

(Aus dem Institut für Forstsamenkunde und Pflanzenzüchtung der Bayer. Forstlichen Forschungsanstalt)

Untersuchungen über das Mikroklima in Bestäubungsschutzbeuteln

Von E. ROHMEDE und G. EISENHUT

(Eingegangen am 16. 5. 1958)

I. Fragestellung

Verschiedene Aufgaben und Zielsetzungen der forstlichen Pflanzenzüchtung bedingen die Notwendigkeit, weibliche Blüten der Waldbäume einzubeuteln, um sie dadurch vor der Bestäubung durch unerwünschten Pollen zu schützen:

1. Die gelenkte Kreuzung zwischen Individuen gleicher Art,
2. die Bastardierung,
3. die Klärung der Selbststerilität und Selbstfertilität,
4. die Untersuchung blütenökologischer Verhältnisse,
5. die Prüfung der Verbreitung der apomiktischen Fortpflanzung.

Unser Institut führt seit mehr als zwei Jahrzehnten im Rahmen der forstlichen Pflanzenzüchtung derartige Versuche mit obiger Zweckbestimmung durch. Die dabei gesammelten Erfahrungen zeigen, daß nicht selten die eingebetteten Blüten durch die Schutzhülle mittelbar geschädigt werden. Die Ursache solcher Schäden ist zum mindesten teilweise in den mikroklimatischen Verhältnissen der Bestäubungsschutzbeutel zu suchen.

Es erschien deshalb eine vordringliche Aufgabe, den Umfang der Temperatur- und Feuchteänderung der in Bestäubungsschutzbeuteln eingeschlossenen Luft gegenüber der Außenluft zu untersuchen, um aus den Ergebnissen der Messungen Hinweise für die zweckgünstigste Art der Einbeutelung zu gewinnen.

Unsere Untersuchungen wurden sehr gefördert durch das Meteorologische Institut der Forstlichen Forschungsanstalt. Wir danken daher vielmals Herrn Prof. Dr. R. GEIGER für die umfangreiche Ausstattung mit Meßgeräten und deren langfristige Überlassung, ferner Herrn Dozenten Dr. G. HOFMANN, Herrn Regierungsrat Dr. A. BAUMGARTNER sowie Herrn Oberwerkmeister G. WEINBERGER für die vielseitige, stets gewährte Unterstützung. Besonderer Dank gebührt der Deutschen Forschungsgemeinschaft in Bad Godesberg, durch deren finanzielle Unterstützung die Durchführung der Untersuchung ermöglicht wurde.

II. Anforderungen an Bestäubungsschutzbeutel

Dem besonderen Zweck entsprechend müssen bei den als Schutzhüllen verwendeten Stoffen folgende Anforderungen erfüllt sein:

1. Ausreichende Abschlußfähigkeit gegen befruchtungsfähigen Pollen,
2. hohe Zerreißfestigkeit und Wetterbeständigkeit,
3. Lichtdurchlässigkeit,
4. möglichst geringe Beeinflussung des Temperaturganges,
5. günstige Feuchteverhältnisse und ausreichender Gas austausch,
6. gute Kontrollmöglichkeit der isolierten Blüten,
7. geringe Kosten.

III. Methodik der Untersuchungen und Besprechung der Ergebnisse

1. Abschlußfähigkeit gegen befruchtungsfähigen Pollen

Welche Gewebeschichten für die Bestäubungsschutzhüllen bei den einzelnen Baumarten verwendet werden kann,

hängt von den jeweiligen bestäubungsökologischen Verhältnissen ab. Bei ausschließlich insektenblütigen Pflanzen reicht im allgemeinen als Hülle ein Tüllgewebe mit einer Maschenweite von 0,5 bis 2,0 mm aus. In diesem Fall ist also nicht die Pollengröße entscheidend, sondern die Körpergröße der in Frage kommenden Bestäuber.

Bei den windbestäubten Baumarten müssen dagegen dichte, feinporeige Gewebe oder homogene Stoffe verwendet werden. Es muß allerdings bereits hier erwähnt werden, daß der vollständige Abschluß, wie er z.B. durch Pergamintüten, Frischhaltebeutel usf. erreicht wird, mit großen Nachteilen für die eingebetteten Blüten verbunden ist.

Die Abschlußfähigkeit der Gewebe gegen Pollen wurde nach zwei verschiedenen Verfahren geprüft:

- a) Mit Hilfe des mikroskopischen Durchlichtbildes, das eine Aussage über Porengröße und Güte des Gewebes gestattet.
- b) Zusätzlich wurde der Pollen untersuchter Baumarten im Luftstrom eines Steigsichters gegen die Außenseite des Beutels geschleudert und im Beutelinnern die nicht abgefilterten Pollenkörner an Objektträgern, die mit Glyceringelatine belegt waren, aufgefangen.

Die Porengröße ist jeweils so zu wählen, daß einerseits der unerwünschte Zutritt befruchtungsfähigen Pollens sicher verhindert, andererseits der Gasaustausch zwischen der eingeschlossenen und umgebenden Luft möglichst wenig gehemmt wird. Da die Pollenkörper der forstlichen Nadelbaumarten Kiefer, Fichte, Tanne, Lärche in ihren Abmaßen zwischen 45 — 160 μ schwanken, erscheint es ausreichend, wenn bei diesen Arten Schutzhüllen mit einer Porenweite bis zu 20 μ verwendet werden. Bei den Laubbäumen kommen wesentlich kleinere Pollen vor. So liegt der untere Grenzwert des Erlenpollens bei 19 μ . Es ist deshalb bei solchen Laubbäumen mit sehr kleinen Pollen zweckmäßig, kein Gewebe mit größeren Poren als 10 μ zu benutzen.

Bei den meisten insektenbesuchten Baumarten ist damit zu rechnen, daß ein Teil des Pollens dem Wind übergeben wird und deshalb gemischte Bestäubung möglich ist. Diese Verhältnisse sind seit längerer Zeit bei den Obstgehölzen bekannt (8). Bei den forstlichen Baumarten konnten sie bei Linde und Weide (2) nachgewiesen werden. Aus diesem Grund ist es bei gelenkter Bestäubung erforderlich, die Blüten dieser Baumarten ebenfalls mit pollensicheren Bestäubungsschutzhüllen abzuschirmen.

2. Zerreißfestigkeit und Wetterbeständigkeit

Bei den Bestäubungsschutzbeuteln aus dichtem Gewebe für die windbestäubten Baumarten sind während der Einsatzzeit von März bis Juli keine Schäden aufgetreten. Anders dagegen bei Beuteln aus homogenem Material, Pergamintüten und Frischhaltebeuteln, bei denen etwa 12% aller Beutel beschädigt wurden. Ebenfalls kamen Zerreißungen bei Perlontüllbeuteln (8%) vor. Perlontüll sollte deshalb nur in kräftiger Beschaffenheit mit einer Maschenweite von weniger als 1 mm verwendet werden, auch wenn die Bestäuber eine größere Maschenweite gestatten.

Um die Wetterfestigkeit zu erhöhen, wurde versuchs-

weise ein Teil der Stoffbeutel mit Impragnol behandelt; dadurch wurde die Wasseraufnahmefähigkeit der Bestäubungsschutzbeutel herabgesetzt und damit die Belastung der eingebetteten Zweige bei Niederschlag verringert. Auch ist anzunehmen, daß diese Beutel eine längere Lebensdauer aufweisen.

3. Licht durchlässigkeit

Die Abnahme der Lichtintensität in Bestäubungsschutzbeuteln in Abhängigkeit von der Beutelhülle wurde mit einer Fotozelle bestimmt. Die dabei gewonnenen Werte der relativen Lichtintensität sind in *Übersicht 1* zusammengestellt.

Übersicht 1. — Abhängigkeit der Lichtabsorption vom Material der Beutelhülle

Material	Relative Licht-inten-sität*)	Material	Relative Licht-inten-sität*)
Polyäthylenbeutel	95,4	Schweizer Batist	65,4
Perlontüllbeutel	85,7	Pergamintüte (groß) doppelt, weiß	61,9
Wursthaut (weiß)	81,8	Pergamintüte (klein) doppelt, weiß	61,9
Pergamintüte (weiß) einfache	81,0	Körper	58,6
Perlonbeutel	72,7	Seide	53,9
Pergamintüte (gelb) einfache	66,7		

*) Anmerkung: Relative Lichtintensität = Helligkeit im Bestäubungsschutzbeutel in % der Außenhelligkeit.

Die Helligkeit ist daher am höchsten in den Frischhaltebeuteln, am geringsten bei Hüllen aus Körper und Seide. Während in Schutzbeuteln aus einer Gewebehülle und in Pergamin-Schutztüten ausschließlich diffus zerstreutes Licht auftritt, erhalten die Zweige im Frischhaltebeutel auch reichlich direkte Sonnenstrahlung.

Die angebotene Lichtmenge im Bestäubungsschutzbeutel übersteigt im allgemeinen um ein mehrfaches die minimale Lichtforderung der anspruchsvollen Baumarten des mitteleuropäischen Raumes. Infolge des Lichtentzuges können daher Entwicklungshemmungen bei den eingebetteten Blüten nicht auftreten. Dies bestätigen auch eigene Untersuchungen mit eingebetteten Zweigen, bei denen sich die Helligkeitsminderung bis auf 46,1% erstreckte.

4. Temperaturverhältnisse in Bestäubungsschutzbeuteln

a) Meßtechnik

Die Temperaturuntersuchungen wurden vorwiegend im forstlichen Versuchsgarten Grafrath durchgeführt; dort waren zu diesem Zweck zwei Versuchsstände aufgebaut. In der ersten Anlage (Abb. 1) wurde mit strahlungsschützten Widerstandsthermometern die Temperatur in

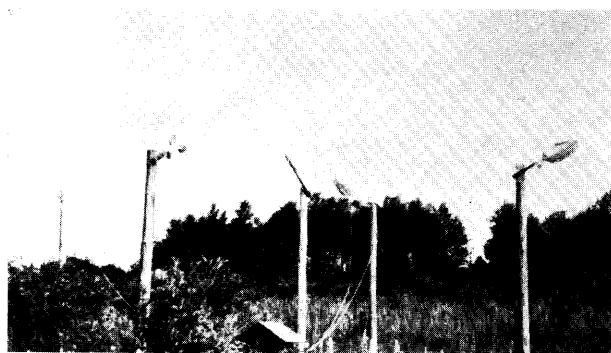


Abb. 1. — Meßanlage I.

