

WESMAEL, C., Moeurs des Bracons. Ann. Soc. ent. France, 6, Bull., p. LXVII—LXVIII, 1837.

WESTWOOD, J. O., An Introduction to the Modern Classification of Insects, 2, Appendix: Synopsis of the Genera of British Insects. 158 pp., London 1840.

Unsicherheitsfaktoren bei der Kiefernspannerprognose und Möglichkeiten ihrer Überwindung

Mit einer Ermittlung der Nadelverbrauchsnormen und kritischen Zahlen
von *Bupalus piniarius* L. und *Semiothisa liturata* Cl.

VON WOLFGANG SCHWENKE

Deutsches Entomologisches Institut, Berlin-Friedrichshagen

Inhalt:	Seite
A. Einleitung und Aufgabenstellung	190
B. Unsicherheitsfaktoren bei der Kiefernspannerprognose	191
I. Im Begriff „Kiefernspanner“ gelegene Unsicherheitsfaktoren	191
II. Unsicherheitsfaktoren beim Probesuchen	193
III. Unsicherheitsfaktoren bei der Ermittlung der kritischen Zahlen	197
1. Bestimmung der kritischen Zahlen durch Vergleich von Fraßgrad und vorangegangener Puppenzahl	199
2. Bestimmung der kritischen Zahlen aus der Nadelverbrauchsnorm einer Raupe	200
a) Die Unsicherheitsfaktoren der Verbrauchsnormbestimmung	200
α) Die Fraßflächenmethode	206
β) Die Nadellängenmethode	206
γ) Die Luftwelkmethode	210
δ) Die Methode am Baum	213
ϵ) Die Wasserwelkmethode	216
b) Die Unsicherheitsfaktoren bei der Berechnung der kritischen Puppenzahl aus der kritischen Raupenzahl	220
IV. Unsicherheitsfaktoren bei der Anwendung der kritischen Zahlen	221
1. In der Ermittlung der Nadelmasse eines Bestandes enthaltene Unsicherheitsfaktoren	221
2. In der Vorhersage der Raupenzahl und des Fraßschadens enthaltene Unsicherheitsfaktoren	224
C. Ermittlung der Nadelverbrauchsnormen und kritischen Zahlen der Kiefernspanner <i>Bupalus piniarius</i> L. und <i>Semiothisa liturata</i> Cl. nach der Wasserwelkmethode	228
I. Allgemeines und Methodik	228
II. Die Nadelverbrauchsnormen der beiden Spanner	231
III. Die (vorläufigen) kritischen Zahlen	232
Zusammenfassung	241
Verzeichnis der benutzten Literatur	242

A. Einleitung und Aufgabenstellung

Die Vorhersage (Prognose) der Schadwirkung unserer nadelfressenden Kieferngrößschädlinge ist trotz ihrer überragenden wirtschaftlichen Bedeutung gegenwärtig noch weit davon entfernt, ein verlässliches Instrument des Forstschutzes darzustellen.

Der Grund hierfür ist darin zu suchen, daß die der Prognose zugrundeliegenden Hilfsmittel und Methoden noch viel zu wenig durchgearbeitet sind, um sichere Vorhersagen zu ermöglichen.

Man begnügt sich deshalb damit, die Populationsdichte der Schädlinge im Überwinterungsstadium zu überwachen und von einer „kritischen“ Dichte an, d. h. einer solchen, die erfahrungsgemäß Kahlfraßschäden in der kommenden Vegetationsperiode befürchten läßt, die meist chemische Bekämpfung des nadelfressenden Stadiums anzuordnen.

Ein derartiges Verfahren erscheint aber unbefriedigend. Der eigentliche Sinn der Prognose, der darin besteht, die kostspielige und auf die Biozönose (und somit auf die Zukunft) des Bestandes stets ungünstig einwirkende chemische Bekämpfung so lange wie nur irgend möglich zu umgehen, ist dabei verlorengegangen.

Welche Kosten hätten sich wohl bisher vermeiden lassen, wenn nur dort begiffet worden wäre, wo es tatsächlich unbedingt notwendig war!

Es ist daher die Forderung zu stellen, die Prognose zu präzisieren und sie zu dem zu machen, was sie sein sollte: ein einwandfreies Mittel der Entscheidung darüber, ob bekämpft werden muß oder nicht.

Um diese Forderung zu erfüllen, bedarf es einer grundlegenden Verbesserung der prognostischen Arbeitsmethoden.

Man kann letztere in drei Gruppen einteilen:

1. Methoden zur Feststellung der Populationsdichte des Schädlings;
2. Methoden zur Ermittlung der kritischen Zahlen des Schädlings;
3. Methoden zur Anwendung der kritischen Zahlen, d. h. zur Vorhersage des Fraßschadens.

Es soll nachfolgend bezüglich des Kiefernspanners versucht werden festzustellen, welche Unsicherheitsfaktoren hier die genannten Methoden belasten und welche Mittel möglich erscheinen, diese Faktoren zu überwinden, d. h. auszumerzen oder doch wenigstens in ihrer Wirkung so weit wie möglich zu reduzieren.

In praktischer Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse soll sodann die Ermittlung der Nadelverbrauchsnorm und der kritischen Zahlen des Kiefernspanners mit verbesserter Methodik vorgenommen werden.

B. Unsicherheitsfaktoren bei der Kiefernspannerprognose und Möglichkeiten ihrer Überwindung

I. Im Begriff „Kiefernspanner“ gelegene Unsicherheitsfaktoren

Den Untersuchungen vorangestellt werden muß eine Tatsache, die bisher bei der Kiefernspannerprognose noch nicht beachtet worden ist, deren Nichtbeachtung aber schon einen ersten und nicht geringen Unsicherheitsfaktor darstellt. Das ist die Tatsache, daß sich hinter dem, was man in der Forstentomologie „Kiefernspanner“ nennt, zwei ganz verschiedene Spannerarten verbergen, nämlich der gewöhnliche Kiefernspanner *Bupalus piniarius* L. und der sogenannte veilgraue Kiefernspanner *Semiothisa liturata* Cl.¹⁾

Bekannt war der veilgraue Spanner schon immer, nur hat man eigenartigerweise seine Rolle bei den Kiefernspannerkalamitäten bisher nie verfolgt. Möglich, daß der Grund hierfür einfach der war, daß diese Art praktisch nie eine Rolle bei den Kalamitäten spielte; wahrscheinlicher aber ist, daß man sie bisher stets übersehen, d. h. die Puppen und Raupen von *Semiothisa* und *Bupalus*, die sich verhältnismäßig stark ähneln, als identisch betrachtet hat.

Für diese Vermutung sprechen folgende Literaturhinweise:

RATZEBURG (1840, S. 186), der die Raupen von *Semiothisa* als rotköpfige den grünköpfigen *Bupalus*-Raupen gegenüberstellte, schreibt: „... und ist bei uns sogar so gemein, daß bei einem ziemlich bedeutenden Spannerfraß in den Jahren 1837 und 1838 fast die Hälfte oder doch wenigstens ein Drittel aus rotköpfigen Raupen bestand“.

ALTUM (1882, S. 152) bestätigt das außerordentlich zahlreiche Auftreten von *Semiothisa liturata* Cl. in Kiefernstangenorten.

HOFMANN (1941, S. 324), der erstmalig die Art züchtete und ihre von *Bupalus* stark abweichende Bionomie feststellte (s. u.) schreibt: „Unter dem alljährlich dem Institut für angew. Zoologie (München, Verf.) zur Untersuchung eingesandten Puppenmaterial aus den verschiedenen bayrischen Forstämtern findet sich regelmäßig ein mehr oder weniger hoher Prozentsatz von Puppen des zu den *Boarmienen* gehörenden veilgrauen Kiefernspanners *Semiothisa liturata* Cl.“

Auch meine (allerdings außerhalb einer Kalamität gemachten) Erfahrungen sprechen dafür, daß *Semiothisa* unter den KiefernSchädlingen eine größere Rolle spielt, als bisher angenommen wurde. Die von mir in den Wintern 1950/51 und 1951/52 in den zwischen Berlin und Fürstenwalde gelegenen Kiefernwäldern durchgeführten Puppensuchen ergaben, daß in allen Kiefernwaldtypen und Bestandesaltersgruppen *Semiothisa* in etwa

¹⁾ Zwei weitere an Kiefer fressende Spannerarten, der gebänderte Kiefernspanner *Ellopija fasciaria* L. und der braunköpfige Kiefernspanner *Cidaria firmata* Hb. gehören nicht hierzu, weil sie außerhalb des Bodens überwintern und somit nicht Gegenstand der eigentlichen — auf der winterlichen Bodensuche basierenden — Spannerprognose sind.

gleicher Stärke wie *Bupalus* (Maximum ca. 2 Puppen von jeder Art pro qm) vorhanden war (siehe SCHWENKE, 1952).

Es zeigte sich aber auch, daß die Populationskurve von *Semiothisa* nicht in gleicher Weise wie die von *Bupalus* verlief. Während *Bupalus* von 1950/51 auf 1951/52 in allen fünf unterschiedenen Kiefernwaldtypen an Stärke zunahm, nahm *Semiothisa* während dieser Zeit in zwei Waldtypen zu, in den anderen drei Typen jedoch ab.

Diese Ergebnisse, die natürlich noch keinerlei weiterreichende Schlüsse zulassen, weisen darauf hin, daß eine Massenvermehrung von *Bupalus* mit einer solchen von *Semiothisa* unter Umständen (nämlich in bestimmten Waldtypen) gekoppelt sein könnte.

Prognostisch gesehen, wäre trotz allem das Nebeneinandervorkommen zweier als Puppe im Boden überwinternder Kiefernspannerarten ohne Bedeutung, wenn beide, wie man bis vor zehn Jahren auch glaubte, in ihrer Lebensweise prinzipiell übereinstimmen würden. Das ist aber nicht der Fall.

HOFMANN (1941) stellte fest, daß die Entwicklungsdauer von *Semiothisa* bei 22° Celsius nur 33 Tage gegenüber 77 Tagen bei *Bupalus* dauerte. Meine Zuchten im Jahre 1951 bestätigten dies (*Semiothisa* bei 21° Celsius 36 Tage)¹⁾. Im Freiland beobachtete ich 1951 am 22. 5. die ersten Falter und am 14. 7. die erste Nachraupe im Boden (am 17. 7. Puppe).

Damit ist die Möglichkeit des Vorhandenseins zweier *Semiothisa*-Generationen gegeben. Bei HOFMANN schlüpfen zwar „im Sommer und Spätsommer immer jeweils nur vereinzelte Falter“ und auch in meinen Zuchten betrug der Anteil der zweiten Generation nur 7 bis 8% der ersten. Daß diese Laboratoriumsergebnisse aber nicht ohne weiteres auf die Freilandverhältnisse übertragbar sind, zeigten meine Puppensuchen 1951. Ende August betrug der Puppenbelag (1. Generation) in einem Stangenholz 0,9 Puppen pro qm, Mitte November dagegen (1. + 2. Gen.) dort 1,8 Puppen pro qm, also genau das Doppelte! Das beweist, daß die zweite Generation im Freiland nicht so schwach gewesen sein kann, wie im Laboratorium.

Das von *Bupalus* unabhängige, örtlich und zeitlich wechselnde Auftreten von *Semiothisa*, insbesondere ihrer zweiten Generation, stellt für die Kiefernspannerprognose eine nicht unwesentliche Fehlerquelle dar. Läßt man die Art ganz oder zum Teil (2. Gen.) unberücksichtigt, so können nur Fehlprognosen die Folge sein. Die einzige Möglichkeit zur Überwindung dieses Unsicherheitsfaktors bietet das Studium der Lebensweise von *Semiothisa* in ihrer örtlichen und zeitlichen Bedingtheit (an verschiedenen Kiefernstandorten). Man wird aus den Ergebnissen solcher Untersuchungen voraussichtlich eine bestimmte, nach Waldtyp verschiedene Sicherheitsquote berechnen können, um welche die beim Probe-

¹⁾ Näheres in demnächst erscheinender Veröffentlichung.

suchen ermittelte *Semiothisa*-Individuenzahl der 1. Generation zu vergrößern wäre.

Es seien in Stichworten die leicht erkennbaren Unterscheidungsmerkmale zwischen dem gewöhnlichen (*Bupalus*) und dem veilgrauen (*Semiothisa*) Kiefernspanner zusammengestellt.

	<i>Bupalus piniarius</i> L.	<i>Semiothisa liturata</i> Cl.
Falter		
Flügelspanne	28—40 mm	23—33 mm
-farbe (Oberseite)	♂ schwarzbraun mit hellen Flecken ♀ hell und dunkler rostbraun	♂ und ♀ bläulichgrau („veilgrau“) mit rötlichgelber Binde
-haltung (Ruhe)	aufgerichtet	flach ausgebreitet
Fühler	♂ doppelt gekämmt ♀ borstenförmig	♂ gesägt-gewimpert ♀ borstenförmig
Ei	Hellgrün, oval, auf Oberseite eingedellt, glatt. Ablage in „Zeilen“ an Nadeln	Graugrün, oval, nicht eingedellt, wabenähnlich skulpturiert. Ablage unregelmäßig an Rinde und Nadelscheide, einzeln
Raupe ¹⁾		
Kopffarbe	Graugrün mit drei gelbweißen Längsstreifen	Rotbraun mit grünem Stirndreieck und zwei gelbweißen Längsstreifen
Körperfarbe	Graugrün mit gelbweißem Rückenstreifen und je einen gelbweißen Seitenstreifen (insgesamt: 3 starke helle Längslinien)	Gelbgrün mit dunkelgrünem Rückenstreifen und je zwei gelbweißen Seitenstreifen (insgesamt: 4 starke helle Längslinien)
Puppe		
Länge (ohne Kremastergriffel)	10—15 mm	9—12 mm
Farbe	Braun mit grünlichen Flügeldecken	Einfarbig braun
Kremaster (ohne Griffel)	In ganzer Länge furchig skulpturiert	Etwa die basale Hälfte furchig skulpturiert, die apikale Hälfte glatt
Kremastergriffel	Gedrungen und selten gegabelt	Sehr schlank, stets gegabelt

II. Unsicherheitsfaktoren beim Probesuchen

Da der Kern der Prognose darin besteht, die beim Probesuchen festgestellte Individuenzahl des Schädlings mit der kritischen Zahl des betreffenden Entwicklungsstadiums zu vergleichen, ist es nötig, die im Bestande vorhandene Populationsdichte beim Probesuchen in ihrer tatsächlichen Höhe zu erfassen.

¹⁾ Die Färbungsunterschiede sind erst bei erwachsenen Raupen ganz deutlich. Doch lassen sich schon Einhäuter (Stadium II) nach der Zahl der weißen Streifen unterscheiden.

Welches Entwicklungsstadium der Kiefernspanner ist diesbezüglich mit den geringsten Unsicherheitsfaktoren belastet?

Was zuerst das Eistadium betrifft, so schreibt JUCHT (1925) über das Probesuchen nach Spannereiern:

„Die Ergebnisse sind unsicher und ungenau. . . Einen Beweis dafür, daß man bei optimistischer Beurteilung eines geringen Eierbefundes Enttäuschungen erleben kann, gab das Jahr 1913 im Dürrenbucherforst. In den meistbeflogenen Bestandteilen wurden durchschnittlich 10—40 Eier an einer Föhre gezählt. Nachbarstämme mit gleicher Kronenbeschaffenheit waren aber später mit 1—2000 Raupen besetzt.“

JUCHT erklärt diese Unterschiede mit dem Abspringen der Eier beim Fällen und mit der langen Flugzeit des Spanners (4—8 Wochen).

Selbst, wenn man dieses Ergebnis als ein ausnahmsweise ungünstiges ansehen wollte, bedeutet doch stets das Abspringen bzw. Abgestreiftwerden der Eier beim Fällen eine erhebliche Fehlerquelle, der prinzipiell nicht beizukommen ist. Wenn SCHWERDTFEGGER (1935a) bei der Überprüfung einer von Arbeiterinnen nach Forleuleneiern abgesuchten Kiefer feststellte, daß 21,3% der Eier übersehen worden waren, so ist dieser an sich schon sehr starke Suchfehler noch um einen Zuschlag unbekannter Höhe — eben infolge des Abspringens der Eier — zu vergrößern.

Hinzu kommt, daß die an und in der Rinde sowie in den Nadelscheiden versteckt abgelegten Eier von *Semiothisa* ein einigermaßen sicheres Zählen unmöglich machen. NOLTE (1942)¹⁾ schreibt über die Auszählung der in ähnlicher Weise wie bei *Semiothisa* versteckt sitzenden Nonneneier:

„Die Arbeit ist langwierig und liefert auch bei sorgfältigster Ausführung unsichere Ergebnisse, da der Anteil übersehener Eier stets groß ist.“

Auch das Probesuchen während des Raupenstadiums kann keine genauen Resultate liefern. Die der Futterpflanze ähnelnde Färbung der Raupen verursacht einen zu hohen Suchfehler.

MARCUS (1934) stellte durch Zählung der nach einer chemischen Bekämpfung mit Forestit von den Bäumen gefallenen toten Forleulendraupen, die in der Färbung ja den Spannerdraupen sehr ähneln, für zwei Kiefern 683 und 742 Raupen fest, während er vor der Bestäubung (zwei Tage vorher) auf einem gründlich untersuchten Probestamm nur 296 lebende Raupen gefunden hatte. Er schreibt:

„Es ist dies nur ein Beispiel für die Unzuverlässigkeit auch gründlicher Probestammuntersuchungen; die gleiche Erfahrung konnte ich in vielen anderen Fällen ebenfalls machen.“

Die prognostische Brauchbarkeit des Raupenzählens wird dadurch noch weiter vermindert, daß man ja im Interesse einer eventuell notwendigen Bekämpfung im Jungraupenstadium suchen müßte, in welchem der Sammelfehler noch weit größer als im Altraupenstadium sein dürfte.

¹⁾ Lt. SCHWERDTFEGGER (1944, S. 376).

Bleibt also noch das Puppenstadium. SCHWERDTFEGER(1941)schreibt hierüber:

„Zunächst ist festzuhalten, daß eine Voraussage der Schädlingentwicklung auf Grund gefundener Puppenzahlen niemals sicher sein kann; denn

1. besitzen die Ergebnisse der Puppensuche verschieden große Genauigkeit je nach der Sorgfalt der Arbeitsausführung und der Gestaltung der Bodendecke;
2. liegen die Puppen nicht gleichmäßig im Bestande verteilt; zufällig können bei den Probesuchen nur weniger oder stärker belegte Stellen erfaßt werden; eine möglichst große Zahl von Probeflächen kann hier ausgleichend wirken;
3. liegt zwischen der Zeit der Puppensuchen und der Zeit des schädigenden Fraßes eine Reihe von Monaten, während deren schwer oder gar nicht vorauszusehende Ereignisse die Zahl der Schädlinge mehr oder weniger stark verringern können.“

Betrachtet man die genannten Punkte als Unsicherheitsfaktoren und fragt, ob diese durch Verbesserung der Methoden nicht vermindert oder gar beseitigt werden könnten, so kann ich, was zunächst die Punkte 1 und 2 betrifft, diese Frage auf Grund der bei meinen Untersuchungen über die Verteilung der Kiefernspannerpuppen nach Waldtyp, Bestandesalter, Bodendecke und Bestandesklima gefundenen Ergebnisse¹⁾ — mit aller Bestimmtheit bejahen.

In kurzer Zusammenfassung dieser Ergebnisse seien im folgenden diejenigen Voraussetzungen aufgezählt, deren Erfüllung größtmögliche Genauigkeit der Puppensuchergebnisse mit sich bringen würde:

1. Die Auswahl der Probebestände müßte derart erfolgen, daß für jede größere Waldfläche (von ca. 1000 bis 3000 ha) pro Kieferntragsklasse ein Probebestand gewählt würde.

Die untersuchten Kiefernwaldtypen haben sich als sehr verschieden mit Spannerpuppen belegt erwiesen. Da sich zeigte, daß die Waldtypen sich sehr gut mit Kieferntragsklassen decken, könnte man durch Berücksichtigung dieser Klassen alle Unterschiede im Puppenbelag erfassen, während das bei einer die Ertragsklassen nicht vollständig berücksichtigenden Festlegung der Probebestände nicht gewährleistet wäre.

Der Vorteil für die Prognose würde darin liegen, daß man bei Berücksichtigung aller Waldtypen die Gefahrenzonen einwandfrei abgrenzen und noch wichtiger: vollständig erfassen könnte.

2. Der Probebestand müßte genügend groß sein, um in seinem Inneren das für ihn typische Bestandesklima ausbilden zu können.

Die Untersuchungen zeigten, daß jeder größere Bestand, bestandesklimatisch gesehen, eine Rand- und eine Zentralzone aufweist, und daß nur in der letzteren der Puppenbelag konstant (und zugleich maximal) ist, während innerhalb der Randzone die Puppenzahl vom Bestandesrand zur Zentralzone hin ständig zunimmt. Ein kleiner bzw. schmaler Bestand besitzt unter Umständen überhaupt keine Zentralzone und zeigt demgemäß eine viel geringere Puppenzahl als ein größerer oder ein Bestand, der windgeschützt liegt.

¹⁾ SCHWENKE (1952).

Die Windstärke ist es nämlich, welche das zugempfindliche Spannerweibchen bei der Eiablage beeinflußt und diese Zonierung verursacht.

So darf also das der Spannerprognose zugrundeliegende Puppensuchen nur in der Zentralzone eines Bestandes erfolgen.

3. Bei der Wahl der Suchstreifen innerhalb des Probebestandes müßten Kronenfläche und Bodenbedeckung genau beachtet werden.

Es wurde festgestellt, daß die Kronenfläche praktisch der Verpuppungsfläche gleichkommt. Schon wenige Dezimeter außerhalb der Kronengrenzen fiel der Puppenbelag auf Null. Die üblichen 5 m langen und 1 m breiten Probesuchstreifen, die an einem Ende eine Kiefer einschließen, liefern daher keine einwandfreien Puppenzahlen, wenn sie nur zu einem Teil innerhalb, zum anderen aber außerhalb der Kronenfläche liegen. Sie müssen daher unter Umständen in mehrere Teile zerlegt werden.

Den 5 qm-Streifen so zu legen, daß die Kiefer in der Mitte desselben steht, ist wiederum deshalb nicht ratsam, weil die unmittelbare Stammnähe die mit Spannerpuppen am geringsten belegte Fläche ist und als solche nur einmal in der Suchfläche enthalten sein sollte.

Da der Puppenbelag innerhalb der Kronenfläche wieder je nach Bodenbedeckungsart verschieden ist, kann die wahre Populationsdichte nur dann ermittelt werden, wenn die Suchflächen bezüglich ihrer Bedeckung einen prozentualen Durchschnitt der gesamten Bodendecke des Bestandes (genauer: der Kronenfläche seiner Zentralzone) repräsentieren. Besteht z. B. diese Gesamtbodendecke zu 75% aus Moos und zu 25% aus Nadelstreu, so sind die Suchflächen im gleichen Prozentsatz zu legen.

4. Der Suchfehler müßte praktisch beseitigt werden.

Alle oben genannten Maßnahmen würden nichts nützen, wenn der Suchfehler der Puppensuche, wie bisher, bis 40% hoch wäre¹⁾. Da dieser Fehler von nichts anderem, als von der Sorgfalt des Suchenden abhängt, ist nicht einzusehen, warum er nicht in entscheidendem Maße gesenkt werden könnte.

