

Einige Fragestellungen der forstlichen Nachkommenschaftsprüfung

Von HELGE JOHNSSON

(Eingegangen am 28. 6. 1952)

Die forstliche Züchtung ist zweifellos einer der schwierigsten Zweige der angewandten Biologie, der noch im ersten Anfang seiner Entwicklung steht. Viele ihrer Probleme sind zwar lokaler Natur, aber die grundsätzlichen Fragen sind immer die gleichen. Die Methoden der Nachkommenschaftsprüfung stellen einen solchen Fragenkomplex von fundamentaler Bedeutung dar, worüber eine Diskussion dringend notwendig ist. Es werden deshalb nachfolgend einige Probleme auf diesem Gebiet kurz diskutiert.

Pflanzenanzucht und Pflanzensortierung

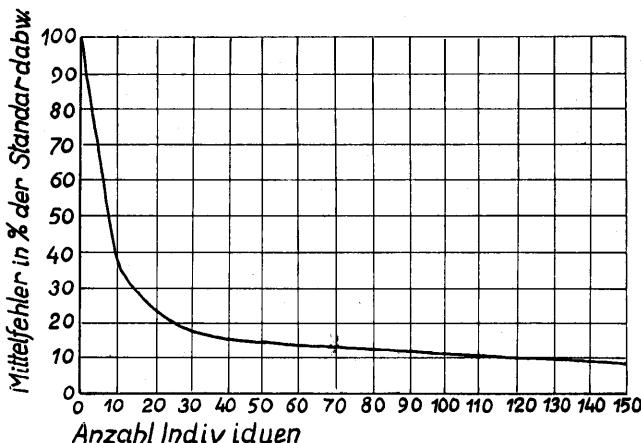
In der Regel werden die Versuchskulturen durch Auspflanzung von in der Baumschule erzogenem Material angelegt. Schon hier ergeben sich gewisse Schwierigkeiten. In der forstlichen Praxis werden wohl immer schwache und mißgebildete Pflanzen sowohl vor der Verschulung als auch vor der Auspflanzung fortgeworfen. Neben dieser bewußten Auslese erfolgt fast immer bei Anwendung der üblichen Anzuchtmethoden in den Baumschulen auch eine automatische Eliminierung von Pflanzen. Besonders in den Saatbeeten ist der Pflanzenbestand oft dicht, so daß ein Teil der Pflanzen unterdrückt wird und zugrunde geht. Nicht selten wird der Pflanzenbestand durch Krankheiten, insbesondere durch Keimbrand, verringert. Die Aufzucht in der Baumschule führt somit zu einer beinahe regellosen Pflanzenausscheidung. Diese Ausscheidung dürfte zwar in der Regel rein quantitativ sein, wir müssen aber, wie bei jeder Eliminierung, damit rechnen, daß sie auch selektiv sein kann. Wir riskieren also, daß die Nachkommenschaften, die wir im Versuch auspflanzen, nicht die ganze Variation in sich schließen. Die Frage ist nun, ob wir durch Anwendung von verfeinerten Anzuchtmethoden versuchen sollen, diesen unkontrollierten Abgang zu vermeiden, oder ob wir diesem Tatbestand auf eine andere Weise Rechnung tragen. Durch Einzelkornaussaaten unter Glas in Töpfen oder anderen Behältern kann man natürlich den Abgang der Keimpflanzen wesentlich verringern, wenn auch das Ideal — *eine* Pflanze von *jedem* keimfähigen Samen — ziemlich schwer zu erreichen ist. Für Untersuchungen vorzugsweise theoretischer Art, insbesondere für Untersuchungen qualitativer Eigenschaften, muß man sicherlich bestrebt sein, durch verfeinerte Anzuchtmethoden den Abgang möglichst niedrig zu halten, um in den Versuch die Variation so vollständig wie möglich übernehmen zu können. Ist das Hauptziel der Versuchskultur dagegen, den Wert der Nachkommenschaft in der praktischen Forstwirtschaft festzustellen, sei es hinsichtlich einer frequenzmäßig auftretenden Eigenschaft oder hinsichtlich der Massenproduktion, so muß das Versuchsmaterial nach den forstlichen Baumschulmethoden aufgezogen werden, um es dem gleichen Selektionsdruck auszusetzen, unter dem auch das normale Forstkulturmateriel vor der Auspflanzung zu stehen pflegt. Wenn es sich um ein großes Versuchsmaterial handelt, ist dies schon aus praktischen und ökonomischen Gesichtspunkten notwendig. Wir müssen für diesen

Fall infolgedessen dazu Stellung nehmen, wie stark und auf welche Weise eine Pflanzensortierung erfolgen soll. Sollen alle Pflanzen unter einer bestimmten Größe fortgeworfen werden, wodurch in schwachwüchsigen Nachkommenschaften eine stärkere Ausscheidung bewirkt wird als in wüchsigeren, oder soll ein frequenzmäßig gleicher Teil bei allen Nachkommenschaften in Fortfall kommen? Am Ekeboinstitut werden etwa entsprechend dem Vorgehen in den schwedischen Forstpflanzenanzuchtbetrieben 15 bis 20% der schlechtesten Pflanzen beim Verschulen und ca. 5% bei der Pflanzung ausgeschieden. Es ist selbstverständlich unmöglich, diese Sortierung völlig gleichförmig durchzuführen. Vor allem muß davor gewarnt werden, je nach der Höhe des Pflanzenvorrats verschieden stark zu sortieren. Es ist ja oft so, daß in einem Versuchsmaterial bei verschiedenen Nachkommenschaften mehr oder weniger große Pflanzenzahlen vorhanden sind. Besonders wenn von einer Nachkommenschaft zu wenig Pflanzen oder gerade noch die für einen Versuch erforderlichen Pflanzenzahlen vorhanden sind, muß vermieden werden, von diesen kleinen Nachkommenschaften sämtliche Pflanzen, von anderen zahlenmäßig größeren Nachkommenschaften nur den besseren Teil zu verwenden. In gleicher Richtung könnte noch vieles hinzugefügt werden — es sei nur als Beispiel der Zusammenhang zwischen Samengröße und Pflanzenentwicklung erwähnt —, doch sei es mit dem Gesagten genug.