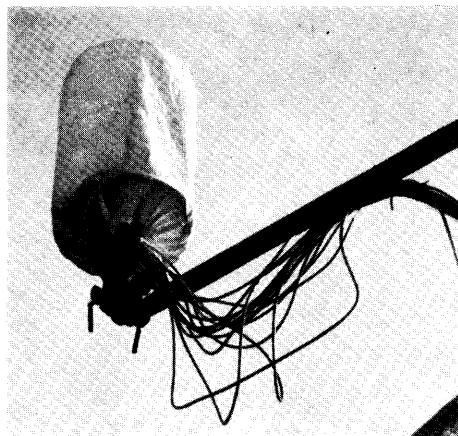


Abb. 2. — Meßanlage II.

der Mitte der Beutel gemessen und die Werte mit einem 6 Farben-Schreiber der Firma Hartmann & Braun, der etwa 100 m von der Meßstelle entfernt im Blockhaus des Versuchsgartens untergebracht war, registriert. Diese Messungen erstreckten sich auf den Zeitraum vom 29. März bis 6. Juli 1957, wobei für jede Fragestellung mindestens viermal der Tagesgang erfaßt wurde. Angestrebt wurde ferner, die Meßreihen im 6wöchigen Abstand zu wiederholen.

Die zweite Meßanlage befand sich in der unmittelbaren Nähe des Blockhauses und diente besonders der Untersuchung der Temperaturschichtung in den Beuteln (Abb. 2).

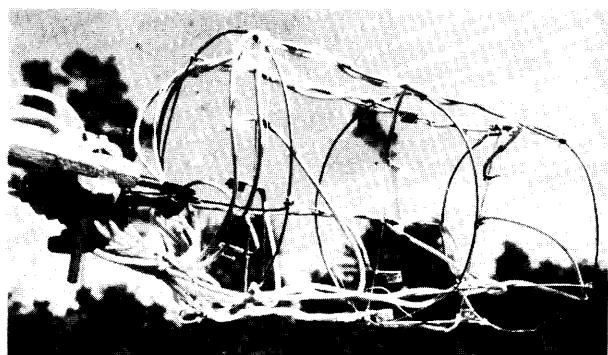


Abb. 3. — Teil der thermoelektrischen Meßanlage.

Hier wurde mit 15 Thermoelementen gemessen, die in einer senkrechten Ebene im Versuchsbeutel so angeordnet waren (Abb. 3), daß je 5 Meßfühler nahe der Vorderwand, in der Mitte und nahe der Beutelbasis zu liegen kamen. Die Thermoelemente bestanden aus 0,2 mm dicken Kupfer-Konstantandrähten; die Gegenlötstellen wurden mit einem isolierten Kupferklotz (Forsterblock) verbunden, dessen Temperatur auf 0,1° C genau abgelesen werden konnte. Als Anzeigegerät diente ein Spiegelgalvanometer.

Neben diesen beiden Meßanlagen wurde an Fichten-, Eichen- und Kiefernaltbäumen widerstandselektrisch die Temperatur der eingebetteten Blüten gemessen (Abb. 4). Die dazu verwendeten Thermometer waren mit einem blütenfarbenen Anstrich versehen.

Es ist im Rahmen dieser Abhandlung unmöglich, alle Einzelwerte der zahlreichen Meßreihen wiederzugeben. Es können bei Besprechung der einzelnen Gesetzmäßigkeiten nur wenige typische Temperaturländer oder Mittel-(Höchst- und Niedrigst-)Werte angegeben werden. Das gesamte Zahlen-Unterlagenmaterial, das dieser Auswertung zugrunde liegt, steht Interessenten jedoch im Institut zur Einsicht zur Verfügung.



Abb. 4. — Versuchsfichte I mit Bestäubungsschutzbeuteln im oberen Kronenteil.

b) Übertemperaturen in Bestäubungsschutzbeuteln

Die auf die Beutelwand treffende Strahlung wird teilweise reflektiert, z. T. absorbiert, bzw. von der Hülle in das Beutelinneere durchgelassen. Für die Betrachtung des Erwärmungsvorganges der Beuteloberfläche ist der Umfang der umgesetzten Strahlungsenergie bedeutsam. Bereits kurz nach Sonnenaufgang entsteht ein positiver Strahlungshaushalt, der sich in einer sprunghaften Temperaturerhöhung im Bestäubungsschutzbeutel äußert. Diese positive Bilanz erreicht an wolkenlosen Tagen während der mittägigen Einstrahlung maximale Werte. Zu dieser Zeit können, abhängig vom Material der Hülle und der Lage der Beutel, weniger von deren Größe, während

der Blütezeit der forstlichen Hauptbaumarten Übertemperaturen bis zu 18°C in den Bestäubungsschutzbeuteln auftreten.

Für die Temperaturverhältnisse in Bestäubungsschutzbeuteln ist ferner eine ausgeprägte Temperaturschichtung bemerkenswert (Abb. 11), ein Effekt, der sowohl in zweiglosen Beuteln als auch bei Hüllen mit eingeschlossenen Zweigen deutlich zu erkennen ist. So ergeben sich während der mittägigen Einstrahlung Temperaturdifferenzen innerhalb des Bestäubungsschutzbeutels bis zu 6°C .

Diese Temperaturschichtung bedingt einen von der Lage im Bestäubungsschutzbeutel abhängigen unterschiedlichen Schädigungsgrad der eingeschlossenen Blüten. Untersucht man die abgestorbenen Blüten eines Beutels näher, so ergibt sich häufig, daß nur die wandnahen Blüten vertrocknet oder erfroren sind, während die Blüten im Mittelteil des Beutels ungeschädigt blieben.

aa) Abhängigkeit der Übertemperatur vom Material der Beutelhülle

Der in Abb. 5 wiedergegebene Temperaturverlauf in Beuteln aus verschiedenem Material zeigt eine überdurchschnittliche Erwärmung in den Pergamintüten. In engeren



Abb. 6. — Perlontüllbeutel über Aluminiumversteifung mit isoliertem Lindenzweig.

Grenzen streuen dagegen die Werte für Schweizer Batist, Polyäthylen, Seide und Perlon. Diese Reihenfolge behielten die Gewebestoffe auch bei später durchgeföhrten Registrierungen bei, dagegen glichen sich die Temperaturwerte im Frischhaltebeutel mit zunehmender Sonnenhöhe denen der Pergamintüte an. Doppelte Pergamintüten hatten am Vormittag und während des Einstrahlungsmaximums regelmäßig um 3° bis 4°C höhere Temperaturwerte als einfache (Abb. 7). Die geringste Übertemperatur zeigten die Perlontüllbeutel (durchschnittlich 2°C während der mittägigen Einstrahlung) (Abb. 6).

Bei Geweben kommt nicht der Faserart die entscheidende Bedeutung zu, sondern die unterschiedlichen Ergebnisse werden maßgebend durch die Gewebedichte (Porengröße) veranlaßt.

Als Versteifungskorb diente bei den Gewebe- und Polyäthylenbeuteln ein Geflecht aus Aluminiumdraht, das aus einem Deck- und Bodenring bestand, die bei kleinen und mittleren Beutelgrößen mit drei, bei großen Körben mit vier Längsstreben verbunden waren.

bb) Abhängigkeit der Übertemperatur von der Beutelgröße

Die Registrierungen ergaben bei den verschiedenen Größen der Gewebebeutel geringe Unterschiede im Tagesgang der Temperatur, weshalb in Abb. 7 nur die Werte für

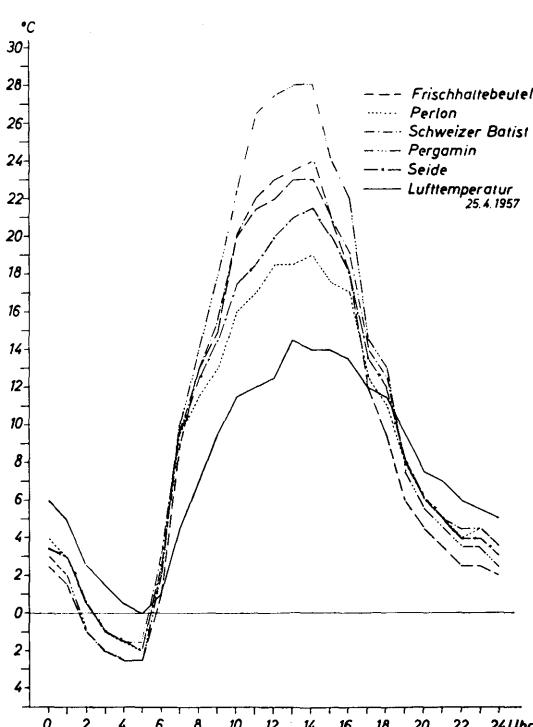


Abb. 5. — Abhängigkeit der Temperatur in den Beuteln vom Material der Hülle.

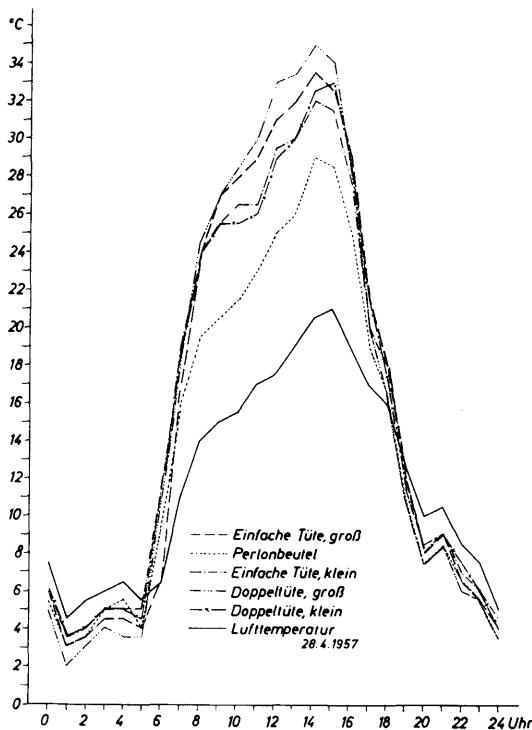


Abb. 7. — Abhängigkeit der Temperatur in Pergamintüten von der Beutelgröße.

einen Perlongewebebeutel im Vergleich zu den verschiedenen großen Pergamintüten dargestellt wurden. Die kleinen Pergamintüten (15×24 cm) zeigten niedrigere Werte als die großen Beutel (21×36 cm), und zwar gleichgültig, ob sie als einfache oder doppelte Beutel angebracht waren.

Mit zunehmender Beutelgröße nimmt die Zahl der Kätzchen je 1000 cm^3 Beutelinhalt ab (Übersicht 2). Bei der Belastungsfähigkeit der eingebetteten Zweige kann jedoch eine entgegengesetzte Tendenz festgestellt werden.

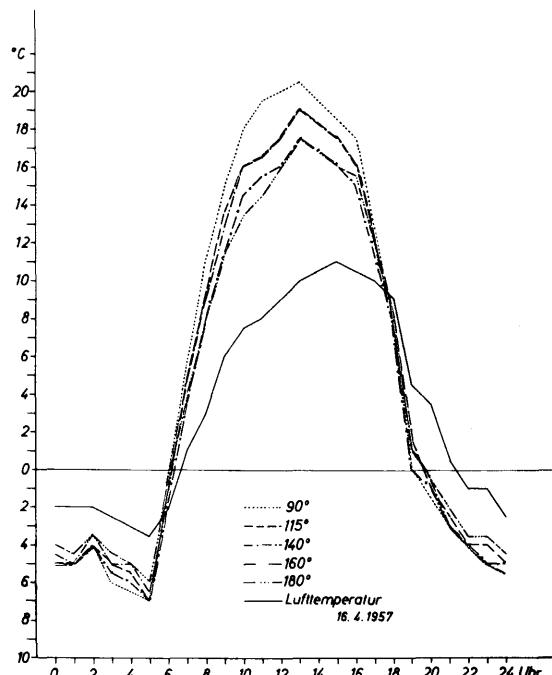


Abb. 8. — Abhängigkeit der Temperatur von der Neigung der Beutel.