Eine Voraussetzung hierfür bildet schon die geringe Anzahl von Probebeständen (ein Bestand auf etwa 1000 ha); eine zweite würde darin bestehen, die Zahl der Suchenden so weit wie möglich zu beschränken, eine dritte schließlich darin, daß man die Suchzeit gegenüber der bisherigen erhöht. Der von SCHWERDTFEGER & KEMPER (1935) für das Puppensuchen errechnete Zeitaufwand von im Mittel „11 Frauenminuten je qm“ (= 55 Minuten pro Suchfläche) ist zur Erzielung genauer Ergebnisse auf jeden Fall viel zu niedrig.

Daß man bei Beschränkung auf nur einen Suchenden, Anwendung größter Sorgfalt und genügend langer Suchzeit den Suchfehler praktisch beseitigen kann, zeigten die von mir durchgeführten Puppensuchen (SCHWENKE, 1952).

¹⁾ Siehe HOUTERMANS (1939).

So wäre zusammenfassend zu sagen, daß die von SCHWERDTFEGER oben genannten Unsicherheitsfaktoren 1 und 2 durch Verbesserung der Puppensuchmethodik überwunden werden können. Was den von ihm genannten Faktor 3, die Zeit zwischen Puppensuche und Schadfraß betrifft, so wird weiter unten gezeigt werden (B IV, 2), daß auch dieser keinen stichhaltigen Grund, die Spannerprognose nach der Puppenzahl für unsicher zu halten, darstellt.

Das Puppenstadium ist nach all dem das für die Kiefernspannerprognose einzig brauchbare Entwicklungsstadium. Auf ihm fußend ist die Prognose am sichersten, weil die Populationsdichte des Schädling mit größtmöglicher Genauigkeit erfaßbar ist, — am schnellsten, weil Bodenflächen schneller als Kiefernkrone abgesucht sind — und am billigsten, weil hierbei mit einem Minimum an Personal und ohne Fällung von Bäumen auszukommen ist.

Darüberhinaus ist sie im Hinblick auf eine etwaige Bekämpfung am günstigsten, weil sie unter Umständen schon eine mechanisch-biologische Bekämpfung im Puppenstadium, zumindest aber eine sorgfältige Vorbereitung der chemischen Bekämpfung des Jungraupenstadiums ermöglicht.

III. Unsicherheitsfaktoren bei der Ermittlung der kritischen Zahlen

Von besonderer prognostischer Bedeutung ist die Ermittlung der kritischen Zahlen, baut sich doch auf diese die ganze Prognose auf.

Nach dem bisher Gesagten gilt es hierbei, diejenige Individuenzahl des Spanners festzustellen, die gerade einen Kahlfraß des betreffenden Bestandes zur Folge haben würde.

Zum Stellen einer Prognose sind zwei kritische Zahlen notwendig, die kritische Puppen- und die kritische Raupenzahl. Die kritische Puppenzahl ist nötig um auf ihrer Grundlage die Zahl der Raupen vorherzusagen, und die kritische Raupenzahl wird gebraucht, um die vorhergesagte Raupenzahl mit ihr zu vergleichen.

Das könnte für Denjenigen paradox klingen, welcher annimmt, daß sich kritische Puppen- und Raupenzahl entsprechen, d. h. daß die kritische Puppenzahl in jedem Fall die kritische Raupenzahl ergibt. Eine derartige Entsprechung besteht aber nicht, weil es nicht möglich ist, in die kritische Puppenzahl die stets wechselnde Falter- Ei- und Raupenmortalität einzubeziehen. Die kritische Raupenzahl ist unabhängig von der Mortalität, nicht aber die kritische Puppenzahl. Diese muß, um konstant bleiben zu können, die Mortalität unberücksichtigt lassen (mit Mortalität = 0 rechnen), wodurch sie stets höher (ungünstiger anzeigend) ist, als es der jeweiligen Lage entspricht. Sie ist Warnzahl nicht Grenzzahl. Wäre sie Grenzzahl, d. h. ergäbe sie tatsächlich die kritische Raupenzahl, so würde ja keine Prognose vonnöten sein, sondern man brauchte nur,

wie man es gegenwärtig tut, das Erscheinen der kritischen Puppenzahl des Spanners abzuwarten und dann die Bekämpfung anzusetzen. (Näheres hierüber s. B III, 2b.)

Die kritische Eizahl ist ohne prognostische Bedeutung; doch ist die Eizahl an sich zur Ableitung der einen kritischen Zahl aus der anderen nötig.

Die Ermittlung der kritischen Zahlen kann auf zweierlei Weise erfolgen, einmal dadurch, daß man nach Beendigung von Kalamitäten den Fraßgrad mit den in den betreffenden Beständen vorher festgestellten Puppenzahlen vergleicht und zum anderen dadurch, daß man auf experimentellem Wege, durch Bestimmung der Nadelverbrauchsnorm einer Raupe, diejenige Raupenzahl feststellt, welche die Vernichtung einer bestimmten Nadelmasse verursachen würde.

Auf dem ersten Wege wird also die kritische Puppenzahl bestimmt und aus ihr die kritische Raupenzahl abgeleitet und beim zweiten Weg umgekehrt die kritische Raupenzahl bestimmt und aus ihr die kritische Puppenzahl abgeleitet.

Hierbei ist nun zu beachten, daß bei jeder der beiden Ableitungen in Wirklichkeit nicht die kritische Puppenzahl berechnet oder zugrundegelegt wird, sondern nur die Zahl der gesunden weiblichen Puppen und der von den daraus hervorgehenden Faltern abgelegten Eier, und daß diese „kritische Weibchenpuppenzahl“ unter Annahme eines Geschlechterverhältnisses von 1:1 durch Verdopplung zur „kritischen Puppenzahl“ erweitert wird.

In diesem Verfahren ist insofern ein Unsicherheitsfaktor enthalten, als mit großer Wahrscheinlichkeit damit zu rechnen ist, daß der Sexualindex der Puppenpopulation örtlichen und zeitlichen Schwankungen unterliegt¹⁾, so daß beim Überwiegen der männlichen Puppen die Prognose zu ungünstig, beim Überwiegen der weiblichen zu günstig gestellt werden würde.

Abhilfe läßt sich hier allein durch die Ausschaltung der männlichen Puppen aus der Prognose schaffen, denn nur die kritische Weibchenpuppenzahl ist von Änderungen des Sexualindex unabhängig und somit generell verwendbar.

Es soll daher im folgenden unter der kritischen Puppenzahl stets die kritische Zahl der gesunden weiblichen Puppen verstanden werden.

Die Ausschaltung der männlichen Puppen aus der Prognose ist aber nicht etwa gleichzusetzen mit der Ausschaltung der männlichen Puppen aus dem Probesuchen. Das Geschlechterverhältnis ist auf jeden Fall

¹⁾ SCHWERDTFEGER (1932, S. 106) stellte fest, daß die bisherigen Angaben über das Geschlechterverhältnis des Kiefernspanners in sehr weiten Grenzen schwanken. Er nimmt ein Mittel von 30—40 % Weibchen, also ein Geschlechterverhältnis von 2:1 an. Demgegenüber betrug das Verhältnis der 478 von mir im Winter 1950/51 zwischen Berlin und Fürstenwalde gefundenen *Bupalus*-Puppen 1:1 (240 männliche und 238 weibliche).

zu ermitteln, weil es zur Prognose verwendet werden muß (s. B III, 2 u. IV, 2).

Zur Voraussetzung hätte die Beschränkung der Prognose auf die kritische Weibchenpuppenzahl allerdings eine höhere Gesamtpuppenzahl bei der Probesuche, als sie für die bisherige kritische Puppenzahl nötig ist; denn es scheint zwar die Zahl, nicht aber das Geschlechterverhältnis der Puppen gleichmäßig über den Bestand verteilt zu sein.

So fand ich in einem 27 jährigen Stangenholz der Friedrichshagener Forst am 7. 4. 51 auf etwa 22 qm Suchfläche 31 weibliche und 10 männliche *Bupalus*-Puppen, — am 12. 4. dagegen auf 25 qm Fläche 20 weibliche und 33 männliche Puppen. Das Puppenzahl/Flächen-Verhältnis war beidemal das gleiche, nämlich etwa 2 Puppen pro qm; das Geschlechterverhältnis aber war sehr unterschiedlich.

Das gesamte Geschlechterverhältnis im Bestand betrug 1:1.

Im folgenden sollen nun die beiden genannten Verfahren zur Bestimmung von kritischen Zahlen auf ihre Unsicherheitsfaktoren hin geprüft werden.

1. Bestimmung der kritischen Zahlen durch Vergleich von Fraßgrad und vorangegangener Puppenzahl

Das Verfahren, das auf einer statistischen Auswertung von Erfahrungszahlen beruht, enthält drei wesentliche Unsicherheitsfaktoren.

Der erste liegt in der Bestimmung des Fraßgrades, die stets nur eine Schätzung, etwa nach der Skala: Naschfraß = 0,1—0,3 Nadelverlust, — Halbfraß = 0,4—0,6, — Lichtfraß = 0,7—0,9 und Kahlfraß, ist und demgemäß kein genügendes Maß an Genauigkeit aufweisen kann.

Als zweiter Unsicherheitsfaktor geht der Suchfehler beim Puppen-suchen in die kritische Zahl mit ein.

Den dritten Unsicherheitsfaktor schließlich bildet die zwischen dem Puppen- und Altraupenstadium vorhandene Falter-, Ei- und Raupen-mortalität, genauer gesagt, die wechselnde Höhe derselben.

Hätte man z. B. festgestellt, daß in einem bestimmten Bestand in einem bestimmten Jahr 10 Puppen pro qm einem Kahlfraß vorausgegangen waren, so wäre es ein reiner Zufall wenn bei einer nächsten Kalamität gleichfalls 10 Puppen einen Kahlfraß zur Folge hätten, selbst im gleichen Bestand, geschweige denn in einem Bestand ganz anderer Standortverhältnisse.

Diese stets wechselnde Höhe der Mortalität stellt ohnehin einen Unsicherheitsfaktor dar, der unvermeidlich jede Anwendung von kritischen Zahlen, also die Prognose, belastet (s. B IV, 2). Läßt man ihn sich nun auch noch in die Bestimmung der kritischen Zahlen einschleichen, so wird dadurch der Wert derselben, der ja gerade in ihrer Konstanz und generellen Anwendbarkeit beruht, illusorisch gemacht.

So ungünstig somit der Vergleich des Fraßgrades mit der vorangegangenen Puppenzahl bezüglich der Bestimmung von kritischen Zahlen zu werten ist, so unbedingt notwendig ist er andererseits als Kontrolle der mit Hilfe

der nunmehr zu besprechenden Nadelverbrauchsnormbestimmung gewonnenen kritischen Zahlen.

2. Bestimmung der kritischen Zahlen aus der Nadelverbrauchsnorm einer Raupe.

a) Die Unsicherheitsfaktoren der Verbrauchsnormbestimmung.

Der andere zur Bestimmung der kritischen Zahlen führende Weg ist der experimentelle: durch Zucht wird diejenige Nadelmasse ermittelt, die eine Spannerraupe in ihrem Leben verbraucht (= Nadelverbrauchsnorm), aus dieser durch Bezug auf eine bestimmte Nadelmasse die kritische Raupenzahl berechnet und daraus wiederum durch Division durch die Eizahl die kritische Puppenzahl abgeleitet.

Dieses Verfahren hat dem zuvor genannten gegenüber den entscheidenden Vorteil, daß die wechselnde Falter-, Ei- und Raupenmortalität nicht mit in die kritischen Zahlen eingeht, wodurch diese generell anwendbar sind.

Auch der zweite der oben genannten Unsicherheitsfaktoren, der Suchfehler, ist hier aus der kritischen Zahl eliminiert.

Der dritte Unsicherheitsfaktor aber, der in der Nadelmassenbestimmung enthaltene, ist auch hier vorhanden. In ihrer heute üblichen Form sind ja die kritischen Zahlen auf verschiedene Nadelmassen, ausgedrückt in Alters- und Ertragsklassen der Kiefer, bezogen. Da wir aber in Wirklichkeit noch weit davon entfernt sind, den Alters- und Ertragsklassen der Kiefer — in auch nur einigermaßen genauer Weise — bestimmte Nadelmassen zuzuordnen (s. B IV, 1), geht der in einer solchen Zuordnung enthaltene Fehler in die kritischen Zahlen mit ein.

Doch ließe sich auch das vermeiden, und zwar dadurch, daß man die kritischen Zahlen auf eine einheitliche Nadelmasse von 1000 g (Frischgewicht) bezöge. Es würde dadurch aus ihnen der genannte Unsicherheitsfaktor eliminiert und eine einzige, für alle Kiefernstandorte gültige kritische Zahl geschaffen werden, die sich ebenso leicht merken, wie auf jeden beliebigen Bestand umrechnen läßt.

Das wäre für die Spannerprognose zweifellos eine Vereinfachung und zugleich — durch Abgrenzung der Fehler — eine Präzisierung. Darüber hinaus ließe sich durch Ausdehnung auf die übrigen nadelfressenden Schädlinge eine Standardisierung aller kritischen Zahlen erreichen.

So wäre denn die kritische Raupenzahl nur noch durch Unsicherheitsfaktoren belastet, die in der Methodik der Nadelverbrauchsnormbestimmung enthalten sind. Um welche Faktoren handelt es sich hierbei und wie sind sie zu überwinden?

Diese Frage zu beantworten soll nachfolgend versucht werden.

Die Unsicherheitsfaktoren bei der Nadelverbrauchsnormbestimmung lassen sich in zwei Gruppen einteilen, je nachdem, ob sie die fünf bisher

bestehenden Methoden dieser Bestimmung gleichermaßen belasten (prinzipielle), oder ob sie an eine (oder mehrere) dieser Methoden gebunden sind (spezielle).

Was zunächst die prinzipiellen Unsicherheitsfaktoren betrifft, so lassen sie sich am besten in Form folgender Fragen behandeln.

Was ist unter „Nadelverbrauchsnorm“ überhaupt zu verstehen?

Dieser Begriff findet sich bisher in der forstentomologischen Literatur nicht, sondern es ist hier nur von der „Nahrungsnorm“ die Rede. Die Nahrungsnorm, d. h. die durchschnittlich von einer Raupe als Nahrung aufgenommene Nadelmasse, ist aber nur ein Teil derjenigen Nadelmasse, welche die Raupe während ihrer Lebensdauer vernichtet, d. h. dem Baum entzieht. Der andere Teil besteht aus Abbiß und Trocknis, wobei unter Abbiß die beim Fraß abgebissene, aber nicht verzehrte Nadelmasse zu verstehen ist, während als Trocknis diejenigen Nadelteile bezeichnet werden sollen, die, obwohl noch in Verbindung mit ihren Nadelstümpfen, durch Unterbrechung der Leitungswege vertrocknen, dabei aber noch monatelang am Zweig verbleiben können.

Es hat sich gezeigt, daß alle Nadelteile, die durch eine tiefer als bis zur Nadelmitte gehende Fraßkerbe von ihrer Nadelbasis getrennt sind, als Trocknis-Teile zu betrachten und somit auch schon vor dem Vertrocknen als solche feststellbar sind. Näheres hierüber s. Abschn. C, I.

Der einer Bestimmung von kritischen Zahlen zugrunde liegende Gesamtnadelverlust einer Kiefer, der von der Raupenpopulation aus betrachtet „Nadelverbrauch“ genannt sei, setzt sich also wie folgt zusammen:

$$\text{Nadelverbrauch} = \text{Fraß} + \text{Abbiß} + \text{Trocknis.}$$

Der einer Raupe zukommende Anteil am Nadelverbrauch ist dann die Nadelverbrauchsnorm, die sich wieder in Fraßnorm, Abbißnorm und Trocknisnorm zerlegen läßt.

Im Zusammenhang mit den Unsicherheitsfaktoren ist die vorgenommene Begriffsbestimmung insofern von Bedeutung, als bei Nichtberücksichtigung einer oder gar zweier Komponenten der Verbrauchsnorm natürlich die Verbrauchsnormen und damit die kritischen Zahlen ungenau würden. Bisher hat eigentlich noch keine Züchtung alle drei Komponenten in klarer und einwandfreier Form berücksichtigt.

Ist die Nahrungsnorm eine konstante physiologische Größe?

Die wichtigste der drei Verbrauchsnorm-Komponenten ist die Nahrungsnorm, die gewichtsmäßig die beiden anderen Normen um ein Vielfaches übertrifft.

Es taucht nun die Frage auf: ist die Nahrungsnorm konstant, d. h. ist sie (abgesehen von konstitutionell bedingten Veränderungen, s. nächste Frage) eine physiologische Größe, welche unabhängig von klimatischen Faktoren und damit von der Entwicklungsdauer ist?

Die Beantwortung dieser Frage, die zur Zeit noch aussteht, ist in Betracht ihrer prognostischen Bedeutung dringend notwendig.

Bisher deutet ein Anzeichen darauf hin, daß die Nahrungsnorm nicht konstant ist; und zwar kann hierfür das Puppengewicht — unter der Voraussetzung, daß es der Nahrungsmenge proportional ist —¹⁾ als Hinweis dienen.

So wogen von mir im März 1951 gesuchte weibliche (gesunde) Puppen von *Bupalus* 178 mg (9) und von *Semiothisa* 86,5 mg (12) im Durchschnitt²⁾, während bei einer konstanten Temperatur von 18° Celsius im selben Jahre gezüchtete weibliche Puppen von *Bupalus* 133,5 mg (3) und von *Semiothisa* 63 mg (13), — bei 24° Celsius entsprechend 115 mg (5) und 59 mg (10) Durchschnittsgewicht aufwiesen.

Hierbei ist zu beachten, daß die Gewichtsunterschiede zwischen Freiland- und Zuchtpuppen noch größer gewesen sein müssen, als diese Zahlen angeben, weil die ersteren nach der Überwinterung, die letzteren dagegen vor der Überwinterung gewogen wurden.

Aus den aufgezeigten Gewichtsunterschieden würde allerdings vorläufig nur hervorgehen, daß die Nahrungsnorm im Labor gezüchteter Raupen niedriger als diejenige von Freilandraupen zu sein scheint, nicht jedoch, daß derartige Unterschiede auch örtlich und zeitlich im Freiland vorhanden sind.

Doch könnte man schon daraus (immer unter der Voraussetzung, daß das Puppengewicht der Nahrungsmenge entspricht) die Folgerung ziehen, daß nicht mehr, wie bisher, im Labor ermittelte Normen der Berechnung von kritischen Zahlen zugrundegelegt werden dürfen.

Sollte sich die Nahrungsnorm als allgemein von den klimatischen Umweltbedingungen abhängig erweisen, so würde sich als weitere Folgerung ergeben, daß durch Zuchten im natürlichen Habitat (Kiefernkrone) die Schwankungsbreite der Freilandnorm festgelegt werden müßte. Die mittlere Norm wäre dann der Berechnung der kritischen Zahlen zugrundelegen (s. III, 2b).

Hat die Konstitution der Raupe Einfluß auf die Verbrauchsnormbestimmung?

SCHWERDTFEGER (1944, S. 386) schreibt über die Konstitution als prognostischen Faktor:

„Die Konstitution eines Schädling, die sich in seiner Vermehrungskraft und dem Widerstand gegen schädliche Einflüsse äußert, ist veränderlich. Mancherlei Beobachtungen machen es wahrscheinlich, daß die Konstitution einer Population zu Anfang einer Massenvermehrung anders ist als am Ende, daß sie um so

¹⁾ Auch das bedarf noch der Bestätigung, denn es konnte möglich sein, daß die Raupe auf anormale Umweltbedingungen mit anormaler (verminderter) Nahrungsausnutzung reagiert und daß daher Fraßmenge und Puppengewicht einander nicht proportional wären.

²⁾ In Klammer: Zahl der gewogenen Puppen.

schlechter wird, je weiter die Gradation fortschreitet. Neben manchen äußeren Faktoren spielen vermutlich auch innere, im Schädling liegende Ursachen hier eine Rolle.

Die praktische Folgerung ist, daß zu Beginn einer Massenvermehrung die gleiche Schädlingsmenge gefährlicher beurteilt werden muß als im Höhepunkt oder am Ende.“

Die Veränderlichkeit der Konstitution würde außer die von SCHWERDT-FEGGER genannten Faktoren: Vermehrungskraft (Eizahl + Sexualindex) und Umweltwiderstand (Mortalität) auch drittens die Nadelverbrauchsnorm beeinflussen.

Alle drei Faktoren, die man als prognostische Unsicherheitsfaktoren betrachten kann, lassen sich durch Freilandzuchten erfassen und damit überwinden.

Ist die zur Zucht verwendete Raupenzahl pro Zuchtbehälter für das Ergebnis von Bedeutung?

Die Verbrauchsnorm scheint nicht unabhängig von der zur Zucht verwendeten Raupenzahl zu sein.

So stellte WARDZINSKI (1938) fest, daß *Pieris*-Raupen in schwacher Gesellschaft (2—4 Raupen) ihr höchstes Puppengewicht ergaben, was darauf schließen läßt, daß die isolierte Raupe Fraßunlust zeigt bzw. Raupen in starker Gesellschaft durch gegenseitige Störung weniger fressen.

Dieser Befund bedarf für die Kieferschädlinge noch der Bestätigung.

Selbst wenn die Nahrungsmenge der Kiefernspannerraupe nicht von der Raupenzahl abhängen sollte, werden aber bestimmt die beiden „Verschwendungs“-Komponenten Abbiß und Trocknis von der Populationsdichte der Raupen beeinflusst. Bei hoher Populationsdichte wird zumindest die Trocknis-, wahrscheinlich auch die Abbißkomponente kleiner sein als bei geringer Dichte. Vom prognostischen Standpunkt aus müßte hier der Zucht diejenige Populationsdichte zugrundegelegt werden, die ungefähr der kritischen entspricht. Das wäre bei 3 Raupen und einem 10 g Nadelmasse besitzenden Futterzweig der Fall (denn eine mittlere Kiefer von 9000 g Nadelmasse wird bei 3 g Verbrauchsnorm (s. u.) von 3000 Spannerraupen kahlgefressen).

Spielt das Geschlecht der Raupe für die Verbrauchsnormbestimmung eine Rolle?

Wie schon erwähnt, ist fest damit zu rechnen, daß das Geschlechterverhältnis beim Kiefernspanner inkonstant ist. Prognostisch gesehen, wäre das in Anbetracht der Tatsache, daß nur die kritische Weibchenpuppenzahl der Prognose zugrundegelegt wird, nicht von Bedeutung, wenn die männlichen und weiblichen Raupen sich in bezug auf die Fraßmenge gleich verhalten würden. Das scheint aber nicht der Fall zu sein. In den von GÄBLER (1941 a) durchgeführten Nonnenzuchten verzehrten die männlichen Raupen im Durchschnitt nur 57,9% der Fraßmenge der weiblichen.

Ähnliche Unterschiede sind auch bei den Kiefernspannerraupen, wie überhaupt bei allen Larven zu erwarten, deren Weibchen außer für den eignen Körper ja noch für die Nachkommenschaft zu sorgen haben.

Somit muß die Verbrauchsnormbestimmung getrennt nach Geschlechtern erfolgen.

Um nun einerseits den Fraßunterschied der Geschlechter zu erfassen, andererseits dabei aber den möglichen Nachteil der Einzelzucht (s. o.) zu vermeiden, könnte man die Zuchtbehälter mit jeweils nur wenigen (z. B. 3) Spannerraupen besetzen. Nach deren Verpuppung werden dann die Vergleiche der Gläser bezüglich Geschlechterverhältnis und Nadelverbrauch eine Trennung der Normen nach Geschlechtern gestatten.

Es sei hier gleich die Frage angeschlossen: welche Folgerungen für die Errechnung und Anwendung der kritischen Zahlen würden sich aus der Fraßverschiedenheit der Geschlechter ergeben?

Liegt ein Geschlechterverhältnis von 1:1 vor, so würde die Verbrauchsnorm aus der weiblichen und männlichen zu mitteln sein und die mittlere Norm in die kritischen Zahlen eingehen.