Individuenanzahl, Größe und Form der Parzellen

Eine besonders wichtige Frage ist die Größe der Nachkommenschaften. Es ist praktisch schwer, mit großen Nachkommenschaften zu arbeiten, und deshalb wäre es besonders wichtig zu wissen, mit wie *kleinen* Nachkommenschaften man noch ohne Gefahr für den Versuchszweck arbeiten kann. Die Größe der Nachkommenschaften ist in gewisser Hinsicht abhängig von den Eigenschaften, die man untersuchen will. Die meisten Versuchskulturen dürften als Hauptziel haben, die Massenproduktion je Flächeneinheit unter gegebenen Voraussetzungen während einer langen Folge von Jahren zu studieren. Jede Sorte wird dabei auf eine oder mehrere Parzellen gepflanzt. Der Ausgangspunkt zur Beurteilung der Größe der Nachkommenschaften liegt folglich darin, die Größe der Parzellen abzuwagen. Die Individuenanzahl je Parzelle muß vor allem so groß sein, daß der sog. *Probenahmefehler*, d. h. der mittlere Fehler *in* den Parzellen, mäßig bleibt. Der Probenahmefehler (*m*) ist direkt proportional der Variationsbreite (*s*) und umgekehrt proportional zur Wurzel aus der Individuenanzahl (*n*) nach der bekannten Formel $m = \frac{s}{\sqrt{n}}$. Für ein Individuum ist $m = \pm s$. Der Wert für *m* sinkt mit zunehmender Individuenanzahl anfangs schnell, später langsam: Für 20 Individuen ist $m = 0,22 s$, für 30 Individuen $= \pm 0,18 s$. (Fig 1.) Daraus ergibt sich, daß schon eine Zahl von ca. 30 Individuen per Parzelle ausreichend sein kann, wenn die Bepflanzung von Anfang an im Endverband erfolgte,

d. h. wenn die Bäume während der ganzen oder einem großen Teil der Versuchszeit solitär erwachsen. Das Gleiche würde gelten, wenn man sich irgendeiner Zwischenkultur bediente. SCHRÖCKS (1951) Auffassung, daß 9 Bäume je Parzelle mehr als genug sind, kann man wohl nicht ohne weiteres zustimmen.



Figur 1. Zusammenhang zwischen der Individuenanzahl und dem Mittelfehler in % der Standardabweichung.

Nachkommenschaftsversuche in derartig weiten Verbänden können zwar in besonderen Fällen vorkommen, gewöhnlich will man aber doch Produktions- und Qualitätseigenschaften in normalem Forstverband bis zu einem vergleichsweise hohen Alter untersuchen. Die Versuche müssen dann durchforstet werden, wodurch die Individuenanzahl sinkt. Wenn man damit rechnet, daß ein Versuch fortgeführt werden soll, bis dessen Individuenanzahl auf $\frac{1}{4}$ reduziert ist, müßte man also mit ca. 120 Individuen beginnen. Dabei müßte aber noch beachtet werden, daß im Verlauf der Bestandesentwicklung der Wert für „s“ vermindert wird, wenn die Durchforstungsmethode zu einer Bevorzugung bestimmter Glieder der Population führt.

Es sind indessen nicht nur der Probenahmefehler und die Durchforstungsfrage, die die Individuenanzahl bestimmen. Eine sehr wichtige Frage ist die *Nachbareinwirkung* in einer Versuchskultur mit normalem Schluß. Wenn die Parzellen aus einer einzigen Reihe bestehen, wird eine in der Jugend schwachwüchsige Nachkommenschaft unterdrückt oder getötet von angrenzenden Reihen mit in der Jugend starkwüchsigen Nachkommenschaften, und man bekommt qualitative, aber nicht quantitative Versuchsergebnisse. Diese Nachbareinwirkung wird größer, je heterogener das Versuchsmaterial ist. Mit Sicherheit erstreckt sich diese bei höherem Alter auf mindestens 15 m von der Parzellenkante aus. Wenn man also z. B. einen zentralen, durch die Nachbarparzellen unbbeeinflußten Parzellenteil, der ursprünglich mit 100 Bäumen bepflanzt war, haben will, muß man bei einem Verband von $1,5 \times 1,5$ m 900 Bäume per Parzelle haben, oder eine Parzellengröße von 2025 m². In einem Versuch mit mehr homogenem Material ist indessen die Nachbareinwirkung von geringer Bedeutung, und in heterogenem Material kann man die Nachbareinwirkung beträchtlich durch Anwendung eines Versuchsplanes mit Kollektivparzellen vermindern, auf den später zurückgekommen wird. Der größte Nachteil mit kleinen Parzellen liegt zweifelsohne in der Gefahr, daß die Nachbareinwirkung besonders bei normalem Pflanzenverband schon in einem frühen Stadium allzusehr in Erscheinung tritt. Auch die

Form der Parzellen ist von Bedeutung für die Nachbareinwirkung. Quadratische Parzellen sind vorzuziehen, da sie von rechteckigen Flächen die kleinsten Randlängen besitzen. Es dürfte allerdings unmöglich sein, für ein größeres Versuchsmaterial die Parzellen so zu wählen, daß jede Nachbareinwirkung eliminiert werden kann. Am Ekeboinstitut versucht man mit 100 bis 150 Pflanzen auf jeder möglichst quadratischen Parzelle zu arbeiten.