Übersicht 2. — Verhältnis von Beutelvolumen zur Zahl der Fruchstände bei *Betula verrucosa*

Mittelwerte für	Beutelvolumen ... cm^3				
	1256	2710	8170	23470	50030
Aststärke mm	3,0	3,6	4,9	6,7	10,3
Zahl der Kätzchen Stück	8,8	13,4	22,8	37,2	62,8
Zahl der Kätzchen je 1000 cm^3 Stück	7,00	4,94	2,79	1,58	1,25
Neigung des Beutels	160°	172°	156°	126°	102°

Bei Birke dürfte somit der Beutel mit einem Volumen von etwa 8000 cm^3 besonders zweckentsprechend sein. Auch bei anderen Baumarten hat sich die mittlere Größe ($8000 - 12000 \text{ cm}^3$) bewährt, da die Blüten nicht übermäßig in die wandnahe Zone gedrängt werden und damit weniger durch Übertemperaturen und Frost gefährdet sind.

cc) Abhängigkeit der Übertemperatur von der Neigung der Beutel

Die Beutellage ist weitgehend von der Baumart abhängig; sie wird maßgebend vom Astwinkel, von der Blütenverteilung am Tragzweig sowie von der Elastizität des ein-

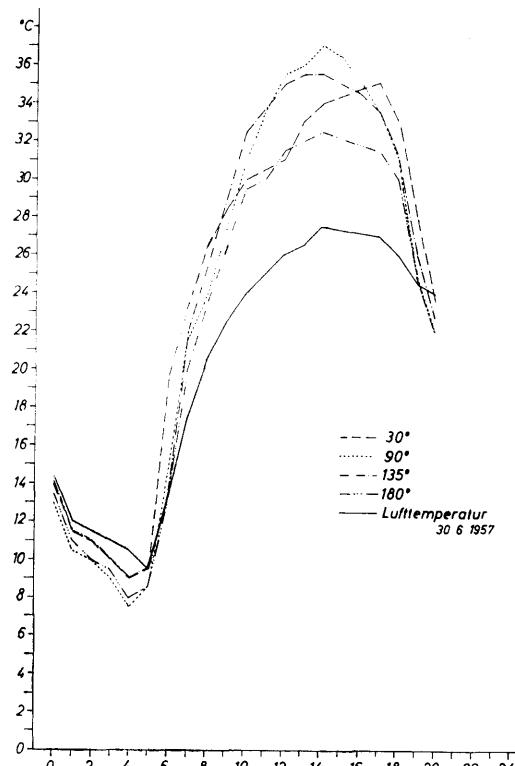


Abb. 9. — Abhängigkeit der Temperatur von der Neigung der Beutel.

gebeutelten Astes bestimmt. Nur im begrenzten Umfang kann sie beeinflußt werden (Auswahl des Astes, Verzurzung, Beutelgröße usw.).

Die Neigung wurde in Graden angegeben, wobei der senkrecht nach oben gerichtete Beutel mit 0 Grad, der horizontal orientierte mit 90 Grad und der senkrecht nach unten angeordnete Beutel mit 180 Grad bezeichnet wurde. Soweit es sich nicht um Messungen am Baum handelt, sind die Ergebnisse in Beuteln des Meßstandes gewonnen worden, die zu diesem Zweck einheitlich nach Süden ausgerichtet waren.

Bei der Anordnung am 16. 4. erhielt der Beutel der Neigung 140 Grad Vollstrahlung, während die Lagen 115 und 160 Grad jeweils Halbierungswerte zu der horizontalen bzw. senkrechten Beutelneigung darstellen (Abb. 8). Bei der Registrierung am 30. 6.

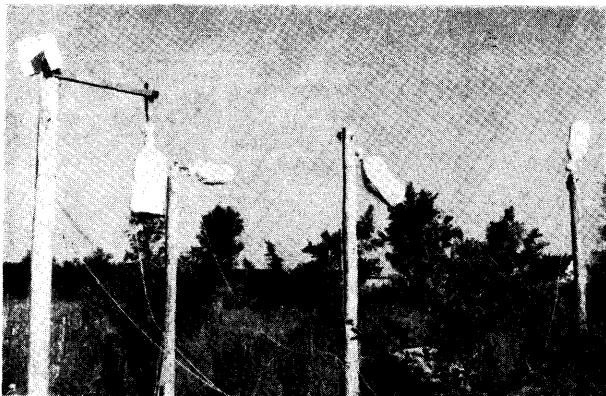


Abb. 10. — Bestäubungsschutzbeutel in verschiedener Neigung — Meßanlage I.

zeigte dagegen der Beutel mit der Neigung 30 Grad parallel zur Einfallrichtung der Sonnenstrahlung um 12 Uhr Ortszeit (Abb. 9, 10).

Diese widerstandselektrischen Messungen zeigen, unabhängig vom Zeitpunkt der Registrierung, die höchste Übertemperatur bei den horizontal orientierten Beuteln und die geringste absolute Erwärmung bei annähernd senkrechter (nach abwärts gerichteter) Beutellage. —

Besonders aufschlußreich werden die Ergebnisse, wenn man die Temperaturschichtung in Abhängigkeit von der Beutellage untersucht. In der Abb. 11 sind die Ergebnisse der thermoelektrischen Messungen in Form von einer Isothermendarstellung wiedergegeben. Die Temperaturschichtung ist demnach eng vom jeweiligen Strahlungsempfang abhängig. So ist z. B. die rechte Beutelwand bei der Neigung 30 Grad durch den Strahlungsaustausch mit dem Boden begünstigt; die Isothermen verlaufen nicht normal zum Einfall der Sonnenstrahlung, sondern sind vielmehr rechtseinfallend geneigt. Der horizontal angeordnete Beutel zeigt, ähnlich wie bei der widerstandselektrischen Messung, auch hier die höchsten Temperaturwerte. Auffallend ist ferner der geringe Temperaturunterschied innerhalb des Beutels.

Bei der Neigung von 135 Grad stimmt die Temperaturschichtung im wesentlichen mit der des horizontalen Beutels überein, jedoch hat sich die stärkerwärme Zone in den rückwärtigen Teil des Beutels verlagert. Der absolute Höchstwert ist geringer und die Temperaturschichtung umfangreicher als bei rein horizontaler Lage (90°).

Bei den senkrecht nach unten orientierten Beuteln liegt der maximale Temperaturwert zwar tiefer, jedoch ist die Temperaturspanne innerhalb des Beutels größer. Die Isothermen sind am Beutelgrund auffallend gedrängt, an der Beutelspitze auseinandergezogen.

Für die gelenkte Bestäubung ist diese Lage vorteilhaft, als die vorher besprochenen Neigungen, weil die Hauptblütenmasse meist nahe der Beutelspitze oder in der Beutelmitte zu liegen pflegt und dadurch günstige Temperaturbedingungen vorfindet.

dd) Abhängigkeit der Übertemperatur von der Exposition und vom Kronenteil

Auffallend ist der Unterschied im Tagesgang der Temperatur in Beuteln, die nach Osten und Westen bei gleicher Neigung (30 Grad) angeordnet waren (Abb. 8). Die Temperatur der Beutelmitte des W-Beutels ist in den Vormittagsstunden wesentlich höher als die des O-Beutels. Die Ursache dürfte darin zu sehen sein, daß die nach Osten gerichteten Beutel die direkte Sonnenstrahlung an

der unteren Beutelwand empfangen; die dort erwärmte Luft strudelt auf; infolge dieses thermischen Massenaustausches wird innerhalb des Beutels eine relativ gleichmäßige Temperaturverteilung bewirkt. Der W-Beutel nimmt dagegen die direkte Sonnenstrahlung wandoberseitig auf, wodurch eine Temperaturschichtung ausgelöst wird, bei der das Thermometer in der Beutelmitte eine höhere Temperatur zeigt. Nachmittags ändert sich dieser Vorgang; der W-Beutel empfängt an der Beutelbodenfläche annähernd Vollstrahlung, an der Mantelfläche dagegen nur im geringen Umfang direkte Strahlung. Beim O-Beutel nimmt die Mantelfläche die Hauptmenge der zugestrahlten Energie auf; der Beutel erhält deshalb eine höhere Mitteltemperatur.

Ob die Bestäubungsschutzbeutel des nord- oder südseitigen Teiles der oberen Kronenregion günstigere Verhältnisse aufweisen, hängt besonders von der Lage der Beutel zur Sonnenhöhe ab; wenn eine annähernde Übereinstimmung gegeben ist, so daß während der mittägigen Einstrahlung fast nur die Bodenfläche des südseitigen Beutels beschienen wird, dann ist es zweckmäßig, von der Einbeutelung der Blüten auf der Nordseite abzusehen, da bei dieser Aststellung die nordseitigen Beutel erheblich höhere Temperaturen aufweisen.

Im mittleren Kronenteil werden dagegen die nordseitigen Beutel im allgemeinen nur während einer kürzeren Dauer des Tages bestrahlt, weil sie häufig in den Vormittags- und Nachmittagsstunden, teilweise auch während der mittägigen Einstrahlung durch Teile der oberen Krone beschattet werden. Dazu kommt, daß die Bestäubung im oberen Kronenteil steifer, je nach Baumart meist waagrecht oder schräg nach oben gerichtet ist, während die Beutel im mittleren Kronenteil bei vielen Baumarten steil abwärts oder senkrecht nach unten hängen (Abb. 12).