Liegt ein von 1:1 abweichendes Verhältnis vor, so müßte dieses den kritischen Zahlen zugrundegelegt werden, wenn es konstant wäre. Da es beim Kiefernspanner aber örtlich und zeitlich inkonstant zu sein scheint, muß ein konstantes Verhältnis in die kritischen Zahlen eingeführt werden, als welches auch hier (aus Gründen, auf die weiter unten eingegangen werden wird, s. S. 224) ein Verhältnis von 1:1 am geeignetsten erscheint.

Das gilt jedoch nur für die Berechnung der kritischen Zahlen, nicht für deren Anwendung, also für die Prognose. Hier erscheint es notwendig, das jeweilige Geschlechterverhältnis zugrunde zu legen, d. h. den kommenden Raupenfraß an Hand des Geschlechterverhältnisses der Puppen vorherzusagen.

Man wird einwenden, daß aus dem Geschlechterverhältnis der Puppen nicht auf das der kommenden Raupen geschlossen werden könne. Der hierin liegende Unsicherheitsfaktor dürfte aber nicht erheblich sein und müßte sich ohne weiteres erfassen lassen.

Es kann angenommen werden, daß sich das Geschlechterverhältnis der Altraupen einer Generation im Geschlechterverhältnis der nachfolgenden Puppen widerspiegelt, und daß weiterhin das Verhältnis der Puppen sich von einer Generation zur anderen — am selben Ort — nicht wesentlich ändert. Bestätigt sich diese Annahme, dann kann bezüglich der Geschlechterverteilung nach Vornahme einer kleinen, die langsamen Veränderungen berücksichtigenden, Korrektur, vom Puppenstadium auf das kommende Raupenstadium geschlossen werden.

Als Voraussetzung hierfür wären Untersuchungen anzustellen, in welchen das Geschlechterverhältnis der Altraupen, — das der Puppen vor der Überwinterung, — das der Puppen nach der Überwinterung sowie das der nächsten Altraupen zu vergleichen sind. Hieraus ließe sich

bestimmen, ob und um welchen Betrag sich das Geschlechterverhältnis des Kiefernspanners von einer Generation zur anderen ändert.

Nehmen die Faktoren Zuchtort und Zuchtbehälter sowie Darreichung und Beschaffenheit des Futters einen Einfluß auf die Verbrauchsnorm?

ECKSTEIN (1938) erkannte nach seiner im Labor in Petrischalen durchgeführten Nonnenzucht die Unsicherheit der auf diese Weise erzielten Ergebnisse, indem er am Schluß seiner Arbeit schrieb:

„Wenn man meiner Anregung folgend nicht im Laboratorium, auch nicht im fliegenden, etwa einer Baracke, sondern im freien Waldbestand, nicht nach der Petrischalenmethode, auch nicht im engen Raupenkasten, sondern in zweckentsprechend gebauten nach noch zu verfeinernder Methode die einzelnen Entwicklungsstadien der Nonne sorgfältig studiert hat, die Eigenschaften des Kotes und den Nadelverbrauch der Raupe ganz genau kennengelernt hat, ist der Weg zur Bekämpfung der Nonne in Fichtenrevieren gegeben.“

Das ist natürlich nicht so leicht in die Praxis umzusetzen. Nicht Jeder hat Gelegenheit, in einer Waldstation zu arbeiten, oder Zeit und Hilfskräfte, um die zeitraubenden Manipulationen (Umsetzen, Füttern, Wägen, Messen) im Walde durchzuführen. Wenn aber auch die Arbeitsbedingungen eine Zucht im Walde nicht erlauben, so sollte man wenigstens versuchen, den natürlichen Umweltbedingungen dadurch so nahe wie möglich zu kommen, daß man Gazebehälter anstatt geschlossener Glasgefäße verwendet und diese im Freien anstatt im Zimmer hält.

An den Zuchtbehälter sind als Bedingungen zu stellen: genügende Größe sowie luft- und lichtdurchlässige Gazewände.

WARDZINSKI (1938) fand bei einer Pieris-Raupenzucht in verschiedenen großen Behältern, daß der Raumfaktor (Raumanteil pro Raupe) bei einem Gefäßinhalt von 350 ccm nur geringen Einfluß auf das Raupenwachstum, und dann auch nur bei größerer Besiedlungsdichte (16 und 32 Raupen), ausübte.

Da 350 ccm ungefähr dem Inhalt eines Marmeladenglases entsprechen, ist bei Zuchtbehältern von mehr als 1000 ccm Inhalt (Inhalt eines Einweckglases) auch bei größerer Besiedlungsdichte kein Einfluß des Raumfaktors zu erwarten.

Was die Darreichung des Futters betrifft, so kennzeichnete ECKSTEIN (1938) auch den in seinem Verfahren des Hineinlegens von Zweigen in die Petrischalen enthaltenen Unsicherheitsfaktor selbst wie folgt:

„Die Raupe ist gezwungen, auf engem Raum Nahrung, die nicht in ihrer natürlichen Lage und Beschaffenheit gereicht wird, zu fressen. Es kann für die Lebenstätigkeit der Raupe nicht einerlei sein, ob sie wie ein Schwein gemästet wird, oder ob sie den natürlichen Verhältnissen gemäß ihrer Nahrung nachgeht.“

An anderer Stelle schreibt er bezüglich der gereichten Zweige: „Es (das Räumchen, Verf.) benagt sie, davor sitzend an der Spitze in einer Weise, wie es in der Natur unmöglich ist.“

Die Beschaffenheit des Futters schließlich wird wohl allein durch die Welkung beeinflusst. Die Futterwelkung wird als spezieller (nicht allen

Zuchtmethoden zukommender) Unsicherheitsfaktor weiter unten besprochen werden.

So kann man in Zusammenfassung der prinzipiellen Unsicherheitsfaktoren sagen, daß durch Beantwortung der Fragen nach der Abhängigkeit der Verbrauchs- und Nahrungsnorm von den klimatischen Faktoren und von der Konstitution, durch einwandfreie Trennung der Verbrauchskomponenten sowie durch Erfüllung der genannten Forderungen bezüglich Raupenzahl, Zuchtort, Zuchtbehälter und Futterdarreichung — sich alle hierin enthaltenen Unsicherheitsfaktoren überwinden lassen.

Nachfolgend seien nunmehr die bisher angewandten Methoden der Nadelverbrauchsbestimmung auf ihre Unsicherheitsfaktoren hin untersucht.

α) Die Fraßflächenmethode

KALANDADZE (1927) ermittelte den Raupenfraß des Kiefernspanners durch Berechnung der Fraßspurenfläche in Quadratmillimetern.

Es braucht hierzu nicht näher auf die Methodik eingegangen zu werden. Die Unbrauchbarkeit des Verfahrens kennzeichnete schon SCHWERDT-FEGER (1930) wie folgt:

„Die Untersuchungen geben ein Bild von dem starken Anwachsen der Fraßintensität mit zunehmender Raupengröße, konnten aber keine genauen Ergebnisse liefern, da bei der zweidimensionalen Ermittlung der Fraßmenge durch Ausmessen von Länge und Breite der Nagespur die dritte Dimension, die Tiefe, unberücksichtigt bleibt, wobei zu bedenken ist, daß die älteren Raupen erheblich tiefer nagen als die jüngeren.“

β) Die Nadellängenmethode

Die Methode, den Nadelverbrauch von Raupen nach der Nadelanzahl und im weiteren nach der Nadellänge zu berechnen, ist die älteste und wohl am häufigsten angewandte. Schon RATZBURG (1840, S. 143) stellte die von einer Kiefernspinnerraupe gefressene Nadelzahl mit 815 ganzen und 14 halben Nadeln fest. ECKSTEIN (1911) ermittelte für den gleichen Schädling eine nur wenig geringere Nadelzahl. Für die Nonne führten ähnliche Untersuchungen, z. T. unter Einbeziehung der Nadellänge, ESCHERICH (1912), ECKSTEIN (1938) und GÄBLER (1941) durch.

Den Raupen wird nach dieser Methode ein Futterzweig bestimmter Nadelanzahl und Nadellänge vorgesetzt; nach Ablauf des Fütterungsintervalles werden Zahl und Länge der gefressenen und abgebissenen Nadeln durch Zählung bestimmt.

Da bei der Prognose mit auf Nadelzahl und Nadellänge bezogenen kritischen Zahlen nicht operiert werden kann, erfordert das Verfahren eine anschließende Umrechnung der Nadellänge in Nadelmasse an Hand eines aus Proben ermittelten Umrechnungswertes.

Eine solche Umrechnung könnte fehlerfrei erfolgen, wenn die Kiefernadel ein über seine ganze Länge gleichmäßig dicker und schwerer Körper von konstanter mittlerer Länge und konstantem mittleren Gewicht wäre.

Das ist aber keineswegs der Fall. Schon LEBEDEV & SAVENKOV (1932) machten darauf aufmerksam, „daß die Nadeln sogar an ein- und demselben Baum sowohl nach linearem Maß als auch nach Gewicht äußerst stark variieren“. Als Beispiel führten sie Gewichtszahlen von ein- und zwei-jährigen Kiefernadeln an, wonach das mittlere Nadelgewicht zwischen 0,015 g und 0,14 g schwankt, d. h. die mittleren Gewichte zweier Nadelproben sich fast wie 1:10 verhalten können.

LEBEDEV & SAVENKOV wiesen auf Grund dieser Feststellung das Umrechnungsverhältnis: 600 Kiefernadeln = 35 g (1 Nadel = 0,0583 g), welches ECKSTEIN (1911) bei seiner Ermittlung der Nahrungsnorm des Kiefernspinners als Standardverhältnis angegeben hatte, als nicht genügend fundiert zurück.

Da ECKSTEIN bei diesen Untersuchungen (im Gegensatz zu seiner 1937 durchgeführten Verbrauchsermittlung bei der Nonne) nur die Zahl der gefressenen Nadeln, nicht aber deren Länge festgestellt hatte, könnte man der Meinung sein, daß wenigstens die Umrechnung der Nadellänge in Nadelmasse hinreichend genau sei.

Aber auch das würde ein Irrtum sein. Das bewiesen die Messungen und Wägungen, die ich im August 1951 an Nadeln 25jähriger Kiefern ein und desselben Standortes durchführte.

Es wurden hierbei den Kiefern in verschiedener Höhe und Abzweigung Zweige entnommen und in Wasserflaschen steckend zum Institut gebracht. Hier wurden ihnen, getrennt nach Nadelalter, Proben von je 10 bis 30 Nadeln entnommen und zwar derart, daß diese Nadeln jeweils einen Querschnitt der Längenverteilung ihres Zweigabschnittes repräsentierten. Jede Probe wurde innerhalb der ersten Minute nach dem Abrupfen gewogen¹⁾ und anschließend die Länge ihrer Nadeln gemessen. Aus Gewicht und Länge einer Probe wurde dann das Gewicht pro Meter Nadellänge (= Metergewicht) berechnet. Zum Teil gelangten auch Einzeladeln eines Zweiges nach erfolgter Längenbestimmung zur Wägung.

Die Ergebnisse waren folgende:

a) Metergewichte (Nadeln von Zweigen verschiedener Kiefern):

1	jähr. Nadeln,	20	Proben,	Min = 0,39 g,	Max = 1,04 g,	\bar{M} = 0,62 g/m;	
2	„	„	„	Min = 0,42 g,	Max = 1,07 g,	\bar{M} = 0,66 g/m;	
3	„	„	14	„	Min = 0,48 g,	Max = 1,15 g,	\bar{M} = 0,75 g/m;
4	„	„	5	„	Min = 0,32 g,	Max = 0,75 g,	\bar{M} = 0,58 g/m.

Das Gewicht eines Meters Kiefernadellänge schwankte also zwischen 0,32 g und 1,15 g (Verhältnis 1:3,6), d. h. es könnte sein, daß von zwei Raupen, die beide je einen Meter Kiefernadeln verzehrten, die eine $3\frac{1}{2}$ mal so viel an Nadelmasse gefressen hätte, als die andere!

¹⁾ Genauigkeit bis zur 3. Dezimale.

b) Längen und Gewichte einzelner Nadeln (derselben Kiefer):

Zweig A, 2jährige Nadeln	Zweig B, 2jährige Nadeln
3,0 cm = 0,009 g	5,1 cm = 0,038 g
3,0 cm = 0,014 g	6,8 cm = 0,081 g
3,2 cm = 0,020 g	7,2 cm = 0,077 g
3,3 cm = 0,013 g	8,7 cm = 0,072 g
4,6 cm = 0,022 g	9,1 cm = 0,070 g
4,8 cm = 0,022 g	
Zweig B, 1jährige Nadeln	Zweig B, 3jährige Nadeln
4,3 cm = 0,038 g	5,6 cm = 0,054 g
6,2 cm = 0,059 g	7,2 cm = 0,082 g
8,1 cm = 0,058 g	8,1 cm = 0,073 g
	9,2 cm = 0,096 g
	9,2 cm = 0,082 g

Die vorstehenden Zahlen, die nur einen Ausschnitt aus längeren Meßreihen darstellen, zeigen, daß auch an ein- und demselben Zweig bei gleichem Nadelalter die Nadelgewichte den Nadellängen durchaus nicht proportional sind.

Hier einen Fehlerausgleich zu erwarten, derart, daß dem Übergewicht der einen Nadel ein Untergewicht der anderen entspräche, ist nicht angingig, da hierfür die bei der Verbrauchsnormberechnung auftretende Nadelzahl (unter 100 Stück) viel zu gering ist.

Nach all dem ist die Umrechnung von Nadelzahl bzw. Nadellänge in Nadelgewicht mit einem erheblichen Fehler belastet, dessen Größbereich sich an Hand der obigen Meßwerte wie folgt ermitteln läßt.

Betrachtet man die genannten Metergewichte der 17 Proben zweijähriger Nadeln als diejenigen von 17 Futterzweigen einer Spannerzucht, so wäre deren arithmetischer Mittelwert $M = 0,663$ g/m. Die mittlere Abweichung (Streuung) σ der einzelnen Metergewichte von diesem Mittelwert beträgt nach der Formel¹⁾

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{(x - M) + (x_1 - M) + \dots + (x_n - M)}{n - 1}} = 0,214 \text{ g/m} = 32,3 \%$$

des Mittelwertes. Da die mittlere Abweichung in diesem Falle den wahrscheinlichen Fehler darstellt, wäre die Umrechnung der gefressenen Nadellängen der 17 Futterzweige in Nadelmasse auf Grund des Umrechnungswertes 1 m = 0,663 g mit einem wahrscheinlichen Fehler von über 30% behaftet gewesen.

Es handelte sich bei den Proben allerdings um Zweige, die zwar von Kiefern gleichen Alters und Standortes stammten, die aber immerhin ziemlich unterschiedliche mittlere Nadellängen aufwiesen. Würde man die Zweige ausdrücklich auf eine möglichst gleiche Nadellänge hin aussuchen (oder sie entsprechend zurechtstutzen), wäre natürlich mit einem geringeren Fehler zu rechnen.

Daß aber auch dieser bedeutend genug bleibt, läßt sich ebenfalls aus obigen Meßwerten entnehmen. Sucht man aus den 17 zweijährigen Nadelproben die 5 sich in ihrer mittleren Länge am meisten gleichenden Proben heraus, so betragen deren Metergewichte:

¹⁾ $x, x_1, =$ Einzelwerte; $n =$ Anzahl der Proben; $M =$ arithm. Mittelwert.

6,1 cm = 0,704 g/m
 6,3 cm = 0,870 g/m
 6,3 cm = 0,916 g/m
 6,3 cm = 0,941 g/m
 6,4 cm = 0,651 g/m

Das arithmetische Mittel der 5 Metergewichte beträgt: $M = 0,816$ g, die mittlere Abweichung (s. obige Formel) $\sigma = 0,131$ g = 16,1 %.

Also auch bei Beschränkung auf Nadeln gleichen Alters, gleichen Standortes und gleicher mittlerer Länge kann der Fehler noch über 15 % betragen.

Man könnte hier einwenden, daß zur Spannerzucht (im Freiland) nicht nur 5 Futterzweige, sondern etwa 35 (bei 3 tägigem Futterwechsel) nötig seien und daß demgemäß ein auf nur 5 Zweigen basierender Fehler, noch dazu aus nur einem Kontrollversuch, hierfür nicht gültig sei.

Einem solchen Einwand könnten zwei Punkte entgegengehalten werden. Was einmal die Zahl der Kontrollversuche betrifft, so soll der eine durchgeführte Versuch ja nur zur Orientierung, nicht zur Verallgemeinerung dienen, d. h. er soll zeigen, welcher Fehler möglich und nicht, welcher wahrscheinlich ist.

Was zum anderen die Zahl der Zweige innerhalb des Kontrollversuches angeht, so wäre es gar nicht richtig, hierfür die Zahl der zur Zucht verwendeten Zweige zugrunde zu legen, weil die in Intervalle zerlegte Fraßperiode nicht den statistischen Gesetzen gehorcht. Infolge der mit dem Raupenalter unverhältnismäßig stark ansteigenden Fraßmenge pro Zeiteinheit, wiegt jeder um den Fraßhöhepunkt der Raupe gemachte Fehler um ein Vielfaches schwerer als ein in der Mitte oder gar zu Anfang gemachter. So können tatsächlich fünf Fütterungsintervalle für den Gesamtfehler entscheidend sein.

Eine zweite Fehlerquelle der Nadellängen-Methode ist die Futterwelkung.

Der abgeschnittene Zweig unterliegt in der zwischen Fütterung und Kontrolle liegenden Zeitspanne einer Welkung, deren Größe, je nach Welkzeit, Luftfeuchtigkeit und Eigenart des Zweiges verschieden ist und recht hohe Werte annehmen kann.

So nennt GÄBLER (1941 a) für Kiefernnadeln in zwei Tagen durchschnittlich 35 % und für Fichtennadeln 28 % Gewichtsverlust. Diese Werte scheinen bei sehr geringer Luftfeuchtigkeit ermittelt worden zu sein, denn bei einer solchen von 60 bis 90 % stellte ich 1951 bei Kiefernnadeln und -zweigen 10 bis 20 % Gewichtsverlust in 3 Tagen Welkzeit fest.

Es entsteht nun die Frage, welche Bedeutung ein derartiger Gewichtsverlust der Nadeln für den Raupenfraß und damit für die Verbrauchsnormbestimmung haben könnte, d. h. also, welche Rolle der Welkprozeß ernährungsphysiologisch für die Raupe spielt.

Nur dann, wenn er gar keine Rolle spielen würde, wenn also (bei Annahme von 25 % Gewichtsverlust durch Verdunstung) 8 g frischer und 6 g gewelkter Nadelmasse ihres gleichen Trockensubstanzgewichtes wegen den gleichen Nahrungswert für die Raupe hätten, würden die bei welkendem Futter ermittelten Verbrauchsnormen — so wie es bisher getan wurde — auf die Freilandverhältnisse übertragen werden können.

Ein solcher Fall erscheint aber unwahrscheinlich. Das Wasser ist für den Organismus zu lebenswichtig, als daß einem Individuum während

seiner ganzen Fraßzeit ein Viertel oder gar ein Drittel davon ohne Folgen entzogen werden könnte.

Wahrscheinlicher ist, daß der Wasserverlust eine Veränderung der Fraßleistung zur Folge hat; und damit wären alle mit welkendem Futter erzielten Verbrauchsnormen nur „Welkfutternormen“, deren Verhältnis zur „Frischfutternorm“ erst an Hand von mit nicht welkendem Futter gewonnenen Normen (siehe: Methode am Baum u. Wasserwelkmethode) überprüft werden muß.

γ) Die Luftwelkmethode

Die Luftwelkmethode geht auf ECKSTEIN (1911) zurück, der sie bei der Verbrauchsnormbestimmung des Kiefernspinners anwandte. Später bestimmten SCHWERDTFEGER (1930) und FRYDRYCHIEWICZ (1931) mit ihr die Nahrungsnorm des Kiefernspinners und GÄBLER (1941a) die Verbrauchsnorm der Nonne.

Das Prinzip der Methode besteht in einer kombinierten Futter- und Kontrollzweigwägung. Zugleich mit dem Futterzweig wird ein gleich gestalteter Kontrollzweig eingewogen und unter den gleichen klimatischen Bedingungen wie der Futterzweig aufbewahrt. Bei Futterwechsel werden beide Zweige ausgewogen. Der Futterzweig zeigt dann einen Gewichtsverlust, der sich zusammensetzt aus Welkverlust und Fraßverlust. Da sich der prozentuale Welkverlust aus der Kontrollzweigwägung ergibt, läßt sich der Fraßverlust (d. h. die verbrauchte Nadelmasse) leicht bestimmen.

Die Luftwelkmethode geht also bei der Ermittlung der verbrauchten Nadelmasse nicht erst den Umweg über Nadelzahl bzw. Nadellänge, sondern bestimmt sie (wie auch die noch folgenden zwei Methoden) unmittelbar durch Wägungen.

Vier Wägungen innerhalb eines jeden Fütterungsintervalles sind dabei alles, was zur Verbrauchsnormbestimmung nötig ist. Damit erweist sich die Luftwelkmethode unter den Methoden der Verbrauchsnormbestimmung als die weitaus am einfachsten zu handhabende.

Diesen Vorteilen der leichten Handhabung einerseits sowie der Vermeidung des Umrechnungsfehlers bei der Nadelmassenbestimmung andererseits stehen als Nachteil zwei Unsicherheitsfaktoren gegenüber, deren einer die schon bei der Nadellängen-Methode genannte Futterwelkung ist, die auch hier eine „Welkfutternorm“ als Ergebnis erwarten läßt.

Der andere Unsicherheitsfaktor hängt gleichfalls mit der Welkung zusammen, und zwar ist er in der bei der Luftwelkmethode notwendigen Übertragung des Welkprozentes von einem Kontroll- auf einen Futterzweig enthalten. Eine solche Übertragung wäre ja nur zulässig, wenn beide Zweige in ihrer Welkung übereinstimmen würden.

Letzteres erscheint aber ganz unmöglich. Es ist zwischen einem unbefressenen und einem befressenen Zweig ein Welkunterschied zu erwarten, der aus folgenden drei Komponenten resultiert:

1. aus der spezifischen Welkverschiedenheit der beiden Zweige;
2. aus der Verdunstungserhöhung des Futterzweiges dem unbefressenen Zweig gegenüber infolge der laufenden Nadelverletzung beim Fraß;
3. aus der Verdunstungsverminderung des Futterzweiges dem unbefressenen Zweig gegenüber infolge der laufenden Nadelflächenverminderung beim Fraß.

Um die Größe der Resultierenden aus den drei genannten Komponenten, also die Größe der Welkdifferenz zwischen befressener und unbefressener Nadelmasse wenigstens näherungsweise kennenzulernen (denn genau ist dies nicht möglich, s. u.) wurde folgender Versuch unternommen.

Es wurden 8 gleich schwere Nadelproben (gleicher Nadellänge, von Kiefern gleichen Alters und gleichen Standortes) einer 3tägigen Welkung unterworfen, nachdem an 4 von ihnen durch Beschneiden ein Raupenfraß nachgeahmt worden war; und zwar wurden hierbei 50% der Nadeln unberührt gelassen, 25% längs und 25% quer halbiert¹⁾.