Parzelleneinzahl oder Parzellenwiederholung

Die Verwendung solch kleiner Parzellen ist dadurch bedingt, daß die moderne Versuchstechnik Wiederholungen fordert. Es fragt sich daher, ob es nicht besser wäre, mit jeder Sorte eine einzige größere Fläche anstelle mehrerer kleiner Parzellen zu bepflanzen. Irgendeine endgültige Antwort auf diese Frage kann wohl nicht gegeben werden. Daß z. B. Provenienzversuche älterer Zeit ohne Wiederholungen oder andere Vorkehrungen zur Ausgleichung von Bodendifferenzen unzufriedenstellend sind, liegt besonders dann auf der Hand, wenn man es mit mäßig großen Sortenunterschieden zu tun hat. Die Möglichkeit, nicht wiederholte Versuchsflächen mit Standardparzellen als Maßstab für Bodendifferenzen zu vergleichen, muß im Auge behalten werden. Hierfür sei folgendes Beispiel besprochen (Fig. 2): Ein Versuchsfeld sei

Kontrolle	1	2	3	4
5	6	7	Kontrolle	8
9	Kontrolle	10	11	12
13	14	15	16	Kontrolle
17	18	Kontrolle	19	20

Figur 2. Plan für einen Versuch ohne Wiederholungen mit Kontrollparzellen.

in 25 Rechtecke eingeteilt, von denen 5 mit einer Kontrollnachkommenschaft, 20 mit gleichvielen Versuchsorten bepflanzt seien. Man kann dann die Standardabweichung für die Kontrollparzellen berechnen und diese als angenäherten Schätzungsfehler beim Vergleich zwischen verschiedenen Sorten anwenden. Wenn das Versuchsfeld einigermaßen gleichförmig ist, können zumindest manchmal zuverlässige Versuchsresultate erhalten werden. Die Parzellen können vergrößert werden, und die Nachbareinwirkung wird vermindert. Ohne Kontrollparzellen ist indessen ein Versuch von diesem Typ ohne Wert, besonders dann, wenn die Differenzen nicht sehr groß sind, weil keine Basis für eine wirklich zutreffende statistische Fehlerberechnung gefunden werden kann. Es gibt Verfasser, die in solchen Versuchen den *mittleren Fehler* für die Variation innerhalb jeder Fläche ausrechnen und diesen als mittleren Fehler zum Vergleich zwis-

schen den verschiedenen Flächen anwenden. Dies ist selbstverständlich unzulässig. Äußersten Falles könnte man vielleicht die Varianz innerhalb der Flächen als eine sehr annähernde Fehlerschätzung anwenden.

Die Anzahl der Wiederholungen

Auch wenn man Versuche zum Studium der Möglichkeiten bei den forstlichen Nachkommenschaftsprüfungen ohne Wiederholungen nur mit Kontrollparzellen empirisch auswerten will, ist man doch gezwungen vorwiegend mit Wiederholungen zu arbeiten. Denn gerade die Einführung von Wiederholungen nebst der Zufallsverteilung stellt den größten Fortschritt der modernen Versuchstechnik dar. Dabei erhebt sich die Frage, wieviele Wiederholungen erforderlich sind. Auch in diesem Zusammenhang kann eine klare und eindeutige Antwort nicht gegeben werden. Die Schärfe eines Versuches ist ja von sehr vielen Umständen — z. B. Variation in den Parzellen, Heterogenität des Bodens, Größe der Sortenunterschiede, Freiheitsgraden der Fehlervarianz — abhängig. Auch kann der Versuchsplan an sich schon eine bestimmte Anzahl von Wiederholungen erfordern. Wir arbeiten in der Regel mit 3 bis 6, meistens mit vier Wiederholungen. Nur die Erfahrung kann zu einem Fortschritt in der Beurteilung dieses Problems führen.

Auch mit den angegebenen kleinen Parzellen und der geringen Anzahl Wiederholungen erfordert ein Versuch mit vielen Nachkommenschaften eine nicht un wesentliche Fläche. Mit 150 Pflanzen je Parzelle, vier Wiederholungen und 25 Nachkommenschaften wird die Versuchsfläche 3,36 Hektar bei einem Abstand von $1,5 \times 1,5$ m umfassen. Es wird sicherlich oft schwierig sein, einigermaßen homogene Flächen von dieser Größenordnung aufzufinden. Da nicht selten eine noch größere Anzahl Nachkommenschaften geprüft werden soll, sind den Wünschen hinsichtlich der Versuchsanordnung sehr oft ziemlich rasch praktische und ökonomische Grenzen gesetzt. Es muß dann nach anderen Auswegen gesucht werden. So kann man z. B. bei Unmöglichkeit der Auffindung ausreichend großer einheitlicher Flächen für jede Serie der Wiederholungen getrennte, nahe beieinanderliegende Flächen anlegen. Es kann auch oft wünschenswert sein, den Versuch in seiner Ganzheit auf verschiedenen Plätzen in dem beabsichtigten Züchtungsgebiet oder auf Böden von ungleicher Beschaffenheit zu wiederholen.

Die Wahl des Versuchsplanes

Die modernen Versuchspläne haben, wie gesagt, zwei dominierende Charakterzüge, Wiederholungen und Zufallsverteilung. Bei einer voll durchgeföhrten Zufallsverteilung sind die Parzellen der verschiedenen Wiederholungen regellos über das Versuchsfeld verteilt. Die Variation kann in einem solchen Fall auf die folgende Weise analysiert werden¹⁾:

Zwischen den Sorten	(p — 1) Freiheitsgrade
Fehler	p . (q — 1) Freiheitsgrade
Summe	pq — 1 Freiheitsgrade

Es ist indessen möglich, die Varianz für den Fehler durch Begrenzung der Zufälligkeit auf verschiedene Weisen zu reduzieren. Die ursprüngliche Methode hierfür ist, die Wiederholungen in einem Block so zu bringen,

¹⁾ Hierbei bezeichnet p die Anzahl Sorten und q die Anzahl der Wiederholungen.

dass eine Parzelle jeder Nachkommenschaft in einem Block enthalten ist. Diese von FISHER (1938) angegebene Methode führt zu der Analyse:

