

Der Meßfehler der Höhen- und Durchmessermessung an forstlichen Feldversuchen in fröhlem Alter

Von HANS H. HATTEMER¹⁾

(Eingegangen am 10. 1. 1965)

1. Einleitung

Will man an forstlichen Feldversuchen möglichst früh Informationen über die Sortenunterschiede in den ertragsbildenden Merkmalen gewinnen, erhebt sich die Frage nach dem frühestmöglichen Zeitpunkt, zu dem Sortenunterschiede überhaupt mit einer befriedigenden Genauigkeit meßbar sind. Die Kenntnis über das Jugendwachstum kann vor allem wertvolle Beiträge zur Klärung der Korrelationen der Ertragsmerkmale in fröhlem und späterem Alter liefern. Entsprechend der technischen Schwierigkeit und den Kosten neigt der Forstpflanzenzüchter dazu, Feldversuche mit praktischer Fragestellung in fröhlem Alter häufiger zu messen als später. Dabei sind die Messungen in höherem Alter erst eigentlich die interessierenden. Jedoch können frühe Messungen Anhaltspunkte dafür geben, wann und mit welcher Genauigkeit das spätere Verhalten vorausgesagt werden kann.

Nachfolgend soll an drei Klonversuchen mit Schwarzpappeln untersucht werden, ob die routinemäßige Messung der Höhen- und Durchmesserrwerte eine ausreichende Genauigkeit der (Erhebung der Sortenmittel gewährleistet, bzw. wie man bei diesem Objekt die Genauigkeit solcher Messungen bei noch geringer Differenzierung der Sorten abstimmen kann.

2. Material und Methoden

Zur Durchführung der diesbezüglichen Untersuchungen standen drei vom Biologie-Ausschuß der Deutschen Pappekommission betreute Feldversuche zur Verfügung, die der Prüfung der sogenannten 16 Altstammsorten dienen sollen: Pa 13 und Pa 26 im Alter von 6 Vegetationsperioden seit der Pflanzung mit 1/1-Pflanzen und Pa 27 im Alter von 5 Jahren. Die Versuchsflächen mit den Sorten *Populus X*

¹⁾ Aus dem Institut für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung, Schmalenbeck, der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft.

euramericana cv. 'Brabantica', 'Drömling', 'Eckhof', 'Flachsländer', 'Forndorf', 'Gelrica', 'Grandis', 'Leipzig', 'Löns', 'Marilandica', 'Missouriensis', 'Neupotz', 'Regenerata Deutschland', 'Robusta', 'Serotina', 'Viginiana de Frignicourt' waren sämtlich in Gitteranlagen ausgepflanzt. Sie wurden jedoch nur zum Teil in die Untersuchungen einbezogen und als Versuche in vollständigen zufälligen Blocks behandelt. Der Pflanzverband betrug in jedem Falle 5 X 5 m. Die Parzellengröße war mit 2 Klonen vergleichsweise gering. In Anbetracht der Zielsetzung der Sortenversuche an sich und auch dieser meßmethodischen Untersuchungen wurden die angestellten Überlegungen auf die Parzellenmittel beschränkt.

Da Vorstellungen über die Höhe der Meßfehler nur durch wiederholtes Messen durch verschiedene Personen zu gewinnen sind, wurden nun Teile der genannten Versuchsflächen in dieser Weise aufgenommen. Den Untersuchungen wurde folgendes Modell zugrundegelegt:

$$y_{ijklm} = \mu + a_i + b_j + c_k + r_l + (ab)_{ij} + (ac)_{ik} + (bc)_{jk} + (abc)_{ijk} + e_{ijkl} + s_{ijklm}$$

Darin bedeuten a den Effekt der Sorten, b den der Meßgeräte oder -methoden, c den der Personen, r den der vollständigen Blocks, e den durch Umwelteinflüsse verursachten Streuungseffekt innerhalb von Klonen und Blocks, s den Meßfehler. Die übrigen Effekte sind je nach der Bezeichnung durch Interaktionen hervorgerufen. Von diesem Modell leiten sich die in der Tab. 1 enthaltenen Erwartungswerte der Mittelquadrate ab. Mit Ausnahme des Effekts der Meßgeräte bzw. Methoden wurden in diesem Modell alle Effekte als Zufallsvariable angesehen. Bei den Meßmethoden umfaßte die Stichprobe indessen die Population praktisch möglicher und hier zu vergleichender Methoden. Daher wird das Modell des wiederholten dreifaktoriellen Versuchs mit mehreren Beobachtungen pro Versuchseinheit gemischt, es enthält zwei zufällige und einen fixen Haupteffekt.