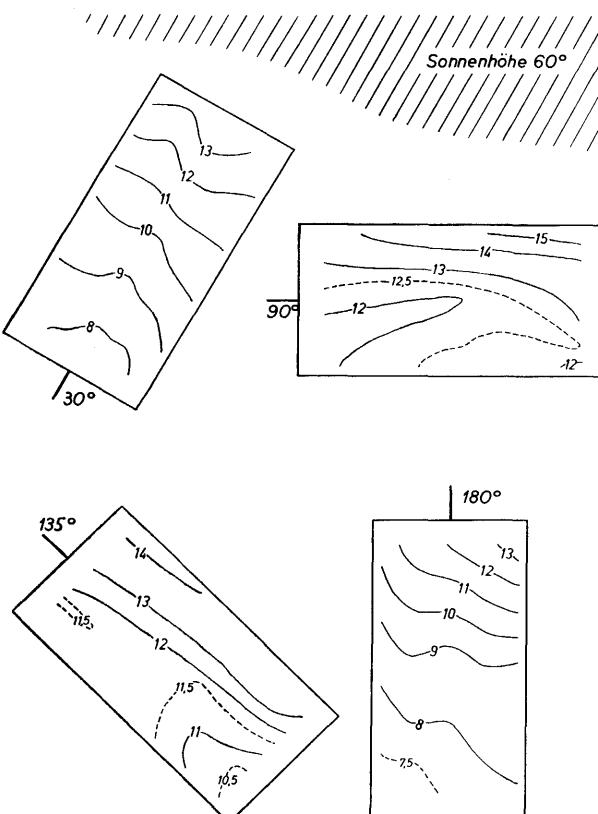


Abb. 11. — Temperaturschichtung in Bestäubungsschutzbeuteln (° C über Lufttemperatur). — 29. 6. 1957, 12 h OZ. (Maßstab 1:10).

c) Unterkühlung der Bestäubungsschutzbeutel

Der positiven Strahlungsbilanz der Bestäubungsschutzbeutel während des Tages steht bei Nacht ein negativer Strahlungshaushalt gegenüber. Die Untersuchungen ergaben, daß im April und Mai die Temperatur der Luft in den zweigloßen Beuteln bereits 1 bis 2 Stunden vor Sonnenuntergang auf den Stand der Lufttemperatur fiel. Von etwa 18 Uhr bis 6 Uhr war die Temperatur in den Beuteln im allgemeinen niedriger als die umgebende Freilandluft (siehe auch Abb. 5). Die trockene Beutelhülle verliert Wärme durch Ausstrahlung. Der größte Teil dieses Wärmeverlustes wird durch die Gegenstrahlung aufgehoben, so daß die Wärmeabgabe der Beutelwand durch die effektive Ausstrahlung bei wolkenlosem Wetter mit $0,1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ angenommen werden kann. Stellt man diese Wärmeverlustgröße in Beziehung zur Wärmekapazität des Beutels, dann ergibt sich, daß dieser in einer Minute etwa diejenige Wärmemenge verliert, die einer Abkühlung von 2°C gleichkommt. Wenn sich der tatsächliche Abkühlungsvorgang langsamer vollzieht, so besonders deshalb, weil Wärme durch Massenaustausch herangeschafft und durch Wärmeleitung sowie durch Strahlungsscheinleitung übertragen wird. Auch Kondensationsvorgänge (Taubbildung) können einen nennenswerten Wärmegegewinn bringen. Anteilmäßig dürfte jedoch dem Massenaustausch als Wärmenachschuß die größte Bedeutung zukommen. So fließt bei windstiller Wetter die stark abgekühlte Luft, die auf der ausstrahlungsintensiven Beuteloberseite aufliegt, ab und wird thermisch gegen wärmere Luft ausgetauscht; bei geringer Luftbewegung wird Wärme dynamisch herantransportiert. Je stärker sich die Beuteloberfläche abkühlt und damit die Temperaturdifferenz gegenüber der angrenzenden Luftsicht erhöht, um so größer wird der Wärmetransport zur Beutelwand durch Wärmeleitung, da der Wärmestrom proportional dem Temperaturgefälle ist. Ob die bestehenden Temperaturunterschiede rasch oder langsam angeglichen werden, hängt jeweils vom Anpassungskoeffizienten $1/\tau$ ab. Sein Kehrwert τ stellt jene Zeit dar, die zur Verkleinerung der ursprünglichen Temperaturdifferenz auf den $1/e = 0,368$ fachen Wert erforderlich ist.

$$\tau = \frac{C}{\alpha_L \cdot F} = \frac{5,8}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 2,2 \cdot 10^3} \text{ min} = 2,6 \text{ min}$$

C = Wärmekapazität der im Beutel eingeschlossenen Luft (einschließlich des Wasserdampfes)

F = Oberfläche des Beutels = $2,2 \cdot 10^3 \text{ cm}^2$

I = Inhalt des Beutels = $11 \cdot 10^3 \text{ cm}^3$

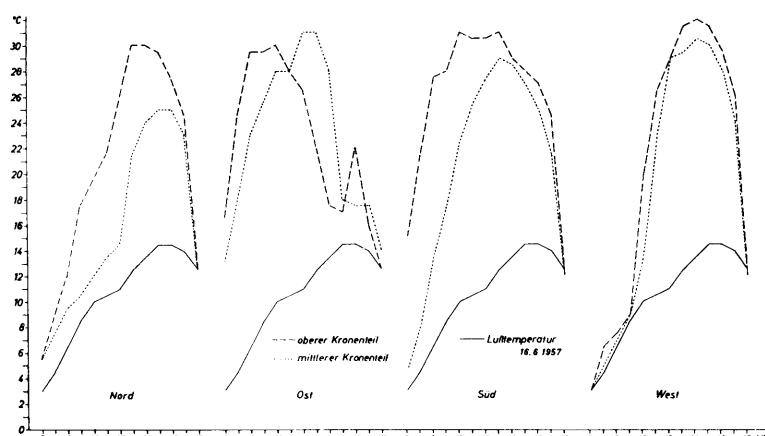


Abb. 12. — Abhängigkeit der Temperatur in Beuteln von der Exposition und vom Kronenteil.

$$\begin{aligned}\alpha_L &= \text{Wärmeübergangszahl der Luft} = \frac{A}{d} = \frac{5 \cdot 10^{-5} \cdot 60}{3} \\ &\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1} \text{grad}^{-1} = 1 \text{ mcal cm}^{-2} \text{min}^{-1} \text{grad}^{-1} \\ A &= \text{Wärmeleitzahl der Luft} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ cal cm}^{-2} \\ &\text{sec}^{-1} \text{ grad}^{-1} \\ d &= \text{Mittlerer Transportweg (cm)} = r (1 - \frac{\sqrt{2}}{2}) = 3 \text{ cm} \\ r &= \text{Radius des Beutels} = 10 \text{ cm}\end{aligned}$$

Da die Wärmekapazität der Luft gering ist, erfährt die im Beutel eingeschlossene Luftmenge durch Abgabe von Wärmeenergie eine rasch einsetzende Unterkühlung. Würde sich z. B. die Beutelwand infolge der nächtlichen Ausstrahlung plötzlich um 10°C unter die Temperatur der Außenluft abkühlen, dann würde durch Wärmeleitung die Beutelluft bereits nach 2,6 min (siehe oben) soviel Wärme verlieren, daß eine Unterkühlung von $6,3^\circ\text{C}$ eintrate. (Die Temperatur im Beutel wird anschließend an die Wandtemperatur asymptotisch angeglichen.)

Während der Beobachtungszeit konnten wir eine Unterkühlung der Luft in den Beuteln gegenüber der Außenluft bis zu $5,5^\circ\text{C}$ feststellen. Die Niedrigstwerte pflegen häufig erst kurz vor Sonnenaufgang aufzutreten, ein Zeichen dafür, daß oft während der Nacht kein Gleichgewichtszustand zwischen dem Wärmeverlust und dem Wärmenachschub erreicht wird.

Da der Gesamtwärmeumsatz nachts wesentlich geringer ist als während des Tages, tritt in den Bestäubungsschutzbeuteln keine so ausgeprägte Temperaturschichtung auf wie untertags (Abb. 13). Für die forstliche Pflanzenzüchtung ist wesentlich, daß alle Arten von Beutelhüllen diesen Unterkühlungseffekt hervorrufen; er tritt jedoch bei Pergamintüten und Frischhaltebeuteln besonders auffallend in Erscheinung.

Die Messungen mußten an verschiedenen Tagen vorgenommen werden; es sind deshalb die Ergebnisse hinsichtlich ihrer absoluten Werte nicht vergleichbar. Sie zeigen jedoch deutlich, daß die gegen den freien Himmel strahlende Oberfläche des Beutels am stärksten unterkühlt und daß in dem Beutel während der Nacht eine labile Temperaturschichtung auftritt. Beim Beutel in der Lage 180° ist sowohl der Einfluß des Beutelverschlusses als auch die Strahlung einer 4 m schräg rückwärts entfernten Wand des Blockhauses als Einwirkung erkennbar (linke Beutelseite wärmer als rechte Beutelwand). Eine ähnliche Einwirkung ist auch am Baum anzunehmen, wo die der Krone zugekehrte Beutelseite infolge günstigen Strahlungsaustausches geringer unterkühlt wird und die dort befindlichen Blüten deshalb weniger durch Frost gefährdet sind.

Die Bestäubungsschutzbeutel werden im März und April wesentlich stärker unterkühlt als im Mai und Juni. Die Ursache liegt besonders in der längeren Zeitdauer der nächtlichen Ausstrahlung. Da während der Blütezeit der Hauptbaumarten verhältnismäßig oft die Lufttemperatur in der Nacht unter den Nullpunkt absinkt oder nahe um den Gefrierpunkt schwankt, werden eingebettete Blüten in den unterkühlten Bestäubungsschutzbeuteln häufiger und verstärkt der Frostwirkung ausgesetzt.

a) Abhängigkeit der Unterkühlung vom Material der Beutelhülle

Im allgemeinen gilt, daß Bestäubungsschutzbeutel, die tagsüber hohe Übertemperaturen aufweisen, nachts ausgeprägter unterkühlen. Große Unterkühlungseffekte zeigen deshalb Beutelhüllen aus homogenem Material

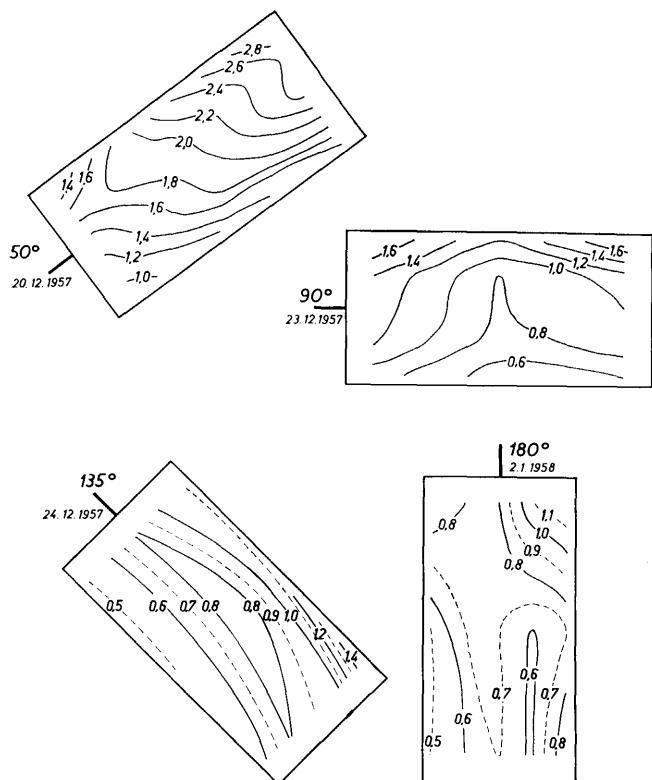


Abb. 13. — Temperaturschichtung in Bestäubungsschutzbeuteln ($^{\circ}$ C unter Lufttemperatur). — (Maßstab 1:10).

bb) Abhängigkeit der Unterkühlung von der Beutelgröße

Ebenso wie beim Erwärmungsvorgang konnte auch bei der Abkühlung der Beutel aus Gewebehüllen keine einwandfreie Abhängigkeit von der Beutelgröße festgestellt werden. Hingegen wird die Lufttemperatur in großen Pergamintüten regelmäßig stärker erniedrigt als in kleinen Beuteln.

cc) Abhängigkeit der Unterkühlung von der Neigung der Beutel

Dem nächtlichen Gang der Lufttemperatur sind senkrecht nach unten hängende Beutel am günstigsten angeglichen, während horizontal angebrachte Beutel stets tiefere Temperaturwerte aufweisen (Abb. 9, 10).

d) Temperaturverhältnisse in nassen Bestäubungsschutzbeuteln vor und nach erreichter Frostgrenze

Wird eine Beutelwand angefeuchtet, so verliert sie infolge der einsetzenden Verdunstung Wärmeenergie, die sowohl der Hülle als auch der eingeschlossenen Luft und dem eingebetteten Zweig entzogen wird. Die einsetzende Abkühlung entspricht im zweiglosen Beutel annähernd der jeweiligen Psychrometerdifferenz.

