

**R h e i n l a n d - P f a l z**

**Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten**

**Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz**

**D-6751 Trippstadt**

**Telefon: 06306/8311**

**Telefax: 06306/2821**

**Nr. 13/90**

**G. Schüler**

**Der kombinierte Durchforstungs- und**

**Düngungsversuch Kastellaun**

**- angelegt 1959 -**

**heute noch aktuell ?**

**ISSN 0931 - 9662**

1914

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

## **Inhaltsverzeichnis**

	Seite
<b>1. Einleitung</b>	6
<b>2. Versuchsanlage und Methodik</b>	7
2.1. Standort	7
2.2. Versuchsanlage und Durchführung	7
2.3. Auswertung und Methoden	9
<b>3. ertragskundliche Ergebnisse</b>	12
3.1. Stammzahlhaltung	12
3.2. Durchmesserverteilung	14
3.3. Grundflächenentwicklung	20
3.4. Gesamtwuchsleistung	23
3.5. H/D-Wert	26
3.6. Einzelbaumentwicklung	30
3.6.1 Oberhöhenentwicklung	30
3.6.2 Durchmesserzuwachs	32
<b>4. Ergebnisse der chemischen Analysen</b>	34
4.1. Bodenanalysenergebnisse	34
4.2. Humusanalysenergebnisse	40
4.3. Nadelanalysenergebnisse	43
<b>5. Ergebnisse der Waldschadensaufnahme 1984</b>	48
<b>6. Diskussion</b>	49
6.1. Der Durchforstungsversuch - Hinweise auf die Praxis der Fichtenwirtschaft	49
6.2. Ertragskundliche Beurteilung des Düngeerfolges	53
6.3. Ernährungskundliche Folgerungen aus dem Düngeversuch	55
<b>7. Zusammenfassung - Summary</b>	60
<b>8. Literatur</b>	62
<b>9. Anhang:</b>	66
Stammverteilungspläne und Durchmesserentwicklung	

## Verzeichnis der Tabellen:

	Seite
<b>Tab. 1:</b> Stammzahlentwicklung der ungedüngten, gedüngten, undurchforsteten, mäßig und stark durchforsteten Versuchsvarianten, sowie der Ertragstafel "Wiedemann mäßige Durchforstung" der entsprechenden Bonität	14
<b>Tab. 2:</b> Die Durchmesserverteilung der Ausgangsbestände 1959	15
<b>Tab. 3:</b> Die Durchmesserverteilung der Versuchsvarianten 1983	17
<b>Tab. 4:</b> Die Durchmesserverteilung der ausgeschiedenen Bestandesglieder	18
<b>Tab. 5:</b> Durchmesserentwicklung des Grundflächenzentralstammes in den Versuchsvarianten	20
<b>Tab. 6:</b> Die Grundflächenhaltung der ungedüngten, gedüngten, undurchforsteten, mäßig und stark durchforsteten Versuchsvarianten im Vergleich zur Grundflächenhaltung der Ertragstafel "Wiedemann, mäßige Durchforstung" der entsprechenden Bonität (IA4).	21
<b>Tab. 7:</b> Die Grundflächenhaltung der ungedüngten, gedüngten, undurchforsteten, mäßig und stark durchforsteten Versuchsvarianten in % der Grundflächenhaltung der Ertragstafel Wiedemann mäßige Durchforstung der entsprechenden Bonität (IA4).	21
<b>Tab. 8:</b> Die Gesamtwuchsleistung der ungedüngten, gedüngten, undurchforsteten, mäßig und stark durchforsteten Versuchsvarianten in Prozent der von der Ertragstafel "Wiedemann, mäßige Durchforstung" entsprechenden Höhenbonität (IA 4) ausgewiesenen Gesamtwuchsleistung	24
<b>Tab. 9:</b> Die Gesamtwuchsleistung der ungedüngten, gedüngten, undurchforsteten, mäßig und stark durchforsteten Versuchsvarianten im Vergleich zu der von der Ertragstafel "Wiedemann, mäßige Durchforstung" entsprechenden Höhenbonität (IA 4) ausgewiesenen Gesamtwuchsleistung	26

<b>Tab. 10:</b> Analyse der H/D-Wert-Verteilung in den Ausgangsbeständen 1959	27
<b>Tab. 11:</b> Analyse der H/D-Wert-Verteilung in den Versuchsvarianten 1983	29
<b>Tab. 12:</b> Durchschnittliche Höhe der 100 stärksten Fichten je ha	30
<b>Tab. 13:</b> Azidität der Versuchsflächen bei Versuchsbeginn und -ende	35
<b>Tab. 14:</b> Äquivalentanteile von basisch und sauer wirksamen Kationen im Ah-Horizont der ungedüngten und gedüngten Varianten bei Versuchsende	36
<b>Tab. 15:</b> Äquivalentanteile von basisch und sauer wirksamen Kationen im Sw-Mineralbodenhorizont der ungedüngten und gedüngten Versuchsparzellen bei Versuchsende	37
<b>Tab. 16:</b> Elastizitätsparameter im Ah-Mineralbodenhorizont bei Versuchsende	37
<b>Tab. 17:</b> Elastizitätsparameter im Sw-Mineralbodenhorizont bei Versuchsende	38
<b>Tab. 18:</b> Stickstoffgehalt der Versuchsflächen bei Versuchsbeginn und -ende	39
<b>Tab. 19:</b> Ergebnisse der chemischen Humusanalyse bei Versuchsbeginn und -ende	40
<b>Tab. 20:</b> Elastizitätsparameter im Auflagehumus bei Versuchsende	42
<b>Tab. 21:</b> Ergebnisse chemischer Nadelanalysen bei Versuchsbeginn (1959) und -ende (1984) von Proben des 1. und 3. Nadeljahrgang aus dem 7. Quirl ungedüngter und gedüngter Fichten.	43
<b>Tab. 22:</b> Schadansprache der Fichten im Hinblick auf die "neuartigen Waldschäden" im Rahmen des Sondermeßprogramms Wald	48

## Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
Abb. 1: Lage der Versuchsparzellen	8
Abb. 2: Entwicklung der Stammzahl in den Versuchsparzellen	12
Abb. 3: Stammzahlhaltung in der mäßig durchforsteten Variante im Vergleich zu der durch die Ertragstafel vorgegebenen Stammzahl	13
Abb. 4: Durchmesserverteilung der Versuchsvarianten 1959	15
Abb. 5: Durchmesserverteilung der Versuchsvarianten 1983	16
Abb. 6: Durchmesserverteilung des ausscheidenden Bestandes	18
Abb. 7: Durchmesserentwicklung der Grundflächenzentralstämme	19
Abb. 8: Grundflächenhaltung der ungedüngten Versuchsvarianten im Vergleich zu Ertragstafelwerten	20
Abb. 9: Regressionsgeraden zwischen den Grundflächenentwicklungen der gedüngten und ungedüngten Varianten	22
Abb. 10: Zusammenhang zwischen Ausgangsgrundfläche und Grundflächenzuwachs	22
Abb. 11: Grundflächenzuwachs pro Einzelbaum	23
Abb. 12: Ertragsniveau der Durchforstungsvarianten	24
Abb. 13: Düngungswirkung auf die Gesamtwuchsleistung	25
Abb. 14: H/D-Verhältnisse in den Versuchsvarianten 1959	27
Abb. 15: H/D-Verhältnisse in den Versuchsvarianten 1983	28
Abb. 16: Oberhöhenentwicklung	31

- Abb. 17:** Oberhöhenentwicklung in den stark durchforsteten Varianten
- Abb. 18:** Durchmesserzuwachs der 100 stärksten Bäume je Versuchsfläche
- Abb. 19:** pH-Werte im Mineralboden
- Abb. 20:** Austauscherbelegung mit basisch wirksamen Kationen
- Abb. 21:** Austauscherbelegung mit versauernd wirkenden Kationen
- Abb. 22:** Stickstoffgehalt im Ah-Horizont
- Abb. 23:** pH-Werte in der Humusauflage
- Abb. 24:** Stickstoffgehalt der Humusauflage
- Abb. 25:** Ascheanteil der Humusauflage
- Abb. 26:** Stickstoffspiegelwerte der Fichtennadeln
- Abb. 27:** Phosphorversorgung der Fichten
- Abb. 28:** Kaliumgehalte der Nadeln
- Abb. 29:** Calciumspiegelwerte der Fichtennadeln
- Abb. 30:** Magnesiumversorgung der Fichten
- Abb. 31:** Mangangehalte der Nadeln
- Abb. 32:** Eisenspiegelwerte der Fichtennadeln
- Abb. 33:** Aluminiumgehalte der Nadeln
- Abb. 34:** Vitalitätsansprache der gedüngten und ungedüngten Fichten
- Abb. 35**
- 65: Stammverteilungspläne der Versuchsvarianten

## 1. Einleitung

1959 wurde im Hunsrück-Forstamt Kastellaun ein kombinierter Durchforstungs- und Düngungsversuch in Zusammenarbeit zwischen der Ruhr-Stickstoff AG (GUSSONE) und der rheinland-pfälzischen Forstverwaltung (PETRI u. HACHENBERG) angelegt. Das Hauptinteresse galt seinerzeit dem Zuwachsverhalten der wirtschaftlich bedeutungsvollsten Baumart Fichte. Die Düngung sollte es ermöglichen, den rentablen Nadelholzanbau ohne Gefährdung des Bodens bei gleichzeitiger Zuwachssteigerung fortsetzen zu können (SEIBT u. WITTICH, 1977). Die Kastellauner Versuchsflächen wurden in das "ertragskundliche" Weiserflächennetz von Rheinland-Pfalz übernommen. Zielsetzung der Weiserflächenuntersuchungen war es, potentielle Leistungsvorstellungen zum standortsbezogenen Wachstum der Baumarten, insbesondere auch der Schlüsselbaumart Fichte, zu entwickeln. Um einen standortsbezogenen Produktionsrahmen kennenzulernen und langfristig abzusichern, bot sich der Vergleich von Null-Flächen zur Fixierung der biologischen Obergrenze, von stark durchforsteten Flächen zur Fixierung der Untergrenze von Grundfläche und Stammzahl sowie von mäßig durchforsteten Flächen zur Einhängung von in der Praxis üblichen Verfahren an. Die Untergrenze von Grundfläche und Stammzahl wurde festgelegt zur Vermeidung möglicher Produktionsverluste. Das Weiserflächenkonzept ließ es nicht zu, einen Versuch individuell zu steuern. Nach bestimmten Vorgaben konnte lediglich das Wachstum registriert werden. In den heute geltenden und stets fortzuentwickelnden Waldbaurichtlinien von Rheinland-Pfalz (1983 und 1987) kommen die Erkenntnisse, Erfahrungen und Konsequenzen aus den Weiserflächenuntersuchungen zum Tragen. Daher gilt dem Kastellauner Versuch auch heute noch besonderes Interesse. Im Zusammenhang mit zunehmenden Sturmschäden und den neuartigen Waldschäden erlangt der Versuch bezüglich der Stabilität, der Vitalität und des Gesundheitszustandes der unterschiedlich durchforsteten, gedüngten und ungedüngten Bestandteile zusätzlich neue Aktualität. Leider fiel der Versuchsbestand dem Novembersturm 1984 zum Opfer. Kurz zuvor war der Bestand aufgenommen und beprobt worden, so daß die im Folgenden dargestellte abschließende Auswertung möglich war.

## **2. Versuchsanlage und Methodik**

### **2.1 Standort**

Die Versuchsfläche liegt im Wuchsbezirk "Östliche Hunsrückhochfläche" (5322) in einer Höhenlage von 490 m über NN.

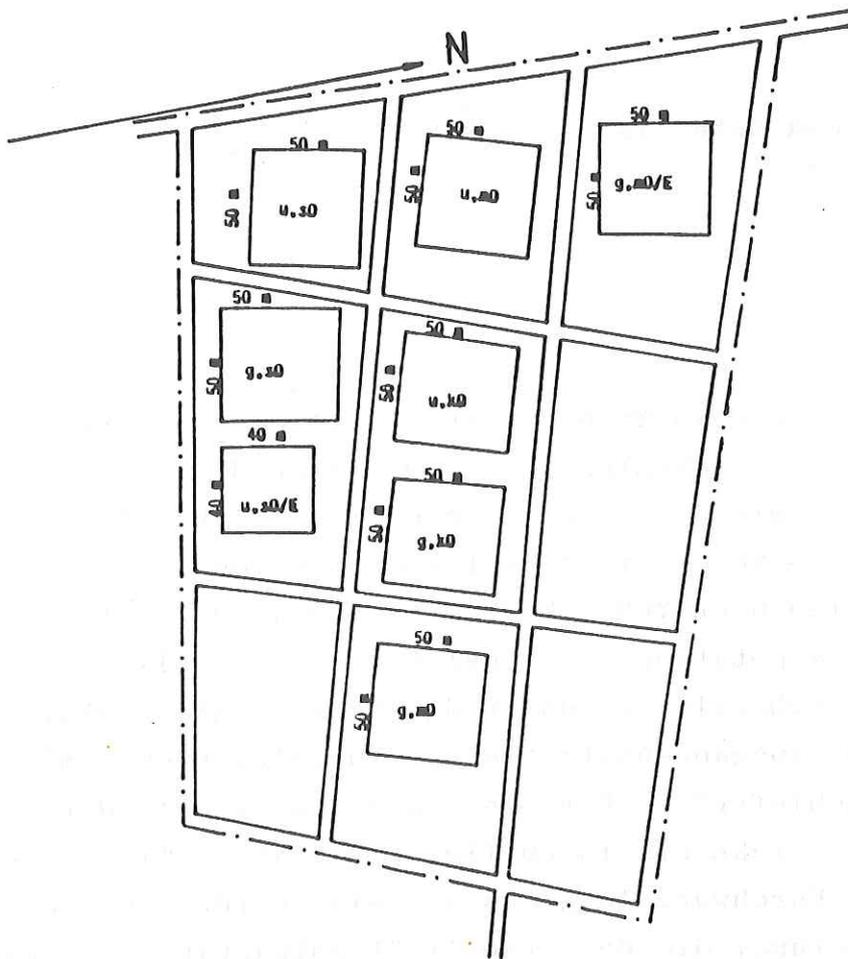
Das Klima ist gekennzeichnet durch eine mittlere Jahrestemperatur von 7,7 ° C und eine Vegetationszeittemperatur von 13,5 C. An Niederschlägen fallen hier 700 - 750 mm im Jahr, davon fast 50 % in der forstlichen Vegetationszeit (Mai bis September).

Ein bis an die Bodenoberfläche ausgeprägter Pseudogley entwickelte sich aus den Ausgangsubstraten "diluvialer Decklehm" über "devonischem Tonschiefer". Der Hauptwurzelhorizont der aufstockenden Fichten reicht bis 15 cm Tiefe. Bis 40 cm Tiefe konnte eine noch schwache Durchwurzelung festgestellt werden. Daraus ergibt sich die Bedeutung, die der Stabilitätsentwicklung der Fichtenbestände bei unterschiedlicher Behandlung zukommen muß.

### **2.2 Versuchsanlage und Durchführung**

In einem 12,2 ha großen, bis zur Versuchsanlage noch undurchforsteten 28jährigen Fichtenbestand - hervorgegangen aus einer Wiesenaufforstung im 1 x 1 m Verband - wurde eine Versuchsreihe mit zunächst 6 Einzelparzellen à 0,25 ha Größe angelegt. Wegen Windwurf- und Schneebruchschäden insbesondere in 2 Parzellen wurde die Versuchsanlage 3 Jahre später im Frühjahr 1962 durch 2 weitere Parzellen ergänzt. Die Aufnahmeergebnisse in diesen Flächen sollten die Ergebnisse der gestörten Flächen stützen.

Die Parzellengröße von 0,25 ha ließ es seinerzeit nicht notwendig erscheinen, eine sonst wünschenswerte Wiederholung der Varianten vorzunehmen (Abb. 1).



**Abb. 1:** Lage der Versuchspartellen im Durchforstungs- und Düngungsversuch  
Kastellaun

u = ungedüngt	kD = undurchforstet
g = gedüngt	mD = mäßig durchforstet
E = Ergänzungsfläche	sD = stark durchforstet

In drei Gaben wurden von 1959 bis 1963 je 3 unterschiedlich behandelte Versuchspartellen mit 520 kg Kalkammonsalpeter (120 kg N, 170 kg CaO) je ha gedüngt.

3 ungedüngten Parzellen verschiedener Durchforstungsgrade standen 3 gedüngte Flächen mit parallel verlaufender Behandlung gegenüber.

Je 1 ungedüngte und gedüngte Parzelle wurde nicht durchforstet. Aus diesen Parzellen wurden jedoch alle Trocknis sowie alles vermutlich in Kürze trockenwerdendes Material entnommen.

Je 1 Parzelle mit und ohne Düngung wurde nach ortsüblichen Kriterien im Anhalt an die Grundflächenwerte der Ertragstafeln "Wiedemann mäßige und starke Durchforstung" durchforstet.

Im Rahmen der zahlenmäßigen Steuerung der Durchforstungseingriffe erfolgte die individuelle Auswahl nach biologischen, waldbaulichen Gesichtspunkten im Sinne einer Auslesedurchforstung ohne primäre Festlegung der Durchforstungsart. Um die mögliche standräumliche Produktionsbreite im Sinne der Zielsetzung zu finden, aber auch aus Gründen der Labilität des Standortes wurde die stärkere Durchforstungsvariante noch deutlicher fixiert. Das Versuchskonzept änderte sich ab 1970, 11 Jahre nach Versuchsbeginn, dahingehend, daß sich die mäßig durchforsteten Varianten an der Stammzahlhaltung der Ertragstafel "Wiedemann, mäßige Durchforstung" und die stark durchforsteten Varianten an der um 10 % verminderten Stammzahl der Ertragstafel "Wiedemann, starke Durchforstung" orientieren sollten. Der Übergang der Steuerung des Versuchs von der Grundfläche auf die Stammzahl war erforderlich geworden, um die notwendige Realisierung eines Konzeptes vor Ort durch das Forstamt zu erleichtern und damit zu sichern.

### **2.3 Auswertung, Methoden**

Alle Flächen wurden einzelstammweise numeriert. In mehrjährigen unregelmäßigen Abständen wurden die Bäume über Kreuz (Genauigkeit 1 mm) an dauerhaft markierten Meßstellen in 1.30 m Höhe gekluppt. In jeder Parzelle wurden die Höhen an jeweils 20 - 30 festgelegten Bäumen gemessen.

Aus den Aufnahmewerten wurden mit Hilfe des Rechenprogrammes "PFALZP" (Universität München, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde) auf einer Großrechenanlage, Siemens BS 2000, des Hochschulrechenzentrums Kaiserslautern die ertragskundlichen Kenndaten errechnet.

Sowohl bei der Versuchsanlage 1959 (Ruhr-Stickstoff AG) als auch kurz vor dem Versuchsende 1984 (Universität Göttingen, Institut für Bodenkunde) erfolgten chemische Nadel- und Bodenanalysen. 1959 wurden die Nadelproben vom 1. Nadeljahrgang des obersten

Quirles entnommen (GUSSONE, schriftl. Mittlg.). Für die 1984 durchgeführten Nadelanalysen wurden aus dem siebten Quirl Nadelproben des 1. und 3. Jahrganges entnommen. Aus je 5 Proben wurde eine Mischprobe gebildet. Je Variante wurden 3 Mischproben nach einem  $\text{HNO}_3$ -Druckaufschluß chemisch analysiert. Die Einordnung der Analysenergebnisse in Mangel-, Normalversorgungs- oder Überversorgungsbereiche erfolgte mit Hilfe der umfangreichen von VAN DEN BURG (1985) zusammengestellten Nadelanalysenergebnisse.

Für die Humusanalysen wurden aus der  $\text{O}_F$ -/ $\text{O}_H$ -Lage Proben gewonnen. Jeweils 5 Proben bildeten eine Mischprobe. Je gedüngte und ungedüngte Variante wurden 2 Mischproben nach Veraschung chemisch analysiert. Vergleichbare Proben wurden auch 1959 gewonnen.

Aus den Mineralbodenhorizonten  $\text{A}_h$  und  $\text{S}_w$  wurden je Variante 1 Mischprobe chemisch analysiert. Aufgrund der Weiterentwicklung chemischer Analysemethoden sind die sich entsprechenden Analyseergebnisse nur sehr eingeschränkt miteinander zu vergleichen (FRANCKE-CAMPANA et al. 1987, MEIWES et al. 1985, ULRICH et al. 1984). 1959 erfolgte die Bestimmung der Kationen nach einem Auszug mit 1%iger  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -Lösung. 1983 wurden im Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen die austauschbaren Kationen, Na, K, Mg, Ca und Mn im Perkolationsverfahren mit einer 1N  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -Lösung nach deren Austausch gegen  $\text{NH}_4$ -Ionen mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) bestimmt. Die H-Ionenkonzentration wurde durch Messung des pH-Wertes in der Perkolations-Lösung vor und nach der Perkolations-Lösung mit einer Glaselektrode gemessen. Al und Fe wurden photometrisch bestimmt. Die pH-Werte wurden in  $\text{H}_2\text{O}$  und  $\text{CaCl}_2$  gemessen. Die Kohlenstoffbestimmung erfolgte an einem Carbo-Analyzer bei Verbrennung der organischen Substanz und Messung des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes über einem Infrarot-Detektor. Stickstoff wurde photometrisch bestimmt. Der mobilisierbare Phosphorvorrat (organisch gebundenes Phosphat, Ca-/Al-, Fe-Phosphate) wurde im Salzsäureauszug nach trockener Veraschung gemessen.

Im Rahmen der Frühjahrsaufnahmen 1984 des Sondermeßprogrammes Wald in Rheinland-Pfalz erfolgte in den 2 stark durchforsteten Parzellen des Düngungsversuches (in den undurchforsteten und

mäßig durchforsteten Flächen war eine eindeutige Schadansprache vom Boden aus wegen des Dichtstandes nicht möglich) eine Schadansprache der herrschenden und vorherrschenden Bäume im Hinblick auf die neuartigen Waldschäden. Diese Schadansprache wurde von einem eigens für das Sondermeßprogramm Wald geschulten Trupp gemäß der geltenden Richtlinien durchgeführt (SCHRÖTER et al. 1984).

Die Graphiken wurden mit dem Programm "Chart 3" von Microsoft erstellt. Die Aufnahmedaten wurden mit dem Statistikprogramm "Stasy-500", Pic GmbH auf einem IBM AT Mikrocomputer, sowie dem Statistikprogramm SPSS<sup>x</sup> (Statistical Package for the Social Sciences) der Firma SPSS Inc. auf einer "Siemens BS 2000"-Großrechenanlage bearbeitet.

Mit folgenden nichtparametrischen Tests wurde die Unabhängigkeit von zwei Populationen geprüft:

- Kolmogoroff-Smirnoff-Test
- Mann-Whitney-U-Test.

### 3. Ergebnisse der ertragskundlichen Auswertung

#### 3.1 Stammzahlhaltung

Eine unterschiedliche Ausgangsstammzahl auf den einzelnen Parzellen wurde bei der Versuchsanlage so ausgenutzt, daß eine Staffelung der Varianten entsprechend der später geplanten Durchforstungsstärke erfolgte, um so gleich in die natürliche Dynamik einsteigen zu können.

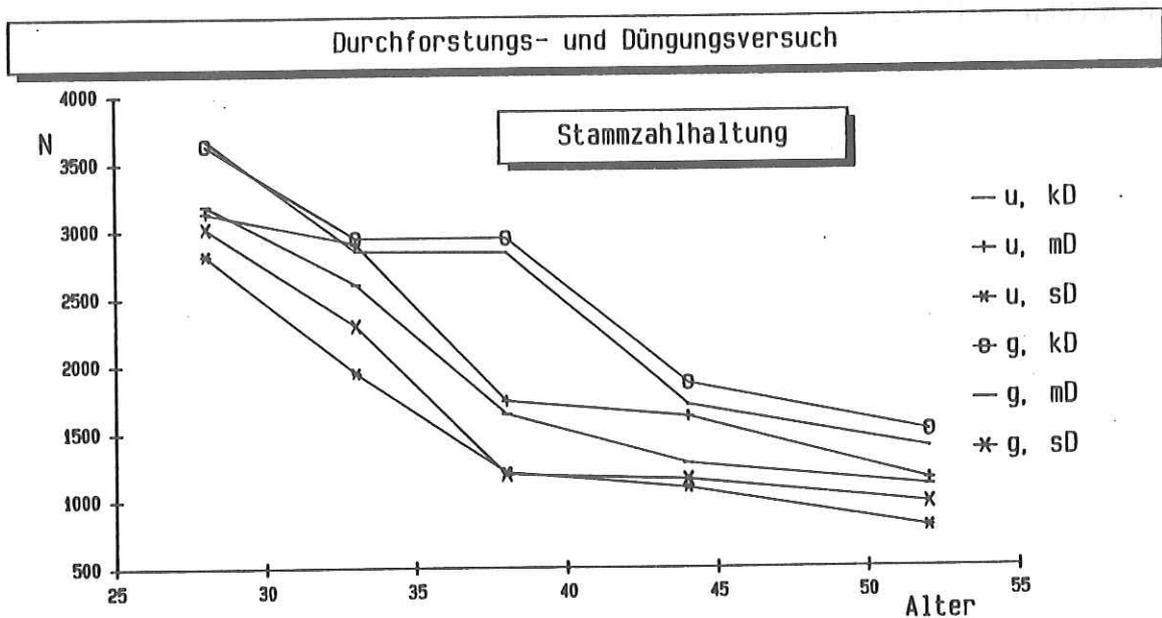
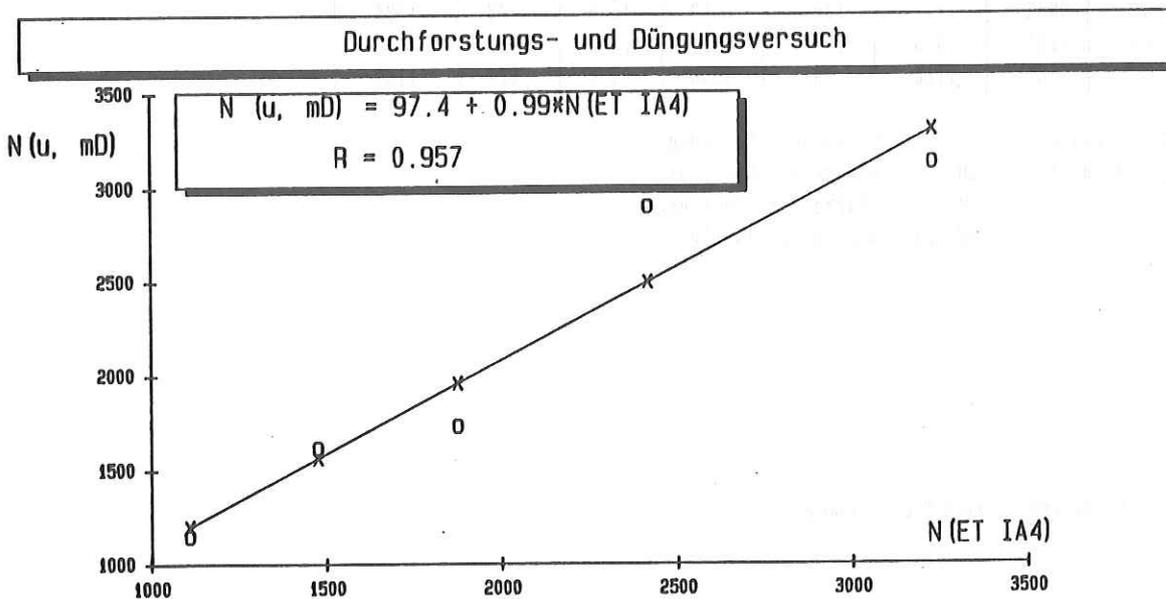


Abb.2: Entwicklung der Stammzahl in den Versuchspartellen

u = ungedüngt	kD = undurchforstet
g = gedüngt	mD = mäßig durchforstet
	sD = stark durchforstet

Die Stammzahl der undurchforsteten und ungedüngten Variante verringerte sich im Beobachtungszeitraum von 3680 Bäumen je ha im Alter von 28 Jahren auf 1384 Bäumen je ha im Alter von 52 Jahren. Schneebruch- und Windwurfschäden ließen die Stammzahl bis zum Alter 33 unter das Niveau der mäßig durchforsteten Variante sinken. Seitdem wechselten sich Perioden des Zusammenwachsens und Perioden höherer Ausfälle ab (Abb.2, Tab.1).

Mit periodenweiser Abweichung entspricht die Stammzahlhaltung der mäßig durchforsteten Parzelle derjenigen der Ertragstafel "Wiedemann" in der entsprechenden Ertragsklasse, wie dies aus Abb. 3 zu entnehmen ist.



**Abb. 3:** Die Stammzahlhaltung in der mäßig durchforsteten Variante orientierte sich streng an der durch die Ertragstafel vorgegebenen Stammzahl

u = ungedüngt

mD = mäßig durchforstet

N(ET IA4) = Ertragstafelwerte "Wiedemann, mäßige Durchforstung", Ertragsklasse IA4

Es erfolgte bei mäßiger Durchforstung eine Absenkung der Stammzahl von 3132 Fichten je ha im Alter 28 (3228 Fichten in der Ertragstafel) auf 1148 Fichten (1109 Fichten gemäß Ertragstafel) im Alter 52 (Abb. 2, Tab. 1).

Die Stammzahl der stark durchforsteten Variante nahm im Beobachtungszeitraum (24 Jahre) von 2812 Fichten je ha im Alter 28 auf 796 Fichten im Alter 52 ab (Abb.2, Tab.1).

Die jeweilige Stammzahl in den ungedüngten und gedüngten Versuchspartzellen wurde bei den Varianten gleicher Eingriffsstärke vergleichbar abgesenkt (Abb.2, Tab.1).

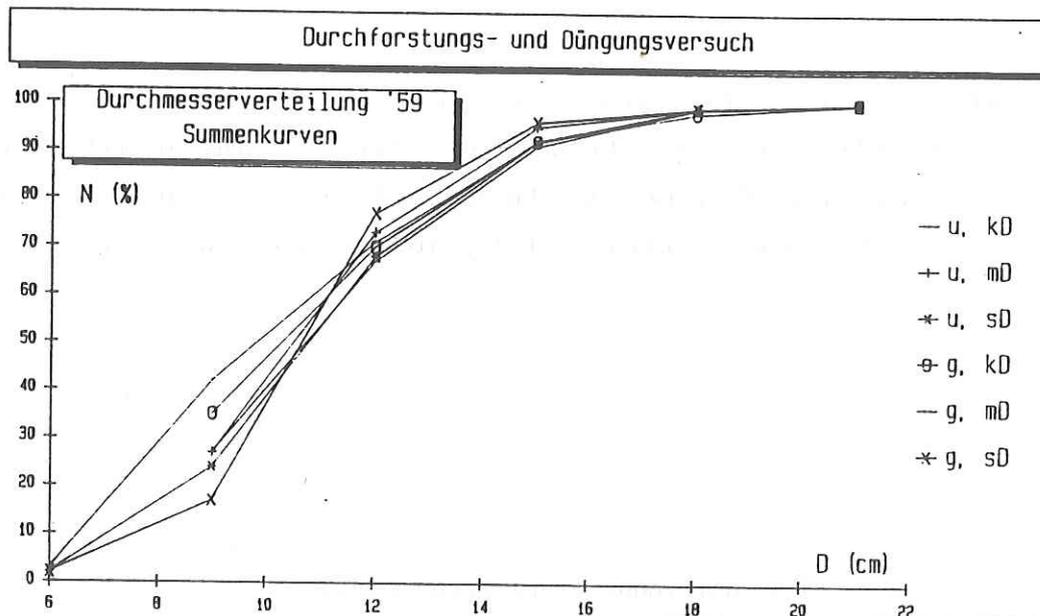
**Tab. 1:** Stammzahlentwicklung der ungedüngten, gedüngten, undurchforsteten, mäßig durchforsteten und stark durchforsteten Versuchsvarianten, sowie der Ertragstafel "Wiedemann mäßige Durchforstung" der entsprechenden Bonität

Alter	Stammzahl/ha						ET IA <sub>4</sub>
	u. kD	u. mD	u. sD	g kD	g mD	g sD	
28	3680	3132	2812	3636	3188	3016	3228
33	2844	2900	1940	2940	2600	2292	2414
38	2832	1732	1204	2940	1636	1188	1874
44	1704	1616	1088	1864	1272	1152	1475
52	1384	1148	796	1508	1100	972	1109

u = ungedüngt      kD = keine Durchforstung  
g = gedüngt        mD = mäßige Durchforstung  
                         sD = starke Durchforstung  
                         ET IA<sub>4</sub> = Ertragstafelwerte

### 3.2. Durchmesserverteilung

Wie im vorherigen Kapitel bereits dargelegt wurde, konnten bei der Versuchsanlage keine einheitlichen Versuchsvarianten hinsichtlich der Stammzahlhaltung ausgeschieden werden. Diese unterschiedliche Bestandesdichte hatte sich jedoch kaum auf die Durchmesserstruktur der Bestandesglieder ausgewirkt (Abb.4, Tab.2).



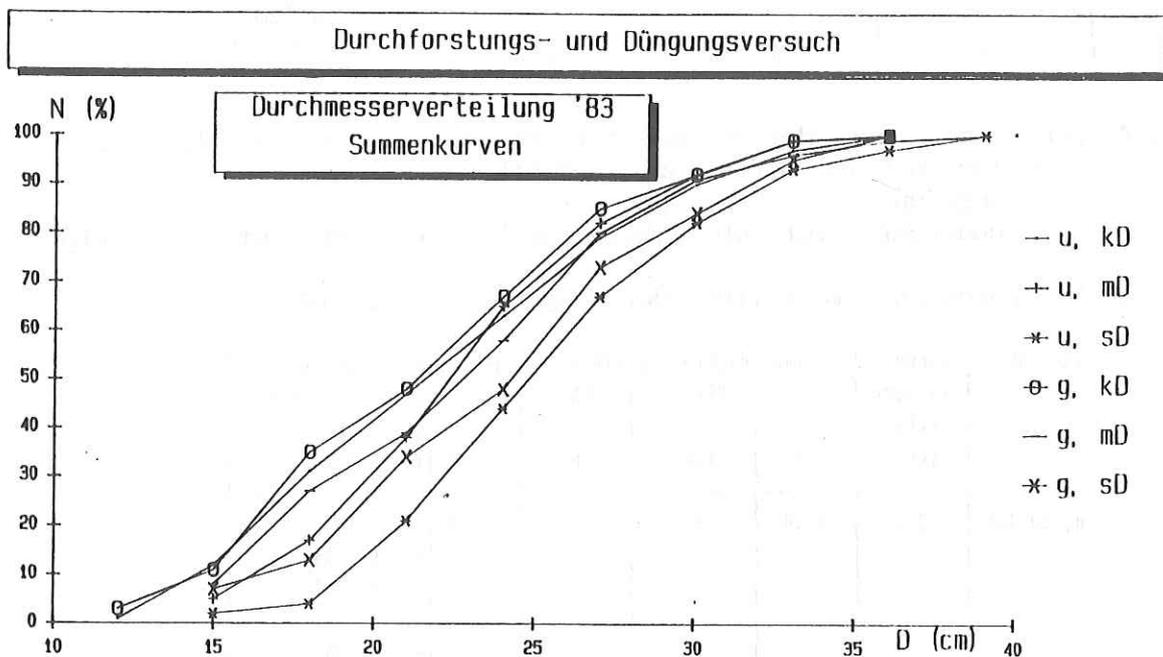
**Abb. 4:** Die Summenkurven der Durchmesserverteilungen der Versuchsvarianten 1959 lassen keine Differenzierung erkennen  
 u = ungedüngt      g = gedüngt  
 kD = undurchforstet    mD = mäßig durchforstet    sD = stark durchforstet

**Tab. 2:** Die Durchmesserverteilung der Ausgangsbestände 1959

Varianten	gewogenes arithmet. Mittel (cm)	Median (cm)	dichtestes Mittel (cm)	kleinster BHD (cm)	größter BHD (cm)	signifikante Unterschiede <sup>1</sup> zur Variante	
u, kD 1959	12.0	12.0	9	6.0	21.0	u, mD 1959 u, sD 1959 g, kD 1959 g, mD 1959 g, sD 1959	- - - - -
u, mD 1959	12.0	12.0	12.0	9.0	21.0	u, sD 1959 g, kD 1959 g, mD 1959 g, sD 1959	- - - -
u, sD 1959	12.0	12.0	12.0	6.0	21.0	g, kD 1959 g, mD 1959 g, sD 1959	- - -
g, kD 1959	12.0	12.0	10.5	9.0	24.0	g, mD 1959 g, sD 1959	- -
g, mD 1959	12.0	12.0	12.0	9.0	21.0	g, sD 1959	-
g, sD 1959	12.0	12.0	12.0	6.0	21.0		

u = ungedüngt    kD = undurchforstet    <sup>1</sup> = überprüft gem. Kolmogoroff-Smirnoff- und Mann-Whitney-U-Test  
 g = gedüngt    mD = mäßige Durchforstung  
 sD = starke Durchforstung

Während auf die mäßige Durchforstung noch keine statistisch nachweisbaren Effekte folgten, hoben sich die Varianten mit starker Durchforstung am Ende des Beobachtungszeitraumes signifikant hinsichtlich ihrer Durchmesserverteilung ab (Abb.5, Tab. 3).



