaCN <sub>2</sub>	55 - 60 % CaO	1,44
Harnstoff	46	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>		1,03
Stickstoffmagnesia mit Kupfer	20	1/3 NO <sub>3</sub> 2/3 NH <sub>4</sub>	8 % MgO 0,4 % Cu	1,15*

\* einschließlich Kupfer und Magnesiumsulfat

Auf Böden mit sauren Humusaufgaben kommen besonders in Betracht: Kalkammonsalpeter (hat sich bisher bei der Bestandesdüngung am besten bewährt), Kalkstickstoff (langsamere, u. U. nachhaltigere N-Düngewirkung) und Harnstoff (für Flugzeugdüngung besonders geeignet und daher interessant). Ammonsulfat-salpeter und schwefelsaures Ammoniak sind physiologisch saure Dünger, sie sind dort zu verwenden, wo eine Kalkzufuhr unnötig oder schädlich erscheint (KAMP).

Alle Stickstoffdünger — auch stickstoffhaltige Mehrnährstoffdünger — sind im Frühjahr zu streuen. Nach neuesten Versuchsergebnissen kann, abweichend von der bisherigen Gewohnheit, Stickstoff bereits vor Beginn des Austreibens, also je nach Klimaverhältnissen im März bis Mai ausgebracht werden. Über eine Stickstoffdüngung zu anderen Jahreszeiten, etwa im Herbst, liegen noch zu wenig Erfahrungen vor.

### 6.1.3. Phosphatdünger

Bezeichnung	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Form	Nebenbestandteile	DM/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Superphosphat	18	90 Anteile wasserlöslich	50 % CaSO <sub>4</sub>	—,83
Rhenaniaphosphat	26 - 28	zitratlöslich	40 % CaO	—,75
Thomasphosphat	14 - 16	zitronensäurelöslich	45 % CaO Mg/Spurennährstoffe	—,55
Weicherdige Rohphosphate (z.B. Hyperphos)	28 - 30	Apatit	12 - 15 % CaCO <sub>3</sub>	—,50

Superphosphat ist auf bestimmten Kalkstandorten zur Beseitigung eines akuten Phosphatmangels sehr geeignet. In allen anderen Fällen sind die kalkhaltigen und schwerer löslichen Phosphatdünger vorzuziehen, da in den sauren Waldböden die Düngewirkung unabhängig von der Löslichkeit der Phosphatdünger ist. Am häufigsten sind bisher Thomasphosphat und Hyperphos zur Düngung im Walde verwendet worden. Rhenaniaphosphat hat in Versuchen gleiche Wirkung gezeigt.

Superphosphat sollte im zeitigen Frühjahr gegeben werden, die schwerer löslichen Phosphatdünger kann man zu jeder Jahreszeit ausbringen. Falls für eine Neukultur eine Bodenbearbeitung vorgesehen ist, sollte die Phosphatdüngung vorher erfolgen.

### 6.1.4. Kalidünger

Bezeichnung	% K <sub>2</sub> O	Form	Nebenbestandteile	DM/kg K <sub>2</sub> O
Kainit	10 - 15	KCl	NaCl	—,28
40er Kali	40	KCl	NaCl + MgSO <sub>4</sub>	—,29
50er Kali	50	KCl	NaCl	—,29
Korn-Kali	40	KCl	5 % MgO als MgSO <sub>4</sub>	—,33
Kalimagnesia (Patentkali)	26 - 30	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8 - 12 % MgO als MgSO <sub>4</sub>	—,44
Kalisulfat	48 - 52	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		—,39

Kainit soll im Wald wegen seines hohen Gehalts an NaCl nicht angewendet werden, vorzuziehen sind die chloridfreien Dünger, also Kalimagnesia und Kalisulfat, vor allem auf Böden mit höherem pH-Wert. Kalidüngemittel sind im zeitigen Frühjahr auszustreuen.

### 6.1.5. Kalkdünger

Bezeichnung	% CaO	Form	Nebenbestandteile	DM/t CaO
Kohlensaurer Kalk Kalkmergel	ca. 50	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	53,—
Branntkalk	70 - 95	CaO		62,—
Mischkalk	60 - 65	CaCO <sub>3</sub> + CaO		67,—
Hüttenkalk	45 - 50	Ca-Silikat	3 % MgO	73,—

Bei einem Gehalt von mehr als 15 % MgO werden die Kalkdünger als Magnesium-Mergel, Magnesium-Branntkalk usw. bezeichnet. Für die Forstdüngung sind erstens die schwerer löslichen, nicht so stark alkalisch reagierenden und langsamer wirkenden und zweitens magnesiumhaltige Kalkdünger vorzuziehen, also z. B. Hüttenkalk, kohlensaurer Kalk und Magnesium-Mergel. Eines Kalkung kann während des ganzen Jahres erfolgen.

### 6.1.6. Mehrnährstoffdünger

Es gibt viele Mehrnährstoffdünger in verschiedenen Zusammensetzungen und Nährstoffformen, teilweise auch mit Spurenelementen. Hiervon sind in der Forstwirtschaft bisher nur wenige Sorten, vornehmlich einige NPK-, NP- und PK-Dünger verwendet worden.

Chloridfreie Mehrnährstoffdünger sind zu bevorzugen. Sie tragen in der Regel zusätzlich zum Handelsnamen die Bezeichnung „blau“.

Diese Düngemittel können bei allgemeinem Nährstoffmangel in die Versuchsplanung einbezogen werden, nur ist darauf zu achten, daß die Nährstoffgaben auf den Vergleichsparzellen gleich groß sind. Dieses Verhältnis der Nährstoffe zueinander entspricht aber häufig nicht dem vorhandenen Nährstoffmangel.

Alle Mehrnährstoffdünger sind in der Regel im zeitigen Frühjahr auszustreuen, PK-Dünger, wie schwerer lösliche Phosphatdünger vor einer Bodenbearbeitung auszubringen.