Zwischen den Sorten	(p — 1)	Freiheitsgrade
Zwischen den Blöcken	(q — 1)	Freiheitsgrade
Fehler	(q — 1) . (p — 1)	Freiheitsgrade
Summe	(pq — 1)	Freiheitsgrade

Der Fehler ist also auf diese Weise um $(q — 1)$ Freiheitsgrade reduziert worden, und der Teil der Totalvarianz, der zu diesen Freiheitsgraden gehört, kann sehr bedeutend sein, wenn die Blockgrenzen mit Unterschieden in der Bodenbeschaffenheit zusammenfallen. Blockversuche sind einfach, leicht verständlich und günstig, wenn die Zahl der Nachkommenschaften geringer ist als 10. Je größer die Zahl der Nachkommenschaften ist, desto größer werden die Blöcke. Damit wird die in den Blöcken vorliegende Variation gesteigert und die Schärfe des Versuches verringert. Dies gilt wahrscheinlich in besonders hohem Grade für forstliche Sortenversuche mit ihren relativ großen Parzellen. Ein Versuch mit vielen Nachkommenschaften birgt deshalb besondere Schwierigkeiten in sich. Man hat auf verschiedene Weise diese Schwierigkeiten zu überbrücken versucht. Einmal kann man einen Versuch in eine Anzahl kleinere Versuche aufteilen, die durch eine gemeinsame Standardsorte zusammengehalten werden.) Diese Lösung ist nicht besonders gut. Zum anderen kann man, wie YATES (1936) vorgeschlagen hat, Kontrollparzellen in die Blöcke einlegen. In der letzten Zeit geht die Entwicklung jedoch einen anderen Weg. Es wird mit „reduzierten“ Blöcken gearbeitet. Der erste dieser Versuchspläne ist von YATES (1936) vorgelegt worden, und danach ist eine große Anzahl Varianten ausgearbeitet worden. Eine zusammengefaßte Darstellung dieses Versuchsschemas findet man bei COCHRAN und Cox (1950). Folgende Haupttypen können unterschieden werden (ANDERSSON, GUSTAFSSON und JOHNSSON 1950):

- A. *Balanzierte Versuche*
 - a) mit separaten Wiederholungen
 - b) ohne separate Wiederholungen
- B. *Partiell balanzierte Versuche*
 - a) mit quadratischen Plänen
 - b) mit rechteckigen Plänen
 - c) mit kubischen Plänen

Allen diesen Plänen ist gemeinsam, daß jeder Block nur einen Teil der Nachkommenschaften enthält. In gewissen Versuchen können indessen die reduzierten Blöcke zu vollständigen Wiederholungen zusammengefaßt werden, so daß der Versuch teils nach dem speziellen Lageplan, teils wie ein gewöhnlicher Blockversuch bearbeitet werden kann.

Ein charakteristisches Beispiel für einen Versuch von diesem Typ ist der folgende, der neun Sorten mit vier Wiederholungen umfaßt und der als balanzierter Versuch mit separaten Wiederholungen zu bezeichnen ist. In jedem Block sind nur drei von den neun Sorten enthalten, aber die Blöcke, die jeweils in Dreizahl angeordnet sind, bilden vier separate Wiederholungen. Der Versuch wird auf folgende Weise konstruiert:

Wiederholung I		Wiederholung II		Wiederholung III		Wiederholung IV	
Block	Sorte	Block	Sorte	Block	Sorte	Block	Sorte
(1)	1 2 3	(4)	1 4 7	(7)	1 5 9	(10)	1 8 6
(2)	4 5 6	(5)	2 5 8	(8)	7 2 6	(11)	4 2 9
(3)	7 8 9	(6)	3 6 9	(9)	4 8 3	(12)	7 5 3

Nummer 4 ist beispielsweise in jeder Wiederholung einmal enthalten, aber des weiteren bilden die Blöcke 2, 4, 9 und 11 noch obendrein eine Wiederholung, in welcher Nummer 4 selbst viermal enthalten ist, aber jede übrige Sorte einmal. Das gleiche gilt auch für jede andere Sortennummer. Hierdurch wird eine Eliminierung der Bodendifferenzen quer über das Versuchsfeld möglich gemacht und folgende Verteilung der Freiheitsgrade erhalten:

Zwischen den Sorten	(p — 1)	Freiheitsgrade
Zwischen den Blöcken	(p — 1)	Freiheitsgrade
Zwischen den Wiederholungen	(q — 1)	Freiheitsgrade
Fehler	(q — 2) · (p — 1)	Freiheitsgrade
Summe	(pq — 1)	Freiheitsgrade

— Wenn wir nun die drei Versuchsmethoden vergleichen: 1) vollständige Zufallsverteilung, 2) Blockversuch und 3) Versuch mit reduzierten Blöcken für neun Sorten und vier Wiederholungen, finden wir, daß die Anzahl der Freiheitsgrade für den Fehler von ursprünglich 27 auf 24 bei der Blockeinteilung und auf 16 bei der Anwendung von reduzierten Blöcken vermindert wurde. Die Schärfe des Versuches ist auf diese Weise wesentlich gesteigert. Alle Versuchsanlagen mit reduzierten Blöcken enthalten eine starke Reduktion der Zufallsverteilung, was darin zum Ausdruck kommt, daß die verschiedenen Pläne ebenso eine bestimmte Anzahl Versuchsglieder wie eine bestimmte Anzahl von Wiederholungen fordern. Die Mehrzahl der Versuchspläne fordert soviele Wiederholungen, daß sie kaum für forstliche Versuche in Frage kommen können. Dessen ungeachtet, gibt es eine große Anzahl Varianten, die sich für unser Material eignen. Alle Versuche mit reduzierten Blöcken haben das Gemeinsame, daß die Parzellenmittelzahl bei der mathematischen Bearbeitung korrigiert wird. Hierbei treffen wir auf eine gewisse Anknüpfung an die alten, seit langem vergessenen Versuchspläne, die von KRISTENSEN (1925) und LINDHARD (1922) ausgearbeitet worden sind.