**Abb.5:** Die Summenkurve der prozentualen Häufigkeit der Durchmesserstufen von 1983 belegt die Verschiebung der Durchmesserverteilung zu stärkeren Durchmesserklassen nach höheren Durchforstungseingriffen  
 u = ungedüngt      kD = undurchforstet  
 g = gedüngt        mD = mäßig durchforstet  
                               sD = stark durchforstet

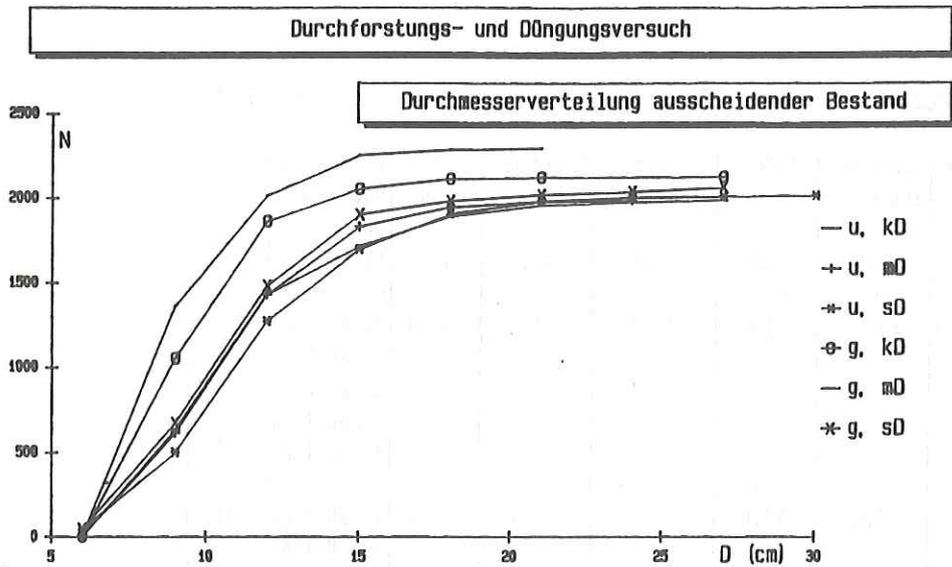
In den Beständen mit den höheren Eingriffen wurde die Durchmesserverteilung positiv beeinflusst, worauf insbesondere die Mittelwerte: arithmetisches Mittel, Median und dichtestes Mittel, (Tab.3) hinweisen.

Tab. 3: Die Durchmesser-Verteilung der Versuchsvarianten 1983

Varianten	gewogenes arithmet. Mittel (cm)	Median (cm)	dichtestes Mittel (cm)	kleinster BHD (cm)	größter BHD (cm)	signifikante Unterschiede <sup>1</sup> zur Variante
u, kD 1983	23.0	24.0	18.0	12.0	36.0	u, mD 1983 - u, sD 1983 *** g, kD 1983 - g, mD 1983 - g, sD 1983 *
u, mD 1983	24.0	24.0	24	15.0	36.0	u, sD 1983 ** g, kD 1983 - g, mD 1983 - g, sD 1983 -
u, sD 1983	27.0	27.0	27.0	15.0	40.0	g, kD 1983 *** g, mD 1983 ** g, sD 1983 -
g, kD 1983	23.0	24.0	18.0	12.0	36.0	g, mD 1983 - g, sD 1983 **
g, mD 1983	24.0	24.0	27.0	15.0	39.0	g, sD 1983 -
g, sD 1983	25.0	27.0	27.0	15.0	36.0	

u = ungedüngt    kD = undurchforstet    <sup>1</sup> = überprüft gem. Kolmogoroff-Smirnoff- und Mann-Whitney-U-Test  
g = gedüngt    mD = mäßige Durchforstung  
sD = starke Durchforstung

Die Durchmesser-Verteilung der ausgeschiedenen Bestandesglieder belegt, daß die Dominanz stärkerer Durchmesser-Klassen in den Varianten mit höheren Durchforstungseingriffen nicht auf eine rechnerische Verschiebung aufgrund der übermäßigen Entnahme schwächerer Bestandesglieder zurückgeführt werden kann. So wurden der stark durchforsteten Variante während der Versuchsdauer sowohl von der Zahl als auch vom prozentualen Anteil her jeweils stärkere Bäume entnommen, während die Eingriffe in schwächere Durchmesser-Klassen geringer ausfielen (Abb.6). Die Strukturen der auscheidenden und verbleibenden Bestände zeigten zudem, daß insbesondere nach der Entnahme dickerer Bäume die Durchmesser-Verteilung des verbleibenden Bestandes positiv beeinflusst wurde. Die Durchmesser-Verteilungen der jeweils auscheidenden Bestandeskollektive der Varianten ungedüngt, mäßig durchforstet, gedüngt, mäßig durchforstet und gedüngt, stark durchforstet unterschieden sich nicht signifikant (Abb.6, Tab.4).



**Abb. 6:** Die Struktur des ausscheidenden Bestandes (hier dargestellt in einer Summenkurve) belegt die höhere Entnahme stärkerer Bäume aus der ungedüngten, stark durchforsteten Variante  
 u = ungedüngt      g = gedüngt  
 kD = undurchforstet    mD = mäßig durchforstet    sD = stark durchforstet

**Tab. 4:** Die Durchmesserverteilung der ausgeschiedenen Bestandesglieder

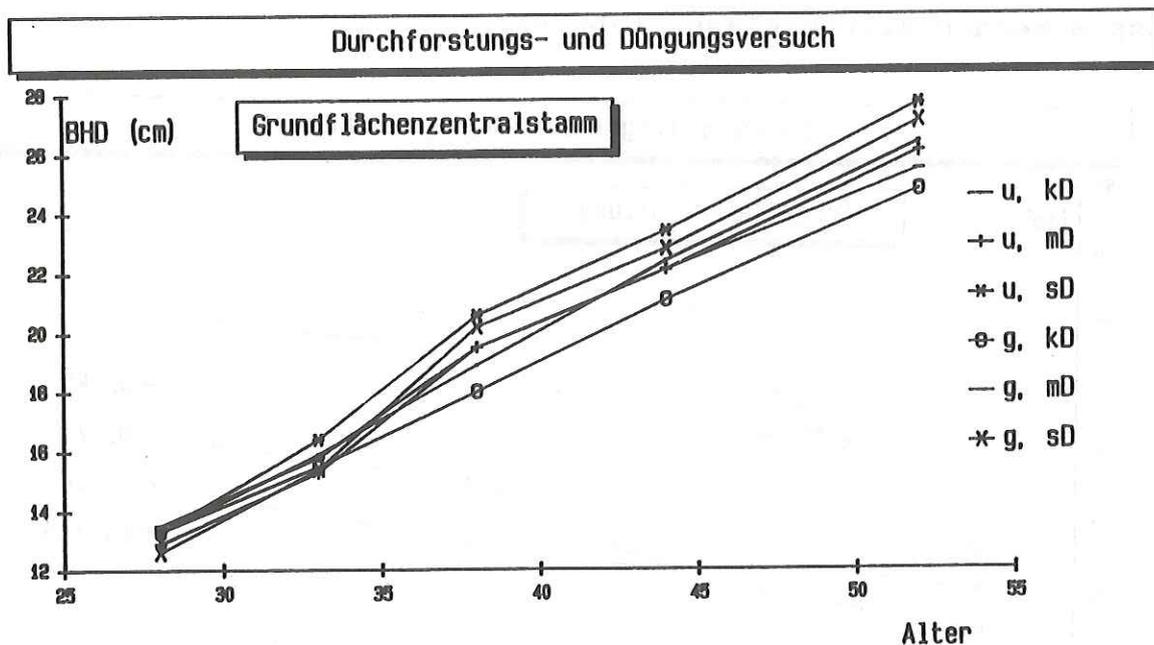
Variante	gewogenes arithmet. Mittel (cm)	Median (cm)	dichtestes Mittel (cm)	kleinster BHD (cm)	größter BHD (cm)	signifikante Unterschiede zur Variante	1
u, kD	10.6	9.0	9.0	6.0	21.0	u, mD u, sD g, kD g, mD g, sD	*** *** ** *** ***
u, mD	12.2	12.0	12.0	6.0	24.0	u, sD g, kD g, mD g, sD	* *** - -
u, sD	13.0	12.0	12.0	6.0	30.0	g, kD g, mD g, sD	*** * *
g, kD	11.0	12.0	9.0	6.0	27.0	g, mD g, sD	*** ***
g, mD	12.3	12.0	12.0	6.0	27.0	g, sD	-
g, sD	12.1	12.0	12.0	6.0	27.0		

u = ungedüngt    kD = undurchforstet  
 g = gedüngt      mD = mäßige Durchforstung  
                                  sD = starke Durchforstung

1 = überprüft gem. Kolmogoroff-Smirnoff- und Mann-Whitney-U-Test

Bei diesen Varianten konnten auch hinsichtlich der Durchmesser-  
 verteilungen der verbleibenden Bestände keine signifikanten Un-  
 terschiede festgestellt werden (Tab.3). Dagegen führte die Ent-  
 nahme stärkerer Bäume aus der Variante ungedüngt, stark durchfor-  
 stet (Abb.6) zu statistisch absicherbaren positiven Veränderungen  
 der Durchmesserstrukturen auch gegenüber der gedüngten, stark  
 durchforsteten, aber mit weniger konsequenten Eingriffen behan-  
 delten Versuchsvariante (Tab.3).

Die stärkeren Durchforstungseingriffe förderten die Durchmesser-  
 entwicklung bei Betrachtung des Grundflächenzentralstammes  
 (Abb.7, Tab.5). Eine rechnerische Verschiebung kann dafür nicht  
 der Grund sein, da die höheren Durchforstungseingriffe wie oben  
 dargelegt jeweils in die stärkeren Durchmesserklassen eingegrif-  
 fen haben und damit eigentlich das Gegenteil bewirkt haben müs-  
 sen.



**Abb.7:** Die Durchmesserentwicklung des Grundflächenzentralstammes wurde nur  
 durch die stärkeren Durchforstungseingriffe gefördert

u = ungedüngt	kD = undurchforstet
g = gedüngt	mD = mäßig durchforstet
	sD = stark durchforstet

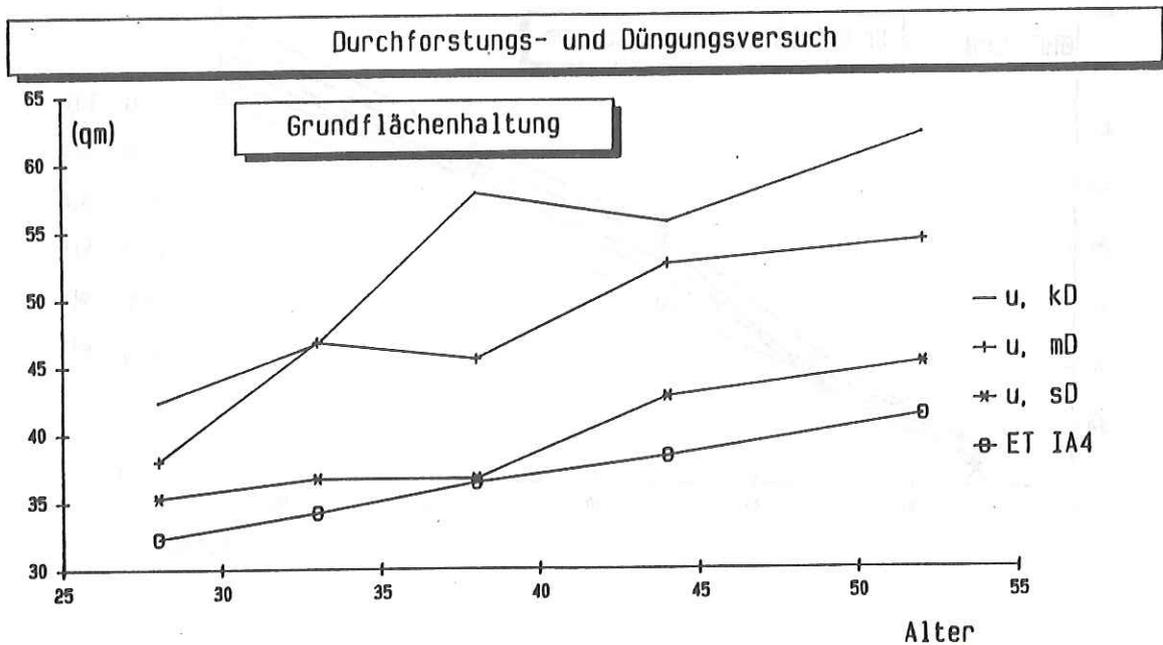
**Tab. 5:** Durchmesserentwicklung des Grundflächenzentralstammes in den Versuchsvarianten

Alter	Durchmesser des Grundflächenzentralstammes (cm)					
	u. kD	u. mD	u. sD	g. kD	g. mD	g. sD
28	13,3	12,9	13,3	13,3	13,5	12,6
33	15,9	15,3	16,4	15,5	15,8	15,4
38	18,9	19,5	20,6	18,0	19,5	20,2
44	22,4	22,1	23,4	21,1	22,1	22,8
52	26,4	26,1	27,7	24,8	25,5	27,1

u = ungedüngt      g = gedüngt  
 kD = undurchforstet    mD = mäßig durchforstet    sD = stark durchforstet

### 3.3 Grundflächenentwicklung

Die Grundflächenhaltung entwickelte sich gegenläufig zur Eingriffsstärke, jedoch stets auf einem erhöhten Niveau gegenüber den Ertragstafelwerten "Wiedemann, mäßige Durchforstung" in der entsprechenden Ertragsklasse (Abb.8).



**Abb. 8:** Die Grundflächenhaltung der ungedüngten Versuchsvarianten bewegte sich auf einem höheren Niveau im Vergleich zu den Ertragstafelwerten "Wiedemann, mäßige Durchforstung", Ertragsklasse IA4

u = ungedüngt    ET IA4 = Ertragstafelwert  
 kD = undurchforstet    mD = mäßig durchforstet    sD = stark durchforstet

Damit wurde das bei der Versuchsanlage angestrebte Ertragsniveau - zunächst ausgedrückt durch die Grundflächenhaltung - in allen Varianten längerfristig erreicht. So wies selbst die ungedüngte, stark durchforstete Variante bei Versuchsende bezüglich der Grundflächenhaltung um 9 % höhere Werte gegenüber der Ertragstafel auf (Abb.8, Tab.6).

**Tab. 6:** Die Grundflächenhaltung der ungedüngten, gedüngten, undurchforsteten, mäßig und stark durchforsteten Versuchsvarianten im Vergleich zur Grundflächenhaltung der Ertragstafel "Wiedemann, mäßige Durchforstung" der entsprechenden Bonität (IA4).

Alter	Grundflächenhaltung (m <sup>2</sup> )						
	ET IA4	u, kD	u, mD	u, sD	g, kD	g, mD	g, sD
28	32,3	42,4	38,0	35,3	43,4	40,8	34,5
33	34,2	46,7	46,8	36,7	47,4	44,0	39,4
38	36,4	57,8	45,5	36,7	58,8	43,2	34,5
44	38,3	55,6	52,5	42,7	55,6	42,1	41,4
52	41,3	62,1	54,2	45,2	62,2	48,9	49,2

u = ungedüngt    kD = keine Durchforstung    ET = Ertragstafel  
g = gedüngt    mD = mäßige Durchforstung  
sD = starke Durchforstung

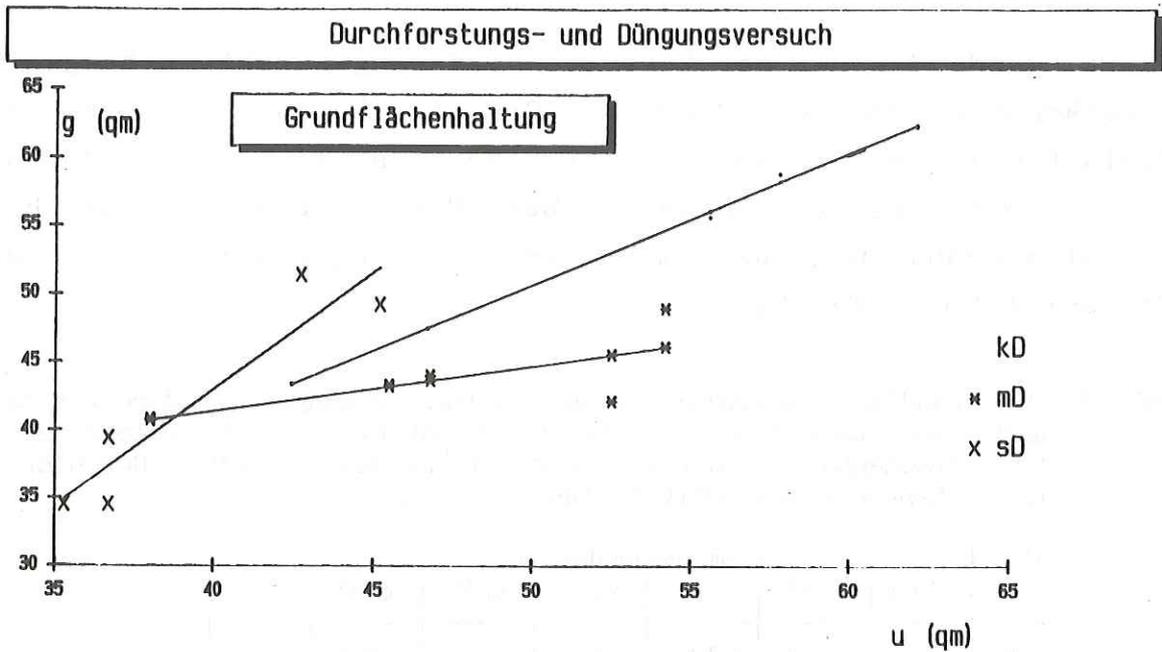
Die der Ertragstafel "Wiedemann mäßige Durchforstung" angepaßte Variante bewegte sich bezüglich der Grundfläche sogar auf einem Niveau von 118 % - 137 % (Tab.7).

**Tab. 7:** Die Grundflächenhaltung der ungedüngten, gedüngten, undurchforsteten, mäßig und stark durchforsteten Versuchsvarianten in % der Grundflächenhaltung der Ertragstafel Wiedemann mäßige Durchforstung der entsprechenden Bonität (IA4).

Alter	Grundflächenhaltung (% ET IA4)					
	u, kD	u, mD	u, sD	g, kD	g, mD	g, sD
28	131	118	109	134	126	107
33	137	137	107	139	129	115
38	159	125	101	162	119	95
44	145	137	111	145	110	108
52	150	131	109	150	118	119

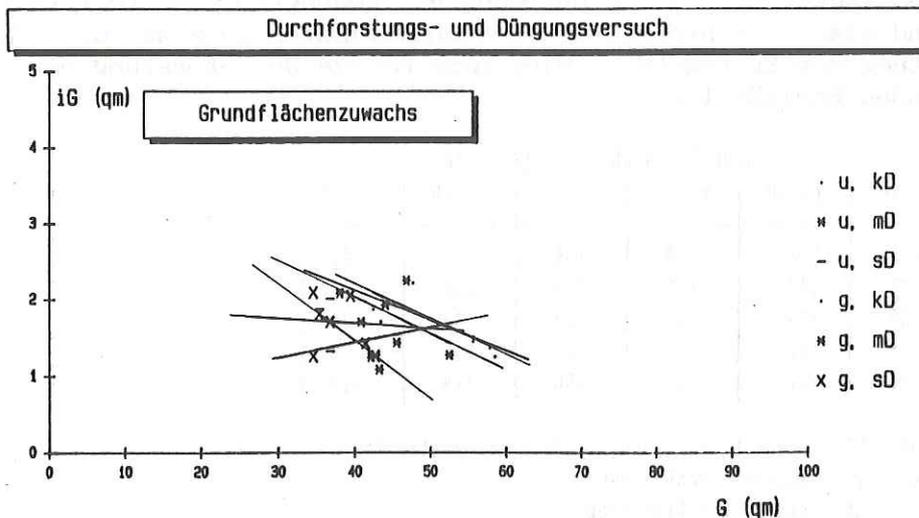
u = ungedüngt    kD = keine Durchforstung    ET = Ertragstafel  
g = gedüngt    mD = mäßige Durchforstung  
sD = starke Durchforstung

Eindeutige Unterschiede bei der Grundflächenentwicklung zwischen ungedüngten und gedüngten Vergleichsvarianten konnten nicht nachgewiesen werden (Abb.9).



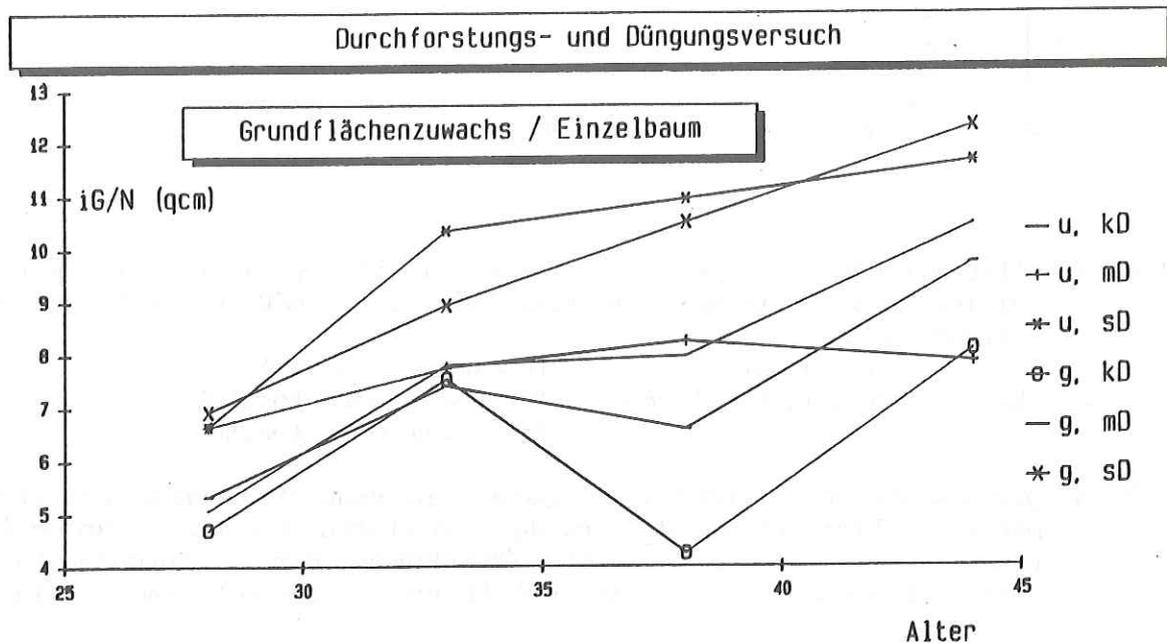
**Abb. 9:** Die Regressionsgeraden zwischen den Grundflächenentwicklungen der gedüngten und ungedüngten Varianten belegen keinen eindeutigen Trend  
 u = ungedüngt      kD = undurchforstet  
 g = gedüngt      mD = mäßig durchforstet  
                          sD = stark durchforstet

Ein entscheidender Einfluß der jeweiligen Ausgangsgrundfläche auf den Bestandesgrundflächenzuwachs kann ausgeschlossen werden. Die Punktwolke in Abb. 10 läßt lediglich den Schluß zu, daß die undurchforsteten Parzellen bei hoher Grundflächenhaltung nur einen geringen Grundflächenzuwachs aufweisen.



**Abb.10:** Ein Zusammenhang zwischen Ausgangsgrundfläche und Grundflächenzuwachs läßt sich nicht belegen  
 u = ungedüngt      kD = undurchforstet  
 g = gedüngt      mD = mäßig durchforstet  
                          sD = stark durchforstet

Verteilt man den Grundflächenzuwachs rechnerisch auf die einzelnen Bestandsglieder (Abb.11), so kann ein deutlicher Zusammenhang zwischen stärkeren Durchforstungseingriffen und einer Förderung des baumbezogenen Grundflächenzuwachses gezeigt werden. Mäßige Durchforstungseingriffe heben sich dagegen nicht von den undurchforsteten Varianten ab. Der einzelbaumbezogene Grundflächenzuwachs wurde somit durch Durchforstungseingriffe erst bei Überschreitung bestimmter Schwellenwerte gesteigert.



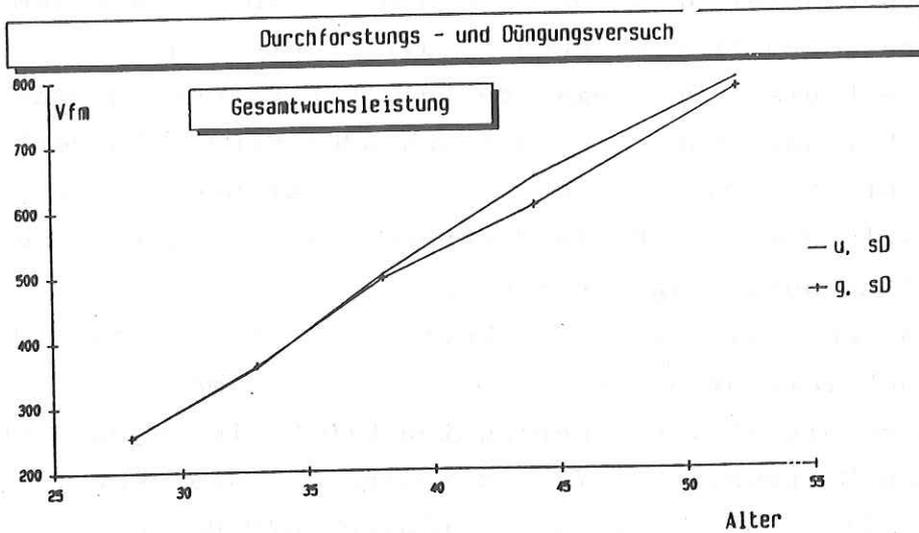
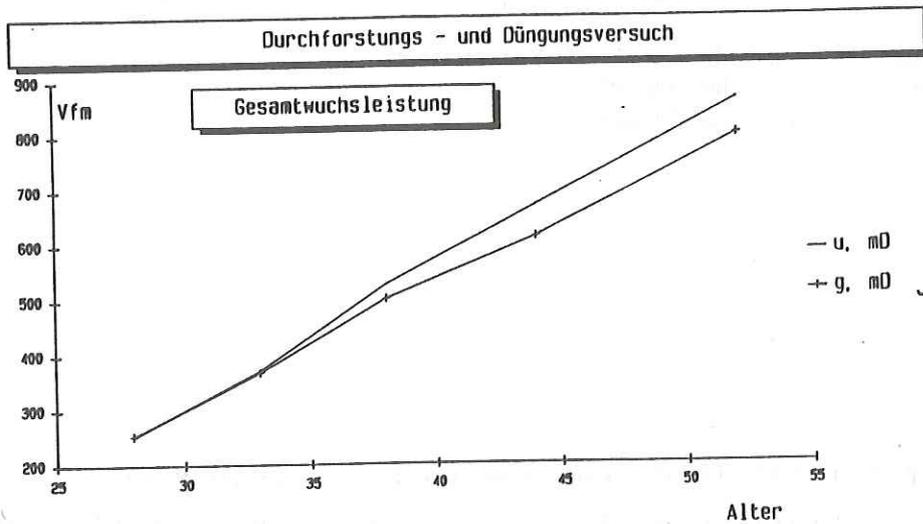
**Abb. 11:** Die rechnerische Verteilung des Grundflächenzuwachses auf die Stammzahl verdeutlicht die Förderung des baumbezogenen Zuwachses in den stark durchforsteten Varianten  
u = ungedüngt      g = gedüngt  
kD = undurchforstet    mD = mäßig durchforstet    sD = stark durchforstet

### 3.4 Gesamtwuchsleistung

Legt man die Gesamtwuchsleistung der Ertragstafel "Wiedemann, mäßige Durchforstung" als Basis zugrunde, so wiesen alle 3 Durchforstungsvarianten ein erheblich höheres Ertragsniveau auf (nach ASSMANN, 1961) (Abb.12, Tab.8).



Unterschiede in der Entwicklung der Gesamtwuchsleistung der Varianten ungedüngt, keine Durchforstung und ungedüngt, mäßige Durchforstung zeigten sich nicht und hoben sich auch nur geringfügig von der stark durchforsteten Parzelle ab (Abb.12, Tab.8). Die Gesamtwuchsleistungen der gedüngten Parzellen ließen gegenüber den der ungedüngten Parzellen etwa 10 Jahre nach der Düngung tendenziell nach, insbesondere in den Durchforstungsvarianten (Abb.13a,b, Tab.9).



**Abb. 13:** Die Darstellung der Gesamtwuchsleistung offenbart die langfristig negative Wirkung der Düngung in den Durchforstungsvarianten  
 u = ungedüngt                      kD = keine Durchforstung  
 g = gedüngt                        mD = mäßige Durchforstung  
     sD = starke Durchforstung

**Tab. 9:** Die Gesamtwuchsleistung der ungedüngten, gedüngten, undurchforsteten, mäßig durchforsteten und stark durchforsteten Versuchsvarianten im Vergleich zu der von der Ertragstafel "Wiedemann, mäßige Durchforstung" entsprechenden Höhenbonität (IA 4) ausgewiesenen Gesamtwuchsleistung

Alter	BT IA4	Gesamtwuchsleistung (Vfm)					
		u. kD	u. mD	u. sD	g. kD	g. mD	g. sD
28	199	256	253	255	251	254	254
33	294	359	372	361	357	368	364
38	389	511	528	503	512	502	496
44	503	652	671	649	649	614	606
52	645	858	863	799	866	799	784

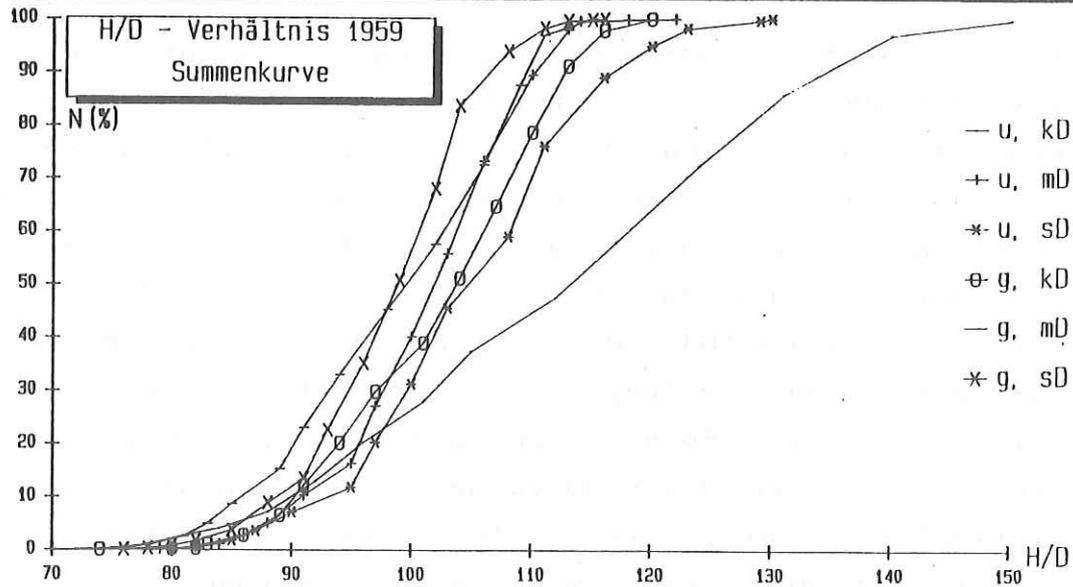
u = ungedüngt    kD = undurchforstet    BT = Ertragstafel  
g = gedüngt      mD = mäßig durchforstet  
                    sD = stark durchforstet

### 3.5 H/D-Wert

Ziel einer Stabilitätsförderung muß es sein, insbesondere die Bestandesglieder stabil zu erziehen, die mit ausreichenden Dimensionen in den Endbestand geführt werden sollen. Von einem stabilen Grundgerüst profitieren auch indifferente unter- und zwischenständige Bäume. Der gegenüber dem Höhenwachstum überproportionale Durchmesserzuwachs der herrschenden Bäume fördert deren Stabilität entscheidend. In den Ausgangsbeständen war die Struktur der jeweils über die Bestandeshöhenkurve hergeleiteten H/D-Wert-Verteilung ausgeprägt heterogen.

Selbst der durchschnittliche H/D-Wert variierte zwischen den einzelnen Versuchsvarianten von 100 bis 115. Maximale H/D-Werte errechneten sich mit 150. Die geringsten H/D-Werte lagen auch schon zum damaligen Zeitpunkt bei 72. Überwiegend, das bedeutet, mehr als 60 % aller Bäume wiesen größere H/D-Werte als 100 auf (Abb.14, Tab.10).