Nach 3 Tagen Welkdauer (14.—17. 10. 51) ergaben sich folgende Welkprozent:

Zweig 1,	Normalwelkung	15,1%	Differenz	21,1%
„ 2,	Fraßwelkung	36,2%		
Zweig 3,	Normalwelkung	19,4%	Differenz	14,4%
„ 4,	Fraßwelkung	33,8%		
Zweig 5,	Normalwelkung	13,9%	Differenz	19,2%
„ 6,	Fraßwelkung	33,1%		
Zweig 7,	Normalwelkung	14,1%	Differenz	17,6%
„ 8,	Fraßwelkung	31,7%		

Die mittlere Welkdifferenz der vier kombinierten Wägungen beträgt +18,1%²⁾, die mittlere Abweichung davon $\pm 2,8\%$.

Aus der Normalwelkung der vier Proben läßt sich zugleich die Größenordnung des spezifischen Welkunterschieds zweier Zweige (1. Komponente) berechnen. Sie beträgt (als Standardabweichung der mittleren Normalwelkung) $\pm 2,6\%$.

Damit wären für vier als Beispiel herausgegriffene Kombinationswägungen Größe und Richtung der oben genannten ersten Komponente der Welkdifferenz mit etwa $\pm 2,5\%$ und die der zweiten Komponente mit etwa +18% bestimmt.

Es fehlt noch die dritte Komponente, die Welkverminderung der Futternadeln durch laufende Nadelflächenverminderung. Ihre Größe soll an Hand der folgenden Überschlagsrechnung ermittelt werden.

¹⁾ In Wirklichkeit sind die Wundflächen nicht von Anfang an vorhanden, sondern werden von den Raupen erst laufend geschaffen. Die „Fraßwelkung“ des Versuchs ist also etwas zu hoch, d. h. sie entspricht (unter der Voraussetzung, daß die Art der Nadelverletzung des nachgeahmten Fraßes mit der eines natürlichen übereinstimmt) einem etwas mehr als 50%igem Fraß.

²⁾ Die Vorzeichen geben die Richtung des Prozesses an. So verläuft der durch die zweite Welkkomponente bewirkte Teilprozeß stets in Richtung einer Welkerhöhung.

Es sei angenommen, daß eine Kiefernspinnerraupe¹⁾ bestimmten Alters 3 Kiefernadeln pro Tag zu je 0,04 g Gewicht fräße²⁾, insgesamt also 0,12 g pro Tag. Würde man einer solchen Raupe 12 Kiefernadeln (= 0,48 g Nadelgewicht) als Futter geben, so hätte sie hiervon nach Ablauf zweier Tage die Hälfte, also 6 Nadeln gefressen.

Wie groß wäre nun nach Ablauf dieser zwei Tage das Welkprozent des Futters wenn man eine stetige Nadelflächenverminderung durch Fraß sowie ein normales Welkprozent der Futteradeln von 20 % annimmt?

Der Fraßverlauf im vorliegenden Falle wäre folgender gewesen:

Ausgangsgewicht der Nadelmasse 0,48 g;
 in den ersten 24 Std. gefressen: 0,12 g; übrig: 0,36 g;
 in den zweiten 24 Std. gefressen: 0,12 g; übrig: 0,24 g.

Der Welkverlauf muß an Hand einer Kontrollwelkung festgestellt werden. Zu diesem Zwecke wurden welkende Nadeln nach 1,5 Stunden, 1,5—3—4 und 9 Tagen gewogen und die Ergebnisse graphisch dargestellt. Aus der so entstandenen Welkkurve, die eine logarithmische Steigerung des Gewichtsverlustes der Nadeln erkennen läßt, wurden die für die vorliegende Überschlagsrechnung notwendigen Welkprozent entnommen. Dabei ergab sich, daß der Gewichtsverlust nach dem ersten Tage 70 % des gesamten Gewichtsverlustes (nach zwei Tagen) betrug. Das Tagesmittel des ersten Tages lag bei 55 %. Die entsprechenden Zahlen für den zweiten Tag lauteten: 100 und 85 %.

Nach Einsetzen der Tagesmittelwerte in den oben dargestellten Fraßverlauf ergeben sich folgende Gewichtsverluste durch Welkung:

die Fraßmenge des 1. Tages = 0,12 g	hatte 11 % Verlust;
„ „ „ 2. „ = 0,12 g	„ 17 % „
der übriggebliebene Rest = 0,24 g	„ 20 % „

Die gesamte Futtermenge in 2 Tagen = 0,48 g hatte 17 % Verlust.

Die Welkprozentverminderung des Futters durch laufende Nadelflächenverminderung hätte im angenommenen Beispiel also — 3 % betragen³⁾, d. h. man hätte bei Übertragung des Welkprozent von Kontrollauf Futteradeln die gefressene Nadelmasse um 3 % zu niedrig berechnet.

Dieser Fehler wird, wie aus der Rechnung zu ersehen ist, um so größer, je geringer der unbefressene Restteil einer Futtermenge ist; so würde er im genannten Beispiel 6 % anstatt 3 % betragen haben, wenn kein Futterrest geblieben wäre.

Der vorstehenden Berechnung der drei Welkdifferenz-Komponenten haftet insofern ein Mangel an, als die Welkobjekte hierbei Nadeln waren, während es bei der Luftwelkmethode Zweige sind. Zweige konnten den Betrachtungen nicht zugrunde gelegt werden, weil die Berechnung der dritten Komponente der Welkdifferenz (s. o.) sich zwangsläufig auf Nadeln beziehen mußte. Da es aber nicht auf das Welkprozent selbst, sondern auf die Differenz zwischen unbefressener und befressener Nadelmasse ankommt, und außerdem die Welkprozent der Nadeln sich als im wesentlichen übereinstimmend mit denen der Zweige erwiesen⁴⁾, dürften die gewonnenen Werte auch für welkende Zweige Geltung besitzen.

¹⁾ Wegen der größeren Fraßleistung übersichtlicher zu berechnen als die Spannerraupe.

²⁾ Von Abbiß und Trocknis sei abgesehen.

³⁾ Normalwelkung 20 % minus Fraßwelkung 17 %.

⁴⁾ Die (normalen) Welkprozent der vier auf S. 211 aufgeführten Nadelproben liegen zwischen 13,9 und 19,4 % in 3 Tagen. Die Welkprozent von vier einige Tage zuvor gewogenen Zweigen lagen zwischen 11,6 und 17,2 % in 3 Tagen, waren also nur unwesentlich geringer als die der Nadeln.

Überblickt man nun die Größen und Richtungen der drei die Welkdifferenz zwischen Kontroll- und Futternadeln zusammensetzenden Komponenten, so erkennt man, daß die mittlere Komponente, die Nadelverletzung, die beiden anderen bei weitem überragt; sie dürfte in jedem Falle die Richtung der Welkdifferenz bestimmen, also eine Welkerhöhung des Futterzweiges dem Kontrollzweig gegenüber hervorrufen.

Diese Welkerhöhung ist bei den bisherigen nach der Luftwelkmethode durchgeführten Verbrauchsnormbestimmungen unbeachtet geblieben, wodurch alle diesbezüglichen Normen als zu hoch gelten müssen.

Die Frage um wieviel zu hoch? kann niemals genau beantwortet werden, weil die Welkdifferenzen der einzelnen Kombinationswägungen (Fütterungsintervalle) sich infolge ihrer Abhängigkeit von zahlreichen unkontrollierbaren Faktoren nicht erfassen lassen.

Man ist daher auf mit Hilfe von Kontrollversuchen und Überschlagsrechnungen gewonnene grobe Näherungswerte angewiesen. Als ein solcher kann der oben ermittelte gelten, der nach Abzug der 3% Welkverminderung (3. Komponente) von den 18% Welkerhöhung (2. Komponente) + 15% beträgt.

Die bisherigen und zukünftigen nach der Luftwelkmethode ermittelten Verbrauchsnormen wären somit also um 15% zu kürzen, wenn der von mir errechnete Wert gerade der mittlere (wahrscheinliche) wäre. So lange das nicht festgestellt, d. h. so lange nicht durch ähnliche, auf breiterer Basis durchgeführte Kontrollversuche die Variationsbreite der Welkdifferenz ermittelt ist, kann natürlich von einem allgemeinen Gebrauch dieses Korrekturwertes nicht die Rede sein.

Die noch zu ermittelnde Variationsbreite aber, oder was dasselbe ist, der Korrekturfehler, dürfte beträchtlich sein. Ein (wohl nur kleiner) Teil davon ist der ca. $\pm 3\%$ betragende spezifische Welkunterschied (1. Komponente). Nimmt man + 15% einmal als mittlere Welkdifferenz an, so dürfte ein mittlerer Fehler von $\pm 10\%$, d. h. eine Variationsbreite der Welkdifferenz von + 5% (Jungrauen) bis + 25% (Altraupen) eher zu tief als zu hoch eingeschätzt sein.

δ) Die Methode am Baum (LEBEDEV-SAVENKOV-Methode)

LEBEDEV & SAVENKOV (1932) versuchten bei der Bestimmung der Nahrungsnorm des Kiefernspinners dadurch die Umweltbedingungen so natürlich wie möglich (und somit das Ergebnis so genau wie möglich) zu machen, daß sie die Fraßzucht am Baum durchführten. Sie setzten die Raupen auf lebende Zweige 30jähriger Kiefern unter eine Gazeülle, ließen sie dort 7 bis 10 Tage lang fressen und setzten sie sodann an einen neuen Zweig.

Zur Fütterung verwendeten sie 2jährige Nadeln während des Herbstfraßes und 3jährige während des Frühjahrsfraßes (den Grund hierzu s. u.); alle übrigen Nadeln entfernten sie mehrere Tage vor der Fütte-

rung, ebenso alle irgendwie nicht normalen Nadeln einschließlich der solitären, so daß nur einwandfreie und paarige Nadeln am Futterzweig verblieben.

Nummehr entnahmen LEBEDEV & SAVENKOV dem Zweig eine Nadelprobe von etwa 20% der Gesamtnadelzahl und zwar derart, daß sie von einer Seite des Zweiges eine Anzahl Nadeln abwechselnd über ein Paar abrupften. Die Probe wurde gewogen und aus ihr das mittlere Gewicht einer Nadel bestimmt.

Am Kontrolltag wurde der Futterzweig samt Hülle abgeschnitten und im Labor die Zählung der Raupen und übriggebliebenen Nadeln sowie die Wägung des Kotes durchgeführt. Durch Multiplikation der (vorher gleichfalls festgestellten) Nadelzahl des Zweiges mit dem mittleren Nadelgewicht der Probe wurde die Gesamtnadelmasse des Zweiges berechnet, aus der sich durch Subtraktion der vom Fraß verschonten Nadelmasse die Fraßmenge der Raupen ergab.

Zwei zu erwartende Einwände gegen ihre Methode entkräfteten LEBEDEV & SAVENKOV schon im voraus wie folgt:

1. Kann nicht das Nadelwachstum während der 7—10 tägigen Fraßzeit einen Einfluß auf das mittlere Gewicht der Futternadeln ausüben?

Antwort: Die Versuche begannen Ende August, wo die Zunahme des Holzes (und damit das Wachstum) stehen bleibt. Nach der Überwinterung der Raupen wurden 3jährige Nadeln verfüttert, die ja ohnehin nicht mehr wachsen.

2. Hat der bei der Berechnung des mittleren Nadelgewichtes aus der Probeentnahme auftretende Fehler nicht erheblichen Einfluß auf das Ergebnis?

Antwort: Eine entsprechende Analyse von 110 zweijährigen Trieben ergab, variationsstatistisch bearbeitet, nur einen „maximalen mittleren Fehler“ von $\pm 1,5\%$.

Aus all dem ist zu ersehen, daß die Methode am Baum eine recht komplizierte ist. Die aufgewandte Arbeit lohnt sich aber. Denn einmal entfallen hier alle in der Wahl des Versuchsortes und des Zuchtbehälters sowie in der Darreichung und Beschaffenheit des Futters enthaltenen Unsicherheitsfaktoren, da die Zuchtbedingungen der Methode am Baum an die natürlichen Existenzbedingungen der Raupe im höchstmöglichen Maße herankommen. Zum anderen entfallen auch alle in der Nadelwelkung enthaltenen Unsicherheitsfaktoren. Es ist hier weder ein auf der Welkdifferenz zweier Zweige beruhender Fehler bei der Gewichtsbestimmung der Fraßmenge vorhanden, noch eine Korrektur der Fraßleistung am Ende der Zucht nötig. Die Raupen fressen stets frische Nadeln.

Das sind grundlegende Vorteile der Methode am Baum den anderen, mit welkendem Futter arbeitenden, Methoden gegenüber, Vorteile, auf Grund deren sie ohne weiteres als die einzig verwendbare Methode der Bestimmung von Nadelverbrauchsnormen anzusprechen wäre, wenn die von LEBEDEV & SAVENKOV gemachte Voraussetzung einer Unveränderlichkeit des Nadelgewichtes während des Fraßintervalles zutreffend wäre.

Das ist aber, wie meine diesbezüglichen Kontrollwägungen 1951 zeigten, leider nicht der Fall.

Um das Gewicht von Kiefernadeln am Baum zu überprüfen, wurden im August und September 1951 Zweige von etwa 25jährigen Kiefern desselben Standortes im **LEBEDEV-SAVENOV**schen Sinne vorbehandelt, d. h. derart zurechtgestutzt, daß sie nur noch 2jährige, 3jährige oder 2- und 3jährige Nadeln in ganz unberührtem Zustande trugen.

Am Tag der Einwaage wurde dem betreffenden Zweig bzw. Zweigabschnitt (wie bei **LEBEDEV-SAVENOV**) eine Nadelprobe von 20 % der Gesamtnadeln entnommen und sofort auf einer Apothekerwaage, welche windgeschützt unter einer Glasglocke aufgehängt war, mit einer Genauigkeit bis zur 3. Dezimale gewogen. Nach 2, 3 oder 7 Tagen erfolgte die Auswaage der restlichen 80 % in gleicher Weise.

Zum Teil erfolgte die Probeentnahme in anderer Form als bei **LEBEDEV-SAVENOV**, und zwar wurden hier nicht 20 % der Nadelpaare entnommen, sondern 50 % der Nadeln in Form von Einzeladeln, derart, daß aus jedem Nadelpaar der eine Nadelzwilling als Probe entfernt wurde. Es war vorher im Labor festgestellt worden, daß ein solches Probeentnahme-Verfahren mit einem geringeren Fehler als das andere behaftet ist (Fehlergrößen s. S. 217). Außerdem hat das Verfahren den Vorteil, daß man bei ihm direkt das Gewicht der einen Hälfte der Nadeln mit dem der anderen Hälfte vergleichen kann, ohne erst jeweils das mittlere Gewicht einer Nadel errechnen zu müssen.

Nachstehend seien die Ergebnisse eines Teils der Kontrollwägungen dargestellt. Das **LEBEDEV-SAVENOV**sche „Nadelpaarverfahren“ ist hierbei von meinem „Einzeladelverfahren“ durch die bei ersterem auftretenden mittleren Nadelgewichte leicht zu unterscheiden¹⁾.

Einwaage	Auswaage	Differenz
1a. 17. 8. 42 N2 = 0,907 g	19. 8. 42 N2 = 0,870 g	— 4,1%
1b. 17. 8. 41 N3 = 1,360 g	19. 8. 41 N3 = 1,274 g	— 6,3%
1c. 17. 8. 50 N2 = 1,505 g	19. 8. 50 N2 = 1,578 g	+ 4,9%
1d. 17. 8. 40 N3 = 1,477 g	19. 8. 40 N3 = 1,575 g	+ 6,6%
2a. 6. 8. 39 N2 = 1,143 g	13. 8. 39 N2 = 1,258 g	+ 10,1%
2b. 6. 8. 28 N3 = 1,205 g	13. 8. 28 N3 = 1,320 g	+ 9,5%
3a. 25. 8. 30 N2 = 0,840 g	1. 9. 30 N2 = 0,846 g	+ 0,7%
3b. 25. 8. 32 N3 = 1,373 g	1. 9. 32 N3 = 1,427 g	+ 3,9%
3c. 25. 8. 11 P · N2 = 0,590 g (0,0268 g)	1. 9. 11 P · N2 = 0,590 g (0,0284 g)	+ 6,0%
3d. 25. 8. 11 P · N3 = 1,017 g (0,0462 g)	1. 9. 11 P · N3 = 1,077 g (0,0536 g)	+ 16,0%
4a. 25. 8. 8 P · N2 = 0,407 g (0,0254 g)	1. 9. 8 P · N2 = 0,422 g (0,0243 g)	— 4,4%
4b. 25. 8. 10 P · N3 = 0,700 g (0,0350 g)	1. 9. 10 P · N3 = 0,735 g (0,0359 g)	+ 2,5%
5a. 25. 9. 13 P · N2 = 0,907 g (0,0349 g)	2. 10. 13 P · N2 = 0,932 g (0,0321 g)	— 7,9%
5b. 25. 9. 13 P · N3 = 1,123 g (0,0432 g)	2. 10. 13 P · N3 = 1,148 g (0,0424 g)	— 1,9%

Obige Ergebnisse reichen nicht aus, allgemeine Schlüsse daraus zu ziehen. Sie müßten auf alle Jahreszeiten erweitert und zugleich durch Beachtung der genauen Lage der Zweige am Baum, durch Einbeziehung verschiedener Altersklassen und Standorte der Kiefer in die Untersuchungen sowie durch Ermittlung des Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsverlaufes präzisiert werden.

So viel scheint jedenfalls festzustehen, daß das Gewicht der Kiefernadel auch unabhängig vom Wachstum dauernden und beträchtlichen Schwankungen unterliegt. Der Fehler bei der Probeentnahme ist zu gering (s. u.), um die Schwankungen zu erklären.

¹⁾ Es bedeuten im folgenden: „9 P · N2“ = 9 Paar 2jähriger Nadeln; in Klammer: mittleres Gewicht einer Nadel; $\left\{ \begin{array}{l} N2 \\ N3 \end{array} \right.$ 2- und 3jährige Nadeln am selben 1 a, b: Zweige a und b am Baum Nr. 1; $\left\{ \begin{array}{l} N2 \\ N3 \end{array} \right.$ = Zweig.

Als Ursache der Gewichtsschwankungen kommen wohl nur Zustandsverschiebungen der Wassersättigung der Nadeln (= Turgor-Verschiebungen) in Frage, die wahrscheinlich zum guten Teil auf die an den Zweigen vorgenommenen Manipulationen zurückzuführen sind, zumindest in ihrer Größe dadurch beeinflußt werden. Ohne diese Manipulationen ist die Methode aber nicht durchführbar.

Daß die Schwankungen nicht in so einfacher Form verlaufen, daß man etwa schließen könnte, nach Regentagen seien die Zweige schwerer und nach trocknen Tagen leichter geworden, zeigen die Wageergebnisse, wonach z. B. an ein- und demselben Baum (1b und 1d) während der gleichen Zeitspanne und bei gleichem Nadelalter die eine Nadelmasse um 6,3% leichter, die andere dagegen um 6,6% schwerer geworden war.

Für die Nadelverbrauchsnorm-Bestimmung bedeutet die Gewichtsschwankung der Nadeln, daß, so lange dieses Phänomen nicht einwandfrei geklärt und durch Abänderung der Methodik in seiner Auswirkung (Fehlergröße) vermindert worden ist, vom Gebrauch der Methode am Baum Abstand genommen werden muß. Zwar beträgt das arithmetische Mittel der 34 beobachteten Gewichtsschwankungen nur etwa 5%; damit als wahrscheinlichem Fehler zu rechnen, ist aber in Anbetracht der geringen Zahl von Fütterungsintervallen und der schon erwähnten Ungleichwertigkeit der Fütterungsintervalle in bezug auf den Endfehler, nicht angängig.

e) Die Wasserwelk-Methode

In Vorbereitung einer Ermittlung der Nadelverbrauchsnormen der Kiefernspanner *Bupalus piniarius* L. und *Semiothisa liturata* Cl. wurden im Frühjahr 1951 die Fraßflächen-, die Fraßlängen- und die Luftwelkmethode auf ihre Unsicherheitsfaktoren hin betrachtet und ihre vorstehend dargestellten Mängel im Prinzip festgestellt. Der in der Methode am Baum enthaltene Unsicherheitsfaktor wurde damals noch nicht erkannt. Doch erschien die Anwendung dieser Methode arbeitstechnisch als zu schwierig, weshalb versucht wurde, sie gewissermaßen vom Wald ins Institut zu verpflanzen.

Das Hauptprinzip der Methode am Baum, der nicht welkende Zweig, wurde dadurch zu verwirklichen versucht, daß der Kiefernzweig während des Fraßintervalles in Wasser¹⁾ „frisch“ (in Wirklichkeit langsam welkend)²⁾ gehalten wurde; das andre Prinzip, Fütterung und Fraßmengenbestimmung an ein- und demselben Zweig, war unschwer zu erfüllen.

Des weiteren wurden die Nadelproben-Entnahme sowie die Kot- und Nadelwägung vereinfacht und präzisiert (s. u.) und eine Unterscheidung der drei Verbrauchskomponenten Fraß-Abbiß-Trocknis vorgenommen.

¹⁾ in zugekitteter Wasserflasche.

²⁾ Die Welkung tritt wohl durch teilweise Ausschaltung der Leitgefäße des Zweiges infolge Verharzung der Schnittfläche ein. Bei waagerechter Schnittfläche war die Verharzung weitaus stärker als bei schräger, zumal beidseitig schräger Schnittfläche.

So entstand eine veränderte LEBEDEV-SAVENKOV-Methode, die „Wasserwelkmethode“ genannt werden kann.

Die der Wasserwelkmethode notwendig anhaftenden Unsicherheitsfaktoren¹⁾ beschränken sich auf den in der Futterwelkung enthaltenen Faktor. Um ihn beurteilen zu können, ist die Beantwortung der Frage nötig: welchen Gewichtsverlust (welches Welkprozent) weist ein 3 Tage lang in Wasser stehender Kiefernzweig auf?

Um wiederum diese Frage beantworten zu können, muß zunächst der bei der Probeentnahme von Nadeln auftretende Fehler bestimmt werden, da nur an Hand einer Nadelprobe sich das Gewicht eines (und desselben) Zweiges kontrollieren läßt.

Wie schon erwähnt, wurde von LEBEDEV & SAVENKOV die Nadelprobe in Form von 20 % der Nadelpaare des betreffenden Zweiges entnommen, daraus das mittlere Gewicht einer Nadel bestimmt und von diesem aus dann auf das mittlere Nadeltgewicht der am Zweig verbliebenen 80 % Futternadeln geschlossen. Den hierbei auftretenden Fehler gaben LEBEDEV & SAVENKOV mit $\pm 1,5\%$ an.

Da nun (wie die Wägeregebnisse zur Nadellängen-Methode bewiesen haben, s. o.) selbst an ein- und demselben Zweigabschnitt das Gewicht von Nadeln aus verschiedenen Nadelpaaren recht unterschiedlich sein kann, ließ sich vermuten, daß der Fehler bei der Probeentnahme sich dadurch verringern läßt, daß man aus jedem Nadelpaar einen Vertreter und somit die Hälfte aller Nadeln des Zweiges als Probe entnimmt; denn die aus derselben Blattanlage stammenden Zwillinge eines Nadelpaares dürften sich weitaus ähnlicher sein als zwei Nadeln aus verschiedenen Nadelpaaren.

Diese Vermutung hat sich bestätigt. Zehn zu jedem der beiden Verfahren durchgeführte Kontrollwägungen ergaben folgende Ergebnisse²⁾:

Nadelpaar-Verfahren	Einzelnadel-Verfahren
0,8 %	0 %
1,0 %	0 %
1,1 %	0,1 %
1,3 %	0,4 %
2,3 %	0,5 %
2,8 %	0,6 %
3,1 %	0,7 %
3,2 %	0,7 %
4,0 %	0,8 %
4,2 %	1,3 %
Mittel: 2,4 % \pm 1,3 %.	Mittel: 0,5 % \pm 0,4 %.