## 6.2. Düngermengen

### 6.2.1. Allgemeines

Die Düngermengen richten sich nach dem Versuchszweck. Sie beruhen auf Erfahrungen. Eine präzise Angabe der für einen bestimmten Effekt erforderlichen Nährstoffmengen — wie es in der Landwirtschaft heute schon möglich ist — kann für die Walddüngung vorerst nicht gemacht werden. Um schneller zu sicheren Erkenntnissen über die Bemessung der für verschiedene Standorte,

Baumarten und vor allem Bestandesalterstufen zweckmäßigen Nährstoffgaben zu gelangen, wird empfohlen — soweit möglich — kombinierte Versuche anzulegen. Hierbei soll das vermutlich wirkungsvollste Nährelement hinsichtlich der Menge variiert werden.

Die nachstehend angegebenen Reinnährstoffmengen haben bisher günstige Ergebnisse gezeigt und können als Rahmenwerte dienen.

Die Düngung ist zeitlich in der angeführten Reihenfolge durchzuführen, also zuerst die Kalkdüngung, dann die Phosphatdüngung, oder eine kombinierte Kalk-Phosphatdüngung, dann die Kalidüngung und zuletzt, u. U. mit ein- oder mehrjährigem Abstand, die Stickstoffdüngung.

#### 6.2.2. Rahmenwerte

##### Kalkdüngung

10 - 20 dz CaO/ha

Bei mächtigen Rohhumusauflagen oder bei Düngungsversuchen zu kalkbedürftigen Baumarten kann eine Wiederholung dieser Gabe nach 10 - 20 Jahren notwendig werden.

Die Kalkmenge kann reduziert werden, wenn gleichzeitig kalkhaltige Phosphatdünger ausgebracht werden (z. B. enthalten 10 dz Thomasphosphat 4,5 dz CaO).

##### Phosphatdüngung

150 - 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha

Bei langfristigen Versuchen, die bereits mit der Kulturbegründung beginnen, können höhere Mengen angewendet werden (bis 300 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha). Dies ist besonders in Verbindung mit einer Bodenbearbeitung empfehlenswert.

##### Kalidüngung

100 - 180 kg K<sub>2</sub>O/ha

Da Kali leicht ausgewaschen wird, sollte diese Kaligabe bei stärkerem Mangel mehrfach in Abständen von mehreren Jahren wiederholt werden.

##### Stickstoffdüngung

50 - 300 kg N/ha

Bei Kulturen sollte die Stickstoffdüngung — abgesehen von Spezialversuchen — frühestens ein Jahr nach der Pflanzung erfolgen. Sie kann einzelpflanzenweise als sogenannte Platzdüngung, reihenweise oder über die ganze Fläche gegeben werden (vgl. 6.3). 50 - 100 kg N/ha sind je nach Alter und Zustand der Kultur oder es Jungswuchses angemessen.

In älteren Beständen, im Stangen- oder Baumholzalter sind Gaben von 100 bis 200 kg N/ha, u. U. mehrmals wiederholt, üblich. Über die zweckmäßigste Folge dieser Nachdüngungen besteht noch keine Klarheit. Die Düngung von 3 x 100 kg N/ha in 3 aufeinanderfolgenden Jahren hat gute Zuwachserfolge erbracht; u. U. könnte aber ein längerer Abstand zwischen den Düngungen und auch eine Veränderung der jeweiligen Mengen noch bessere Wirkung zeigen, also z. B. eine „Startdüngung“ von 100 kg N, der nach 2 oder 3 Jahren eine Gabe von 200 kg N/ha folgt oder auch umgekehrt. Wegen der betriebswirtschaftlichen Belastung durch mehrere Arbeitsgänge sind Versuche zur Klärung dieser Fragen angebracht.

#### 6.3. Durchführung der Düngung

Für Düngungsversuche sind gesackte Düngemittel zu bevorzugen. Der Handelsname und der Reinnährstoffgehalt des Düngemittels (Sackaufschrift), sowie der Preis, getrennt nach Kosten für Dünger, Verpackung (Sack) und Anfuhr sind festzuhalten.

Die Düngemittel müssen im Hinblick auf spätere Untersuchungen von Boden, Bodenflora und -fauna möglichst gleichmäßig ausgestreut werden. Daher kommt nur Handarbeit in Frage.

Zur gleichmäßigen Verteilung der Düngemittel empfiehlt sich folgendes Verfahren:

Bei der Düngung leicht übersehbarer Flächen (Kulturen, Altbestände) sind die erforderlichen Düngemittelmengen zu halbieren und die Parzellen in zwei Arbeitsgängen über Kreuz zu bestreuen.

Bei der Düngung schwer oder nicht übersehbarer Flächen (Dickungen, Stangenhölzer) sind die Düngemittel in noch kleinere Partien aufzuteilen, die dem Bedarf genau berechneter „Unterflächen“ der Gesamtparzelle entsprechen. Dies können z. B. in Dickungen die einzelnen Reihen oder Reihengruppen sein, in Stangenhölzern kleinere, für den Düngungsvorgang besonders markierte Quadrate oder Rechtecke.

Grundsätzlich sollte die Ausbringung vom Versuchsanstatter oder seinem Vertreter geleitet werden. Fehler beim Ausstreuen sind in den Akten zu vermerken. Ebenso ist die Witterung vor, während und unmittelbar nach der Düngung festzuhalten.

#### 6.4. Bezeichnungen und Abkürzungen

##### 6.4.1. Allgemeines

Es ist zweckmäßig, in Plänen, Akten, in Veröffentlichungen und im Gelände für die verwendeten Düngemittel, bzw. Nährstoffe und für die gegebenen Mengen einheitliche Abkürzungen zu verwenden. Dabei sollte in erster Linie der Nährstoff angegeben werden, da dessen Symbol für die meisten Zwecke genügt und international gebräuchlich ist (N, P, K, Ca).

Zusätzlich kann das spezielle Düngemittel aufgeführt werden, was i. d. R. nur in Nährstoff-Formenversuchen notwendig ist. Folgende Symbole haben sich bewährt.

