

Sonderdruck aus Forstw. Cbl. 78. Jg. 1959 (7/8), 243-251

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdruckes, der photomech. Wiedergabe und der Übersetzung, vorbehalten  
VERLAG PAUL PAREY · HAMBURG 1, SPITALERSTRASSE 12

**Die Genauigkeit von Klappung und Umfangmessung  
nach einem Vergleichsversuch**

Von R. KENNEL

*(Aus dem Institut für Ertragskunde der Bayer. Forstlichen Forschungsanstalt)*

**I. Zweck des Versuches**

Es ist schon lange bekannt, daß die Umfangmessung bei wiederholten Messungen besser übereinstimmende Werte liefert als die Klappung (LARS TIRÉN, 6). Die aus den

KENNEL R. 1959 - 1

Umfängen berechnete Kreisfläche ist aber in der Regel um 2 bis 3 % größer als die geklupppte (4, 5). Diesen Unterschied führte man früher allein darauf zurück, daß die Form der Baumquerschnitte von der Kreisform mehr oder weniger abweicht und der Umfang der Bäume im Verhältnis zu deren Querfläche größer ist als beim Kreis. Man hielt deshalb die Umfangmessung im allgemeinen für ungenau. G. MÜLLER (4) hat nun nachgewiesen, daß mit der Umfangmessung die von der Kreisform abweichenden Baumquerschnitte theoretisch nur um etwa 0,3 bis 0,5 % zu groß gemessen werden. Eine darüber hinausgehende Abweichung muß andere Ursachen haben. Das heißt, die Umfangmessung ist für die *Grundflächenbestimmung* fast ebensogut brauchbar wie die Kluppung; für die *Zuwachsbestimmung* scheint die Umfangmessung sogar überlegen zu sein, da sie bei wiederholten Messungen konstantere Werte liefert.

Um Klarheit über diese Fragen zu bekommen, wurden auf Anregung von Prof. Dr. ASSMANN Vergleichsmessungen mit Kluppe und Umfangmeßband durchgeführt.

## II. Die Versuchsanordnung

Die Messungen fanden statt am 6. September 1957 auf einer 0,2 ha großen, ca. 50jährigen Fichtenversuchsfläche im Perlacher Forst des Forstamtes München-Süd auf der Münchener Schotterebene.

Die 222 Fichten der Versuchsfläche sind numeriert, die Meßstellen in 1,3 m Höhe über dem Erdboden sind durch ein weißes Ölfarbenkreuz markiert. Die Messungen wurden durch vier verschiedene Personen (Assistenten und geübte Hilfskräfte) wie normale Versuchsflächenaufnahmen vorgenommen, wobei jeweils eine Person maß und eine andere die Meßwerte notierte.

Bei der kreuzweisen Kluppung wurde eine 60-cm-Flury-Kluppe mit Millimeterteilung einmal mit der Schiene, einmal mit dem festen Schenkel an die Meßmarke angelegt. Für die Umfangmessungen wurden Stahlmeßbänder mit Millimeterteilung (2 m lang, 6 mm breit, 0,08 mm dick), wie sie für medizinische Zwecke gebräuchlich sind, verwendet. Die Reihenfolge der Messungen geht aus Übersicht 1 hervor.

### Übersicht 1

#### Reihenfolge der Messungen (222 Fichten, Meßstelle markiert, kreuzweise Kluppung)

Lfd. Nr. der Messung	Art der Messung	messende Person	Zahl der Einzelmessungen	
			Kluppung	Umfangm.
1	Umfangmessung	S.		222
2	Umfangmessung	B.		222
3	Umfangmessung	S.		222
4	Umfangmessung	B.		222
5	Kluppung	Sch.	444	
6	Kluppung	S.	444	
7	Umfangmessung	M.		222
8	Kluppung	Sch.	444	
9	Umfangmessung	M.		222
10	Kluppung	S.	444	
			1776	1332

### III. Die Ergebnisse des Versuches

#### 1. Grobe Meßfehler

Als erstes wurden die Differenzen ermittelt, die zwischen je zwei Messungen des gleichen Durchmessers bzw. Umfanges durch die gleiche Person auftraten (Übersicht 2).