Bei der Behandlung der Nachbareinwirkung wurde die Möglichkeit angedeutet, diese Nachbareinwirkung durch Anwendung von Versuchen mit Kollektivparzellen zu verringern. Dies entspricht ungefähr den „split-plot“-Versuchen der englischen Terminologie. Wenn man es mit einem sehr heterogenen Versuchsmaterial zu tun hat, in welchem diskontinuierliche Unterschiede zwischen verschiedenen Gruppen von Nachkommenschaften zu erwarten sind, kann man die Nachkommenschaften, die denselben Hauptkategorie angehören, in kollektiven Parzellen zusammenfassen. Als Beispiel sei angenommen, daß eine Anzahl von Artbastardfamilien mit Nachkommenschaften beider Elternsorten verglichen werden sollen und daß die Artbastarde wesentlich starkwüchsiger sind als die Elternarten. Bei der üblichen Versuchsanlage kommt es dabei häufig vor, daß eine Parzelle der reinen Arten zwischen zwei Parzellen von Hybriden zu liegen kommt, wodurch eine starke Nachbareinwirkung auftritt. Um dieses zu vermeiden, kann man sämtliche Hybridenparzellen zu einer Kollektivparzelle zusammenfassen und sämtliche Parzellen der Eltern zu entsprechenden Kollektivparzellen. Ein Versuch mit fünf Familien von einem Artbastard und gleichvielen der beiden Elternarten in drei Wiederholungen kann auf diese Weise zu Kollektivparzellen in einem *römischen Quadrat* mit zufälliger Verteilung der Individuenkommenschaften in den Kollektivparzellen zusammengestellt werden. Ein

F_1	P_2	P_1
1 5 3 4 2 3 5	1 2 4 2 1 3 4 5	
P_1	F_1	P_2
2 4 3 1 5 4 1 3 2 5	3 5 4 2 1	
P_2	P_1	F_1
5 3 2 1 4 2 3 5 4 1 4 1 3 2 5		

Figur 3. Plan für einen Versuch mit „Kollektivparzellen“ (Siehe Text).

solcher Versuch wird folgendermaßen aussehen (Fig. 3). Wir haben hier die Kollektivparzellen F_1 , P_1 und P_2 und innerhalb jeder der Kollektivparzellen die verschiedenen Individuenkommenschaften 1 bis 5. Die Varianzanalyse kann folgendermaßen durchgeführt werden:

	Freiheitsgrade
Reihen (3 waagerechte Parzellenreihen)	2
Kolumnen (3 senkrechte Parzellsäulen)	2
Sorten	
Zwischen Kollektiven	2
Innerhalb P_1	4
Innerhalb P_2	4
Innerhalb F_1	4
Fehler	
Für Kollektive	2
Für P_1	8
Für P_2	8
Für P_3	8
Summe	44

Die Kollektive können dabei aus verschiedenen Arten und Hybriden wie im Beispiel, verschiedenen geographischen Rassen, verschiedenen Chromosomenzahlrassen usw. bestehen.

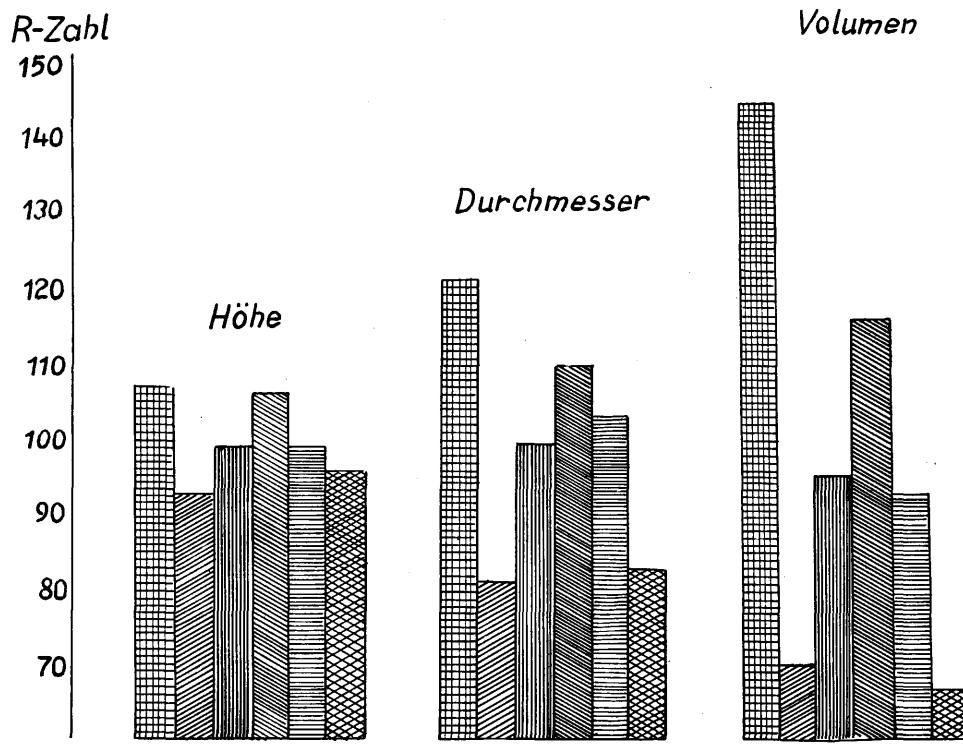
Die Behandlung der Versuchsflächen

Nachdem der Versuch nach einer mehr oder weniger komplizierten Methode angelegt worden ist, ergibt sich die Frage seiner weiteren Behandlung. Selbstverständlich ist ein möglichst vollkommener Pflanzungserfolg anzustreben und für einen wirksamen Schutz der Pflanzung gegen Beschädigung zu sorgen. Indessen wird immer ein größerer oder kleinerer Ausfall eintreten, so daß der Gedanke einer Nachbesserung der Kultur auftreten kann. Hierbei ist jedoch eine gewisse Vorsicht geboten, denn es ist ja denkbar, daß der Ausfall selektiv war. Bei einer Nachbesserung könnte man dann leicht eine Minusfraktion mit der durchschnittlichen Population ersetzen und dadurch einen großen Fehler in den Versuch hineinbringen. In Versuchen mit sehr raschwüsigem Material auf Normalverband ist übrigens eine Nachbesserung ziemlich zwecklos, da die ein oder zwei Jahre später gesetzte Pflanze unwiderruflich zurückbleibt. Die wichtigste Frage, die der Pflege eines Versuches im Normalver-