##### 6.4.2. Symbole für Düngemittel

###### Kalk

Kohlensaurer Kalk	Ca <sub>KK</sub>	oder nur	k.K.
Hüttenkalk	Ca <sub>HK</sub>	oder nur	HK
Brannkalk	Ca <sub>BK</sub>	oder nur	BK
Kohlens. Magnesiumkalk	Ca <sub>MgK</sub>	oder nur	MgK

###### Phosphatdüngemittel

Hyperphos	P <sub>Hy</sub>	oder nur	PH <sup>+</sup>
Rhenaniaphosphat	P <sub>RH</sub>	oder nur	PR
Superphosphat	P <sub>Sup</sub>	oder nur	PS
Thomasphosphat	P <sub>Th</sub>	oder nur	PT

###### Kalidüngemittel

40er/50er Kali	K <sub>Cl</sub>	oder nur	KCl
Kalimagnesia	K <sub>Mg</sub>	oder nur	KMg
Kalisulfat	K <sub>Su</sub>	oder nur	KS
Korn-Kali mit MgO	K <sub>ClMg</sub>	oder nur	KClMg

###### Stickstoffdüngemittel

Kalksalpeter	N <sub>KS</sub>	oder nur	KS <sub>alp</sub>
Kalkammonsalpeter	N <sub>KAS</sub>	oder nur	KAS
Ammonsulfatsalpeter	N <sub>ASS</sub>	oder nur	ASS
Schwefels. Ammoniak	N <sub>sA</sub>	oder nur	sA
Kalkstickstoff	N <sub>KSt</sub>	oder nur	KSt
Harnstoff	N <sub>Har</sub>	oder nur	Urea
Stickstoffmagnesia	N <sub>Mg</sub>	oder nur	NMg

###### Mehrnährstoffdünger

Volldünger, Komplexdünger	(NPK)
NP-Dünger	(NP)
NK-Dünger	(NK)
PK-Dünger	(PK)

##### 6.4.3. Symbole der Düngungsstufen in Steigerungsversuchen

Bei Steigerungsversuchen sollte an das betreffende Nährstoffsymbol eine Zahl angehängt werden, die lediglich auf die Veränderung der Düngergabe eines Nährstoffes hinweist:

Beispiel: Parz. 1 = 50 kg N/ha Symbol: N<sub>1</sub>  
 Parz. 2 = 100 kg N/ha Symbol: N<sub>2</sub>  
 Parz. 3 = 200 kg N/ha Symbol: N<sub>3</sub>.



Eine Angabe der tatsächlich gegebenen Reinnährstoffmengen ( $N_{50} - N_{100} - N_{200}$ ) ist zwar möglich, aber nicht empfehlenswert. Bei einer Wiederholung der Düngung treffen die Zusatzzahlen nicht mehr zu oder müssen geändert werden. Eine derartige Kennzeichnung kann aber bei einer Veröffentlichung von Versuchsergebnissen vorteilhaft sein, um dem Leser die Beziehungen zwischen Ergebnis und Düngungsvarianten deutlich zu machen.

Beispiele: $N_{50}$	= 50 kg N/ha
$N_{50+100}$	= 50 kg N/ha + 100 kg N/ha Nachdüngung
$N_{50}KAS$	= 50 kg N/ha als Kalkammonsalpeter
$P_{200}PT$	= 200 kg $P_2O_5$ als Thomasphosphat
$K_{150}KMg$	= 150 kg $K_2O$ /ha als Kalimagnesia
$(NPK)_{60-60-100}$	= 60 N — 60 kg $P_2O_5$ — 100 kg $K_2O$ als Volldünger 12/12/20

Eine Angabe der Düngemittelmengen in dz/ha als Zusatzzahl eignet sich weniger, da sich der Reinnährstoffgehalt der Düngemittel im Laufe der Zeit verändern kann (z. B. Kalkammonsalpeter) oder auch Düngemittel gleichen Namens mit unterschiedlichem Nährstoffgehalt zu gleicher Zeit auf dem Markt sind (z. B. Thomasphosphat).

#### 6.4.4. Bezeichnung der Düngungs- und Nährstoffmengen

In den Versuchsakten sollte die geplante bzw. gegebene Reinnährstoffmenge und das Düngemittel aufgeführt werden, also z. B.

150 kg  $P_2O_5$ /ha als Thomasphosphat

oder 150 kg  $P_2O_5$ /ha = 10 dz Thomasphosphat

Die Angaben beziehen sich stets auf die Flächeneinheit, üblicherweise auf den Hektar.

Erfolgt die Düngung nur auf einem Teil der Versuchsparzelle (z. B. Platzdüngung in Kulturen, Reihendüngung in Kulturen oder Dickungen), so ist dies besonders anzugeben:

Platzdüngung: Angabe der Düngemittelmenge je Pflanzloch oder je Baum (z. B. 50 g Thomasphosphat je Pflanzloch oder 30 g Kalimagnesia je Pflanze).

Reihendüngung: 50 kg N/ha = 0,66 dz/ha Kalkammonsalpeter, nur in die 40 cm breiten Pflanzstreifen.

Zu welchen Verwechslungen es andernfalls kommen kann, soll an folgendem Beispiel gezeigt werden:

Für einen Düngungsversuch zu Kiefern ist eine Gabe von 50 kg N/ha geplant. Bei Flächendüngung würden dazu 2,17 dz KAS/ha benötigt. Die Düngung soll aber als Reihendüngung nur in die 1,3 m voneinander entfernt liegenden 40 cm breiten Pflanzstreifen gegeben werden. Diese Düngungsfläche errechnet sich folgendermaßen:

$$77 \text{ Reihen} \times 0,40 \text{ m} \times 100 \text{ m} = 3080 \text{ m}^2$$

für die Düngung werden somit benötigt:

$$2,17 \text{ dz} \times 0,3080 = 0,67 \text{ dz KAS/ha}$$

Würden die für eine Flächendüngung vorgesehenen 2,17 dz KAS nur in diese Pflanzstreifen gegeben werden, erhöhte sich auf den gedüngten Teilen der Gesamtfläche die Reinnährstoffmenge — die Dosierung — auf 162 kg N/ha!