#### Übersicht 2

Differenzen zwischen je 2 Messungen des gleichen Durchmessers bzw. Umfanges durch dieselbe Person

Klappung			Umfangmessung		
Differenz zwischen zwei Messungen	Häufigkeit		Differenz zwischen zwei Messungen	Häufigkeit	
mm	absolut	in %	mm	absolut	in %
0	325	36,6	0	211	31,7
1	350	39,4	1	284	42,6
2	126	14,2	2	90	13,5
3	53	6,0	3	43	6,4
4	9	1,0	4	17	2,6
5	12	1,4	5	6	0,9
6	5	0,6	6	5	0,7
7	4	0,4	7	5	0,7
8	—	—	8	2	0,3
9	1	0,1	9	1	0,2
10	2	0,2	39	1	0,2
20	1	0,1	76	1	0,2
	888	100,0		666	100,0

Es überrascht zunächst, daß trotz sorgfältiger Messung bei der Klappung wie bei der Umfangmessung offensichtlich grobe Meßfehler unterlaufen sind. Die Ursachen für diese Fehler sind wahrscheinlich andere als die Ursachen für die normalen Meßfehler, die allein hier untersucht werden sollen. Außerdem würden bei einer normalen Versuchsflächenaufnahme beim Vergleich mit den früheren Meßwerten solche offenkundig fehlerhaften Messungen sofort auffallen. Aus diesen Gründen wurden für die weiteren Berechnungen 5 grobe Meßfehler korrigiert<sup>1</sup>.

Auffallend ist, daß bei der Klappung Differenzen von 5 mm fast doppelt so oft auftreten, wie bei normaler Fehlerverteilung zu erwarten wäre. Entweder wurden die 5- und 10-mm-Striche an der Kluppe manchmal verwechselt, oder es wurde aus Versehen die Kante des beweglichen Klappenschenkels als Ablesemarke angesehen und nicht der Ablesestrich, der etwa 5 mm von der Kante entfernt ist. Um diese Fehlermöglichkeit auszuschalten, kann man bei der Flury-Kluppe das kleine Metallplättchen, in das der Ablesestrich eingraviert ist, an der freien Ecke abrunden. Beim Vergleich von Klappung und Umfangmessung ist zu beachten, daß ein Durchmesserfehler von 1 mm den gleichen Grundflächenfehler ergibt wie ein Umfangmeßfehler von 3,14 mm.

<sup>1</sup> Bei Klappung Nr. 5 wurden 2 Abweichungen von 10 mm und eine von 20 mm, bei Umfangmessung Nr. 1 eine Abweichung von 39 mm, bei Umfangmessung Nr. 9 eine solche von 76 mm ausgeglichen. Als korrigierter Wert wurde das arithmetische Mittel der 3 (bzw. 5) Wiederholungen genommen.

## 2. Die Gesamtgrundfläche bei Klappung und Umfangmessung

In Übersicht 3 sind die Ergebnisse der Grundflächenberechnungen für jede Einzelaufnahme wiedergegeben. Aus den Durchmessern wurde die Grundfläche als Produkt der zwei senkrecht aufeinanderstehenden Durchmesser, multipliziert mit  $\frac{\pi}{4}$ , berechnet. Das ist die Fläche einer Ellipse mit den gemessenen Durchmessern als Hauptachsen.

Die Klappungen ergaben im Mittel eine Grundfläche von 8,1636 qm, die Umfangmessungen von 8,3380 qm, das sind 2,14 % mehr.

G. MÜLLER (4) hat an Hand theoretischer Überlegungen nachgewiesen, daß der systematische, positive Fehler bei der Grundflächenberechnung aus dem Umfang bei normaler Exzentrizität nicht mehr als 0,3 bis 0,5 % beträgt. Größere Unterschiede

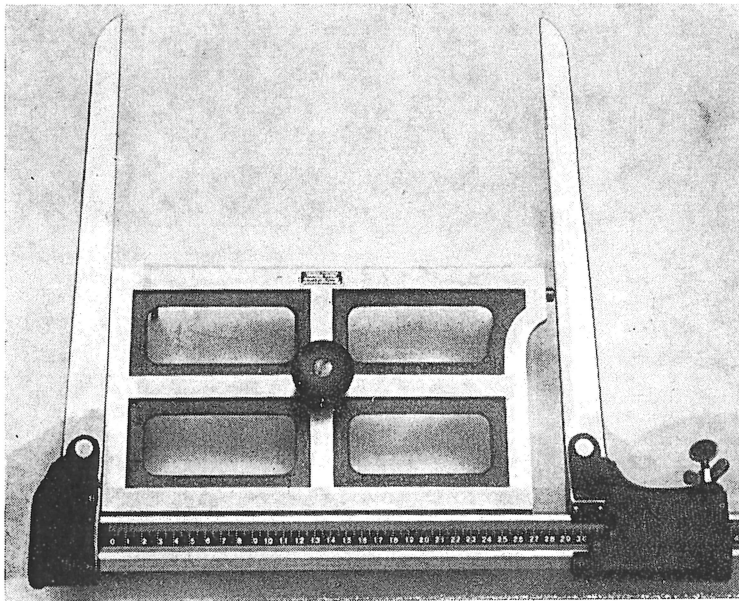


Abb. 1. Kluppenprüfgerät (nach ASSMANN)