Wenn mit der Befeuchtung gleichzeitig ein Temperaturrückgang der Außenluft verbunden ist, weichen feuchte Beutel in der Temperaturangleichung von trockenen Hüllen ab. Beim nassen Beutel wird der Abkühlungsverlauf verzögert, weil die Luft im Beutel von dem Befeuchtungszeitpunkt ab fast mit Wasserdampf gesättigt ist. Mit fallender Temperatur kondensiert sich der Wasserdampf. Bei diesem Vorgang werden je g Wasser annähernd 600 cal freigesetzt. Der nasse Beutel kühlt sich deshalb bei einem Kälteeinbruch langsamer als die trockene Beutelhülle ab, obwohl die angefeuchtete Beutelwand durch Verdunstung zusätzlich Wärmeenergie verliert.

Während der Blütezeit der Waldbäume tritt nicht selten der Fall auf, daß die Bestäubungsschutzbeutel durch Regen, Schnee usw. angefeuchtet werden und anschließend gefrieren (Abb. 14). Sobald die Beutelwand den Gefrierpunkt erreicht, verlangsamt sich der Abkühlungsvorgang, da beim Übergang von 1 g Wasser von 0° C in Eis von 0° C 80 cal Erstarrungswärme frei werden. Annähernd 20 min bleibt bei Windstille die Temperatur der Beutelmitte einige Zehntelgrade über dem Gefrierpunkt. Erst wenn der überwiegende Teil des Wassers der Beutelwand gefroren ist, wird das Gleichgewicht zwischen dem Wärmegegewinn durch Gefrierwärme und dem Wärmeentzug besonders durch Wärmeleitung und Wärmestrahlung verschoben. Die Temperatur im Beutel sinkt weiter ab. Da die vereiste Beutelwand eine größere Wärmeleitfähigkeit (Eis 0° C $0,0055 \text{ cal cm}^{-1} \text{ sec}^{-1} \text{ grad}^{-1}$) als die nasse Beutelwand (Wasser $0,0015 \text{ cal cm}^{-1} \text{ sec}^{-1} \text{ grad}^{-1}$) besitzt, wäre von diesem Zeitpunkt ab eine raschere Temperaturangleichung zu erwarten. Die Temperaturangleichskurve bleibt jedoch durch das noch andauernde Freisetzen von Gefrierwärme abgeflacht.

Die nasse Gewebehülle verzögert somit den Eintritt der Frosteinwirkung auf die eingeschlossenen Blüten. Bei nicht allzu tiefen und nicht lange anhaltenden Frostgraden in Strahlungsfrostsäcken wäre es naheliegend, durch künstliche Beregnung der Schutzbeutel eine Frostschadensvorbeugung herbeizuführen. In Obstplantagen oder Pflanzgärten wird diese Maßnahme häufig zur Verhinderung von Frostschäden durchgeführt. Trotzdem kann eine Beregnung der Bestäubungsschutzbeutel als Frostschutzmaßnahme (z. B. in Pfropfplantagen) nicht angewendet werden, da die besprühten Beutel die betroffenen Zweige gewichtsmäßig überlasten.

e) Einfluß des Advektivfrostes auf die Temperatur in Bestäubungsschutzbeuteln

Die bis jetzt besprochenen Abkühlungsvorgänge beziehen sich ausschließlich auf Wirkungen der Ausstrahlung. In diesem Abschnitt soll die Frage erörtert werden, ob mit der Einbeutelung eine schützende Wirkung gegen Windfrost verbunden ist, ferner nach welcher Zeit bei Temperaturänderung eine Angleichung an die neue Temperatur erfolgt.

Die Angleichszeit in Bestäubungsschutzbeuteln wurde durch thermoelektrische Messungen der Beutelmitteltemperatur und der Außentemperatur ermittelt. Die Untersuchung erstreckte sich

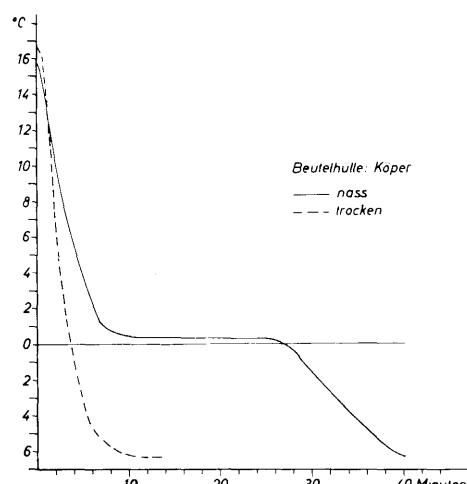


Abb. 14. — Temperaturverhältnisse im nassen und trockenen Bestäubungsschutzbeutel bei Frosteinwirkung.

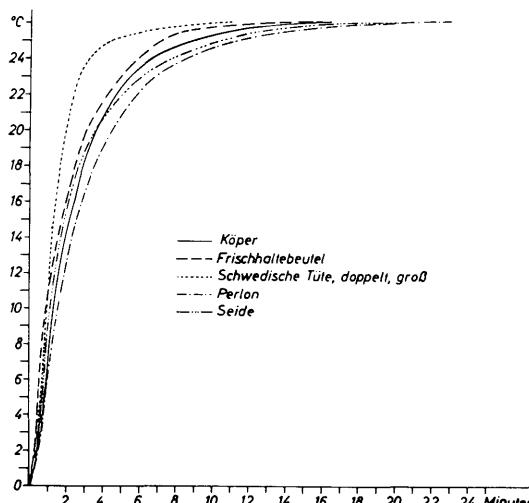


Abb. 15. — Abhängigkeit der Temperaturangleichung vom Material der Beutelhülle.

auf Beutelhüllen aus Perlon, Seide, Schweizer Batist, Köper, Polyäthylen und Pergamin. Die Ausgangstemperaturunterschiede betragen im Mittel 6°C und 26°C , wobei der erste Wert die Temperaturdifferenz zwischen zwei angrenzenden, ungleich temperierten Räumen, der zweite Wert den Temperatursprung zwischen dem kühleren Raum und einer Tiefkühltruhe darstellt.

Nachdem zwischen Raum und Beutel sich ein Wärmegleichgewicht eingestellt hatte, wurde der Beutel rasch umgestellt und die einsetzende Temperaturänderung mit Ablesungen in Abstand von 10 sec verfolgt (Abb. 15).

Die Ergebnisse der thermoelektrischen Messungen zeigen, daß die Temperaturen sich verhältnismäßig rasch angleichen. Zwischen den verschiedenen Beutelhüllen bestehen jedoch auffällige Unterschiede. So benötigt zu einer Temperaturannäherung auf den $1/e = 0,368$ fachen Wert der ursprünglichen Differenz der Beutel mit einer Hülle aus Perlon 3,0 Min., Köper 2,5 Min., Seide 2,2 Min., Schweizer Batist 2,1 Min., Polyäthylen 2,1 Min., Pergamin sogar nur 1,4 Min. Für praktische Überlegungen kann man unterstellen, daß ein Temperaturunterschied von 26°C bei einer Beutelhülle aus Köper in 16 Minuten, bei Pergamin in 11 Minuten ausgeglichen ist.

Berechnet man aus der Wärmekapazität des Bestäubungsschutzbeutels (C), aus der Wärmeübergangszahl (α) und aus der Oberfläche des Beutels (F) die Anpassungszeit (τ), bei der sich die ursprüngliche Temperaturdifferenz auf den $1/e$ -fachen Wert (siehe oben) erniedrigt, so ergibt sich z. B. bei Köper 2,2 Minuten.

$$\tau = \frac{C}{\alpha \cdot F} = \frac{49 \text{ cal grad}^{-1}}{10 \cdot 10^{-3} \cdot 2,2 \cdot 10^3 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \text{ cm}^2} = 2,2 \text{ min}$$

C = Wärmekapazität des Bestäubungsschutzbeutels
(cal grad $^{-1}$)

- a) Wärmekapazität Hülle $37,8 \text{ cal grad}^{-1}$
 - b) Wärmekapazität Käfig $6,2$
 - c) Wärmekapazität Luft $5,8$
- rd. 49 cal grad^{-1}

F = Oberfläche des Beutels (cm^2) = $2,2 \cdot 10^3 \text{ cm}^2$

I = Inhalt des Beutels (Luft) = $11 \cdot 10^3 \text{ cm}^3$

α = Wärmeübergangszahl = $10 \text{ mcal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \text{ grad}^{-1}$

Es liegt also eine großenordnungsmäßige Übereinstimmung mit dem experimentellen Ergebnis vor. Der angenommene Wert der Wärmeübergangszahl (α) gilt für ruhende Luft; die Anpassungszeit bei bewegter Luft wird wesentlich verkürzt.

Ob ein Bestäubungsschutzbeutel sich schnell oder langsam an geänderte Temperaturverhältnisse angleicht, ist wesentlich von der Wärmekapazität der Beutelhülle, des Drahtkorbes und des eingebeutelten Zweiges abhängig; unbedeutend dagegen ist die Wärmekapazität der eingeschlossenen Luft, weil sie im zweiglosen Beutel mit ca. 12%, in einem Beutel mit einem Fichtenzweig sogar nur mit annähernd 6% anteilmäßig beteiligt ist.

Nach dem Blütenansatz wäre bei mehreren Baumarten (z. B. Lärche, Fichte, Tanne, Douglasie) im Jahr 1957 am Versuchsort (Grafrath) ein überdurchschnittlicher Samenertrag zu erwarten gewesen. Jedoch wurden die Blüten durch einen Advektivfrost vernichtet.

Vom 4. bis 6. Mai drang arktische Kaltluft an die Ostflanke des Atlantikhochs in das Voralpengebiet vor. Dabei fiel am Versuchsort die Tageshöchsttemperatur am 5. Mai auf $9,0^{\circ}\text{C}$ (Vortag $13,5^{\circ}\text{C}$), die Tiefsttemperatur erreichte in der Nacht (6. 5. — 3.30 Uhr) — 4°C , in den Beuteln — $6,5^{\circ}\text{C}$. An den folgenden Tagen (7. und 8. Mai) schwächten sich die Luftdruckgegensätze ab, die Kaltluftmasse alterte. Infolge der fast ungehinderten Ausstrahlung konnte bei windschwachem Wetter am 9. 5. um 4.30 Uhr ein Tiefstwert der Lufttemperatur von -7°C und Beuteltemperaturen bis -9°C registriert werden (Abb. 16).