Das heißt, daß das Gewicht der 80 %-Probe von dem der 20 %-Probe (Nadelpaarverfahren) um durchschnittlich 2,4 % abweicht, das mittlere Gewicht der einen 50 %-Probe von dem der anderen 50 %-Probe (Einzelnadelverfahren) dagegen nur um 0,5 %³⁾. Das Einzelnadelverfahren ist somit dem Nadelpaarverfahren vorzuziehen.

¹⁾ Im Versuchsort gelegene gehören nicht hierzu, denn man kann die Wasserwelkmethode auch im Wald durchführen.

²⁾ Nach der Größe geordnet.

³⁾ Der von LEBEDEV & SAVENKOV angegebene („maximale mittlere“) Fehler von $\pm 1,5\%$ basiert auf 120 Zweiganalysen. Der Unterschied zwischen ihm und den von mir festgestellten mittleren Fehler von $\pm 2,4\%$ könnte unter Umständen auf meine geringe Anzahl von Proben beruhen.

Nach Ermittlung dieses Fehlers galt es nunmehr, den Gewichtsverlust eines 3 Tage lang in Wasser stehenden (eine bestimmte Anzahl 2jähriger Nadeln tragenden)¹⁾ Kiefernzweiges zu ermitteln.

Zu diesem Zweck wurden Zweige von ca. 25jährigen Kiefern desselben Standortes abgeschnitten, sofort in bereitgestellte Wasserflaschen gesteckt, zum Institut gebracht und hier derart zubereitet, daß nur noch unversehrte 2jährige Nadeln am Zweig verblieben.

Ehe nun die Hälfte der Nadeln als Kontrollprobe entnommen wurde, wurde der Zweig, nachdem er ein Stück in schräger Anschnittsfläche zurückgeschnitten worden war, einen Tag in Wasser stehen gelassen. Das geschah, um ihn maximal turgeszent werden zu lassen. Es hatte sich nämlich gezeigt, daß ein Teil der Zweige nicht, wie die übrigen, nach Ablauf der drei Tage an Gewicht abgenommen, sondern im Gegenteil nicht unbeträchtlich zugenommen hatten. Der Grund hierfür konnte nur darin gesucht werden, daß der Turgor eines in Wasser gestellten Zweiges erst eine Zeit lang bis zur Sättigung ansteigt und dann erst wieder langsam sinkt, und zwar so langsam daß nach drei Tagen noch immer die Gewichtszunahme nicht wieder ausgeglichen ist. Es ließ sich vermuten, daß es sich bei derartigen Zweigen um solche handelte, die im Augenblick ihrer Lostrennung vom Baum eine besonders niedrige Turgeszenz besaßen.

Diese Vermutungen konnten als bestätigt gelten, als die besagte Erscheinung von da ab nicht mehr auftrat, als alle Zweige vor ihrer Verwendung einen Tag lang in Wasser stehengelassen wurden. Nunmehr ergaben die nach drei Tagen vorgenommenen Wägungen stets Gewichtsabnahmen, was sich damit erklären läßt, daß die Zweige in den ersten 24 Stunden (vor der Einwaage) die Turgeszenz auf ihre maximale Höhe bringen und sie in den folgenden drei Tagen (nach der Einwaage) durch teilweise Verharzung der Leitgefäße wieder verringern.

Somit ließ sich eine in stets gleicher Richtung verlaufende Gewichtsverschiebung (Welkung) erzielen, deren ungefähre Höhe durch 18 Kontrollwägungen ermittelt wurde. Das Nadelgewicht zeigte dabei folgende Abnahmen:

1. 14.—17. 8.: 0,1 % Abnahme;	10. 20.—23. 8.: 2,0 % Abnahme
2. 14.—17. 8.: 0,1 % „	11. 20.—23. 8.: 1,0 % „
3. 14.—17. 8.: 1,7 % „	12. 20.—23. 8.: 0,7 % „
4. 17.—20. 8.: 1,0 % „	13. 20.—23. 8.: 1,0 % „
5. 17.—20. 8.: 1,3 % „	14. 23.—26. 8.: 2,4 % „
6. 17.—20. 8.: 1,9 % „	15. 23.—26. 8.: 1,5 % „
7. 17.—20. 8.: 0,3 % „	16. 26.—29. 8.: 0,8 % „
8. 20.—23. 8.: 1,5 % „	17. 26.—29. 8.: 1,4 % „
9. 20.—23. 8.: 2,4 % „	18. 26.—29. 8.: 2,5 % „

Das arithmetische Mittel aus vorstehenden 18 Wägeergebnissen beträgt 1,35% Gewichtsverlust in 3 Tagen, die mittlere Abweichung davon = $\pm 0,7\%$. In diesen $1,35 \pm 0,7\%$ ist der Probeentnahmefehler von $0,5 \pm 0,4\%$ mit enthalten.

Wiederum ist die Zahl der Wägungen zu gering und die Wägezeit jahreszeitlich zu beschränkt, um das Ergebnis als allgemein gültig betrachten zu können. Doch wird man wohl mit der Annahme, daß auch bei einem größeren Umfang der Untersuchungen der Welkverlust nicht über 2% im Mittel hinausgeht, nicht fehlgehen.

Bei nur 2% Gewichtsabnahme ist man aber berechtigt, besonders im Hinblick darauf, daß der Zweig ja erst noch — dem Freiland gegenüber — eine Gewichtszunahme erfährt, zu fragen, ob hierbei noch von „Welkung“ gesprochen werden kann.

¹⁾ Es wurden nur 2jährige Nadeln betrachtet, weil diese allein, als Hauptnahrung der Kiefernspannerauppen, bei der 1951 durchgeführten Nadelverbrauchsnorm-Bestimmung verwendet wurden.

Wenn sich zeigte, daß bei allen denjenigen Zweigen, die (da sie vor der Wägung nicht erst einen Tag in Wasser belassen worden waren) eine Gewichtszunahme anstatt einer Abnahme aufwiesen, diese Gewichtszunahme in 3 Tagen zwischen 0,5% und 4% (im Mittel 2 bis 3%) betrug, so darf man annehmen, daß sich bei der Wasserwelk-Methode ganz allgemein die Gewichtszunahme durch Wasseraufnahme und die Gewichtsabnahme durch teilweise Verharzung von Leitungsbahnöffnungen in einer Zeitspanne von 3 Tagen ungefähr die Waage halten.

Dann liegen der Wasserwelk-Methode aber gar keine „welkenden“ Nadeln zugrunde, sondern frische, und damit wieder entfallen — wie bei der Methode am Baum — alle auf der Futterwelkung beruhenden Unsicherheitsfaktoren.

Benutzt man schließlich Gazekästen als Zuchtbehälter und führt die Zucht in Kiefernkrone durch, so ist auch in dieser Hinsicht kein Unsicherheitsfaktor mehr zu befürchten und die Wasserwelkmethode — als vorläufig einzige praktisch fehlerfreie Methode — jeder anderen Methode der Verbrauchsnormbestimmung vorzuziehen.

Wurde soeben die Wasserwelkmethode als praktisch fehlerfrei bezeichnet, so gilt das jedoch nur bei Erfüllung einer Voraussetzung: der Trockenwägung.

LEBEDEV & SAVENKOV bedienen sich der Frischwägung der Verbrauchsnormkomponenten, d. h. sie bestimmten deren Gewicht immer jeweils nach dem Futterwechsel.

In einem solchen Verfahren sind aber folgende Unsicherheitsfaktoren enthalten.

1. Das Gewicht des hygroskopischen Raupenkotes wird stark von der jeweiligen Luftfeuchtigkeit beeinflusst.

2. Die Abbiß- und Trocknisteile unterliegen im Gegensatz zu den am Zweig verbleibenden grünen Nadeln einer Welkung und können somit bei der Wägung mit diesen nicht verglichen werden.

Der von LEBEDEV & SAVENKOV hier eingeschlagene Ausweg einer Längenschätzung der Abbiß- und Trocknisteile und anschließenden Umsetzung in Frischgewicht, ist, wie bei der Nadellängenmethode gezeigt wurde, gleichfalls mit einem erheblichen Fehler belastet.

3. Das Gewicht der Fraßmenge wird durch Subtraktion der überbliebenen Nadelmasse von der (an Hand der Nadelprobe berechneten) Ausgangsnadelmasse gewonnen. Hierbei tritt aber wahrscheinlich der im Prinzip gleiche Fehler wie bei der Luftwelkmethode auf, nämlich eine Welkdifferenz zwischen unbefressener und befreßener Nadelmasse. Zwar wird bei der Methode am Baum wie auch bei der Wasserwelkmethode mit nicht welkenden Zweigen operiert; diese Nichtwelkung steht aber vorläufig nur für unbefressene Zweige fest. Es ist wahrscheinlich, daß durch Fraß verletzte Nadeln auch am Baum einer Welkung, d. h. einem Gewichtsverlust — den unbefressenen gegenüber — unterliegen.

Das würde heißen, daß bei der Substraktion einer befressenen Nadelmasse von einer unbefressenen die Fraßmenge um so viel zu hoch berechnet würde, wie der Gewichtsverlust durch Fraßwelkung ausmacht.

Die LEBEDEV-SAVENKOVSCHE Nahrungsnorm des Kiefernspinners ist somit wahrscheinlich um einen bestimmten Betrag zu kürzen, dessen Höhe erst noch zu ermitteln wäre, dessen Variationsbreite aber, d. h. der in die Rechnung eingehende Fehler, wie bei der Luftwelkmethode gezeigt wurde, nicht unerheblich sein dürfte.

Die genannten drei Unsicherheitsfaktoren können nur überwunden werden, wenn man die Wägeobjekte bei absoluter Trockenheit wägt, oder zumindest erst dann, wenn sie nach längerer Aufbewahrung bei gleicher Temperatur und Luftfeuchtigkeit Gewichtskonstanz erreicht haben.

Allerdings bietet es nicht geringe technische Schwierigkeiten, die absolute Trockenheit von Kiefernadeln und Kot, zumal in der hierbei anfallenden Menge, zu erreichen, und noch größere, bei der Wägung aufrechtzuerhalten. Außerhalb eines chemischen Labors wird das wohl nicht möglich sein.

Man wird sich daher in der Forstentomologie meist mit einem geringeren Trocknungsgrad als dem absoluten begnügen müssen, so wie er durch Liegenlassen der Wägeobjekte in Thermostaten erreichbar ist. Hierbei würde dann allerdings die Welkdifferenz zwischen Kontroll- und Futternadeln nicht restlos beseitigt, sondern nur — je nach Trocknungsgrad — mehr oder weniger stark reduziert werden, wodurch sich eine geringe Korrektur am Endergebnis notwendig machen würde (s. S. 232).

b) Die Unsicherheitsfaktoren bei der Berechnung der kritischen Puppenzahl aus der kritischen Raupenzahl

Nachdem nunmehr die kritische Raupenzahl aus der Nadelverbrauchsnorm einer Raupe berechnet ist, wird aus ihr mittels Division durch die Zahl der abgelegten Eier die kritische Puppenzahl abgeleitet.

In dieser Ableitung sind folgende sechs Unsicherheitsfaktoren enthalten.

1. Wechselnde Größe der krit. Raupenzahl, auf Grund wechselnden Geschlechterverhältnisses.
2. Wechselnde Größe der Verbrauchsnorm.
3. Wechselnde Größe der Raupenmortalität.
4. Wechselnde Größe der Eimortalität.
5. Wechselnde Größe der Faltermortalität.
6. Wechselnde Größe der Zahl an abgelegten Eiern.

Da die Konstanz die an eine kritische Zahl zu stellende Grundanforderung bildet, muß ein jeder der sechs Faktoren konstant gemacht, d. h. mit konstanter Größe angenommen werden.

Die Festsetzung dieser Größen muß aber nun so erfolgen, daß die aus der Ableitung hervorgehende kritische Puppenzahl einerseits stets

unterhalb der wirklichen kritischen Grenze bleibt, mit andren Worten der prognostischen Sicherheit Genüge tut, zum anderen aber wieder nahe genug an diese Grenze herankommt, um als Warnzahl dienen zu können. Würde man z. B. den jeweils prognostisch (also für den Wald) ungünstigsten Wert, nämlich die bisher beobachtete stärkste Abweichung des Geschlechterverhältnisses von 1:1 zugunsten des Weibchens und damit die höchste kritische Raupenzahl, — die höchste Verbrauchsnorm, — die maximale Zahl abgelegter Eier sowie fehlende Falter-, Ei- sowie Raupenmortalität annehmen, so würde die kritische Puppenzahl viel zu niedrig werden, um noch als Warnzahl brauchbar zu sein.

Hier erscheint ein Mittelweg als der beste, welcher einige Faktoren mit ihrem prognostisch ungünstigsten Wert und die anderen mit ihrem Mittelwert einsetzt, wobei aber zu beachten ist, daß das prognostische Gewicht der erstgenannten Faktoren das der anderen (zusammengenommen) übertreffen muß.

Nur die Praxis kann ermitteln, welche Größenkombination die beste, d. h. die genannte Bedingung: möglichste Nähe der kritischen Grenze bei Wahrung der prognostischen Sicherheit am besten verwirklichende ist. Als erste Annäherung soll folgende Kombination angenommen werden: Geschlechterverhältnis der Raupen 1:1 (= mittlere kritische Raupenzahl), — mittlere Verbrauchsnorm, — mittlere Zahl abgelegter Eier und fehlende Falter-, Ei- und Raupenmortalität.

Die hieraus entstehende kritische Puppenzahl dürfte der prognostischen Sicherheit genügen, da Abweichungen der kritischen Raupenzahl, der Verbrauchsnorm und der Eizahl von ihrem Gesamtmittelwert schwerlich die durch Weglassen der Mortalität errichtete Sicherheitsquote übersteigen können; andererseits dürfte sie nahe genug an den wirklichen kritischen Punkt, d. h. an diejenige Puppenzahl, welche die kritische Raupenzahl zur Folge hat, herankommen, um als Warnzahl fungieren zu können.

Diese erste Annäherung zu überprüfen und zu verbessern ist, wie gesagt, Aufgabe der prognostischen Praxis.

Im Idealfall könnte es möglich sein, dem Grenzwert dadurch so nahe wie möglich zu kommen, daß man die kritische Puppenzahl für eine bestimmte Populationsdichte standardisiert und sie durch Zuschläge oder Abzüge auf andere (sich bezüglich der Verbrauchsnorm und der Eizahl konstant voneinander unterscheidende) Populationsdichten umrechnet.

IV. Unsicherheitsfaktoren bei der Anwendung der kritischen Zahlen

1. In der Ermittlung der Nadelmasse eines Bestandes enthaltene Unsicherheitsfaktoren.

Jede Prognose verlangt zunächst die Bestimmung der Nadelmasse des zu untersuchenden Bestandes, gleichgültig, ob sich die kritischen Zahlen

— wie bisher — auf Alters- und Ertragsklassen der Kiefer oder — wie oben vorgeschlagen — auf eine Standardnadelmasse (1000 g) beziehen.

Das Streben nach Genauigkeit beim Probesuchen und bei der Errechnung der kritischen Zahlen hat nur dann einen Sinn, wenn die Ermittlung der Nadelmasse mit der gleichen Genauigkeit erfolgt. Davon sind wir aber leider gegenwärtig noch weit entfernt.

LEBEDEV & SAVENKOV (1932, S. 100) schrieben hierzu:

„Wenn uns Tabellen zur Verfügung ständen, die uns die mittlere Gewichtsmenge der Nadeln eines Kiefernbaumes nach allen Altersklassen, Bonitäten, Fülle und Krafts Klassen angeben würden, so würde die Berechnung der einem Kiefernbestand seitens der Raupen drohenden Gefahr mit beliebiger Genauigkeit keine Schwierigkeiten bereiten.

... Leider werden wir nicht sobald über dergleichen Tabellen verfügen, da sie nur durch kollektive Arbeit geschaffen werden können und die Kraft einzelner Personen übersteigen. Dabei macht sich ein Bedürfnis nach solchen Tabellen nicht nur in der Forstentomologie bemerkbar: sie könnten auch in der forstlichen Physiologie, Taxation, Forstwirtschaft und vielleicht auch einigen anderen Disziplinen nützliche Dienste erweisen.“

Da bisher die genannten Tabellen fehlten, mußte man sich in der Forstentomologie irgendwie anders behelfen. Ob das aber nun derart geschah, daß man die kritischen Zahlen auf vereinzelt Nadelmassenbestimmungen an gefällten Kiefern aufbaute oder, wie zumeist, sie auf Grund von Erfahrungswerten direkt (ohne Nadelmassenbestimmung) auf bestimmte Alters- und Ertragsklassen der Kiefer bezog, — eine hinreichend genaue Unterlage für die Prognose konnte damit nicht geschaffen werden. Es ist für die Genauigkeit der zur Zeit bestehenden kritischen Zahlen bezeichnend, daß als kritische Puppenzahl eines unserer größten Forstschädlinge, des Kiefernspanners (*Bupalus piniarius* L.) die von SCHWERDTFEGGER (1930)¹⁾ für sämtliche Altersklassen reiner Kiefernbestände III./IV. und IV. Ertragsklasse in der Letzlinger Heide festgestellte Zahl von 6,0 Puppen pro qm gültig ist. Nicht allein, daß die Anwendung dieser einen Zahl für alle Bestandesaltersklassen schon innerhalb einer Ertragsklasse als unzureichend gelten muß (denn sie hätte nur Berechtigung, wenn die Bestandesnadelmasse unabhängig vom Bestandesalter wäre, was nicht der Fall ist), wird sie seitdem — mangels anderer Unterlagen — auf alle Ertragsklassen ausgedehnt, so daß praktisch eine einzige Zahl für sämtliche deutschen Kiefernwälder gleich welchen Alters und welcher Standortverhältnisse, in Gebrauch ist²⁾.

¹⁾ Nach SCHWERDTFEGGER (1944, S. 381).

²⁾ Zwar versuchte GÄBLER (1951) die Unzulänglichkeit einer solchen Handhabung dadurch zu beseitigen, daß er die kritische Spannerpuppenzahl an Hand der von SCHWERDTFEGGER (1939) ermittelten kritischen Eizahlen des Spanners neu berechnete und sie dabei nach Alters- und Ertragsklassen der Kiefer (bzw. deren mittleren Stammdurchmessern) aufgliederte. Seine Zahlen können aber aus Gründen, die weiter unten genannt werden (s. S. 239) nicht als Verbesserung gelten.

Es ist das Verdienst GÄBLERS (1941 b; 1950) die ersten Schritte zur Schaffung der so dringend benötigten Tabellen getan zu haben. Er stellte die über die Berechnung von Nadelmassen im Zusammenhang mit Transpirations-, Zuwachs- und Rauchschädenbeobachtungen an Nadelbäumen bestehenden Veröffentlichungen zusammen, verglich sie mit Ergebnissen aus eignen Wägungen und prüfte das bisher Bestehende auf seine Anwendbarkeit für die Forstentomologie hin.

Seine Ergebnisse faßte er wie folgt zusammen (1950, S. 91):

„Wenn wir die Ergebnisse der Nadelmassenbestimmungen sowohl bei der Fichte als auch bei der Kiefer überblicken, so sehen wir, daß die Nadelmasse eines Baumes von sehr verschiedenen Faktoren beeinflusst wird. Sie hängt keineswegs nur vom Alter des Baumes ab, sondern wird in viel größerem Umfang z. B. vom Standort, d. h. also von den Bodenverhältnissen, der Höhenlage, dem Klima usw. bestimmt. Es spielt aber besonders eine ausschlaggebende Rolle, ob es sich um herrschende oder unterdrückte Bäume handelt, wie aus den verschiedenen Tabellen zu ersehen ist. Ja, selbst die Samenherkunft beeinflusst, wie die BURGERSCHEN Beobachtungen zeigen u. U. die Nadelmasse eines Baumes.“

Auf der Suche nach einem Bestandesfaktor, mit dessen Hilfe es trotz dieser verwickelten Beziehungen möglich erscheint, die Nadelmasse eines Baumes ohne Fällung zu bestimmen, findet GÄBLER, daß weder Alter, noch Höhe, noch die Kronenlänge hierfür in Frage kommen, daß wohl aber der Stammdurchmesser, — und zwar auf Grund von HUBERS (1928)¹⁾ Leitfähigkeitsuntersuchungen —, hierfür geeignet erscheint.

HUBER stellte bestimmte Beziehungen zwischen der Leitfähigkeit von Stämmen und der Blattmenge fest. Er bezeichnete den zur Versorgung von 1 g Nadelmasse nötigen Holzquerschnitt (in qmm) als relative Leitfläche (rL). Da $rL = L : G$ ist²⁾, kann bei bekanntem rL (rL für Kiefer gleich 0,5) die zu einer bestimmten Leitfläche gehörende Nadelmasse mit Hilfe des Stammdurchmessers berechnet werden.

GÄBLER nahm diese Berechnung an Hand der bestehenden Tabellen und eignen Messungen unter Zugrundelegung des Stammdurchmessers in Brusthöhe (1,3 m) vor, konnte aber eine für alle Altersklassen einheitliche und konstante Beziehung zwischen den tatsächlich festgestellten Nadelmengen und den errechneten nicht feststellen. Immerhin fand er, daß wenigstens die näherungsweise Errechnung der Nadelmasse bei Stämmen von 4 bis 30 cm Durchmesser dadurch möglich ist, daß man die errechnete Masse mit einem — nach Durchmesser verschiedenen — Faktor multipliziert.

Als Grund für die fehlende Übereinstimmung zwischen Theorie und Praxis gibt GÄBLER an:

1. Der Stammdurchmesser wurde mit Rinde gemessen.
2. Die Höhe von 1,3 Metern ist willkürlich gewählt. Mißt man den Durchmesser direkt unter dem Kronenansatz, so ist er viel kleiner; die versorgte Nadelmasse ist aber dieselbe.

¹⁾ Nach GÄBLER (1950).

²⁾ Relat. Leitfläche = Gesamtleitfläche : Nadelgewicht des Baumes.

3. Es ist nur ein Teil des Stammquerschnittes tatsächlich Leitfläche.

4. Der prozentuale Anteil der Leitfläche ändert sich je nach Stärke des Stammes.

Inzwischen hat GÄBLER (1951) die Stammdurchmessermessung in Brusthöhe als zu ungenau zugunsten der Messung unter dem Kronenansatz aufgegeben.

Ganz gleich aber, in welcher Höhe sich die Messung des Stammdurchmessers als am geeignetsten für die Berechnung von Nadelmassen erweist, und ganz gleich, welche Unzulänglichkeiten bei dieser Methode zur Zeit noch bestehen, es ist jedenfalls eine Basis für die Nadelmassenbestimmung gefunden, auf der alle folgenden Arbeiten aufbauen können.

Es gilt, in Zukunft die Beziehung Stammdurchmesser/Nadelmasse näher zu untersuchen, wozu ohne zusätzliche Kosten die Holzeinschläge Gelegenheit bieten.

Wahrscheinlich wird sich die Messung des Stammdurchmessers allein für eine einwandfreie Nadelmassenbestimmung als nicht ausreichend erweisen. Doch ist mit Bestimmtheit damit zu rechnen, daß dann die Hinzuziehung weiterer Bestandesdaten zum Ziele führen wird. Auf genügend breiter Grundlage wird sich sicher eine konstante Beziehung zwischen dem Stammdurchmesser in Verbindung mit Alters- und Ertragsklasse einerseits — und der Nadelmasse andererseits finden lassen.