zwischen der Grundflächenberechnung aus Durchmesser und Umfang müssen andere Ursachen haben. Da der Wind die Querschnittsform der Stämme einseitig beeinflusst (4) und da das Meßkreuz an allen Bäumen in der gleichen Himmelsrichtung liegt, ist es möglich, daß die Klappung einen systematischen Fehler enthält, der bei der Umfangmessung nicht auftritt.

Ein systematisch negativer Grundflächenfehler könnte bei der Klappung durch Sperren der Kluppe ausgelöst werden; auf diese Weise würde

die fragliche Differenz vergrößert werden. Beim vorliegenden Versuch wurden die benutzten Fluryschen Kluppen jeweils vor Gebrauchnahme mit einem Kluppenprüfgerät (E. ASSMANN, 1, 2) justiert (Abb. 1), so daß diese Fehlermöglichkeit entfällt.

Eine andere Fehlermöglichkeit liegt darin, daß bei der Klappung ein wesentlich höherer Druck auf eine kleinere Fläche der Rinde ausgeübt wird als bei der Umfangmessung, was ein Zusammenpressen der Rinde zur Folge haben kann. Daß beim Messen mit der Kluppe die Rinde stets etwas zusammengedrückt wird, geht auch daraus hervor, daß die Abweichungen der 2. von der 1. Messung der gleichen Person bei der Klappung mit  $-0,24\%$  und  $-0,34\%$  der Grundfläche vier- bis fünfmal größer als bei der Umfangmessung und außerdem nur negativ sind (siehe Übersicht 3):

Die Unterschiede zwischen den Messungsergebnissen verschiedener Personen sind bei Klappung und Umfangmessung von gleicher Größenordnung. Es treten je nach dem Temperament der messenden Personen Differenzen bis zu  $0,85\%$  der Grundfläche auf. Die Unterschiede zwischen zwei Messungen der gleichen Person sind dagegen bei der Umfangmessung mit  $\pm 0,05$  bis  $0,08\%$  der Grundfläche wesentlich kleiner als bei der Klappung ( $-0,24$  bzw.  $-0,34\%$ ).

Bei vorliegendem Versuch wurde den Meßpersonen keine Anweisung gegeben, wie fest sie die Kluppe andrücken oder wie straff sie das Meßband spannen sollen. Mit der

## Übersicht 3

**Grundfläche bei Klappung und Umfangmessung**  
 (222 Stämme, 5 grobe Meßfehler korrigiert)

Messung Nr.	Messende Person	Grundfläche		Abweichung vom arithm. Mittel	Abweichung der 2. von der 1. Mes- sung der gleichen Person
		qm	%	%	%
Klappung (kreuzweise, mm)					
5	Sch.	8,1910	100,34	+ 0,34	
8	Sch.	8,1714	100,10	+ 0,10	— 0,24
6	S.	8,1598	99,95	— 0,05	
10	S.	8,1322	99,61	— 0,39	— 0,34
arithm. Mittel:		<b>8,1636</b>	100,00		
Umfangmessung (mm)					
1	S.	8,3411	100,04	+ 0,04	
3	S.	8,3345	99,96	— 0,04	— 0,08
2	B.	8,3689	100,37	+ 0,37	
4	B.	8,3734	100,42	+ 0,42	+ 0,05
7	M.	8,3077	99,63	— 0,37	
9	M.	8,3025	99,57	— 0,43	— 0,06
arithm. Mittel:		<b>8,3380</b>	100,00		