Die experimentellen Untersuchungen und die Temperaturregistrierungen während eines Kaltlufteinbruches zeigen übereinstimmend, daß Bestäubungsschutzbeutel nicht gegen Advektivfrost schützen.

f) Maßnahmen gegen extreme Temperaturwerte in Bestäubungsschutzbeuteln

aa) Maßnahmen gegen die Übertemperatur

Da der Wärmeumsatz der Einstrahlung die Ursache für die Übertemperatur in den Bestäubungsschutzbeuteln darstellt, können durch Abschirme die Extremwerte im Tagesgang der Temperatur verminder werden.

Die Abschirmung kann dadurch erreicht werden, daß der Bestäubungsschutzbeutel in einen Drahtkorb gesteckt wird, dessen

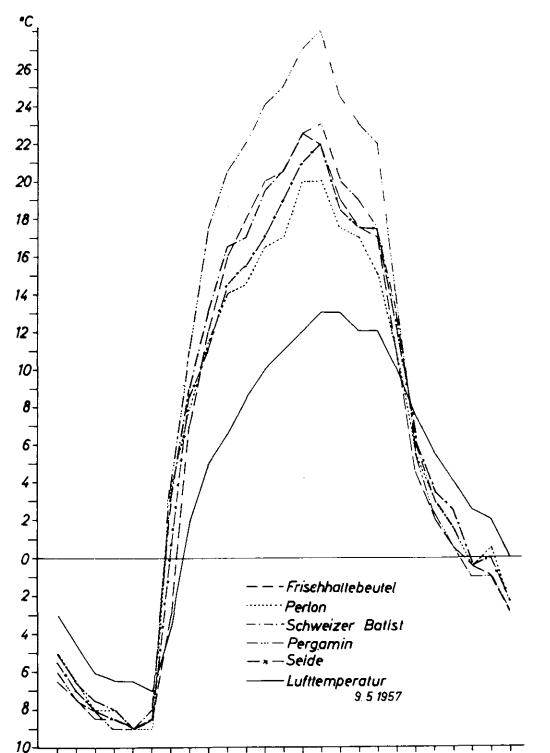


Abb. 16. — Abkühlung der Bestäubungsschutzbeutel bei Advektivfrost.

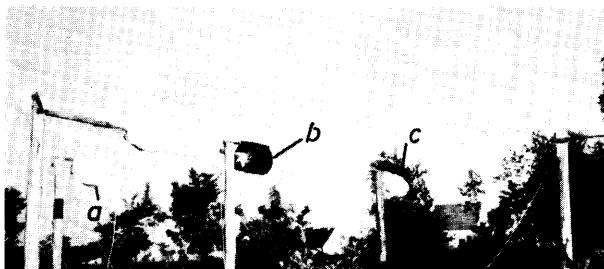


Abb. 17. — Abgeschirmte Bestäubungsschutzbeutel, (a) mit halbkreisförmiger Abschirmdecke, (b) mit schlauchförmiger Abschirmdecke (schwarz), (c) mit schlauchförmiger Abschirmdecke (weiß).

Durchmesser mindestens 10 cm, besser 15 cm größer ist als der des Schutzbeutels. Der Bestäubungsschutzbeutel wird mit der unterseitigen Verstrebung verbunden, während die Oberseite des Drahtkorbes einen Abschirmungsbezug erhält, der etwa die Hälfte der Mantelfläche umfaßt. Dadurch wird eine feste Verbindung des Bestäubungsschutzbeutels mit der Abschirmung erreicht, sowie ein ausreichender Abtransport der zwischen Abschirmdecke und Beuteloberseite sich bildenden erwärmen Luft ermöglicht. Die Abschirmung in Form einer schlauchförmigen Umhüllung hat sich dagegen nicht bewährt (Abb. 17).

Den unterschiedlichen Temperaturgang in abgeschirmten und nicht abgeschirmten Beuteln zeigt die Abb. 18; er ist dadurch gekennzeichnet, daß in den abgeschirmten Beu-

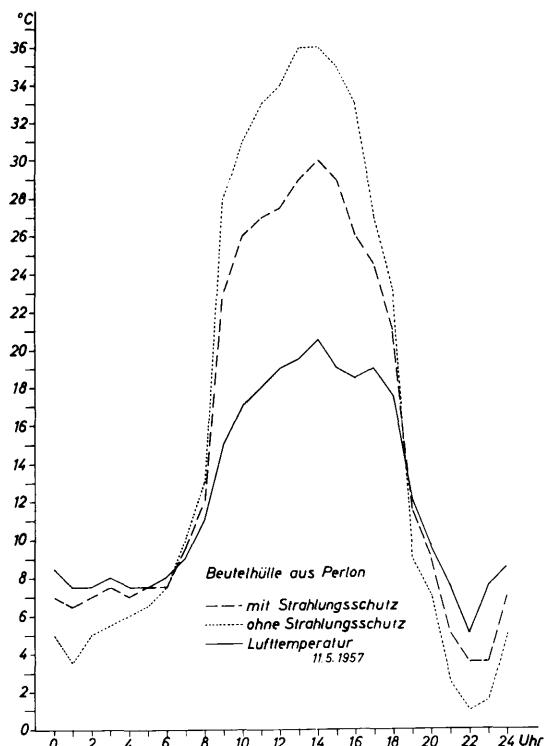


Abb. 18. — Temperaturgang in Bestäubungsschutzbeuteln mit und ohne Strahlungsschutz; letzterer bestand in einer halbkreisförmigen Abschirmdecke.

teln während der mittägigen Einstrahlung eine geringe Übertemperatur und während der Nacht eine abgeschwächte Unterkühlung auftritt.

bb) Maßnahmen gegen den Frosttod

Abschirmen der Bestäubungsschutzbeutel:

Bei der Besprechung des Temperaturganges wurde bereits die geringere Unterkühlung der abgeschirmten Beutel erwähnt. Man kann also durch diese Maßnahme erreichen, daß die eingebetteten Blüten nicht wesentlich stärker frostgefährdet sind als nicht eingehüllte. Da je-

doch die Lufttemperatur während der Blütezeit oft erheblich unter den Nullpunkt sinkt, kann diese passive Schutzwirkung der Abschirmung nur unzureichend vor dem Frosttod bewahren.

Heizung der Bestäubungsschutzbeutel:

In vielen Jahren erfrieren die Blüten mehrerer Baumarten gebietsweise fast ausnahmslos. Für die forstliche Züchtung (z. B. bei der Erbwertprüfung durch gelenkte Kreuzung oder bei dem Erzeugen luxurierender Bastarde) bedeutet diese Vernichtung nicht nur einen Verlust der Mittel für die Vorbereitung und Durchführung zur gelenkten Bestäubung, sondern auch den Ausfall eines wertvollen Arbeitsjahres. Ein ausreichender Schutz gegen den Frosttod kann nur durch eine Heizung der Bestäubungsschutzbeutel bewirkt werden.

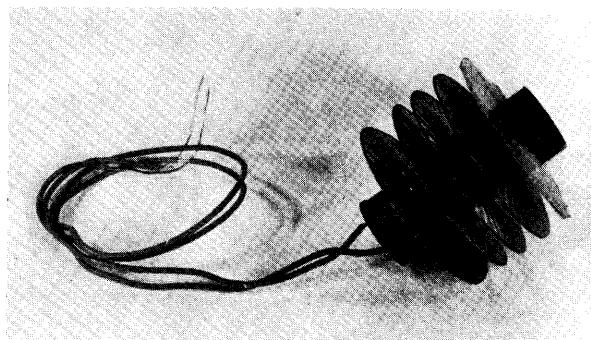


Abb. 19. — Heizkörper (Maßstab 1:2).

Bei der experimentellen Untersuchung dieser Frage wurde angestrebt, einen Heizkörper zu bauen, der bei -8°C Außentemperatur noch eine Beuteltemperatur von 0°C gewährleistet, ohne daß dabei die Lamellen sich über 40°C erwärmen. Die in Abb. 19 dargestellte Heizung entspricht dieser Forderung; sie hat einschließlich des Zuleitungsdrähtes ein Gewicht von 30 g. Die Betriebskosten der Heizung betragen je 10 Stunden 0,02 bis 0,03 DM.

5. Feuchteverhältnisse und Gas austausch in Bestäubungsschutzbeuteln

Der Temperaturgang in Polyäthylenbeuteln lehnt sich eng an den der Gewebebeutel an (siehe auch Abb. 5 und 16). Trotzdem zeigen die mit Polyäthylenhüllen eingebetteten Zweige fast ausnahmslos große Schäden, während die Zweige in Gewebehüllen gesund bleiben (Abb. 20, 21 und 22). Die Temperatur kann somit in der Regel nicht für die Schädigung verantwortlich gemacht werden. Ver-



Abb. 20. — Fichtenzweig mit Widerstandsthermometer — Beutelhülle aus Körper — Zweig und Nadeln völlig gesund.

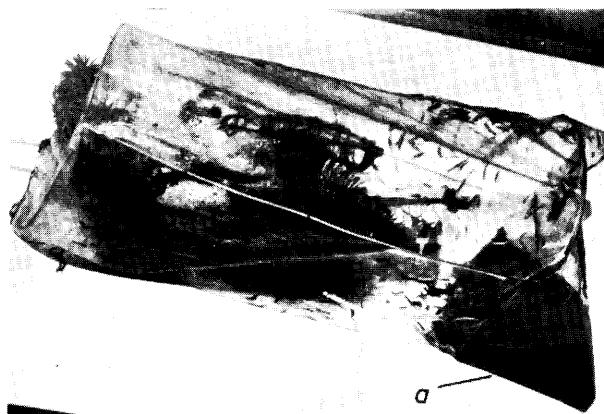


Abb. 21. — Fichtenzweig im Frischhaltebeutel; (a) Kondensationswasser und abgestorbene Nadeln; Nadeln größtenteils abgefallen.

gleicht man die Feuchteverhältnisse in Frischhaltebeuteln und Gewebebeuteln, so zeigen erstere stets annähernd 100% relative Feuchte, während die Gewebebeutel tagsüber durchschnittlich eine um 35% höhere Feuchte als die Außenluft aufweisen. Das Transpirationswasser kondensiert in Frischhaltebeuteln und erreicht bei eingebettelten Fichtenzweigen innerhalb von 14 Tagen eine Menge bis zu 800 cm³ (Abb. 21). Bei den Pergamintüten liegen die Verhältnisse ähnlich (Abb. 22).

Die relative Feuchte in den Bestäubungsschutzbeuteln wurde mit Präzisions-Kleinhygrometer nach Dr. DIEM gemessen; die Feuchte der Außenluft wurde vergleichsweise mit dem ASSMANN'schen Aspirationspsychrometer bestimmt.