## 7.0. Praktische Empfehlungen

### 7.1. Versuchsprotokoll

Über jeden Düngungsversuch sollte als Ergänzung der Unterlagen fortlaufend ein sogenanntes Versuchsprotokoll geführt werden. Hier sind alle Maßnahmen, die den Versuch in irgendeiner Form betreffen, sowohl Abweichungen von der Planung als auch natürliche Ereignisse, selbst wenn sie scheinbar keinen Einfluß auf Durchführung und Ergebnisse des Düngungsversuchs ausüben, festzuhalten. Eine ausführliche Beschreibung erleichtert die Versuchsauswertung wesentlich. Auch können Diskussionsbeiträge bei Exkursionen aufgenommen werden.

Forstämter und Betriebsbeamte erhalten Mehrfertigungen der Versuchsunterlagen und werden gebeten, die Versuche regelmäßig zu besichtigen und alle Beobachtungen mitzuteilen. Die Beobachtungen werden ins Versuchsprotokoll aufgenommen.

### 7.2. Abgrenzung und Markierung der Parzellen

Alle Grenzen der Parzellen, also von Meßflächen und Umfangsstreifen sind dauerhaft zu markieren. Für Versuche mit langer Laufzeit empfiehlt sich die Versteinung einiger Punkte.

Bei der stammweisen Numerierung hat es sich bewährt, bei nebeneinanderliegenden Parzellen verschiedene Farben zu verwenden und für die häufigsten Düngungsvarianten stets die gleichen Farben zu wählen, z. B. 0-Parzellen: *weiß*, N-Parzellen: *rot*.

Je nach Wildstand müssen nicht nur Versuche in Kulturen, sondern auch solche in älteren Beständen eingezäunt werden.

## 8.0. Behandlung der Versuche und Erfolgskontrolle

### 8.1. Allgemeines

Um die Düngungsfolgen gesichert kontrollieren zu können, muß die Ausgangslage auf allen Parzellen möglichst genau erfaßt werden. Dazu gehört neben eingehenden Bodenuntersuchungen, daß bei Versuchen in bereits geschlossenen Beständen auch deren Struktur zu Versuchsbeginn durch entsprechende ertragskundliche Messungen sauber erfaßt wird. Auch bestandesgeschichtliche Daten oder Beschreibungen der Entwicklung im letzten Jahrzehnt können von großem Wert sein. Die Ergebnisse sind im Versuchsprotokoll niederzulegen.

Abgesehen von der Düngung müssen alle Parzellen eines Versuchs gleich behandelt werden. Mehrfaktorenversuche, also z. B. die Koppelung von verschiedener Bodenbearbeitung und unterschiedlicher Düngung sollen hier außer Betracht bleiben.

Um Komplikationen durch spezifische Durchforstungs- oder Lichtungseffekte auszuschließen, sollten die Versuche nach Möglichkeit in Beständen angelegt werden, die bislang nur mäßig, vor allem aber *gleichmäßig* durchforstet worden sind. Bei der Anlage sollten die Durchforstungsentnahmen auf absterbende oder kranke Bäume beschränkt bleiben. Gleiche Zuwachsreaktionen können nur von Beständen mit annähernd gleicher Grundfläche und Stammzahl je ha erwartet werden. Wenn nach hinreichend langer Beobachtung, etwa nach 5 - 10 Jahren, die Düngungswirkung am Zuwachs gesichert nachgewiesen werden kann und angemessene Durchforstungseingriffe notwendig werden, sollten die Versuchsparzellen mit *gleicher relativer Stärke* durchforstet werden. Wenn etwa aus den Parzellen mit dem größten Düngungseffekt 10 % der Grundfläche entnommen werden, sollten aus allen übrigen Parzellen auch etwa 10 % der Grundfläche möglichst im Wege einer *Niederdurchforstung* (d. h. jeweils vom schwächsten Stamm her) entnommen werden.

### 8.2. Kontrolle in Kulturen und Dickungen

#### 8.2.1. Ausfallprozente

Bei Kulturversuchen ist es wichtig, das *Ausfallprozent* laufend zu kontrollieren. Neben der Anzahl der ausgefallenen Pflanzen sollte auch deren Standplatz innerhalb der Parzelle in irgendeiner Form festgehalten werden (GUSONE 1966). Man kann hieraus nicht nur Schlüsse hinsichtlich der Wirksamkeit unterschiedlicher Düngergaben auf das Anwachsen junger Pflanzen ziehen, sondern erhält bei langfristigen Versuchen auch eine sichere Grundlage zur Beurteilung von Erscheinungen, die auf unterschiedliche Stellung im Jungbestand zurückgeführt werden können.

#### 8.2.2. Höhenwachstum

Der markanteste Weiser für die Düngewirkung im Jungbestand ist das *Höhenwachstum*. Dies kann nach Ablauf einiger Jahre am

Einzelbaum durch Messen der Gesamthöhe bestimmt werden. Aufschlußreicher ist die Länge der einzelnen Jahrestriebe, weil daran die Nachhaltigkeit der Düngung und die Auswirkungen der Jahreswitterung zu erkennen sind. Außer bei sehr kleinen Pflanzen genügt es, die Höhen in 10 cm-Stufen, die Triebhöhen auf cm genau zu messen.

Man kann zwischen einer *Totalaufmessung* und einer *Auswahlmessung* wählen. Beide Systeme sind sowohl auf der jeweils ganzen Fläche der Parzellen als auch nur auf Teilflächen, also im Stichprobenverfahren möglich. Bei einer Totalaufmessung auf ganzer Fläche werden alle lebenden Bäume der Parzelle erfaßt, bei einer Totalaufmessung im Stichprobenverfahren nur die lebenden Bäume auf zufällig bestimmten Teilflächen der Parzellen. Eine Auswahlmessung berücksichtigt dagegen lediglich bestimmte Exemplare, also z. B. alle herrschenden oder alle über 2 m hohen Bäume (GUSSENE 1966).