Die breite Grundlage hierfür zu schaffen ist dringende Aufgabe. Zu ihrer Lösung kann außer dem Forstbotaniker auch jeder Forstentomologe, ja, jeder Forstmann, beitragen. Es ist hierzu nur notwendig, von einem gefällten Baum die Nadelmasse zum Trocknen und Wiegen mitzunehmen und folgende Daten des Baumes festzustellen:

Alter;

Länge des gefällten Teiles;

Höhe des Stumpfes;

Entfernung zwischen basaler und apikaler Schnittfläche des Stammes;

Durchmesser beider Schnittflächen sowie Brusthöhendurchmesser;

Rindenanteil am Durchmesser beider Schnittflächen;

Leitflächenanteil am Durchmesser beider Schnittflächen.¹⁾

2. In der Vorhersage der Raupenzahl und des Fraßschadens enthaltene Unsicherheitsfaktoren.

Zum Schluß wäre noch zu untersuchen, welche Unsicherheitsfaktoren bei der eigentlichen Prognose, d. h. bei der auf die Puppenzahl gegründeten Vorhersage der Raupenzahl und des durch sie verursachten Schadens, auftreten.

Zu diesem Zwecke soll der Gang einer Prognose dargestellt werden.

¹⁾ Ein einfaches Verfahren zur Feststellung dieser Größe existiert meines Wissens noch nicht. Es dem Praktiker an die Hand zu geben, ist Aufgabe des Forstbotanikers.

Vorhandene W-Puppenzahl und Geschlechterverhältnis

Aus dem beim Probesuchen gefundenen Puppenmaterial werden zwei Werte bestimmt:

- a) das Geschlechterverhältnis, das am Schluß der Prognose gebraucht wird (s. u.); bei seiner Bestimmung werden alle Puppen, auch die parasitierten, kranken und abgestorbenen berücksichtigt;
- b) die Zahl der gesunden weiblichen Puppen pro qm Kronenfläche.

Kritische W-Puppenzahl

Um die vorhandene W-Puppenzahl mit der kritischen vergleichen zu können, muß letztere erst aus der auf 1000 g Nadelmasse bezogenen kritischen Standard-W-Puppenzahl abgeleitet werden. Das geschieht dadurch, daß zuerst die Nadelmasse des Bestandes ermittelt wird, sodann die Standard-Puppenzahl auf diese umgerechnet und im weiteren auf die Flächeneinheit (1 qm) — unter Beachtung des Bestandesschlusses — bezogen wird.

Es sei angenommen, daß die so errechnete kritische W-Puppenzahl pro qm mit der Zahl der beim Probesuchen gefundenen weiblichen Puppen ungefähr übereinstimmt, so daß eine genaue Prognose notwendig erscheint.

Faltermortalität und Zahl abgelegter Eier

Nach Feststellung der im Bestand vorhandenen gesunden weiblichen Puppen tritt nun der erste Unsicherheitsfaktor auf: die Faltermortalität. Ein gewisser, örtlich und zeitlich wechselnder Prozentsatz weiblicher Falter geht vor oder während der Eiablage zugrunde.

Dieser Unsicherheitsfaktor ist nicht überwindbar, weil die Faltermortalität sich weder vorhersagen noch nachträglich ermitteln läßt. Man muß hier — der prognostischen Sicherheit halber — mit Mortalität = 0 rechnen, d. h. annehmen, daß jeder weibliche Falter voll zur Eiablage gelangt.

Der hierdurch in die Prognose kommende Fehler dürfte aber nicht bedeutend sein, weil der Prozentsatz der Mortalität weiblicher Falter — in Anbetracht, daß als Mortalitätsfaktoren praktisch allein die Vögel in Frage kommen — nur gering ist; er bleibt außerhalb der Krisenjahre einer Kalamität (wo also keine Zuwanderung und Konjunkturausnutzung seitens der Vögel besteht) wahrscheinlich stets unter 10%. Wenn aber wirklich 10% weiblicher Falter nicht voll zur Eiablage gelangen, so ist der hierdurch in die Berechnung der Eizahl gelangende Fehler natürlich noch weit geringer, weil der größte Teil der von Vögeln gefressenen Falter ja schon einen mehr oder weniger großen Prozentsatz seiner Eier vorher abgelegt hatte.

Zwar berechnete SCHWERDTFEGER (1935b) bei einer populationsdynamischen Untersuchung des Krisenjahres einer Eulenkalamität den Prozentsatz der von Vögeln vernichteten Eulenfalter mit maximal 44%. Da derartige Berechnungen aber darauf

beruhen, daß man die Differenz zwischen errechneter Soll-Eizahl und gefundener Ist-Eizahl auf das Konto der Faltermortalität setzt, können sie keine Gültigkeit beanspruchen; denn bis 44% (und wahrscheinlich noch mehr) beträgt bestimmt auch der Fehler bei der Eisuiche (Suchfehler + Verlust durch Abspringen + unvollständiges Erfassen wegen langer Ablegezeit).

An und für sich würde die Faltermortalität den Prognostizierenden überhaupt nicht zu interessieren brauchen, wenn dieser durch Probesuchen die Zahl der abgesetzten Eier einwandfrei bestimmen könnte; denn es ist ja nicht die Zahl der infolge Faltermortalität nicht abgesetzten Eier, sondern nur die der wirklich abgesetzten Eier von Interesse. Da jedoch das Probesuchen nach Eiern mit einem zu großen Fehler belastet ist, einem weit größeren jedenfalls, als die Faltermortalität ausmacht, muß die Eizahl auf rechnerischem Wege unter Inkaufnahme der durch die Faltermortalität bedingten Ungenauigkeit ermittelt werden.

„Rechnerischer“ Weg heißt aber nicht, daß zur Berechnung der Zahl im Bestand abgelegter Eier die Weibchenpuppenzahl einfach mit einer angenommenen mittleren Eizahl multipliziert wird, sondern daß diese Multiplikation mit einer durch Freilandzucht festgestellten Eizahl erfolgt.

Zu diesem Zwecke werden am besten Falterpärchen jeweils einzeln in Gazehüllen an lebende Zweige gesetzt, wobei die Gaze in Anbetracht der Größe der Falter ziemlich grobmaschig gewählt werden kann. Genügende Zahl solcher Einzelzuchten (mindestens 50) ist natürlich Voraussetzung.

Eine derartige Freilandzucht lohnt die nicht geringe Mühe, die sie verursacht, denn sie macht die Prognose der Raupenzahl erheblich genauer, als sie bislang möglich war. Sie setzt die ablegenden Weibchen den normalen Umweltbedingungen aus, erfaßt also alle eventuellen Einwirkungen der Witterungsfaktoren auf die Eiablage und tauscht dabei den hohen Eisuichfehler gegen den geringen Fehler ein, der durch die Annahme: Faltermortalität = 0 bei der Errechnung der Eizahl entsteht. Auch hat sie den Vorteil, daß hier wirklich nach Beendigung der Eiablage (nach dem Tod des Weibchens) gezählt und damit die Zahl abgelegter Eier genau bestimmt werden kann, während man beim Probeeiern infolge der langen Schlüpf- und Flugzeit der Falter niemals sicher ist, ob die maximale Eizahl am betreffenden Probestamm tatsächlich schon erreicht ist.

Eimortalität und Jungraupenzahl

Die Zahl der aus den Eiern hervorgehenden Raupen erhält man durch Bestimmung der Eimortalität.

Die Eimortalität ist — im Gegensatz zur Faltermortalität — feststellbar. Man fällt nach Beendigung der Eiablage Probestämme und ermittelt an Hand einer genügend großen Zahl von Eiern den Anteil an geschlüpften, parasitierten und abgelegten Eiern. Wahrscheinlich kann man auch einfach die gezüchteten Eier zur Mortalitätsbestimmung verwenden, denn Witterungsfaktoren und Eiparasiten können infolge der

grobmaschigen Gaze auch hier auf die Eier einwirken, und es würde dann lediglich der auf eierfressende Insekten entfallende, wahrscheinlich verschwindend geringe Mortalitätsprozentsatz sein, der hierbei unberücksichtigt bliebe.

Raupenmortalität

Nunmehr, nach Ermittlung der im Bestand vorhandenen Zahl an Jung-raupen, tritt als nächster Unsicherheitsfaktor die Raupenmortalität auf.

Auch er ist — wie bei der Faltermortalität — nicht überwindbar, weil der Prozentsatz der Raupenmortalität von nicht vorhersehbaren Einflüssen (z.B. Witterungsfaktoren und Krankheiten) abhängt. Keinesfalls darf hier ein aus der Erfahrung gemittelter Mortalitätswert eingesetzt werden, weil dadurch die Sicherheit der ganzen Prognose in Frage gestellt würde.

So ist hier festzustellen: die Prognose hat nicht die Aufgabe, die Zahl der Altraupen des Bestandes und deren Schaden vorherzusagen, sondern sie muß sich mit der Vorhersage der Jung-raupenzahl und des Schadens, den diese verursachen würde, wenn alle Jung-raupen Altraupen würden, begnügen. Ein Mehr ist prinzipiell nicht möglich.

Schaden-Prognose

Jetzt wird die Jung-raupenzahl mit der tatsächlich für den betreffenden Bestand kritischen Altraupenzahl verglichen. Zu diesem Zweck muß die letztere erst noch ermittelt werden. Die aus der Verbrauchsnorm errechnete kritische Altraupenzahl ist ja nur eine auf einem Geschlechterverhältnis von 1:1 basierende Standardzahl. Sie muß jetzt erst unter Zugrundelegung der nach Geschlechtern getrennten Verbrauchsnorm auf das im betreffenden Bestand vorhandene Geschlechterverhältnis umgerechnet werden.

Nachdem dies (mit Hilfe des Geschlechterverhältnisses der Puppen) geschehen ist, wird die Jung-raupenzahl damit verglichen. Daß hierbei die Raupenmortalität außer Acht gelassen werden muß, ist zwar bedauerlich, spielt aber keine so große Rolle, wie man vielleicht annehmen möchte; denn es wird im Grunde genommen dadurch keine wertmindernde Ungenauigkeit in die Prognose gebracht, sondern nur eine verbreiterte kritische Grenze geschaffen, auf die sich der Prognostizierende einstellen kann. Wurde z.B. eine Jung-raupenzahl ermittelt, die gerade so groß wie die kritische Altraupenzahl ist, so besteht noch keine Kahlfraßgefahr; letztere entsteht erst im gleichen Maße wie die kritische Zahl überschritten wird. So ermöglicht der Vergleich zwischen Jung-raupenzahl und kritischer Altraupenzahl eine Schätzung des zu erwartenden Schadens.

Es erscheint möglich, in Zukunft einmal die verbreiterte kritische Grenze dadurch zu verengen und die Prognose somit genauer zu machen, daß man die Raupenmortalität (die sich ja durch Vergleich der Jung-raupen-

zahl mit der nach dem Fraß gezählten Altraupen- bzw. Puppenzahl feststellen läßt) wenigstens mit ihrer minimalen Größe einsetzt, und das eventuell getrennt nach Waldtyp und Populationsdichte.

C. Ermittlung der Nadelverbrauchsnormen und kritischen Zahlen der Kiefernspanner *Bupalus piniarius* L. und *Semiothisa liturata* Cl. nach der Wasserwelkmethode

I. Allgemeines und Methodik

Wenn im Vorangegangenen unter anderem versucht wurde, die Unsicherheitsfaktoren der Nadelverbrauchsnormbestimmung sowie die Möglichkeiten ihrer Überwindung aufzuzeigen und wenn dabei festgestellt wurde, daß die Wasserwelkmethode in Verbindung mit der Zucht in der Kiefernkrone und der Trockenwägung den geringsten Fehler in sich birgt, so sollte damit einerseits eine Grundlage zur Beurteilung der Genauigkeit der bisher ermittelten Verbrauchsnormen und kritischen Raupenzahlen von nadelfressenden Kiefernscädlingen geschaffen und andererseits eine Zuchtmethode beschrieben werden, deren künftige Anwendung eine einwandfreie Bestimmung der Verbrauchsnormen und kritischen Raupenzahlen gestattet.

Ob nun diese Methode in ihrem ganzen Umfange auch überall angewendet werden kann, ist natürlich eine zweite Frage. Nähe eines Kiefernwaldes sowie ausreichende Mittel und Hilfskräfte sind hierfür Voraussetzungen.

Mir fehlte es 1951, als ich beschloß, die Ermittlung der Verbrauchsnormen der beiden Spannerarten mit Hilfe der Wasserwelkmethode vorzunehmen, an Hilfspersonal zur Durchführung der Zuchten in den Kronen des in der Nähe Friedrichshagens gelegenen Kiefernwaldes. So war ich gezwungen, die Spannerraupen im Institut zu züchten und wählte hier einen (überdachten) Balkon als Zuchtort.

Des weiteren gelang es mir nicht, rechtzeitig Gazezuchtkästen herstellen zu lassen und mußte deshalb mit Glasgefäßen (20 × 20 cm, z. T. 15 × 15 cm, rund), die mit Gaze abgedeckt wurden, vorliebnehmen.

Waren somit Zuchtort und Zuchtbehälter nicht frei von an sich vermeidbaren Unsicherheitsfaktoren, so kann immerhin gesagt werden, daß die Raupen wenigstens klimatischen Verhältnissen ausgesetzt waren, die den natürlichen schon weitaus näherkamen, als es im Labor, vielleicht gar in engen Schalen, der Fall gewesen wäre. Entwicklungs- und Fraßdauer der Raupen unterschieden sich denn auch in nichts von den durch Fällungen von Kiefern im Walde festgestellten. Die Eiräupchen wurden am 18. 6. bzw. 1. 7. 1951 zur Zucht angesetzt, was dem natürlichen Fraßbeginn entspricht und fraßen bei *Semiothisa* etwa 35 Tage und bei *Bupalus* 116 Tage. Die gleichen Zeiten wurden im Walde beobachtet.

Doch blieb es auch bei den genannten Unzulänglichkeiten nicht; zwei weitere kommen hinzu. Erstens war die absolute Trocknung der Wäge-

objekte technisch nicht möglich, wodurch sich die auf S. 220 genannte Korrektur des Zuchtergebnisses nötig macht. Zum anderen wurde das Geschlecht der Raupen nicht berücksichtigt. Der (wahrscheinlich) hierin liegende Unsicherheitsfaktor wurde erst erkannt, als es zu spät war, ihn zu vermeiden.

Die Geschlechtsermittlung ist übrigens auch nicht so einfach, wie man vielleicht annehmen könnte; denn es genügt ja nicht, nach Zuchtende das Geschlecht der Puppen zu bestimmen, sondern es müssen alle (zumindest die größeren) während der Zucht gestorbenen Raupen auf ihr Geschlecht hin untersucht werden. Selbst wenn man das aber getan hätte, ließe sich der Einfluß des Geschlechtes dieser nicht bis zum Ende am Fraß beteiligten Raupen auf den Gesamtfraß nur schwer abschätzen.

Hier sind nur Zuchten mit einigen wenigen Raupen, die vom 2. oder 3. Larvenstadium ab keinen Verlust erleiden, geeignet, einwandfreie Ergebnisse zu liefern.

So wich also die von mir 1951 durchgeführte Methodik von der im Vorangegangenen beschriebenen „idealen“ Wasserwelkmethode etwas ab¹⁾. Da die Abweichungen aber nicht die Hauptpunkte der Methode: nicht welkendes Futter, normale Fraßzeit, Trennung der Verbrauchskomponenten und Trockenwägung betrafen, können die Ergebnisse trotz alledem als Grundlage für die erstmalige Aufstellung der kritischen Zahlen von *Semiothisa liturata* Cl. sowie für die Verbesserung der bisherigen kritischen Zahlen von *Bupalus piniarius* L. dienen.

In Ergänzung der bisher nur in groben Zügen dargestellten Methodik der Wasserwelkzucht soll der Arbeitsgang im folgenden kurz zusammengefaßt werden.

Die Futterzweige wurden im Walde abgeschnitten, in Wasser gesteckt zum Institut gebracht, hier zurückgeschnitten, zurechtgestutzt (derart, daß nur noch der kahle 3jährige Stiel und darüber der 2jährige Zweigabschnitt mit unversehrten 2jährigen Nadeln übrigblieb) und 24 Stunden in Wasser stehen gelassen. Anschließend wurde der Zweig nach erneutem Zurückschneiden in eine kleine Wasserflasche gesteckt und deren Hals mit Plastilin zugekittet. Nun wurde dem Zweig die Hälfte seiner Nadeln (aus jedem Nadelpaar ein Zwilling) als Nadelprobe entnommen und zwecks Trocknung in einen Briefumschlag gesteckt.

Auf die am Zweig verbliebene Nadelhälfte wurden die Raupen vom alten Futterzweig übertragen.

Dem alten Zuchtglas bzw. Futterzweig wurden danach entnommen: a) Kot, b) Abbiß, c) die am alten Zweig vorhandenen „Trocknis“-Nadelteile und d) der am alten Zweig verbliebene, grüne Nadelrest.

Unter „Trocknis“-Nadelteilen wurden dabei alle diejenigen verstanden, deren Verbindung mit dem übrigen Teil der Nadel durch eine tiefer als zur Nadelhälfte gehende Fraßkerbe unterbrochen war. Versuche, die darin bestanden, daß die befressenen Zweige noch etwa eine Woche ohne Raupen stehengelassen wurden, hatten ergeben, daß derartige Nadelteile sich verfärben, verdrehen und abtrocknen. Meistens unterscheiden sie sich schon nach 1 bis 2 Tagen Welkzeit durch ihr weniger frisches und glänzendes Aussehen von den übrigen.

¹⁾ Die Verbrauchsnormbestimmung von *Bupalus* und *Semiothisa* soll in der kommenden Entwicklungsperiode dieser Schädlinge (1952) erneut und unter Vermeidung der 1951 noch vorhandenen Mängel durchgeführt werden.

Um gerade diese wesentliche und bisher noch am wenigsten beachtete Verbrauchskomponente einwandfrei bestimmen zu können, wurden neben den gewöhnlichen 3 Tage-Zuchten (mit 3 tägigem Fütterungsintervall) noch einige 8 Tage-Zuchten durchgeführt, bei denen größere Zweige (der längeren Fraßzeit wegen) mit einwandfreien Nadeln ohne Nadelprobe-Entnahme verwendet wurden. Diese Zuchten konnten daher auch nur die Verbrauchskomponenten Abbiß und Trocknis sowie den Kot ergeben. Hier, nach 8 Tagen, waren die Trocknisteile zum größten Teil (mit Ausnahme der erst zuletzt verursachten) im Aussehen von den übrigen ganz klar zu unterscheiden.

Daß hierbei die Trocknis-Komponente mit ungefähr gleichen Werten (s. u.) wie bei der 3 Tage-Zucht ermittelt wurde, beweist, daß man sie auch bei kurzem Fütterungsintervall bestimmen kann. Vor allem aber ist dadurch bewiesen, daß die Trocknis-Komponente in ihrer Größenordnung konstant ist und damit — ebenso wie die Abbiß-Komponente — in die Verbrauchsnormen und kritischen Zahlen einbezogen werden kann.

Bei den nachstehenden Zuchtergebnissen sind die 8 Tage-Zuchten zur Vervollständigung mit herangezogen worden. Das Raupenmaterial reichte in Anbetracht der 1950/51 relativ geringen Populationsdichte des Spanners und der Notwendigkeit, davon auch noch Mortalitätszuchten (bestimmter Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsstufen) zu bestreiten, gerade nur zur Durchführung von je zwei 3 Tage-Zuchten aus. Die Ergebnisse der Lang- und Kurzzuchten stimmten aber recht gut überein. Das ist zu verstehen, wenn man bedenkt, daß das Welkprozent bei 8 tägiger Wasserwelkung zwar 4 bis 5 % anstatt 2 % bei der 3-Tage-Welkung beträgt, daß aber auch durch dieses Welkprozent der Zweig infolge der vorherigen Gewichtszunahme durch Turgorsteigerung sich kaum vom frischen unterscheidet.

Jedes Fütterungsintervall ergab also 5 Wägeobjekte und somit 5 Briefumschläge:

1. 50 % der Nadeln des unbefressenen Zweiges als Kontrolle,
2. den grünen Nadelrest des befressenen Zweiges,
3. Abbiß,
4. Trocknis,
5. Kot.

Alle Briefumschläge wurden in einer Klimakammer unter 21° Celsius konstanter Temperatur und 70 % konstanter relativer Luftfeuchtigkeit bis zum Winter aufgehoben, wo ihr Inhalt nun, nach Überprüfung der Gewichtskonstanz gewogen wurde, und zwar gleichfalls bei 21° Celsius und 70 % relativer Luftfeuchtigkeit ergab sich die Fraßmenge während eines Fütterungsintervalles. Division durch Raupen- und Stundenzahl ergab daraus den mittleren Verbrauch bzw. Kotfall pro Raupe und Tag (für die Dauer des Fütterungsintervalles). Addition dieser Werte schließlich ergab Fraßnorm, Abbißnorm, Trocknisnorm und Kotnorm einer Raupe.

Endlich sei noch einer Schwierigkeit Erwähnung getan, die auf der ungleichen Fraßbeendigung der Raupen beruht. Es galt die Frage zu beantworten: wann soll der Fraß als beendet gelten?

Der Fraß im Freien ist mit dem Abbaumen der letzten Spannerraupe beendet. Bei der Ermittlung einer Norm aber, d. h. eines mittleren Wertes, muß das Ende so gelegt werden, daß die über diesen Punkt hinaus fressenden Raupen die gleiche Nadelmenge verbrauchen würden wie die bereits abgebaumten — jedoch noch bis hierher als fressend gedachten — Raupen verbraucht hätten.

Das kann nicht bedeuten, daß dieser Punkt dort liegt, wo gerade die Hälfte der Raupen ihren Fraß beendet hat, weil ja ältere Raupen mehr an Nadelmasse pro Zeiteinheit verbrauchen als jüngere und ein solcher

Zeitpunkt somit zu früh berechnet wäre. In Ermangelung von Untersuchungen hierüber soll vorläufig die Fraßgrenze dort gezogen werden, wo $\frac{2}{3}$ der Raupen den Baum (bzw. Futterzweig der Zucht) verlassen haben. Der hierin liegende Fehler dürfte unerheblich sein; doch können entsprechende Untersuchungen ihn ganz beseitigen.

II. Die Nadelverbrauchsnorm der beiden Spanner

Bei den nunmehr folgenden Ergebnissen ist jeweils nur eine Zucht als Beispiel ausführlicher dargestellt.

Die Zahlen geben schon die aus den Einzelwägungen errechneten durchschnittlichen Tagesleistungen einer Raupe an.

In Klammern gesetzte Zahlen sind inter- bzw. extrapoliert.

1. *Bupalus piniarius* L.

Zucht Nr. 1; 3 Tage-Zucht; Ansatz: 1. 7. 51: 10 Eiraupen, Fraßende: 7 Alt-raupen; mittlere Fraßdauer: 118 Tage.

Tabelle 1 zeigt: (s. S. 232)

1., daß die Fraßmenge pro Tag der *Bupalus*-Raupe mit dem Raupenalter ansteigt, nach 14 Wochen (von 17) ihr Maximum erreicht und danach wieder bis auf etwa 60% des Maximums sinkt;

2., daß der Abbiß ziemlich spät einsetzt, ansteigt, etwa zu gleicher Zeit wie der Fraß sein Maximum erreicht und dann wieder bis 0 sinkt;

3., daß die Trocknis hingegen sehr schnell einsetzt, nach kurzem Anstieg etwa konstante Höhe behält und dann — schneller als der Abbiß — wieder auf 0 sinkt.