Tabelle 1. — Schema der Erwartungswerte.

Variationsursache	Freiheitsgrade	E (MQ)
Blocks (R)	r-1	$\sigma^2_{S/E} + s \sigma^2_{E/ABC}$
Klone (A)	a-1	$\sigma^2_{S/E} + s \sigma^2_{E/ABC}$
Meßverfahren (B)	b-1	$\sigma^2_{S/E} + s \sigma^2_{E/ABC} + \frac{b}{b-1} sr(\sigma^2_{ABC} + c \sigma^2_{AB} + a \sigma^2_{BC}) + \frac{srac}{b-1} \sum(b_j)$
Personen (C)	c-1	$\sigma^2_{S/E} + s \sigma^2_{E/ABC}$
AB	(a-1)(b-1)	$\sigma^2_{S/E} + s \sigma^2_{E/ABC} + \frac{b}{b-1} sr(\sigma^2_{ABC} + c \sigma^2_{AB})$
AC	(a-1)(c-1)	$\sigma^2_{S/E} + s$
BC	(b-1)(c-1)	$\sigma^2_{S/E} + s \sigma^2_{E/ABC} + \frac{b}{b-1} sr(\sigma^2_{ABC} + a \sigma^2_{BC})$
ABC	(a-1)(b-1)(c-1)	$\sigma^2_{S/E} + s \sigma^2_{E/ABC} + \frac{b}{b-1} sr \sigma^2_{ABC}$
Versuchsfehler (E)	(abc-1)(r-1)	$\sigma^2_{S/E} + s \sigma^2_{E/ABC}$
Meßfehler (S)	abcr (s-1)	$\sigma^2_{S/E}$
Gesamt	abcrs-1	

Entsprechend den Erwartungswerten der Tab. 1 beträgt der Fehler eines Klonmittels

$$\sigma^2_K = \frac{1}{c} \sigma^2_{AC} + \frac{1}{rbc} \sigma^2_{E/ABC} + \frac{1}{srbc} \sigma^2_{S/E}.$$

Daraus leitet sich der Informationsgehalt der Messungen an den Parzellen eines beliebigen Klons ab:

$$W = \frac{\sigma^2_A}{\sigma^2_A + \sigma^2_K}$$

Nach Einsetzen der Schätzwerte der Varianzkomponenten für die Erwartungswerte läßt sich nun die zu erwartende Genauigkeit eines Klonmittels für die verschiedenen Stichproben von S, R, B und C ermitteln. Man erkennt also aus der Zahl der Messungen, Blocks, Personen und Meßverfahren, wie weit man von dem maximalen Wert 1 für W entfernt ist; ferner, auf welche Art und Weise man die Genauigkeit der Erhebung des Wachstums der einzelnen Klone am wirksamsten steigern kann. Dabei wird vom Zweck eines Feldversuchs als Sortenversuch ausgegangen.

3. Ergebnisse

A) Baumhöhe

Zwei Wiederholungen des Feldversuchs Pa 13 wurden mechanisch (durch Anlegen der Meßlatte) und optisch (mit dem Baumhöhenmesser nach BLUME-LEISS bei 15 m Zielweite) auf 1 dm genau aufgenommen. Die Wahl dieser beiden Meßgeräte erfolgte entsprechend den Baumhöhen auf diesem Feldversuch: einige Bäume hatten eine Höhe von bereits mehr als 10 m; bei dieser Höhe wird eine genaue Messung mit der Meßlatte bereits problematisch. Für die nächste Messung ist bereits der Übergang auf optische Höhenmessung erforderlich. Die beiden Blocks wurden mit beiden Geräten durch mehrere Personen aufgenommen, um dem Vergleich eine sichere Grundlage zu geben. Zur Möglichkeit der Abtrennung des reinen Meßfehlers vom Versuchsfehler ging jede Person zweimal über die zu messenden Teile der Versuchsfäche. Die im Anschluß an die Varianzanalyse der Meßergebnisse (Tab. 2) angestellten Tests ergaben hinsichtlich der Meßmethode einiges Interessante: Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Meßergebnissen der beiden Geräte, indem mit dem optischen Höhenmesesr etwas geringere Höhen gemessen wurden.