Es wäre denkbar, daß die Treibhausatmosphäre in den hermetisch abgeschlossenen Beuteln diese Schäden maßgebend verursacht. Gegen eine solche physiologisch begründete Annahme sprechen allerdings Beobachtungen in einem am Boden aufgesetzten kubischen Einbeutelungszelt (Abb. 23), das einen Schwarzerlenpfropfling mit etwa 2,20 m Höhe während der gesamten Vegetationszeit einschloß. Dabei zeigte sich eindeutig, daß die Erle und die Bodenflora sich trotz der Übertemperatur und der ständigen 95% relativen Feuchte ausgezeichnet entwickelten. Die Lupinen blühten drei Wochen früher als im Freiland und übertrafen die Vergleichspflanzen im Höhenmittel um 50 cm. Das Reitgras (*Calamagrostis epigeios*) hatte Halmängen bis zu 2,30 m.

Die Hülle des kubischen Zeltes (3 m Kantenlänge) bestand aus Polyäthylen; die quadratische Bodenfläche im Zelt konnte durch einen doppelt gesicherten, im Erdboden versenkten Einstieg betreten werden. Das Rupfendach über dem kubischen Zelt sollte die mittägige Einstrahlung verringern.

Die Schäden in homogenen Bestäubungsschutzbeuteln scheinen Komplexwirkungen zu sein; vermutlich werden

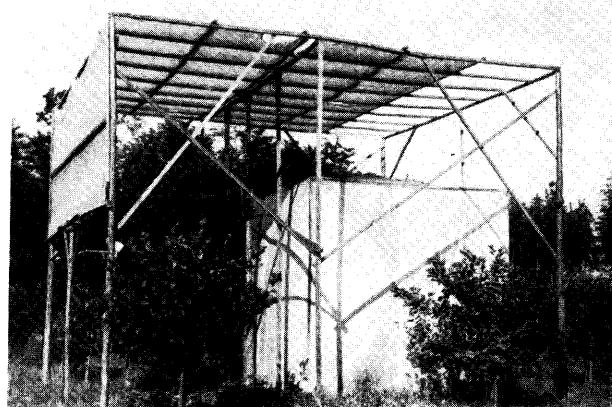


Abb. 23. — Kubisches Einbeutelungszelt aus Polyäthylen.

sie vorwiegend durch den auftretenden CO₂-Mangel verursacht. Jedenfalls spielt der gehemmte Gaswechsel hierbei eine ausschlaggebende Rolle; eigene Untersuchungen zu dieser Frage liegen jedoch nicht vor.

6. Überwachung des Entwicklungszustands der eingebettelten Blüten

Die Übertemperatur in den Bestäubungsschutzbeuteln beschleunigt die Blütenentfaltung und Bestäubungsreife der eingeschlossenen Blüten oft um mehrere Tage gegenüber vergleichsfähigen Blüten desselben Kronenteils.

Um den Entwicklungszustand der eingebettelten Blüten überwachen zu können, ist es notwendig, die Gewebehüllen mit einem Beobachtungsfenster (z. B. aus Polyäthylenfolie) auszustatten. Polyäthylenbeutel lassen ungehinderte Kontrollmöglichkeit zu, Pergamintüten jedoch nicht. Zur zweckmäßigen Ausstattung der Gewebebeutel gehört ferner die Bestäubungspore, die in der Nähe des Fensters angebracht sein soll; die (z. B. mit Tesafilm) verschlossene Öffnung wird bei der Bestäubung mit der Kanüle des Bestäubungsapparates (7) durchstoßen und anschließend wieder verklebt (Abb. 24).

IV. Zusammenfassung der Ergebnisse

1. Da die Waldbäumarten verhältnismäßig große Pollenkörper besitzen, ist es bei der Einbeutelung der weiblichen Blüten nicht erforderlich, homogene Beutelhüllen zu verwenden; vielmehr ist mit Rücksicht auf das Kleinklima und den Gasaustausch in den Bestäubungsschutzhüllen anzustreben, möglichst die Obergrenze jener Gewebedichte zu wählen, die noch einen vollen Pollenabschluß gewährleistet. Im allgemeinen sind bei den Nadelbaumarten



Abb. 22. — Fichtenzweig mit Widerstandsthermometer; Beutelhülle: Pergamintüte; Nadeln größtenteils abgefallen.

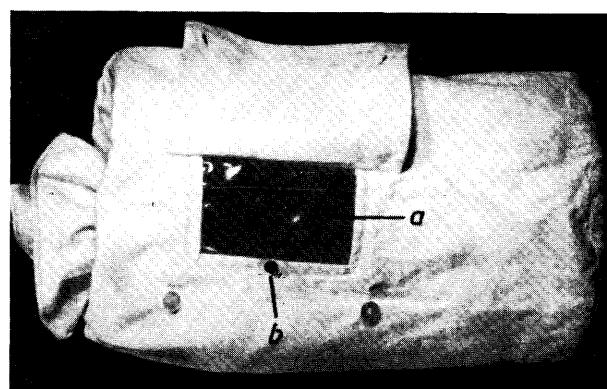


Abb. 24. — Bestäubungsschutzbeutel aus Köper; (a) Beobachtungsfenster, (b) Bestäubungspore (Maßstab 1:6).

Gewebehüllen mit einer Porengröße bis zu 20μ , bei den Laubbaumarten bis zu 10μ geeignet.

2. Polyäthylenhüllen (Frischhaltebeutel) und Pergamintüten sind rißgefährdet als Gewebebeutel.

3. Lichtentzug bis zu 46% der Außenhelligkeit hemmt die Entwicklung der isolierten Blüten nicht. Die Lichtdurchlässigkeit der Materialien, die für Bestäubungsschutzbeutel in Frage kommen, spielt daher bei der Wahl der Beutel keine wesentliche Rolle.

4. Die Bestäubungsschutzbeutel bedingen bei positivem Strahlungshaushalt eine ausgeprägte Übertemperatur, bei negativer Strahlungsbilanz eine Unterkühlung der eingeschlossenen Luft und des Zweiges.

5. Die Übertemperatur in den Beuteln gegenüber der umgebenden Freilandluft kann bis zu 18°C betragen und ist besonders vom Material der Hülle, von der Neigung des Beutels, von der Exposition der Kronenmantelfläche sowie vom Kronenteil abhängig; dagegen besitzt die Beutelgröße einen geringeren Einfluß.

6. In den Bestäubungsschutzbeuteln ist eine auffallende Temperaturschichtung vorhanden, die während der mittägigen Einstrahlung Werte bis zu 6°C erreichen kann.

7. Die Bestäubungsschutzbeutel schützen nicht gegen Strahlungsfrost; im Gegenteil, sie unterkühlen vielmehr die isolierten Blüten und erhöhen dadurch die Frostgefährdung. So konnten in den Beuteln bis zu $5,5^\circ\text{C}$ niedrigere Temperaturwerte als in der umgebenden Freilandluft gemessen werden.

8. Auch gegen advektiv herangeschaffte Kälte können die Bestäubungsschutzbeutel nicht schützen, da ihre Wärmekapazität zu klein ist.

9. Nasse Beutelhüllen verzögern infolge des Freisetzens von Gefrierwärme den Eintritt der Frostwirkung.

10. In abgeschirmten Beuteln erniedrigt sich die Tageshöchsttemperatur um mehrere Grade; auch die Unterkühlung wird wesentlich abgeschwächt.

11. Um einen ausreichenden Frostschutz zu erreichen, ist es erforderlich, die Bestäubungsschutzbeutel zu heizen. Die experimentellen Untersuchungen ergaben, daß es mit verhältnismäßig kleinen elektrischen Heizkörpern möglich ist, das Auftreten von Frost in den Beuteln bis zu einer Außentemperatur von -8°C zu vermeiden.

12. Eingebeutelte Zweige sind bei Schutzhüllen aus homogenem Material tagsüber dauernd einer wasser dampfgesättigten Treibhausatmosphäre ausgesetzt, dagegen liegt die relative Feuchte in den Gewebebeuteln tagsüber meist 35% über der der Außenluft.

13. Die Schäden in den homogenen Beuteln scheinen Komplexwirkungen zu sein, wobei dem auftretenden CO_2 -Mangel große Bedeutung zukommen dürfte.

14. Als Vor- und Nachteile des Materials der untersuchten Beutelhüllen können — gruppenweise zusammengefaßt — folgende Gesichtspunkte herausgestellt werden:

a) Bestäubungsschutzbeutel aus Polyäthylen (Frischhaltebeutel)

aa) Vorteile:

1. gute Beobachtungsmöglichkeit der isolierten Blüten
2. geringe Anschaffungskosten

bb) Nachteile:

1. Empfindlichkeit gegen Beschädigung
2. fehlender Gasaustausch (CO_2 -Mangel, Wasserdampfundurchlässigkeit)
3. meist stark ausgeprägte Unterkühlung

4. Ansammeln von Kondensationswasser, das den Beutel um das Mehrfache des Eigengewichtes beschwert und damit die Bruchgefahr des eingebetteten Zweiges erhöht
5. häufiges Absterben der eingeschlossenen Blüten und vegetativen Organe

b) Gewebebeutel

aa) Vorteile:

1. Geringe Empfindlichkeit gegen Beschädigung
2. Pollengröße und Gewebedichte können aufeinander abgestimmt werden
3. relativ geringe Übertemperatur und Unterkühlung
4. ausreichender Gasaustausch
5. Kontrolle der Blütenentwicklung durch ein Beobachtungsfenster

bb) Nachteile:

1. relativ hohe Anschaffungskosten
2. Gewichtserhöhung bei Regen bis zum 3fachen Wert des Trockengewichtes

c) Pergamintüten

aa) Vorteile:

1. Niedrige Anschaffungskosten

bb) Nachteile:

1. Sehr große Empfindlichkeit gegen Beschädigung
2. fehlende Kontrollmöglichkeit des Entwicklungszustandes der Blüten
3. höchste Übertemperatur und stärkste Unterkühlung
4. mangelnder Gasaustausch
5. geringes Volumen

Summary

Title of the paper: *Investigation on the microclimate inside pollination bags*.

1. Because forest tree species have relatively large pollen grains it is not necessary to use a homogeneous material for pollen bags to isolate the female flowers, but having regard to the microclimate in the bags and to gas exchange, efforts should be made to determine the upper limit of coarseness in texture which guarantees an effective isolation of the flowers. Usually it will be suitable to use cloth bags with pores up to 20μ for needle-leaf trees, and for broad-leaf trees bags with pores up to 10μ .

2. Polyethylene bags and pergamine bags are more liable to be punctured than to cloth bags.

3. Reducing the light in the bags down to 46% of that outside does not hinder the development of the flowers. Therefore, the permeability to light of the material is of no great importance.

4. Inside the pollination bags there is a pronounced increase in temperature under conditions of positive radiation and a pronounced fall in the temperature of the enclosed air and branches under conditions of negative radiation.

5. The increase of temperature in the bags relatively to that of the surrounding air can amount to 18°C and depends greatly on the material of the bags, on the inclination of the bags, on the exposure of the convex surface of the crown and on the position in the crown. The size of the bag has less influence.