Außer bei der Totalaufmessung auf ganzer Fläche ist es wichtig, die für ein statistisch gesichertes Ergebnis notwendige Anzahl der Einzelerhebungen und die Lage der Stichproben festzulegen. Die Anzahl der Messungen wird nach der Formel

$$N = \left( \frac{s\% \cdot t}{s_{\bar{x}}\% \cdot t} \right)^2$$

bestimmt.

Hierbei gibt  $s\%$  den Variationskoeffizienten und  $s_{\bar{x}}\%$  den prozentischen mittleren Fehler des Mittelwertes an.

Der Variationskoeffizient muß zunächst geschätzt werden. Er beträgt bei einem gleichmäßigen Jungbestand auf die Gesamthöhe bezogen etwa 25 %, bei ungleichmäßigen Beständen kann er bedeutend höher liegen. Nach der obigen Formel muß man bei  $s\% = 25$  und  $s_{\bar{x}}\% = 5$  mindestens 100 Bäume messen, um ein Ergebnis zu erhalten, welches den statistischen Anforderungen genügt.

Neben der Bestimmung dieser Baumzahl ist die Dichte und Anordnung der Stichprobenahme wichtig. Es ist hierbei zu überlegen, ob spätere Messungen stets wieder an der gleichen Stichprobe vorgenommen werden sollen oder ob, was statistisch richtiger wäre, jeweils neue Stichproben festgelegt werden sollen. Es hat sich bewährt, bei gleichartigen Untersuchungen jeweils die gleichen Stichproben zugrunde zu legen (GUSSENE 1966). Eine Auswahlmessung ist vor allem in sehr dichten oder unregelmäßigen Beständen zu wählen. In den Reihen dicht aufwachsender Kiefernjungbestände wird man beispielsweise stets nur den höchsten Baum auf dem laufenden 2- oder 3-m-Abschnitt erfassen. Auch bei der Überprüfung einer bestimmten Reaktion durch Triebmessungen erhält man ein aussagekräftigeres Resultat, wenn man lediglich herrschende Bäume berücksichtigt, als wenn man den Mittelwert aus dem gesamten, von vielen Faktoren beeinflussten Material zugrunde legt.

### 8.2.3. Stärkenzuwachs

Der Stärkenzuwachs wird bei den forstüblichen Meßmethoden im allgemeinen erst dann kontrolliert, wenn alle Bäume des Versuchsbestandes so weit herangewachsen sind, daß Messungen des Durchmessers oder Umfanges in der konventionellen Meßhöhe von 1,3 m über dem Boden möglich sind. Neuentwickelte ertragskundliche Meßverfahren (JOHANN 1964) erlauben bei der Baumart Fichte auch die Berechnung des Volumens von Jungbeständen aufgrund von Durchmessermessungen in 0,5 oder 1,3 m Höhe, wie auch allein von Höhenmessungen. Auch das Verhältnis von Höhen- und Stärkenzuwachs ist ein guter Weiser für die unterschiedliche Reaktion nach der Düngung.

Sofern Messungen in der konventionellen Meßhöhe von 1,3 m noch nicht möglich oder solche von 0,5 m zu aufwendig sind, kann

auch die Stärke bestimmter Jahrestriebe erfaßt werden, wobei der Durchmesser etwa 2 cm oberhalb des letzten Astquirls auf mm genau gemessen wird.

### 8.2.4. Astigkeit

Die Beobachtung der *Ausbildung der Seitenäste* bei unterschiedlicher Ernährung kann wertvolle Hinweise auf die spätere Qualität der Bäume geben. Neben der Länge und der Stärke der Seitenäste, die in knappem, aber stets gleichem Abstand vom Stamm zu messen ist, sollte auch die Anzahl der Äste je Astquirl erfaßt werden.

### 8.2.5. Umsetzung

Das *Umsetzen* eines Jungbestandes und die Abnahme der Stammzahl in der Dickungsphase ist bei den einzelnen Baumarten sehr verschieden. Zeitlicher Ablauf und Intensität dieses Vorganges als Folge unterschiedlichen Höhenwachstums werden von der Nährstoffzufuhr (einschließlich der Wasserversorgung) bestimmt. Dies wirkt sich später auf Stammzahlhaltung, Stärken- und Volumenzuwachs aus und sollte deshalb bei langfristigen Düngungsversuchen festgehalten werden.

Eine sichere Beobachtung des Umsetzens und der Stammzahlabnahme ist nur durch wiederholte Totalaufmessung auf festen Probeflächen innerhalb der Parzellen möglich. Dabei ist der Standplatz jedes Baumes festzuhalten. Der beträchtliche Arbeitsaufwand für diese besonderen Untersuchungen wird dadurch etwas vermindert, daß sämtliche Meßvorgänge von der Kultur an auf den o. g. Probeflächen durchgeführt werden.

## 8.3. Kontrolle in Stangenhölzern und älteren Beständen

### 8.3.1. Brusthöhendurchmesser

Für die ertragskundliche Erfassung der Düngerwirkung in Beständen vom ausgehenden Stangenhöhenalter an ist stammweise Numerierung und Bezeichnung der Meßstellen auf den Meßflächen unerlässlich.

Der Brusthöhendurchmesser wird durch Umfangmessung mit Hilfe von Bändern mit  $\pi$ - oder mm-Teilung genauer als durch Klappung ermittelt. Die Berechnung der Bestandesgrundfläche erfolgt nach den üblichen, ertragskundlichen Verfahren. In jüngster Zeit werden hierbei in zunehmendem Maße elektronische Datenverarbeitungsanlagen eingesetzt.