Die Mittelwerte der Messungen (Tab. 3) mit dem Blume bzw. der Latte sind 7,88 bzw. 8,17 m; die Differenz von knapp 30 cm ist signifikant. Der Unterschied zwischen den Personen ist jedoch so gering, daß er auch durch den Zufall zustandegekommen sein kann.

Tabelle 2. — Streuungszerlegung der Höhenmessungen auf Pa 13.

Variationsursache	FG	SQ	MQ	VK ¹⁾	IK ²⁾
Gesamt	255	159,7200		1,0000	
Blocks	1	14,7024	14,7024***	0,1095	0,1257
Sorten A	15	88,1498	5,8767***	0,3240	0,3719
Meßgeräte B	1	5,3044	5,3044**	0,0639	0,0734
Personen C	1	0,0521	0,0521	≈0	
AB	15	1,4317	0,0954	≈0	
AC	15	1,0622	0,0708	≈0	
BC	1	1,2168	1,2168	0,0041	0,0047
ABC	15	0,8261	0,0551	≈0	
Versuchsfehler	63	43,5996	0,6921***	0,3226	0,3703
Meßfehler	128	6,0112	0,0470	0,4070	0,0540

¹⁾ Varianzkomponenten.

²⁾ Intraklassekorrelationen

** Signifikanz bei $P = 0,01$

*** Signifikanz bei $P = 0,001$

Tabelle 3. — Übersicht der Mittelwerte in m.

	Person 1	Person 2	Mittel
optisch	7,79	7,97	7,88
mechanisch	8,23	8,11	8,17
Mittel	8,01	7,93	

Nun sind aber auch die Interaktionen nicht signifikant, was auf gegenseitige Unabhängigkeit der in den Versuch eingegangenen Faktoren hindeutet. Eine Interaktion AB wäre aus dem Grunde denkbar gewesen, daß die Abweichung zwischen den beiden Geräten mit wechselnder Baumhöhe verschieden groß ist. Die Sortenunterschiede sind zu einem Zeitpunkt nahe dem Ende der sechsten Vegetationsperiode seit der Pflanzung schon so beträchtlich gewesen, daß zwischen den Mitteln der höchsten und des niedrigsten Klons ein Unterschied von 1,90 m bestand. Auch Fehler beim Anpeilen der Baumspitze (die Fläche war in vollbelaubtem Zustand) bei verschiedenen hohen Bäumen konnten auf die Relation der beiden Meßgeräte einwirken.

Eine Interaktion, die mit einer positiven Varianzkomponente geschätzt wird, besteht zwischen Personen und Meßgeräten. Sie läßt sich bei nur einem Freiheitsgrad statistisch nicht sichern, doch gab sie den eigentlichen Anlaß zur Aufstellung der Tab. 3. Tatsächlich beträgt bei Person 1 der Unterschied zwischen den beiden Geräten das Dreifache von dem bei Person 2. Doch ist dies nur ein Hinweis auf die individuell unterschiedliche Handhabung der Geräte.

Diese beiden Ergebnisse — geringer systematischer Fehler in Höhe von wenigen Prozent des Mittels bzw. geringfügig verschiedenes Arbeiten verschiedener Personen mit den beiden Geräten — sind jedoch für die spezielle Fragestellung des Sortenversuchs von untergeordneter Bedeutung: Unterstellen wir, daß die Messung mit der Latte die absolut genauere ist, so ergibt sich durch den Übergang auf den Blume-Leiss ein Minus von 3,5% des Mittels — ein für einen systematischen Fehler in diesem Versuch völlig zu vernachlässigender Wert.

Wesentlich mehr Aufschlüsse über methodische Fragen ergeben sich uns in diesem Fall durch Schätzung der Varianzkomponenten und ihrer relativen Bedeutsamkeit (Intraklassekorrelationen der Effekte). Nach der Formel für den Fehler eines Klonmittels in diesem Versuch sind die Haupteffekte B und C sowie deren Interaktion ohnedies ohne Bedeutung im Hinblick auf das Versuchsziel.