band gilt, betrifft die Durchforstung. Soll man systematisch durchforsten und auf welche Weise? Ich glaube, daß es nicht möglich ist, systematisch zu durchforsten, sondern der Versuch soll und muß in Übereinstimmung mit waldbaulichen Prinzipien durchforstet werden. Hierbei muß der Versuch als eine Einheit ohne Rücksicht auf die Parzelleneinteilung behandelt werden. Dieses führt dazu, daß die Stammanzahl verschieden schnell innerhalb der verschiedenen Nachkommenschaften reduziert wird, eine Tatsache, die an und für sich bereits ein Versuchsresultat ist, das in Übereinstimmung mit allen anderen Beobachtungen bearbeitet werden soll. In Versuchen mit Kollektivparzellen oder in Versuchen anderer Art mit sehr großen Parzellen kann selbstverständlich die Durchforstung innerhalb jeder Parzelle resp. Kollektivparzelle getrennt durchgeführt werden.

Die Beurteilung der Versuchsergebnisse

In Versuchskulturen kann man selbstverständlich alle denkbaren Eigenschaften durch subjektive Beobachtungen und objektive Messungen studieren. Besonders wichtig ist oft der Massenertrag. Dieser läßt sich nun keinesfalls mit einem linearen Maß ausdrücken, da es sich ja um eine dreidimensionale Größe handelt. Ein Diagramm für *Höhen-, Durchmesser- und Volumenentwicklung* eines achtjährigen Birkenversuches verdeutlicht dieses (Fig. 4).



Figur 4. Diagramm der Höhe, des Durchmessers in Brusthöhe und des Stammvolumens für sechs Nachkommenschaften in einem 8jährigen Birkenversuch.

Links ist die Pflanzenhöhe der sechs Nachkommenschaften repräsentiert, in der Mitte der Durchmesser in Brusthöhe und rechts das Stammvolumen. Besonders die Höhe weist eine sehr unbedeutende Variation auf, während die Volumunterschiede sehr augenfällig sind. Um einen quantitativen Ausdruck für die Unterschiede zu bekommen, muß man mit der Massenproduktion arbeiten, was oft die Berechnung spezieller Massenfunktionen für die verschiedenen Versuche erforderlich macht.

Wenn das Versuchsresultat vorliegt, kann man sich unter Zuhilfenahme der Varianzanalyse leicht davon überzeugen, inwieweit Sortenunterschiede eine Variationsursache sind oder nicht. Hierfür wird die *F-Probe* angewendet, die besagt, daß der Quotient der *Mittelquadrate der Sorten : Mittelquadrate der Fehler* berechnet wird. Die Forderung an diesen Quotienten ist abhängig von der Anzahl Freiheitsgrade für Fehler und sinkt mit steigender Anzahl Freiheitsgrade. Für diese Probe sind Tabellen zugänglich, z. B. SNEDECOR 1947.

In der Züchtungsarbeit reicht es indessen nicht aus, zu wissen, ob Sortendifferenzen überhaupt zur Variation innerhalb des Materials beitragen oder nicht. Man muß Klarheit darüber haben, inwieweit Unterschiede, die zwischen willkürlich ausgewählten Sorten hervortreten, bestätigt sind oder nicht. Eine Übersicht über sämtliche Differenzen bekommt man am einfachsten durch ein *Triangelschema*. In einem Versuch mit den fünf Sorten A—E folglich:

	A	B	C	D
E	—	—	—	—
D	—	—	—	—
C	—	—	—	—
B	—	—	—	—

In der Literatur sieht man oft Tabellen dieser Art, in welchen die Quotienten *Differenzen : Mittelfehler* der

Differenzen ($D : m_D$) ausgerechnet sind. Gewöhnlich erklärt man Quotienten, die 3 oder mitunter 2 übersteigen, als signifikant. Es muß indessen beachtet werden, daß die Wahrscheinlichkeit für die Quotienten abhängig ist von der Anzahl Freiheitsgrade der Fehler. Für eine Wahrscheinlichkeit von 1% ist der Quotient für einen Freiheitsgrad 63,657, für fünf Freiheitsgrade 4,032, für zehn 3,169, für fünfzehn 2,948 bis zum Grenzwert 2,576. Verfasser, die mehr "up to date" sein wollen, pflegen