## Übersicht 4

**Verschiedene Berechnungsarten der Grundfläche**  
 (222 Stämme, 3 grobe Meßfehler korrigiert)

Berechnungsart	Klup- pung 5 Sch.	Klup- pung 8 Sch.	Klup- pung 6 S.	Klup- pung 10 S.	arithm. Mittel	Mittl. Abwei- chung vom arithm. Mittel %
a $(d_1 \cdot d_2) \cdot \frac{\pi}{4}$	m <sup>2</sup> 8,1910 %/o 100,00	8,1714 100,00	8,1598 100,00	8,1322 100,00	<b>8,1636</b> 100,00	± 0,30
b $\left(\frac{d_1 + d_2}{2}\right)^2 \cdot \frac{\pi}{4}$	m <sup>2</sup> 8,1958 %/o 100,06	8,1763 100,06	8,1638 100,05	8,1356 100,04	<b>8,1679</b> 100,05	± 0,31
c desgl. nach 1-cm-Stufen	m <sup>2</sup> 8,2153 %/o 100,30	8,1901 100,23	8,1678 100,10	8,1296 99,97	<b>8,1757</b> 100,15	± 0,45
d $\frac{d_1^2 + d_2^2}{2} \cdot \frac{\pi}{4}$	m <sup>2</sup> 8,1999 %/o 100,11	8,1806 100,11	8,1686 100,11	8,1405 100,10	<b>8,1724</b> 100,11	± 0,30
e desgl. nach 1-cm-Stufen	m <sup>2</sup> 8,2082 %/o 100,21	8,1815 100,12	8,1740 100,17	8,1365 100,05	<b>8,1751</b> 100,14	± 0,36

Kluppe kann bei unvernünftiger Handhabung ein Druck bis zu 12 kg auf die Rinde ausgeübt werden, wie man mit einer Federwaage leicht feststellen kann. LARS TIRÉN (6) hat an Kiefern experimentell ermittelt, daß bei verschieden starkem Andrücken

der Kluppe individuell bedingte Abweichungen bis zu 3–3,5 % der Grundfläche möglich sind.

Die Kraft, mit der das Meßband von Hand gespannt werden kann, hat dagegen eine natürliche, obere Grenze bei etwa 2 kg. Darüber rutscht das Band zwischen Daumen und Zeigefinger durch. Wenn man darauf achtet, daß das Meßband immer so fest wie möglich angezogen wird, muß die Umfangmessung weniger schwankende Werte ergeben als die Kluppung.

### 3. Verschiedene Berechnungsarten der Grundfläche

Übersicht 4 zeigt die Ergebnisse verschiedener Berechnungsarten der Grundfläche aus den Durchmessern. Die Grundfläche wurde zunächst als Fläche einer Ellipse berechnet, bei der die beiden gemessenen Durchmesser  $d_1$  und  $d_2$  die Hauptachsen bilden. Diese Art der Berechnung ist die genaueste (TIRÉN, L., 6) und läßt sich mit einer Rechenmaschine am leichtesten ausführen. Es wird die Summe aller Produkte  $d_1 \cdot d_2$  gebildet und am Schluß mit  $\frac{\pi}{4}$  multipliziert. Die anderen Berechnungsarten unterstellen den

Kreis als Querschnittsform. Dabei werden entweder die beiden Durchmesser  $d_1$  und  $d_2$  vor der Berechnung der Kreisfläche arithmetisch gemittelt, oder es wird für jeden der beiden Durchmesser zuerst die Kreisfläche berechnet und dann das arithmetische Mittel der beiden Kreisflächen genommen. Im vorliegenden Versuch ergibt das Verfahren der Durchmessermitteilung 0,05 %, die Kreisflächenmitteilung 0,11 % mehr Fläche als die Berechnung nach der Ellipsenformel.

Steht für die Grundflächenermittlung nur eine Kreisflächentafel und keine Rechenmaschine zur Verfügung, so werden zur Erleichterung der Rechnung meist 1-cm-Durchmesserstufen gebildet. Um einen Überblick über die dabei entstehenden Fehler zu bekommen, wurde auch diese Berechnung vorgenommen. Bei Berechnungsart c (Übersicht 4) wurden die aus  $d_1$  und  $d_2$  gemittelten Durchmesser in 1-cm-Stufen zusammengefaßt, bei Berechnungsart e wurden die Durchmesser  $d_1$  und  $d_2$  getrennt auf 1-cm-Stufen verteilt und am Schluß der Berechnung das Mittel aus beiden Kreisflächenberechnungen gebildet.

Bei der häufig angewandten Berechnungsart c (Übersicht 4) nach 1-cm-Stufen wird der mittlere Fehler der Gesamtgrundfläche um die Hälfte größer als bei genauer, einzelstammweiser Berechnung ( $\pm 0,45$  % gegenüber  $\pm 0,30$  %).