Vom Meßfehler nehmen wir an, daß er über beide Meßverfahren gleich verteilt ist. Durch die Art der Durchführung der Untersuchung wurde weiterhin ausgeschlossen, daß Lern- oder Ermüdungsprozesse die Ergebnisse beeinflußt haben: die Anwendung der einzelnen „Behandlungen“, also Meßgeräte und Personen erfolgte in annähernd zufälliger Reihenfolge, soweit dies die Arbeit nicht zu sehr behinderte. Die relative Bedeutsamkeit des Meßfehlers, der erst nach Mehrfachmessung überhaupt einzuschätzen ist, kann nach den Werten der Intraklassekorrelationen in Tab. 2 als gering bezeichnet werden; er beträgt nur etwa ein Siebtel der Sortenstreuung. Schätzungen der relativen Genauigkeit in Tab. 4 zeigen, daß die vorliegende Untersuchung mit 0,88 im Bereich hoher Genauigkeit liegt. Jedoch wurde insgesamt achtmal gemessen. Da normalerweise als Routineverfahren, nur eine Person einmal und mit einem Gerät mißt, ergibt sich für diesen Teil der Versuchsfäche eine Genauigkeit von nur 0,64. Die rechte Spalte enthält die entsprechenden Werte für 4 Blocks, d. i. die durchschnittliche Zahl pro Teilfläche der Feldversuchsserie, der

Tabelle 4. — Informationsgehalt der Höhenmessung bei verschiedenen häufigem Messen.

	Zahl der Meßmethoden, Meßpersonen und Meßvorgänge	Zahl der Blocks (r)	
		2	4
Zahl der Meßmethoden, Meßpersonen und Meßvorgänge	1	0,6368	0,7779
(b = c = s)	2	0,8821	0,9372

die hier behandelten Teilflächen angehören. Es fällt sofort auf, daß man durch Erhöhung der Zahl der Blocks die Genauigkeit wirksamer beeinflussen kann als durch wiederholtes Messen. Das Routineverfahren in der ersten Zeile erbringt einen Wert von 0,78 oder 78% erreichbarer Information, also 14% mehr als bei nur zwei Blocks. In der zweiten Zeile ist nur noch eine Steigerung von 6% möglich; doch ist diese Steigerung ohnehin nicht realisierbar.

In der Tab. 2 — wie in den Untersuchungen über den Durchmesser — fällt der geringe Betrag des Meßfehlers im Vergleich zu dem des Versuchsfehlers auf. Man kann daraus schließen, daß bei der normalen Praxis der Messung von Versuchsflächen nur ein verschwindend geringer Teil des „Versuchsfehlers“ durch Meßfehler verursacht wird.

Wachsen nun nach und nach die einzelnen Teilflächen einer Versuchsserie in verschiedenen Jahren über die mit der Latte noch erreichbare Höhe hinaus, dann wird man auf den niedrigeren Flächen ohne Gefahr der Verzerrung das schnellere Messen mit der Latte länger beibehalten können. Der absolute Betrag des Meßfehlers eines Parzellenmittels belief sich mit $\pm 0,21$ m auf 2,7% des Versuchsmittels. Der Versuchsfehler ist, wie die Streuungszerlegung nachweist, erheblich größer.

B) Brusthöhen durchmesser

Unter Benutzung des gleichen VersuchsmodeLLs wurde mit entsprechender Versuchsanordnung auch der Frage der Genauigkeit der Messung des Brusthöhen durchmessers nachgegangen. Dieser Durchmesser ist an sich in Sortenversuchen für die Volumermittlung von untergeordneter Bedeutung, ist aber jedenfalls als mögliche Informationsquelle zu betrachten.

a) Umfang- und Durchmessermessung:

Diese beiden Größen wurden auf 4 Blocks der Teilfläche Pa 27 mit Umfangmeßband bzw. Klappe gemessen. Fünf Vegetationsperioden nach der Streuungszerlegung in Tab. 5 kein Unterschied zwischen dem mit der Klappe direkt gemessenen bzw. aus dem Umfang errechneten Durchmesser. Dieser Vergleich wurde hier wiederum durch mehrere, hier drei, Personen gewonnen, die den Versuch mit beiden Meßgeräten

ten jeweils doppelt auf 1 mm genau aufnahmen. Die Varianzkomponente für den (nicht signifikanten) systematischen Fehler ist ganz unerheblich; der eigentliche Meßfehler ist in seiner Relation zur Sortenstreuung noch geringer, als das bei der Baumhöhe der Fall gewesen war. Der absolute Wert des Meßfehlers von $\pm 0,14$ cm bedeutet bei dem Versuchsmittel von 3,54 cm einen Variabilitätskoeffizienten von weniger als 4%. In Tab. 6 sind diesmal für eine Anzahl

Tabelle 6. — Informationsgehalt der Erhebung des Brusthöhen durchmessers auf Pa 27 bei verschiedenen häufigem Messen.