Durchforstungs- und Düngungsversuch



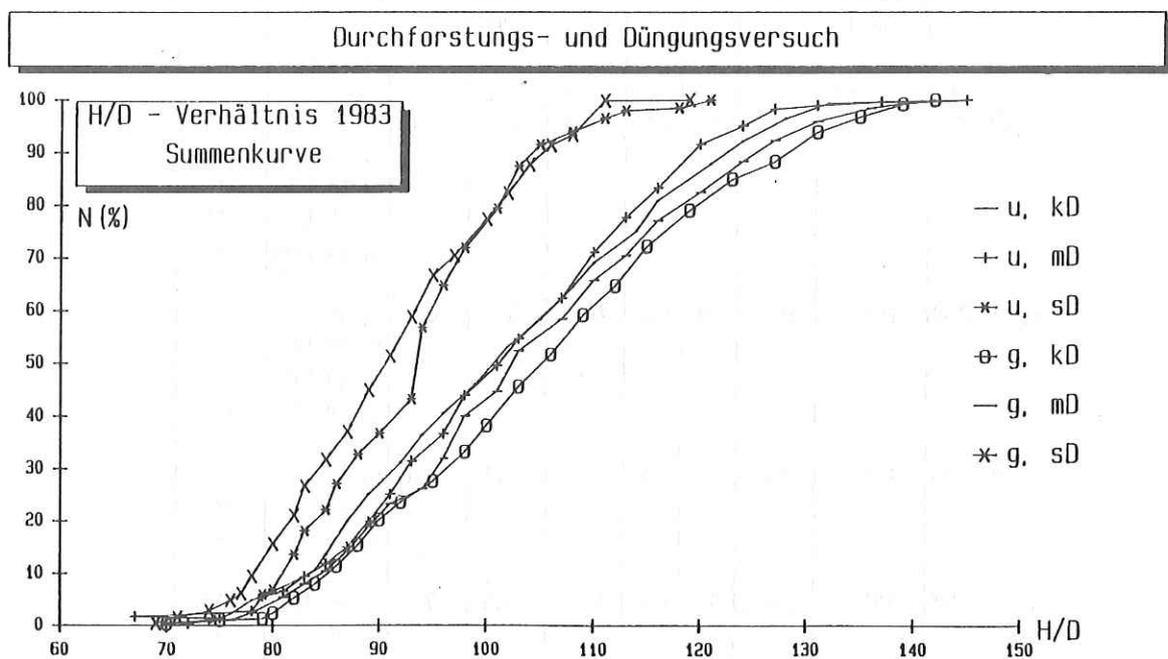
**Abb. 14:** Verteilung der H/D-Verhältnismerte (Summenkurve) in den Versuchsvarianten 1959  
 u = ungedüngt                      g = gedüngt  
 kD = undurchforstet    mD = mäßig durchforstet    sD = stark durchforstet

**Tab. 10:** Analyse der H/D-Wert-Verteilung in den Ausgangsbeständen 1959

Varianten	H/D-Wert-Verteilung				H/D-Werte (%)			Signifikante Unterschiede zur Variante	
	gewogenes Mittel	Median	Min.	Max.	≤ 100	≤ 90	≤ 80		<sup>1</sup>
u, kD 1959	115	117	72	150	20.3	7.2	1.0	u, mD 1959 u, sD 1959 g, kD 1959 g, mD 1959 g, sD 1959	*** *** *** *** ***
u, mD 1959	103	103	79	122	40.1	5.0	0.1	u, sD 1959 g, kD 1959 g, mD 1959 g, sD 1959	*** *** *** ***
u, sD 1959	107	108	80	130	31.2	7.1	0.1	g, kD 1959 g, mD 1959 g, sD 1959	** *** ***
g, kD 1959	104	104	74	120	38.9	6.5	0.2	g, mD 1959 g, sD 1959	*** ***
g, mD 1959	100	102	76	115	45.3	15.3	1.1	g, sD 1959	*
g, sD 1959	100	99	76	116	50.8	8.9	0.8		

u = ungedüngt      kD = keine Durchforstung      <sup>1</sup> = überprüft gem. Kolmogoroff-Smirnoff- und Mann-Whitney-U-Test  
 g = gedüngt      mD = mäßige Durchforstung  
 sD = starke Durchforstung

Nur durch die stärkeren Durchforstungseingriffe konnte die Stabilität der Bestände im Untersuchungszeitraum gefördert werden. Vordergründig zeigte sich dies am durchschnittlichen H/D-Wert. Während er am Ende des Beobachtungszeitraumes auf den stark durchforsteten Flächen Werte von 92 bis 94 aufwies, lagen die entsprechenden Werte der undurchforsteten und mäßig durchforsteten Varianten zwischen 103 und 107. Auch die H/D-Wert-Verteilung ist nach starker Durchforstung in Richtung auf geringere, stabilere Werte verschoben. So unterscheiden sich einerseits die Verteilungen in der Gruppe der undurchforsteten und mäßig durchforsteten Varianten, andererseits die in der Gruppe der beiden stark durchforsteten Varianten nicht voneinander, während zwischen diesen beiden Gruppen jeweils hochsignifikante Unterschiede bestehen (Abb.15, Tab.11).



**Abb. 15:** Verteilung der H/D-Verhältnisse (Summenkurve) in den Versuchsvarianten 1983

u = ungedüngt  
g = gedüngt

kD = undurchforstet  
mD = mäßig durchforstet  
sD = stark durchforstet

Ein Einfluß der Düngung auf die H/D-Wert-Verteilung kann nicht nachgewiesen werden.

In den stark durchforsteten Varianten hatten 7, bzw. 15,6 % aller Bäume H/D-Werte kleiner als 80, 36,7, bzw. 44,9 % H/D-Werte kleiner 90 und über 70 % H/D-Werte kleiner als 100. In den schwächer, bzw. undurchforsteten Varianten hatten dagegen nur 2,4 bis 6,6 % aller Bäume H/D-Werte unter 80, 18,9 bis 25,1 % H/D-Werte unter 90 und nur ca. 40 % H/D-Werte kleiner 100 (Abb.15).

Die Strukturuntersuchung zeigte jedoch auch, daß insbesondere vorherrschende Bäume unabhängig von der Behandlung niedrige H/D-Werte (69 bis 74 in allen Versuchspartzen) erreichen können (Tab.11).

Tab. 11: Analyse der H/D-Wert-Verteilung in den Versuchsvarianten 1983

Varianten	H/D-Wert-Verteilung							Signifikante	
	gewogenes Mittel	Median	Min.	Max.	H/D-Werte (%)			Unterschiede zur Variante	<sup>1</sup>
					≤ 100	≤ 90	≤ 80		
u, kD 1983	103	102	74	145	46.0	25.1	6.6	u, mD 1983	-
								u, sD 1983	***
								g, kD 1983	*
								g, mD 1983	-
								g, sD 1983	***
u, mD 1983	103	103	72	145	43.9	19.9	5.6	u, sD 1983	***
								g, kD 1983	*
								g, mD 1983	-
								g, sD 1983	***
u, sD 1983	94	94	72	121	71.9	36.7	7.0	g, kD 1983	***
								g, mD 1983	***
								g, sD 1983	-
g, kD 1983	107	106	70	142	38.2	20.2	2.4	g, mD 1983	-
								g, sD 1983	***
g, mD 1983	105	103	70	145	40.0	18.9	2.5	g, sD 1983	***
g, sD 1983	92	91	69	119	77.4	44.9	15.6		

u = ungedüngt      kD = keine Durchforstung      <sup>1</sup> = überprüft gem. Kolmogoroff-Smirnoff- und Mann-Whitney-U-Test  
g = gedüngt        mD = mäßige Durchforstung  
                          sD = starke Durchforstung

### 3.6 Die Einzelbaumentwicklung

Da der wirtschaftliche Erfolg neben der Gesamtvolumenleistung wesentlich von der Entwicklung der bis in den Endbestand verbleibenden Bäume abhängt, wird im Folgenden auf charakteristische Wachstumsparameter der 100 stärksten Bäume / ha eingegangen.

#### 3.6.1 Oberhöhenentwicklung

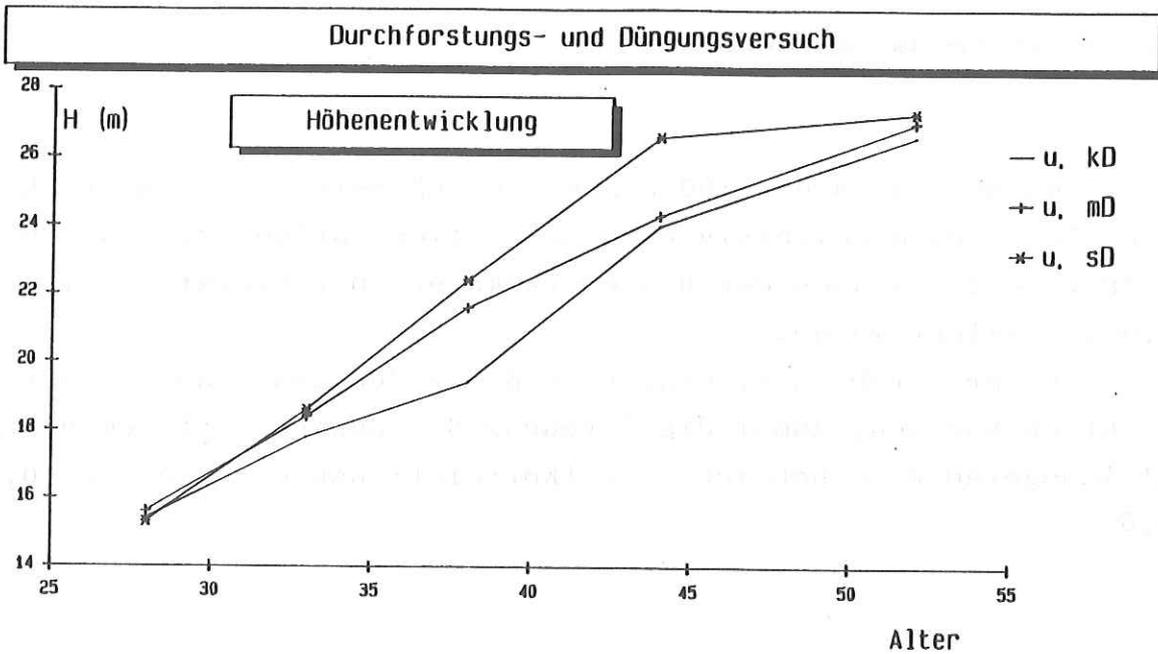
Da zwar bestandesrepräsentative aber im Bereich der stärksten Bäume nur wenige Höhenmessungen vorliegen, wurden die Oberhöhen (Tab. 12) aus einer mit der PETERSON-Funktion berechneten Bestandeshöhenkurve entnommen. Die mittlere quadratische Abweichung der tatsächlich gemessenen Höhen aller Versuchsvarianten im Bereich der 100 stärksten Bäume / ha ( $n = 45$ ) von der jeweiligen Bestandeshöhenkurve betrug  $\pm 37,5$  cm und liegt damit im Rahmen der möglichen Meßgenauigkeit im stehenden Bestand.

Tab. 12: Durchschnittliche Höhe der 100 stärksten Fichten je ha

Alter	Oberhöhe (m)					
	u. kD	u. mD	u. sD	g. kD	g. mD	g. sD
28	15,4	15,6	15,3	15,8	15,3	14,8
33	17,8	18,4	18,6	18,1	18,3	15,5
38	19,4	21,6	22,4	20,8	20,7	20,2
44	24,0	24,3	26,6	23,3	23,0	22,4
52	26,6	27,0	27,3	26,5	26,9	25,6

u = ungedüngt    kD = undurchforstet  
g = gedüngt     mD = mäßig durchforstet  
                  sD = stark durchforstet

Das Höhenwachstum der stärksten Fichten wurde durch die Durchforstungseingriffe auf den ungedüngten Flächen nicht wesentlich beeinflusst (Abb.16).



**Abb. 16:** Die Durchforstungseingriffe hatten nur einen geringen Einfluß auf die Oberhöhenentwicklung

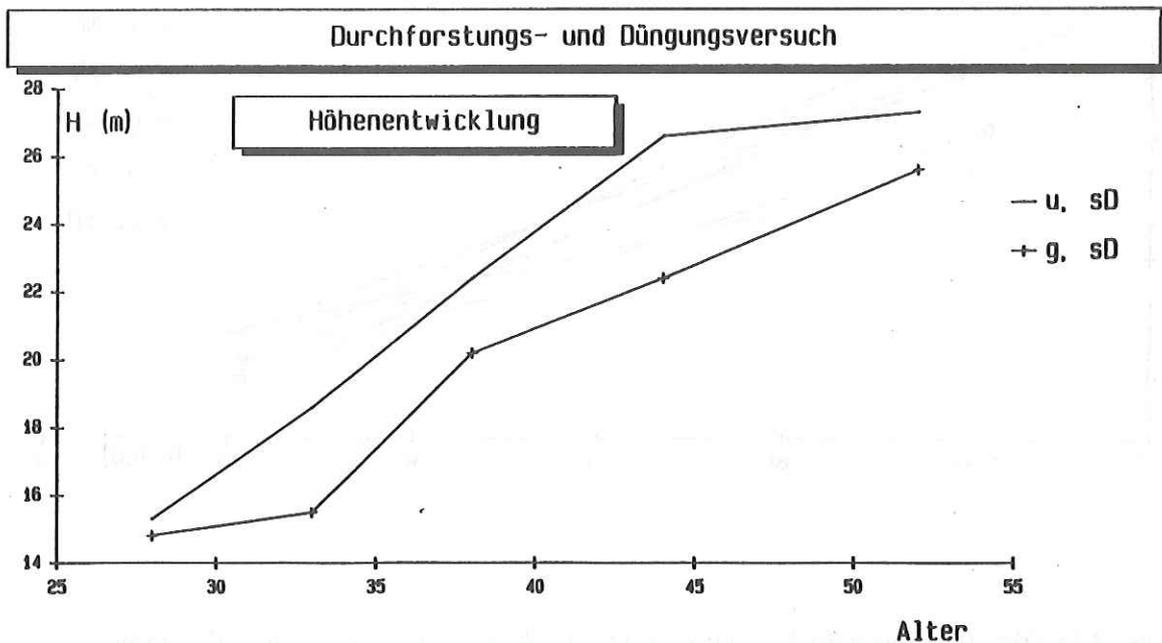
u = ungedüngt

kD = keine Durchforstung

mD = mäßige Durchforstung

sD = starke Durchforstung

In den Düngungspartellen, insbesondere in der stark durchforsteten Parzelle, zeigte sich eine geringere Höhenwuchsleistung (Abb.17, Tab.12).



**Abb.17:** Insbesondere in den stark durchforsteten Parzellen ließ der Höhenzuwachs der gedüngten Oberhöhenstämme gegenüber den nicht gedüngten nach

u = ungedüngt

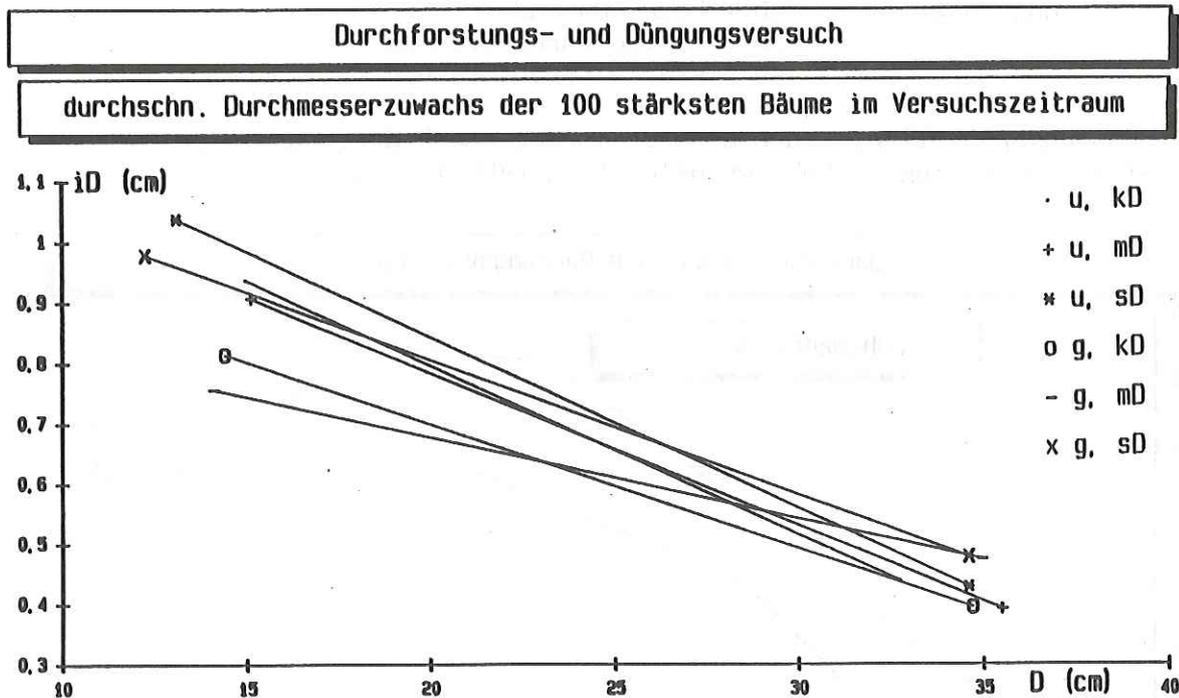
sD = stark durchforstet

g = gedüngt

### 3.6.2 Durchmesserzuwachs

Die Zuwachsgeraden der 100 stärksten Bäume/ha zeigen (Abb.18), daß in diesem Kollektiv eine zusätzliche Stimulation des Durchmesserzuwachses auch durch die stärkeren Durchforstungseingriffe nicht erreicht wurde.

Ein höherer Durchmesserzuwachs in den gedüngten Flächen läßt sich nicht nachweisen, zumal die Streuung der Zuwachswerte um die Ausgleichsgeraden erheblich ist (Korrelationskoeffizienten: 0,29 - 0,65).



**Abb.18:** Die Durchmesserleistung der stärksten Bäume in den Versuchsflächen wurde durch die Durchforstungseingriffe nicht stimuliert  
 u = ungedüngt      kD = undurchforstet      iD = Durchmesserzuwachs  
 g = gedüngt      mD = mäßig durchforstet      D = Ausgangsdurchmesser  
 sD = stark durchforstet

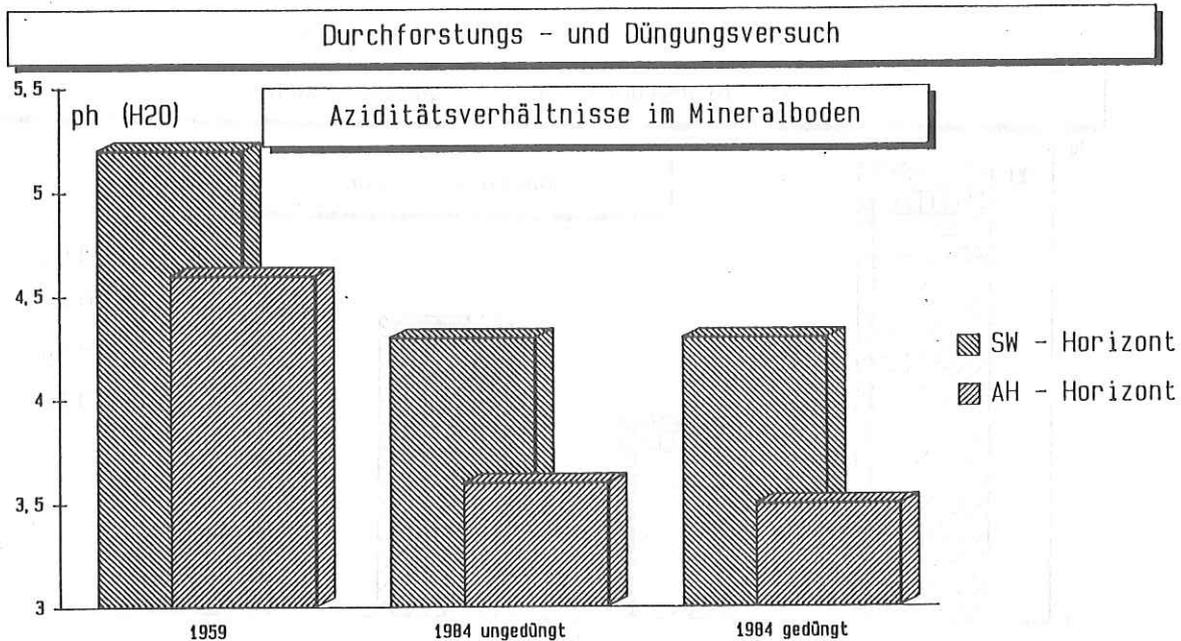
Da zwar der Grundflächenmittelstamm (vgl. Kap. 3.2), nicht aber die stärksten Bäume positiv auf stärkere Durchforstungseingriffe reagiert haben und eine rechnerische Verschiebung zu höheren Durchmessern des Grundflächenmittelstammes der stärker durchforsteten Varianten ausgeschlossen werden kann, sind die positiven Veränderungen im Wesentlichen auf höhere Zuwächse der etwas schwächeren Bestandesglieder wohl als Reaktion auf das verbesserte Raumangebot zurückzuführen.

## 4. Ergebnisse der chemischen Analysen

### 4.1 Bodenanalysergebnisse

Die Probennahme 1959 für die chemischen Bodenanalysen erfolgte vor der eigentlichen Versuchsanlage. Die zufällige Lage der gedüngten und ungedüngten Versuchspartzen schließt eine systematische Beeinflussung des Bodenchemismus der einen oder anderen Variante aus. Aufgrund des hohen Schlußgrades des jungen Fichtenbestandes im Jahre 1959 (Abb. 35, 40, 46, 51, 56 und 61, Tab. 1) und der demzufolge nur geringen Umsetzungsprozesse wird ein zwischen den Partzen vergleichbarer chemischer Ausgangszustand angenommen. Auf der Basis dieser Unterstellung bauen die folgenden Vergleiche zwischen gedüngten und ungedüngten Varianten auf.

Der Boden befand sich 1959 im A<sub>h</sub>-Horizont im Austauscher-Pufferbereich (pH H<sub>2</sub>O: 4,6) und in den tiefer gelegenen Stauwasserhorizonten im Silikatpufferbereich (pH H<sub>2</sub>O: 5,2/5,5) (Abb.19, Tab.11) (vgl. ULRICH et al. 1984). Die seinerzeit ebenfalls bestimmten pH-Werte in KCl (im A<sub>h</sub>-Horizont: 4,0, im S<sub>w</sub>-Horizont: 4,2/4,4) lassen erkennen, daß die durch den jeweiligen Pufferbereich angedeutete Stabilität nur eine scheinbare Stabilität war. Bei der Messung des pH-Wertes in KCl wird eine starke Säurebelastung simuliert. Der deutlich niedrigere pH-Wert in Salz gegenüber dem in Wasser gemessenen pH-Wert verwies darauf, daß der Boden bereits säurebelastet war und gegenüber erneuten Säureschüben anfällig sein würde. In den folgenden 25 Jahren erfolgte eine in den Auswirkungen unerwartete Bodendegradation, die sich in stark gesunkenen pH-Werten äußerte (pH H<sub>2</sub>O im A<sub>h</sub>-Horizont: 3,6, pH H<sub>2</sub>O in S<sub>w</sub>-Horizont: 4,3)(Abb.19). Die geringen Spannen zu den in Salz (CaCl<sub>2</sub>) gemessenen pH-Werten (pH CaCl<sub>2</sub> im A<sub>h</sub>-Horizont: 3,3, pH CaCl<sub>2</sub> im S<sub>w</sub>-Horizont: 3,8) lassen vermuten, daß sich insbesondere der A<sub>h</sub>-Horizont 1984 in einer Phase stärkerer Versauerung befand. Die durchschnittliche jährliche Abnahme des pH-Wertes betrug im A<sub>h</sub>-Horizont 0,05 pH-Einheiten, im S<sub>w</sub>-Horizont nahezu 0,04 pH-Einheiten. Der A<sub>h</sub>-Horizont beider Varianten befand sich somit 1984 im Aluminium-Eisen-Pufferbereich, während der S<sub>w</sub>-Horizont, der auch schon den Versauerungsprozessen unterlag, noch dem Austauscher-Pufferbereich zuzuordnen war.

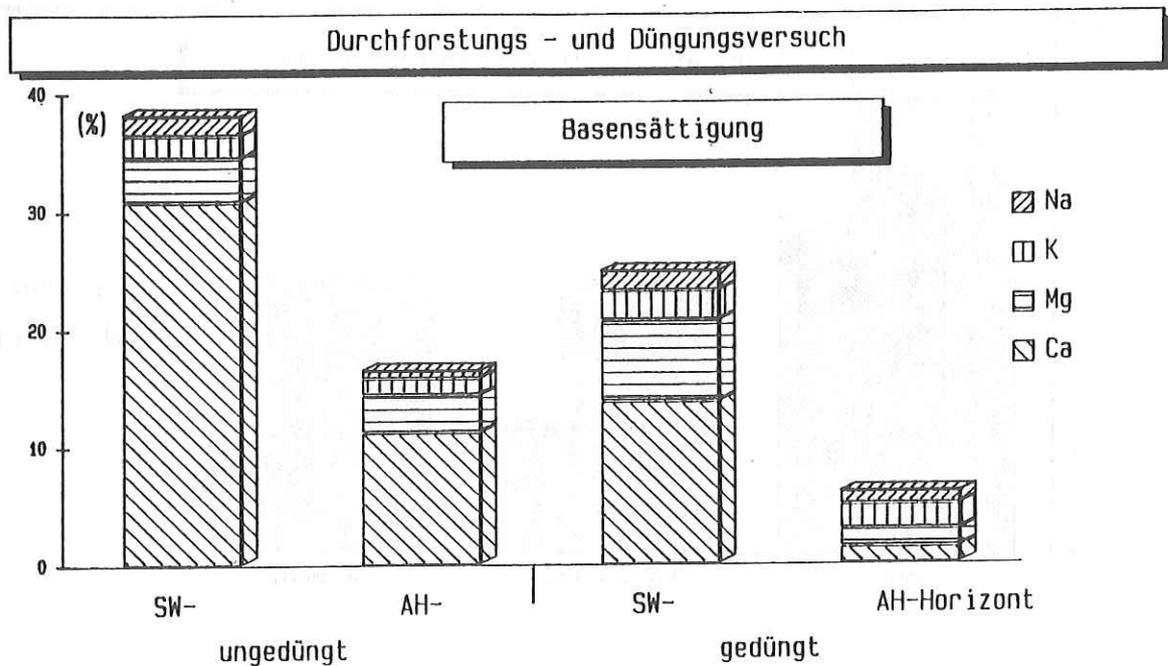


**Abb. 19:** Die pH-Werte im Mineralboden der Versuchsvarianten "gedüngt" und "ungedüngt" sind deutlich zurückgegangen

**Tab. 13:** Azidität der Versuchsflächen bei Versuchsbeginn und -ende

	An-Horizont	Sv-Horizont
	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (H <sub>2</sub> O)
1959	4,6	5,2
ungedüngt 1984	3,6	4,3
gedüngt 1984	3,5	4,3

Die Düngung mit Kalkammonsalpeter in den Jahren 1959 bis 1963 führte zu einer deutlichen Verringerung der Basensättigung, insbesondere durch den Verlust austauschbarer Calcium- und Magnesium-Ionen (Abb.20, Tab.14 und 15).



**Abb. 20:** Die Austauscherbelegung mit basisch wirksamen Kationen ist auf der ungedüngten Fläche günstiger zu beurteilen

Während im Ah-Horizont der ungedüngten Parzellen noch 14,6 % der Austauscherplätze mit Calcium- und Magnesium-Ionen belegt waren, waren es in den gedüngten Parzellen nur noch 3 % der Austauscherplätze (Tab. 14).

**Tab. 14:** Äquivalentanteile von basisch und sauer wirksamen Kationen im Ah-Horizont der ungedüngten und gedüngten Varianten bei Versuchsende

	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	Na (%)	Σ basisch (%)	H (%)	Fe (%)	Al (%)	Mn (%)	Σ sauer (%)
ungedüngt 1984	11,3	3,2	1,4	0,7	16,6	6,7	8,5	66,3	1,7	83,2
gedüngt 1984	1,5	1,5	2,1	1,1	6,2	10,4	12,4	69,2	1,8	93,8

Unter der gedüngten Parzelle hat die Versauerungsfront bereits den  $S_w$ -Horizont erreicht (Basensättigung im  $S_w$ -Horizont = 25 %), während sich die Säurewirkung in der ungedüngten Parzelle noch überwiegend im Oberboden bemerkbar macht (Basensättigung im  $A_h$ -Horizont = 16,6 %, im  $S_w$ -Horizont = 38,2 %)(Abb.20, Tab.15).

**Tab. 15:** Äquivalentanteile von basisch und sauer wirksamen Kationen im  $S_w$ -Mineralbodenhorizont der ungedüngten und gedüngten Versuchspartellen bei Versuchsende

	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	Na (%)	$\Sigma$ basisch (%)	H (%)	Fe (%)	Al (%)	Mn (%)	$\Sigma$ sauer (%)
ungedüngt 1984	30,9	3,7	1,9	1,7	38,2	1,6	1,9	56,8	1,4	61,7
gedüngt 1984	13,9	6,9	2,5	1,7	25	0	3,8	70,7	0,5	75

Die Struktur der Kationensäurebelegung zeigt jedoch, daß in allen Horizonten beider Varianten 3-wertiges Aluminium am Austauschdominiert (Abb.21), das heißt, daß Säuren durch die Freisetzung von Aluminium-Ionen aus Tonmineralen gepuffert wurden.

Die hohen Anteile an freien Protonen und Eisenionen an der effektiven Austauschkapazität im  $A_h$ -Horizont sowohl der ungedüngten als auch der gedüngten Partellen (ungedüngt:  $H + Fe = 15,3$  %, gedüngt:  $H + Fe = 22,8$  %) weisen auf noch akute Versauerungsvorgänge hin (Tab. 16).

**Tab. 16:** Elastizitätsparameter im  $A_h$ -Mineralbodenhorizont bei Versuchsende

	pH $H_2O$	pH $CaCl_2$	Ake ( $\mu\text{mol I}\ddot{A}$ )	Ca + Mg (% Ake)	H + Fe (%Ake)	Ca	Ca	Ca
						Ca+Fe+Al (mol I $\ddot{A}$ )	Al (mol I $\ddot{A}$ )	H (mol I $\ddot{A}$ )
						(mol I $\ddot{A}$ )	(mol I $\ddot{A}$ )	(mol I $\ddot{A}$ )
ungedüngt 1984	3,6	3,3	118,11	14,6	15,33	0,131	0,171	1,6551
gedüngt 1984	3,5	3,3	107,04	2,9	22,8	0,018	0,021	0,1406

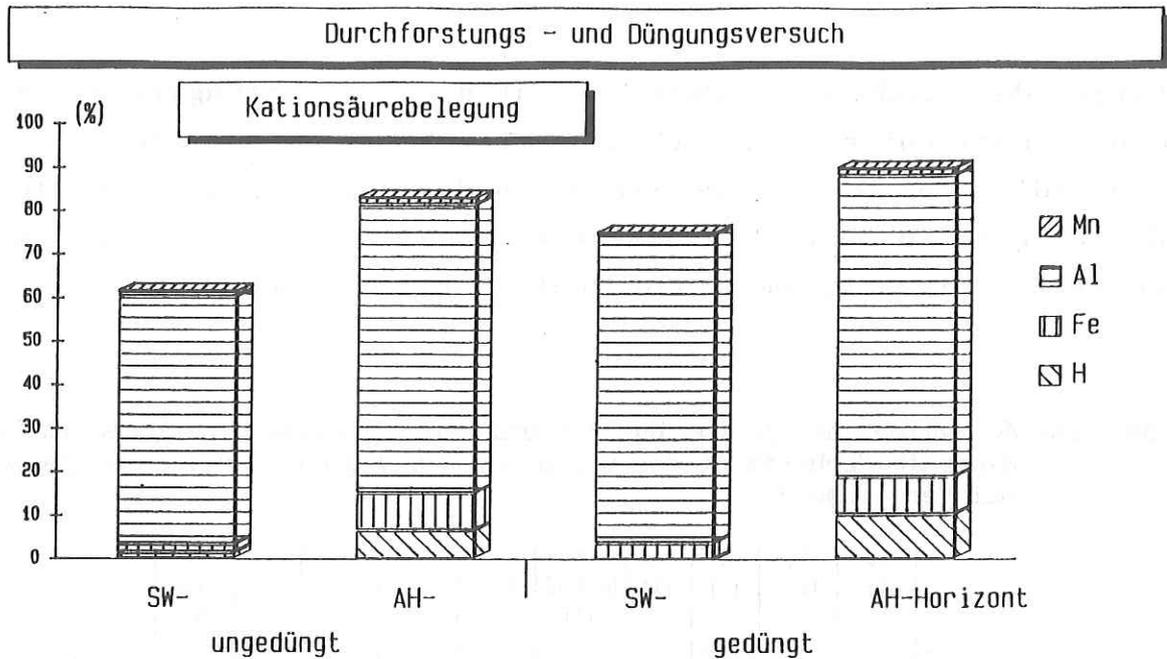


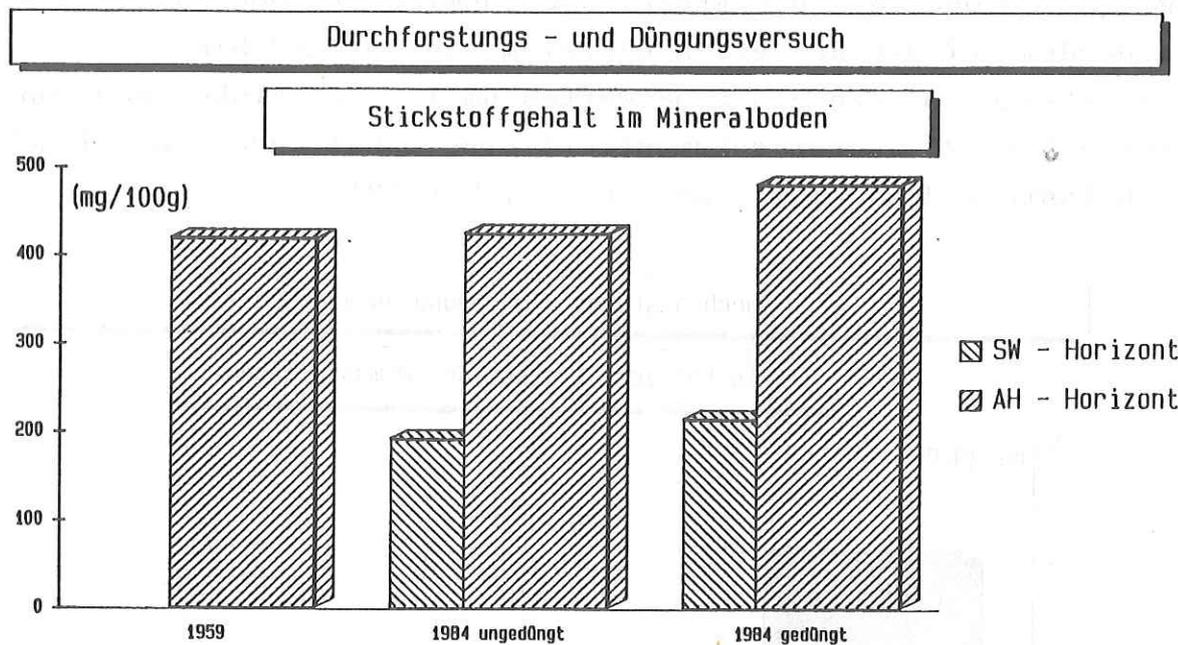
Abb. 21: Die Austauscherbelegung mit versauernd wirkenden Kationen ist auf den gedüngten Flächen deutlich höher

Abgemildert finden sich diese Prozesse im  $S_w$ -Horizont wieder (Abb.21, Tab. 17).

Tab. 17: Elastizitätsparameter im  $S_w$ -Mineralbodenhorizont bei Versuchsende

Varianten	pH $H_2O$	pH $CaCl_2$	Ake ( $\mu\text{mol I}\ddot{A}$ )	Ca + Mg (% Ake)	H + Fe (%Ake)	Ca		
						Ca+Fe+Al (mol I $\ddot{A}$ )	Al (mol I $\ddot{A}$ )	H (mol I $\ddot{A}$ )
ungedüngt 1984	4,3	3,8	55,65	34,64	3,57	0,345	0,5446	18,80
gedüngt 1984	4,3	3,8	48,45	20,8	3,77	0,1575	0,1969	-

Der Stickstoffgehalt im Mineralboden hat sich in der unbehandelten Variante nicht verändert, während er in der gedüngten Variante zugenommen hat (Abb.22).



**Abb.22:** In der gedüngten Variante erfolgte im Ah-Horizont eine leichte Stickstoffzunahme

**Tab. 18:** Stickstoffgehalt der Versuchsflächen bei Versuchsbeginn und -ende

	Ah-Horizont	Sw-Horizont
	N (mg/100g)	N (mg/100g)
1959	420	n.b.
ungedüngt 1984	426	193
gedüngt 1984	482	216

## 4.2 Humusanalysenergebnisse

Aus dem chemischen Humuszustand ergeben sich Hinweise auf ökologische Prozesse. Die Ergebnisse chemischer Humusanalysen weisen außerdem auf den aktuellen Nährelementkreislauf hin.