## IV. Fehlerberechnung

Der gesamte Meßfehler, berechnet aus den Abweichungen der 4 Kluppungen (2 Personen, 2 Kluppen, 222 Stämme) vom arithmetischen Mittel (8,1636 qm) beträgt  $\pm 0,30$  % der Grundfläche. Für die 6 Umfangmessungen (3 Personen) und eine mittlere Grundfläche von 8,3380 qm ergibt sich ein Meßfehler von  $\pm 0,36$  %. Umgerechnet auf 100 Stämme betragen die Fehler  $0,30 \cdot \sqrt{222 : 100} = \pm 0,45$  % bzw.  $0,36 \cdot \sqrt{222 : 100} = \pm 0,54$  %.

Die Kluppung scheint danach genauer zu sein. Bei der geringen Zahl der Messungen muß man jedoch mit der Beurteilung vorsichtig sein. Das Ergebnis gilt nur für einwandfrei am Prüfgerät (1) justierte Kluppen. Ein Kluppenfehler von  $\pm 1$  mm bewirkt (bei dem hier in Frage kommenden mittleren Durchmesser von 21,6 cm) schon einen Kreisflächenfehler von  $\pm 0,93$  %. Der Gesamtmeßfehler für die Kluppung von 100 Fichten würde dann bereits  $\sqrt{0,45^2 + 0,93^2} = \pm 1,03$  % betragen.

Systematische Fehler wirken sich besonders stark auf den Grundflächenzuwachs aus. Wird z. B. die Grundfläche am Anfang einer 5jährigen Zuwachsperiode mit einer Kluppe gemessen, die nur um 1 mm sperrt, am Ende der Periode aber mit einer justierten Kluppe, so wird der Zuwachs (bei 21,6 cm Mitteldurchmesser am Anfang der Periode und 18 % Grundflächenzuwachs in 5 Jahren) unabhängig von der Zahl der gemessenen Stämme um  $0,93 : 18 \cdot 100 = 5,16 \%$  zu groß festgestellt!

Um die individuell bedingten, systematischen Fehler auszuschalten, wurde der mittlere Fehler bei Kluppung und Umfangmessung auch aus je 222 *Doppelmessungen der gleichen Person* nach der Formel

$$s^2 = \frac{\sum w_i^2}{2 N}$$

berechnet (7), wobei  $s$  der mittlere Fehler,  $w_1 \dots w_n$  die Differenz zwischen 2 Messungen,  $N$  die Anzahl der Doppelmessungen (hier 222) ist.

Diese Formel ist aus der allgemeinen Formel für die Berechnung des mittleren Fehlers:

$$s^2 = \frac{\sum z_i (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}$$

abgeleitet.

Es wird unterstellt, daß der absolute Durchmesserfehler proportional dem gemessenen Durchmesser ist.

Der mittlere Fehler einer Einzelmessung betrug bei der Kluppung  $\pm 0,53 \%$  des Durchmessers, bei der Umfangmessung  $\pm 0,19 \%$  des Umfanges eines Stammes (Übersicht 5).

#### Übersicht 5

##### Mittlere Fehler bei Kluppung und Umfangmessung durch die gleiche Person (222 Stämme, 5 grobe Meßfehler korrigiert)

Messung Nr.	Messende Person	Durchmesser	arithm. Mittel aller Durchm. bzw. Umfänge	Mittlerer Fehler einer Einzelmessung	
			mm	mm	%
Kluppung (kreuzweise; mm)					
5/8	Sch.	$d_1$	208,3	$\pm 1,058$	$\pm 0,51$
5/8	Sch.	$d_2$	212,8	$\pm 1,266$	$\pm 0,59$
6/10	S.	$d_1$	208,1	$\pm 0,975$	$\pm 0,47$
6/10	S.	$d_2$	212,2	$\pm 1,158$	$\pm 0,55$
			210,4	$\pm 1,120$	$\pm 0,53$
Umfangmessung (mm)					
2/4	B.		668,9	$\pm 1,443$	$\pm 0,22$
7/9	M.		666,2	$\pm 1,085$	$\pm 0,16$
1/3	S.		667,5	$\pm 1,209$	$\pm 0,18$
			667,5	$\pm 1,254$	$\pm 0,19$

Wird der Durchmesser kreuzweise gemessen, so ermäßigt sich der mittlere Fehler für den gemittelten Durchmesser auf  $0,53 : \sqrt{2} = \pm 0,38 \%$ , er ist dann immer noch zweimal so groß wie der mittlere Fehler des Umfangs.