Vorliegende Untersuchung (b = s = 2; c = 3)	0,9095
Routineverfahren (b = s = c = 1)	0,6220
Steigerung auf doppeltes Messen beim Routineverfahren (b = c = 1; s = 2)	0,6262

von 4 Blocks die Genauigkeiten der Messung des Versuchs bei verschiedenen Stichproben der „Fehler“ verursachten Effekte zusammengestellt. Der deutliche Abfall in der Genauigkeit bei Übergang auf das Routineverfahren, bei dem eine Person mit einem Gerät nur einmal mißt, erklärt sich daraus, daß hier jede Parzelle zwölfmal gemessen wurde, was in der Praxis nie durchführbar ist. Personen und Geräte spielen daher in diesem Zusammenhang nur die Rolle weiterer Wiederholungen der Messung. Läßt man eine Person die Fläche doppelt aufnehmen, dann ergibt sich daraus kein praktisch bedeutsamer Genauigkeitszuwachs. Doch ist auch diese Schlußfolgerung nach der Formel für den Fehler eines Sortenmittels zu erwarten, da eine Vergrößerung der Stichprobe für S nur den Meßfehler, nicht aber den Versuchsfehler verringert.

b) Klappung mit und ohne Markierung der Meßstelle:

Auf drei Blocks der Teilfläche Pa 26 wurden ferner die Durchmesser vor und nach Markierung der Meßhöhe in 1,3 m gemessen. Es war zu untersuchen, ob durch Ausschaltung der Fehlerquelle variabler Meßhöhe die Genauigkeit der Aufnahme eines Sortenversuchs leidet. Denn schon in jenem geringen Alter von 5 Jahren sind Pappelschäfte merklich abformig. Als Erschweris kommt — wie übrigens auch bei Pa 27 der Fall gewesen — hinzu, daß die Pappeln noch nicht geästet waren, daher ab und zu der Brusthöhen durchmesser durch Mitteln der Messungen ober-

Tabelle 7. — Varianzanalytische Ermittlung der Meßfehler für Durchmessermessung ohne bzw. mit Markierung der Meßstelle (Pa 26).

Variationsursache	FG	SQ	MQ
1) ohne Markierung			
Gesamt	191	406,7174	
Blocks, Sorten bei Personen			
Versuchsfehler	95	403,1662	
Blocks	2	1,6979	
Sorten b. Personen	31	162,5895	
Versuchsfehler	62	238,8788	
Meßfehler	96	3,5512	0,0370
2) mit Markierung			
Gesamt	191	438,6434	
Blocks, Sorten bei Personen			
Versuchsfehler	95	436,6130	
Blocks	2	1,0419	
Sorten b. Personen	31	184,9113	
Versuchsfehler	62	250,6598	
Meßfehler	96	2,0304	0,0212

Tabelle 5. — Streuungszerlegung der Messungen des Brusthöhen durchmessers auf Pa 27.

Variationsursache	FG	SQ	MQ	VK	IK
Gesamt	767	564,9987			1,0001
Blocks	3	103,1731	34,3910***	0,0869	0,1070
Sorten A	15	166,3205	11,0880***	0,2101	0,2587
Meßgeräte B	1	2,6778	2,6778	0,0043	0,0053
Personen C	2	0,2638	0,1319	≈ 0	
AB	15	0,3490	0,0233	≈ 0	
AC	30	0,1876	0,0625	≈ 0	
BC	2	1,6795	0,8398	≈ 0	
ABC	30	0,5808	0,0194	≈ 0	
Versuchsfehler	285	285,9474	1,0033***	0,4925	0,6064
Meßfehler	384	7,0762	0,0184	0,0184	0,0227

Tabelle 8. — BARTLETT'S Test auf Heterogenität der Meßfehler aus Tab. 7 vor und nach Markierung der Klupphöhe.

	s^2	$10 \log s^2$
ohne Markierung	0,0370	0,56 820 — 2
mit Markierung	0,0212	0,32 634 — 2
s^2	0,0291	
$10 \log s^2$	0,46 389 — 2	
$n \cdot 10 \log s^2$	0,92 778 — 4	$\Sigma 10 \log s^2$ 0,89 454 — 4

$$\chi^2 = 2,3026 \times 96 \times 0,03 324 = 7,348^{**} \quad (P < 0,01).$$

Tabelle 9. — Streuungszerlegung der Durchmessermessungen auf Pa 26; die Verfahren sind Klupfung ohne und mit Markierung der Meßstelle.