Die starke Absenkung des pH-Wertes um 1,4 pH-Einheiten von 5,0 auf 3,6 in 25 Jahren dokumentiert eine anhaltende erhebliche Säurebelastung des Ökosystems (Abb.23, Tab.19).

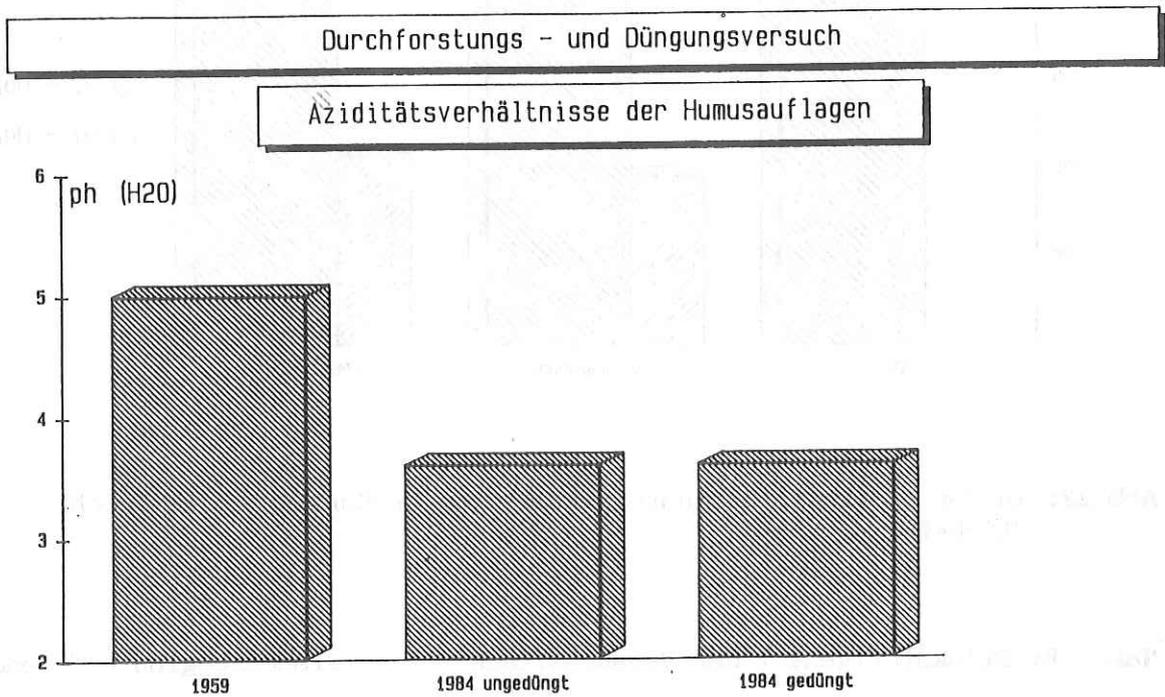
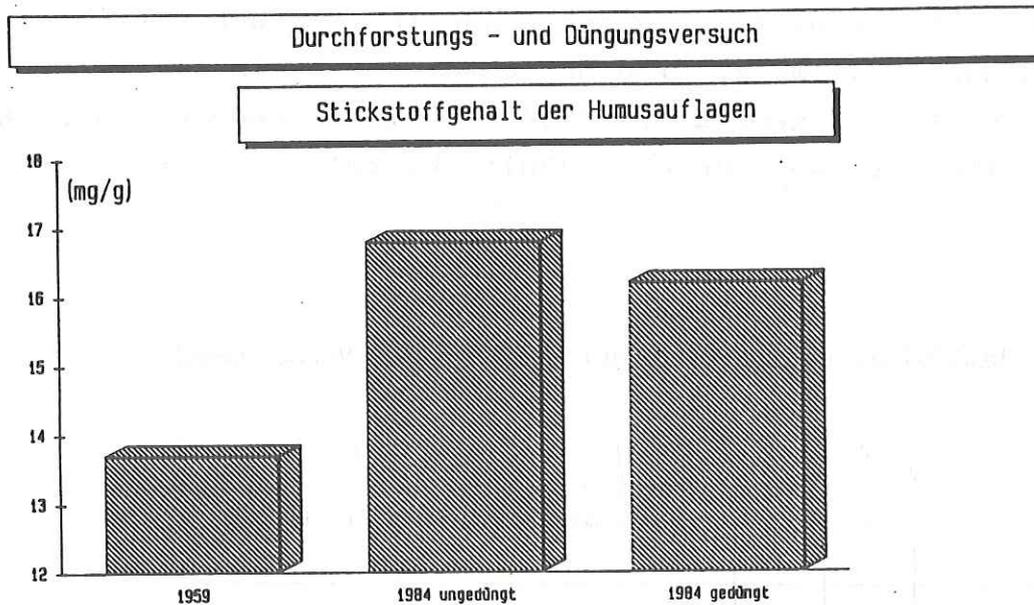


Abb. 23: Die pH-Werte in der Humusauflage haben merklich abgenommen

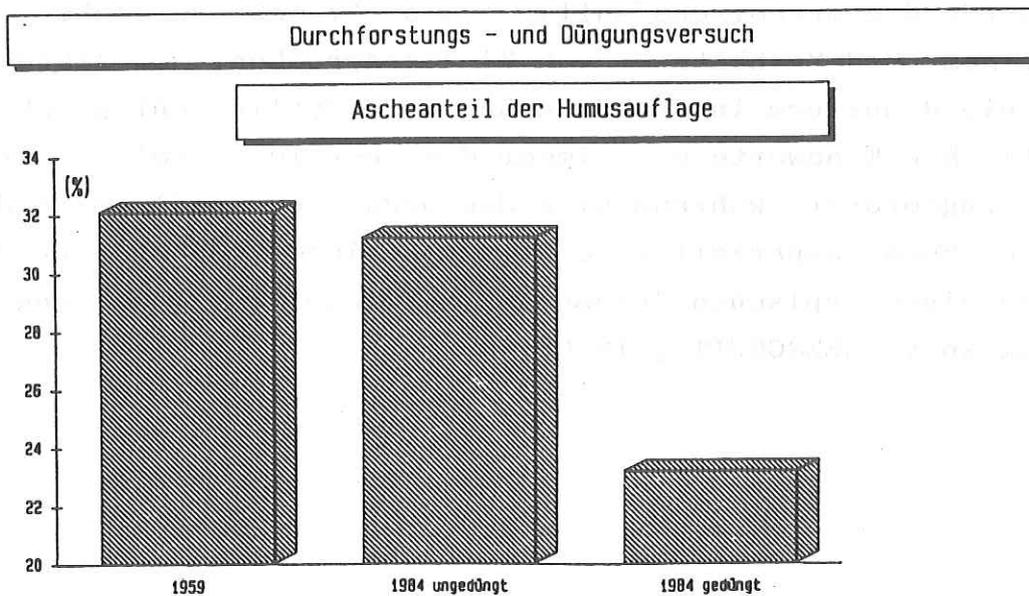
Tab. 19: Ergebnisse der chemischen Humusanalyse bei Versuchsbeginn und -ende

	Ascheanteil (%)	C (mg/g)	N (mg/g)	C/N	Ca (mg/g)	Mg (mg/g)	pH (H <sub>2</sub> O)
1959	32,1	350,0	13,7	25,5	3,03	0,43	5,0
undüngt 1984	31,2	344,0	16,82	20,4	2,34	0,52	3,6
gedüngt 1984	23,2	384,00	16,16	23,8	2,43	0,46	3,6

Um etwa 20 % höhere Stickstoffgehalte gegenüber 1959 deuten auf merkliche Stickstoffeinträge hin (Abb.24).



**Abb. 24:** Der Stickstoffgehalt der Humusauflage ist gegenüber 1959 angestiegen. Der Ascheanteil der organischen Substanz dokumentiert eine Verarmung der Düngungsflächen an mineralischen Bestandteilen (Abb.25). Während sich dieser auf den ungedüngten Versuchsflächen in 25 Jahren nur unwesentlich verringert hat, ist er auf den Düngungsparzellen um nahezu 30 % zurückgegangen.



**Abb. 25:** Auf der gedüngten Parzelle hat der Ascheanteil der Humusauflage deutlich abgenommen.

Die schneller fortschreitende Humusdegradation auf den gedüngten Flächen wird ebenfalls beim Vergleich der Elastizitätsparameter Kohlenstoff-Gehalt, C/N- und C/P-Verhältnis offenbar. Der Anstieg des Kohlenstoffgehaltes in den gedüngten Versuchspartzellen (384 mg/g gegenüber 344 mg/g) wird begleitet durch ein weiteres C/N-Verhältnis (23,8 gegenüber 20,4) und insbesondere ein weiteres C/P-Verhältnis (1035 gegenüber 398)(Tab. 20).

Tab. 20: Elastizitätsparameter im Auflagehumus bei Versuchsende

	C	C/N	C/P	Ca (mol IÄ)	Ca (mol IÄ)
	%	(ng)	(ng)	Ca+Al+Fe (mol IÄ)	Al (mol IÄ)
		(ng)	(ng)		
ungedüngt 1984	34,4	20,4	398	0,116	0,19
gedüngt 1984	38,4	23,8	1 035	0,136	0,22

1959 wurde die organische Auflage als "feinhumusreicher Moder" mit einem C/N-Verhältnis von 24 angesprochen. 25 Jahre später wurde die Humusform in den ungedüngten Parzellen entsprechend der analytischen Kennwerte noch immer dem Bereich "feinhumusreicher Moder" zugeordnet, während sich die organische Auflage in den gedüngten Versuchspartzellen bereits von einem "rohhumusartigen Moder" zu einem typischen "Rohhumus" entwickelte (Bewertung in Anlehnung an v. ZEJSCHWITZ, 1980).

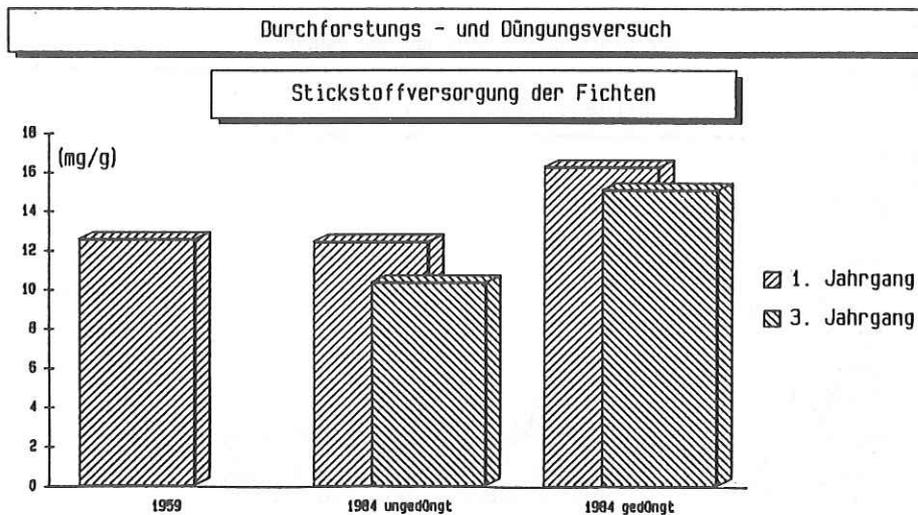
### 4.3 Nadelanalysenergebnisse

Der Stickstoffgehalt der Nadeln 1959 läßt auf einen leichten Mangel schließen. Die Nadeln der ungedüngten Bäume zeigten auch 1984 noch einen Stickstoffmangel an (vgl. VAN DEN BURG, 1985). Die Stickstoffernährung verbesserte sich dagegen offensichtlich in der gedüngten Variante (Abb.26, Tab.21).

**Tab. 21:** Ergebnisse chemischer Nadelanalysen bei Versuchsbeginn (1959) und -ende (1984) von Proben des 1. und 3. Nadeljahrgang aus dem 7. Quirl ungedüngter und gedüngter Fichten.

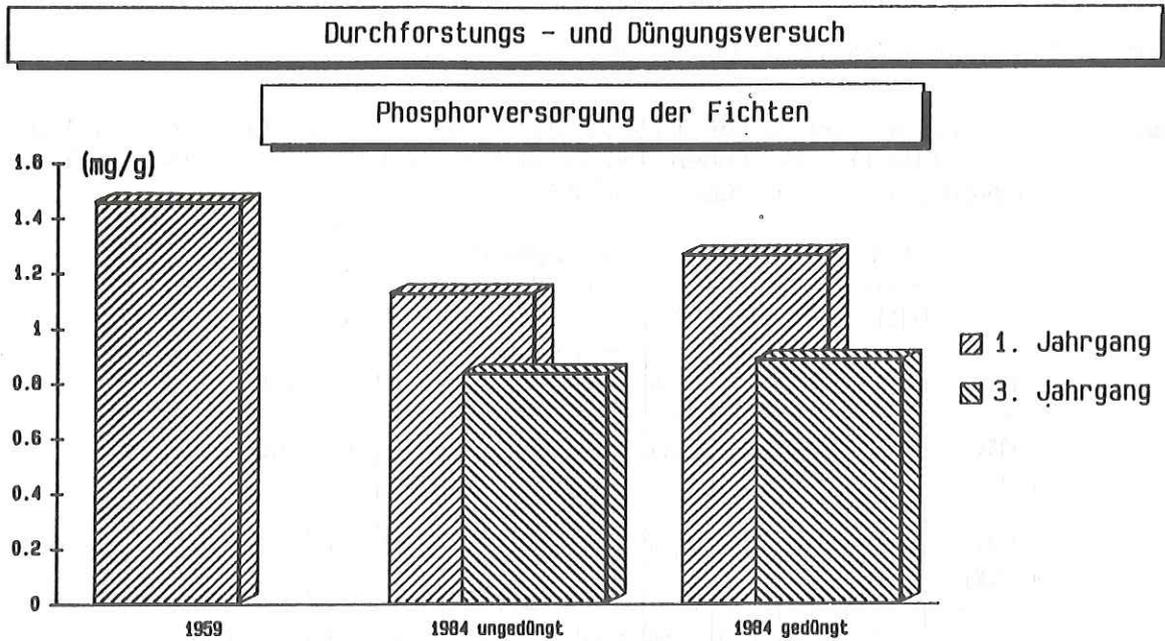
	Asche- gehalt (%)	Elementgehalte (ng/g)									
		N	P	Si	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al	Na
1959	3,5	12,60	1,46	4,56	6,89	2,68	0,90	1,42	n.b.	n.b.	n.b.
1984 u, 1.Nj.	3,6	12,49	1,13	5,40	2,18	5,92	1,00	1,98	0,12	0,07	0,030
1984 u, 3.Nj.	6,5	10,41	0,84	15,60	1,40	9,41	0,54	3,08	0,15	0,11	0,037
1984 g, 1.Nj.	3,7	16,29	1,27	8,20	2,43	5,58	1,01	1,84	0,17	0,15	0,027
1984 g, 3.Nj.	5,9	15,10	0,89	14,76	1,41	8,97	0,62	2,74	0,16	0,15	0,049

u = ungedüngt      g = gedüngt      Nj = Nadeljahrgang



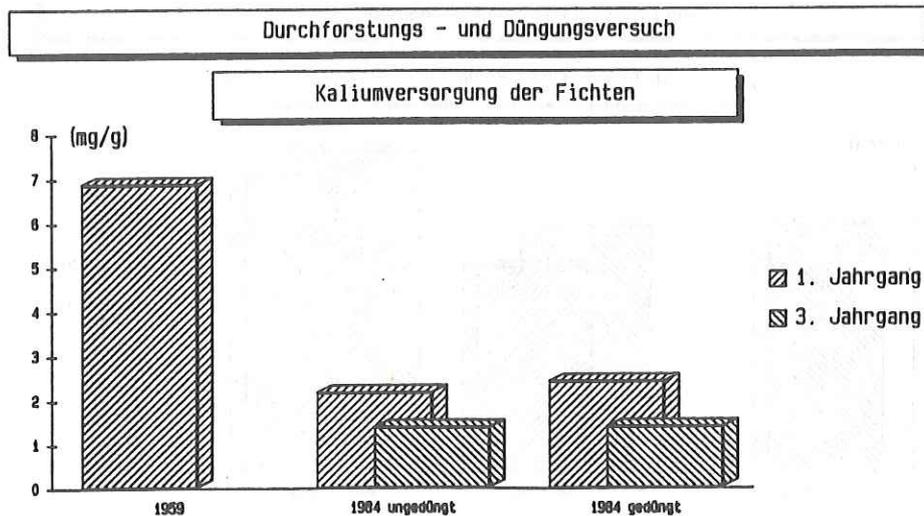
**Abb. 26:** Die Nadelspiegelwerte der Fichten auf der Düngungsparzelle deuten auf eine ausreichende Stickstoffversorgung hin

Während 1959 der Phosphorgehalt der Nadeln auf eine ausreichende Versorgung hinwies, verschob sich dieser in 25 Jahren Versuchsdauer sowohl in den ungedüngten Parzellen als auch in den gedüngten Parzellen in Mangelversorgungsbereiche (Abb.27, Tab.21).

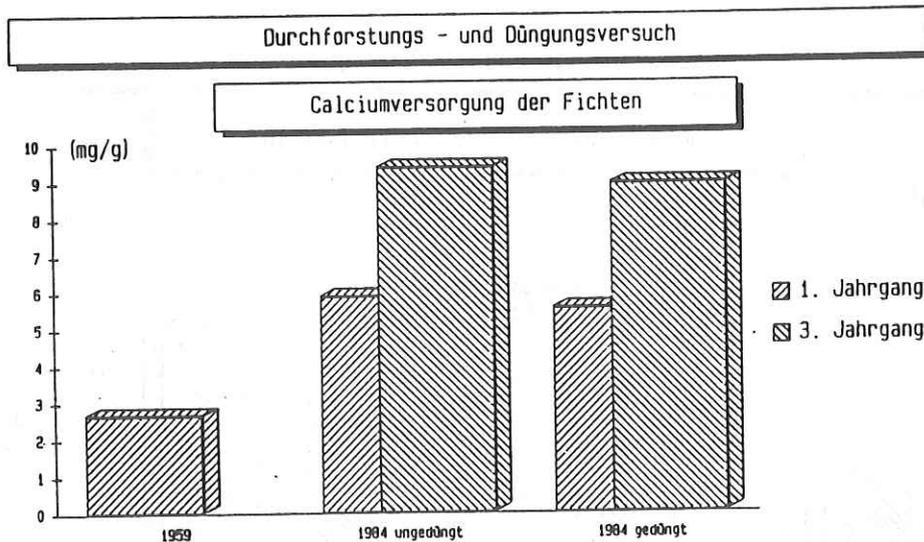


**Abb. 27:** Die Nadelanalysen verweisen auf eine nachlassende Phosphorversorgung

Auch beim Nährelement Kalium zeigte sich eine deutliche Verschlechterung der Nadelspiegelwerte in 25 Jahren Beobachtungsdauer um 60 - 70 % (Abb.28, Tab.21).



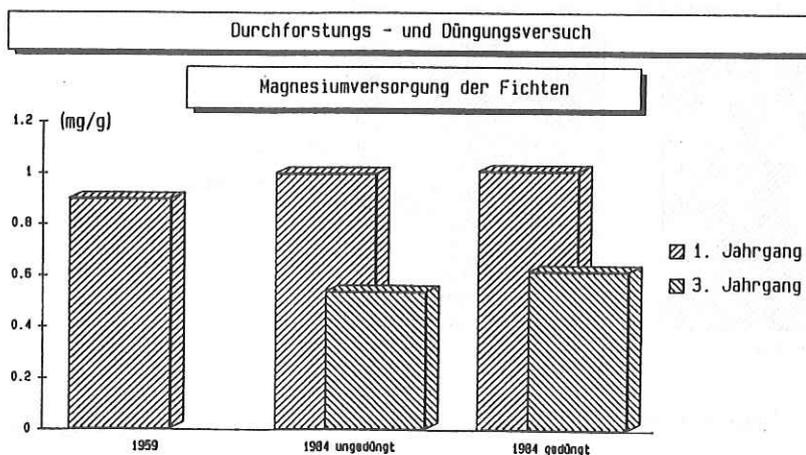
**Abb. 28:** Die geringen Kaliumgehalte der Nadeln deuten auf eine merklich schlechtere Versorgung mit diesem Nährelement



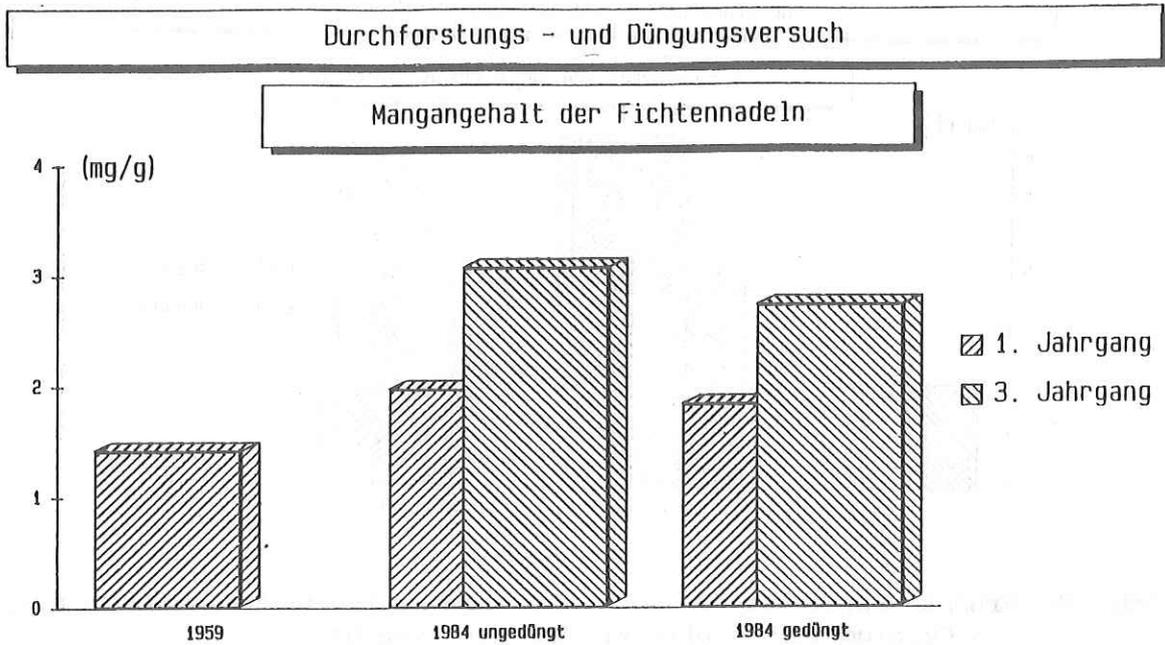
**Abb. 29:** Erhöhte Spiegelwerte deuten auf eine noch anhaltende Festlegung von Calcium in der pflanzlichen Biomasse hin

Entgegengesetzt zur vorher aufgezeigten Entwicklung stiegen die Nadelspiegelwerte für Calcium auf den ungedüngten Versuchspartellen um 120 % und auf den gedüngten Parzellen um 110 % aus Mangelbereichen in optimale Versorgungsbereiche (Abb.29, Tab.21). Die höheren Calciumspiegelwerte in den älteren Nadeljahrgängen der Fichten beruhen auf der Eigenschaft der Bäume, Calcium im Verlauf der gesamten Entwicklung in zunehmender Menge einzulagern (FIEDLER et al., 1973).

Auch bei Magnesium kann der bei Calcium aufgezeigte Trend wieder gefunden werden. So stiegen die Magnesium-Spiegelwerte in 25 Jahren innerhalb eines noch normalen Versorgungsbereiches um etwa 10 % an (Abb.30, Tab.21).

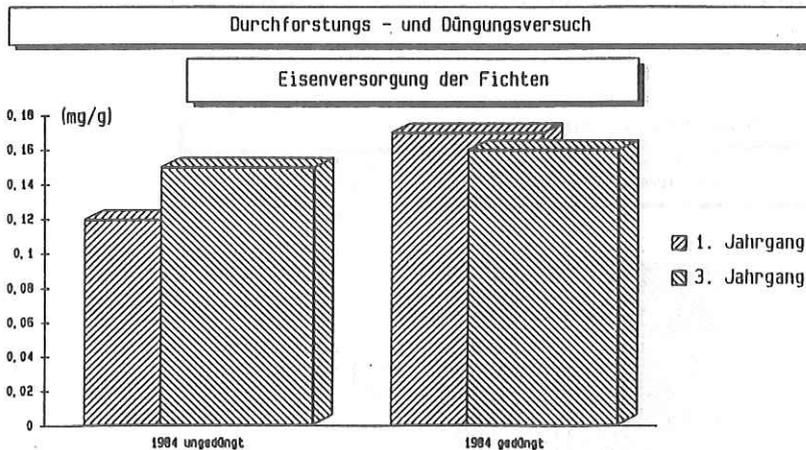


**Abb. 30:** Auch bei Magnesium zeichnete sich noch keine schlechtere Versorgung der Bäume ab.



**Abb. 31:** Die erhöhte Manganversorgung der Nadeln verweist auf eine zumindest vorübergehend erhöhte Pflanzenverfügbarkeit dieses Elementes

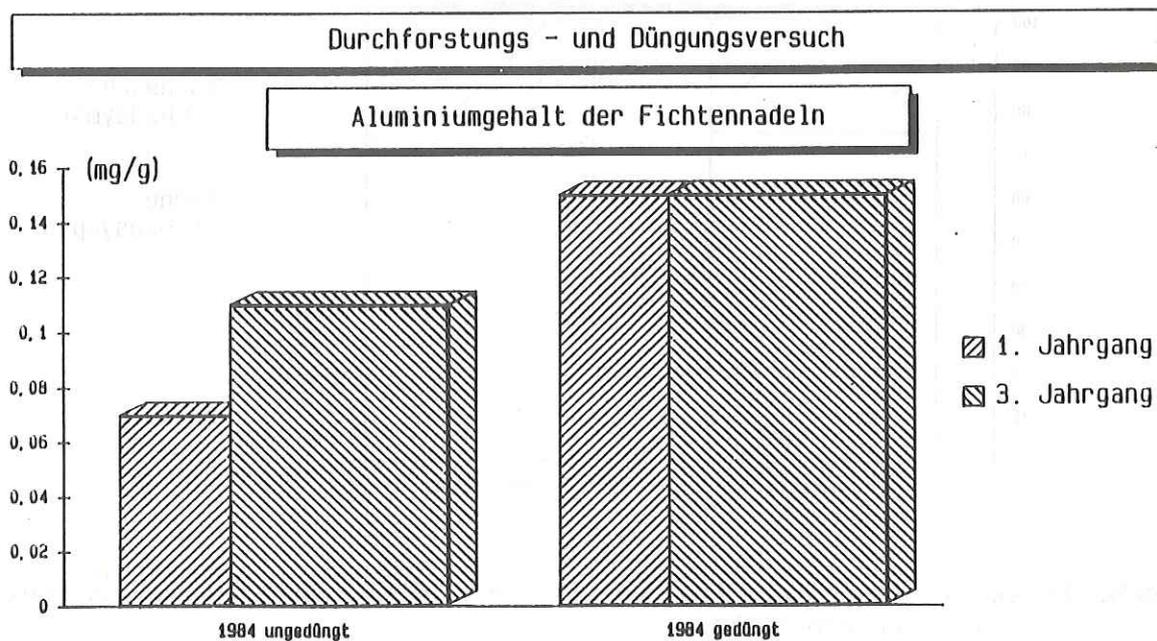
Die Nadelanalysen zeigen von 1959 bis 1984 einen Anstieg der Manganspiegelwerte um 40 % (ungedüngte Parzellen), bzw. 30 % (gedüngte Parzellen). Die älteren Nadeljahrgänge wiesen erheblich höhere Mangangehalte auf als die jüngeren Nadeljahrgänge. Auch bei diesem Element erfolgt eine zunehmende Einlagerung mit dem Alter der Nadel (FIEDLER et al., 1973)(Abb.31, Tab. 21).



**Abb. 32:** Die Nadelanalysen verweisen auf weit überhöhte Eisenspiegelwerte

Die Aluminiumspiegelwerte befinden sich in "normalen" Bereichen, wobei die ungedüngten Fichten deutlich niedrigere Aluminiumgehalte aufweisen (Abb.33, Tab.21).

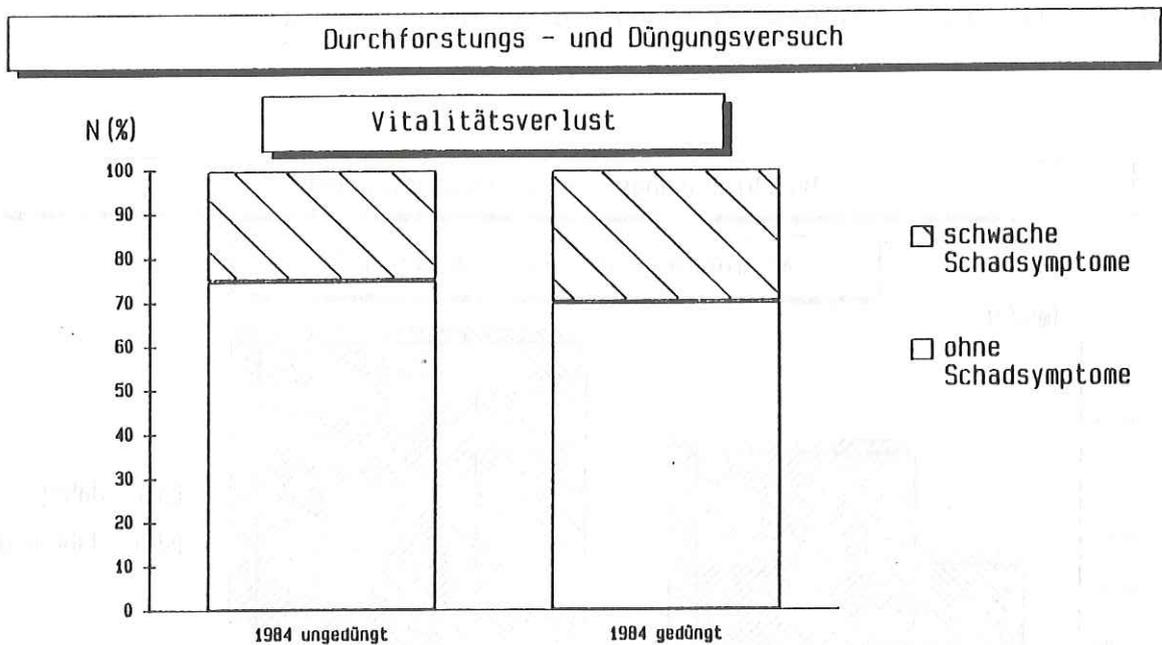
Die Eisen- und Aluminiumgehalte der Nadeln wurden 1959 leider nicht bestimmt. Im Vergleich zwischen den gedüngten und ungedüngten Fichten konnten höhere Eisen- (40 %) und Aluminiumgehalte (115 %) in den jüngsten Nadeljahrgängen der gedüngten Fichten nachgewiesen werden. In den älteren Nadeljahrgängen verringerten sich die Unterschiede der Eisengehalte zwischen ungedüngten und gedüngten Fichten (Abb.32, Tab.21). Die Eisenspiegelwerte in den ungedüngten Parzellen überschreiten die meisten der in der Literatur (vgl. VAN DEN BURG, 1985) beschriebenen "Normalwerte" um 20 - 300 %, in den gedüngten Parzellen um 70 - 500 %.



**Abb. 33:** Die ungedüngten Fichten haben deutlich weniger Aluminium als die gedüngten Fichten aufgenommen.

## 5. Ergebnisse der Waldschadensaufnahme 1984

In den stark durchforsteten, ungedüngten Parzellen waren 75 % aller Fichten ohne Schadsymptome, während die restlichen 25 % der Fichten als schwach geschädigt angesprochen wurden. In den stark durchforsteten, gedüngten Parzellen waren nur 70 % ohne Schadsymptome, während 30 % schwach geschädigt waren. Allenfalls tendenziell zeigte sich damit eine höhere Vitalität der ungedüngten Fichten (Abb.34, Tab. 22).



**Abb. 34:** Nur ein leichter Trend verweist auf einen höheren Vitalitätsverlust der gedüngten Fichten

**Tab. 22:** Schadansprache der Fichten im Hinblick auf die "neuartigen Waldschäden" im Rahmen des Sondermeßprogramms Wald

	ohne Schadsymptome	schwache Schädigung	deutliche Schäden
Fichten in den ungedüngten, stark durchforsteten Parzellen	75 %	25 %	-
Fichten in den gedüngten, stark durchforsteten Parzellen	70 %	30 %	-

## 6. Diskussion

### 6.1 Der Durchforstungsversuch - Hinweise auf die Praxis der Fichtenwirtschaft

Die Bewirtschaftungsrichtlinien für Fichte in Rheinland-Pfalz (LANDESFORSTVERWALTUNG RHEINLAND-PFALZ, 1983, 1987) gehen im Kern auf die grundlegende Arbeit von PETRI (1958) zurück.

Ausgehend von bestimmten Fixpunkten richten sich die Durchforstungseingriffe nach einer an den Werten der Ertragstafel "Wiedemann, mäßige Durchforstung" der entsprechenden Bonität ausgerichteten Grundflächenhaltung mit differenziertem Niveau.

Ausgangspunkte der Durchforstungsphase sind vorgegebene Oberhöhen (10 - 15 m) und Alter ( $\pm$  25 Jahre). Mit der Durchforstung sollen ca. 300 - 500 Z-Bäume im Wesentlichen bis zum Beginn der 2. Hälfte der Umtriebszeit herausgearbeitet werden. PETRI (1960) empfiehlt eine gestaffelte, anfangs starke, später schwächer werdende Durchforstung, die sich in ihrer Grundflächenhaltung nach 3 unterschiedlichen am Wasserhaushalt orientierten Standortgruppen differenzieren soll. Diese Zielvorstellung wurde für 3 Höhenbonitäten und je 3 Ertragsniveaustufen in Richtung einer an Standortsertragstafeln bemessenen Fichtendurchforstung weiter entwickelt (PEERENBOHM, PETRI, 1986).

Ziel dieser Behandlung ist es, eine auf dem betreffenden Standort vollen Zuwachs versprechende, optimale Bestandesdichte anzuhalten, um die individuelle potentielle Gesamtwuchsleistung zu verwirklichen (PETRI, 1960). Dazu sollte bei gutem Wasserhaushalt eine Grundflächenhaltung von etwa 90 - 120 %, auf mittleren Standorten von etwa 85 - 105 % und auf schlecht wasserversorgten Standorten eine Grundflächenhaltung von etwa 70 - 90 % der Ertragstafelwerte "Wiedemann mäßige Durchforstung" der entsprechenden Bonität angestrebt werden. Sie wird vornehmlich aus Sicherheitsgründen (Bestandesstabilität) in der Regel mit einer geringen (kritischen) Stammzahl entsprechend hoher Durchmesserleistung realisiert.

Die Analyse der ertragskundlichen Ergebnisse dieses Versuches zeigte, daß ein besseres Standraumangebot in Folge starker Durchforstungseingriffe die Durchmesser- und Verteilung positiv beeinflusst hat. Das hatte zur Folge, daß nach höheren Durchforstungseingriffen bereits bei der Vornutzung stärkere Bäume anfallen. Bestätigt wird dies durch die Durchmesser- und Verteilung der ausgeschiedenen Bestandeglieder aus den Versuchspartellen (Abb. 6, Tab. 4). Doch wurde die Durchmesserentwicklung der 100 dicksten Bäume je ha selbst mit der in diesem Versuch stärksten Durchforstungsvariante nicht entscheidend gegenüber der natürlichen Differenzierung gefördert. Möglicherweise wurde deren Standraumbedarf nicht in der Weise Rechnung getragen, daß eine Differenzierung gegenüber den schwächeren, bzw. undurchforsteten Varianten erfolgen konnte. Die Bestandesbehandlung im Versuch hatte zur Folge, daß es keine nennenswerten Einbußen bezüglich der Gesamtwuchsleistung der stark durchforsteten gegenüber der undurchforsteten, bzw. mäßig durchforsteten Varianten gab. Eine Benennung der unteren kritischen Grenze der Stammzahl- und/oder Grundflächenhaltung ist somit nicht möglich.