Beim Umrechnen der Einzelwerte in Grundflächen von Baum und Bestand ist zu beachten, daß klassenweise Berechnung, etwa nach 1-cm-Durchmesserstufen, wie sie im forstlichen Versuchswesen bisher vielfach noch üblich ist, wegen der dabei wirksamen zufälligen und systematischen Klasseneinteilungsfehler zu nicht kalkulierbaren Fehlern bei der Bestandesgrundfläche führt, die ihrerseits bedeutende Zuwachsfehler im Gefolge haben können. Die inzwischen vorliegenden Rechenprogramme erlauben eine fehlerfreie Auswertung der Einzelbäume-Meßdaten.

### 8.3.2. Baumhöhe

Die Höhenentwicklung wird i. a. aus der Veränderung der Bestandeshöhenkurven bestimmt. Dazu sind für jede Parzelle, je nach der vorliegenden Variation der Höhen, etwa 30 - 40 Höhen zu messen. Die benutzten Höhenmesser sollten vorher durch Messen bekannter Höhen (etwa Meßmarken an Gebäuden) geprüft werden. Auch können so systematische subjektive Meßfehler der aufnehmenden Personen erfaßt werden. Benutztes Gerät und aufnehmende Person werden zweckmäßigerweise vermerkt.

### 8.3.3. Bestandesvolumen

Da die jeweiligen örtlichen Formzahlen der Versuchsbestände nur mit Hilfe einer unerreichbar hohen Anzahl von liegend ver-

messenen Probestämmen oder nur mit einem unverhältnismäßig hohen Meßaufwand an stehenden Probestämmen bestimmt werden können, wird das Bestandesvolumen i. d. R. mit Hilfe von Volumen- oder Formzahlfunktionen anhand elektronischer Volumen-Berechnungsprogramme bestimmt, die den meisten Forschungsinstituten heute zur Verfügung stehen. Sind Programme oder Datenverarbeitungsanlagen nicht verfügbar, so wird das Volumen i. d. R. anhand von Massentafeln berechnet.

### 8.3.4. Zuwachs

8.3.4.1. Wenn die Bäume der Versuchspartellen bei der Anlage nicht numeriert und gemessen wurden, muß der Durchmesser- (und der entsprechende Grundflächen-)Zuwachs an Hand von Bohrspänen ermittelt werden. In diesem Fall sollte aber die Ausgangslage durch eine vereinfachte Klappung (etwa nach 1-cm-Stufen) und ausreichende Höhenmessungen festgehalten werden. Anzahl und Verteilung der anzubohrenden Bäume sowie die Methodik der Bohrspänenentnahme können z. B. aus PRODAN 1951 entnommen werden. Man beachte, daß durch die Bohrungen die Holzqualität beeinträchtigt werden kann (SCHÖPFER 1961).

8.3.4.2. Die Berechnung des Volumenzuwachses aus der Differenz zweier Bestandesvolumen-Bestimmungen liefert fehlerhafte und mit den gemessenen Grundflächenzuwachsen nicht harmonisierende Ergebnisse, wenn bei den Höhenmessungen zu Beginn oder am Ende Fehler gemacht wurden, die nicht durch Abstimmung der Bestandeshöhenkurven beseitigt oder abgemildert werden konnten. Eine Harmonisierung von Volumen- und Grundflächen-Zuwachs ist notwendig für die exakte Berechnung des betriebswirtschaftlichen Erfolges einer Düngung, der für die Praxis letztlich entscheidend ist.

Man kann dazu den Volumenzuwachs unmittelbar aus dem Grundflächenzuwachs anhand spezieller Umrechnungstabellen herleiten (vgl. DINKELAKER 1965).

Weisen die Prüfglieder in der Ausgangslage z. B. im Vorrat an Grundfläche Unterschiede auf, so ist das Zuwachsprozent für die Kontrolle des Düngungserfolges geeigneter als der absolute Zuwachs, da dieser von der jeweiligen Höhe, Grundfläche usw. abhängig ist. Der biometrische Vergleich von Prüfgliedern mit unterschiedlicher Ausgangslage bei Versuchsbeginn wird zweckmäßig mit Hilfe der Kovarianzanalyse vorgenommen.

Die Aufnahmeergebnisse werden je nach Art und Anordnung der Versuche berechnet. Um ein Höchstmaß an Aussagefähigkeit der Versuchsergebnisse zu erreichen, ist ihre mathematisch-statistische Auswertung unerlässlich. Die hierbei anzuwendenden Verfahren richten sich nach Versuchsanlage und Versuchszweck sowie nach den zur Verfügung stehenden Datenverarbeitungsanlagen und Auswertungsprogrammen.

## 9.0. Sonstige Untersuchungen

Neben den vorstehend beschriebenen Erhebungen sind periodisch wiederkehrende, aufeinander abgestimmte Untersuchungen über die Bodenvegetation, die Fauna, den Humuszustand, die Wurzeln und sonstige Baumteile, über den Nadelabfall und den Nährstoffkreislauf u. a. wünschenswert. Die Konzentration der Arbeit von Fachkräften aller in Frage kommenden Gebiete auf die gleichen Versuchsobjekte läßt neue, wertvolle Aufschlüsse über die Zusammenhänge zwischen Standort, Düngung und Wuchsleistung erwarten.

### Summary

Title of the paper: *Recommendations for Designing, Establishing, Treating and Evaluating Fertilizer Trials in Forests.*

The work sheet for the establishment of fertilizer trials, which had been prepared by the Section Yield Research of the German

Forest Research Stations in 1954, is up-dated. Minimum standards are stipulated.

Chief object of fertilizing trials is the increase in productivity, but other parameters, such as timber quality, fruiting, needle formation and fall, soil organisms, nutrient cycling, water balance should among others also be observed.

The design should aim at maximum efficiency and be based on a sound concept as suitable biometrical techniques. Sites should have nutrient deficiency as chief limiting factor and their selection is discussed.

The plot shape, size and arrangement and the various types of fertilizer treatments and kinds and prices of fertilizers are described. Descriptive symbols are proposed.