Im folgenden seien die Endergebnisse aller 4 *Bupalus*-Zuchten zusammengestellt:

	Fraß	Abbiß	Trocknis	Kot	Stw-Qu ¹⁾
Zucht 1, kurz ²⁾ , 118 Tage:	1,042 g	0,059 g	0,144 g	0,752 g	1,4
„ 2, kurz, 111 „	0,881 g	0,073 g	0,136 g	0,621 g	1,4
„ 3, lang, 116 „	[0,970 g] ³⁾	0,057 g	0,182 g	0,693 g	} [1,4]
„ 4, lang, 119 „	[1,084 g]	0,058 g	0,117 g	0,774 g	
Mittel: 1 Rpe in 116 Tagen:	0,994 g	0,062 g	0,145 g	0,710 g	

Die Nadelverbrauchsnorm einer *Bupalus*-Raupe beträgt daher: $0,994 + 0,062 + 0,145 = 1,20$ g Trockengewicht oder, da das Trockengewicht 39,4% des Frischgewichtes beträgt⁴⁾, 3,03 g Frischgewicht.

¹⁾ Stw-Qu = Stoffwechselquotient (Fraß : Kot).

²⁾ Kurz = Kurzintervall-Zucht (durchschnittlich 3 tägiger Futterwechsel); lang = Langintervall-Zucht (8 tägiger Wechsel).

³⁾ Da die Langintervallzuchten keine Fraßwerte ergaben (s. S. 230), wurden letztere an Hand des Stoffwechselquotienten (Fraß : Kot) der Kurzintervallzuchten berechnet.

⁴⁾ 32 zu verschiedenen Zeiten der Zucht zwecks Feststellung des Trocknungsgrades entnommene Nadelproben ergaben nach der Gewichtskonstanz einen mittleren Gewichtsverlust von 60,6% (mittlere Abweichung $\pm 1,5\%$). Das Trockengewicht betrug also durchschnittlich 39,4% des Frischgewichtes.

Tabelle 1. *Bupalus* an Kiefer; Zucht 1

Zeit	Fraß	Abbiß	Trocknis	Kot	
1.—4.—7.					pro Raupe u.
10.—13. 7.	(0,0006 g)	—	0,0001 g	(0,0001 g)	24 Stunden
14.—17. 7.	0,0019 g	—	0,0015 g	0,0004 g	„
17.—22. 7.	0,0018 g	—	0,0018 g	0,0004 g	„
22.—26. 7.	0,0024 g	—	0,0017 g	0,0006 g	„
26.—29. 7.	0,0029 g	—	0,0023 g	0,0007 g	„
29.— 2. 8.	0,0029 g	—	0,0024 g	0,0008 g	„
2.— 7. 8.	0,0025 g	—	0,0010 g	0,0008 g	„
7.—10. 8.	0,0025 g	—	0,0013 g	0,0010 g	„
10.—14. 8.	0,0027 g	—	0,0017 g	0,0010 g	„
14.—18. 8.	0,0033 g	—	0,0019 g	0,0012 g	„
18.—21. 8.	0,0035 g	—	0,0026 g	0,0013 g	„
21.—24. 8.	0,0037 g	0,0002 g	0,0024 g	0,0013 g	„
24.—27. 8.	0,0040 g	—	0,0029 g	0,0014 g	„
27.—31. 8.	0,0038 g	—	0,0050 g	0,0014 g	„
31.— 2. 9.	0,0046 g	0,0001 g	0,0026 g	0,0019 g	„
2.— 5. 9.	0,0049 g	—	0,0010 g	0,0023 g	„
5.—10. 9.	(0,0058 g)	0,0001 g	0,0019 g	0,0032 g	„
10.—13. 9.	0,0062 g	0,0006 g	0,0009 g	0,0039 g	„
13.—22. 9.	(0,0075 g)	0,0003 g	0,0016 g	0,0049 g	„
22.—26. 9.	0,0108 g	0,0005 g	0,0017 g	0,0073 g	„
26.—29. 9.	0,0185 g	0,0024 g	0,0017 g	0,0134 g	„
29.— 1. 10.	0,0275 g	0,0034 g	0,0007 g	0,0213 g	„
1.— 3. 10.	0,0336 g	0,0041 g	0,0009 g	0,0274 g	„
3.— 5. 10.	0,0298 g	0,0063 g	0,0025 g	0,0245 g	„
5.— 7. 10.	0,0257 g	0,0017 g	0,0001 g	0,0220 g	„
7.—10. 10.	0,0221 g	0,0007 g	—	0,0203 g	„
10.—14. 10.	0,0265 g	0,0014 g	—	0,0210 g	„
14.—18. 10.	0,0238 g	0,0004 g	—	0,0198 g	„
18.—20. 10.	0,0226 g	0,0008 g	—	0,0192 g	„
20.—24. 10.	0,0209 g	0,0005 g	—	0,0170 g	„
24.—26. 10.	0,0201 g	—	—	0,0162 g	„
118 Tage:	1,0422 g,	0,0589 g,	0,1438 g,	0,7518 g	Trockengew.

Das wäre jedoch nur das endgültige Ergebnis, wenn die Wägeobjekte absolut trocken gewesen wären. Da der Trocknungsgrad aber nur 60% betrug, muß eine auf der Welkdifferenz zwischen befreßener und unbefreßener Nadelmasse beruhende Korrektur (s. o.) am Ergebnis vorgenommen werden. Die Größe dieser Korrektur wurde durch einen Kontrollversuch ermittelt, bei welchem 4 unbefreßene (Zwillings-) Nadelproben und 4 solche, an denen in oben genannter Weise ein Fraß nachgeahmt worden war, bis zur Gewichtskonstanz trockneten. Als Ergebnis zeigte sich, daß die 4 behandelten Proben um 5,1—4,8—5,1 und 5,6% leichter waren (mehr verdunstet hatten) als die unbehandelten. Daraus ergibt sich eine mittlere Gewichts-differenz infolge Fraßwelkung von 5,15% + 0,3%, d. h. es sind die Normen um durchschnittlich 5% zu hoch (schwer) berechnet worden.

Nach Abzug dieses Wertes erhält man als endgültige Nadelverbrauchsnorm einer *Bupalus*-Raupen: 2,85 g, wovon 2,39 g auf die Nahrungsnorm (Fraßnorm) entfallen.

Die zwei bisher bekannten Nahrungsnormwerte von *Bupalus* bestimmten SCHWERDTFEGGER (1931) mit durchschnittlich 1,22 g (aus drei Zuchten mit je mehreren Raupen) und FRYDRYCHEWICZ (1931) mit 1,99 g (aus der Zucht nur einer einzigen Raupe).

Da beiden Bestimmungen die Luftwelkmethode zugrundelag, sind beide Normen — infolge der Welkdifferenz zwischen Kontroll- und Futterzweig — zu hoch. Die SCHWERDTFEGGERSche Norm würde nach Vornahme der für 3tägige Welkung geltenden (vorläufigen) Korrektur von— 15% (s. o.) nur etwa 1,0 g betragen. Die von FRYDRYCHEWICZ ermittelte Norm müßte sogar, da sie aus einer Zucht mit nur 1tägigem Futterwechsel gewonnen wurde und die zwischen unbefressenem und befressenem Zweig auftretende Welkdifferenz umgekehrt proportional der Welkdauer ist (d. h. mit abnehmender Welkzeit zunimmt), um mehr als 15% verringert werden; es sei angenommen um 20%. Sie beträgt dann etwa 1,6 g.

Welche der drei Nahrungsnormwerte: 1,0—1,6 oder 2,4 g kommt nun der Wirklichkeit am nächsten? Daß Größenunterschiede von 1:2,4 noch im Bereich der natürlichen Schwankungsbreite der Nahrungsnormen liegen könnten, darf man für ausgeschlossen halten.

In Anbetracht dessen, daß SCHWERDTFEGGER und FRYDRYCHEWICZ (abgesehen von sonstigen Unsicherheitsfaktoren der Luftwelkmethode) mit welkendem Futter operierten, ihre Zuchten bei Zimmertemperaturen erfolgten und schon nach 72 bzw. 73 Tagen beendet waren, — während meine Zuchtbehälter Frischfutter enthielten, im Freien standen und die Zuchten erst nach 116 Fraßtagen beendet waren (welche Fraßzeit derjenigen im Walde entspricht) darf ich wohl annehmen, daß die von mir gefundene Norm die der Wirklichkeit am nächsten kommende ist¹⁾.

Daß Raupen aus Laborzuchten weitaus kürzere Fraßzeiten und geringere Puppen Gewichte als Freilandraupen aufwiesen, wurde oben schon gezeigt.

Die Nichtübereinstimmung seiner Nahrungsnorm mit den natürlichen Fraßleistungen des Kiefernspanners erkannte SCHWERDTFEGGER auch selbst, deutete sie aber falsch. Er bezog seine Norm (1,22 g) auf eine in der Letzlinger Heide gefällte Kiefer von 450000 Nadeln, nahm ein mittleres Nadelgewicht von 0,032 g an und berechnete daraus, daß zur Entnadelung dieser Kiefer dann 11—12000 Raupen erforderlich seien. Er schreibt weiter:

„ . . . In praxi ist diese Zahl wesentlich zu verringern, vielleicht auf die Hälfte oder gar ein Viertel; denn einmal werden Nadelstücke abgeissen

¹⁾ Daß die von FRYDRYCHEWICZ gefundene Norm der Wirklichkeit näher kommt als die SCHWERDTFEGGERS, könnte daran liegen, daß einerseits die einzige Raupe FRYDRYCHEWICZ' eine weibliche war und des weiteren das nur 1tägig welkende Futter dem wirklichen Futterzustand näher kam als das 3tägig welkende bei SCHWERDTFEGGER.

und fallen zur Erde, kommen also als Nahrung für die Raupen nicht mehr in Frage, zum anderen werden auch die stark, aber nur zum Teil befreßenen Nadeln braun und sterben ab.

Die Erfahrung der Praxis gibt an, daß Kahlfraß, d. h. Verlust von mehr als 75% der Nadelmasse, zu erwarten ist bei einem Besatz von mehr als 3000 Raupen.“

SCHWERDTFEGGER glaubt also die Differenz zwischen Theorie und Praxis auf die abgebissenen und vertrocknenden Nadelteile zurückführen zu können. In Wirklichkeit betragen aber Abbiß und Trocknis zusammen nur etwa 10% des Fraßes. Der Grund der Differenz kann somit nur in unzulänglicher Zuchtmethodik gesucht werden.

Die von SCHWERDTFEGGER als Erfahrungszahl genannte kritische Raupenzahl von 3000 Raupen ist aber nun gerade diejenige Zahl, die bei einer Nadelverbrauchsnorm von rund 2,9 g zum Kahlfraß einer mittleren Kiefer (von etwa 10000 g Nadelmasse) führen würde. Das ist ein Beweis dafür, daß die von mir ermittelte *Bupalus*-Verbrauchsnorm nicht weit von der Wirklichkeit entfernt ist.

Trotzdem muß diese Zahl so lange noch als vorläufig gelten, wie die obengenannten Fragen nach der Abhängigkeit der Verbrauchsnorm von einigen Umweltfaktoren unbeantwortet sind sowie der Einfluß der auch in meiner Zuchtmethodik noch enthaltenen Unzulänglichkeiten auf das Ergebnis nicht nachgeprüft ist.

2. *Semiothisa liturata* Cl.

Für *Semiothisa* liegen bisher noch keine Angaben über Verbrauchs- und Nahrungsnorm vor. Da in der Literatur neben der Kiefer die Fichte als zweite Hauptfraßpflanze genannt wird¹⁾ wurden die Verbrauchsnormen für beide Nadelbäume ermittelt.

a) *Semiothisa* an Kiefer.

Zucht Nr. 1; 3 Tage-Zucht; Ansatz: 1. 7. 51 10 Eiraupen; Fraßende: 7 Altraupen; mittlere Fraßdauer: 36 Tage.

Wie Tab. 2 zeigt, ist der Fraßgang bei *Semiothisa* insofern von dem bei *Bupalus* verschieden, als die Raupen sowohl ihre Fraß- wie auch Abbißmenge bis zum letzten Tage steigern. Dasselbe Bild zeigte auch die zweite 3 Tage-Zucht.

Vor Zusammenstellung der Endergebnisse der *Semiothisa*-Zuchten an Kiefer ist zu bemerken, daß nur drei Zuchten, und zwar zwei Kurzintervallzuchten und eine Langintervallzucht durchgeführt werden konnten und davon eine der erstgenannten nur wieder für den letzten Teil der Fraßperiode (für die letzten 8 Tage). Um die Ergebnisse dieser unvollständigen Zucht trotzdem verwerten zu können, wurde aus der (vollständigen) Zucht 1 ermittelt, welcher prozentuale Anteil am Endergebnis hier den letzten 8 Tagen zukam. Dabei ergab sich, daß dieser Anteil beim Fraß 62%, beim Abbiß 71%, bei der Trocknis 27% und beim Kot 77% betrug. Unter Annahme

¹⁾ Siehe HOFMANN (1941, S. 329).

Tabelle 2. *Semiothisa* an Kiefer, Zucht 1

Zeit	Fraß	Abbiß	Trocknis	Kot	
1.—4.—7.					pro Raupe u.
10.—14. 7.	(0,0015 g)	—	—	(0,0002 g)	24 Stunden
14.—17. 7.	0,0038 g	—	0,0030 g	0,0007 g	„
17.—19. 7.	0,0082 g	—	0,0046 g	0,0019 g	„
19.—22. 7.	0,0163 g	0,0012 g	0,0106 g	0,0045 g	„
22.—24. 7.	0,0227 g	0,0036 g	0,0024 g	0,0062 g	„
24.—26. 7.	0,0384 g	0,0108 g	0,0105 g	0,0122 g	„
26.—29. 7.	0,0415 g	0,0120 g	0,0084 g	0,0177 g	„
29.—31. 7.	0,0480 g	0,0168 g	0,0019 g	0,0326 g	„
31.— 2. 8.	0,0571 g	0,0168 g	0,0024 g	0,0384 g	„
2.— 4. 8.	0,0720 g	0,0144 g	0,0029 g	0,0480 g	„
4.— 5. 8.	0,0936 g	0,0240 g	0,0113 g	0,0600 g	„
36 Tage:	0,7922 g	0,1884 g	0,1267 g	0,4102 g	Trockengew.

der gleichen Verhältniszahlen wurde daraufhin die unvollständige Zucht 3 auf die Gesamtfraßzeit ihrer Raupen, d. h. 33 Tage¹⁾, erweitert. Die so entstandenen Ergebnisse decken sich gut mit denen der Zucht 1.

Die fehlende Fraßkomponente der Langintervallzucht 2 wurde wieder wie bei *Bupalus* aus dem Stoffwechselquotienten (1 : 1,85) bestimmt.

Somit lauten die Endergebnisse der 3 Zuchten:

	Fraß	Abbiß	Trocknis	Kot	Stw-Qu.
Zucht 1, kurz, 36 Tage:	0,792 g	0,188 g	0,127 g	0,410 g	1,9
„ 2, lang, 35 „	[0,718 g]	0,217 g	0,057 g	0,388 g	[1,85]
„ 3, kurz, 8 „	0,496 g	0,123 g	0,051 g	0,347 g	
	(= 62 %)	(= 71 %)	(= 27 %)	(= 77 %)	
„ 3 umgerechnet auf					
33 Tage = 100 %:	0,800 g	0,173 g	0,189 g	0,451 g	1,8
Mittel: 1 Rpe in 35 Tagen.:	0,770 g	0,193 g	0,158 g	0,416 g	

Bei der Bildung des Mittels wurde die Trocknis-Komponente der Zucht 2 von 0,057 g nicht mit berücksichtigt, weil angenommen werden muß, daß ihre starke Abweichung von den beiden anderen Zuchten auf die abweichend hohe Populationsdichte der Zucht 2 beruht (13 Altraupen gegenüber 7 und 5 bei den Zuchten 1 und 3). Es wurde ja schon oben darauf hingewiesen (S. 203), daß aller Wahrscheinlichkeit nach die Trockniskomponente der Populationsdichte umgekehrt proportional ist.

Die Nadelverbrauchsnorm einer *Semiothisa*-Raupe beträgt somit $0,770 + 0,193 + 0,158 = 1,12$ g Trockengewicht oder nach Umrechnung (unter Berücksichtigung der Korrektur von — 5 %) 2,70 g Frischgewicht, wovon auf die Nahrungsnorm 1,95 g entfallen.

Der Vergleich der Normen zwischen *Semiothisa* und *Bupalus* ist recht interessant. Die Verbrauchsnorm von *Semiothisa* ist nur um 5 % kleiner als die von *Bupalus* (2,70 g und 2,85 g), die Nahrungsnorm dagegen um

¹⁾ Schlüpftermin dieser Raupen: 17. 6. 51, Fraßende: 20. 7. 51, Fraßdauer: 33 Tage.

Tabelle 3. *Semiothisa* an Fichte, Zucht 1¹⁾

Zeit	Fraß	Abbiß	Trocknis	Kot	
1.—3.—7. 10. 7.	—	—	—	—	pro Raupe u. 24 Stunden
10.—11. 7.	0,0001 g	—	—	—	„
11.—12. 7.	0,0002 g	—	—	—	„
12.—14. 7.	0,0005 g	—	—	(0,0001 g)	„
14.—17. 7.	0,0016 g	0,0004 g	0,0007 g	0,0003 g	„
17.—19. 7.	0,0032 g	0,0002 g	0,0012 g	0,0007 g	„
19.—24. 7.	0,0030 g	0,0012 g	0,0010 g	0,0010 g	„
24.—26. 7.	0,0062 g	0,0011 g	0,0012 g	0,0030 g	„
26.—29. 7.	0,0077 g	0,0012 g	0,0017 g	0,0043 g	„
29.—31. 7.	0,0110 g	0,0026 g	0,0012 g	0,0072 g	„
31.— 2. 8.	0,0163 g	0,0021 g	0,0009 g	0,0112 g	„
2.— 4. 8.	0,0175 g	0,0043 g	0,0006 g	0,0130 g	„
4.— 6. 8.	0,0204 g	0,0055 g	0,0004 g	0,0164 g	„
6.— 7. 8.	0,0374 g	0,0012 g	0,0014 g	0,0320 g	„
7.— 9. 8.	0,0464 g	0,0007 g	0,0005 g	0,0411 g	„
9.—10. 8.	0,0502 g	0,0014 g	—	0,0444 g	„
10.—12. 8.	0,0240 g	0,0024 g	0,0017 g	0,0178 g	„
12.—15. 8.	0,0228 g	—	—	0,0199 g	„
46 Tage:	0,4902 g	0,0522 g	0,0290 g	0,3759 g	Trockengew.

fast 20% (1,95 g und 2,39 g)! Das zeigt, daß *Semiothisa* zwar weniger frißt als *Bupalus*, dafür aber mehr verschwendet; sein Abbiß ist dreimal so groß wie der von *Bupalus*. Das ist auch während der Zucht aus einem Vergleich der Futterzweige leicht zu erkennen; die *Semiothisa*-Zweige machen infolge ihres starken Abbiß-Verlustes, dessen Teile — durch ein Gewirr von Gespinstfäden verbunden — wie Gardinen vom Zweig herabhängen, stets einen viel stärker befressenen Eindruck als die *Bupalus*-Zweige.

Wenn die *Semiothisa*-Raupe somit nur 80% der Nahrung einer *Bupalus*-Raupe benötigt, so ist daraus allerdings nicht zu schließen, daß sie um 20% leichter und somit kleiner als die *Bupalus*-Raupe sein müßte. Sie ist zwar etwas kleiner als diese, aber doch nicht diesem Prozentsatz entsprechend. Die Erklärung hierfür gibt eine Betrachtung des Stoffwechselquotienten der beiden Arten. Während sich die Kot- zur Fraßmenge bei *Bupalus* wie 1:1,4 verhält, beträgt dieses Verhältnis bei *Semiothisa* 1:1,9, d. h. die Nahrung wird von *Semiothisa* besser ausgenutzt als von *Bupalus*.

1) Es soll hier nicht näher auf die Unterschiede im Welkprozent und im Probeentnahmefehler, durch die sich die Zucht mit Fichte von der mit Kiefer unterscheidet, eingegangen werden. Die Fichte zeigt in Wasser noch weniger Welkung als die Kiefer, weil der Stengelquerschnitt weniger verharzt. Der Probeentnahmefehler ist in Anbetracht dessen, daß hier die Nadeln einzeln stehen und somit keine Zwillings-Proben möglich sind, etwas höher. Die kleineren Nadeln bedingen kleinere Futterzweige und demgemäß kürzere Fütterungsintervalle.

Abschließend betrachtet kommt also die Verbrauchsnorm von *Semiothisa* etwa an die von *Bupalus* heran. Diese Tatsache unterstreicht die von mir oben vertretene Meinung, daß dem veilgrauen Kiefernspanner wahrscheinlich eine größere forstliche Bedeutung, als bisher angenommen (zumal in Anbetracht des Auftretens einer 2. Generation), zukommt.

b) *Semiothisa* an Fichte.

Zucht Nr. 1; 3 Tage-Zucht; Ansatz: 1. 7. 51 10 Eiraupen; Fraßende: 3 Altraupen; mittlere Fraßdauer: 46 Tage.

Aus Tab. 3 ist zunächst zu ersehen, daß die Fraßzeit an Fichte etwa 10 Tage länger dauert als an Kiefer. Des weiteren fällt auf, daß die Fraßmenge pro Zeiteinheit, wie bei *Bupalus*, nach Erreichen einer Maximalhöhe wieder absinkt (hier bis auf etwa 50%). Man darf daher annehmen, daß auch die *Semiothisa*-Raupe eine ähnliche Fraßkurve wie die *Bupalus*-Raupe aufweist, eine solche also, die bis kurz vor dem Fraßende ansteigt und dann wieder absinkt. Das Absinken dürfte darauf zurückzuführen sein, daß die vor der Verpuppung sich im Raupenkörper anbahnenden Veränderungen die Fraßlust schwächen und schließlich beseitigen.

Daß dieses Absinken bei der an Kiefer fressenden *Semiothisa*-Raupe nicht sichtbar ist, liegt an der hier sehr kurzen Entwicklungs- und Fraßzeit, welche der Raupe wahrscheinlich erst wenige Stunden vor dem Abbaumen gestattet, mit dem Fraß nachzulassen bzw. aufzuhören.

Die Endergebnisse der 4 Zuchten waren:

	Fraß	Abbiß	Trocknis	Kot	Stw.-Qu.
Zucht 1, kurz, 46 Tage:	0,490 g	0,052 g	0,029 g	0,376 g	1,3
„ 2, kurz, 48 „	0,514 g	0,030 g	0,022 g	0,427 g	1,2
„ 3, lang, 45 „	0,456 g	0,050 g	0,013 g	0,365 g	[1,25]
„ 4, lang, 43 „	0,504 g	0,059 g	0,020 g	0,403 g	
Mittel in 46 Tagen:	0,491 g	0,048 g	0,021 g	0,393 g	

Die Nadelverbrauchsnorm der an Fichte fressenden *Semiothisa*-Raupe beträgt somit: $0,491 + 0,048 + 0,021 = 0,56$ g Trockengewicht oder, da der mittlere Trocknungsgrad der Fichtennadeln 67,0% betrug (Trockengewicht = 33% des Frischgewichtes)¹⁾, 1,70 g Frischgewicht. Hiervon ginge wieder ein Korrekturbetrag ab, der für Fichte nicht gesondert bestimmt wurde und daher mit gleichem Wert wie bei der Kiefer, also —5% angenommen werden soll.

Nach Vornahme der Korrektur lautet dann die Verbrauchsnorm: 1,62 g, wovon 1,42 g auf die Nahrungsnorm und die restlichen 0,20 g auf die beiden Verschwendungskomponenten entfallen.

¹⁾ Der Trocknungsgrad der Fichtennadeln wurde aus 8 Proben ermittelt, die nach Gewichtskonstanz zwischen 65,2 und 68,1%, im Mittel $67,0 \pm 1,1\%$ Gewichtsverlust zeigten.