Vergleiche zu den Ertragstafelwerten "Wiedemann, mäßige Durchforstung" verwiesen auch bei starker Durchforstung auf ein um 25 % höheres Ertragsniveau. Auf dieser Beobachtung beruht die Möglichkeit, in einem bestimmten Rahmen eine praktisch gleiche Gesamtwuchsleistung mit unterschiedlichen Stammzahlhaltungen anzugehen.

Ursprünglich als Grundflächenhaltungsversuch konzipiert, wurde er 1970 aus Gründen der praktischen Durchführung auf eine Orientierung der Behandlungsvarianten an der Stammzahlhaltung der Ertragstafeln "Wiedemann mäßige Durchforstung", bzw. "starke Durchforstung minus 10 %" umgestellt. Die Grundfläche der mäßig durchforsteten Variante betrug zu diesem Zeitpunkt 125 %, die der stark durchforsteten Variante 101 % der Grundflächenwerte der Ertragstafel "Wiedemann mäßige Durchforstung". Die Umstellung des Versuchszieles auf eine Orientierung an der Stammzahlhaltung führte dazu, daß selbst die stark durchforstete Variante schon im nächsten Aufnahmeturnus wieder eine Grundflächenrelation von 111 % zur Ertragstafel "Wiedemann mäßige Durchforstung" aufwies. Das ertragskundliche Ziel des 25 Jahre kontrollierten Kastellauner

Versuches, nämlich die standortbedingte potentielle Leistung zu ermitteln, wurde trotz des zu frühen Endes des Versuches erreicht. Das angestrebte höhere Ertragsniveau wurde in allen Standraumvariationen längerfristig erzielt. Der erwünschten Kennzeichnung einer unteren kritischen Standraumgrenze hätte es jedoch noch einer stärkeren Absenkung der Stammzahlhaltung als in der stark durchforsteten Variante bedurft, die dann möglicherweise auch einer besseren Stabilität des Bestandes zu Gute gekommen wäre.

Trotz der für die Gesamtbeurteilung des Versuchs unbefriedigenden Eingriffsstärke zur Ermittlung der unteren kritischen Standraumgrenze, bestätigen die ertragskundlichen Ergebnisse die Schlußfolgerungen PETRI's zur Fichtenbewirtschaftung und die Weiterentwicklung seiner Ideen in den Waldbaurichtlinien von Rheinland-Pfalz.

Der Versuch zeigt auch die erhebliche Bedeutung, potentielle Zuwachsträger bereits bei der ersten Durchforstungsmaßnahme richtig zu erkennen, um künftige Endbestandsbäume konsequent herausarbeiten zu können. Auch oder gerade weil Umsetzungsprozesse noch nicht ausreichend untersucht worden sind (ABETZ, 1989b, SCHOBER, 1989), muß der durch waldbauliche Maßnahmen beeinflussbare, wuchsrelevante Faktor "Standraum" von Anfang an sehr gezielt gesteuert werden. Dies fordert auch ABETZ (1989a) bezüglich eines früh auszuwählenden Z-Baum-Kollektives. Ein ebenfalls in diese Richtung weisendes Modell haben ROEDER und SCHADENDORF (1988) beschrieben. Das Modell baut auf einem Fächer von Stammzahlleitkurven bei einer Z-Baum orientierten Durchforstung auf. Die Konzentration der Eingriffe auf die Förderung der vitalsten und stärksten Bäume eröffnet zudem sinnvolle und zielgerichtete Durchforstungsmöglichkeiten auch in gestuften Beständen und den von EDER (1987) unter dem Eindruck zunehmender Instabilität geforderten Fichten-Mischbestandstypen.

Der Verlauf des beschriebenen Versuchs in Kastellaun war bestimmt von der Überzeugung, die Grenze der kritischen Grundflächenhaltung nicht unterschreiten zu dürfen, sowie vom Wissen um die labilen Standortverhältnisse und damit der Furcht, den Bestand zu destabilisieren. Eine aktive Stabilisierung von Fichtenbeständen gegenüber Schnee- und Sturmschäden hat nur dann Aussicht auf Er-

folg, wenn der herrschende Bestand von Anfang an entsprechend erzogen wird (BURSCHEL, 1981). Ein wesentlicher, wenn auch nicht umfassend aussagekräftiger Stabilitätsweiser ist der bis zur Mitte der Umtriebszeit erreichte H/D-Wert der im Herrschenden stehenden Baumindividuen (ABETZ, 1976, JOHANN, POLLANSCHÜTZ, 1981, KRAMER, 1975, PERSSON, 1972). Im beschriebenen Durchforstungsversuch wurde bei keiner Variante ein in diesem Sinne stabiles Bestandsgefüge erreicht. Der Trend zu niedrigen H/D-Werten war bei stärker werdenden Durchforstungseingriffen zwar erkennbar (Tab.11). Betrachtet man jedoch den Anteil der als relativ betriebssicher geltenden Fichten mit H/D-Werten unter 80 (Abb. 15), so muß selbst die stark durchforstete Variante nach 25 Jahren Durchforstung noch als extrem instabil angesehen werden. Keine Antwort gibt der Versuchsverlauf auf die Frage, ob es überhaupt möglich ist, auf derart labilen Standorten wie in Kastellaun eine Bestandesstabilisierung herbeizuführen. Bei vergleichbaren noch mit Fichten bestockten Standorten ist zumindest zu erwägen, das Endnutzungsalter auf 60 Jahre zurückzunehmen. Gegebenenfalls müssen auch in dieser kurzen Zeit mögliche Produktionsverluste in Kauf genommen werden, um stabilere Fichten mit H/D-Werten von 60 - 80 zu erziehen. In letzter Konsequenz verlangen entsprechend labile Standorte ein anderes, sich an der natürlichen Waldgesellschaft orientierendes Baumartenspektrum, was nach Katastrophen bzw. bei der künftigen Forsteinrichtungsplanung berücksichtigt werden sollte.

## 6.2 Ertragskundliche Beurteilung des Düngungserfolges

Leider gestatten die mehrjährigen Meßintervalle keine Beurteilung kurzfristiger Zuwachsentwicklungen. Da der Versuchsbestand im Chaos des als "Jahrhundertsturm" bezeichneten Novembersturms des Jahres 1984 unterging, wurde es auch versäumt, Proben für eine Jahrring- und Stammanalyse zu gewinnen. So können keine Aussagen über mögliche kurzfristige Zuwachssteigerungen als Folge der Düngung gemacht werden. Das mehrjährige Zuwachsniveau zeichnet jedoch ein kritisches Bild von der Düngung.

So hat auch SPIECKER (1987) in Düngungsversuchen mit Kalkammonsalpeter einen nur kurze Zeit andauernden Zuwachsschub festgestellt. Der Düngungseffekt war umso schwächer, je geringer das Niederschlagsangebot am Standort war. Ein begrenzender Wachstumsfaktor für die Fichte ist demnach das Wasserangebot. Da der Standort der Kastellauner Versuchsflächen im Hunsrück im Jahresdurchschnitt noch weniger Niederschlag als alle von SPIECKER untersuchten Versuchsflächen erhält, erscheint es plausibel, wenn die Düngungseffekte ausgeblieben sind. Der sicher wichtige Standortraumeinfluß zur Ausnutzung des höheren Nährstoffangebotes nach der Düngung konnte bisher nicht beziffert werden. Sofern dieser nicht ausreichend berücksichtigt wird, geht das Wasserangebot für den Einzelbaum konkurrenzbedingt zurück. Auch KENNEL (1967) konnte in entsprechenden Düngungsversuchen mit Fichte keinen statistisch nachweisbaren Mehrzuwachs finden.

Während der Grundflächenzuwachs im hier beschriebenen Versuch auf den gedüngten Parzellen uneinheitlich im Vergleich zum Grundflächenzuwachs auf den ungedüngten Vergleichsparzellen reagierte, verzeichnet die Entwicklung der Gesamtwuchsleistung einen tendenziell negativen Düngungseffekt. Die Grundflächenentwicklung wurde so stark von den Einflüssen durch die Durchforstungseingriffe überlagert, daß eindeutige Düngungseffekte nicht mehr erkannt werden konnten.

Eine Abschwächung zeigte sich auch beim Höhenzuwachs insbesondere in den stark durchforsteten Parzellen, der damit sowohl die Gesamtwuchsleistung als auch die Volumenleistung der Endbestandsbäume bestimmt hat.

Wie im folgenden Kapitel noch eingehend dargestellt wird, erfolgte in den Düngungspartellen - wahrscheinlich unterstützt durch zusätzlichen Wärme- und Lichtgenuß in den stark durchforsteten Flächen - eine kurzfristige, starke Nährelementmobilisierung. Aufgrund von anhaltenden Imbalancen ist es dann wohl zu einer disharmonischen Nährelementversorgung und damit zu geringeren Wuchsleistungen gekommen.

In den Versuchsvarianten mit Kalkammonsalpeter, die HAUSSER et al. (1969) beschrieben haben, zeigten sich auf Stickstoffmangelstandorten anhaltende Mehrzuwachsleistungen. Diese positiven Wirkungen führten sie auf das Zusammentreffen einer hohen Basensättigung mit anschließend guter Stickstoffversorgung zurück. Doch gerade diese Versuche zeigten auch, daß in Folge der Düngung ein rasches Zusammenwachsen insbesondere durch die Vermehrung der Kronenbiomasse erfolgte, mit dem Effekt, daß der düngungsbedingte Mehrzuwachs schließlich nachließ. Ein Vergleich mit dem in der vorliegenden Arbeit ausgewerteten Versuch verweist auf die Negativwirkung einer disharmonischen Stickstoffdüngung auf einem bodenchemisch bereits in einer Destabilisierungsphase befindlichen Standort bei einem begrenzenden Wasserangebot und gleichzeitig ungenügend berücksichtigtem Standraumbedarf der aufstockenden Bäume. Auf diese nachteilige Kombination verschiedener Einflußfaktoren hat GUSSONE bereits 1975 hingewiesen.

### 6.3 Ernährungskundliche Folgerungen aus dem Düngungsversuch

Wie dem Kap. 4.1 Bodenanalysenergebnisse zu entnehmen ist, erfolgte in dem Beobachtungszeitraum von 25 Jahren eine Zunahme der Bodenversauerung in vergleichbarem Ausmaß, wie ULRICH et al. (1979) diese auch im Solling festgestellt hatten.

Auswaschungsverluste an basisch wirksamen Kationen können durch die Silikatverwitterung nur ausgeglichen werden, solange die Rate der extern hinzukommenden Säurebelastung unter der Pufferrate durch Freisetzung von Kationenbasen bleibt (ULRICH, 1981). Die Abpufferung von Säuren in Waldökosystemen kann auf 0,5 - 1,3 kmol IÄ je Jahr und ha geschätzt werden (ULRICH, 1986), während die jährliche Gesamtsäurebelastung nach BLOCK et al. (1986) in Rheinland-Pfalz z.T. mehr als das Dreifache beträgt.

So konnten Versauerungsprozesse und die Abnahme der Basensättigung bis in den  $S_w$ -Horizont insbesondere in den Düngungspartellen gefunden werden. Die Nettoprotonenproduktion aus Anlaß der Düngung leitet sich in Anlehnung an MATZNER (1988) bei Vernachlässigung weiterer Stickstoffeinträge und -umsetzungen wie folgt her:

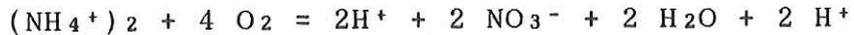
$$H_N = NH_4 D - NO_3 D + NO_3 out - NH_4 out$$

$H_N$  = Nettoprotonenproduktion  
 $NH_4 D$  = mit der Düngung ausgebrachtes  $NH_4$   
 $NO_3 D$  = mit der Düngung eingebrachtes  $NO_3$   
 $NO_3 out$  = mit dem Sickerwasser ausgetragenes  $NO_3$   
 $NH_4 out$  = mit dem Sickerwasser ausgetragenes  $NH_4$

Wie BEESE (1989) ausführte, wird  $NH_4^+$  an den Sorbentien des Bodens gegen Kationen ausgetauscht. Gleichzeitig werden wesentliche Anteile des aufgrund fehlender Sorptionsmechanismen sehr mobilen  $NO_3^-$  ausgetragen, was auch durch KAUPENJOHANN (1989) bei Untersuchungen im Fichtelgebirge bestätigt wurde. Dieser Vorgang führt bei Beachtung des Gesetzes zur Elektroneutralität (REUSS, 1980)

zu Kationenverlusten mit entsprechender Bodenversauerung. Eine weitere Versauerungsquelle stellt die  $\text{NH}_4^+$ -Aufnahme durch die Baumwurzeln im Austausch gegen Protonen dar.

Zusätzlich werden bei Nitrifikationsprozessen  $\text{H}^+$ -Ionen freigesetzt:



Bei der Aufnahme von Nitrat durch die Baumwurzeln kommt es zur Freisetzung von  $\text{OH}^-$ , was letztlich zu einer Protonenkonsumtion im Boden führt (BEESE, 1989). Gleichzeitig werden jedoch äquivalente Kationenmengen mit aufgenommen. Dies sind - solange  $\text{Al}^{3+}$  noch nicht am Austauscher dominiert -  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  und auch  $\text{Mn}^{2+}$ . Werden diese Kationen nicht in ausreichendem Maße in ionarer Form mit der Düngung dem Boden zugeführt, erfolgt ein entsprechender Entzug aus dem Boden und längerfristig eine Festlegung in der pflanzlichen Biomasse, was in diesem Versuch durch die höheren Nadelspiegelwerte dokumentiert wird. Die 1959 - 1963 durchgeführte Stickstoffdüngung wirkt sich dabei allerdings nicht mehr aus, was bei jährlichen Luftschadstoffeintragsraten von nahezu 40 kg N je ha (BLOCK et al., 1986) durchaus erklärbar ist. Dies gilt jedoch nicht für eine beginnende Standortdegradation. Diese setzt dann ein, wenn die in der pflanzlichen Biomasse fixierten Kationen mit der Streu wieder dem Boden zugeführt werden und hier mit eingetragenen Anionen ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) der Auswaschung unterliegen, statt erneut die Austauscherplätze im Mineralboden zu besetzen. Im Kastellauner Versuch machte sich dies besonders beim mobilen K bemerkbar, welches offensichtlich bereits aus dem biologischen Nährelementkreislauf ausgekoppelt wurde. Überwiegen Fe- und Al-Ionen am Austauscher, so sind die Bäume gezwungen, nach Nitratdüngung diese Elemente vermehrt aufzunehmen, wie es die Austauscherbelegung im Boden und die Al-Spiegelwerte der Bäume in den gedüngten Parzellen bestätigen. Bei gesteigertem Wachstum kann es schließlich zu den bekannten "Verdünnungseffekten", im Extrem sogar zu Nährelementmangelsymptomen kommen.

Aus der bisherigen Diskussion geht hervor, daß die Nettoprotonenproduktion aufgrund der Ammonsalpeterdüngung mit 120 kg N pro ha zumindest zu hohen Anteilen den Ionenäquivalentsummen des mit der

Düngung verabreichten  $\text{NH}_4^+$  und  $\text{NO}_3^-$  in Höhe von 8,4 kmol Ionenäquivalenten (IÄ) pro ha entspricht. Die mitausgebrachten 170 kg CaO pro ha reichen bei einer Neutralisationswirkung von 6,06 kmol IÄ damit nicht für eine Ökosystem-neutrale Wirkung des Düngers aus. Die geringere Basensättigung der gedüngten Parzellen läßt sich damit aber nicht vollständig auf die düngungsbedingte Säurezufuhr zurückführen und muß weitere Ursachen haben: Eine Nebenwirkung der Düngung mit Kalkammonsalpeter waren erhöhte Umsetzungsprozesse in der Humusaufgabe, worauf der geringere Aschegehalt in den gedüngten Parzellen hinweist. Die Humusasche besteht aus den mineralischen Bestandteilen ohne Stickstoff. Eine Verminderung des Aschegehaltes bedeutet demnach eine Humusmobilisierung verbunden mit einem Verlust von insbesondere basisch wirkenden Nährelementen. Diese durch die Düngung angestoßene Mineralisierung hat, wie ULRICH (1981b) in seinen theoretischen Betrachtungen des Ionenkreislaufes in Waldökosystemen darlegt, einen zusätzlichen ökosystembedingten Nitrifikations- und Versauerungsschub zur Folge, welcher die Auswirkungen der düngungsbedingten Säurezufuhr noch übersteigen kann.

Der offensichtliche Anstieg der Stickstoffgehalte im Boden und in den Fichtennadeln der gedüngten Versuchspartellen konnte in Folgerung aus den oben dargelegten Prozessen nicht zu einer zusätzlichen Wachstumsstimulierung führen. Vielmehr kann damit der Minderzuwachs und der noch sichtbarer Vitalitätsverlust bei den gedüngten Fichten erklärt werden. Auch KAUPENJOHANN (1989) vermißte nach Stickstoffeinträgen erhöhte Wachstumsimpulse und WEISSEN et al. (1988) fanden bei Untersuchungen von mit Stickstoff gedüngten Beständen auf sauren Standorten atypische Nährelementverteilungen in den Nadeln, die sie auf Nährelementimbilanzen zurückführten. Die dargestellten Elastizitätsparameter des Kastellauner Standortes weisen auf eine zunehmende Destabilisierung des Ökosystems in allen Varianten hin. Mit der Destabilisierung nimmt auch die Elastizität der Böden ab, also die Fähigkeit, äußere Einflüsse weiterhin ökosystemunschädlich abzupuffern (ULRICH, 1987).

Bei Versuchsende befanden sich sowohl die gedüngten als auch die ungedüngten Böden in den oberen Mineralbodenhorizonten im Aluminium-/Eisen-Pufferbereich. Dabei werden auch für säuretolerante Lebewesen ökophysiologisch wirksame Konzentrationen an

dreiwertigen Aluminium-Ionen am Austauscher und in der Bodenlösung erreicht. Letztendlich wird in Folge der weiter fortschreitenden Versauerung das Sicker- und Grundwasser durch Aluminium und schließlich durch Schwermetalle belastet.

Es stellen sich die Fragen, wie dieser verhängnisvolle Prozeß möglichst ökosystemunschädlich zum Stillstand gebracht werden kann und ob eine verlustarme und ökosystemverträgliche Wiederanreicherung von basischen Kationen möglich ist. Diese Möglichkeit hängt entscheidend von der Art des Kationenbelages am Austauscher im Boden ab. Bei den im Versuch untersuchten Böden wurde eine hohe Sättigung mit dreiwertigem Aluminium und Eisen festgestellt. Damit geht jedoch die relative Eintauschstärke für basische Kationen auf ein Minimum zurück. Basisch wirksame Stoffe können auf derart degradierten Standorten nur in langen Prozessen des vor jedem zusätzlichen externen Säureeintrag geschützten Zusammenwirkens von Silikatverwitterung, sowie von Baum-, Strauch- und Boden-Vegetation, Bodenfauna und -flora wahrscheinlich nur über eine organische Phase nachhaltig an die Austauscher im Mineralboden angelagert werden. Erleichtert werden diese Prozesse durch höhere Elastizitäten in Mineralbodenhorizonten mit organischer Substanz und insbesondere im Auflagehumus. Eine Degradation des Humus, wie sie in den Düngungsparzellen festgestellt wurde, belastet das Ökosystem und erschwert eine Restabilisierung durch die Gefahr einer möglichen Aktivierung organischer Säuren (vgl. SCHIERL et al., 1986).

Die Ergebnisse dieses Düngungsversuches zeigen auf, daß die ungezielte Düngung mit dem versauernd wirkenden Kalkammonsalpeter sowohl aus ertragskundlicher, aus ernährungskundlicher als auch aus ökosystemarer Sicht unter dem Einfluß fortlaufender Luftschadstoffeinträge im Wesentlichen nur Negativwirkungen nach sich zog. Daher gibt es nur die Alternative, durch mild wirkende pH-Wert erhöhende Düngemittel die Vitalität von Waldökosystemen zu erhalten, bzw. zu verbessern. Eine so gewonnene Stabilisierung der Ökosysteme kann jedoch deren Elastizität nicht wiederherstellen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen an die Belastungssituation angepaßte waldbauliche Maßnahmen Teil eines integrierten Bodenschutzkonzeptes werden. Eine entscheidende Reduktion aller Emis-

sionen ist sicher die Voraussetzung zur Rettung der Waldökosysteme. Doch reicht dies schon nicht mehr aus, um die in Gang gesetzten Zerstörungsprozesse aufzuhalten.

## 7. Zusammenfassung

Es wird über die abschließende Auswertung eines 1959 angelegten Durchforstungs- und Düngungsversuches in Fichte zum Zweck der Zuwachssteigerung berichtet. Der Versuch umfaßte je 3 gedüngte und ungedüngte Behandlungsvarianten.

Es werden die ertragskundlichen Ergebnisse dargestellt und diskutiert. Es zeigten sich im Vergleich zwischen den verschieden stark durchforsteten Versuchsparzellen keine deutlichen Mehrzuwachsleistungen und nur geringfügig gesteigerte Stabilitäten. Während das Dickenwachstum der 100 stärksten Bäume jedoch weniger stark beeinflußt wurde, wurde der Durchmesserzuwachs des Gesamtbestandes und damit auch der bei der Vornutzung anfallenden Bäume positiv stimuliert.

Trotz des frühen Endes des Versuches im Jahre 1984 konnte die standortbedingte hohe potentielle Leistung quantifiziert werden. Längerfristig wurde ein höheres Ertragsniveau unabhängig von den Standraumvariationen erzielt.

Eine Bestandesstabilisierung konnte auf den labilen Standorten mit den im Versuch angewendeten waldbaulichen Maßnahmen nicht erreicht werden.

Die ertragskundliche Auswertung der Düngung belegt langfristig eine negative Wirkung. Bestätigt werden die ertragskundlichen Ergebnisse durch ernährungs- und bodenkundliche Untersuchungen. Hierbei zeigte sich eine in 25 Jahren ablaufende ökosystembedrohende Standortdegradierung, die in den Düngungsparzellen aufgrund einer unterstützenden Wirkung der durch Luftschadstoffeinträge ausgelösten Versauerungsprozesse schlimmer ausgefallen ist.

## Summary

The paper reports on the concluding evaluation of a thinning and fertilization experiment, that was intended to investigate the effects on the growth rate of spruce (*Picea abies* L. Karst) and on forest sites. The experiment included each three fertilized and none fertilized treatments.

At first the results of the growth investigations are shown and discussed. The different thinning measures did not result in a consistent stimulation of growth and stability. The thinning effects on the growth of the 100 biggest trees were not as clear as the effects on all trees and on the trees, which were cut during intermediate fellings.

Despite the early end of the experiment in the year 1984 the high potential growth capacity of the site could be quantified. In the longer term a high yield level could be reached independent of the thinning variations.

The silvicultural measures used were not sufficient to increase significantly stand stability on the unstable sites .

The growth effects of fertilization were negative. This could be confirmed by chemical analysis of mineral soil, humus layers and needles. These chemical analysis showed also a site degradation to an extent that threatens the ecosystem and that was worse on the fertilized plots.

## 8. Literatur

- ABETZ, P., 1975, Eine Entscheidungshilfe für die Durchforstung von Fichtenbeständen, AFZ, 30, 666-667
- 1976, Beiträge zum Baumwachstum der H/D-Wert - mehr als ein Schlankheitsgrad, Fo-Ho, 31, 389-393
- 1987, Erwiderung zu SCHOBER, Durchforstung nach Zahlen? AFJZ, 158, 1-3
- 1989a, Müssen wir in der waldbaulichen Behandlung der Fichte wieder umdenken ? AFZ, 44, 1238 - 1239
- 1989b, Von den Ursachen des "Umsetzens" von (Z-)Baumen, AFZ, 44, 1334 - 1337
- ASSMANN, E., 1961, Waldertragskunde, BLV-Verlag München
- BEESE, F., 1989, Wirkungen von Kalkungs- und Düngungsmaßnahmen auf die chemische Zusammensetzung der Bodenlösung, Ber. d. Forschungszentrums Waldökosysteme Univ. Göttingen, Bd. 49, 27 - 48
- BENNECKE, P., LINKERSDÖRFER, S., THÖNMIESSEN, J., 1986, Auswirkungen der Waldschäden auf den Wasserhaushalt aus der Sicht der Wasserbeschaffenheit, Veröffentl. der Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg, Karlsruhe
- BLOCK, J., FRAUDE, H.-J., HEIDINGSFELD, N., BOCKHOLT, B., BORCHERT, H., FINGERHUT, M., 1986, Sondermeßprogramm Wald - Zwischenbericht über die Untersuchungsergebnisse 1983-1986, Mitt. aus der Forstl. Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Nr. 3
- BURSCHEL, P., 1981, Neue "Erziehungskonzepte" für Fichtenbestände AFZ, 36, 1386-1395
- EDER, W., 1987, Zur Konzeption der Fichtenwirtschaft bei zunehmenden Schäden, FA, 58, 147-155
- FIEDLER, H.J., NEBE, W., HOFFMANN, F., 1973, Forstliche Pflanzenernährung und Düngung, G. Fischer Verlag, Stuttgart
- FINCK, A., 1978/89, Dünger und Düngung, VCH-Verlag, Weinheim
- FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG, 1975, Entscheidungshilfen für die Durchforstung von Fichtenbeständen, Merkblatt Nr. 13
- FRANCKE-CAMPANA, S., ARKESCHIN, F., REHFUESS, K.E., 1987, Über die Eignung verschiedener Bodenanalyseverfahren zum Nachweis von Meliorationseffekten und zur Bestimmung des Kalkungsbedarfs in Kiefernbeständen, AFJZ, 158, 156-164
- GUSSONE, H.A., 1975, Durchforstung-Waldernährung-Düngung, FoHo, 30, 321 - 324

- HAUSSER, K., WITTICH, W., BILGER, W., HAUFF, R., KENNEL, R., TRAITTEUR-RONDE, G., WERNER, H., 1969, Ergebnisse eines Düngungsversuches zu 66-jährigen Fichten auf einem typischen Standort des Oberen Bundsandsteines im Württembergischen Schwarzwald, AFJZ, 140, 25-34, 49-62, 88-99
- JOHANN, K., POLLANSCHÜTZ, J., 1981, Betriebssicherheit, Voraussetzung für den Erfolg der Fichtenwirtschaft, FoHo 36, 448-454
- KRAMER, H., 1975, Erhöhung der Produktionssicherheit zur Förderung einer nachhaltigen Fichtenwirtschaft, FA, 46, 9 - 13
- KAUPENJOHANN, M., 1989, Chemischer Bodenzustand und Nährelementversorgung immissionsbelasteter Fichtenbestände in NO-Bayern, Bayreuther Bodenkundl. Ber., Bd. 11
- KENNEL, R., 1967, Ertragskundliche Ergebnisse neuer Düngungsversuche in Kiefern-, Fichten- und Buchenbeständen Bayerns, Fowi Cbl., 86, 1-68
- LANDESFORSTVERWALTUNG RHEINLAND-PFALZ, 1983, 1987, Waldbaurichtlinien für die Wälder von Rheinland-Pfalz, 1. und 2. Teil, Mitt. aus Forsteinrichtung und Waldbau, Nr. 28 und 29
- MATZNER, E., 1988, Der Stoffumsatz zweier Ökosysteme im Solling, Ber. des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Bd. 40
- MEIWES, K.-G., KÖNIG, N., KHANNA, P.-K., PRENZEL, J., ULRICH, B., 1985, Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralboden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung in Waldböden, Ber. Forschungszentrum Waldökosysteme/Waldsterben Bd. 7
- PEERENBOHM, H.G., PETRI, H., 1986, Standortgerechte und standraumbezogene Ertragsdaten für die Bewirtschaftung der Fichte, FA, 57, 123-128
- PERSSON, P., 1972, Vind - ock snöskadors samband med bestandesbehandlingar - inventering av yugre gallringsförsök, Institutionen skogsproduktion Rapporten och Uppsala, Skogshögskolan, Stockholm
- PETRI, H., 1958, Zum ertragskundlichen Verhalten der Fichte im Nordteil Rheinland-Pfalz, Diss. d. Univ. Freiburg, Mitt. aus dem Forsteinrichtungsamt Koblenz, Nr. 7
- 1960, Ein weiterer Beitrag zum Fichtenwachstum im nördlichen Rheinland-Pfalz, Forstwiss. CBl., 79,
- 1960, Neuere ertragskundliche Ergebnisse zur Fichtenwirtschaft, Die Grüne Farbe, 12, 74-79
- 1966, Versuche einer standortgerechten und wirtschaftlichen Standraumregulierung von Buchen-/Fichtenmischbeständen, Mitt. aus der Landesforstverwaltung Rheinland-Pfalz, Bd. 1

- 1972, Standraumregulierung von Mischbeständen am Beispiel Buche - Fichte, FA 43
- REUSS, J.O. 1980, Simulation of soil nutrient losses resulting from rainfall acidity, Ecological Modelling, 11, 15 - 38
- ROEDER, A., SCHADENDORF, C., 1988, Standortsspezifische Fichtenwuchsmodelle im betriebswirtschaftlichen Vergleich, FA, 59, 8-12
- SCHÄDELIN, W., 1942, Die Auslesedurchforstung als Erziehungsbetrieb höchster Wertleistung, Bern-Leipzig, 3. Auflage
- SCHIERL, R., GÖTTLEIN, A., HOHMANN, E., TRÜBENBACH, D., KREUTZER, K., 1986, Einfluß von saurer Beregnung und Kalkung auf Humusstoffe, sowie die Aluminium- und Schwermetалldynamik in wässrigen Bodenextrakten, Fowi Cbl., 105, 309-313
- SCHOBER, R., 1988, Von Zukunfts- und Elitebäumen, AFJZ, 159, 239 - 249
- SCHRÖTER, H., ECKSTEIN, K., HARTMANN, G., HEIDINGSFELD, N., LAKENBERG, E., LAMMEL, A., RACK, K., ZACK, K., ZWIRGELMAIER, G., 1984, Diagnose und Klassifizierung der neuartigen Waldschäden, AFZ, Sonderdruck
- SEIBT, WITTICH, 1977, Ertragskundliche und bodenkundliche Ergebnisse langfristiger Kalkdüngungsversuche im nord- und westdeutschen Bergland, Schriftenreihe der Forstl. Fakultät Göttingen und der NFVA, Bd. 50
- SPIECKER, H., 1987, Düngung, Niederschläge und der jährliche Volumenzuwachs einiger Fichtenbestände Südwestdeutschlands, AFJZ, 158, 70-76
- ULRICH, B., 1981a, Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand, Z. Pflanzenern. Bodenkde, 144, 289-305
- 1981b, Theoretische Betrachtungen des Ionenkreislaufes in Waldökosystemen, Z. Pflanzenern. Bodenkde., 144, 647 - 659
- 1986, Die Rolle der Bodenversauerung beim Waldsterben: langfristige Konsequenzen und forstliche Möglichkeiten, Fowi Cbl., 105, 421 - 435
- 1987, Stabilität, Elastizität und Resilienz von Waldökosystemen unter dem Einfluß saurer Deposition, FA, 58, 232-239
- ULRICH, B., MAYER, R., KHANNA, P.-K., 1984, Untersuchungsverfahren und Kriterien zur Bewertung der Versauerung und ihrer Folgen in Waldböden, FoHo, 39, 278-286

- VAN DEN BURG, F., 1985, Foliar analysis for determination of tree nutrient status - a compilation of literature data, rapport 414, Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos - en Landschapsbouco "de Dorschkamp", Wageningen
- WEISSEN, F., HAMBUCKERS, A., PRAAG, v., H.J., REMACLE, J., 1988, A decennial control of N-cycle in the Belgian Ardenne forest ecosystems, Conf. of the Europ. Sc. Found., 21.-23.9.88, Aberdeen
- ZEZSCHWITZ, V.E., 1980, Analytische Kennwerte typischer Humusformen westfälischer Bergwälder, Z. Pflanzenern. u. Bodenkde, 143, 692-700

# 9. Anhang

Forstamt Kastellaun Abtlg. 8.a.

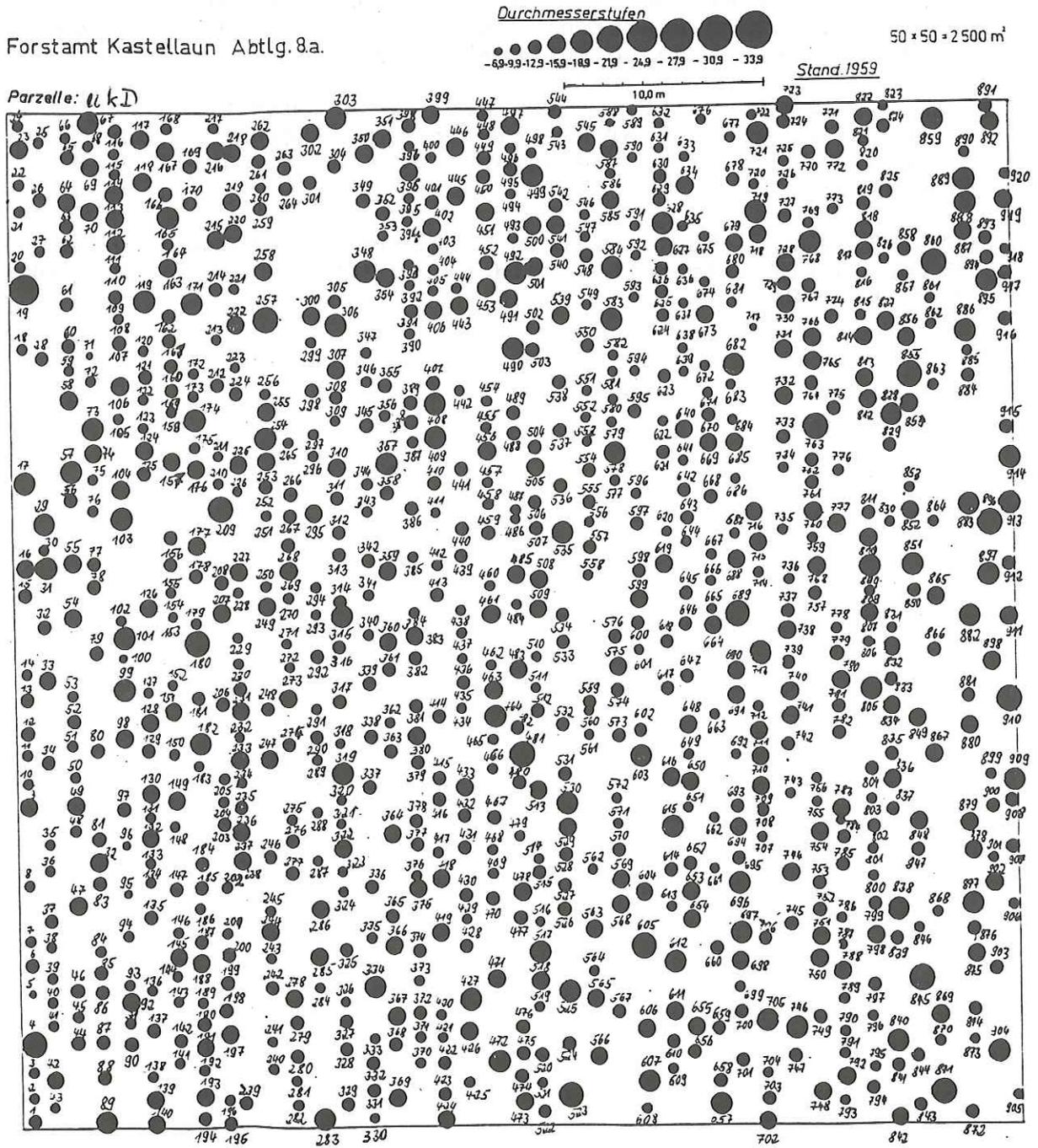


Abb. 35: Stammverteilungsplan 1959 der Versuchsparzelle "ungedüngt, keine Durchforstung"

Forstamt Kastellaun Abtlg. 8.a.