The evaluation requires accuracy in recording and tending, including thinning, and the application of efficient techniques of enumeration and data processing, which are described. (Br.)

### Résumé

Titre de l'article: *Recommandations sur les programmes, la mise en place, le traitement et l'interprétation d'expériences de fertilisation forestières.*

Le travail collectif présenté vise à donner la situation la plus récente des recherches entreprises dans le cadre du programme de travail établi en 1954 par la Section PRODUCTION de l'Institut allemand de Recherches Forestières pour les expériences de fertilisation. Il fallait également montrer aux praticiens intéressés par ce type d'expérience, quelles sont les exigences minimales requises aujourd'hui par un dispositif expérimental.

L'objectif principal des expériences de fertilisation forestières est l'augmentation durable de la productivité potentielle d'une station bien adaptée et, concurremment, l'augmentation en valeur et en volume de la production de bois. En outre, il est souhaitable d'étudier simultanément les modifications de la qualité du bois, de la fructification, de la quantité des feuilles, de la chute de litière, de la faune et de la flore telluriques, des cycles nutritionnels, de la teneur en eau ainsi que d'autres facteurs biotiques et abiotiques, sans omettre les incidences économiques et sylvicoles.

Le programme de recherches doit permettre d'obtenir le maximum d'informations avec le minimum de travail. Ceci exige avant tout que les problèmes que l'on veut étudier entrent bien dans le cadre de ce que l'on peut faire et que les principes de la biométrie soient bien respectés.

Les recherches doivent être valables pour des types de stations que l'on rencontre sur de grandes superficies et pour lesquels le facteur limitant de la croissance des arbres est bien le manque d'éléments nutritifs. On a étudié ce que cela impliquait pour la station, les critères la caractérisant, et les conditions auxquelles devaient répondre les peuplements expérimentaux.

D'après la définition de l'objectif principal, on a indiqué dans chaque cas quelles étaient la superficie, la forme, la répartition sur le terrain des parcelles d'expérience donnant les meilleurs résultats et quels étaient les différents types d'expériences qui pouvaient être envisagés d'après le nombre et la nature des variantes dans l'apport de la fumure.

Les formules des engrais du commerce utilisables en forêt sont données. On a précisé les conditions et les doses d'emploi. A titre indicatif, on a mentionné en outre les prix moyens 1966/67. Des symboles, en partie nouveaux, dont l'emploi généralisé paraît très souhaitable, ont été recommandés pour caractériser les principaux engrais et indiquer la quantité d'éléments nutritifs qu'ils apportaient; ces symboles sont utilisables dans les projets, dossiers, publications et sur le terrain.

Le contrôle des résultats requiert, entre autre, une connaissance exacte des conditions initiales; en outre toutes les parcelles doivent

être soumises, en dehors de la fertilisation, à des traitements uniformes, par exemple en ce qui concerne les éclaircies.

Les méthodes utilisables pour mesurer et calculer le volume sur pied ont été indiquées. Pour l'interprétation des résultats on a recommandé des méthodes mathématiques-statistiques et des modes de traitement des données. (J. M.)

## 10.0. Literatur

ASSMANN, E.: Waldertragskunde, 490 S., München, Bonn, Wien, BLV-Verlagsgesellschaft, 1961. — BAULE, H. u. FRICKER, C.: Die Düngung von Waldbäumen, 260 S. München-Basel-Wien, BLV-Verlagsgesellschaft, 1967. — BEHRENS, W. U.: Der Nutzen der Biometrie für das landwirtschaftliche Versuchswesen. Kali-Briefe Fachgebiet 3, Folge 6, 4 S., 1961. — COCHRAN, W. G. u. COX, G. M.: *Experimental designs*. 2. Aufl., 617 S., New York und London. Verlag J. Wiley and Sons, 1964. — DINKELAKER, H.: Die Auswirkung unterschiedlicher Grundflächenhaltung auf die Umrechnung von Grundflächenzuwachs in Volumenzuwachs in Fichtenbeständen. AFJZ 1965, Heft 11, S. 258 ff. — GUSSONE, H. A.: Faustzahlen für Düngung im Walde, Bayerischer Landwirtschaftsverlag München, 1964. — GUSSONE, H. A.: Aufmessungsverfahren in jungen Kiefernbeständen, AFJZ 1966, S. 269 - 286. — JACK, W. H.:

*Single tree sampling in even-aged plantations for survey and experimentation*, XIV IUFRO-Congr. München 1967, Ber. d. Sect. 25, S. 379 - 403. — JEFFERS, J. N. R.: *Experimental design and analysis in forest research*, 172 S., Stockholm 1960, Verlag Almqvist u. Wiksell. — LINDER, A.: Planen und Auswerten von Versuchen, 182 S., Basel 1953, Verlag Birkhäuser. — MUDRA, A.: *Statistische Methoden für landwirtschaftliche Versuche*. 344 S., Berlin u. Hamburg 1958, Verlag Parey. — NEBE, W. u. THOMASIIUS, H.: Über die Anlage von Düngungsversuchen. Die Sozialistische Forstwirtschaft, 1964, Heft 6, S. 12 - 16. — PRODAN, M.: Messung der Waldbestände. Frankfurt 1951, Verlag Sauerländer. — PRODAN, M.: Forstliche Biometrie, BLV-Verlag München, Bonn, Wien, 1961. — SCHÖPFER: Die Bohrspanentnahme von Waldbäumen. AFZ 1961, S. 297, 345. — THOMASIIUS, H.: Über methodische Fragen bei der Anlage forstlicher Versuchsflächen. Arch. Forstwes. 11, S. 436 - 453, 1962. — THOMASIIUS, H.: Über die Anlage und Auswertung forstlicher Versuche auf Flächen mit unterschiedlicher Standortgüte. Arch. Forstwes. 12, S. 542 - 567, 1963. — THOMASIIUS, H.: Über die Notwendigkeit und Aussagefähigkeit forstwissenschaftlicher Experimente mit ortsfesten Varianten. Arch. Forstwes. 16, S. 911 - 916, 1967. — VIRO, P. J.: One-tree plots in manuring mature stands. XIV-IUFRO-Congr. München 1967, Ber. der Sect. 23, S. 597 - 607. — WEIHE, J.: Düngungsversuche mit Einzelbaumparzellen. Vortrag v. d. Sektion Ertragskunde des VdFV., 1967. — Arbeitsplan für die Anlegung von Forstdüngungsversuchen, AFJZ 1955, S. 81 - 87. — Forstliche Standortaufnahme (2. Auflage), Landwirtschaftsverlag Hiltrup, 1966.