6. Inside the pollination bags striking temperature gradients were recorded which showed, during mid-day radiation, values of up to 6°C .

7. The pollination bags do not protect against radiation frost. On the contrary they cause a fall in the temperature of the isolated flowers and increase the danger of frost. Temperatures down to 5,5° C less than the surrounding air were recorded.

8. The bags also give no protection against low temperature caused by convection because calorific capacity is too low.

9. Wet bags delay the beginnings of the effects of frost of the latent heat of freezing.

10. In screened bags the day-time temperature is reduced by several degrees and the fall of temperature is also essentially reduced.

11. To get sufficient frost protection it is necessary to heat the bags. The experimental evidence showed that it is possible to hinder the appearance of frost in the bags, with temperatures down to — 8° C in the surrounding air, by means of small electric heaters.

12. During the whole day isolated branches in bags of homogeneous material are subjected to a saturated hot-house atmosphere; by contrast the relative humidity in cloth bags showed in most cases an increase of 35% over that of the surrounding.

13. It seems that the injuries in homogeneous bags have a complex effect by which the apparent lack of CO₂, may be of great importance.

14. The benefits as well as the damage caused by the materials tested is summarized:

a) Polyethylene bags

aa) Benefits:

- 1) Easy observation of the isolated flowers.
- 2) Low first costs.

bb) Drawbacks:

- 1) High susceptibility to injury.
- 2) Lack of gas exchange (deficiency of CO₂; impermeability to moisture).
- 3) In most cases a pronounced low temperature.
- 4) Collection of condensation water which weighs down the bags and increases the danger of breaking the branches.
- 5) High degree of die-back of the isolated flowers and vegetative organs.

b) Cloth Bags

aa) Benefits:

- 1) Low susceptibility to injury.
- 2) Size of pollen and size of pores can be adjusted one to another.
- 3) Relatively small increase or decrease in temperature.
- 4) Sufficient gas exchange.
- 5) The development of flowers can be observed through a fitted polyethylene window.

bb) Drawbacks:

- 1) Relatively high first costs.
- 2) Increase in weight during rainfall up to three times the dry weight.

c) Pergamine bags:

aa) Benefits:

Low first costs.

bb) Drawbacks:

- 1) Very high susceptibility to injury.
- 2) No possibilities of observing the development of the flowers.
- 3) Highest increase and decrease in temperature.
- 4) Lack of gas exchange.
- 5) Small size.

Résumé

Titre de l'article: *Recherche sur le microclimat à l'intérieur des sacs de pollinisation.*

1. Les espèces forestières ont des grains de pollen relativement gros; c'est pourquoi il n'est pas nécessaire d'employer un matériau parfaitement imperméable pour les sacs d'isolation des fleurs femelles, mais pour tenir compte du microclimat dans les sacs et des échanges gazeux, il faut déterminer la limite de perméabilité qui garantit une isolation réelle des fleurs. Pour les résineux, des sacs en tissu avec des pores inférieurs à 20 μ conviennent habituellement et pour les feuillus, des sacs avec des pores inférieurs à 10 μ.

2. Les sacs en polyéthylène se percent plus facilement que les sacs en tissu.

3. La réduction de la lumière dans les sacs jusqu'à 46% de l'éclairage extérieur ne gêne pas le développement des fleurs. En conséquence, la transparence du matériau n'est pas très importante.

4. A l'intérieur des sacs, on constate une augmentation marquée de température dans des conditions de radiation positive et une chute marquée de température dans des conditions de radiation négative.

5. Cette augmentation de température dans les sacs par rapport à la température ambiante peut atteindre 18° C et dépend principalement du matériau employé pour les sacs, de leur inclinaison, de leur exposition et de leur place dans la cime de l'arbre. La dimension des sacs a moins d'influence.

6. A l'intérieur des sacs, on a observé des gradients de température très nets qui peuvent atteindre 6° C au milieu du jour.

7. Les sacs de pollinisation ne protègent pas contre la gelée. Au contraire, ils accentuent la chute de température et augmentent le danger de gel pour les fleurs isolées. On a observé des températures inférieures de 5,5° C à celle de l'air ambiant.

8. Les sacs ne protègent pas non plus contre les basses températures dues au courant de convection parce que la capacité calorifique est trop faible.

9. Les sacs humides retardent les effets de la gelée.

10. Dans les sacs en toile «aérée», l'augmentation et la réduction de température sont nettement diminuées.

11. Pour assurer une protection suffisante contre la gelée, il est nécessaire de chauffer les sacs. L'expérience montre qu'il est possible d'empêcher le gel dans les sacs, grâce à des petits réchauffeurs électriques, avec des températures extérieures jusqu'à — 8° C.

12. Les branches isolées dans des sacs constitués d'un matériau imperméable sont pendant tout le jour soumises à une atmosphère chaude et humide, comparable à celle d'une étuve. Au contraire, dans les sacs en tissu, l'humidité relative dans la plupart des cas n'est supérieure que de 35% à celle de l'ambiance.

13. Il semble que les dégâts observés dans les sacs imperméables ont des causes complexes parmi lesquelles le manque apparent de gaz carbonique peut avoir une grande importance.

14. Les avantages et les inconvénients des matériaux expérimentés sont énumérés ci-dessous:

a) Sacs en polyéthylène

aa) Avantages:

- 1) Facilité d'observation des fleurs femelles.
- 2) Bas prix d'achat.

- bb) Inconvénients:
- 1) Dégâts importants sur les pousses isolées.
 - 2) Obstacle aux échanges gazeux (manque de gaz carbonique; imperméabilité à la vapeur d'eau).
 - 3) Dans la plupart des cas, abaissement de température très marqué.
 - 4) L'eau de condensation se collecte, alourdit les sacs et augmente le risque de cassure des branches.
 - 5) Taux de mortalité élevé des fleurs isolées et des organes végétatifs.
- b) Sacs en tissu
- aa) Avantages:
- 1) Les dommages aux pousses sont plus faibles.
 - 2) Les dimensions des pores du tissu peuvent être choisies en fonction de celles du pollen.
 - 3) Faible variation de température.
 - 4) Échanges gazeux suffisants.
 - 5) Le développement des fleurs peut être observé par une fenêtre en polyéthylène ajustée sur le sac.
- bb) Inconvénients:
- 1) Prix d'achat relativement élevé.
 - 2) Augmentation de poids en période de pluie jusqu'à 3 fois le poids sec.
- c) Sacs den "pergamine"
- aa) Avantages:
- 1) Faible prix d'achat.
- bb) Inconvénients:
- 1) Dommages aux pousses très élevés.
 - 2) Aucune possibilité d'observer le développement des fleurs.
 - 3) Les plus fortes variations de température.
 - 4) Pas d'échange gazeux
 - 5) Petites dimensions.

Literatur

- (1) ECKERT, E.: Wärme und Stoffaustausch. Berlin 1949. — (2) EISENHUT, G.: Blühen, Fruchten und Keimen in der Gattung *Tilia*. Diss. München 1957. — (3) GEIGER, R.: Klima der bodennahen Luftschicht. 3. Aufl. Braunschweig 1950. — (4) MÄDE, A.: Ein Beitrag zur Frage: Wahre Lufttemperatur oder Versuchskörpertemperatur. Biokl. Beibl. 4, 35 (1937). — (5) NIENSTÄDT, H., and KRIESEL, H. B.: Controlled Pollination of Eastern Hemlock. Forest Science 1, 115 (1955). — (6) ROEMER, Th., und RUDORF, W.: Handbuch der Pflanzenzüchtung, Bd. 5, 87 (Berlin 1940). — (7) ROHMEDER, M.: Ein zweckmäßiges Bestäubungsgerät. Z. Forstgenetik 3, 54 (1954). — (8) RUDLOFF, C. F., und SCHANDERL, H.: Die Befruchtungsbiologie der Obstgewächse. 2. Aufl. Stuttgart 1946. — (9) WEGER, N.: Über Tüntemperaturen. Biokl. Beibl. 5, 16 (1938). — (10) WEGER, N., HERBST, W., und RUDLOFF, C. F.: Witterung und Phänologie der Blühphase des Birnbaumes. Reichsamt f. Wetterd. Wiss. Abhandl. 7, Nr. 1, 1940.

A Cline or not a Cline - a Question of Scots Pine

By OLOF LANGLET¹⁾

(Received for publication August 18, 1958)

In a paper published in this Journal, WRIGHT and BALDWIN (1957) reported certain results of a provenance test for Scots pine (*Pinus sylvestris*) conducted at Hillsboro, New Hampshire, U.S.A. The test embraced mainly provenances used in the 1938 international provenance test, of which Professor WERNER SCHMIDT, then at Eberswalde, was the initiator. He was at the time Chairman of a Sub-Committee for Forest Seed and Forest Tree Races set up by the International Union of Forest Research Organizations (which committee was unfortunately dissolved when the Union was linked to the F.A.O. after the War). In the tests with pine and spruce, the seed material was complemented in Stockholm, with the intent to avoid incomplete sampling and distributed from there by the Secretary-General of the Union at the time, Professor PETRINI, and the Author. The larch provenances were collected wholly by Professor SCHMIDT.

The results of the test in New Hampshire are of great interest for two reasons, firstly because in comparison with European conditions, the test is located in a very southerly latitude, 43° N., and secondly because it comprises a very large number of the provenances which were the objects of the international test, viz.: 46 out of a total of 52.

WRIGHT and BALDWIN (ibid.) report the average height of the trees, which is given for the different provenances in each block separately, whereas, in the few cases where replications occur, it is not given for the individual plots in each block. The results in regard to needle length,

number of living and dead trees, stem and branch diameters, different kinds of crook, fructification and damages by porcupine, have been presented only as means for the provenances as grouped into ecotypes or corresponding regions by WRIGHT and BALDWIN. This makes a detailed study of the test results impossible, except so far as the height measurements are concerned.

The study of the height measurements can hardly be said to have been facilitated by the consistent use by WRIGHT and BALDWIN of an order of sequence for the provenances which is dictated neither by their numbers, their alphabetical sequence, their latitude, nor by their measured heights. This applies equally to Table 1, containing data on the origin of the seedlots, and Table 3, giving a summary of the heights (ibid. pp. 3 and 6).

In Table 1, all the pine provenances used in the 1938 international test have been reported. They are given in numerical sequence, with latitudes, longitudes and altitudes. In some cases the data available at present regarding the origin of the provenances differ from those reported by WRIGHT and BALDWIN. This is partly due to the fact that they have taken their data from VEEN (1952). Hence the error in the latitude of Nos. 37 and 38, Suprasl, which has been given as "51° 13'" instead of 53° 13'. No. 8 was already in the first List of data, issued from Eberswalde, called "Voxana" instead of Vornna. Due presumably to a misprint, the latitude of No. 2 Rovaniemi is also incorrect. It should be 68° 30' instead of 66° 30''. This location is however in the correct place on their map (ibid. Fig. 1).

¹⁾ Dr. LANGLET is Research Leader (Associated Professor), Genetics Dept., Forest Research Institute of Sweden, Stockholm.