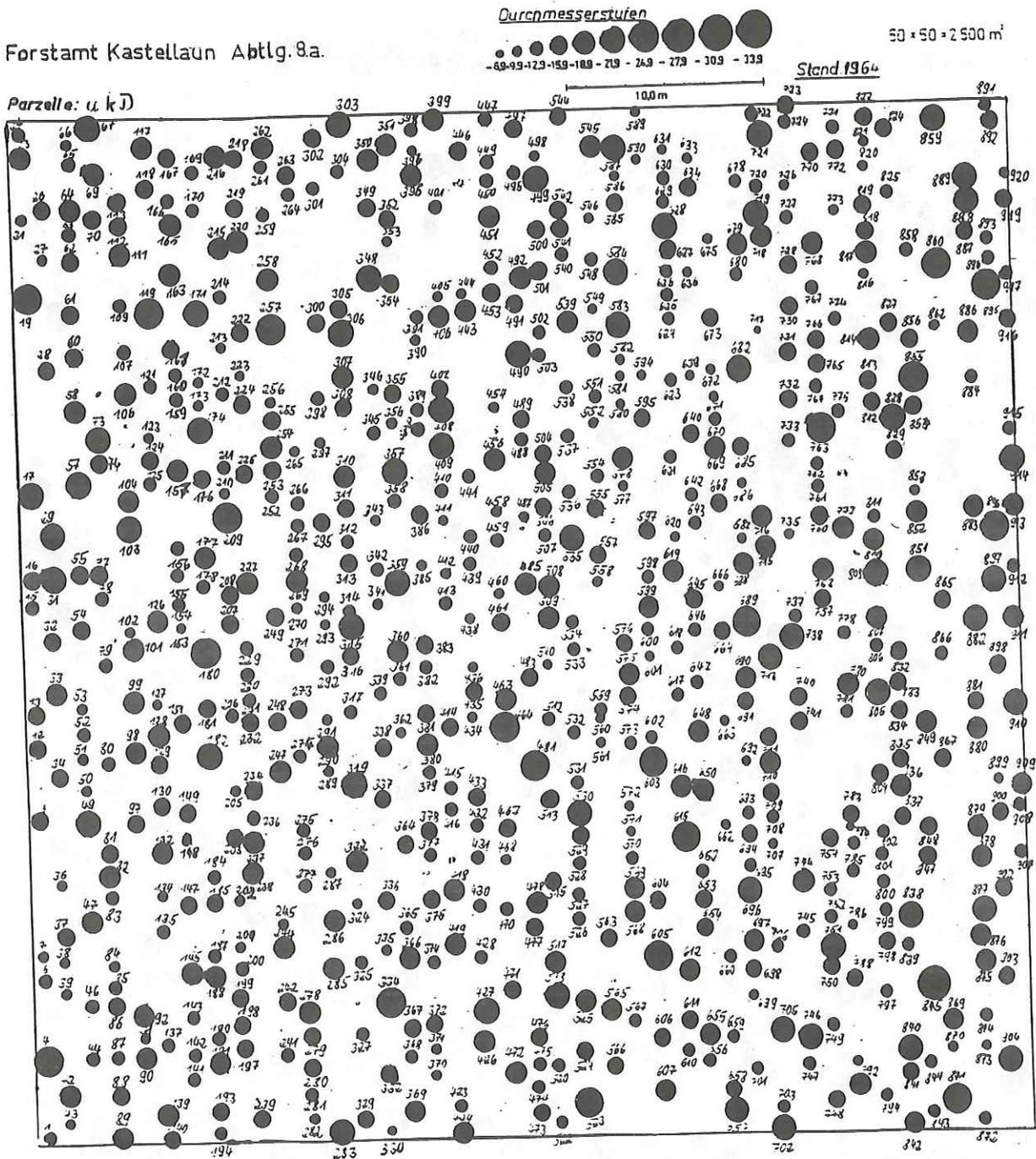


Abb. 36: Stammverteilungsplan 1964 der Variante "ungedüngt, keine Durchforstung"

Forstamt Kastellaun Abtlg. 8.a.

Durchmesserstufen



50 x 50 = 2500 m<sup>2</sup>

Parzelle: u. k D

Stana. 19C

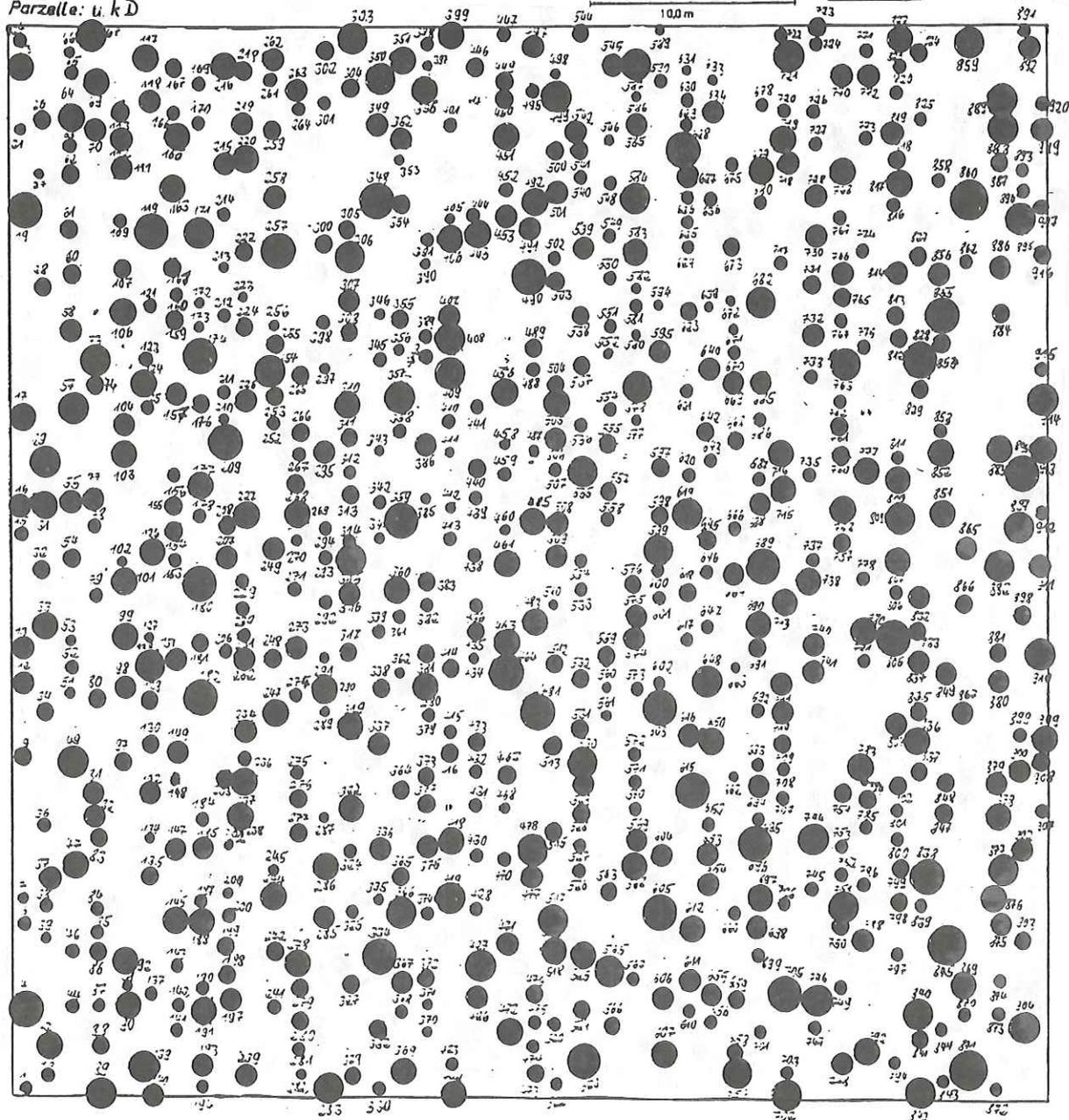
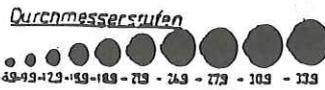


Abb. 37: Stammverteilungsplan 1969 der Variante "ungedüngt, keine Durchforstung"

Forstamt Kastellaun Abtlg. 8a.



50 x 50 = 2500 m<sup>2</sup>

Parzelle: u.k.D

Stand 1975

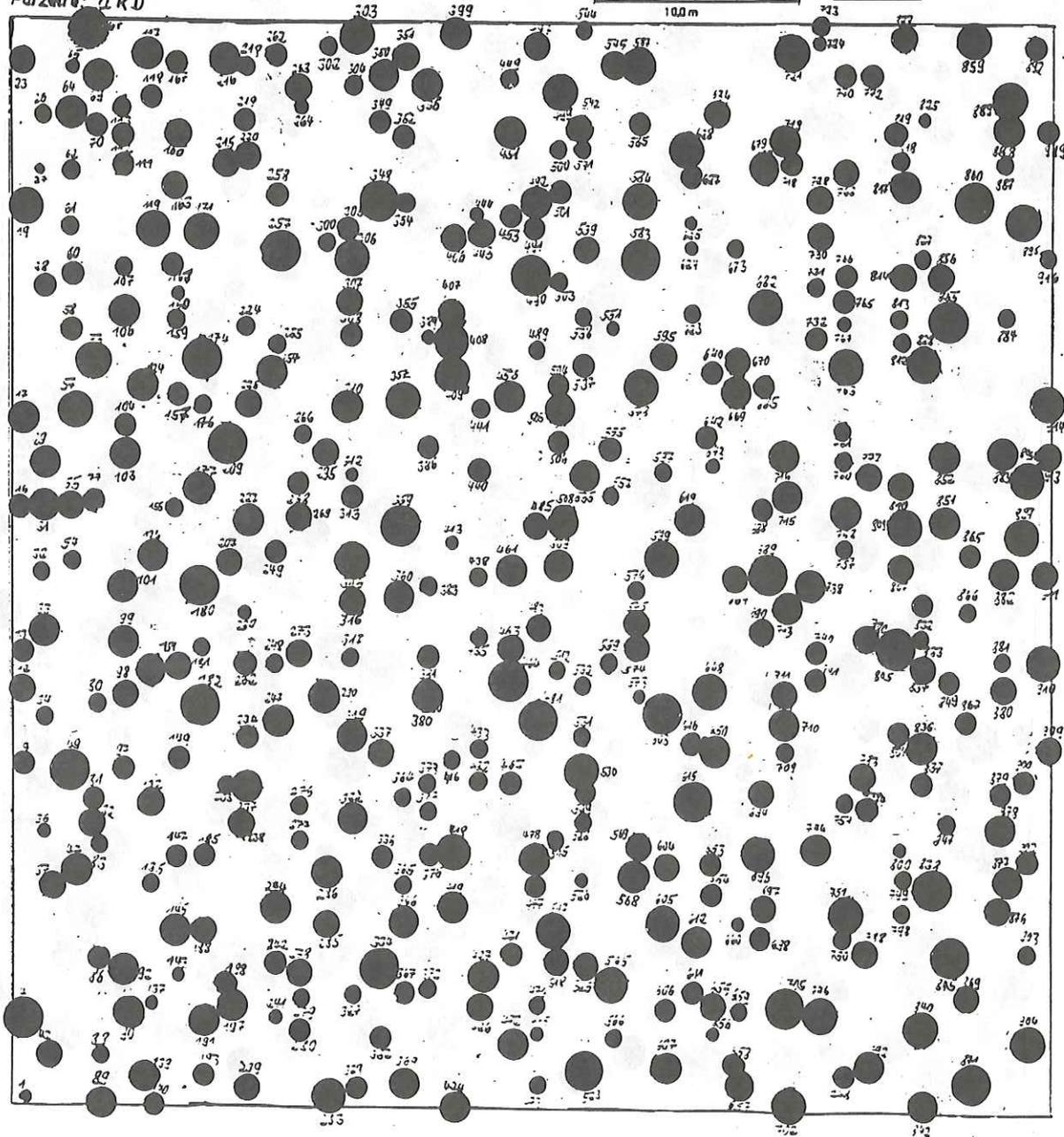


Abb. 38: Stammverteilungsplan 1975 der Variante "ungedüngt, keine Durchforstung"

Forstamt Kastellaun Abtlg. 8.a.

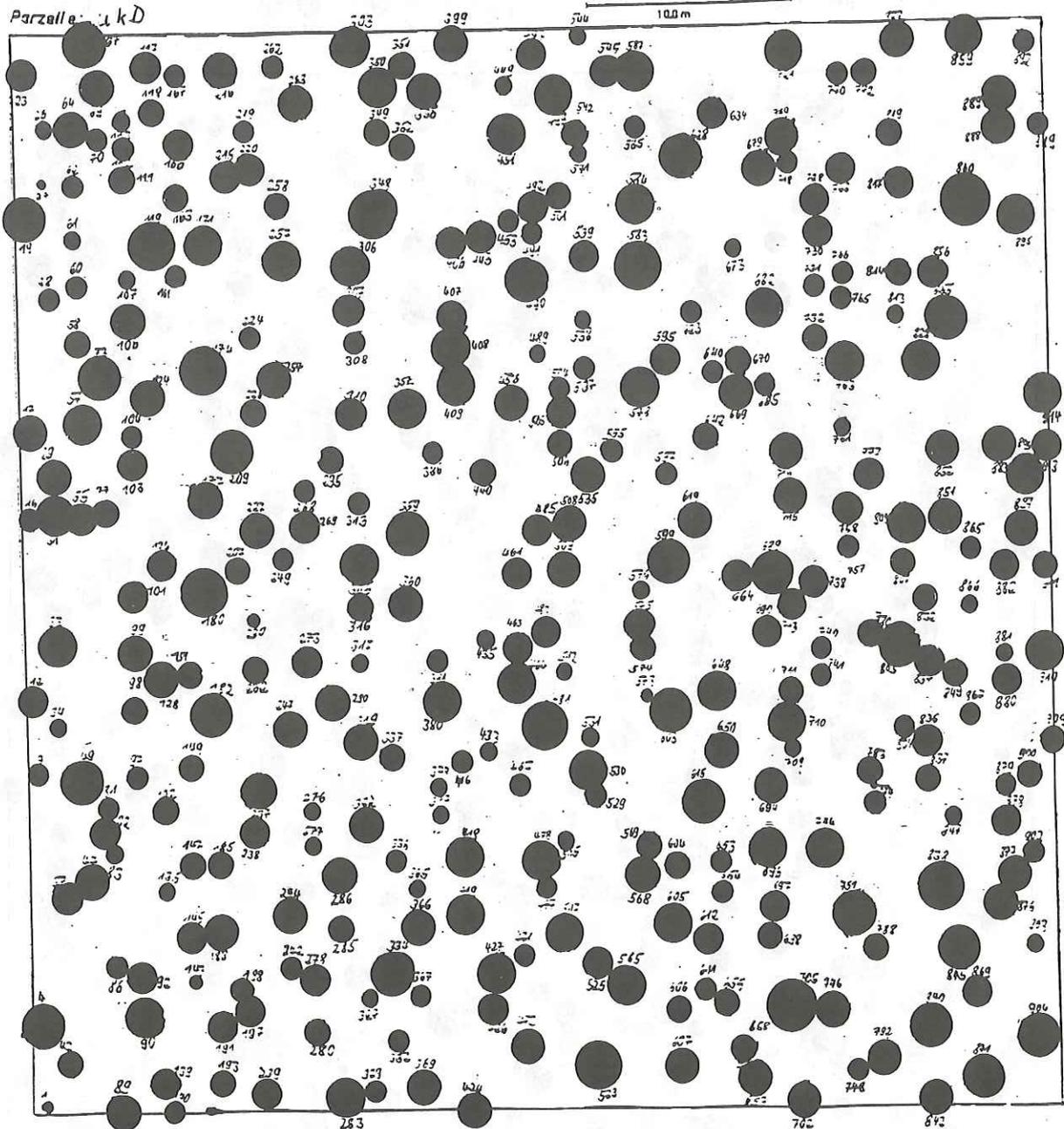
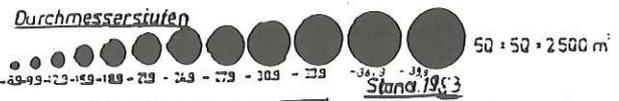


Abb. 39: Stammverteilungsplan 1983 der Variante "ungedüngt, keine Durchforstung"



50 x 50 = 2500 m<sup>2</sup>

Parzelle: u. m. D

Stand. 1959

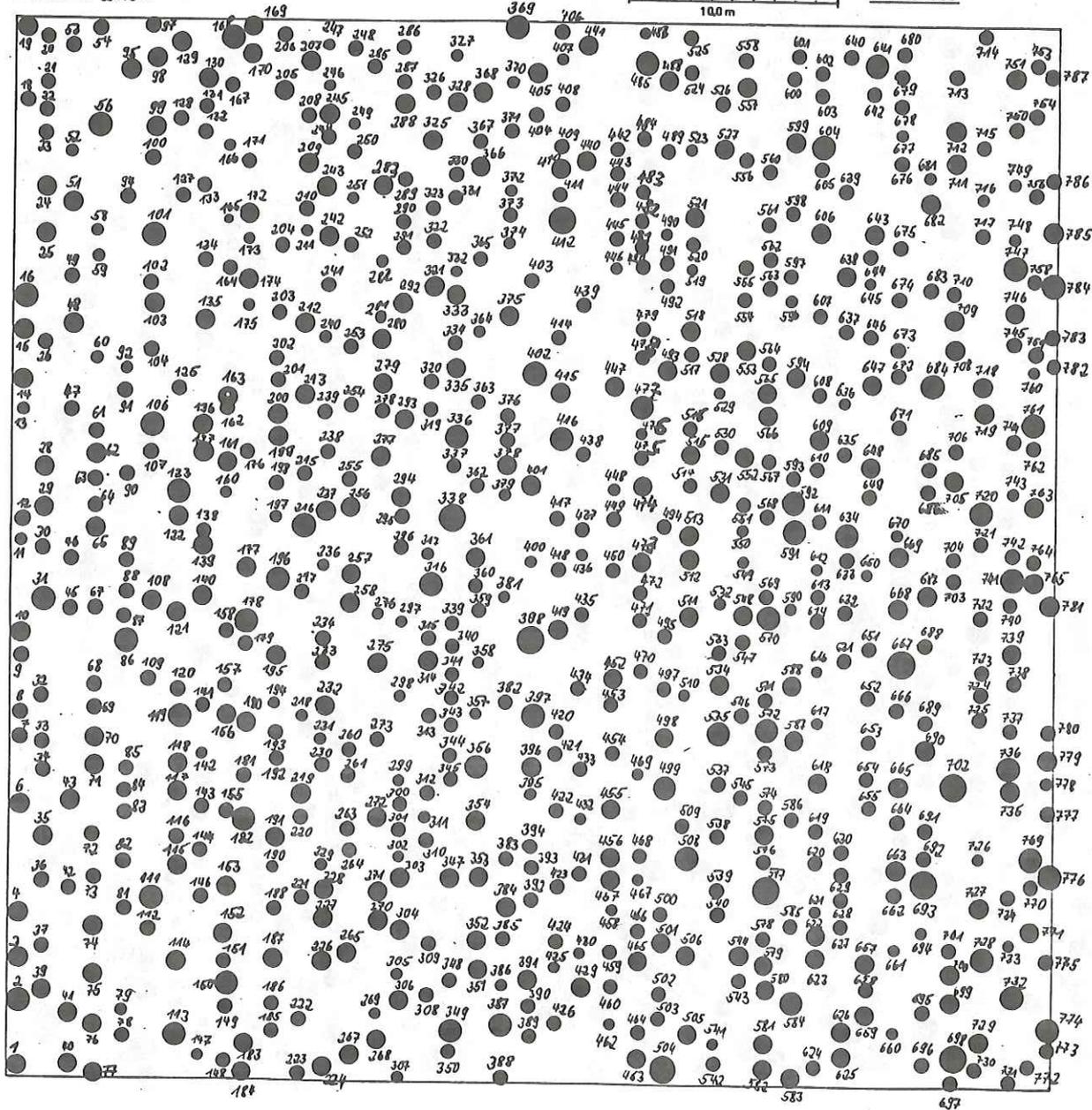


Abb. 40: Stammverteilungsplan 1959 der Variante "ungedüngt, mäßige Durchforstung"

Forstamt Kastellaun Abtlg. 8a.

Durchmesserstufen



50 x 50 = 2500 m<sup>2</sup>

Parzelle: (1m D)

Stand: 1964

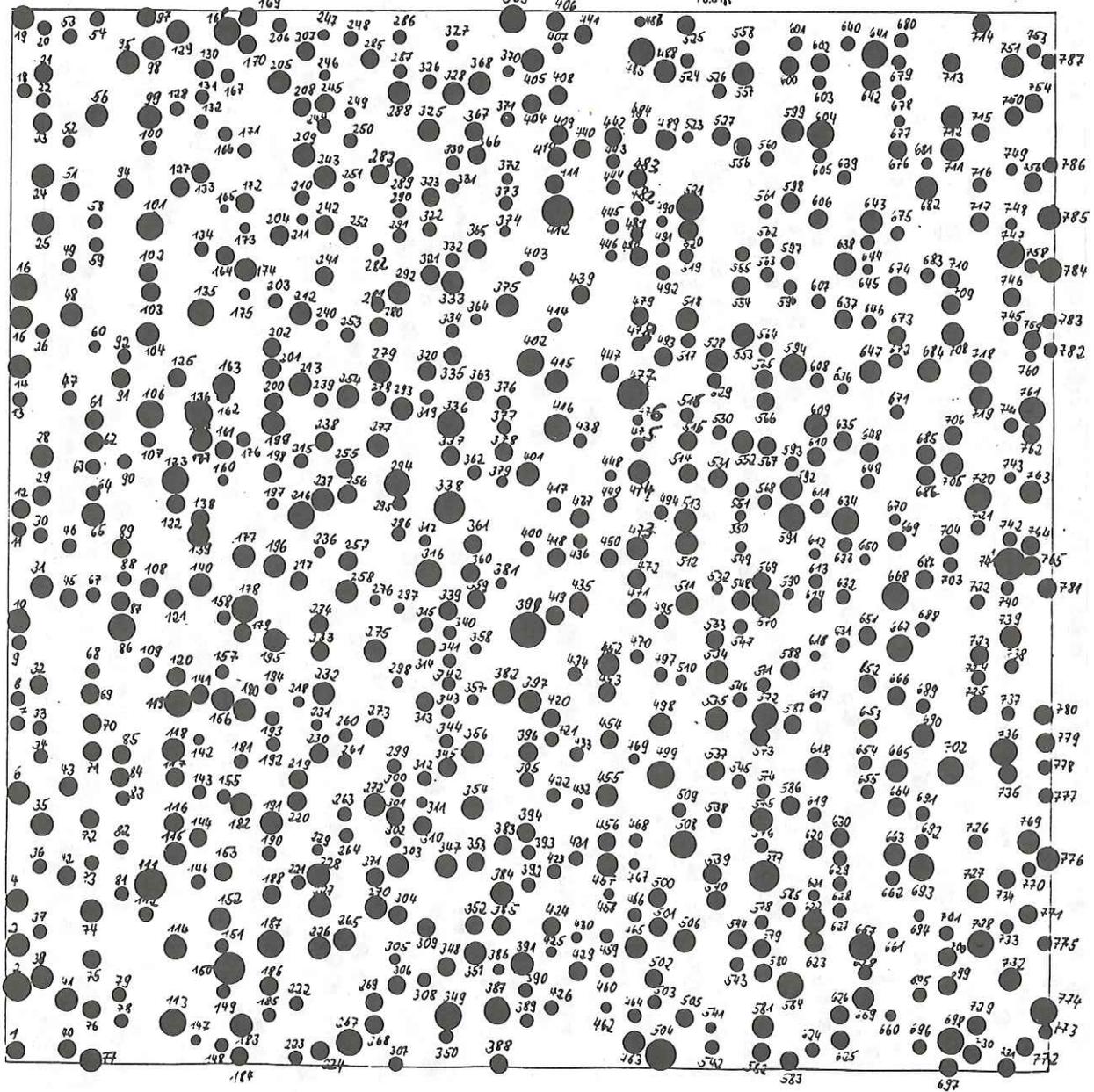


Abb. 42: Stammverteilungsplan 1964 der Variante "ungedüngt, mäßige Durchforstung"

Forstamt Kastellaun Abttg. 8.a.

Durchmesserstufen

50 x 50 = 2500 m<sup>2</sup>

49-99-129-159-189-219-249-279-309-339

Parzelle: (A m D)

Stand: 1969

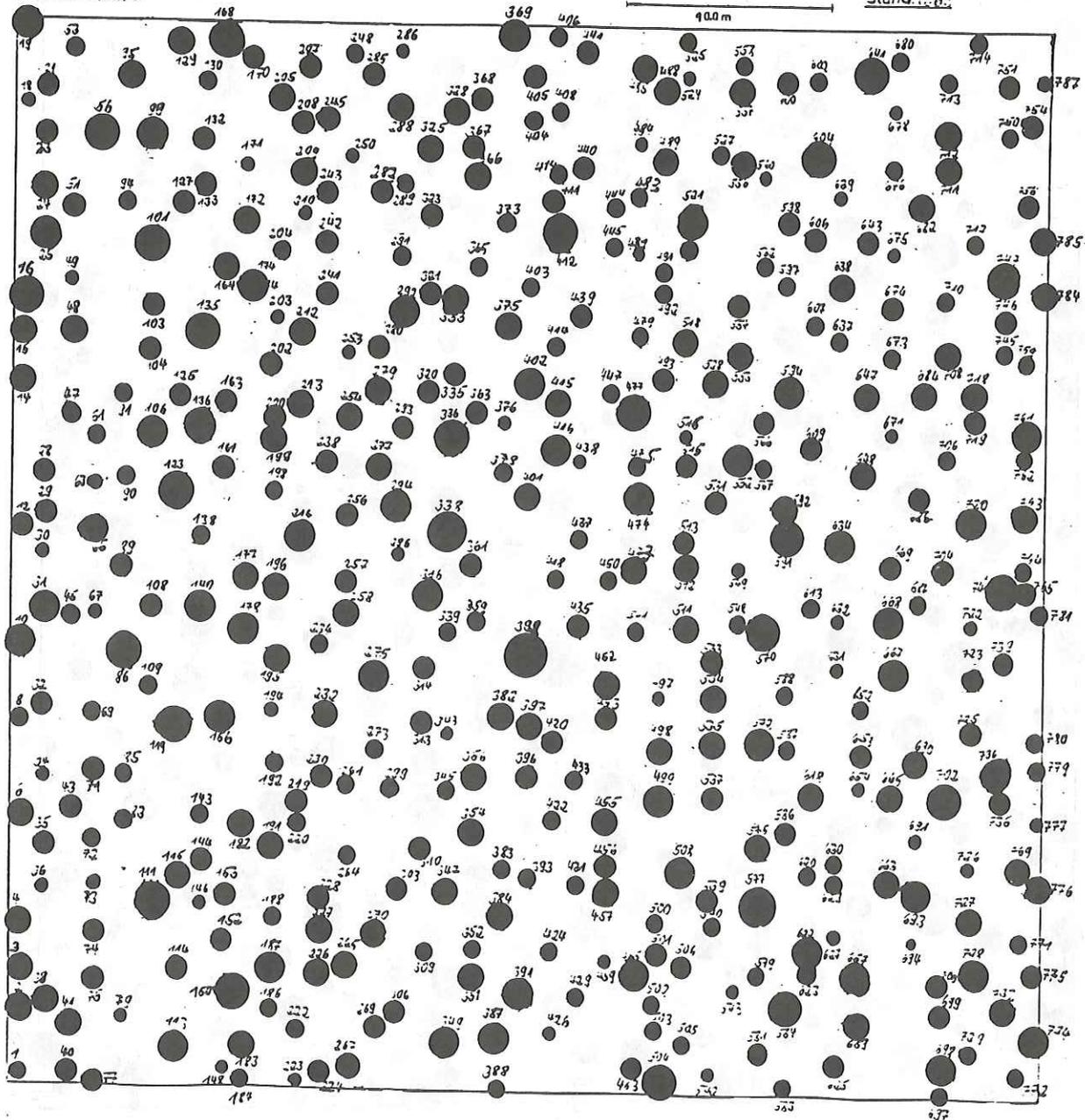


Abb. 43: Stammverteilungsplan 1969 der Variante "ungedüngt, mäßige Durchforstung"



Forstamt Kastellaun Abtlg. 8a.

Durchmesserstufen

50 x 50 = 2 500 m<sup>2</sup>

63-93-123-153-183-213-243-273-303-333  
363 Stand. 1983

Parzelle: u. m. D.

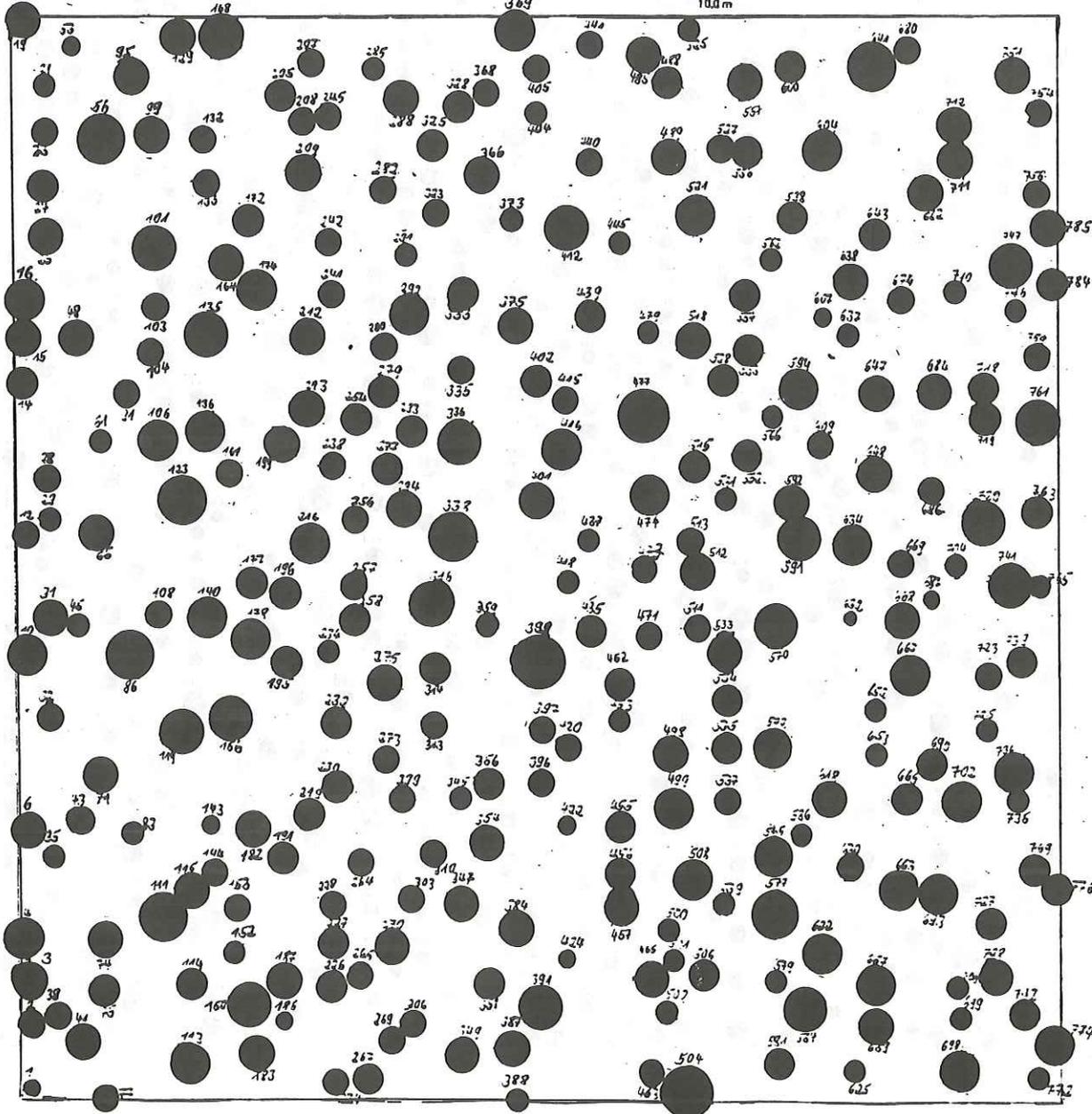


Abb. 45: Stammverteilungsplan 1983 der Variante "ungedüngt, mäßige Durchforstung"



Parzelle: u 5 D

Stand 1959

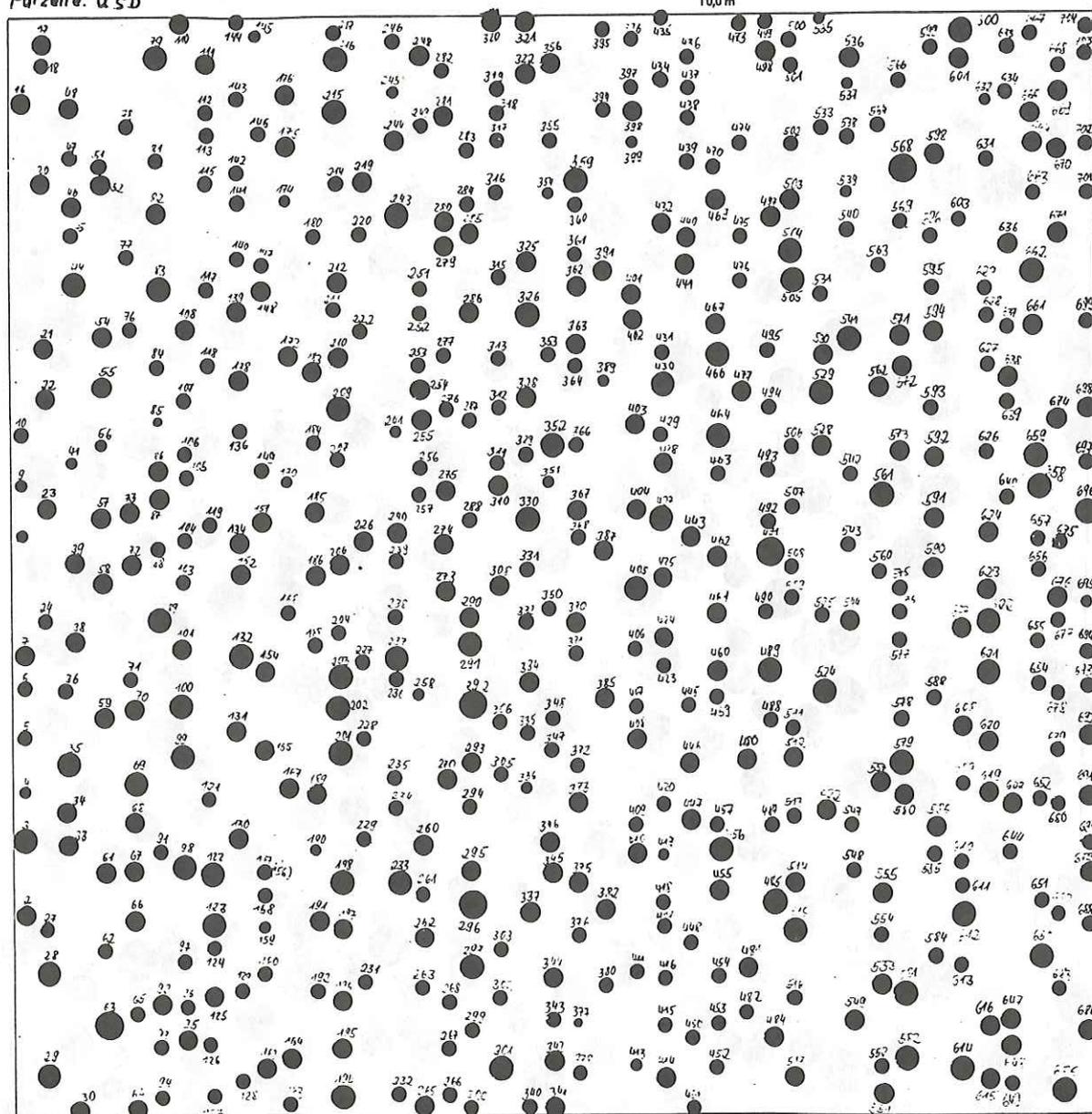


Abb. 46: Stammverteilungsplan 1959 der Versuchsparzelle "ungedüngt, starke Durchforstung"

Forstamt Kastellaun Ahtlg. 8a.