Variationsursache	FG	SQ	MQ	VK	IK
Gesamt	383	845,4112			0,9999
Blocks	2	2,5578	1,2798	≈ 0	
Sorten A	15	344,6025	22,9735	0,7951	0,2887
Verfahren B	1	0,0504	0,0504	≈ 0	
Personen C	1	0,1388	0,1388	≈ 0	
AB	15	1,7146	0,1143	≈ 0	
AC	15	0,5978	0,0399	≈ 0	
BC	1	0,0876	0,0876	≈ 0	
ABC	15	0,3595	0,0240	≈ 0	
Versuchsfehler	126	490,3622	3,8918	1,9331	0,7019
Meßfehler	192	4,9400	0,0257	0,0257	0,0093

halb und unterhalb der Meßstelle gewonnen werden mußte. Zunächst wurden für die beiden Meßverfahren die Meßfehler varianzanalytisch ermittelt (Tab. 7) und mit BARTLETT'S Test auf Fehlerheterogenität geprüft (Tab. 8). Nach dem Ergebnis des Tests sind die beiden Meßfehler hochsignifikant verschieden; und zwar ergab sich bei markierter Meßstelle ein geringerer Fehler (Tab. 7). Der Unterschied in den absoluten Werten der Standardabweichungen ist allerdings nicht groß: vor der Markierung ergab sich ein Fehler von $\pm 0,19$ cm, nach der Markierung ein Fehler von $\pm 0,15$ cm. Dieser Unterschied ist also statistisch zwar signifikant, praktisch aber nicht erheblich. Der relative Betrag des Meßfehlers im Vergleich zur Sortenstreuung, an der sich ja die Genauigkeit unseres Vorgehens orientieren soll, war nach dem Ergebnis der Varianzkomponentenschätzung in Tab. 9 bei der Aufnahme dieser Teilfläche besonders gering: weniger als 1% der Streuung waren im Durchschnitt beider Meßverfahren auf Meßfehler zurückzuführen. Die Relation des Meßfehlers zur Sortenstreuung ist etwa 1 : 30. Der absolute Betrag des Meßfehlers im Durchschnitt beider Verfahren belief sich auf $\pm 0,16$ cm, d. i. 2,6% des Versuchsmittels.

In Tab. 9 kann infolge Heterogenität der Meßfehler kein Signifikanztest durchgeführt werden. Jedoch ist für Sorten als auch für den Versuchsfehler der Varianzquotient so hoch, daß wohl zu Recht auf Signifikanz bei $P < 0,001$ erkannt werden darf. Die beiden Versuchsfehler in Tab. 7 wurden ebenfalls mit χ^2 auf Heterogenität geprüft, sie waren bei $P > 0,95$ als gleich anzunehmen. Der zahlenmäßige Wert war für die Messung nach Markierung ohnedies größer als der bei Messung vor Markierung der Kluppstelle.

c) Einfache und kreuzweise Klupfung:

Diese beiden Verfahren wurden ebenfalls auf der Teilfläche Pa 26 verglichen. Eine Erhöhung des Meßfehlers bei nur einfacher Klupfung wäre dadurch erklärbar, daß bei Herantreten an die Versuchsbäume in zufälliger Richtung unkontrollierte Variation durch unruhige Schaftquerschnitte besteht. Gleichzeitig vergleicht diese Untersuchung al-

lerdings auch die Genauigkeit einfacher und doppelter Messung, so daß eine Differenz zwischen den Meßfehlern bei der Verfahren nicht eindeutig interpretiert werden kann. Bei doppelter Messung ist der Meßfehler a priori geringer.

Die Meßfehler wurden in Tab. 10 varianzanalytisch ermittelt und in Tab. 11 auf Heterogenität geprüft. Wiederum ergab sich ein hochsignifikanter Unterschied zwischen den beiden Fehlern, deren Standardabweichungen $\pm 0,26$ cm bei einfacher und $\pm 0,18$ cm bei kreuzweiser Klupfung betragen. Die zugehörigen Variationskoeffizienten sind 4,3% bzw. 3,0% des Mittels, also absolut und, wie Tab. 12 für den Durchschnitt beider Verfahren zeigt, auch relativ sehr geringe Werte.

Tabelle 10. — Varianzanalytische Ermittlung der Meßfehler für Durchmessermessung mit einfacher bzw. kreuzweiser Klupfung (Pa 26).