Bei Betrachtung dieser Normen fällt zuerst der große Unterschied auf, der zwischen Kiefer und Fichte bezüglich der beiden Komponenten Abbiß und Trocknis besteht. Während beim *Semiothisa*-Fraß an Kiefer etwa $\frac{1}{3}$ des gesamten Nadelverbrauchs auf Abbiß und Trocknis entfallen, wird an der Fichte nur $\frac{1}{8}$ der verbrauchten Nadelmasse verschwendet.

Aber auch die Nahrungsnorm der an Fichte fressenden *Semiothisa*-Raupe ist erheblich kleiner als an Kiefer, nämlich um $\frac{1}{4}$, obwohl der Fraß 10 Tage länger dauert. Wäre der Stoffwechselquotient des Fichtenfraßes dafür günstiger als der des Kiefernfraßes, so könnte man diesen geringeren Fraß mit der besseren Nahrungsausnutzung erklären; doch ist er im Gegenteil ungünstiger als dort. Betrug das Verhältnis Kot/Fraß an Kiefer 1:1,9, so sind es an Fichte nur 1:1,3.

All das: die dem Kiefernfraß gegenüber geringeren Normen des Fichtenfraßes, die verlangerte Fraßzeit und der ungünstigere Stoffwechselquotient weisen darauf hin, daß die Kiefer die Hauptfraßpflanze des veilgrauen Kiefernspanners ist und daß dessen Fraß an Fichte als anormal (Notfraß) zu bezeichnen ist.

Zumindest gilt das für die den Untersuchungen zugrundeliegende *Semiothisa*-Population aus Kiefernrevieren. Wenn FINKE (1938)¹⁾ in Südhannover die *Semiothisa*-Raupen überall in den geringsten Fichtenstangenorten fand, so könnte man hieraus eventuell auf das Bestehen einer (physiologischen) Fichtenrasse von *Semiothisa* schließen.

III. Die (vorläufigen) kritischen Zahlen

Aus den ermittelten Verbrauchsnormen die kritischen Zahlen zu berechnen, bereitet nun keine Schwierigkeiten mehr, wenn man sie, wie es nachfolgend geschehen soll, auf eine Standardnadelmasse von 1000 g Frischgewicht bezieht.

In Anbetracht dessen, daß der angewandten Zuchtmethode noch einige Mängel anhaften (vor allem Nichttrennung der Geschlechter) und daß der Einfluß der Umwelt auf die Verbrauchsnorm noch nicht untersucht ist, können die folgenden kritischen Zahlen nur als vorläufig gelten.

1. Kritische Raupenzahlen.

a) *Bupalus piniarius* L.

Nadelverbrauchsnorm = 2,85 g; krit. Raupenzahl = 350 pro 1000 g Nadelmasse;

b) *Semiothisa liturata* Cl. an Kiefer

Nadelverbrauchsnorm = 2,70 g; krit. Raupenzahl = 370 pro 1000 g Nadelmasse;

c) *Semiothisa liturata* Cl. an Fichte

Nadelverbrauchsnorm = 1,62 g; krit. Raupenzahl = 620 pro 1000 g Nadelmasse.

¹⁾ Nach HOFMANN (1941, S. 329).

2. Kritische Puppenzahlen.

Zur Ableitung der kritischen Puppenzahl aus der kritischen Raupenzahl ist die Kenntnis der mittleren Zahl an abgelegten Eiern nötig. Leider ist es mit dieser Kenntnis zur Zeit noch schlecht bestellt, vor allem deshalb, weil bei den meisten der bisherigen Angaben nicht zwischen Eizahl und Zahl abgelegter Eier unterschieden wird. Der Ableitung kann ja nur die letztere zugrundegelegt werden. Es sollen daher die nachfolgenden Berechnungen auf den Ergebnissen eigener (1951 durchgeführter) Untersuchungen über die Zahl der abgelegten Eier von *Bupalus* und *Semiothisa* basieren¹⁾.

a) *Bupalus piniarius* L.

Hier wurde von 25 Weibchen²⁾ eine mittlere Zahl abgelegter Eier von 115 Stück ermittelt. Diese Zahl stimmt sehr gut mit der von ESCHERICH (1930) bestimmten Zahl von 116 Stück überein.

Dann beträgt die kritische W-Puppenzahl ($350:115 =$) 3,0 pro 1000 g Nadelmasse.

Wie verhält sich diese kritische W-Puppenzahl nun zu der gegenwärtig geltenden kritischen Puppenzahl von 6,0 pro qm? Das soll an einigen Beispielen aufgezeigt werden.

Den folgenden Betrachtungen sei die Zahl von 6,0 pro qm als noch heute gültige Zahl zugrundegelegt, obwohl GÄBLER (1951) neue kritische Puppenzahlen des Kiefernspanners berechnete.

GÄBLER erhielt diese Zahlen dadurch, daß er aus den von SCHWERDTFEGER (1939) für bestimmte Alters- und Ertragsklassen der Kiefer angegebenen vorläufigen kritischen Eizahlen des Kiefernspanners durch Division durch eine mittlere Eizahl von 100 die kritischen Weibchenpuppenzahlen pro Kiefernstamm ableitete.

Die so gewonnenen Zahlen können aber nicht als Verbesserung der kritischen Puppenzahl von 6,0 pro qm angesehen werden, weil die zugrundegelegten kritischen Eizahlen zu ungenau sind. SCHWERDTFEGER gelangte zu diesen Zahlen nämlich auf zwei Wegen, einmal dadurch, daß er auf Grund der Tatsache, daß die von ihm ermittelte Nahrungsnorm des Spanners von 1,2 g (s. o.) $\frac{1}{6}$ derjenigen der Forleule beträgt, die kritischen Eizahlen der Forleule mit 6 multiplizierte und so die kritischen Eizahlen des Kiefernspanners erhielt, — und zum anderen durch Ableitung aus der der Praxis entnommenen kritischen Puppenzahl von 6,0 pro qm unter Annahme eines Puppensuchfehlers von 40 %, eines Geschlechterverhältnisses von 1 : 1, einer (die Faltermortalität berücksichtigenden) Zahl abgelegter Eier von 100 und der praktischen Erfahrung, daß Kahlfraß bei einem Besatz von 3000 Spannerraupe pro Krone erzeugt wird.

Wie nach allem Vorgegangenen leicht einzusehen ist, können auf derartige Weise errechnete kritische Eizahlen nicht als gültig betrachtet werden und somit auch nicht die daraus wieder abgeleiteten kritischen Puppenzahlen. Allein die Tatsache, daß beide Wege zum gleichen Ergebnis führten, obwohl der erste Weg auf einer um 50 % gegenüber der natürlichen zu niedrigen Nahrungsnorm des Kiefernspanners beruht, zeugt von der Unzulänglichkeit sowohl der dem zweiten Weg zugrundegelegten Annahme als auch der errechneten kritischen Eizahlen.

¹⁾ Die Zahlen wurden allerdings im Labor gewonnen und sind daher nur unter Vorbehalt gültig. Näheres über Zucht und Eizahlen in demnächst erscheinender Veröffentlichung.

²⁾ Begattete Weibchen.

Um die neue kritische W-Puppenzahl von 3,0 pro 1000 g Nadelmasse mit der bisherigen kritischen Gesamtpuppenzahl von 6,0 pro qm vergleichen können zu, seien die ersteren auf die Flächeneinheit, und zwar an Hand einiger von GÄBLER (1950) zusammengestellter Nadelfrischgewichte pro ha, bezogen.

Durch Verdopplung der hieraus gewonnenen kritischen W-Puppenzahl ergibt sich dann die auf ein Geschlechterverhältnis von 1:1 bezogene, bisher gültige, kritische Puppenzahl, während durch Verdreifachung die auf ein Geschlechterverhältnis von 2:1 zugunsten der Weibchen (welches SCHWERDTFEGER 1932 als Mittel bezeichnete, s. S. 198) bezogene kritische Puppenzahl entsteht.

Für die von TIRÈN (1927) für Kiefern III. schwedischer Bonität ermittelten Nadelmassen pro ha ergeben sich dann folgende kritischen Puppenzahlen:

35 Jahre, 12 471 kg/ha = 37 413 W-Puppen/ha	= 3,7 W-Pupp./qm, bei 0:1
	= 7,4 Puppen /qm, bei 1:1
	= 11,1 Puppen /qm, bei 1:2;
55 Jahre, 15 854 kg/ha = 47 563 W-Puppen/ha	= 4,8 W-Pupp./qm, bei 0:1
	= 9,6 Puppen /qm, bei 1:1
	= 14,4 Puppen /qm, bei 1:2;
105 Jahre, 11 075 kg/ha = 33 225 W-Puppen/ha	= 3,3 W-Pupp./qm, bei 0:1
	= 6,6 Puppen /qm, bei 1:1
	= 9,9 Puppen /qm, bei 1:2.

Die von GÄBLER nach DENGLE (1937) berechneten Nadelmassen pro ha von Beständen III./IV. Ertragsklasse hätten dann an kritischen Zahlen:

30 Jahre, 8514 kg/ha = 25 542 W-Puppen/ha	= 2,6 W-Pupp./qm, bei 0:1
	= 5,2 Puppen /qm, bei 1:1
	= 7,8 Puppen /qm, bei 1:2;
50 Jahre, 7385 kg/ha = 22 155 W-Puppen/ha	= 2,2 W-Pupp./qm, bei 1:1
	= 4,4 Puppen /qm, bei 1:1
	= 6,6 Puppen /qm, bei 1:2;
110 Jahre, 6149 kg/ha = 18 447 W-Puppen/ha	= 1,8 W-Pupp./qm, bei 0:1
	= 3,6 Puppen /qm, bei 1:1
	= 5,4 Puppen /qm, bei 1:2.

Man erkennt aus den vorstehenden Zahlen, daß unter den 6 betrachteten Beständen nur 2 waren (TIRÈN, 105 Jahre: 6,6 und DENGLE, 30 Jahre: 5,2), bei denen eine kritische Puppenzahl von 6,0 pro qm den Tatsachen ungefähr entsprochen hätte; und man erkennt weiter daraus, daß es bei der Inkonstanz der beiden Faktoren Nadelmasse und Geschlechterverhältnis tatsächlich am besten ist, sich auf die kritische Weibchenpuppenzahl zu beschränken und diese auf eine Standardnadelmasse zu beziehen. Alle weiteren Rechnungen haben an Hand der jeweiligen Bestandesverhältnisse zu erfolgen.

b) *Semiothisa liturata* Cl. an Kiefer.

Die Berechnung der kritischen W-Puppenzahl von *Semiothisa* sei auf die Hauptfraßpflanze (Kiefer) beschränkt, da nur hierfür die Zahl ab-

gelegter Eier ermittelt wurde. Diese Zahl betrug für 21 Weibchen (der 1. Gen.) im Mittel 76, also nur $\frac{2}{3}$ der von *Bupalus*.

Danach beträgt die kritische W-Puppenzahl ($370:75 \Rightarrow$) 5,0 pro 1000 g Nadelmasse.

Zusammenfassung

1. Zum Zwecke einer Präzisierung der heute noch sehr im argen liegenden Prognose der Schädwirkung nadelfressender Kieferngrößschädlinge wird, speziell für den Kiefernspanner, versucht, die der Prognose zugrundeliegenden Methoden des Probesuchens, der Ermittlung der kritischen Zahlen sowie der eigentlichen Vorhersage des Schadens auf die ihnen innewohnenden Unsicherheitsfaktoren sowie die Möglichkeiten deren Überwindung hin zu untersuchen.

2. Unabhängig von diesen Methoden liegt schon im Begriff „Kiefernspanner“ insofern ein Unsicherheitsfaktor, als sich hierunter zwei Arten, der gewöhnliche Kiefernspanner (*Bupalus piniarius* L.) und der veilgraue Kiefernspanner (*Semiothisa liturata* Cl.) verbergen, die sich beide im Aussehen der Puppen und Raupen ähneln, bezüglich ihrer Bionomie aber völlig voneinander verschieden sind. Die Prognose muß beide, und zwar gesondert, berücksichtigen, wozu die Erforschung der Bionomie und forstliche Bedeutung von *Semiothisa liturata* Cl. notwendig ist.

3. Die im Probesuchen enthaltenen Unsicherheitsfaktoren können dadurch überwunden werden, daß einmal die Suche auf das Puppenstadium beschränkt wird, zum zweiten beim Suchen Kieferntragsklasse, Bestandesklima, Kronenfläche und Boden-deckenbeschaffenheit berücksichtigt werden, und drittens der Suchfehler durch Beschränkung der Zahl der Suchenden und Verlängerung der Suchzeit praktisch beseitigt wird.

4. Es wird gezeigt, daß die die Grundlage der Prognose bildenden kritischen Zahlen sich am sichersten aus der Nadelverbrauchsnorm einer Raupe bestimmen lassen. Die Unsicherheitsfaktoren bei der Verbrauchsnormbestimmung lassen sich, je nachdem, ob sie alle bisher bekannten Bestimmungsmethoden gleichermaßen belasten oder nur an einen Teil derselben gebunden sind, in prinzipielle und spezielle einteilen.

Zu den ersteren gehören vor allem die in der Wahl des Zuchtortes, des Zuchtbehälters und der Raupenzahl sowie die durch die Fragen nach dem Einfluß von Raupengeschlecht, Raupenkonstitution und Klimafaktoren auf die Verbrauchsnorm zum Ausdruck kommenden Unsicherheitsfaktoren.

Die wichtigsten speziellen Unsicherheitsfaktoren sind die der Nadellängenmethode zukommende Unsicherheit bei der Umrechnung von Nadellänge in Nadelmasse, — der die Nadellängen- und Luftwelkmethode belastende Einfluß der Futterwelkung auf die Fraßleistung, — die in der Luftwelkmethode enthaltene Unsicherheit bei der Übertragung des Welkprozentes von einem Kontroll- auf einen Futterzweig sowie die bei der Methode am Baum auftretende Gewichtsveränderung lebender Nadeln während der Fraßzeit.

An Hand von Kontrollversuchen und Überschlagsrechnungen wird versucht, die Größenbereiche der die Verbrauchsnormen hierdurch belastenden Fehler zu bestimmen.

5. In Verwertung der gewonnenen Erkenntnisse wird eine neue Methode der Nadelverbrauchsbestimmung, die Wasserwelkmethode, beschrieben, die praktisch frei von Unsicherheitsfaktoren ist.

6. Die aus der Verbrauchsnorm errechnete kritische Raupenzahl sowie die daraus abgeleitete kritische Puppenzahl werden besser nicht mehr, wie bisher, auf Alters- und Ertragsklasse der Kiefer, sondern auf eine Standardnadelmasse von 1000 g bezogen, wodurch die bei der Nadelmassenbestimmung eines Bestandes auftretenden Unsicherheitsfaktoren aus den kritischen Zahlen eliminiert werden.

7. Bei der Ableitung der kritischen Puppenzahl aus der kritischen Raupenzahl müssen die in ihrer Größe wechselnden Faktoren: Geschlechterverhältnis (= krit. Raupenzahl), Nadelverbrauchsnorm, Falter-, Ei- und Raupenmortalität, sowie Zahl abgelegter Eier mit konstanten Größen eingesetzt werden, die aber so zu wählen sind, daß die krit. Puppenzahl einerseits stets unterhalb der wirklichen krit. Grenze bleibt (d. h. der prognost. Sicherheit genügt), zum anderen aber wieder nahe genug an diese Grenze herankommt, um als Warnzahl dienen zu können.

Die Größenkombination: Geschlechterverhältnis 1 : 1 (= mittlere krit. Raupenzahl), mittlere Verbrauchsnorm, fehlende Falter-, Ei- und Raupenmortalität und mittlere Zahl abgelegter Eier entspricht den genannten Bedingungen in erster Annäherung.

8. Es erscheint in Anbetracht der wahrscheinlich auftretenden örtlichen und zeitlichen Schwankungen des Geschlechterverhältnisses der Spannerpuppen besser, die durch Division der kritischen Raupenzahl durch die Zahl der abgelegten Eier gewonnene kritische Zahl weiblicher Puppen auch tatsächlich als solche („kritische W-Puppenzahl“) beizubehalten und sie nicht, wie bisher, durch Verdopplung (und damit Zugrundelegung eines Geschlechterverhältnisses von 1 : 1) zur kritischen Gesamtpuppenzahl zu erweitern.

9. Die auf 1000 g Nadelmasse bezogenen kritischen Zahlen bedürfen zur praktischen Anwendung einer Umrechnung auf die jeweilige Bestandesnadelmasse. Die bei der Bestimmung der letzteren heute noch vorhandene erhebliche Unsicherheit in naher Zukunft zu überwinden, besteht berechtigte Hoffnung.

10. Bei der eigentlichen Prognose schließlich wird nach Feststellung der Weibchenpuppenzahl des Bestandes zunächst die Zahl an abgelegten Eiern durch Freilandzucht bestimmt. Hierbei muß die Faltermortalität unberücksichtigt bleiben. Der dadurch in die Prognose kommende Fehler ist aber immer noch weit kleiner als derjenige, der durch Eizählung an gefällten Bäumen entstehen würde.

Nach Feststellung der Eimortalität (durch Fällung oder evtl. aus der Freilandzucht ergibt sich die Jungraupenzahl des Bestandes. Die nunmehr auftretende Raupenmortalität ist nicht vorhersehbar, weshalb die Prognose hier enden muß. Durch Vergleich der Jungraupen mit der kritischen Altraupenzahl ist eine Schätzung des zu erwartenden Schadens möglich.

11. Im praktischen Teil der Arbeit werden nach der Wasserwelkmethode die Verbrauchsnormen der beiden Kiefernspannerarten *Bupalus piniarius* L. und *Semiothisa liturata* Cl. bestimmt und die kritischen Zahlen daraus berechnet, wobei die Werte infolge Bestehenbleibens einiger Unsicherheitsfaktoren nur vorläufigen Charakter haben.

Die Verbrauchsnorm von *Bupalus* beträgt 2,85 g (Nahrungsnorm 2,39 g) Frischnadelmasse. Als kritische Zahlen ergeben sich hieraus eine kritische Raupenzahl von 350 und eine kritische W-Puppenzahl von 3,0, jeweils pro 1000 g Frischnadelmasse.

Die Verbrauchsnorm von *Semiothisa* beträgt 2,70 g (Nahrungsnorm 1,95 g) Frischnadelmasse. Als kritische Zahlen ergeben sich hieraus eine kritische Raupenzahl von 370 und eine kritische W-Puppenzahl von 5,0, jeweils pro 1000 g Frischnadelmasse.

Literaturverzeichnis

- ALTUM, B., Forstzoologie, 2. Aufl., 3, 1882.
 ECKSTEIN, K., Beiträge zur Kenntnis des Kiefernspinners *Lasiocampa* (*Dendrolimus*) *pini* L. Zool. Jahrb. Abt., 31, 59—162, 1911.
 —, Die Bewertung des Kotes der Nonnenraupe, *Psilura monacha* L., als Grundlage für die Feststellung ihres Auftretens und der zu ergreifenden Maßregeln. Allg. Forst- u. Jagdztg., 114, 132—148, 1938.
 ESCHERICH, K., Nonnenprobleme. Naturw. Ztschr. Land- u. Forstw., 10, 65—85, 1912.
 —, Die Forstinsekten Mitteleuropas, III. Berlin, 1931.

- FRYDRYCHEWICZ, J., Kiefernspannerstudien. Ztschr. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz, **41**, 97—107, 1931.
- GÄBLER, H., Nahrungsverbrauch, Kotproduktion und kritische Eizahlen der Nonne an Kiefer und Fichte. Ztschr. Pflanzenkrankh., **51**, 462—84, 1941 (a).
- , Nadelmassen und kritische Eizahlen der Nonne für Fichte und Kiefer. Forstw. Centralbl., **63**, 172—214, 1941 (b).
- , Nadelmassen der Fichte und Kiefer, sowie kritische Ei-, Falter- und Kotzahlen der Nonne (*Lymantria monacha* L.). Nachrichtenbl. dtsh. Pflanzenschutzd. Berlin, **4**, 81—92 und 121—131, 1950.
- , Kritische Ei- und Puppenzahlen von Nonne, Kiefernspanner und Kieferneule an Kiefer. Anz. Schädlingsk., **24**, 140—143, 1951.
- HOFMANN, CH., Beiträge zur Bionomie des veilgrauen Kiefernspanners *Semiothisa liturata* Cl. Ztschr. angew. Ent., **26**, 324—334, 1941.
- HOUTERMANS, P., Ein Versuch zur Feststellung des Fehlers beim Probesuchen nach Puppen des Kiefernspanners. Mitt. Forstwirtsch. Forstwiss., **10**, 96—99, 1939.
- JUCHT, Ein Beitrag zur Kiefernspannerfrage. Ztschr. angew. Ent., **11**, 243—245, 1925.
- KALANDADZE, L., Beiträge zur Biologie einiger Forstschädlinge. Anz. Schädlingsk., **3**, 75—76, 1927.
- LEBEDEV, A. G. & SAVENKOV, A. N., Die Nahrungsnormen des Kiefernspinners. Ztschr. angew. Ent., **19**, 85—103, 1932.
- MARCUS, A., Ein neues Kontaktmittel („Forestit“-Merck) in der Schädlingsbekämpfung. Ztschr. angew. Ent., **19**, 68—84, 1932.
- RATZEBURG, J. T. C., Die Forst-Insecten, II. Teil. Berlin, 1840.
- SCHWENKE, W., Untersuchungen zum Massenwechsel der Kiefernspanner *Bupalus piniarius* L. und *Semiothisa liturata* Cl. auf vergleichend-biozönotischer Grundlage. I: Über die Abhängigkeit der Populationsdichte der beiden Spannerarten von Waldtyp, Bestandesalter und Bestandesklima im Kieferngebiet zwischen Berlin und Furstenwalde. Beitr. Ent., **2**, 1—55, 1952.
- SCHWERDTFEGER, F., Untersuchungen über Dauer des Eistadiums, Wachstum und Stoffwechsel des Kiefernspanners (*Bupalus piniarius* L.). Ztschr. angew. Ent., **16**, 513—26, 1930.
- , Betrachtungen zur Epidemiologie des Kiefernspanners. Ztschr. angew. Ent., **19**, 104—129, 1932.
- , Kleine Beiträge zur Kenntnis der Forleule (*Panolis flammea* Schiff.). Forstwiss. Centralbl., **57**, 247—258, 1935 (a).
- , Untersuchungen über die Mortalität der Forleule (*Panolis flammea* Schiff.) im Krisenjahr einer Epidemie. Hannover, 1935 (b).
- , Über kritische Eizahl und Eiparasitierung beim Kiefernspanner, *Bupalus piniarius* L. Mitt. Forstwirtsch. Forstwiss., 123—126, 1939.
- , Die Waldkrankheiten. Berlin, 1944.
- SCHWERDTFEGER, F. & KEMPER, A., Über den Zeitaufwand beim Probesuchen nach Eiern, Raupen und Puppen forstschädlicher Insekten. Forstarch., **11**, 285—288, 1935.
- WARDZINSKI, K., Der Einfluß der Einzelhaft sowie der schwachen Vergesellschaftung auf die Entwicklung und das Wachstum der Raupen von *Pieris brassicae* L. Ztschr. angew. Ent., **25**, 478—86, 1938/39.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Beiträge zur Entomologie = Contributions to Entomology](#)

Jahr/Year: 1952

Band/Volume: [2](#)

Autor(en)/Author(s): Schwenke Wolfgang

Artikel/Article: [Unsicherheitsfaktoren bei der Kiefernspannerprognose und Möglichkeiten ihrer Überwindung Mit einer Ermittlung der Nadelverbrauchsnormen und kritischen Zahlen von Bupalus piniarius L. ud Semiothisa liturata Cl. 189-243](#)