# Eigenschaften von Forstpflanzen und Kulturerfolg

## I. Mitteilung: Aupflanzungsversuche mit Fichten- und Kiefernpflanzen verschiedener Größen und Durchmesser

Von H. SCHMIDT-VOGT und P. GÜRTH

(Aus dem Waldbau-Institut der Universität Freiburg i. Br. in Verbindung mit der Arbeitsgruppe 12 — Sektion 23 Waldbau — des Internationalen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten)

(Mit 3 Abbildungen und 5 Tabellen.)

### 1 Vorbemerkung

Die künstliche Begründung von Wald ist eine der großen Aufgaben des Waldbaus der Gegenwart. Mit dem Ziel, die Holzproduktion zu steigern und die Landeskultur zu fördern, wurden in den letzten zwei Jahrzehnten von zahlreichen Ländern der Welt umfangreiche Aufforstungsprogramme aufgestellt. Es sei hier in Europa nur an Frankreich, Großbritannien, Italien, Jugoslawien und Spanien erinnert. Überall gilt es hier entweder den in der Vergangenheit verlorenen Wald wieder neu zu begründen oder aber ertragsschwache Niederwälder durch leistungsstarke Hochwälder zu ersetzen. Forstwirtschaft ist hier in erster Linie Aufforstung. Aber auch in Ländern mit alter forstlicher Tradition und der Möglichkeit, die bestehenden Wälder natürlich zu verjüngen, nimmt die Kunstverjüngung aus hier nicht zu erörternden Gründen einen beachtlichen Anteil ein; so werden in der Bundesrepublik rund 90 % der jährlich anfallenden Schlagflächen durch Aufforstung wieder in Bestockung gebracht.

Die Durchführung von Forstkulturen wurde in der Vergangenheit überwiegend als technisches Problem gesehen. Über Fragen der günstigsten und rationellsten Pflanzmethode gibt es eine außerordentlich umfangreiche Literatur. HESMER hat 1950 für die Fichte allein 24 verschiedene Pflanzverfahren beschrieben. Demgegenüber hat man sich mit dem Objekt der Pflanzung, der Forstpflanze, nur sehr wenig beschäftigt, obwohl schon die praktische Erfahrung dafür sprach, daß gewisse Pflanzeigenschaften auf den Kulturerfolg einen mindestens ebenso starken Einfluß haben müssen als wie die Pflanzmethode.

Ein Arbeitsschwerpunkt des Waldbau-Instituts der Universität Freiburg i. Br. wird daher in den nächsten Jahren sein, zur Rationalisierung der Forstkulturen die Probleme der Arbeitstechnik von der pflanzenmorphologischen und -physiologischen Seite her zu ergänzen (SCHMIDT-VOGT 1965).

In den letzten Jahren wurden zur Klärung der hier anstehenden Probleme bereits zahlreiche Versuchsflächen angelegt. Es ist selbst-

verständlich, daß die meisten Fragen frühestens in einigen Jahren beantwortet werden können. Viele Teilfragen sind jedoch so aktuell, daß die forstliche Praxis heute schon gewisse Informationen benötigt. Es ist daher vorgesehen, in einer Folge von Beiträgen von Zeit zu Zeit über Zwischenergebnisse dieser Versuche zu berichten.

Auf dem XIV. IUFRO-Kongreß in München 1967 wurde der erstgenannte Autor innerhalb der Sektion 23 Waldbau zum Leiter der Arbeitsgruppe 12 „Eigenschaften von Forstpflanzen und Kulturerfolg“ gewählt. Die hiermit begonnene Mitteilungsreihe soll im Rahmen der hier angestrebten internationalen Zusammenarbeit weiterhin dazu dienen, über den engeren Bereich der Mitarbeiter dieser Arbeitsgruppe hinaus die Ergebnisse der gemeinsamen Bemühungen einem weiteren Kreis von Interessenten zugänglich zu machen.

Bei der Durchführung dieser ersten Untersuchungen wurden wir von vielen Seiten unterstützt. Unser Dank gilt der Bayer. Ministerialforstabteilung für die Überlassung der Auswertung eines in Laufen/Obb. unter anderen Bedingungen angelegten Versuchs, weiterhin den Herren Forstoberamtmann LABER und Revierförster HARTEL für Betreuung und Aufnahmearbeiten. Für die Versuchsflächen in Baden-Württemberg danken wir der Landesforstverwaltung in Stuttgart, den betroffenen Forstdirektionen und vor allem den Herren Amtsvorständen der für die Versuche ausgewählten Forstämter sowie den örtlichen Betriebsbeamten, ohne deren Interesse und Hilfe unser Vorhaben nicht hätte durchgeführt werden können. Zu Dank sind wir auch den Herren Regierungsdirektor Dr. SCHLENKER und Dozent Dr. BARNER für die liebenswürdige Überlassung einer Teilfläche der Freifeldprüfanlage in Günterstal verpflichtet. Bei der Anlage und Auswertung dieser Versuche arbeiteten die Herren Revierförster JUNGCLAUS und KOMPENHANS mit, denen wir hier ganz besonderen Dank sagen möchten. Dasselbe gilt für unsere studentischen Hilfskräfte und nicht zuletzt für Frau MACK und unseren Gartenmeister Herrn WEBER. Bei den