Variationsursache	FG	SQ	MQ
<i>1) einfache Klupfung</i>			
Gesamt	191	421,7659	
Blocks, Sorten bei Personen, Versuchsfehler	95	415,2003	
Blocks	2	1,3247	
Sorten bei Personen	31	172,5838	
Versuchsfehler	62	241,2918	
Meßfehler	62	6,5656	0,0684
<i>2) kreuzweise Klupfung</i>			
Gesamt	191	417,9122	
Blocks, Sorten bei Personen, Versuchsfehler	95	414,7670	
Blocks	2	1,5580	
Sorten bei Personen	31	170,3524	
Versuchsfehler	62	242,8566	
Meßfehler	62	3,1452	0,0328

Tabelle 11. — BARTLETT'S Test auf Heterogenität der Meßfehler aus Tab. 10 bei einfacher und kreuzweiser Klupfung.

	s^2	$10 \log s^2$
einfach	0,0648	0,81 158 — 2
kreuzweise	0,0328	0,51 587 — 2
s^2	0,0488	
$10 \log s^2$	0,68 842 — 2	
$n \cdot 10 \log s^2$	1,37 684 — 4	$\Sigma 10 \log s^2$ 1,32 745 — 4

$$\chi^2 = 2,3026 \times 96 \times 0,04 939 = 10,915^{**} \quad (P < 0,01).$$

Tabelle 12. — Streuungszerlegung der Klupplungen auf Pa 26; die Verfahren sind einfache und kreuzweise Klupfung.

Variationsursache	FG	SQ	MQ	VK	IK
Gesamt	383	839,6967			1,0000
Blocks	2	2,8615	1,4308	≈ 0	
Sorten A	15	341,5796	22,7720	0,7866	0,2874
Verfahren B	1	0,0185	0,0185	≈ 0	
Personen C	1	0,1077	0,1077	≈ 0	
AB	15	0,3312	0,0221	≈ 0	
AC	15	0,4087	0,0272	≈ 0	
BC	1	0,1533	0,1533	≈ 0	
ABC	15	0,3002	0,0200	≈ 0	
Versuchsfehler	126	486,7338	3,8630	1,9128	0,6989
Meßfehler	192	7,2022	0,0375	0,0375	0,0137

4. Diskussion

Nachdem festgestellt wurde, daß sowohl die absoluten als auch die relativen Meßfehler bei einer Meßgenauigkeit von 1 dm (Baumhöhe) bzw. 1 mm (Brusthöhendurchmesser) gering waren, ergibt sich die Frage nach der Repräsentativität dieser Ergebnisse. Der Vergleich einer bestimmten Fehlerstreuung mit der im gleichen Versuch ermittelten

Sortenstreuung besitzt ja nur für die Versuchspopulation Gültigkeit, an der die beiden Schätzwerte gewonnen sind. Diese Frage muß hier offenbleiben. Für beide Merkmale ergibt sich jedoch ein so weites Verhältnis von Sorten- und Fehlerstreuung, daß man verallgemeinernd von geringen relativen Fehlern sprechen kann. Für den Brusthöhen-durchmesser ergaben Messungen an zwei Versuchsflächen überdies durchaus konsistente Schätzungen.

Die angewandte Meßgenauigkeit steht in einem solchen Verhältnis zu den aufgetretenen absoluten Fehlern, daß man sie etwa beibehalten sollte. Eine Verminderung der Meßgenauigkeit würde wahrscheinlich auch zu keinerlei Einsparungen bei der Versuchsaktenführung und der Versuchsauswertung führen.

Für beide Merkmale wurde auch festgestellt, daß Versuchs- und Meßfehler in einem sehr weiten Verhältnis stehen (vgl. die Varianztabellen Tab. 2, 5, 9). Die Senkung der Varianz eines Klonmittels erfolgt also wirksamer auf dem Wege der Senkung des Versuchsfehlers. Probleme bei dessen Kontrolle werden für das hier behandelte Objekt des Klonversuchs Gegenstand einer besonderen Untersuchung sein.

Allen bei der Durchführung dieser Untersuchung Mitwirkenden sei auch an dieser Stelle gedankt.

Zusammenfassung

1. Bei frühen Messungen der Baumhöhe an Klonversuchen wurde ein geringer relativer Fehler ermittelt. Seine Standardabweichung betrug $\pm 0,21$ m, der zugehörige Variationskoeffizient $\pm 2,7\%$.