50 x 50 = 2500 m<sup>2</sup>

Parzelle: u.s.D

Stanz: 1964

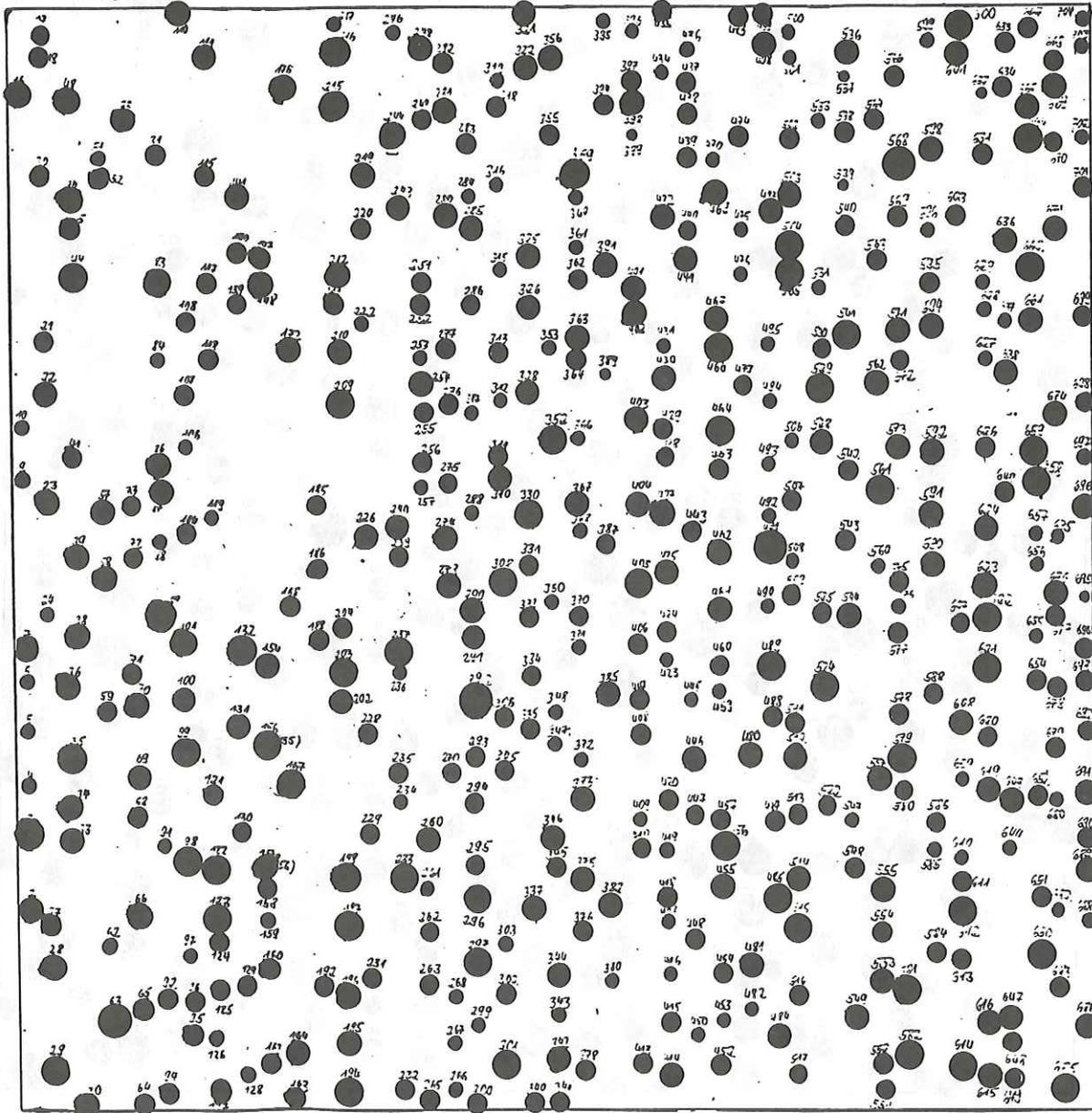


Abb. 47: Stammverteilungsplan 1964 der Variante "ungedüngt, starke Durchforstung"

Forstamt Kastellaun Abtlg. 8a.

Durchmesserstufen



50 × 50 = 2500 m<sup>2</sup>

Stand 1969

Parzelle: 15 D

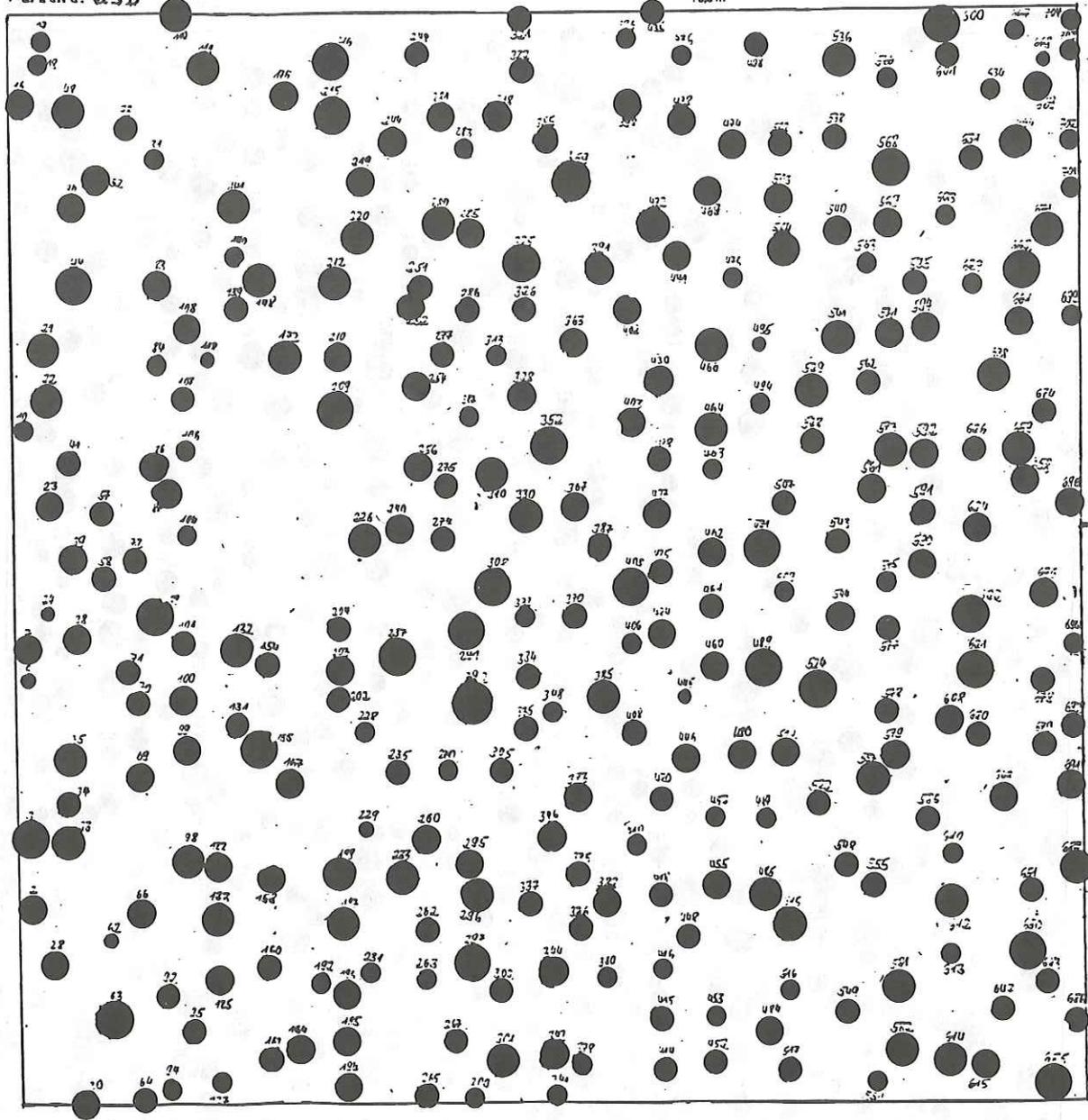


Abb. 48: Stammverteilungsplan 1969 der Variante "ungedüngt, starke Durchforstung"

Forstamt Kastellaun Abtlg. 8a.

Durchmesserstufen



50 x 50 = 2500 m<sup>2</sup>

Parzelle: u.s.D

Stand: 1975

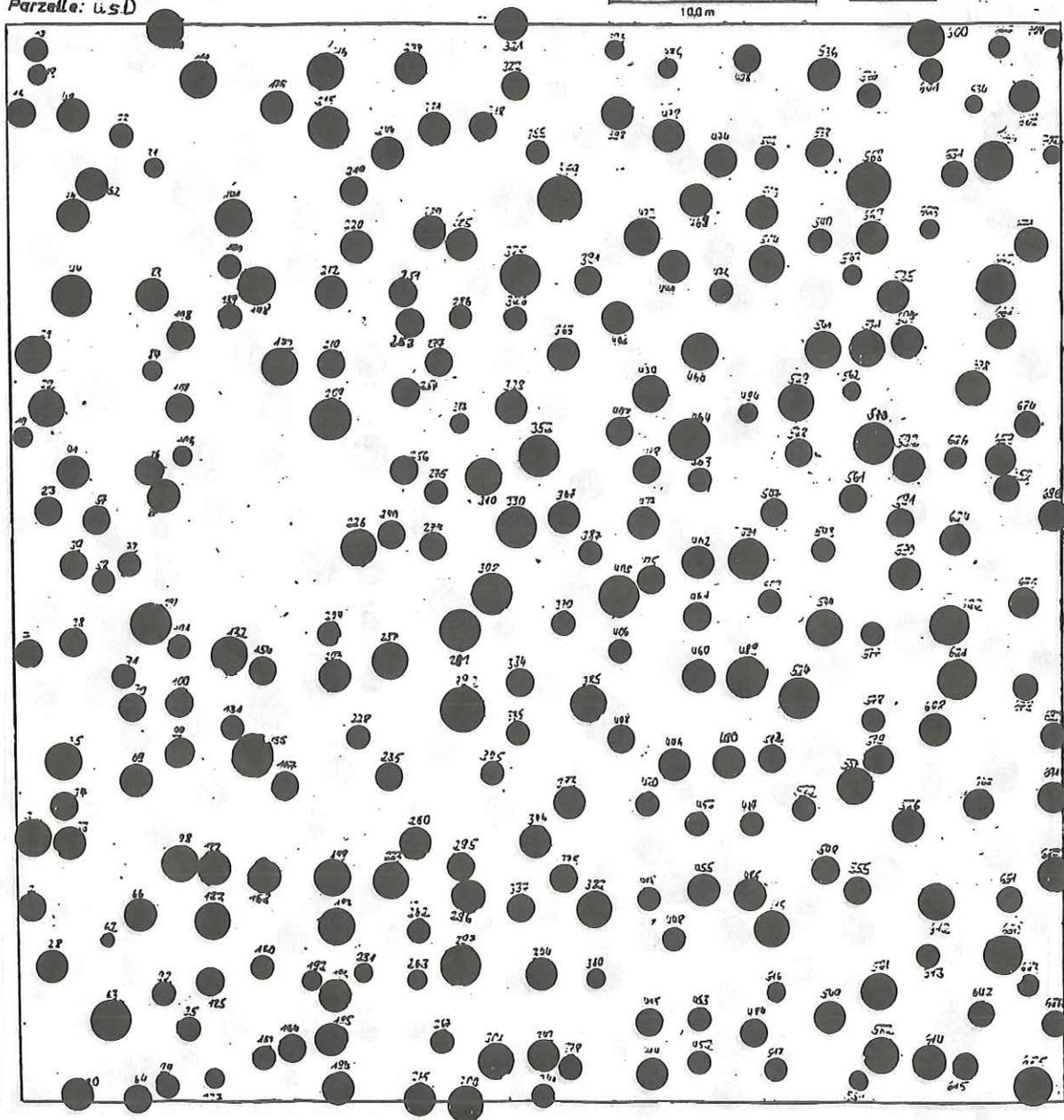


Abb. 49: Stammverteilungsplan 1975 der Variante "ungedüngt, starke Durchforstung"

Forstamt Kastellaun Abtlg. 8a.

Parzelle: u.s.D

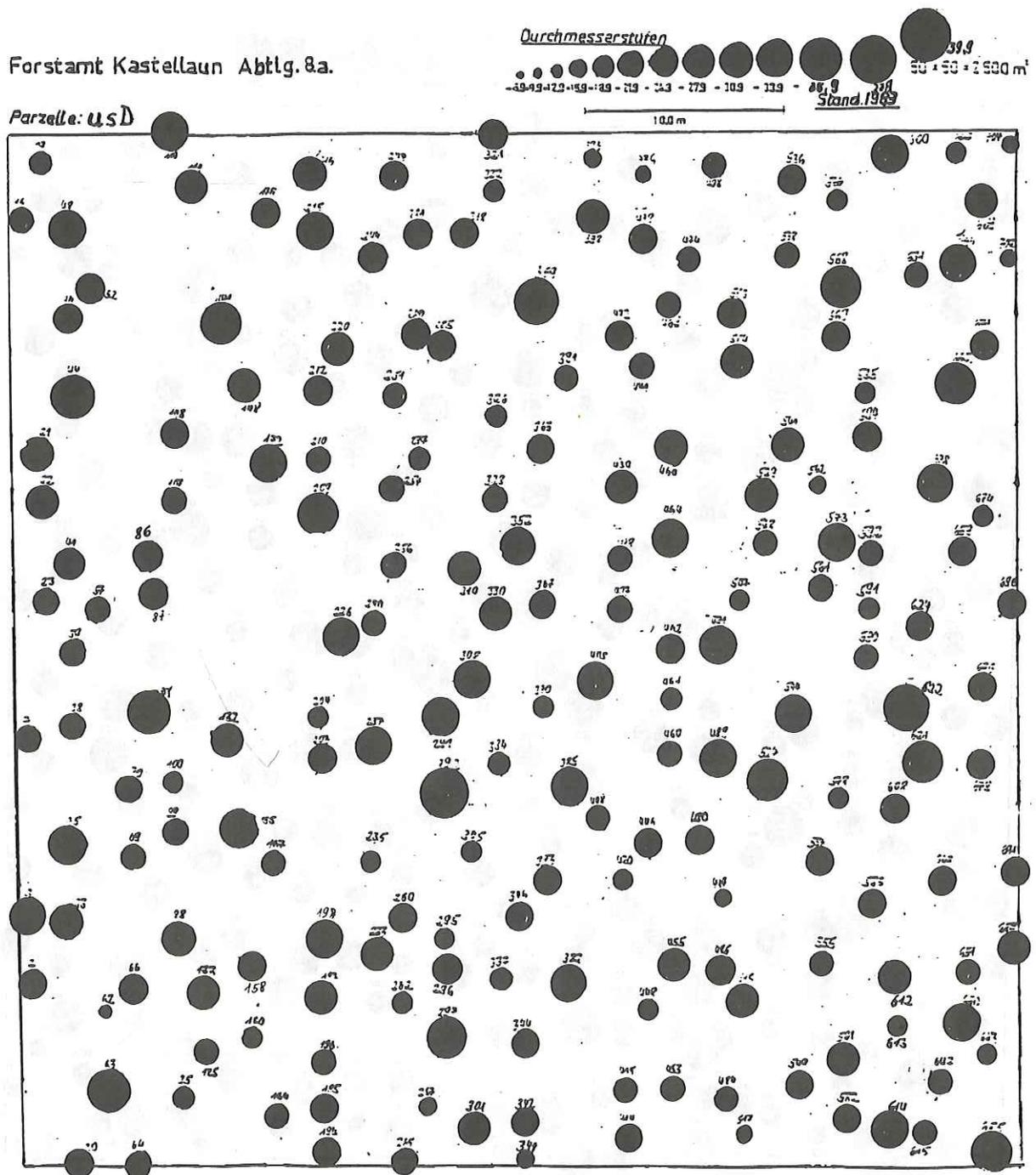
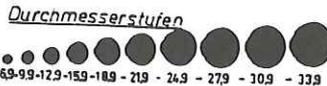


Abb. 50: Stammverteilungsplan 1983 der Variante "ungedüngt, starke Durchforstung"

Forstamt Kastellaun Abtlg. 8a.



50 x 50 = 2 500 m<sup>2</sup>

Parzelle: g k D

Stand 1959

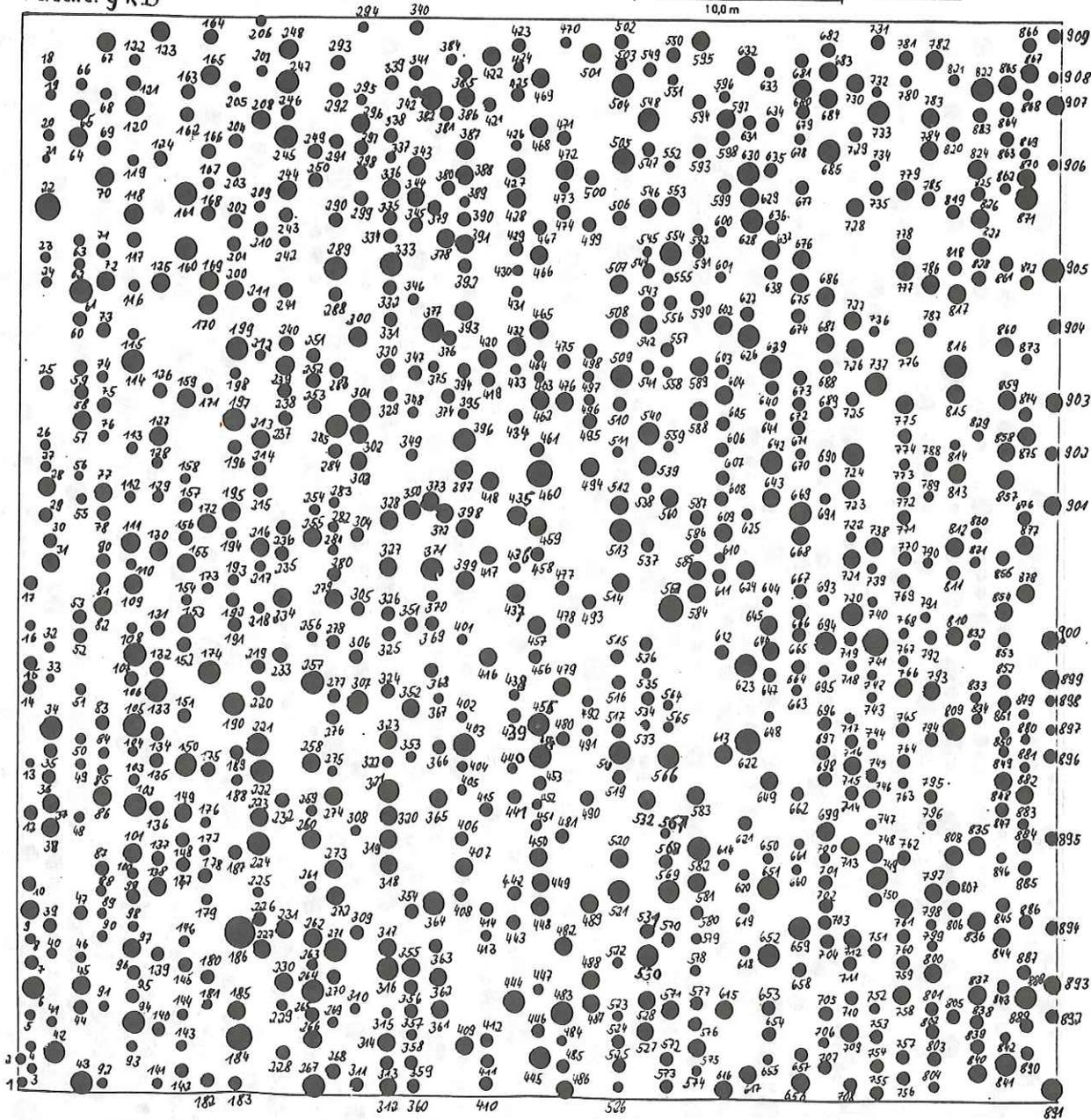
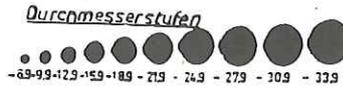


Abb. 51: Stammverteilungsplan 1959 der Versuchsparzelle "gedüngt, keine Durchforstung"

Forstamt Kastellaun Abtlg. 8a.



50 x 50 = 2500 m<sup>2</sup>

Parzelle: g k D

Stand 1964

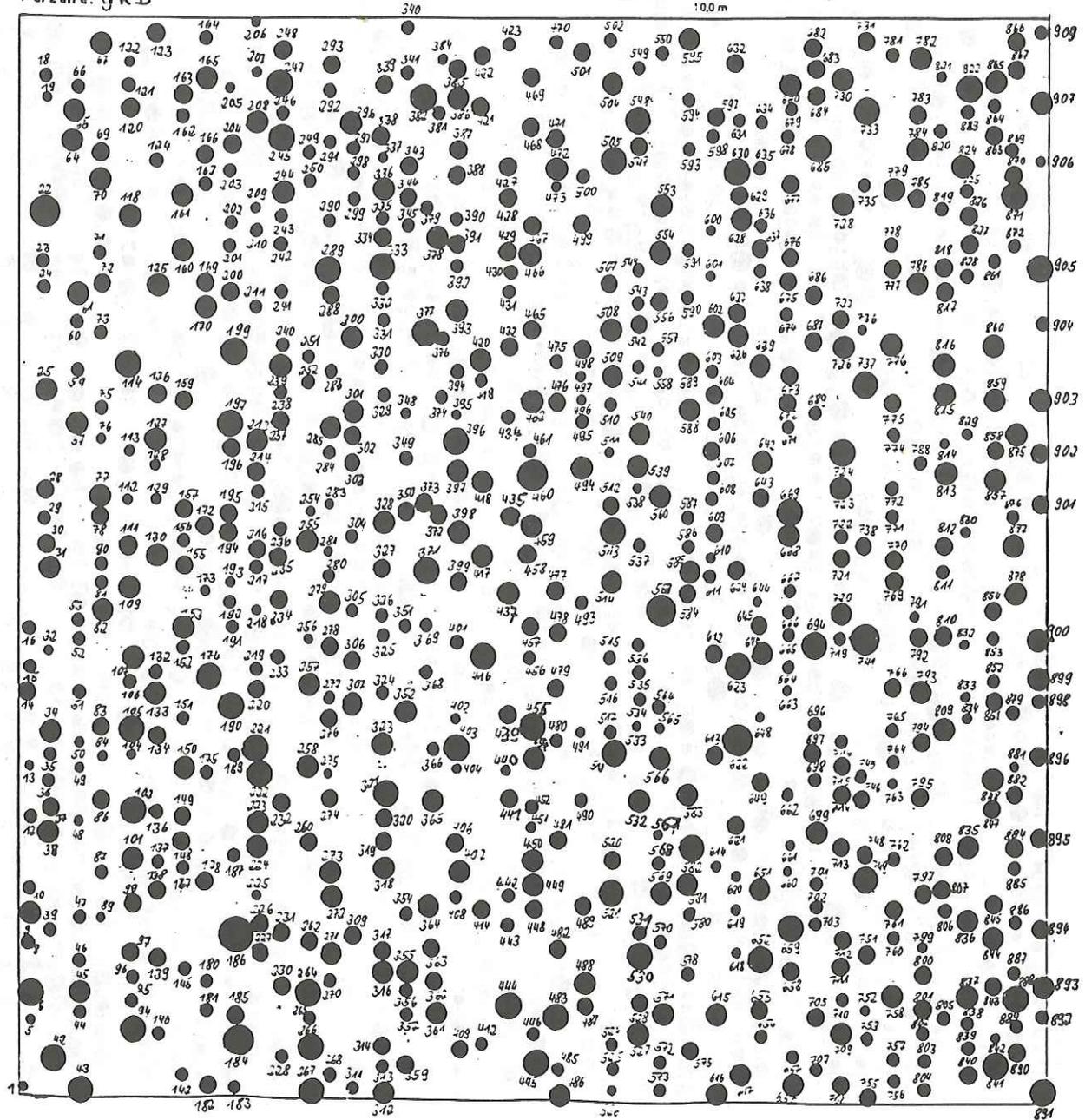


Abb. 52: Stammverteilungsplan 1964 der Variante "gedüngt, keine Durchforstung"

Forstamt Kastellaun Abtlg. 8a.

Durchmesserstufen



50 x 50 = 2500 m<sup>2</sup>

Parzelle: gkD

Stand 1969

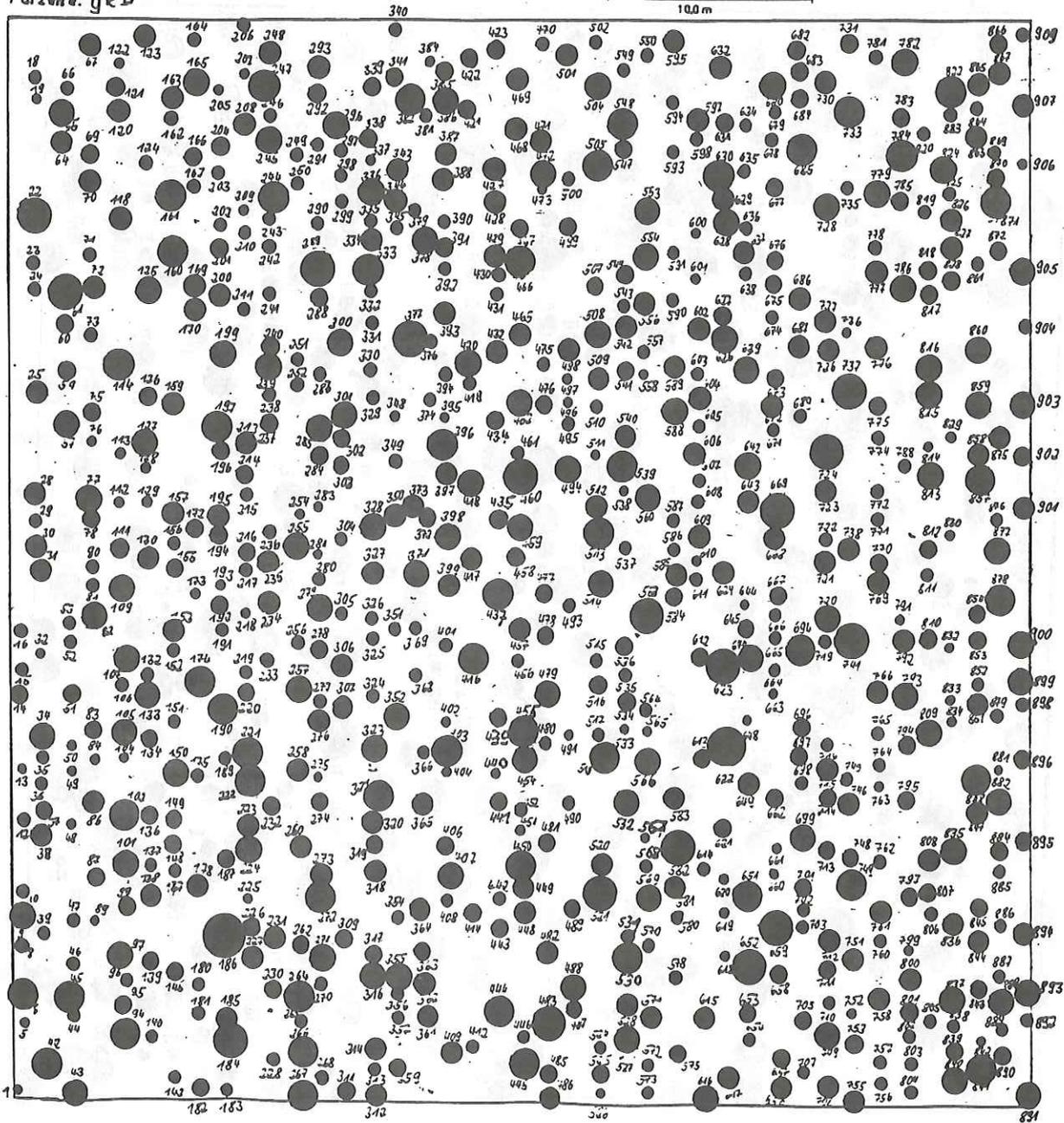
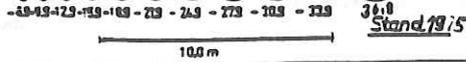


Abb. 53: Stammverteilungsplan 1969 der Variante "gedüngt, keine Durchforstung"

Forstamt Kastellaun Abtlg. Ba.

Durchmesserstufen

50 x 50 = 2500 m<sup>2</sup>



Parzelle: g k D

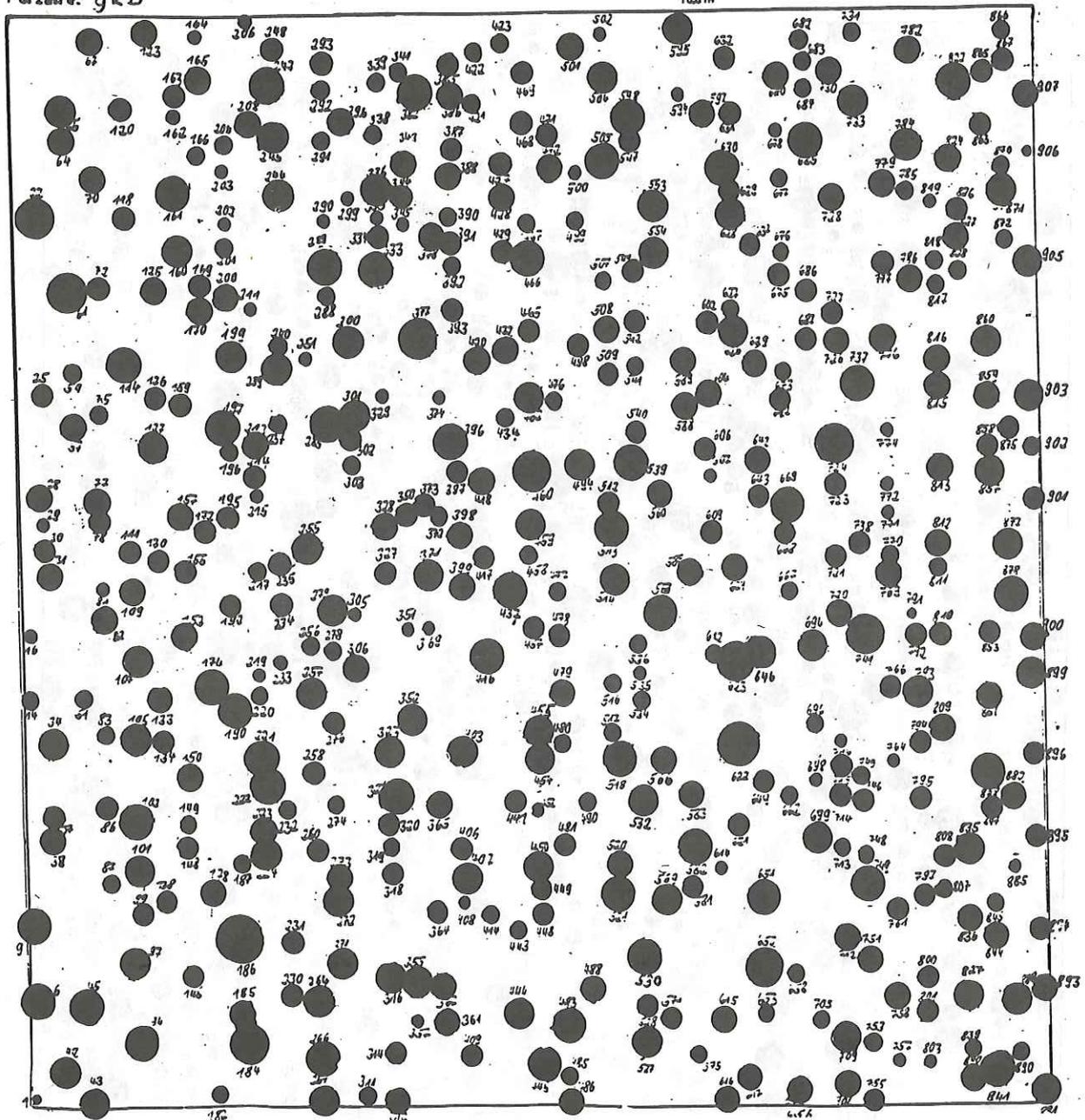
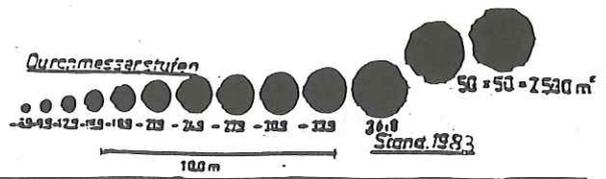


Abb. 54: Stammverteilungsplan 1975 der Variante "gedüngt, keine Durchforstung"

Forstamt Kastellaun Abtlg. 8a.