deshalb die ausgerechneten *t*-Werte in ein Triangelschema zu setzen. In beiden Fällen macht man sich grober Vereinfachung schuldig. Es ist mathematisch berechtigt, die *t*-Probe nur für einen Vergleich in jedem Versuch anzuwenden, und zwar für einen Vergleich, den man sich vor Kenntnis des Versuchsresultates ausgewählt hat. Wenn wir also einen Versuch mit 25 Sorten haben, müssen wir im voraus bestimmen, daß es beispielsweise die Sorten 3 und 17 sind, die wir vergleichen wollen. Die Einbeziehung der übrigen 23 Sorten in den Versuch hätte dann lediglich den Zweck, soviele Freiheitsgrade wie möglich für die Signifikanzberechnung zu erhalten, um damit gesteigerte Möglichkeiten zu bekommen, auch kleine Unterschiede zwischen den zwei Vergleichssorten festzustellen. Diese Erwägung ist indessen ganz und gar eine mathematische Abstraktion. Es ist klar, daß mit steigender Sortenzahl eines Versuches auch das Versuchsareal und damit die Heterogenität des Bodens vergrößert wird. Große Versuche müssen im allgemeinen eine geringere Schärfe besitzen als kleinere. Am wirkungsvollsten sind sicher Versuche mit nur zwei Sorten, auch wenn bei Begrenzung der Wiederholungen die Anzahl der Freiheitsgrade klein ist. Die *t*-Funktion gilt, wie gesagt, nur für einen gleichzeitigen Vergleich. Wenn wir beispielsweise mit einer 5%igen Wahrscheinlichkeit als Signifikanzgrenze arbeiten, hat man in einem Versuch mit 25 Nachkommenschaften, die in 300 verschiedenen Kombinationen verglichen werden können, ungefähr 15 signifikante Unterschiede zu erwarten, auch wenn die Nachkommenschaften in Wirklichkeit genau gleich sind. Wir befinden uns hier wirklich in einem unangenehmen Dilemma. Die Mathematiker scheinen z. Z. keinerlei korrekte Methode vorschlagen zu können, um alle Sorten miteinander in einem Versuch zu vergleichen. Man kann sich infolgedessen fragen, weshalb sie sich soviel Arbeit mit der Ausformung von Versuchsplänen für viele Versuchsglieder gemacht haben und wie man nun in der Praxis verfahren soll. Für die praktische Arbeit könnte es daher vielleicht zweckmäßig erscheinen, nach der Feststellung von Sortenunterschieden mit der *F*-Probe auf jede weitere Signifikanzberechnung zu verzichten und das Material ohne Berücksichtigung des statistischen Fehlers zu beurteilen. Ich glaube indessen, daß wir die *t*-Probe weiter durchführen und 1% als Signifikanzgrenze wählen sollten, wobei allerdings beachtet werden müßte, daß einzelne Differenzen, die mathematisch signifikant sind, falsch sein können. Es ist nur zu hoffen, daß die Mathematiker allmählich die Situation aufklären werden. Die formelle, mathematische Behandlung des Versuchsmaterials ist auch nicht ausreichend. Die subjektiven Beobachtungen sind nicht zu vergessen. Biologie soll nicht als Mathematik, sondern mit Mathematik betrieben werden (JOHANSEN 1926).

Möglichkeiten der Jugendprüfung

Zum Schluß möchte ich die Frage aufwerfen, ob es nicht möglich ist, ohne diese langwierigen und teuren Versuchskulturen auszukommen. Sollte es nicht möglich sein, auf eine zuverlässige Weise das Forschungsmaterial schon in einem sehr viel früheren Stadium in der Baumschule oder laboratorienmäßig mit sehr jungen Pflanzen zu beurteilen? Nach SCHMIDT (1938) ist es z. B. möglich, vom Phototropismus der Kiefernkeimpflanzen darauf zu schließen, ob sie einer gradstämmligen Population angehören oder nicht. Sollte es nicht möglich sein, in

großem Ausmaß mit der Korrelation zwischen an jungen Pflanzen feststellbaren Eigenschaften und dem zukünftigen Verhalten hinsichtlich Zuwachs und Qualität zu arbeiten? So hat SCHRÖCK (1951) kürzlich die Auffassung vertreten, man könne auf Grund der Kenntnis des Zuwachses einiger weniger Jahre die zukünftige Zuwachskurve extrapoliieren. Wenn ich auch persönlich nicht allzu optimistisch in dieser Hinsicht bin, so halte ich doch alle Bemühungen, um Methoden zur Nachkommenschaftsprüfung an jungem Material auszuarbeiten, für besonders wertvoll. Leider muß festgestellt werden, daß wir noch nicht über einige solche Methoden verfügen, sondern zunächst noch auf den mühevollen Weg der langwierigen Nachkommenschaftsprüfung angewiesen sind.

Summary

Title of the paper: *Some problems in forest tree progeny tests*. The progeny tests are of fundamental importance for forest genetics and tree breeding. However, little is known about several questions in relation to such tests in forestry. In the present paper some main points are discussed briefly, vice

Nursery methods and sorting of plants

Number of individuals, size and shape of the plots

Plantations on single areas and in trials with replicates

Number of replicates in designed experiments

Different experimental designs

Silvicultural treatment of the test plantations

Interpretation of the results

Possibilities in testing young progenies.

When the test progenies are raised according to current nursery methods it must be considered that almost always some plants are eliminated and consequently the populations do not represent the whole variation. However, this elimination can be minimized by using more efficient methods for cultivation of the materials. The number of individuals planted per plot must be so large that a sufficient number of trees are left when the intended thinnings are made, and the plots must be large enough to prevent disturbing competition between adjacent plots. The competition between neighbouring plots can be reduced also by use of splitplot designs. Experiments without replicates but with a number of control plots may give reliable results but it is recommended to employ designed experiments with replicates. FISHER's block design is valuable, when the number of progenies is small. For experiments involving a large number of progenies the designs with incomplete blocks are considered suitable. The experimental plantations should be managed in conformity with the current silvicultural practice, which means that long term experiments must be thinned several times. One of the most important properties to be studied is the production per unit area. By interpreting the test results it is to be taken into account that the *t*-test has a limited validity. The possibilities of using tests of young progenies instead long term trials are mentioned but it is concluded that no reliable methods for early testing have been worked out yet.

Literatur

ANDERSSON, E., GUSTAFSSON, A., und JOHNSSON, H.: Avkommeprovningar i skogsbrukets tjänst. Norrlands Skogsvårdsf. Tidskr. 1951. — COCHRAN, W. G., and COX, G. M.: Experimental designs. London 1950. — FISHER, R. A.: Statistical methods for research workers. London 1938. — JOHANSEN, W.: Elemente der exakten

Erblichkeitslehre. Jena 1926. — KRISTENSEN, R. K.: Anlæg og Opgørelse af Markforsøg. Tidskr. f. Planteavl. 31, 1925. — LINDHARD, E.: Opgørelse af Markforsøg. Nord. Jordbruksf. 3-4, 1922. — SNEDECOR: Statistical methods applied to experiments in agriculture and biology. 4th edit. Iowa, The Iowa State College Press. 1947. — SCHMIDT, W.: Schlechtformigkeit und Schlechtras-

sigkeit im ostdeutschen Kiefernwald. Deutscher Forstwirt 20, 509-514, 525-528, 537-542 (1938). — SCHRÖCK, O.: Beitrag zur Methodik der Leistungsprüfungen in der Forstpflanzenzüchtung. Der Züchter 21, 368-370 (1951). — YATES, F.: Variety trials involving a large number of varieties. Journ. Agric. Science 26, 301 (1936).