2. Mit dem optischen Höhenmesser nach BLUME-LEISS wurden um 30 cm oder 3,5% des Mittels geringere Werte als beim Anlegen der Latte gemessen. Diese Differenz war signifikant. Die relative Bedeutung dieses systematischen Fehlers ist gering.

3. Der Brusthöhendurchmesser wurde mit einem Fehler von etwa $\pm 0,2$ cm gemessen, was etwa einem durchschnittlichen Variabilitätskoeffizienten von $\pm 3,5\%$ entspricht. Beim Durchmesser war das Verhältnis zwischen Sorten- und Fehlervarianz besonders weit.

4. Zwischen dem mit der Klappe direkt gemessenen bzw. aus dem Umfang errechneten Durchmesser bestand kein Unterschied.

5. Klippung bei markierter Meßstelle in 1,3 m über dem Boden sowie kreuzweises (und damit doppeltes) Klippen bewirkte eine Senkung des Meßfehlers. Doch erhält diese Senkung keine praktische Bedeutung.

6. Ein Übergang auf wiederholtes Messen erbrachte keine Erhöhung der Genauigkeit der behandelten Versuche. Die Versuchsgenauigkeit wird wirksamer durch Senkung des Versuchsfehlers erhöht.

7. Aus dem sehr weiten Größenverhältnis von Versuchs- und echtem Meßfehler kann geschlossen werden, daß bei der normalen Praxis des Feldversuchswesens der Großteil des dort ermittelten „Versuchsfehlers“ nicht durch Meßfehler zustandekommt.

Summary

Title of the paper: *On the error of early height and diameter measurements of variety trials in forestry.*

1. In early measurements of tree height of clonal trials low estimates of relative error variance were obtained.

The standard deviation was $\pm 0,21$ m, the respective coefficient of variation amounted to $\pm 2,7$ per cent.

2. With the hypsometer of BLUME-LEISS smaller heights were obtained than by using the pole. The difference of about 30 cm or 3,5 per cent of the mean was significant. This systematic error has small relative importance.

3. The error of measurement of diameter at breast height was $\pm 0,2$ cm; this is equivalent to a coefficient of variation of $\pm 3,5$ per cent. In diameter the magnitudes of clonal and error variance were very different.

4. No differences existed between diameters measured directly by calliper or calculated from girth measurements.

5. Diameter measurements after marking the position of 1,3 m above ground level or two measurements at 90 degrees to each other led to a decrease of error. But this small decrease is of no practical value.

6. Repeated measurements did not increase the precision of the analysis. This is achieved more easily by reducing experimental error.

7. It may be concluded from the different magnitudes of experimental error and error of measurement that normally in field experimentation measurement techniques contribute little to the error term and that other sources are more important.

Résumé

Titre de l'article: *Erreur sur les premières mesures de hauteur et de diamètre dans les plantations comparatives en foresterie.*

1. Dans les premières mesures de hauteur sur des plantations comparatives de clones, on a obtenu des évaluations faibles de la variance de l'erreur. L'écart-type était $\pm 0,21$ m, le coefficient de variation correspondant $\pm 2,7\%$.

2. Avec le dendromètre BLUME-LEISS, on obtient des mesures de hauteur plus faibles qu'en utilisant la perche. Les différences sont d'environ 30 cm ou 3,5% de la moyenne et sont significatives. Cette erreur systématique a une faible importance relative.

3. L'erreur de mesure du diamètre à hauteur d'homme était $\pm 0,2$ cm; ceci équivaut à un coefficient de variation de $\pm 3,5\%$. En ce qui concerne le diamètre, les grandeurs respectives de la variance de l'erreur et de la variance due aux clones étaient très différentes.

4. On n'a constaté aucune différence entre les diamètres mesurés directement au compas ou calculés à partir des mesures de circonférence.

5. Les mesures de diamètre faites après avoir repéré la position de 1,30 m au-dessus du sol ou après avoir fait deux mesures à 90° amènent une réduction de l'erreur, mais cette erreur est faible et sans importance pratique.

6. Des mesures répétées n'améliorent pas la précision de l'analyse. On l'obtient plus facilement en réduisant l'erreur expérimentale.

7. On peut conclure en comparant les grandeurs de l'erreur expérimentale et des erreurs de mesures, que normalement dans les expériences de terrain les techniques de mesures interviennent peu dans le terme d'erreur et que les autres sources sont beaucoup plus importantes.

Literatur

STEEL, R. G. D., and TORRIE, J. H.: *Principles and Procedures of Statistics.* New York, Toronto, London 1960.