Der prozentuale Kreisflächenfehler ist doppelt so groß wie der prozentuale Durchmesserfehler; er beträgt also bei kreuzweiser Klappung auf mm für einen Stamm  $2 \cdot 0,38 = \pm 0,76 \%$ , für die Umfangmessung (auf mm genau) eines Stammes  $2 \cdot 0,19 = \pm 0,38 \%$ .

Der Grundflächenfehler eines ganzen Bestandes ist von der Zahl der gemessenen Stämme abhängig. Für einen Bestand mit 100 Bäumen errechnet sich ein mittlerer Fehler von  $0,76 : \sqrt{100} = \pm 0,076 \%$  der Grundfläche bei der Klappung und von  $0,38 : \sqrt{100} = \pm 0,038 \%$  bei der Umfangmessung (Messung durch die gleiche Person vorausgesetzt).

Zum Vergleich seien die Ergebnisse von H. A. MEYER (3) angeführt. Die Messungen wurden nach den Methoden der Forsteinrichtung mit Klappstufen verschiedener Breite mit verschiedenen Personen und mehreren Kluppen ohne stammweise Numeration durchgeführt. Die Meßstelle war durch einen Reißerstrich markiert. (Gesamtgrundfläche 284,29 m<sup>2</sup>, Stammzahl 3720).

H. A. MEYER (3) bezieht den Grundflächenfehler auf 100 m<sup>2</sup> Grundfläche und gibt für einfache Klappung mit Durchmesserstufen von 1, 2 und 4 cm jeweils den gleichen mittleren Fehler von  $\pm 0,26 \%$  an. Umgerechnet auf die Stammzahl 100 betrug der mittlere Fehler bei H. A. MEYER  $0,26 \cdot \sqrt{3720 : 284,29} = \pm 0,94 \%$  der Grundfläche.

### Zusammenfassung

1. An 222 Fichten wurden folgende Messungen vorgenommen:  
Klappung: durch 2 verschiedene Personen je zweimal kreuzweise = 4 Messungen;  
Umfangmessung: durch 3 verschiedene Personen je zweimal = 6 Messungen.
2. Die Umfangmessungen ergaben eine um 2,14 % größere Grundfläche als die Klappungen. Ein Teil der positiven Abweichung der Grundflächenbestimmung aus dem Umfang ist darauf zurückzuführen, daß die Kluppe mehr oder weniger stark in die Rinde eingedrückt wurde.
3. Der mittlere Fehler, bezogen auf 100 Bäume, betrug bei der Klappung zweier senkrecht aufeinanderstehender Durchmesser  $\pm 0,45 \%$  (2 verschiedene Personen), bei der Umfangmessung  $\pm 0,54 \%$  der Grundfläche (3 verschiedene Personen).
4. Die subjektive Meßweise spielt sowohl bei der Kluppe wie beim Umfangmeßband eine Rolle. Sie kann offenbar zu erheblichen systematischen Fehlern im Grundflächenzuwachs führen.
5. Bei der Umfangmessung durch ein und dieselbe Person fallen die zufälligen Meßfehler wesentlich kleiner aus. Die erzielbare Genauigkeit der Bestimmung der Grundfläche und des Grundflächenzuwachses ist bei der Umfangmessung größer, wenn die möglichen Fehler durch subjektive Meßweise (stärkeres oder geringeres Anziehen des Meßbandes) vermieden werden.

### Literatur

1. ASSMANN, E.: Ein Kluppenprüfgerät. Forstarchiv 1938, S. 37. — 2. ASSMANN, E.: Holzmeßlehre. Neudammer Forstl. Lehrbuch, 3. Aufl., 6. Lieferung 1957, S. 221. — 3. MEYER, H. A.: Die rechnerischen Grundlagen der Kontrollmethoden. Beiheft zu den Zeitschriften des Schweizerischen Forstvereins Nr. 13, Zürich 1934. — 4. MÜLLER, G.: Untersuchungen über die Querschnittsformen der Baumschäfte. 1. Mitteilung: Forstw. Cbl. 1957, S. 34. 2. Mitteilung: Forstw. Cbl. 1958, S. 41. — 5. SCHMIDTBORN: Soll man die Stärke (Querfläche) der Modellstämme nach



den Durchmessern oder nach dem Umfang ermitteln? A. F. u. J. Z. 1863, S. 408. — 6. TIRÉN, L.: Über Grundflächenberechnung und ihre Genauigkeit. Mitteilungen aus der forstlichen Versuchsanstalt Schwedens, Stockholm 1929, S. 229. — 7. WEBER, E.: Grundriß der biologischen Statistik, Jena 1956.