Parzelle: g k D

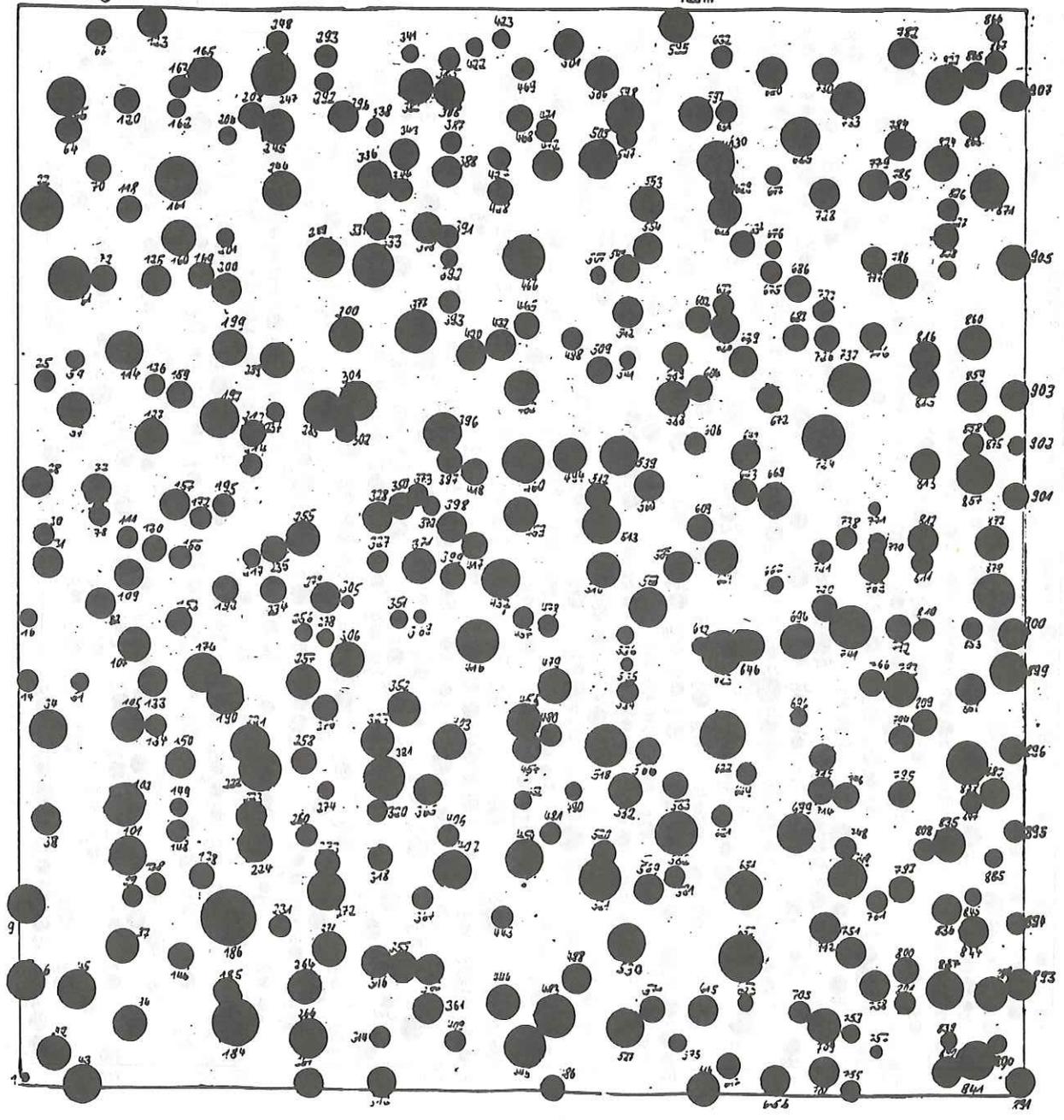


Abb. 55: Stammverteilungsplan 1983 der Variante "gedüngt, keine Durchforstung"



Parzelle: gm D

Stand. 1959

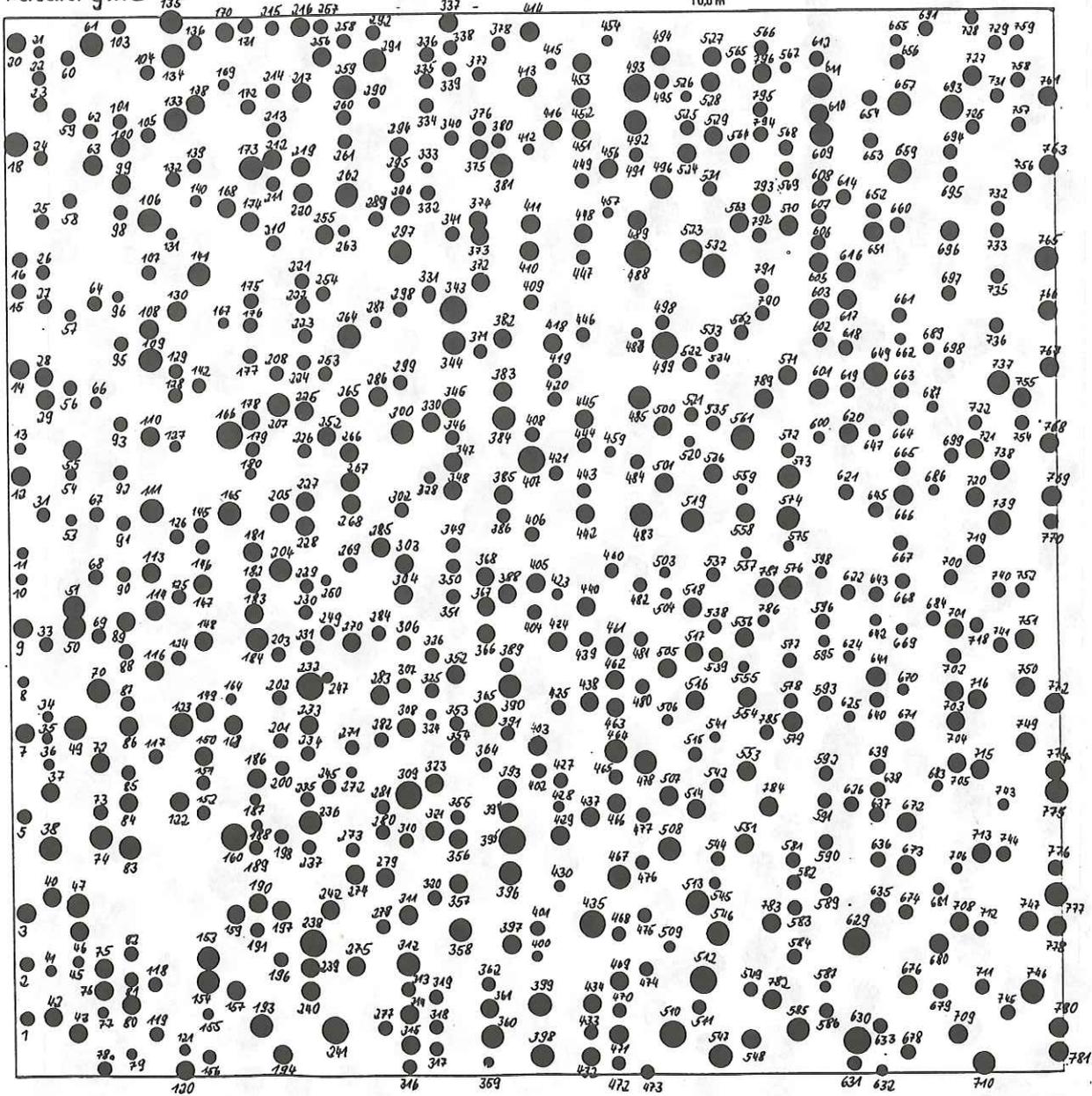
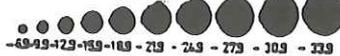


Abb. 56: Stammverteilungsplan 1959 der Variante "gedüngt, mäßige Durchforstung"



Parzelle: gmD

Stand: 1964

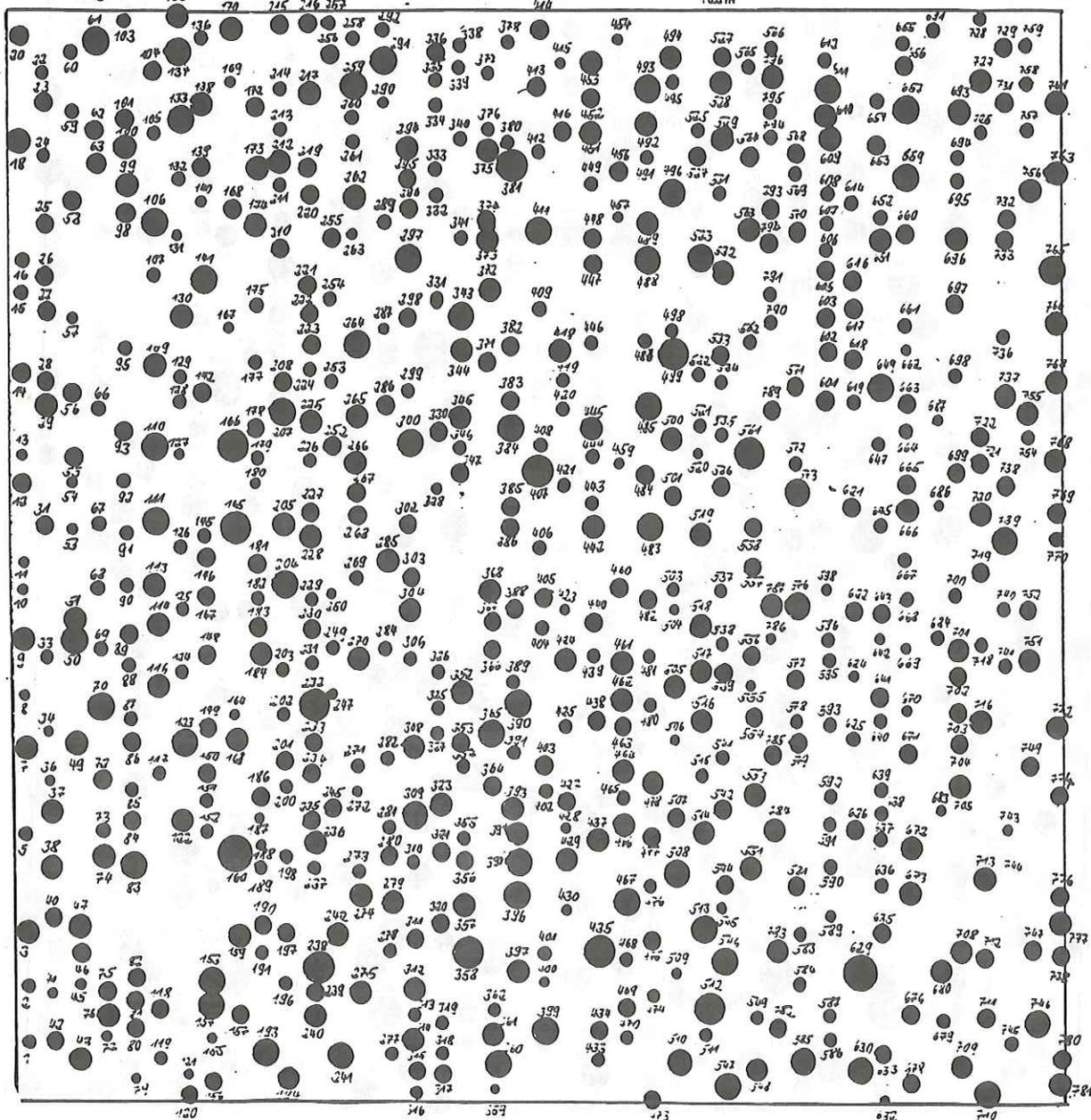


Abb. 57: Stammverteilungsplan 1964 der Variante "gedüngt, mäßige Durchforstung"



Forstamt Kastellaun Abtly. 8a.

Durchmesserstufen

50x50 · 2.500 m<sup>2</sup>

— 50-59 - 60-69 - 70-79 - 80-89 - 90-99 - 100-109 - 110-119 - 120-129

Stand: 1975

Parzelle: gmD

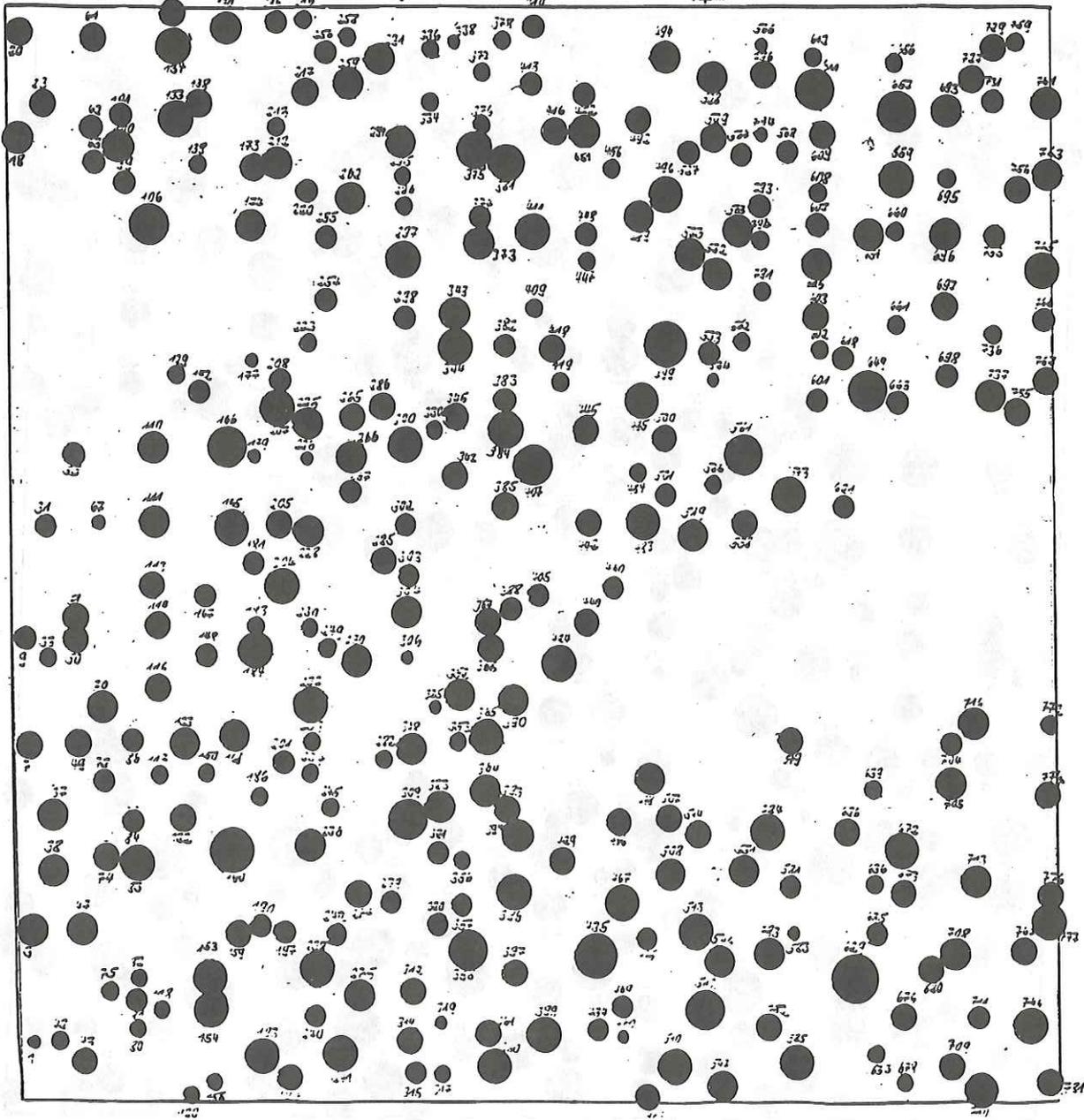
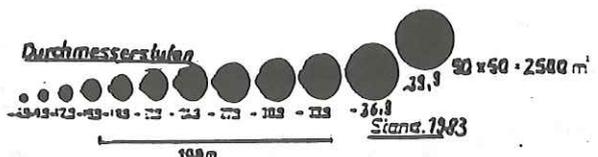


Abb. 59: Stammverteilungsplan 1975 der Variante "gedüngt, mäßige Durchforstung"

Forstamt Kastellaun Abtlg. 8a.



Parzelle: gmD

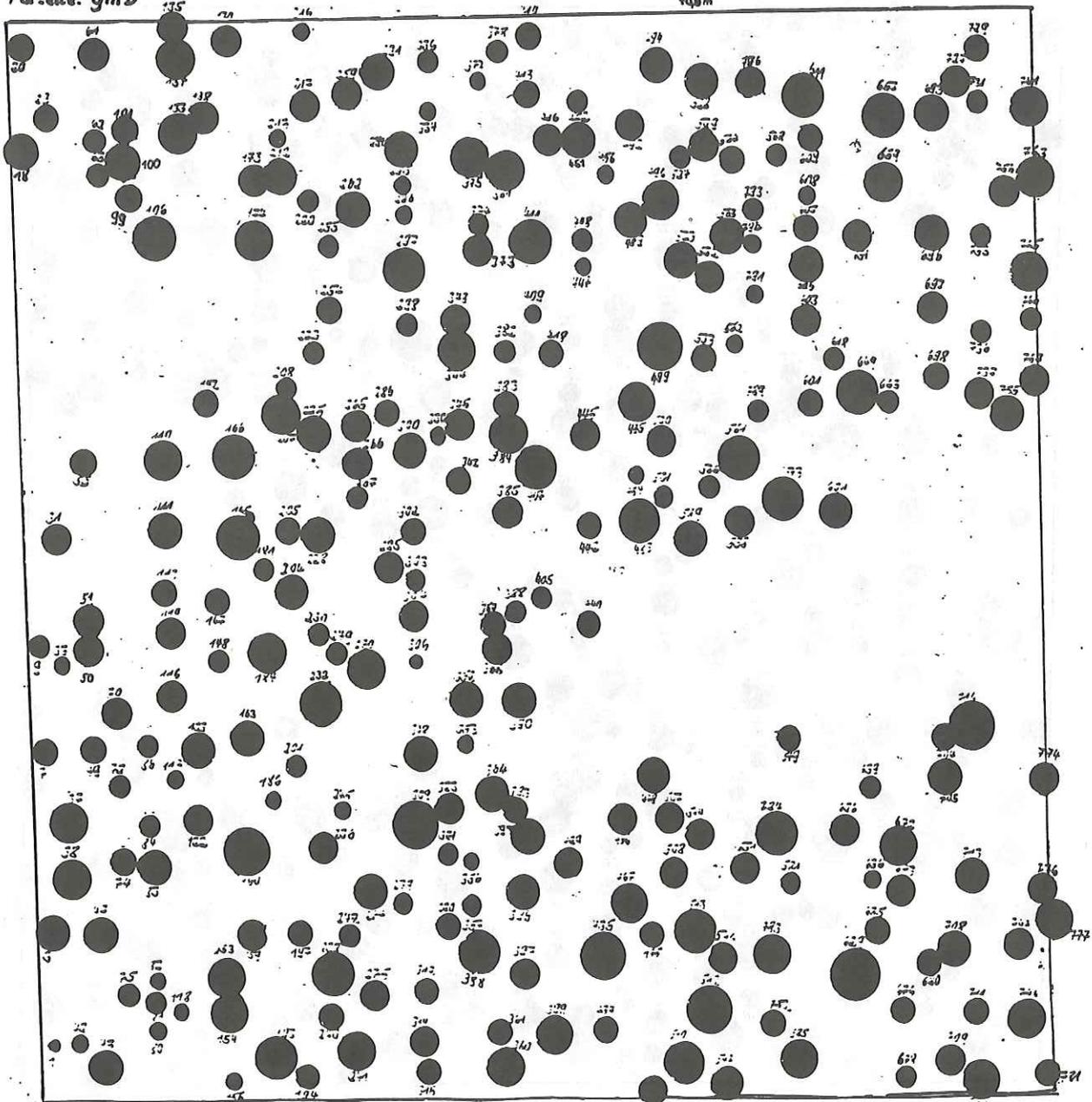


Abb. 60: Stammverteilungsplan 1983 der Variante "gedüngt, mäßige Durchforstung"

Forstamt Kästellaun Abtlg. 8.a.

Durchmesserstufen



50 x 50 = 2 500 m<sup>2</sup>

Parzelle: g.s.D

Stand 1959

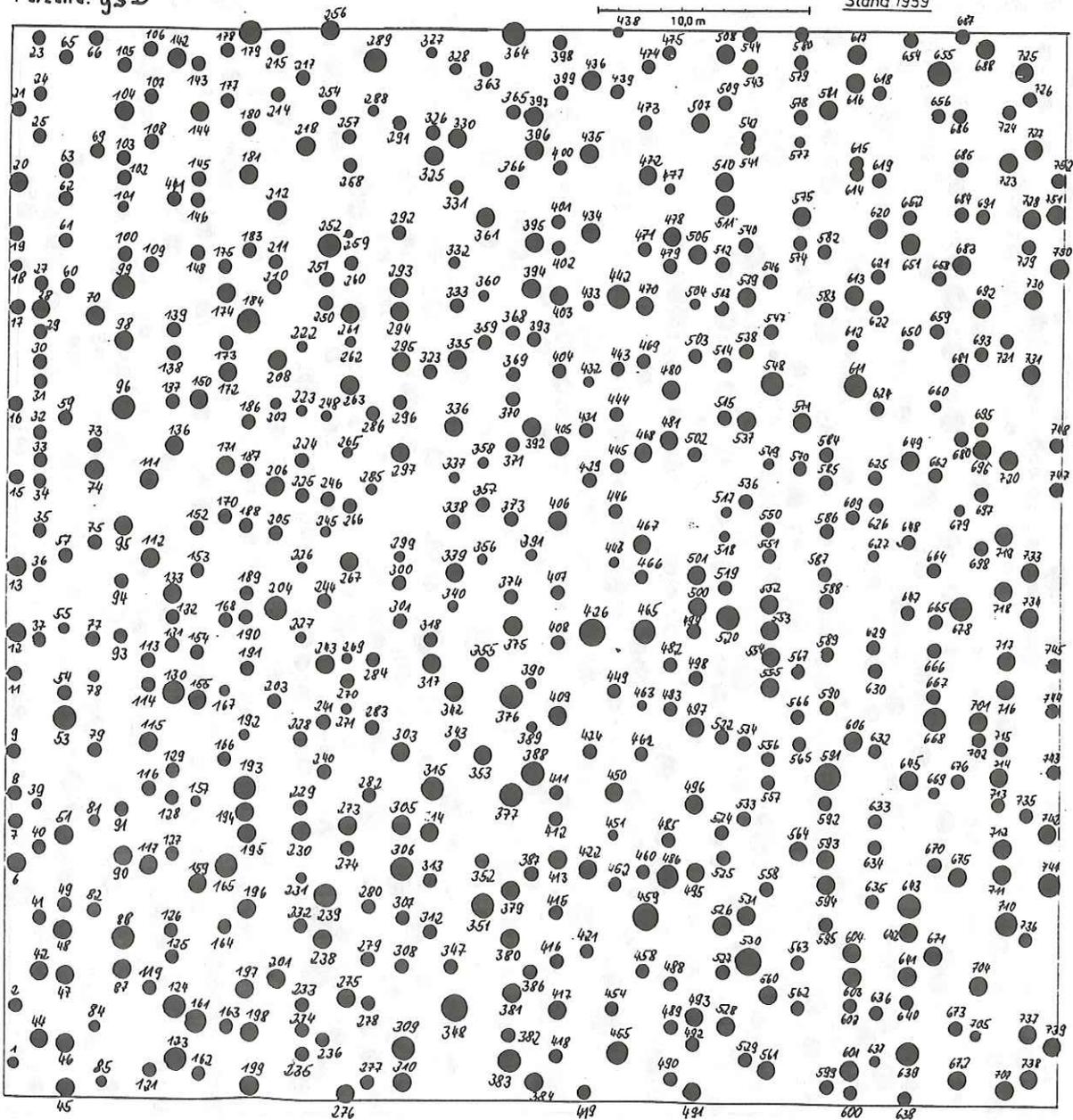


Abb. 61: Stammverteilungsplan 1959 der Versuchsparzelle "gedüngt, starke Durchforstung"

Forstamt Kastellaun Abtlg. 8a.



50 : 50 = 2 500 m<sup>2</sup>

Parzelle: gSD

Stand 1964

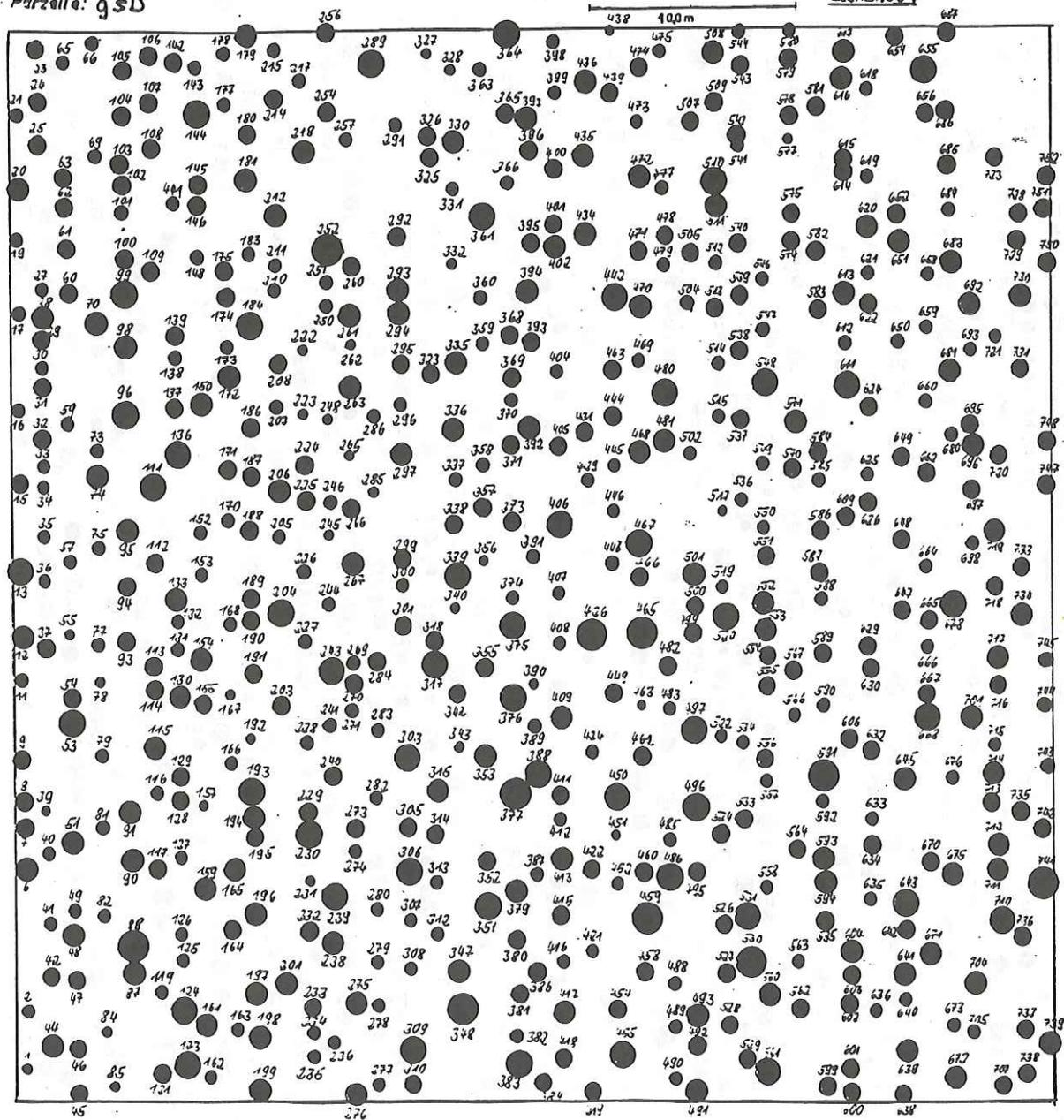


Abb. 62: Stammverteilungsplan 1964 der Variante "gedüngt, starke Durchforstung"

Forstamt Kastellaun Abtlg. 8a.

Durchmessersufen



50 x 50 = 2.500 m<sup>2</sup>

Parzelle: gSD

Stand 1969

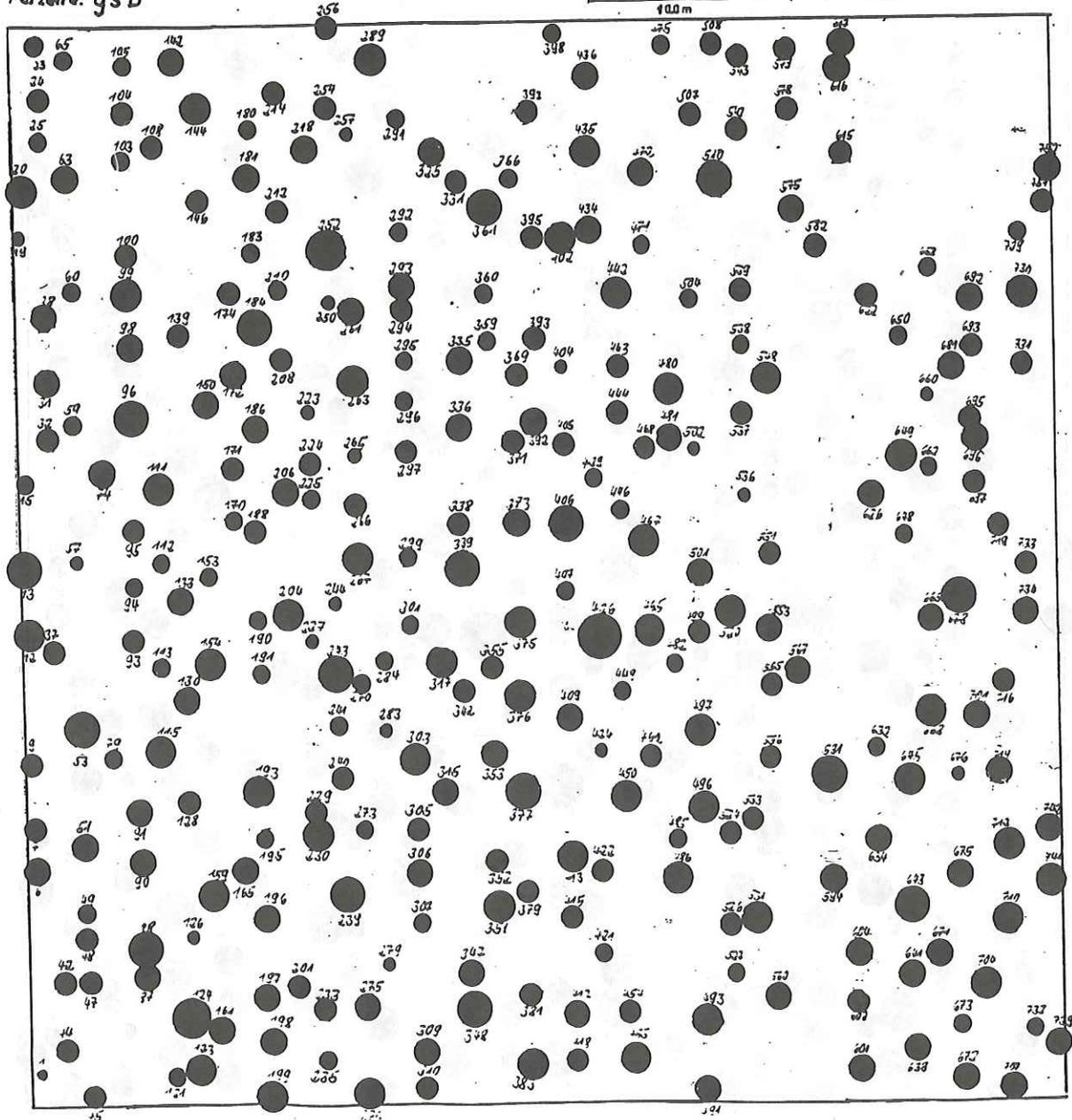
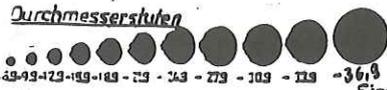


Abb. 63: Stammverteilungsplan 1969 der Variante "gedüngt, starke Durchforstung"

Forstamt Kastellaun Abtlg. 8a.



50 · 50 = 2500 m<sup>2</sup>

Parzelle: 95 D

Stand 1975

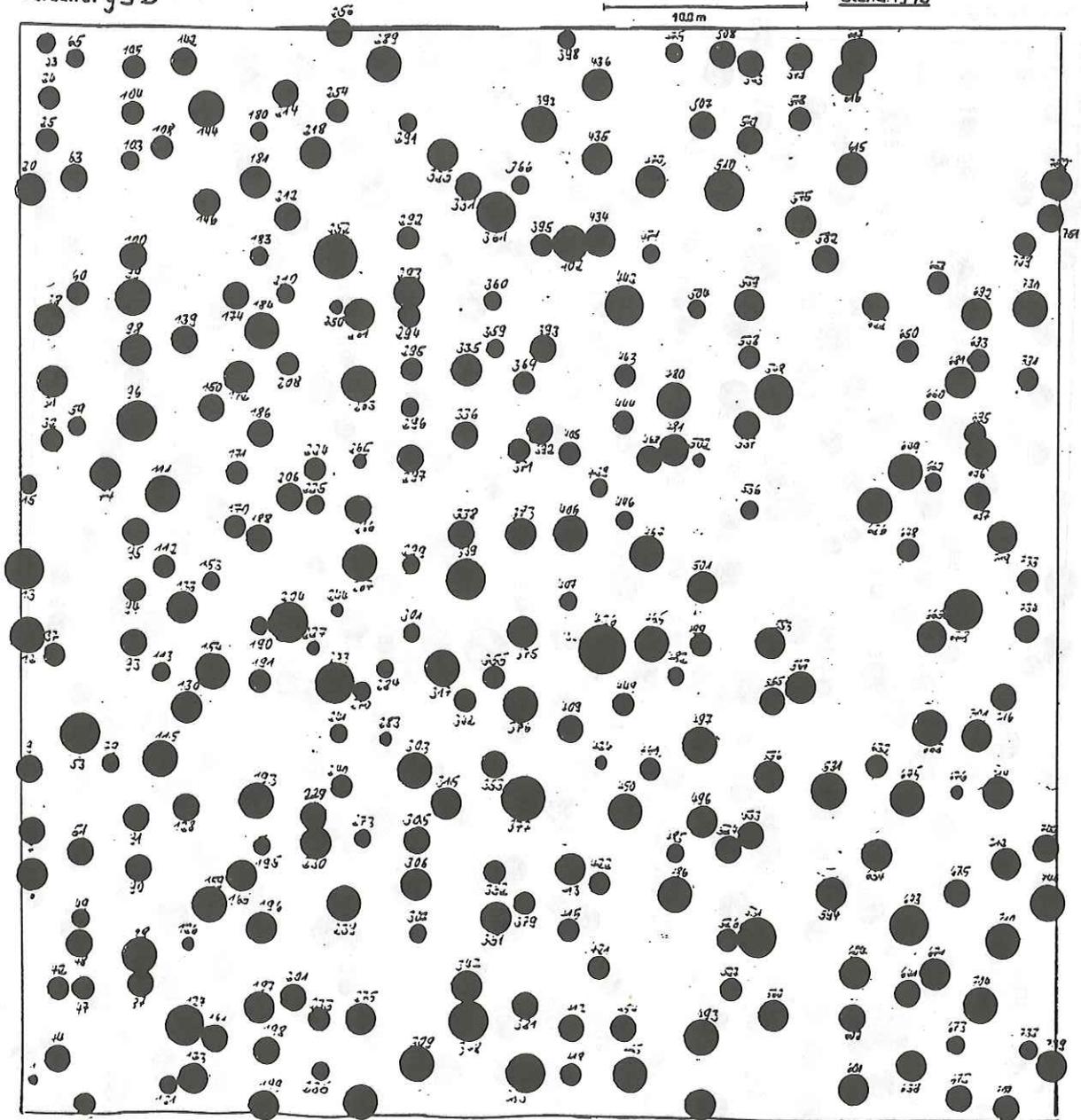


Abb. 64: Stammverteilungsplan 1975 der Variante "gedüngt, starke Durchforstung"



Bisher sind folgende Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz erschienen:

- 1/1987 Jahresbericht 1984 - 1986  
ISSN 0931 - 9662
- 2/1987 BLOCK, STELZER: DM 12.-  
Radioökologische Untersuchungen in Waldbeständen  
ISSN 0931 - 9662
- 3/1987 BLOCK, FRAUDE, HEIDINGSFELD: DM 12.-  
Sondermeßprogramm Wald (SMW)  
ISSN 0931 - 9662
- 4/1987 BEUTEL, BLOCK: DM 12.-  
Terrestrische Feldgehölzschadenserhebung  
(TFGE 1986)  
ISSN 0931 - 9662
- 5/1988 Die Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz DM 12.-  
im Dienste von Wald und Forstwirtschaft  
- Reden anlässlich der Übergabe des Schlosses  
Trippstadt als Dienstsitz am 10.04.1987  
ISSN 0931 - 9662
- 6/1988 Jahresbericht 1987  
ISSN 0931 - 9662
- 7/1988 BEUTEL, BLOCK: DM 12.-  
Terrestrische Parkgehölzschadenserhebung  
(TPGE 1987)  
ISSN 0931 - 9662
- 8/1988 GERECKE: DM 30.-  
Zum Wachstumsgang von Buchen in der Nordpfalz  
ISSN 0931 - 9662
- 9/1989 Jahresbericht 1988  
ISSN 0936 - 6067
- 10/1989 HEIDINGSFELD: DM 25.-  
Verfahren zur luftbildgestützten Intensiv-  
Waldschadenserhebung in Rheinland-Pfalz  
ISSN 0931 - 9662
- 11/1989 BLOCK, DEINET, HEUPEL, ROEDER, WUNN: DM 12.-  
Empirische, betriebswirtschaftliche und  
mathematische Untersuchungen zur Wipfelköpfung  
der Fichte  
ISSN 0931 - 9662
- 12/1990 Jahresbericht 1989  
ISSN 0936 - 6067