(Aus der Bundesanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Abt. Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung, Schmalenbeck)

Das Samengewicht bei Kreuzungen innerhalb der Sektion *Populus Leuce* als Funktion des weiblichen und männlichen Partners

Von J. GREHN

(Eingegangen am 12. 8. 1952)

Eine auffällige Erscheinung bei der Durchführung künstlicher Kreuzungen innerhalb der Sektion *Populus Leuce* ist die Größenschwankung des gewonnenen Kreuzungssamens, wobei auch ohne Messung und Wägung eine starke Abhängigkeit von der als Mutter verwendeten Art in Erscheinung tritt. Da mit Ausnahme der Aspe keine Gewichtsangaben der Samen bekannt geworden

sind, wurden in den Jahren 1951 und 1952 alle bei den Kreuzungen angefallenen Samen gewogen und in einem Jahr (1952) zur Feststellung der Größen- und Form-Verhältnisse auch photographisch festgehalten. Abbildung 1 gibt ein Beispiel für die auftretenden Unterschiede.

Über den Umfang des in den Bereich der Untersuchungen einbezogenen Materials gibt Tab. 1 Auskunft. Danach

Tabelle 1. Anzahl der ausgeführten Kreuzungen innerhalb der Sektion *Leuce* 1951/1952

♂	♀	12 Herkünfte <i>alba</i> (einheim.)	5 Herkünfte <i>canescens</i> (einheim.)	2 Herkünfte zweiteig. und un- sichere Form	25 Herkünfte <i>tremula</i> (einheim.)	2 Herkünfte <i>tremula</i> (nordisch)	1 Herkunft <i>tremuloides</i>	1 Herkunft <i>alba</i> × <i>gran-</i> <i>didentata</i>	Summe: 48 Herkünfte
		1	2	3	4	5			
<i>alba</i> einheimisch		2							11
<i>alba</i> mediterran		3							10
<i>alba</i> var. <i>Bolleana</i>		1							8
<i>canescens</i>		20							77
<i>tremula</i> einheimisch		16							49
<i>tremula</i> nordisch normal		3							8
<i>tremula</i> nordisch var. <i>erecta</i>		1							10
<i>tremula</i> nordisch triploid		1							12
<i>tremula</i> nordisch tetraploid		2							6
<i>tremuloides</i> USA		4							20
<i>tremuloides</i> Kanada		2							18
<i>grandidentata</i> USA		3							12
<i>grandidentata</i> Kanada		1							12
Summe:	59 Herkünfte	87	52	20	80	10	3	1	253

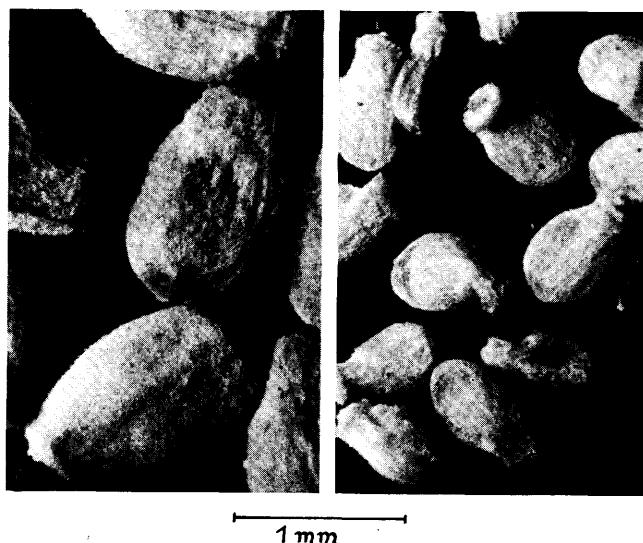


Abb. 1. Samenform und Samengröße. Links: Kreuzung 23/52 (*P. alba* × *canescens*). Tausendkorgewicht = 380 mg. Rechts: Kreuzung 47/52 (*P. tremula* × *tremula*). Tausendkorgewicht = 42 mg.

wurden 48 weibliche mit 59 männlichen Einzelbäumen (Herkünften) in der Weise gekreuzt, daß 253 Nachkommenschaften zu erwarten waren. Die Zahl der tatsächlich entstandenen und gegenwärtig in Kultur gehaltenen Nachkommenschaften ist beträchtlich geringer, da natürlich nicht alle versuchten Kreuzungen Nachkommen ergaben. Eine Übersicht über den Kreuzungserfolg gibt Tabelle 2, die für insgesamt 277 versuchte Kreuzungen¹⁾ einen Erfolg von 53% (Ausfall = 47%) ausweist, von denen bei einer Gesamtzahl von 6 826 künstlich bestäubten Kätzchen mit Samenansatz rund 186 600 Samen erhalten wurden. In Anbetracht der hohen Anzahl von Samenanlagen, die sich bei einer ausreichenden Befruchtung und unter günstigsten Umweltsbedingungen entwickeln könnten, ist der durchschnittliche Ertrag von 27,4 Samen pro Kätzchen als gering anzusprechen. Doch erklärt sich diese Erscheinung weitgehend durch die Verhältnisse, unter denen die Samenbildung bei künstlichen Kreuzun-

¹⁾ Die hier aufgeführten 277 Kreuzungen gegenüber den in Tab. 1 aufgeführten 253 verschiedenen Kreuzungs-Kombinationen erklären sich durch Wiederholung bestimmter Kreuzungen im zweiten Versuchsjahr.